

SENSOR DE IRRADIÂNCIA PARA O MONITORAMENTO DE REDES COM DISTRIBUIÇÃO EM C.C. INTEGRADO A SOFTWARE DE BUSINESS INTELLIGENCE

Ana Paula Silva da Silva - ana.silva.silva@itec.ufpa.br

Felipe Cabral Reis

Pedro Bentes Lobato

Mayron Robert Souza Pantoja

Arthur Correa da Fonseca

Wanderley Sena dos Santos

Wilson Negrão Macêdo

Universidade Federal do Pará, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas

Resumo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e implementação de um sistema de sensoriamento de irradiância solar usando a plataforma Arduino em um sistema off-grid de distribuição em corrente contínua. O objetivo principal do sensor de irradiância é monitorar e armazenar dados da intensidade da radiação solar, fornecendo dados para a validação da geração solar e verificação de possíveis sombreamentos. O sensor de irradiância é formado por um módulo fotovoltaico de referência, um sensor de corrente para a leitura da corrente de curto-circuito do módulo de referência, um display LCD para visualização local dos dados, um relógio de tempo real (RTC) e um cartão SD para o armazenamento local de dados. Além disso, o artigo explora a integração dos dados coletados pelo sensor de irradiância em um software de Business Intelligence (BI), possibilitando análises por meio de gráficos e painéis interativos, permitindo também a comparação das medições com dados da National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Palavras-chave: Sistema de monitoração, Business Intelligence, Comunidade ribeirinha

1. INTRODUÇÃO

A diversificação da matriz energética brasileira foi fortemente impulsionada pela inclusão da geração distribuída, em especial a solar fotovoltaica, representada por minigeração e microgeração, tornando-se um marco significativo no cenário energético nacional com a publicação da Resolução Normativa Nº 482 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012 (Coelho, 2013). Nesse aspecto, o advento da geração distribuída trouxe benefícios tanto para os consumidores já conectados à rede elétrica convencional como também para uma vasta parcela da população em regiões isoladas, em especial na Amazônia, sem acesso à rede de distribuição tradicional (Albuquerque, 2019), onde os programas Luz para Todos (Decreto nº 4.873) e Mais Luz para a Amazônia (decreto nº 10.221) resultaram na implementação de sistemas descentralizados de geração de energia nas formas de sistemas individuais (SIGFI – Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente) e redes isoladas (MIGFI – Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica).

Dentro deste contexto situam-se as microrredes/nanorredes isoladas de distribuição de energia, sistemas que podem operar de forma independente e autossuficiente, com ou sem conexão com a rede elétrica convencional, podendo ser projetadas com estruturas em corrente alternada, em corrente contínua ou fazendo uso de ambas. No caso de microrredes/nanorredes que fazem uso da geração solar fotovoltaica, a abordagem em corrente contínua mostra-se mais vantajosa tanto do ponto de vista tanto técnico quanto econômico. Isso se deve a diversos fatores, entre eles: maior eficiência na transmissão em razão da não ocorrência do efeito pelicular e da transmissão de potência reativa (Kumar *et al*, 2017); redução do número de estágios de conversão (Elsayed *et al*, 2015); e maior robustez e maior confiabilidade da capacidade de atendimento do sistema (Torres, 2019).

Neste trabalho é apresentado um protótipo de sistema de monitoramento e uma ferramenta em forma de relatório interativo no programa *Microsoft Power BI* desenvolvido com o objetivo de contribuir para os estudos e análises relacionados aos sistemas fotovoltaicos off-grid. O sistema tem como finalidade realizar o levantamento de dados de irradiância solar dos geradores fotovoltaicos instalados em uma nanorrede de distribuição em corrente contínua implementada pelo Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará - GEDAE/UFPA, em uma comunidade ribeirinha da região amazônica, na cidade de Barcarena, no estado do Pará.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta brevemente a nanorrede que compõe o estudo, bem como a descrição dos sistemas de geração e armazenamento que a compõe; a seção 3 descreve o processo de projeto, montagem e calibração em laboratório do dispositivo desenvolvido; a seção 4 mostra a implementação do dispositivo em campo; a seção 5 apresenta a viabilidade financeira, a seção 6 apresenta a integração com o *software de business intelligence*; a seção 7 apresenta a visualização e a análise de dados. Por fim, são exibidas as considerações finais dos autores sobre o presente trabalho.

2. CARACTERÍSTICAS DA NANORREDE C.C. MONITORADA

A Nanorrede de Distribuição em Corrente Contínua (NDCC) monitorada está instalada em uma comunidade ribeirinha da Ilha das Onças, no município de Barcarena no estado do Pará. Essa rede foi projetada com foco na escalabilidade do sistema, permitindo a expansão da capacidade de geração e armazenamento de forma modular à medida que novos subsistemas são instalados. Atualmente, a NDCC fornece energia para onze residências ribeirinhas, um estabelecimento religioso e uma estação de recarga de barcos elétricos de pequeno porte (rabetas), através de doze subsistemas de geração fotovoltaica distribuídos na área.

A NDCC é uma rede unipolar, com tensão nominal de 24 V, possuindo um único condutor positivo (+) e um condutor negativo (-), implementada seguindo uma arquitetura radial isolada. A NDCC não possui conexão com a rede elétrica convencional de corrente alternada (c.a.). A Fig. 1 mostra a localização dos sistemas da NDCC, divididos nas seguintes categorias: prossumidores (marcador azul), consumidores (marcador roxo) e monitorados pelos sensores de irradiância (marcador vermelho).



Figura 1: NDCC instalada na localidade.

Os sistemas prossumidores são caracterizados por conterem sistemas fotovoltaico off-grid interconectados em rede, compartilhando seus sistemas de geração e armazenamento e permitindo o atendimento de outros consumidores que não possuem geração própria.

3. PROJETO, MONTAGEM E CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO

O sensor foi desenvolvido de forma a garantir a fácil reprodução e a utilização de componentes de alta disponibilidade no mercado nacional a fim de permitir a monitoração de todos os sistemas instalados a um baixo custo. Dessa forma, o sensor é composto por uma combinação de componentes eletrônicos, um microcontrolador e um módulo fotovoltaico de referência.

3.1 Projeto e montagem do sensor

Para o processamento dos parâmetros coletados, optou-se por utilizar a plataforma Arduino Nano por sua pequena dimensão física e custo-benefício. Para realizar a medição de valores de irradiância, faz-se uso da proporcionalidade entre a corrente de curto-circuito e o valor de irradiância no plano do gerador/módulo fotovoltaico; para a leitura dos valores desta grandeza elétrica, optou-se por empregar um transdutor de corrente da série ACS712. Foi selecionado um modelo específico para o projeto: o ACS712-5A, com capacidade de ± 5 A, projetado para medição de correntes contínuas. De acordo com as informações fornecidas pelo fabricante, o sensor ACS712-5 gera uma diferença de 185 mV em sua saída para uma variação de 1A na entrada. Desta forma, o sensor é conectado de forma a aferir a corrente de curto-circuito do módulo/célula de referência instalado no mesmo plano do gerador em que se deseja avaliar. A saída do ACS712 é então processada pelo Arduino Nano de acordo com a curva de calibração levantada, como será explicado na próxima seção.

Com o intuito de armazenar os valores de irradiância adquiridos, incluiu-se no projeto um módulo cartão SD, o qual conecta-se ao Arduino Nano por meio da interface de comunicação serial SPI. Para manter registro da data e do horário em que foi realizada a aquisição de um determinado valor de irradiância, está presente no projeto um módulo RTC DS3231, o qual é responsável por garantir a acurácia dos valores de data e hora armazenados no cartão SD mesmo na

ocasião de uma interrupção do fornecimento de energia. Além disso, com o intuito de permitir à equipe a visualização em tempo real do valor de irradiância no gerador em que foi instalado o medidor, incluiu-se um *display* LCD 16x2, o qual exibe também o valor de tensão de saída do ACS712 para a posterior calibração o dispositivo desenvolvido.

A alimentação do dispositivo é realizada por meio do regulador de tensão DC-DC LM2596, que realiza a conversão da tensão de entrada não regulada, proveniente do barramento de distribuição da NDCC (24V nominais), para uma tensão de saída de 9V estável para a alimentação do circuito. O LM2596 possui uma ampla faixa de tensão de entrada, variando de 4,5V a 40V, e é capaz de fornecer corrente de saída de até 3A. A Fig. 2 exibe um diagrama de circuito representando o sistema desenvolvido.

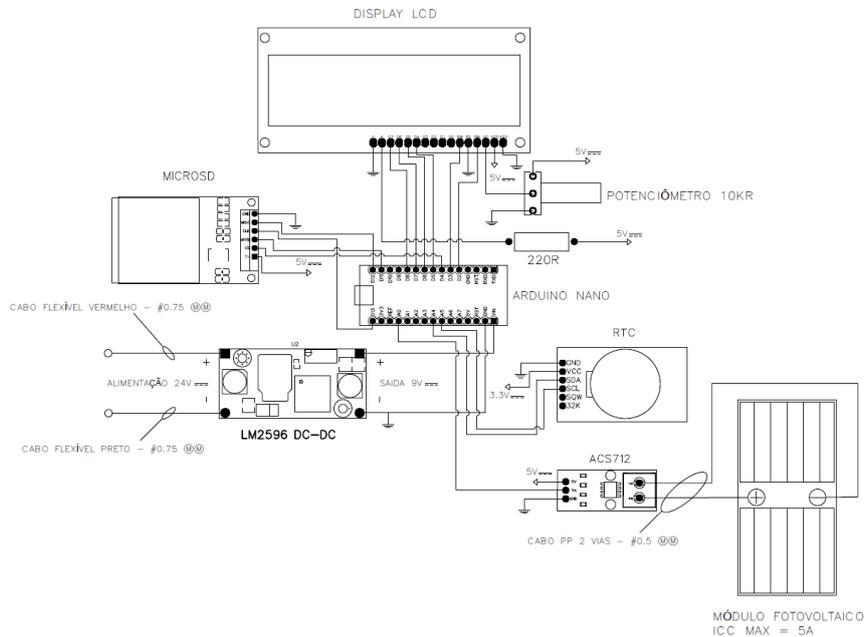


Figura 2: Diagrama de circuito do dispositivo desenvolvido.

3.3 Calibração do dispositivo

Com o intuito de obter maior acurácia nas leituras, optou-se por realizar a calibração customizada de cada unidade do medidor de irradiância montada. O método utilizado foi a comparação direta entre o valor de saída da célula de referência da fabricante ISET, modelo ISET-02434, cuja relação entre irradiância incidente (G) e tensão de saída ($V_{saída}$) é $105,795\text{mV}$ a 1000 W/m^2 (Eq. (1)), e o valor da corrente de curto-circuito do módulo de referência, o qual é aferido pelo ACS712. Dessa forma, o uso combinado da célula comercial de referência e da Eq. (1) permite a obtenção de um valor de irradiância com alto grau de confiabilidade para ser utilizado na calibração.

$$G = \frac{1000 \times V_{saída}}{0,105795} \quad (1)$$

Assim, associou-se o valor de irradiância obtido por meio do método descrito anteriormente à saída do ACS712, estando este aferindo a corrente de curto-circuito de um módulo de referência instalado no mesmo plano do gerador fotovoltaico a ser monitorado no local, e relacionou-se ambos os valores, como mostra a Fig. 3.

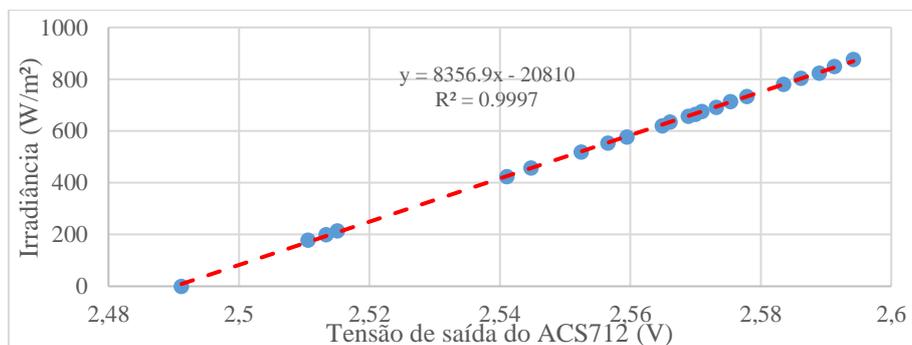


Figura 3: Relação entre irradiância e tensão lida pelo Arduino Nano na saída do ACS712.

Como mostrado pela linha tracejada em vermelho, é calculada uma linha de tendência a partir dos dados fornecidos pelo processo descrito previamente, a qual é utilizada para o cálculo da irradiância a partir de um valor de tensão de saída do ACS712 lido pelo Arduino Nano. Destaca-se que o processo descrito acima independe do conhecimento prévio do valor da corrente de curto-circuito do módulo ou célula fotovoltaica utilizada uma vez que é realizada a associação direta entre a saída do ACS712 lida pelo Arduino Nano e o valor de irradiância adquirido por meio da célula de referência da fabricante ISET, modelo ISET-02434.

4. IMPLEMENTAÇÃO EM CAMPO E COLETA DE DADOS

No total, foram instaladas 4 unidades do sistema de medição de irradiância desenvolvido: a primeira unidade (sensor 1) foi instalada no telhado do píer onde estão localizados os geradores dos sistemas 1 e 2; a segunda unidade (sensor 2) no gerador do sistema 6, a terceira unidade (sensor 3) no gerador do sistema 7 e a quarta unidade (sensor 4) no sistema 3. Os módulos fotovoltaicos utilizados nos sensores possuem características elétricas distintas, mostradas na Tab. 1.

Tabela 1 – Características elétricas dos módulos fotovoltaicos utilizados.

	Sensores 1, 2 e 4	Sensor 3
Modelo	Yingli solar: YL022P-17b-1/7	Solar Leading: SL5M36-20W
P _{máx}	22 W	20 W
V _{mp}	17,8 V	17,28 V
I _{mp}	1,24 A	1,16 A
V _{oc}	21,70 V	21,24 V
I _{sc}	1,35 A	1,31 A

Em razão do clima úmido da região, faz-se necessária a utilização de uma caixa hermética para proteger o circuito desenvolvido de interpéries a fim de garantir maior vida útil ao dispositivo. A caixa hermética utilizada (Fig. 4) possui tamanhos que variam de um tamanho compacto de 10,5 cm x 14,5 cm x 7cm utilizado no sensor do sistema 3 e outro modelo maior, com dimensões 25 cm x 20 cm x 8 cm. As caixas possuem grau de proteção IP65, o que garante proteção contra poeira e jatos d'água.



Figura 4 – Modelo de caixa hermética utilizado.

A conexão do módulo de referência se dá por meio de um cabo multipolar com dupla isolação, o qual adentra a caixa hermética por meio de um prensa cabo, o que garante a vedação da caixa. O cabo possui seção de 0,75 mm², adequado a corrente máxima suportada pelo módulo ACS712, que é de 5A. Além disso, a alimentação é realizada por dois cabos unipolares com seção de 0,75 mm², com diferenciação de cores para o polo positivo (vermelho) e o polo negativo (preto). A conexão do sensor à rede de distribuição da NDCC é realizada utilizando terminais do tipo jacaré, e pode ser feita no barramento de alimentação dos quadros formadores de rede ou diretamente nos cabos da rede de distribuição. O cabo de alimentação também está associado ao uso de prensa cabos para garantir a vedação. A Tab. 2 exibe a inclinação e a orientação dos quatro sensores implementados atualmente e a Fig. 5 exibe a) a identificação do módulo do sensor (1), da célula da ISET (2) e do gerador (3); b) o sensor instalado no sistema 3.

Tabela 2 – Inclinação e orientação dos sensores.

Sistema	Inclinação	Orientação
1	17°	NE
2	14°	NE
3	13°	SO
4	20°	S

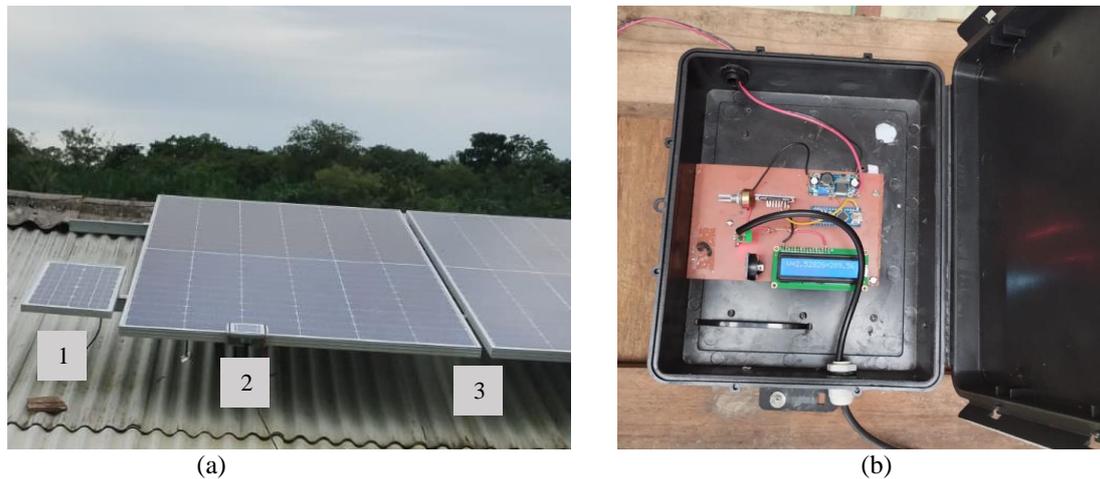


Figura 5: (a) Módulo e célula de referência no mesmo plano do gerador (b) Sensor de irradiância do sistema 3.

A coleta de dados dos sensores é feita manualmente a cada visita técnica realizada pela equipe do GEDAE à localidade. O procedimento realizado consiste em copiar o arquivo de valores separados por vírgula (csv – *comma separated values*) armazenado no cartão SD, para um computador e devolver o cartão para o sensor. Devido ao tempo de coleta, algumas amostras são perdidas; entretanto, estas não configuram prejuízo significativo à aquisição de dados. Constatou-se que, ao acumular mais de 30 dias de dados no arquivo csv, o Arduino nano do sensor apresentou travamentos. Apesar de os demais componentes continuarem funcionando, os dados não são processados e armazenados. Para solucionar esse problema, foi desenvolvido um script em Python, o qual é executado após a coleta de dados do csv. O objetivo dessa etapa é apagar os dados existentes até às 23:59 do dia anterior à visita. Dessa forma, os dados do dia em curso são mantidos no arquivo sem prejuízos para o posterior armazenamento de dados.

5. VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a avaliação do custo de produção de uma unidade do sensor de irradiância, considerou-se o valor unitário dos componentes citados nos tópicos 3 e 4, como também o valor dos seguintes itens: placa de fenolite, adaptador e cartão SD, potenciômetro, prensa cabo, garra jacaré, cabo para alimentação do circuito, parafusos e rebites para fixação das caixas herméticas e módulos fotovoltaicos. Destaca-se que todos os materiais foram comprados localmente, por isso o valor de frete não é considerado nesta avaliação. O custo total de cada unidade do sensor é de R\$410,00. Considera-se também que sensores de irradiância comerciais não são adquiridos facilmente no Brasil pois, além do preço do produto e do frete, é necessário pagar impostos sobre a importação. A Tab. 3 exhibe os valores para a aquisição do *Solar Radiation Sensor* da fabricante *JXCT Eletronic Technology* e do *ISET SENSOR* utilizado como célula de referência neste trabalho e o piranômetro CMP10 da fabricante Kipp-Zonen.

Tabela 3 – Comparação de preços entre sensores de irradiância comerciais e local.

	Sensor local	Solar Radiation Sensor	Iset sensor	CMP10
Valor	R\$410,00	R\$1.078,00	R\$4.713,98	R\$23.485,74

Estes valores não incluem o frete e consideram a cotação do dólar em R\$4,90 e do euro em R\$5,37. Verifica-se a diferença de custo do sensor do GEDAE em relação ao sensor da *JXCT* é de R\$668,00, de R\$4.303,98 em relação ao *ISET* e de R\$23.075,74 em relação ao piranômetro da Kipp-Zonen. Ressalta-se que os três sensores necessitam componentes adicionais para o armazenamento de dados. O sensor descrito neste trabalho foi projetado para armazenar os dados e ainda permitir a visualização dos parâmetros de tensão e irradiância localmente sem a necessidade de um *datalogger* externo. Após esta avaliação, verifica-se que, embora estes equipamentos comerciais sejam confiáveis para a medição da irradiância solar, não possuem preços acessíveis para o projeto implementado na comunidade ribeirinha e que o sensor de irradiância desenvolvido pelo GEDAE é economicamente viável para a monitoração da NDCC.

6. INTEGRAÇÃO COM SOFTWARE DE BUSINESS INTELLIGENCE

O software escolhido para o tratamento gráfico dos dados de irradiância da NDCC foi o *Microsoft Power BI*. Este *software* é amplamente utilizado nas áreas de engenharia e tecnologias de informação, permitindo a utilização de conjuntos de dados para a criação de relatórios e representações visuais de fácil compreensão por meio de sua interface gráfica chamada de *Dashboard* (SOLUTIONS FOR RESULTS - S4R, 2019).

6.1 Base de dados

A base de dados é composta pelos parâmetros de geração fotovoltaica dos quatro subsistemas da NDCC e as informações de data e hora de cada amostra registrada. Estes parâmetros são: a tensão de saída do ACS712, medido em volts (V); a corrente de curto-circuito do módulo de referência calculada a partir da saída do transdutor de corrente utilizado, medida em ampères (A); a irradiância solar global avaliada no plano de inclinação do gerador, em W/m^2 ; e a quantidade de horas em que a irradiância permanece a constantes $1000 W/m^2$, conhecidas como horas de sol pleno (HSP), para que a energia incidente seja igual à energia disponibilizada em um determinado período de tempo pelo sol no plano do gerador que se está monitorando, considera-se para esta medida a unidade Wh/m^2 .

A taxa de amostragem dos sensores de irradiância é de 1 minuto; esse intervalo foi escolhido para possibilitar a posterior integração desses dados com a monitoração geral da nanorrede. Cada subsistema da NDCC conta com um *datalogger* conectado ao controlador de carga para registrar os parâmetros de geração fotovoltaica, consumo das cargas e armazenamento das baterias (Costa, 2022). Em um dia de operação sem perdas de dados, cada sensor de irradiância registra 1440 linhas e 4 colunas, com os quatro sistemas implementados funcionando adequadamente, o volume de dados diário é de 5.760 linhas. Essa quantidade de dados justifica a necessidade de utilização de um *software* de elevada capacidade de processamento de dados.

Cada subsistema possui uma planilha *Excel* (xlsx) para armazenar todos os dados desde a sua implementação na localidade. Com isso, a base de dados está organizada em cinco pastas, sendo quatro pastas para os quatro subsistemas monitorados e uma para os dados extraídos da plataforma *Nasa Power – Data Access Viewer* (NASA, 2023), utilizados como referência para comprovação dos dados locais. Além disso, essas planilhas são armazenadas em uma nuvem da *Microsoft OneDrive*, estratégia essa adotada como *backup* para evitar perdas de dados. A cada aquisição de dados, as novas informações dos arquivos csv são unidas aos respectivos arquivos xlsx e em seguida carregados para o *Power BI* e posteriormente publicados na versão *online* do *software* (*Power BI Service*), para compartilhamento do relatório e análises gráficas com a equipe do GEDAE.

7. VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Para facilitar a navegabilidade entre as análises implementadas, uma capa foi criada contendo botões que direcionam o usuário para a aba do subsistema escolhido. A Fig. 6 exibe a capa contendo os botões, o mapa de bolhas que mostra a localização dos sistemas, a logo do GEDAE que funciona como link redirecionando o usuário para a capa, a logo da Universidade Federal do Pará (UFPA) e o título da *dashboard*.



Figura 6 – Capa da *dashboard* desenvolvida no *software* *Power BI*.

A partir dos dados coletados, diversas análises podem ser implementadas na *dashboard* para tornar mais eficiente a compreensão dos sistemas e da NDCC. As análises presentes neste trabalho são: distribuição diária de irradiância, identificação de sombreamentos e horas diárias de sol pleno.

7.1 Distribuição diária de irradiância

Ao escolher um dos sistemas, o usuário é direcionado para a aba que contém o gráfico da distribuição da irradiância ao longo do dia. No eixo secundário do gráfico é exibida a curva acumulativa das horas de sol pleno (HSP). A página conta

com os filtros de ano e mês à esquerda e no centro da página o usuário pode escolher o dia a ser exibido. Na Fig. 7 observa-se que o sistema escolhido é identificado logo abaixo do título da *dashboard* e que foram adicionados botões deslizantes para a visualização de períodos menores durante o dia. O valor total de HSP é informado acima do gráfico de área.

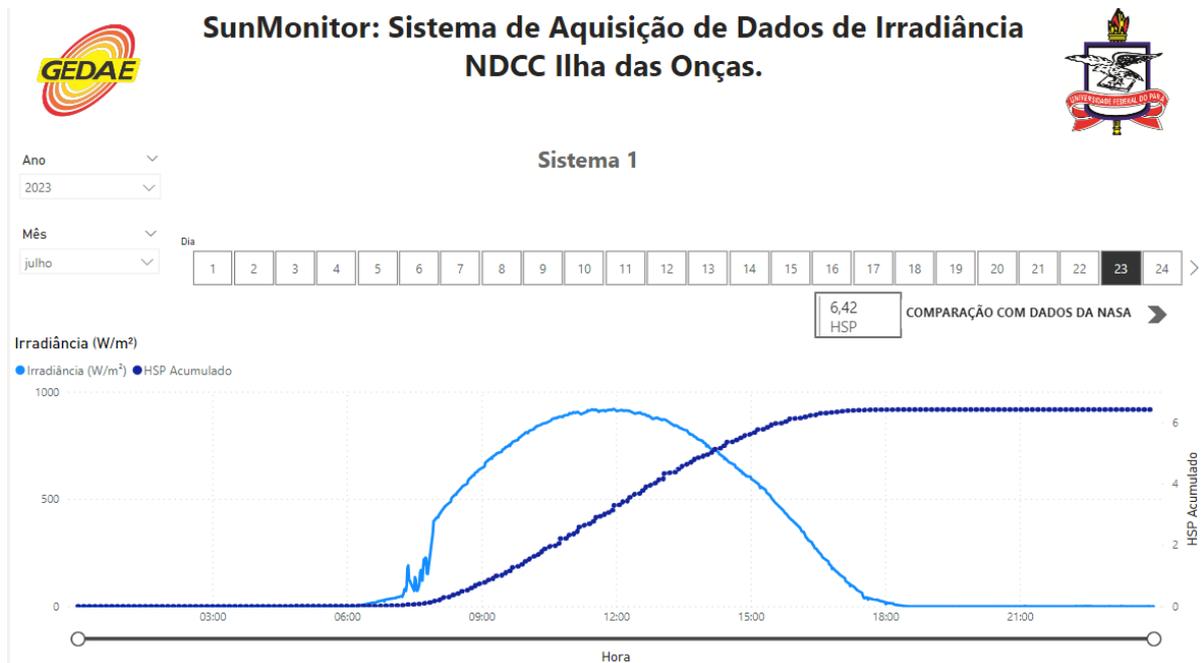


Figura 7 – Gráfico de irradiância e HSP acumulado.

O botão “Comparação com dados da NASA” direciona o usuário para o gráfico de comparação dos dados obtidos por meio dos sensores de irradiância instalados na localidade com os dados adquiridos da plataforma *Nasa Power – Data Access Viewer*. Esta é uma ferramenta que disponibiliza dados climáticos e de energias renováveis de forma confiável, contudo, existem atrasos consideráveis para a disponibilização dos dados na plataforma, o que dificulta a implementação de análises em tempo real e identificação de problemas a serem solucionados de forma rápida (NASA POWER, 2020).

A Fig. 8 exibe a página referente ao subsistema do Sr. João, na qual observa-se o gráfico de colunas que mostra os valores totais de HSP para cada dia do período escolhido pelo usuário. Esta análise demonstra a acurácia do sensor desenvolvido visto que os valores não destoam excessivamente, bem como também permite identificar os prejuízos causados por sombreamentos à geração de energia, além de avaliar a necessidade de calibração do sensor localmente.

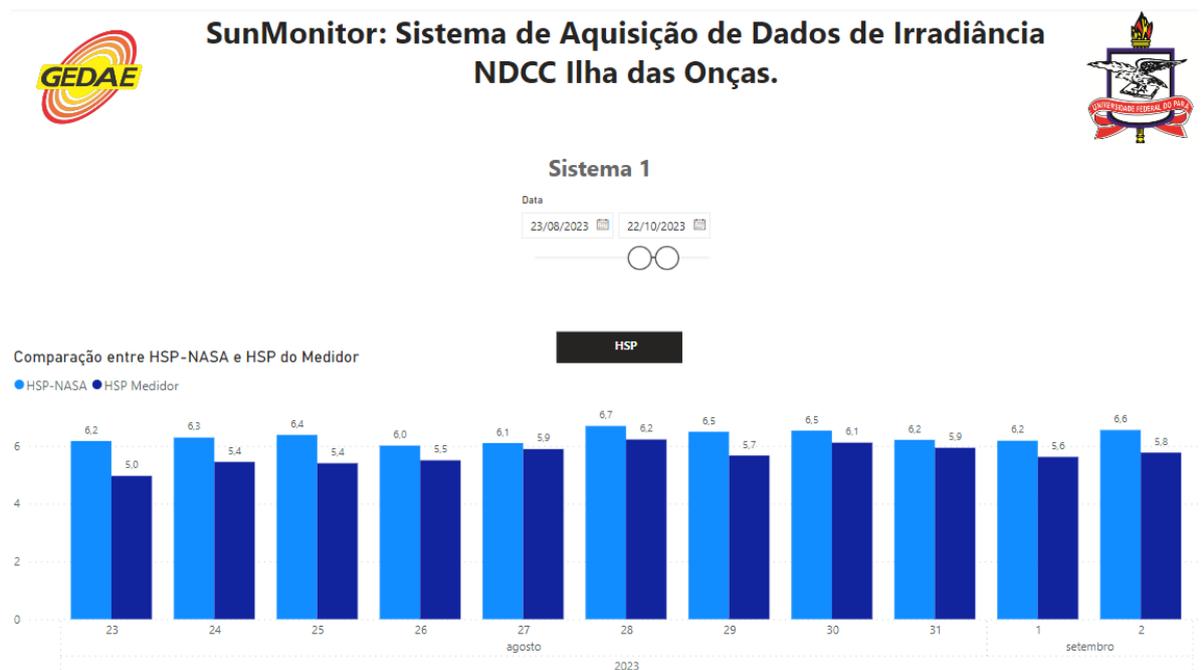


Figura 8 – HSP local (azul escuro) e *Nasa Power – Data Access Viewer* (azul claro).

7.2 Horas de sol pleno por sistema

A curva que exhibe o valor acumulado de HSP no gráfico de área da distribuição da irradiância pode ser usada para verificar se os sistemas estão funcionando como o esperado. A partir dessa análise, é possível visualizar que a orientação e a inclinação dos sistemas, implementados segundo as condições locais, interfere fortemente na geração de energia e, conseqüentemente, na contribuição de cada sistema para a rede. Observando os quatro sistemas no dia 23 de julho de 2023, obtém-se a quantidade de HSP por turno conforme a Tab. 4.

Tabela 4 – Horas de sol pleno por turno e sistema.

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Manhã	3,30	2,14	1,39	2,36
Tarde	3,12	3,3	2,30	2,50
Total	6,42	5,44	3,69	4,86

Os resultados encontrados são condizentes com a operação, destoando apenas o sistema do Sr. Yuri, visto que este deveria ter o maior valor de HSP durante a manhã; isso não ocorre neste dia devido ao sombreamento exibido na Fig. 10.

7.3 Identificação de sombreamento

Os sombreamentos em sistemas fotovoltaicos são prejudiciais ao desempenho da produção de energia pois a geração fotovoltaica depende essencialmente da incidência de raios solares sobre a superfície das células fotovoltaicas. A Fig. 9 demonstra um exemplo de sistema com sombreamento durante a manhã identificado por meio dos dados de irradiância. Para garantir que se trata de um sombreamento, os gráficos de diferentes dias são verificados e, se o comportamento se repetir por vários dias, assume-se que há um sombreamento e a equipe em campo informa aos residentes a situação para analisar a melhor forma de solucionar o problema. A Fig. 10 mostra o sistema com sombras, confirmando a informação identificada pelo sensoriamento de irradiância. A fotografia foi realizada às 08:58, o que caracteriza pelo menos 3h de geração limitada pelo sombreamento.

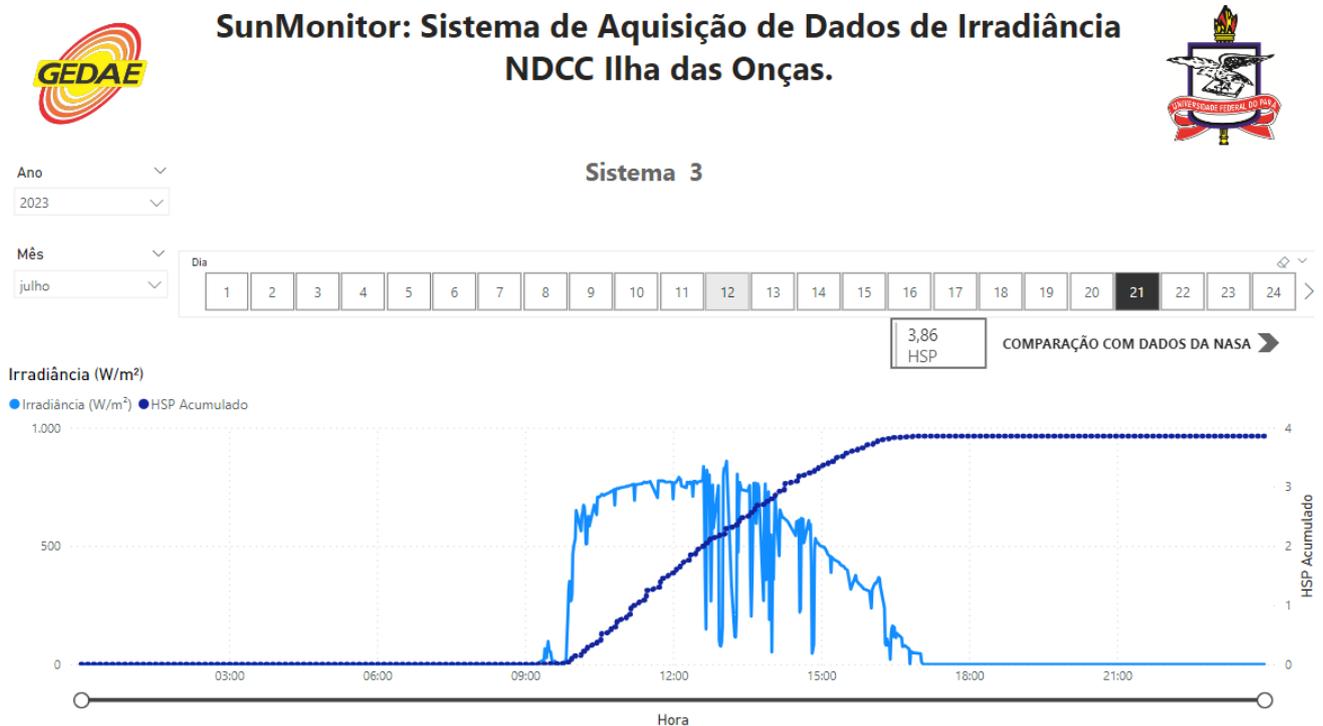


Figura 9 – Gráfico de irradiância com sombreamento.



Figura 10 – Sistema com sombreamento na comunidade.

Contudo, é necessário atenção ao processo de análise de sombreamento, pois a região amazônica é caracterizada por meses de fortes chuvas frequentes. A Fig. 11 ilustra um exemplo de dia chuvoso. A identificação de chuvas é mais simples que o sombreamento pois o comportamento não costuma se repetir por dias a fio e a curva de irradiância muda rapidamente, permanecendo com valores baixos durante a chuva.

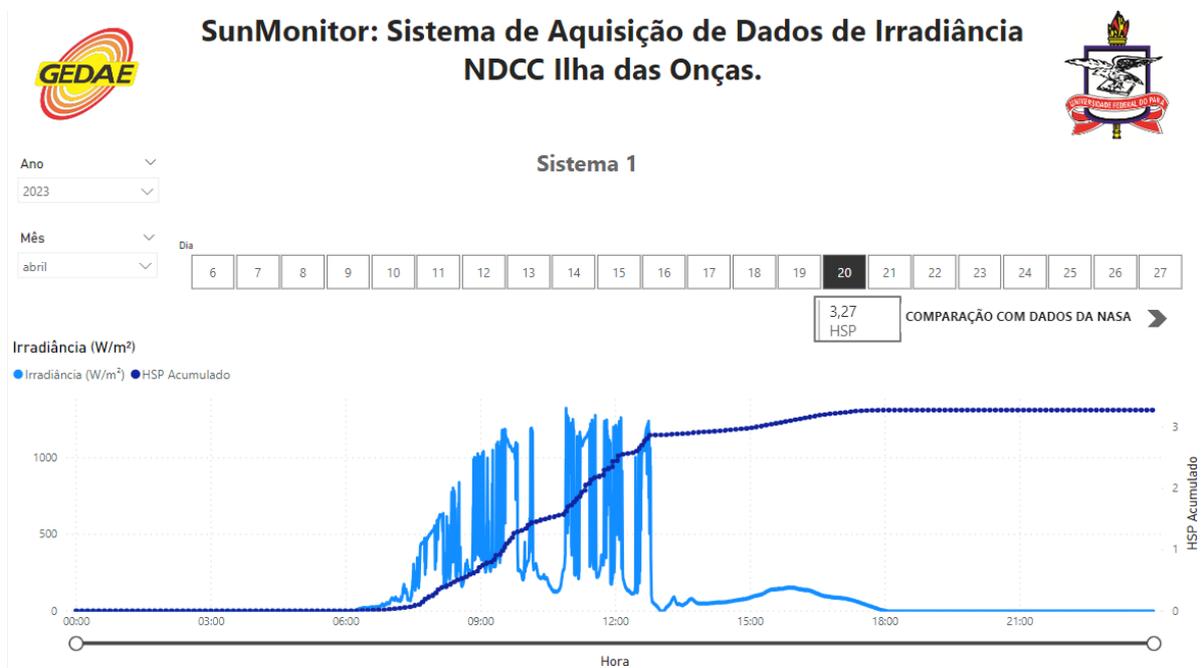


Figura 11 – Gráfico de irradiância de um dia chuvoso.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados almejados na concepção do projeto foram cumpridos para os quatro sistemas apresentados nesse trabalho. Ao longo de 10 meses de operação, constatou-se que a durabilidade do dispositivo desenvolvido está fortemente associada à qualidade da placa de circuito impresso em que o dispositivo foi instalado, havendo a maior parte dos problemas encontrados desde a implementação em campo sido associados a isto. A aquisição e o armazenamento de dados ocorrem sem grandes dificuldades desde sua implementação e a análise de dados é viabilizada por meio do *software* de *Business Intelligence* (BI), o qual fornece informações importantes para auxiliar na tomada de decisões em relação à operação e resolução de problemas da NDCC.

Como trabalho futuro associado a este, propõe-se a melhora do circuito de proteção dos sistemas contra sobretensão a fim de garantir o pleno funcionamento do circuito, bem como a ampliação da quantidade de sistemas monitorados e a implementação de análises como a estimativa de geração e a eficiência energética dos sistemas atendidos na Ilha das Onças por meio do *software* de *Business Intelligence* (BI).

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelas seguintes agências de pesquisa brasileiras: CAPES e CNPq. O último autor é financiado pelas bolsas 408049/2022-7 (Chamada CNPq/MCTI 25/2022 - Linha 1), 312033/2021-4 (Chamada CNPq N° 4/2021 - Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ), CV 020 /2022 (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa – FAPESPA). Agradecimentos também à Pró-Reitoria de Extensão da Universidade Federal do Pará (PROEX/UFPA).

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, L. O., 2022. Avaliação da Influência da Configuração de Controladores de Carga no Desempenho de Geradores Fotovoltaicos Suprindo uma Nanorrede de Distribuição em Corrente Contínua. Dissertação de Mestrado. Belém, Pará, Brasil: UFPA.
- Coelho, R. F., 2013. Concepção, Análise e Implementação de uma Microrrede Interligada à Rede Elétrica para Alimentação Ininterrupta de Cargas c.c. a partir de Fontes Renováveis. Tese de Doutorado. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil: UFSC
- Costa, A. F. P., 2022. Desenvolvimento De Ferramenta Para A Análise Operacional De Uma Nanorrede De Distribuição Em Corrente Contínua Utilizando Software De Business Intelligence. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Elsayed, A. T.; Mohamed, A. A.; Mohammed, O. A., 2015. DC microgrids and distribution systems: An overview, Electric power systems research, vol. 119, pp. 407-417.
- Kumar, D.; Zare, F.; Ghosh, A., 2017. DC microgrid technology: system architectures, AC grid interfaces, grounding schemes, power quality, communication networks, applications, and standardizations aspects, IEEE Access, vol. 5, pp. 12230-12256.
- NASA. The Power Project., 2023. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso em: 10 set. 2023.
- POWER Data Methodology. 2020. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/>. Acesso em: 27 jan. 2024.
- Torres, P. F., 2019. Desenvolvimento e Modelagem de uma Nanorrede de Distribuição em Corrente Contínua em Baixa Tensão com Sistemas de Geração Distribuída. Dissertação de Mestrado. Belém, Pará, Brasil: UFPA
- SR4., 2019. Power BI. Entenda de uma vez por todas o que é. Disponível em: <https://s4r.com.br/powerbi/power-bi-entenda-o-que-e/>. Acesso em: 10 set. 2023.

IRRADIANCE SENSOR FOR THE MONITORING OF DC DISTRIBUTION GRIDS INTEGRATED WITH BUSINESS INTELLIGENCE SOFTWARE

Abstract. *This paper presents the development and implementation of a solar irradiance monitoring system using the Arduino platform in an off-grid system with direct current distribution. The main objective of the irradiance sensor is to monitor and store solar radiation intensity data in real time, providing data for validating solar generation and checking for possible shading. The irradiance sensor consists of a photovoltaic reference module, a current sensor for reading the short-circuit current, an LCD display for local data visualization, a real-time clock (RTC) and an SD card for local data storage. In addition, the article explores the integration of the data collected by the irradiance sensor into Business Intelligence (BI) software, enabling analysis by means of charts and interactive dashboards, also making it possible to validate the measurements by comparing them with data from the National Aeronautics and Space Administration (NASA).*

Keywords: *Monitoring System, Business Intelligence, Riverside Community*