

A INTERNET DAS COISAS EM SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Francisco Reginaldo Conceição Gonçalves¹<https://orcid.org/0009-0008-1104-198X>Petrônio Vieira Júnior²**RESUMO**

Este artigo apresenta uma proposta de aplicação de Internet das Coisas na monitoração de geração fotovoltaica. Aquisição e transmissão de dados na planta são realizadas por rotinas executadas por microcontrolador onde são verificadas medidas como intensidade de radiação solar, temperatura, umidade, tensão elétrica e corrente elétrica objetivando o diagnóstico de falhas. Por meio da computação em nuvem, plataformas voltadas à Internet das Coisas e interfaces dedicadas, os dados são processados, armazenados e disponibilizados, em tempo real, com ampla capacidade e mobilidade, permitindo o monitoramento remoto do sistema. O sistema é implementado em bancada experimental, adquirindo dados de placas de conversores empregados na conformação de energia e confeccionados com arquitetura aberta atendendo painéis com capacidade de 130 Wp.

Palavras-chave

Aquisição de dados. Banco de dados. Computação em nuvem. Geração fotovoltaica. Sistema de supervisão.

THE INTERNET OF THINGS IN PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEMS

ABSTRACT

This article presents a proposal for applying the Internet of Things to monitoring photovoltaic generation. Data acquisition and transmission in the plant are performed by routines performed by a microcontroller where measures such as solar radiation intensity, temperature, humidity, electrical voltage and electrical current are verified, aiming at fault diagnosis. Through cloud computing, Internet of Things platforms and dedicated interfaces, data is processed, stored and made available in real time, with ample capacity and mobility, allowing for remote monitoring of the system. The system is implemented on an experimental bench, acquiring data from converter plates used in energy conformation and manufactured with open architecture, serving panels with a capacity of 130 Wp.

Keywords

Data acquisition. Database. Cloud computing. Photovoltaic generation. Supervisory System.

¹ Engenheiro Eletricista, Banco do Brasil S/A, Pará, rege.eng@gmail.com

² Orientador, Pós-Doutorado. Universidad Pontificia Comillas, U.P.C., Espanha. Professor da Universidade Federal do Pará. E-mail: petronio@ufpa.br



1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo as tecnologias vêm evoluindo, com desdobramentos nos âmbitos sociais, políticos e econômicos. Atualmente, a Indústria 4.0 baseia-se no uso de sistemas físicos cibernéticos que trocam informações e cooperam de forma autônoma através da Internet das Coisas (IoT).

A Internet das Coisas pode ser vista como uma infraestrutura global de informações conectada à rede mundial de computadores para trocar informações entre pessoas e “coisas” e somente entre “coisas” [28].

Os Sistemas Ciber-Físicos (CPS), introduzidos pela indústria 4.0, são integrações de computação, rede e processos físicos [25] que permitem a extração, a análise, a transmissão de dados e tomada de decisão, permitindo atuação remota, via Internet [16].

O conjunto de tecnologias de armazenamento e processamento do grande volume de informações oriundas de redes sociais, sensores de máquinas, sensores meteorológicos, bancos de dados, GPS, transações bancárias, entre outras, pode ser compreendido como Big Data. Estima-se que são gerados todos os dias 2,5 quintilhões (10¹⁸) de bytes em dados [17].

Em um contexto global, a Nuvem (*Cloud*) é o conjunto de recursos e serviços de Tecnologia da Informação (TI), mantidos em servidores, que possibilitam acesso a arquivos ou aplicativos de qualquer lugar da rede. A computação em nuvem reduz custos com aquisição de servidores, licenças de software, administração de *datacenters*, liberando recursos para as atividades fim [14].

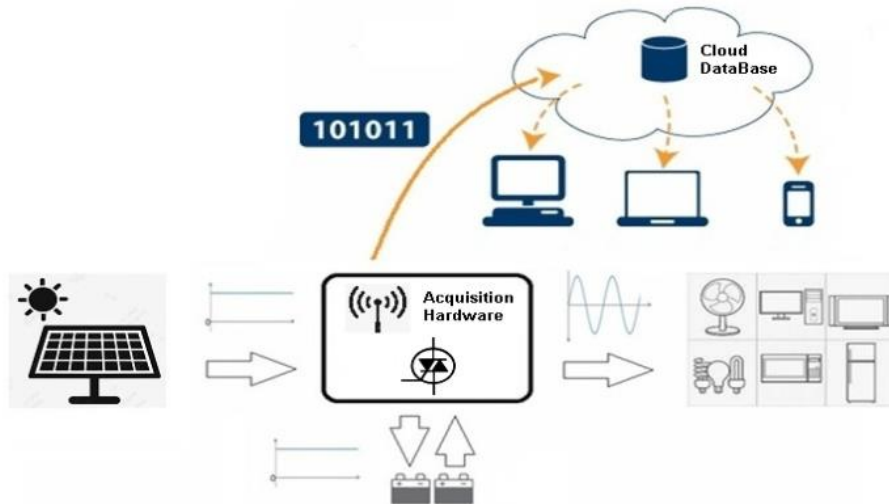
A Internet dos Serviços (IoS) oferece soluções de armazenamento e processamento em Nuvem, interligando componentes inteligentes e pessoas para alcançar um objetivo comum. A integração entre Internet das Coisas e Internet dos Serviços possibilitou a quarta revolução industrial [23].

2 SISTEMA SUPERVISÓRIO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Nos dias atuais observa-se um número elevado de dispositivos inteligentes que geram e trocam dados, interconectados pela internet. No cenário da IoT cada vez mais são utilizadas ferramentas para armazenamento e recuperação de dados [21].

Neste trabalho é proposto um sistema supervisorio para transmissão e recepção de dados em pontos de monitoração de um sistema fotovoltaico, em tempo real, permitindo uma visão do seu funcionamento e o diagnóstico remoto de falhas.

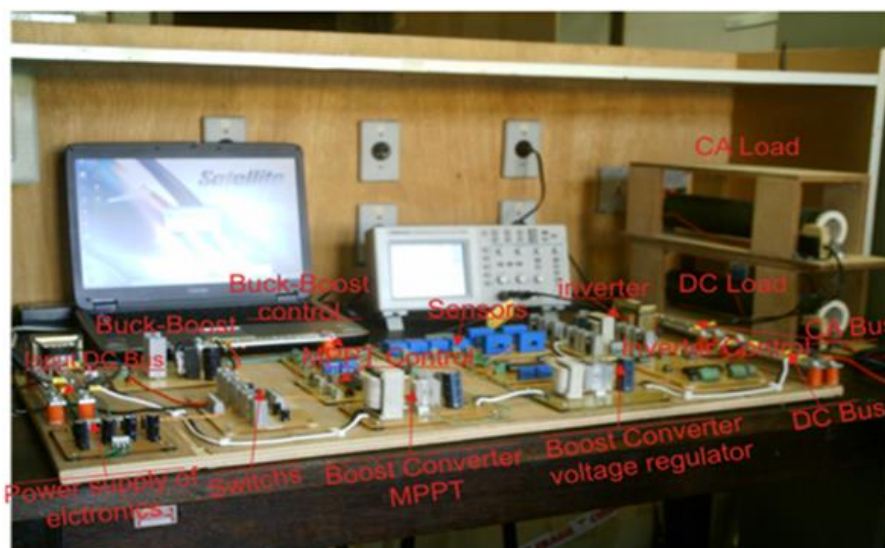
Figura 1. Diagrama do Sistema Supervisorio para geração fotovoltaica



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Através de rede sem fio, os dados são enviados a um Banco de Dados em Nuvem, como ilustrado na figura 1 e, também, à plataforma ThingSpeak, como ilustrado na figura 7. O usuário remoto obtêm as informações acessando uma página web, que recupera os registros do banco de dados de forma periódica e automática.

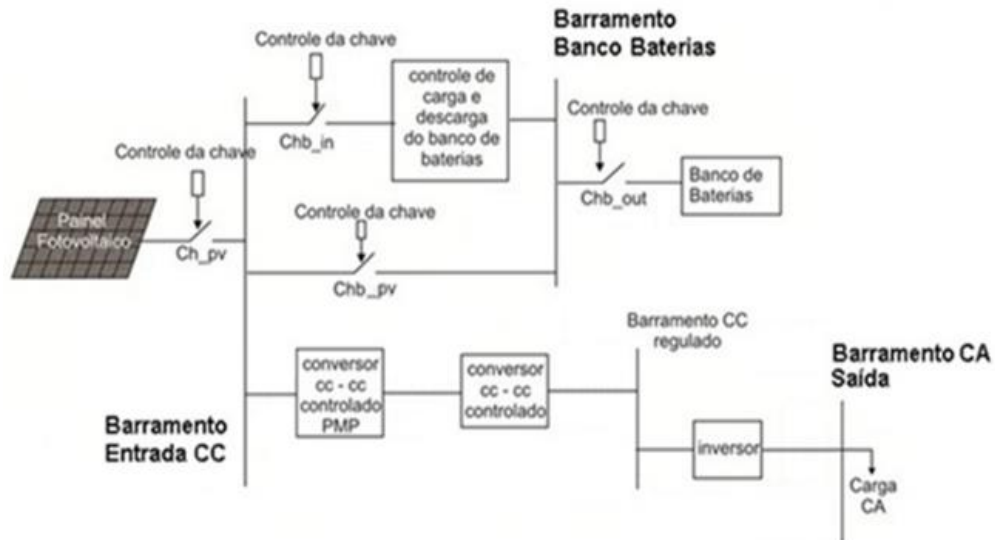
Figura 2. Hardware de aquisição em arquitetura aberta



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

A obtenção das variáveis dos pontos de monitoração é realizada em quatro bancadas de geração de energia fotovoltaica Off-Grid, mostradas na figura 2, com esquemático mostrado na figura 3.

Figura 3. Diagrama do Sistema Supervisório para geração fotovoltaica



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

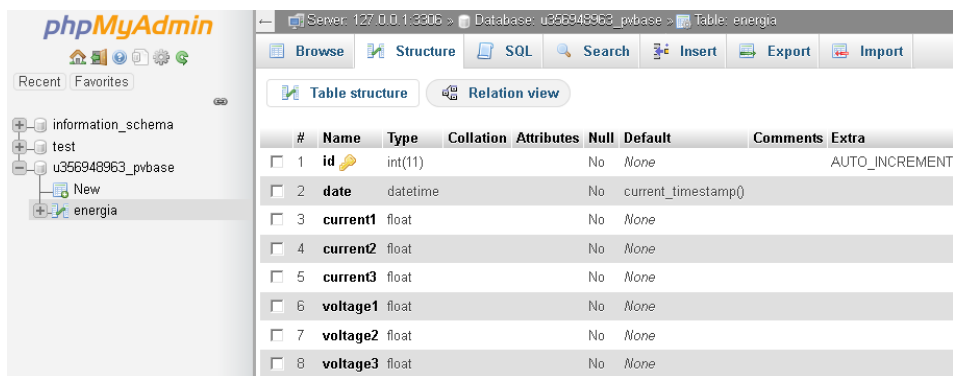
3 BANCO DE DADOS

A Computação em Nuvem é um paradigma computacional eficiente para processamento de repositórios de dados [27].

Os Banco de Dados em Nuvem oferecem armazenamento e recuperação de dados com rapidez, acesso em qualquer momento e lugar, ampla capacidade e escassez de falha humana, sendo cada vez mais utilizados [7].

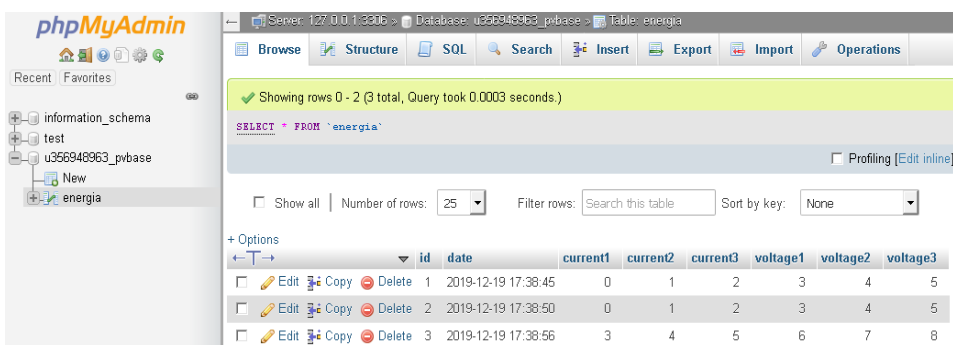
Neste trabalho é desenvolvido um Banco de Dados em Nuvem configurado em servidor SQL, com mostrado nas figuras 4 e 5.

Figura 4. Banco de Dados - Modo estrutura



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Figura 5. Banco de Dados – Modo registro



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

As informações registradas no Banco de Dados, que refletem a situação do sistema fotovoltaico, são exibidas ao cliente por uma página web com atualização automática a cada 5 segundos. É também disponibilizado um histórico com valores em instantes anteriores, o que permite análise da evolução dos cenários com vistas à detecção de falhas. A escrita e leitura dos dados no Banco é utilizada com linguagem PHP. Esta página web é mostrada na figura 6.

Figura 6. Página web acessada pelo cliente

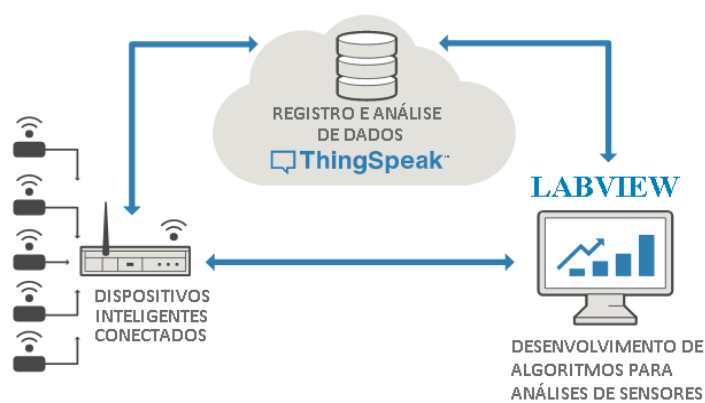
DATA / HORA	CORRENTE 1 (A)	CORRENTE 2 (A)	CORRENTE 3 (A)	TENSAO 1 (V)
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

4 PLATAFORMA THINGSPEAK

No contexto de IoT, a plataforma ThingSpeak oferece recursos de comunicação simples para dispositivos conectados [20]. A figura 7 mostra a aplicação plataforma Thingspeak neste trabalho.

Figura 7. Aplicação da Plataforma Thingspeak

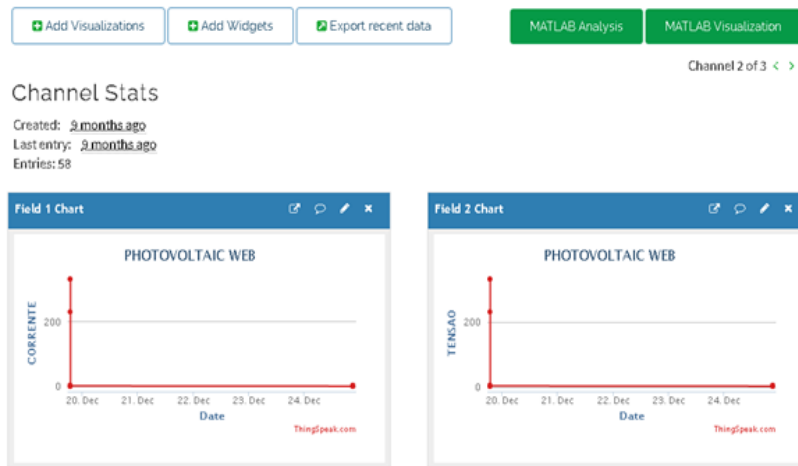


Fonte: www.fossguru.com/iot-platform-best-iot-platforms-for-internet-of-things-framework, 22/07/2021

Os dados recebidos pela plataforma Thingspeak são armazenados e ficam à disposição para recuperação pelo cliente. É possível descarregar os dados em três formatos, Json, XML, ou CSV, utilizando um navegador conectado à internet, através de requisição HTTP GET do tipo <https://api.thingspeak.com/channels/feeds>.

Também é disponibilizada uma página HTML onde são plotados gráficos com os dados em função do tempo, com escala, forma e aparência editáveis pelo usuário, tornando possível a análise da evolução das variáveis na planta. A figura 14 mostra esta interface.

Figura 8. Página web acessada pelo cliente

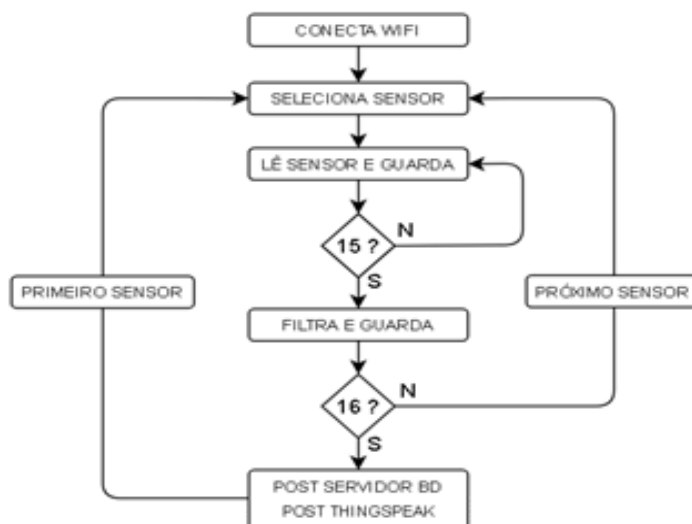


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

5 PROGRAMA NO MICROCONTROLADOR AQUISIÇÃO E ENVIO DE DADOS

O microcontrolador executa, num primeiro momento, 15 leituras do mesmo sensor. Em seguida organiza esse vetor de 15 elementos em ordem crescente, usando o método bolha e, por fim, calcula a média aritmética dos 5 elementos centrais. Dessa forma são descartados valores muito menores e muito maiores, como um filtro. Esse ciclo é repetido até que todos as variáveis do sistema de geração tenham sido lidas.

Figura 9. Fluxograma de aquisição e envio de dados



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Num segundo momento, o microcontrolador envia os dados obtidos realizando 2 requisições HTTP com método post na World Wide Web apontando para: 1) a página PHP que

recebe os dados e os registra no Banco de Dados. 2) ao servidor Thingspeak. A figura 9 mostra o fluxograma do algoritmo executado pelo microcontrolador.

6 SENSORES, CONDICIONAMENTO DE SINAL E ANTENA

Sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, relacionando informações sobre uma grandeza a ser mensurada, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. Um sensor nem sempre possui as características elétricas necessárias para ser utilizado, sendo necessário um circuito de interface que produz sinal elétrico para sua efetiva utilização [30].

Sensores analógicos apresentam sinal contínuo, admitindo infinitos valores, na saída. Já sensores digitais apresentam sinal discreto, ou seja, com valores finitos entre seus intervalos. Nos dois casos, há características relevantes, como segue:

- Sensibilidade - razão entre uma variação no sinal de saída e uma variação no sinal de entrada;
- Exatidão - quanto a medida realizada pelo sensor se desvia em relação à realizada por um medidor padrão;
- Precisão - quantidade de valores iguais dentro de um conjunto global de medições.
- Linearidade - comparação entre a curva dos valores medidos pelo sensor e a curva de calibração;
- Alcance - toda a faixa de valores de entrada de um sensor;
- Velocidade de resposta - velocidade com que a medida fornecida pelo sensor alcança o valor final do processo;
- Outros como: Dimensões, custo, vida útil e disponibilidade no mercado.

Atualmente, muitas aplicações necessitam de medições realizadas por sensores. Os sinais de saída dos sensores requerem condicionamento para convertê-los em uma forma que possam ser usados pelos dispositivos que efetuam a aquisição dos dados. As principais funções do condicionamento de sinal são:

- Alimentação de sensores - muitos tipos de sensores necessitam de alimentação elétrica para funcionar.
- Conversão de sinais - a saída do sensor pode ser um sinal CC ou CA, assim como uma resistência, uma capacitância ou indutância, entre outros. A correspondência com a grandeza medida pode estar relacionada aos valores CC do sinal ou valores médio, RMS, ou da

frequência do sinal CA. A conformação de sinais consiste em dar forma ao sinal de saída dos sensores para torná-lo útil ao dispositivo de aquisição de dados;

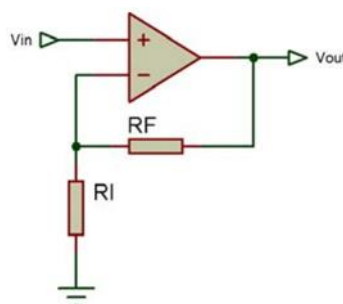
- Filtragem de sinais - bloqueia valores indesejados, relacionados a ruídos ou valores incorretos quando a taxa de amostragem é baixa em comparação com o conteúdo de frequência dos sinais que estão sendo medidos. A filtragem entrega ao dispositivo de medição apenas dados válidos, evitando leituras incorretas. Neste trabalho é implementada a filtragem por software.

- Linearização de sinais - necessária quando os sinais produzidos por um sensor não possuem uma relação linear com a medição física. Atinge-se maior precisão, pois os parâmetros para a linearização são avaliados durante a calibração do sensor.

- Amplificação/Compressão de sinais - A conversão analógico para digital (ADC) impõe limites de tensão do sinal de entrada para que possa ser digitalizado. Caso o sinal de saída do sensor tenha nível de tensão muito baixo, é necessária a amplificação do sinal; caso o sensor produza um sinal com nível de tensão muito alto, é requerida a compressão do sinal.

Neste trabalho, os sinais de saída dos sensores passam por um condicionamento, que é realizado por amplificador na configuração não inversor, como mostra a figura 3.2a. Usa-se o amplificador operacional pois sua alta impedância de entrada mitiga a interferência nos sinais fornecidos pelos sensores e sua baixa impedância de saída acrescenta energia aos sinais para que possam ser utilizados pelo dispositivo de aquisição. Os ganhos nos amplificadores foram ajustados para cobrir a faixa de variação das variáveis na planta, produzindo valores correspondentes na faixa de variação da entrada do conversor analógico-digital do microcontrolador, que é 0V a +5V.

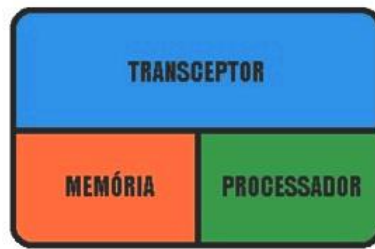
Figura 10. Amplificador na configuração não inversor



Fonte: SCHWARZ, 2012

Atualmente, o termo antena é aplicado a dispositivos capazes de realizar processamento e transmissão de dados, indo além do elemento que apenas concentrava a energia da onda eletromagnética em determinados sentidos para maior alcance. Neste contexto, a figura 11 mostra os componentes de uma antena IoT.

Figura 11. Componentes de uma antena IoT



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Neste trabalho, para a transmissão dos dados do arranjo gerador fotovoltaico à plataforma de supervisão utiliza-se o modelo NodeMCU ESP8266, da fabricante Espressif Systems, mostrado na figura 12, que é uma placa de desenvolvimento com microcontrolador de 32 bits, Wi-Fi integrado, interface usb-serial, 1 conversor analógico-digital, 16 portas digitais e analógicas de entrada e saída, memória flash de 4 MB, faixa de alimentação CC de 5 a 12V, neste trabalho referido pelo termo antena. Na atualidade este dispositivo é inserido no contexto de Indústria 4.0 e Internet of Things e pode ser programado com as linguagens de programação Lua, Python, JavaScript ou até mesmo com a IDE do Arduino.

A escolha deste modelo deve-se ao fato de incorporar microcontrolador e transmissor Wi-Fi em um só dispositivo, direcionado para plataformas móveis com restrições de espaço e energia, em detrimento dos módulos Bluetooth e Zigbee que requerem um microcontrolador adicional para aquisição e transmissão dos dados.

Figura 12. Dispositivo eletrônico NodeMCU ESP8266

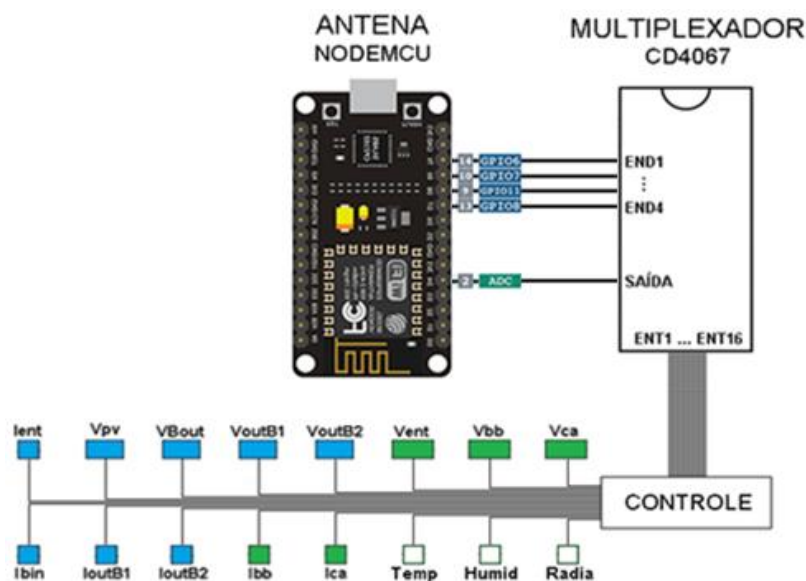


Fonte: www.espressif.com, 22/07/2021

A existência de apenas um conversor analógico digital neste dispositivo requer a utilização de um multiplexador analógico para possibilitar a aquisição de cada um dos 16 sinais de interesse no sistema fotovoltaico. O multiplexador escolhido é o CD4067, que possui 16 canais. Para cada leitura do ADC, o programa no microcontrolador escreve um palavra de 4 bits nas entradas de endereçamento do multiplexador, que conecta a entrada correspondente à saída.

Na figura 13 tem-se o esquemático da ligação da antena, multiplexador, sensores e controle, que realiza o envio das variáveis da planta que são: sete valores de tensão, seis valores de corrente, 1 valor de temperatura, 1 valor de umidade e 1 valor de radiação solar.

Figura 13. Esquemático: antena, multiplexador e sensores



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

O microcontrolador escreve uma palavra de 4 bits (END1 ... END4) nas entradas de endereçamento do mux que, por sua vez, seleciona o canal de entrada correspondente (ENT1 ...ENT16). A conversão analógico digital do canal selecionado é realizada pelo microcontrolador. O ciclo se repete até que todos as 16 variáveis sejam lidas.

7 ARRANJO DA GERAÇÃO E PONTOS DE MONITORAMENTO

Como já mencionado, este trabalho propõe a utilização de sensores nos pontos chave do sistema de geração fotovoltaica, de modo a ter-se uma visão geral do seu funcionamento, em tempo real.

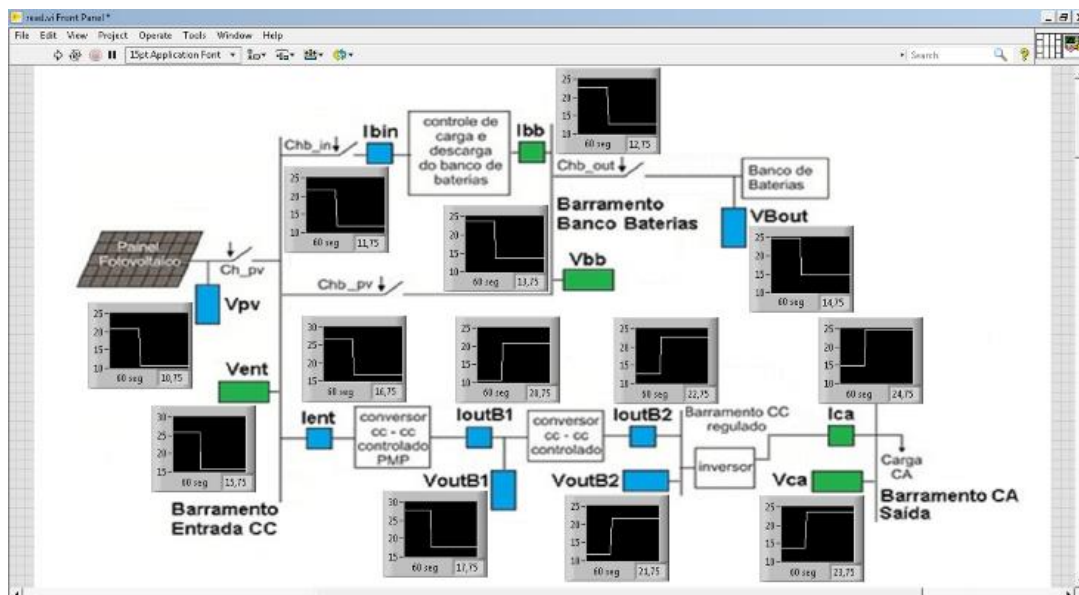
Monitorando a tensão do painel solar, é analisado se o sistema está usando o banco de baterias quando ocorre diminuição da geração fotovoltaica, ou se o sistema retoma o carregamento de baterias e a alimentação das cargas quando o painel solar volta a gerar na tensão nominal.

Analisando a tensão do banco de baterias, pode-se verificar se o sistema está o carregando com a tensão projetada para que não haja corrente de carga elevada; ou mesmo se está desligando a alimentação das cargas após o banco de baterias ter descarregado no percentual projetado.

O software Labview constitui-se em uma ferramenta computacional largamente utilizada pela comunidade científica para análise de sinais. Oferece programação em blocos para desenvolvimento de aplicações de medição ou controle, com interação entre diversas

plataformas. A figura 14 mostra o Painel Frontal no Labview com os gráficos localizados em um diagrama ilustrativo do sistema de geração fotovoltaico.

Figura 14. Painel Frontal no software Labview



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Usa-se, no Software Labview, blocos de abertura e fechamento de conexões HTTP e blocos de requisição GET, dentro de um loop para execução repetida com período configurável de 1 segundo. O módulo GET realiza a requisição HTTP usando o link na sua entrada e disponibiliza a resposta em 2 saídas: cabeçalho e corpo. As variáveis oriundas do sistema de geração fotovoltaico, como tensão na saída do painel solar, corrente na entrada do carregador de baterias, corrente na saída do inversor, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, entre outros, gravados no servidor Thingspeak, são obtidos a partir da saída corpo (do módulo de requisição GET). Utilizando módulos de manipulação de string, identifica-se a posição de cada uma das 16 variáveis e os extrai-se de forma individualizada, para serem plotados em tempo real nos gráficos do Painel Frontal do Labview.

8 CONCLUSÃO

Este artigo entrega uma plataforma para o desenvolvimento de detecção e diagnóstico de falhas em sistema de geração fotovoltaica para comunidades isoladas. No decorrer do trabalho percebeu-se que o processo de leitura das variáveis de interesse foi conciliado de forma eficiente com o funcionamento de um sistema de geração fotovoltaico, viabilizando a monitoração pela internet (IoT). O trabalho foi desenvolvido baseado na implementação de uma planta de geração fotovoltaica Off-Grid destinada a comunidades isoladas, com os mesmos parâmetros e variáveis do projeto que está sendo implementado,

totalizando 16 variáveis, cujos dados são adquiridos através da seleção de canal em um multiplexador. Planejou-se que as especificações dos sensores definidas e apresentadas sejam observadas na implementação do sistema de geração. Foi desenvolvida e implementada neste trabalho, ainda, uma placa de circuito para auxiliar a interligação entre sensores, multiplexador e microcontrolador. O sistema supervisor foi desenvolvido com telas para atender os diversos modos de falha descritos no trabalho. A disponibilização dos dados em nuvem, apresentados através de interfaces desenvolvidas para permitir análise, detecção e determinação de defeitos ou falhas no sistema de geração fotovoltaica e possibilitar um diagnóstico, se mostrou eficiente. Verificou-se funcional a integração à IoT, com transmissão de dados simulados, que refletem a situação do sistema fotovoltaico em tempo real, acessíveis de qualquer lugar, a qualquer momento e com histórico de valores que possibilita a compreensão da evolução de cenários do sistema de geração fotovoltaica de energia. Foram atingidos os objetivos deste trabalho, que entrega seleção e especificação de sensores para a monitoração, assim como ferramentas desenvolvidas para a plataforma de diagnóstico que foram: placa multiplexadora de sinais de sensores de monitoração, transmissão do sinal para a nuvem, banco de dados em nuvem, enlaces entre os serviços de IoT e sua integralização, sistema supervisor com telas de monitoração e um modelo para simulação computacional do sistema de geração.

REFERÊNCIAS

ABID, A. J., OBED, A. A., AL-NAIMA, F. M., 2018. **Web-Based System Design to Monitor and Control the Mismatching Effects in a Vast Solar Farm**. Reric International Energy Journal.

ALI, M. H., RABHI, A.,HAJJAJI, A. E.,TINA, G. M., 2016. **Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems**. Elsevier–Energy Procedia.

APPIAH, A. Y., ZHANG, X., AYAWLI, B. B. K., KYEREMEH, F., 2019. **Review and Performance Evaluation of Photovoltaic Array Fault Detection and Diagnosis Techniques**. Hindawi International Journal of Photoenergy.

ASARE, P., BROMAN D., 2012. **CPS, Cyber Physical Systems**. Disponível em: <<http://cyberphysicalsystems.org/>> . Acesso em: 09 abril 2017.

BALACHANDRAN, B. M., PRASAD, S., 2017. **Challenges and Benefits of Deploying Big Data Analytics in the Cloud for Business Intelligence**. Elsevier - Procedia Computer Science.

BORLASE, S. **Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions**. 1nd ed. CRC Press, 2016. 607p. ISBN 978-1439829059.

BSA. **Estudo da BSA ilustra o impacto mundial da revolução de dados**. 2015. Disponível em: <http://www.bsa.org/news-and-events/news/2015/october/en10202015datareport?sc_lang=pt-BR>. Acesso em: 31 maio 2018.

- CARVALHO, D. P., OLIVEIRA, L. G. M., HORTA, L. B. P., BUIATTI, G. M., 2018. **Métodos de Diagnóstico de Falhas para Arranjos Fotovoltaicos**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, RS, Brasil.
- CHENG, Z., WANG, Y., CHENG, S., 2014. **A New Method of PV Array Faults Diagnosis in Smart Grid**. Hindawi Publishing Corporation, Journal of Applied Mathematics.
- CUZZOCREA, A., SONG, I., DAVIS, K. C., 2011. **Analytics over Large-Scale Multidimensional Data: The Big Data Revolution**. DOLAP'11. Glasgow, Scotland, UK.
- DHIMISH, M., HOLMES, V., DALES, M., 2017. **Parallel fault detection algorithm for grid-connected photovoltaic plants**. Elsevier - Renewable Energy.
- HARROU, F., DAIRI, A., TAGHEZOUIT, B., SUN, Y., 2019. **An unsupervised monitoring procedure for detecting anomalies in photovoltaic systems using a one-class Support Vector Machine**. Elsevier - Solar Energy.
- HARROU, F., SUN, Y., TAGHEZOUIT, B., SAIDI, A., HAMLATI, M-E., 2017. **Reliable fault detection and diagnosis of photovoltaic systems based on statistical monitoring approaches**. Elsevier - Solar Energy.
- HEROLD, R., HERTZOG, C. **Data Privacy for the Smart Grid**. 1st ed. CRC Press, 2019. 250s. ISBN 978-0367377823.
- HUND, T. D., KING, D. L., 1995. **Analysis Techniques Used on Field Degraded Photovoltaic Modules**. Conference: Workshop on Photovoltaic Performance and Reliability, Golden, CO, United States.
- KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J., 2013. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**. ACATECH. Disponível em: <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf>. Acesso em: 06 abril 2018.
- LOUREIRO, A. A. F., NOGUEIRA, J. M. S., RUIZ, L. B., MINI, R. A. F., NAKAMURA, E. F., FIGUEIREDO, C. M. S., 2003. **Redes de Sensores Sem Fio**. XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores.
- MADETI, S. R., SINGH, S. N., 2017. **A comprehensive study on different types of faults and detection techniques for solar photovoltaic system**. Elsevier - Solar Energy.
- MOMOH, James A. **Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis**. 1st ed. IEEE Computer Society Press, 2012. 216p. ISBN 978-0470889398.
- MOREIRA, J. R. S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1st ed. LTC, 2017. 412p. ISBN 978-8521630258.
- MUÑOZ, J., LORENZO, E., MORENO, F.M., MARROYO, L., GARCIA, M., 2008. **An Investigation into Hot-Spots in Two Large Grid-Connected PV Plants**. Published online 14 July 2008 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/pip.844.
- PHAN, T. A. M. **Cloud Databases for Internet-of-Things Data**. 2013. 86s. Master's Thesis, Technical University of Denmark. Kongens Lyngby.

PFLANZNER, T., KERTESZ, A., 2016. **A Survey of IoT Cloud Providers**. MIPRO'16, May 30, 2016, Opatija, Croatia.

SCHWARZ, L., 2012. **Amplificadores Operacionais**. Revista Ilha Digital (<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br>).

SHENG, S. **Photovoltaic Nanogrid: Parallel Operating Inverters and Energy Management Flow**. 2017. 235s. Doctor Degree Dissertation in the Field of Electrical Engineering. Northeastern University Boston, Massachusetts. 2017.

SILVESTRE,S., SILVA,M. A., CHOUDER, A., GUASCH, D.,KARATEPE, E., 2014. **New procedure for fault detection in grid connected PV systems based on the evaluation of current and voltage indicators**. Elsevier -Energy Conversion and Management.

SOLÓRZANO, J., EGIDO, M. A., 2013. **Automatic fault diagnosis in PV systems with distributed MPPT**. Elsevier - Energy Conversion and Management.

THOMAZINI, D., ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações**. 9ª ed. São Paulo. Érica, 2020. 248p.

TRIKI-LAHIANI, A., ABDELGHANI, A. B., BELKHODJA, I. S., 2018. **Fault Detection and Monitoring Systems for Photovoltaic Installations: A Review**. Elsevier - Renewable and Sustainable Energy Reviews.

WIESNER, S., HAUGE, J. B., THOBEN, K-D., 2015. **Challenges for Requirements Engineering of Cyber-Physical Systems in Distributed Environments**. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS), Tokyo, Japan.