MONITORAMENTO IOT DE PLANTA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO UTILIZANDO SISTEMA EMBARCADO LINUX

Isaac Sousa da Costa¹, José Renato de Brito Sousa², Sandro César Silveira Jucá³,
Renata Imaculada Soares Pereira⁴, Auzuir Ripardo de Alexandria⁵

¹ Mestrando do Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Maracanaú-CE, Brasil.

E-mail: isaac.sousa@ifce.edu.br

² Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil.

³ Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

⁴ Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

⁵ Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

Recebido em: 15/08/2021 – Aprovado em: 15/09/2021 – Publicado em: 30/09/2021

DOI: 10.18677/EnciBio_2021C30

trabalho licenciado sob licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

RESUMO

Este artigo tem como objetivo principal descrever o desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento IoT (do inglês, Internet of Things) utilizando sistema embarcado Linux baseado na plataforma Raspberry Pi, aplicado a uma planta de bombeamento fotovoltaico instalada numa residência na cidade de Pacajus, Ceará, Brasil. O sistema realiza o monitoramento de tensão e corrente do módulo fotovoltaico e da saída do inversor monofásico. Os dados obtidos são processados e posteriormente enviados para armazenamento na nuvem. Através de qualquer dispositivo computacional com acesso à Internet, é possível realizar o monitoramento do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Bombeamento fotovoltaico, Monitoramento IoT, Sistema embarcado Linux.

IOT MONITORING OF PHOTOVOLTAIC PUMPING PLANT USING LINUX EMBEDDED SYSTEM

ABSTRACT

This article aims to describe the development and implementation of an IoT (Internet of Things) monitoring system using Linux embedded system based on the Raspberry Pi platform, applied to a photovoltaic pumping plant installed in a residence in the city of Pacajus, Ceará, Brazil. The system monitors the voltage and current of the photovoltaic module and the output of the single-phase inverter. The data obtained is processed and later sent to storage in the cloud. Monitoring can be done through any computational device with Internet access.

KEYWORDS: IoT Monitoring, Photovoltaic pumping, Linux Embedded System.

INTRODUÇÃO

É cada vez maior a utilização da energia solar para produzir eletricidade. No Brasil, por exemplo, devido ao seu alto potencial para gerar energia elétrica através do Sol (MOURA, 2019) somado às políticas governamentais vigentes, é comum visualizar sistemas fotovoltaicos (SFV) nos telhados de casas, comércios, indústrias, escolas e universidades. Até mesmo no campo já existem muitos desses sistemas. Alvarenga (2015) cita que existem milhares de SFV funcionando nas mais remotas regiões do mundo, inclusive para realizar o bombeamento de água. A Figura 1 ilustra um sistema de bombeamento fotovoltaico (FV) no qual um módulo FV capta a energia do Sol e a converte em eletricidade sob a forma de corrente contínua (CC). A energia elétrica produzida alimenta um inversor, que é um equipamento eletrônico que converte CC em corrente alternada (CA) e aciona uma motobomba monofásica que transporta água de um poço para a caixa d'água de uma residência. Este tipo de solução é eficiente, confiável, necessita de pouca manutenção e resolve o problema de abastecimento de água principalmente em locais carentes a um custo relativamente baixo, já que dispensa o uso de baterias, pois, enquanto há luz do dia o sistema acumula água no reservatório elevado e a noite, por ação da gravidade, essa água pode ser utilizada sem o SFV precisar funcionar.

FIGURA 1. Modelo de sistema de bombeamento FV.

Fonte: Autores (2021).

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema de monitoramento para uma planta de bombeamento FV utilizando *software* livre em conjunto com um Sistema Embarcado Linux baseado na plataforma Raspberry Pi (RPi). A pesquisa foi realizada numa residência na cidade de Pacajus, a 50 km de Fortaleza, capital do estado do Ceará, Brasil. As coordenadas geográficas deste local possuem latitude de $-4^{\circ}11'08''$ e longitude $-38^{\circ}27'49''$. O mapa de localização da planta estudada pode ser visualizado na Figura 2.

FIGURA 2. Localização do sistema de bombeamento FV analisado.

Fonte: Autores (2021)

Para atingir o objetivo geral, foi necessário, realizar revisão bibliográfica sobre tipos de sistemas de aquisição de dados (SAD), projetar o hardware necessário para montar o SAD proposto, desenvolver um software capaz de realizar a leitura dos sensores, enviar dados para Internet, e por fim, realizar análise do sistema de monitoramento funcionando. A Figura 3 ilustra as etapas de desenvolvimento do projeto deste SAD.

FIGURA 3. Etapas do projeto.

Fonte: Autores (2021)

Durante a pesquisa desse projeto foi verificado que encontramos projetos relacionados ao monitoramento aplicado a bombeamento FV em vários lugares. Jucá *et al.* (2011) apresentaram no Brasil um novo conceito para aquisição de dados aplicados às plantas de energias renováveis descentralizadas e baseadas em software livre e com uma interface USB. No sistema proposto, as variáveis são diretamente armazenadas na EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*), fazendo com que o sistema de monitoramento seja de menor custo. Este SAD apresenta também uma interface de comunicação TTL/RS-232 que pode ser usada junto a modems GSM/GPRS e um transceptor TTL/RS-485 para uso em dispositivos Modbus. Os dados armazenados podem ser lidos localmente por meio de uma interface USB ou podem ser transmitidos via Wi-Fi para servidores através de um modem GSM/GPRS ou a uma rede Modbus usando o transceptor TTL/RS485. Este sistema desenvolvido foi utilizado para medir dados de velocidade do vento, pressão e tensão de uma unidade de bombeamento de água alimentada por módulos FV.

Mahjoubi *et al.* (2011) na Tunísia desenvolveram um sistema usado para coletar, armazenar e analisar informações de várias estações de bombeamento de água em áreas remotas na região árida no sul desse país. Neste projeto todas as informações podem ser visualizadas através da internet, para isso foi desenvolvido um SAD baseado no microcontrolador PIC16F877 juntamente com um módulo GSM (*Global System for Mobile Communication*) para comunicação sem fio. Para

desenvolvimento do projeto, os autores analisaram várias técnicas de transmissão de dados existentes, tais como transmissão via satélite, rádio, GSM e GPRS (*General Packet Radio Service*), mas, optaram pela comunicação baseada na rede GSM local e, em especial, no serviço de SMS (*Short text Message Service*).

Guerriero *et al.* (2016) Construíram na Itália uma rede de sensores sem fios (Wireless) para monitorar um sistema FV. Neste projeto cada sensor foi ajustado para medir vários parâmetros como corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e ponto de operação do sistema, além disso, o sistema de monitoramento proposto trabalha inclusive em condições de by-pass e permitiu uma completa supervisão do sistema fotovoltaico estudado e sua interação com o inversor em condições de sombreamento.

Dupont *et al.* (2017) Citam em sua pesquisa que existem no Brasil vários projetos de geração FV para realizar o suprimento de energia elétrica a comunidades rurais e/ou isoladas no norte e nordeste brasileiro e dentre eles destaca-se os sistemas autônomos para bombeamento de água visando realizar o abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura. Neste, é desenvolvido um Sistema Embarcado Linux para o monitoramento em nuvem de uma planta de geração FV e aplicada ao bombeamento de fotovoltaico. As soluções embarcadas aplicadas utilizam os módulos ESP 8266 e ESP 32 que se comunicam com um servidor em nuvem via Wi-Fi e enviam dados para uma página na internet. Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do estado do Ceará (LEA-UFC) no Brasil.

Recentemente no Brasil, Silva *et al.* (2020) Utilizaram uma plataforma de desenvolvimento ESP 32 para realizar o controle e monitoramento de um conversor Flyback CC-CC para aplicações FV usando um sistema baseado em IoT. Neste projeto a tensão de um único módulo FV é aumentada e/ou diminuída conforme a necessidade da carga por um circuito equivalente ao conversor Buck-Boost, porém, com a vantagem de ser isolado galvanicamente, pois utiliza um transformador entre a entrada e a saída. Baseados nos estudos citados, foi formulada o Quadro 1 com intuito de caracterizar e comparar o trabalho proposto com os relacionados.

QUADRO 1. Comparativo entre trabalhos relacionados

Autor	Descrição	Acesso à Internet	País
Jucá; Carvalho e Brito (2011)	SAD com interface para modems GSM/GPRS e um transceptor TTL/RS-485 para monitorar bombeamento FV	Sim	Brasil
Mahjoubi; Mechlouch e Brahim (2011)	PIC 16F877 e módulo GSM para monitorar bombeamento FV	Sim	Tunísia
Guerriero et al. (2016)	SAD com sensores sem fios (wireless) usando PIC18LF4620 para monitorar um sistema FV	Sim	Itália
Dupont et al. (2017)	SAD com ESP 32 e ESP8266 para monitorar Bombeamento FV	Sim	Brasil
Silva et al. (2020)	ESP32 monitorando e controlando conversor Flyback para uso em sistemas FV	Sim	Brasil

Após análise das pesquisas citadas optou-se por utilizar neste estudo a plataforma RPi para realizar a aquisição e envio de dados a um serviço em nuvem, pois de acordo com Jucá e Pereira (2018), o RPi é um tipo de computador que possui seu hardware integrado em uma única placa e dentre as principais conexões destaca-se fato deste possuir *Wi-fi* e porta ETHERNET para conexão com a internet, tornando-o bastante propício para uso em projetos de Internet das Coisas (IoT).

MATERIAL E MÉTODOS

Nesse tópico é descrito o sistema de bombeamento FV a ser monitorado, os componentes utilizados para implementação do SAD e a metodologia utilizada.

Bombeamento FV

O sistema de bombeamento de água estudado é composto por um módulo FV, um conversor eletrônico de potência (inversor monofásico) e uma motobomba vibratória submersível. O módulo FV é do tipo policristalino, modelo CS3U-355P de fabricação da Canadian Solar, e possui 144 células tipo *half-cell*, assim, o módulo é dividido em duas partes com 72 células cada para garantir que em condições de sombreamento de parte do módulo, pelo menos 50% da sua potência máxima seja fornecida à carga. No Quadro 2, retirada do *datasheet* do módulo utilizado, podemos ver algumas características deste equipamento em *Standard Test Conditions* (STC), ou seja, considerando a irradiação de 1000 W/m², espectro de massa de ar 1,5 e temperatura das células em 25°C (CANADIAN SOLAR, 2020).

QUADRO 2. Dados técnicos do módulo fotovoltaico CS3U-355P

Especificações	Valores
Potência máxima (P _{máx})	355 W
Número de células	144 half-cell
Tensão de máxima potência (V _{mp})	39,4 V
Corrente da máxima potência (I _{mp})	9,02 A
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	46,8 V
Corrente do curto-circuito (I _{sc})	9,59 A
Tipo de células	Silício Policristalino
Eficiência do módulo	19,89%
Tolerância de potência	0 ~ +5%

O inversor monofásico e a motobomba vibratória submersível utilizado neste bombeamento fotovoltaico são ambos de fabricação da Anauger e juntos formam o kit Solar R100. De acordo com Anauger (2020) a motobomba pode trabalhar numa profundidade máxima de 10 metros e realizar a elevação da água até 40 metros enquanto houver luz do dia. A Figura 4 indica o desempenho esperado desse sistema de bombeamento FV em função da altura manométrica, no entanto, a vazão da água pode variar, pois depende do nível de irradiação solar da região e das condições meteorológicas locais.

FIGURA 4. Curva de vazão do sistema de bombeamento estudado

Fonte: Anauger, 2020.

Durante a pesquisa foi verificado por meio de uma pipeta volumétrica e um cronômetro que a vazão do sistema de bombeamento FV estudado é de aproximadamente 1,1 m³/h às 10:00 de um dia com bastante sol.

Plataforma Raspberry Pi (RPi)

O RPi utilizado neste projeto é o Raspberry Pi 3, modelo B+, uma versão baseada no processador Broadcom BCM2837, com um quad-core de 64 bits, SD RAM LPDDR2 de 1GB e com frequência de 1,4 GHz. A plataforma RPi utilizada neste projeto pode ser observada na Figura 5.

FIGURA 5. Raspberry Pi 3 Modelo B+

Fonte: Jucá e Pereira (2018).

Segundo Jucá e Pereira (2018) antes do funcionamento pleno do RPi é necessário instalar o sistema operacional (SO) *Raspbian*, um *software* base que administra todos os recursos de *hardware* e os programas internos da plataforma, além de prover serviços comuns às aplicações que estão rodando. O *Raspbian* é baseado no Debian GNU/Linux e otimizado para o *hardware* do RPi e pode ser baixado no site da Raspberry Pi Foundation (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2020).

Condicionamento de sinais

Os sinais de todos os sensores utilizados neste projeto são enviados para um conversor analógico-digital (AD) ADS1115 semelhante ao da Figura 6. De acordo com a fabricante Texas Instruments (2018), esse conversor AD possui 16 bits de resolução com leituras de até 860 amostras por segundo, quatro entradas analógicas e interface I²C para comunicação com microcontroladores.

FIGURA 6. ADS1115.

Fonte: Texas Instruments (2018)

Sensores de tensão e corrente contínua (CC)

Para medição da tensão contínua fornecida pelo módulo FV foi utilizado um circuito divisor de tensão resistivo para se obter um valor proporcional ao valor gerado. Os valores dos resistores utilizados foram calculados através da Equação 1.

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{R1}{R1 + R2} \quad (1)$$

O valor da tensão de entrada do circuito (V_{IN}) foi obtido através do Quadro 2 e refere-se à maior tensão fornecida pelo módulo FV em *Standard Test Conditions* (STC), portanto, como esse valor máximo valor ocorre em circuito aberto (V_{OC}), o valor utilizado foi 46,8 V. A tensão de saída do divisor de tensão (V_{OUT}) foi definida em 5 V, valor máximo de leitura do conversor AD utilizado. O resistor R1 foi estipulado em 10 k para obter-se na saída uma corrente máxima de 5 mA, logo, o valor de R2 calculado para o projeto foi de 1,2 k. O circuito proposto para leitura da tensão do módulo FV pode ser visto na Figura 7.

FIGURA 7. Divisor de tensão para leitura da tensão do módulo FV.

Fonte: Autores (2021)

Em relação à corrente contínua fornecida pelo módulo FV, foi utilizado o sensor de corrente ACS712 20A, mostrado na Figura 8. Este sensor tem o princípio de funcionamento baseado no efeito *hall* e permite a medição de corrente contínua ou alternada numa faixa de 0 a 20 A e possui uma saída analógica proporcional de 66mV/A (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2020).

FIGURA 8. Módulo ACS712.

Fonte: Allegro Microsystems (2020)

Sensores de tensão e corrente alternada (CA)

A tensão alternada de alimentação da motobomba que succiona água para a caixa d'água é medida por um módulo ZMPT101B. Este componente suporta uma tensão eficaz de 0 a 250 V e tem como saída uma tensão também alternada com valor de pico a pico igual a 5 V (QINGXIAN ZEMING LANGXI ELECTRONIC, 2020). A vantagem da utilização deste sensor é o fato de permitir ajuste de *offset* de 2,5 V, facilitando a leitura do sinal em sistemas que trabalham de 0 a 5 V. O ZMPT101B pode ser visto na Figura 9.

FIGURA 9. Módulo ZMPT101B.

Fonte: Qingxian Zeming Langxi Electronic (2020)

A corrente elétrica de alimentação da motobomba é medida pelo sensor de corrente não invasivo SCT-013 30 A mostrado na Figura 10. De acordo com a Yhdc (2020), fabricante deste sensor, ele mede correntes CA de 0 até 30 A, de forma não invasiva, ou seja, não há necessidade de abertura do circuito a ser medido para leitura da corrente elétrica alternada, e fornece na saída uma tensão de 0 a 1 V proporcional ao valor da corrente medida.

FIGURA 10. Módulo sensor de corrente não invasivo AC 30A SCT-013.

Fonte: Autores (2021)

Placa de recepção de sinais

Com o intuito de facilitar a leitura da tensão e corrente enviada pelo módulo FV do sistema de bombeamento estudado, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso (PCI) para alimentar todos os sensores. Esta PCI (Figura 11) também recebe o divisor resistivo utilizado na medição da tensão do módulo FV e acomoda o conversor analógico-digital ADS1115 que faz a leitura dos sinais recebidos e envia esses dados via protocolo I²C para a plataforma RPi.

FIGURA 11. PCI recepção de sinais.

Fonte: Autores (2021)

Metodologia

Inicialmente foi montado o *hardware* necessário para realizar a aquisição de dados. Todos os componentes envolvidos no trabalho foram colocados numa caixa plástica semitransparente para facilitar as ligações e acomodar os módulos. Cada item foi fixado e interligado com fios (*jampers*). Uma fonte externa de 5 V em corrente contínua (CC) fornece alimentação para o RPi e aos sensores.

Após a etapa anterior, foi analisada a melhor linguagem de programação para desenvolver o *software* necessário para a pesquisa e optou-se por utilizar a linguagem C, pois segundo Backes (2019) esta é uma das mais bem-sucedidas linguagens de alto nível já criadas, sendo inclusive considerada uma das linguagens de programação mais utilizadas de todos os tempos. Desta forma, foi elaborado um algoritmo para executar as leituras dos sensores pela RPi.

Posteriormente, a leitura das grandezas o algoritmo concatena todos esses parâmetros e cria uma URL (*Uniform Resource Locator*), que é o endereço de acesso a um site, documento ou imagem na internet ou numa intranet, e em seguida, enviado a cada minuto para um formulário eletrônico da *Google* na internet. Este formulário por sua vez cria automaticamente uma planilha eletrônica no aplicativo *Google Sheets* com os valores recebidos e salva no *Drive*, um serviço de disco virtual que armazena, compartilha e permite acesso a arquivos e pastas de qualquer dispositivo móvel, tablet ou computador na nuvem da *Google* (TECHTUDO, 2020).

O *Google Drive* permite o armazenamento de dados em nuvem gratuitamente até 15GB de dados (GOOGLE, 2020). Assim, essa planilha gravada na internet funciona como tipo de banco de dados e armazena todas as informações encaminhadas pela RPi, de modo que qualquer pessoa com o *link* deste arquivo e autorizada pelo responsável do projeto, pode de qualquer lugar do planeta realizar o monitoramento em tempo real de todas as variáveis do sistema de bombeamento FV estudado, por meio de uma planilha de dados e pelos gráficos produzidos por esse arquivo.

A Figura 12 ilustra o diagrama esquemático de funcionamento do sistema de monitoramento proposto. Nesta imagem é visualizado o módulo FV conectado ao inversor e este por sua vez a uma motobomba, além de todos os sensores utilizados no projeto, o conversor AD, a plataforma RPi enviando e recebendo dados da nuvem da Google e o monitoramento desses dados pela internet.

FIGURA 12. Ilustração do sistema de monitoramento para bombeamento FV proposto – (a) Sensor de tensão contínua; (b) Sensor de corrente contínua; (c) Sensor de tensão alternada; (d) Sensor de corrente alternada; (e) Conversor AD; (f) Raspberry Pi.

Fonte: Autores (2021)

RESULTADOS

Neste tópico são apresentados detalhes da montagem e do funcionamento do sistema de monitoramento implantado e também os resultados do desenvolvimento da pesquisa.

Montagem do sistema de monitoramento

Na Figura 13 pode ser visualizado o local de instalação do SAD. Esta residência possui um sistema de bombeamento FV proprietário.

FIGURA 13. Residência onde foi instalado do SFV para bombeamento de água.

Fonte: Autores (2021)

A Figura 14 apresenta os componentes utilizados no projeto de aquisição e monitoramento de dados. A organização no interior da caixa foi feita de forma a facilitar a conexão de todos os itens com a placa de recepção de sinais e desta com a RPi.

FIGURA 14. SAD desenvolvido.

Fonte: Autores (2021)

Análise do funcionamento

Durante o funcionamento do projeto de aquisição e monitoramento de dados, as informações que são cadastradas no arquivo gravado no *Google Drive* sofrem

atualização a cada minuto, o que faz gerar uma relação de valores conforme pode ser visto na Figura 15. Neste arquivo foram criadas duas planilhas, uma chamada “Tabela de dados”, e outra, chamada de “Gráficos”. Na planilha “Tabela de dados” são gravados todos os valores enviados pelo RPi para monitoramento on-line na nuvem. Já a planilha “Gráficos” foi idealizada para montar automaticamente curvas do histórico das variáveis do sistema de bombeamento FV estudado, bem como da sua eficiência.

FIGURA 15. Planilha com os dados recebidos.

	A	B	C	D	E	F	G
	Período (Dia/Hora)	Tensão Módulo FV [V]	Corrente Módulo FV [A]	Tensão Motobomba [V]	Corrente Motobomba [A]	Potência Gerada [W]	Rendimento [%]
1							
2	13/04/2021 13:20	42,46	0	0	0	0	0
3	13/04/2021 13:21	42,49	0	0	0	0	0
4	13/04/2021 13:22	38,71	3,5	117,12	4,61	135,49	18,52
5	13/04/2021 13:23	38,68	3,49	116,22	4,6	134,99	18,71
6	13/04/2021 13:24	38,52	3,48	116,53	4,61	134,05	18,61

Fonte: Autores (2021)

Com a implantação do SAD proposto foi possível acompanhar a evolução da tensão produzida pelo módulo FV ao longo do período de horas de Sol. No gráfico ilustrado na Figura 16 é possível verificar todas as oscilações que ocorrem no valor tensão produzida durante o dia.

FIGURA 16. Acompanhamento da tensão gerada.

Fonte: Autores (2021)

A Figura 17 apresenta o comportamento de todas as variáveis monitoradas pelo SAD durante o período de funcionamento do bombeamento FV. Pode-se observar que a tensão do módulo FV (curva na cor azul) sofre uma ligeira queda no momento analisado, mas a corrente elétrica mantém-se constante (gráfico na cor vermelha).

FIGURA 17. Variáveis do sistema de bombeamento FV.

Fonte: Autores (2021)

O monitoramento de todas essas variáveis permitiu também calcular a eficiência média do sistema de bombeamento FV estudado, tomando por base a relação entre a potência de saída sobre a de entrada. Neste caso foi utilizada a Equação 2 para determinar essa eficiência instantânea, onde são utilizados os valores de tensão e corrente medidos a cada minuto juntamente com o fator de potência da motobomba informado pelo fabricante. Com o auxílio da Equação 3 é calculada a eficiência média, ou seja, a média das eficiências durante o tempo de funcionamento do sistema de bombeamento FV. No decorrer dos testes foi observado que a eficiência média total de 18,61%.

$$\eta(t) = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} = \frac{V_{ca} \cdot i_{ca} \cdot \cos\phi}{V_{cc} \cdot i_{cc}} \quad (2)$$

$$\eta_{médio} = \frac{\eta(t_1) + \eta(t_2) + \dots + \eta(t_n)}{\Delta t} \quad (3)$$

A Figura 18 exibe a curva de eficiência do sistema durante o funcionamento da motobomba em um dia ensolarado.

FIGURA 18. Eficiência do sistema com a motobomba funcionando.

Fonte: Autores (2021)

O acesso aos dados monitorados no sistema de bombeamento FV estudado pode ser verificado ao acessar o link da planilha eletrônica desenvolvida e gravada no *Google Drive*. Desta forma, por meio de um computador, *tablet*, *smartphone* ou dispositivo computacional conectado à Internet, todas as informações podem ser visualizadas. A Figura 19 ilustra o acesso ao monitoramento do sistema.

FIGURA 19. Acesso ao monitoramento do sistema de bombeamento.

Fonte: Autores (2021)

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do sistema de monitoramento para uma planta de bombeamento FV na cidade de Pacajus-CE, utilizando *software* livre em conjunto com um Sistema Embarcado Linux baseado na plataforma Raspberry Pi (RPI) foi bastante exitoso.

Pesquisas futuras na área de energias renováveis para predição e detecção de falhas em sistemas FV, poderão ser realizadas utilizando este projeto como referência quando da utilização de sensores de baixo custo em conjunto com os conceitos de Internet das Coisas (IoT).

Pretende-se em trabalhos futuros realizar a análise da eficiência e eficácia do SAD desenvolvido, através da comparação com um sistema de aquisição de dados comercial.

REFERÊNCIAS

ALLEGRO MICROSYSTEMS. **ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1kV RMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor.** Disponível em:

<<https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/zero-to-fifty-amp-integrated-conductor-sensor-ics/acs712>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

ALVARENGA, C. A. **Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica.** Belo Horizonte/MG. Solenerg Engenharia e Comércio Ltda, 2015. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/Bombeamento-de-agua-com-energia-solar-Solenerg-Engenharia.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ANAUGER. **Manual Solar.** Disponível em: <https://anauger.com.br/wp-content/uploads/2019/12/SITE-49177-MANUAL_SOLAR_PORTUGUES__REV-16-SET-19-CURVA.pdf>. Acesso em 20 abr. 2021.

BACKES, A. **Linguagem C: Completa e descomplicada.** 2ª Ed. - Rio de Janeiro: Elsevier editora, 2019.

CANADIAN SOLAR. **KuMax.** Disponível em: <https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2020/05/Canadian_Solar-Datasheet-KuMax_CS3U-P_EN.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

DUPONT, I. M; PEREIRA, R. I. S.; JUCÁ, S. C. S.; CARVALHO, P. C. Internet of Things Data Acquisition System Applied to Photovoltaic Water Pumping. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 10, October/2018, DOI: 10.1109/TLA.2018.8795134.

GOOGLE. **Drive**. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/drive/>>. Acesso em: 09 mai. 2021.

GUERRIERO, P., DI NAPOLI, F.; VALLONE, G.; D'ALESSANDRO, V.; DALIENTO, S. Monitoring and Diagnostics of PV Plants by a Wireless Self-Powered Sensor for Individual Panels. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 6, n. 1, p. 286-294, Jan/ 2016, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2015.2484961.

JUCÁ, S. C. S.; CARVALHO, P. C. M.; BRITO, F. T. A low cost concept for data acquisition systems applied to decentralized renewable energy plants. **Sensors**, v. 11, n. 1, p. 743 - 756, Jan/2011, DOI: 10.3390/s110100743.

JUCÁ, S. C. S.; PEREIRA, R. I. S. **Aplicações práticas de sistemas embarcados Linux utilizando Raspberry Pi**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Pod Editora, 2018.

MAHJOUBI A.; MECHLOUCH R. F.; BRAHIM A. B. A low cost wireless data acquisition system for a remote photovoltaic (PV) water pumping system. **Energies**, v. 4, n. 1, p. 68–89, Jan/ 2011, DOI: 10.3390/en4010068.

MOURA, T.; ALCÓCER, J. C.; PINTO, O.; DOMINGOS, L. Geração de Energia Fotovoltaica: Análise Comparativa entre Redenção no Brasil e Maputo em Moçambique. **Enciclopédia Biosfera**, v.16, n.29 - 2019, DOI: 10.18677/EnciBio_2019A179.

QINGXIAN ZEMING LANGXI ELECTRONIC. **ZMPT101B Current-type Voltage Transformer**. Disponível em: <<https://www.micro-transformer.com/2ma-2ma-voltage-transformer-ZMPT101B.html>>. Acesso em: 14 ago. 2020.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Image with desktop and recommended software based on Debian Buster**. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspberry-pi-os>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SILVA, A.W.N.; BEZERRA, L. D. S.; JUCÁ, S. C. S.; PEREIRA, R. I. S.; MEDEIROS, C. M. S. Control and monitoring of a Flyback DC-DC converter for photovoltaic applications using embedded IoT system. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 18, p. 1892 - 1899, November 2020, DOI: 10.1109/TLA.2020.9398630.

TECHTUDO. **O que é Google Drive e como usar?** Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/04/o-que-e-google-drive-e-como-usar.html>>. Acesso em: 09 jun. 2021.

TEXAS INSTRUMENTS. **Analog-to-digital converters (ADCs) – Texas Instruments**. Disponível em:<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf?ts=1597859852947&ref_url=https

%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fdata-converters%252Fadc-circuit%252Fproducts.html>. Acesso em: 20 mar. 2021.

YHDC. **Split core current transformer SCT013**. Disponível em: <<https://www.poweruc.pl/collections/split-core-current-transformers2/products/split-core-current-transformer-sct013-rated-input-5a-100a?variant=6876754903084>>. Acesso em: 14 mai. 2021.