

## **Grupo de Estudo de Sistemas de Informação e Telecomunicação para Sistemas Elétricos-GTL**

### **INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO IOT EM REDE APLICADOS EM PLANTAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

**RENATA IMACULADA SOARES PEREIRA (1)\*; SANDRO CÉSAR SILVEIRA JUCÁ (2); PAULO CESAR MARQUES DE CARVALHO (3); CLEONILSON PROTÁSIO DE SOUZA (4)**  
**UFPB (1); IFCE (2); UFC (3); UFPB (4)**

#### **RESUMO**

A rede de monitoramento IoT desenvolvida no presente projeto foi implementada e testada em três plantas fotovoltaicas (FV) conectadas à rede: Fortaleza - CE, Maracanaú - CE e Colônia - Alemanha. Os sistemas embarcados IoT propostos são baseados em software livre multiplataforma e uma página chamada Web Monitor foi desenvolvida para consulta online dos dados e para monitoramento em tempo real das três plantas. O monitoramento de variáveis meteorológicas e de temperatura de módulos FV individuais tem o objetivo de fornecer dados para a análise de eficiência de geração elétrica. Nos resultados, os dados obtidos são analisados e comparados.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Internet das Coisas, Geração Fotovoltaica, Rede de monitoramento

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Sistemas de aquisição e monitoramento de dados são importantes na avaliação do potencial solar de uma região, no prognóstico de falhas, na verificação prática de dados do projeto, bem como na otimização da eficiência de conversão (1). Com o crescimento do número de plantas fotovoltaicas (FV) descentralizadas para geração de energia elétrica, a modularização destes sistemas de monitoramento só é possível com a redução dos custos e flexibilização da instalação e da manutenção. Desta forma, a rede de monitoramento em Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) desenvolvida no presente projeto propõe a redução de custos associados ao hardware e ao software de dataloggers e módulos de sensoriamento comerciais, que são importados, de alto custo e com controle e armazenamento de dados via softwares proprietários. Adicionalmente, estas opções apresentam conexões limitadas de sensores com baixa flexibilidade de expansão, manutenção restritiva ao fabricante, além de longas distâncias de comunicação por cabo.

O monitoramento IoT foi desenvolvido, implementado e testado em três plantas FV: Fortaleza - CE, Maracanaú - CE e Colônia - Alemanha. As três plantas são conectadas à rede, porém somente as duas plantas FV instaladas no Brasil dispõem dos dados de geração elétrica. Tendo em vista que os dados de tensão CC, corrente CC, potência e energia elétrica gerada pela planta FV conectada à rede são fornecidos pelo inversor, optou-se por não instalar sensores redundantes para medição destas variáveis, reduzindo os custos e eliminando componentes passíveis de falha em uma instalação regulamentada e vistoriada pela concessionária.

Com o intuito de modularizar, reduzir custos e oferecer um sistema de monitoramento online prático e rápido no processamento dos dados, é proposto um sistema de monitoramento de software e hardware livres utilizando os módulos IoT ESP 32 (2) e ESP 8266 (3). O módulo IoT ESP 32 foi configurado e implementado para coletar

(\*) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica – Laboratório de Microengenharia – CEAR – CEP 58051-970 João Pessoa, PB – Brasil, Tel: (+55 85) 99794-7611 – Email: renata@dee.ufc.br

dados de temperatura do módulo FV e irradiância solar; e o módulo IoT ESP 8266 (versão mais básica que o ESP 32) foi aplicado ao monitoramento da velocidade do vento, temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Os sistemas embarcados IoT em rede se comunicam com um servidor MySQL na Nuvem de forma sem fio via WiFi. O uso de código aberto e multiplataforma (Linux, Windows® e Mac OSX) permite maior interação e acessibilidade ao usuário. Foi desenvolvido também um ambiente online em linguagem PHP chamado de Web Monitor para consulta online dos dados e para monitoramento em tempo real das três plantas FV.

Com relação à localização das plantas FV monitoradas, Fortaleza apresenta média diária de irradiação global de aproximadamente 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia, enquanto Colônia apresenta 3 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Em Fortaleza, na Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus do Pici, os dados de medição de temperatura do módulo FV obtidos mostram máximas de 45°C a partir de 8h da manhã com pico de 60°C ao meio-dia em dias ensolarados; em Colônia estes valores só são atingidos no verão, normalmente em junho e julho. Na Europa, por exemplo, onde a temperatura ambiente é reduzida e as estações do ano são bem definidas, a temperatura do módulo FV não se torna um fator tão preocupante para a eficiência como é no Brasil, principalmente no Nordeste, onde são registradas 12 horas de Sol por dia a maior parte do ano, excetuando-se dias chuvosos.

As perdas em forma de calor na célula solar provocam um aumento na temperatura do módulo FV, o que reduz a eficiência elétrica, aumentando a corrente de saturação da célula. Como consequência, cada grau acima da temperatura nominal de operação da célula (do inglês, *Nominal Operating Cell Temperature* - NOCT) corresponde à diminuição de 0,45% na eficiência da célula (4) para o módulo de silício policristalino utilizado (5). NOCT corresponde a 45°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) para o módulo em uso, porém deve-se observar a folha de dados (*datasheet*) do produto pois muda conforme a tecnologia FV empregada pelo fabricante. Observa-se também a necessidade do monitoramento em módulos FV individuais para uma análise mais precisa e para facilidade na detecção de falhas. Este aspecto representa mais uma justificativa para uma proposta com custo reduzido, modularidade e praticidade de instalação, uma vez que plantas FV podem ter centenas de módulos.

A rede de monitoramento sem fio proposta para a análise de dados meteorológicos, de geração FV e da temperatura do módulo FV, foi projetada para a coleta de dados e comprovação prática de valores até então estimados com modelos matemáticos. Devido à disponibilidade limitada de dados medidos ao redor do mundo, um modelo para estimação da temperatura do módulo FV validado é necessário (6), enquanto não se tem uma rede de monitoramento IoT mundial. Diversos artigos realizam o modelamento matemático para estimar a eficiência da célula FV de acordo com o efeito da temperatura a partir de variáveis como velocidade do vento, irradiância solar e temperatura ambiente (7). O modelo de Faiman é comparado a outros e validado para cinco diferentes regiões do globo (8). Há uma vasta literatura disponível de pesquisas sobre modelamento de temperatura do módulo FV de silício a partir de dados medidos e cálculos estimativos. Porém, após aplicação dos modelos de Duffie e Beckman (9), Ross (10) e Chenni (11) em pesquisa com dados do Laboratório de Energias Alternativas (LEA-UFC), foi verificado que nenhum se adequou às condições da região equatorial de Fortaleza (12). LEA-UFC é o mesmo local onde a planta FV de Fortaleza utilizada no presente projeto está instalada. Torna-se necessário então, implementar monitoramento de temperatura dos módulos FV para obtenção de dados medidos na prática.

Dados meteorológicos foram também monitorados com o intuito de possibilitar uma análise mais completa sobre o efeito destas variáveis na resposta de temperatura dos módulos: irradiância solar (piranômetro Hukseflux LP02), temperatura ambiente (Pt100 com escudo de proteção) e velocidade do vento (anemômetro de conchas NRG #40C). Os sistemas de monitoramento desenvolvidos podem ser expandidos para a coleta de dados de outros tipos de sensores analógicos ou digitais, bem como para outros tipos de aplicações usando fontes renováveis de energia. Assim, através dos dados medidos é possível também desenvolver e validar modelos matemáticos, além de poder comparar com modelos já existentes na literatura. A rede IoT encontra-se em funcionamento e constante expansão; aberta para o monitoramento de plantas FV de instituições parceiras com o intuito de construir um banco de dados para pesquisa.

## 2.0 - REDE IOT PARA MONITORAMENTO FV

A rede IoT desenvolvida é composta atualmente por três plantas FV: Colônia - Alemanha (Lat.: 50.933730, Long.: 6.988664); Fortaleza - Brasil (Lat.: -3.737491, Long.: -38.572781) e Maracanaú - Brasil (Lat.: -3.872287, Long.: -38.612233). O funcionamento de uma unidade da rede de monitoramento () segue as seguintes etapas:

(\*) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica – Laboratório de Microengenharia – CEAR – CEP 58051-970 João Pessoa, PB – Brasil, Tel: (+55 85) 99794-7611 – Email: renata@dee.ufc.br

1. Aquisição de dados com inversor FV e módulos IoT ESP 32/ESP 8266 (camada de sensoriamento);
2. Envio dos dados do inversor e dos módulos IoT aos servidores na Nuvem via WiFi (camada de gateway);
3. Armazenamento dos dados nos bancos de dados (camada de serviço);
4. Exibição dos dados aos usuários no site PHB e no Monitor Web desenvolvido (camada de aplicação).

Na camada de aplicação, os usuários autorizados podem acessar os dados diretamente no banco de dados MySQL e monitorar o sistema em tempo real através do Web Monitor desenvolvido em PHP. O usuário é protegido por meio de autenticação. As aplicações podem ser acessadas de qualquer lugar do mundo por qualquer dispositivo computacional (smartphone, tablet, notebook) com acesso à Internet.

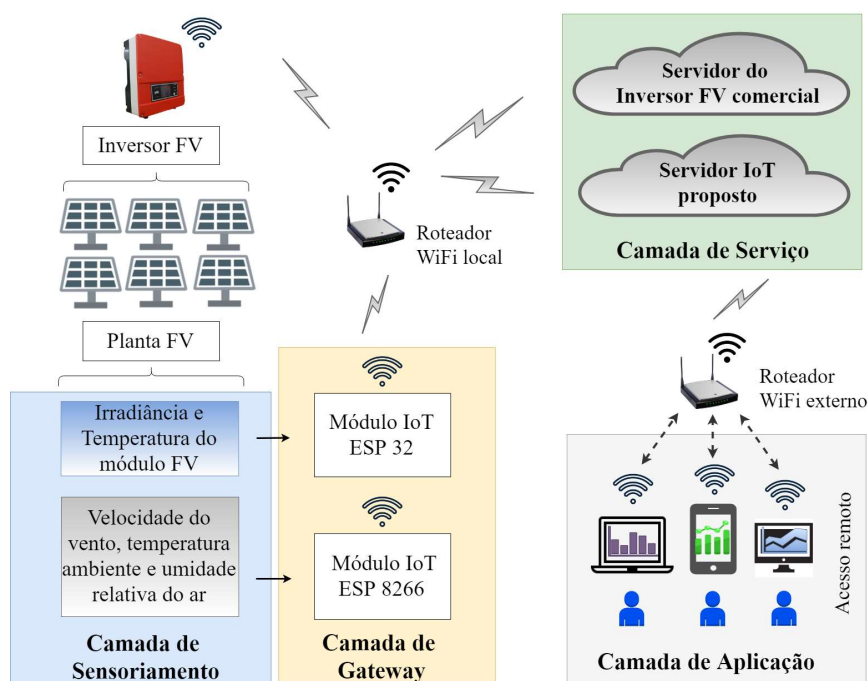


Figura 1 – Rede de monitoramento IoT desenvolvida

Cada uma das três plantas FV tem uma tabela específica reservada no mesmo banco de dados MySQL de um servidor na Nuvem para o armazenamento dos dados adquiridos. Portanto, as três plantas trabalham paralelamente enviando dados de todos os sensores a cada minuto, durante 24 horas/dia. A norma IEC 61724:1998 especifica que o intervalo de amostragem para parâmetros que variam diretamente com a irradiância deve ser de 1 minuto ou menos. Para parâmetros que possuem constantes de tempo maiores, como temperatura, um intervalo arbitrário pode ser especificado entre 1 minuto e 10 minutos (13).

A planta FV de Fortaleza é composta de 6 módulos de 250 Wp (potência total de 1500 Wp) e a planta de Maracanaú, por 5 módulos de 270 Wp (potência total de 1350 Wp). Os módulos em Fortaleza são orientados para o Norte geográfico com inclinação de 5 graus; e em Maracanaú, 10 graus para o Sul. Devido à posição geográfica de Fortaleza e de Maracanaú, 3,74 e 3,87 graus ao sul da linha do Equador, respectivamente, a orientação dos módulos FV para o Norte ou para o Sul em até 15 graus não oferece prejuízos à geração de energia elétrica.

Para a medição de irradiação solar foi instalado um piranômetro LP02 no mesmo ângulo de inclinação dos módulos FV, como mostrado na (a), para medição no plano inclinado. Um anemômetro NRG #40C (b)) também foi instalado com o intuito de medir a velocidade do vento sobre a superfície dos módulos FV. Esta variável contribui para a dissipação do calor e é considerada em modelamentos matemáticos para estimativa teórica da

temperatura dos módulos FV. Por fim, a terceira variável necessária para a validação dos dados experimentais é a temperatura ambiente. O sensor Pt100 com escudo de radiação implementado pode ser visto na (a). A Figura 3 mostra o módulo IoT ESP32, a *string box* e o inversor FV (14) utilizados em Fortaleza.

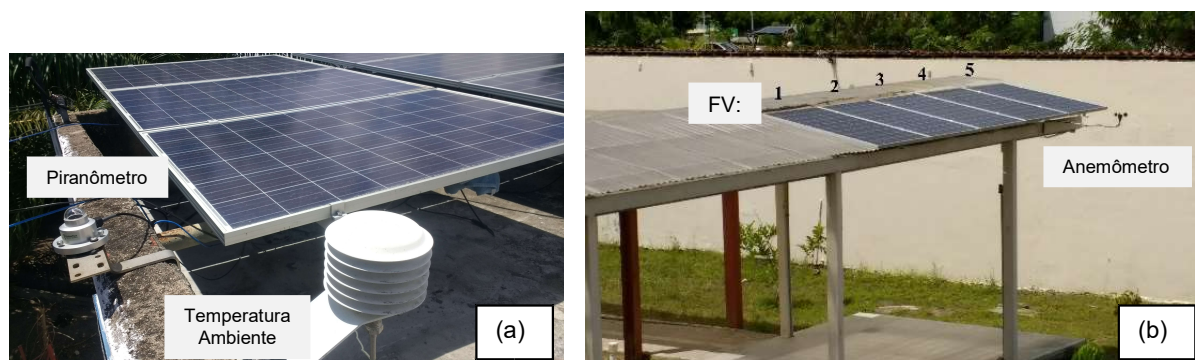


Figura 2 (a) – Planta FV, sensor de temperatura ambiente e piranômetro em Fortaleza;  
(b) – Planta FV e anemômetro em Maracanaú



Figura 3 – Módulo IoT ESP 32, *string box* e inversor da planta FV de Fortaleza

No caso do piranômetro utilizado, o valor de saída é em  $\mu\text{V/W/m}^2$ . Assim, o sensor de Fortaleza tem uma sensibilidade de  $18,56 \mu\text{V/W/m}^2$  e o piranômetro de Maracanaú tem uma saída de  $15,07 \mu\text{V/W/m}^2$ . Como o sinal de saída é muito baixo para ser lido pelo conversor analógico-digital (ADC) do ESP 32, que interpreta valores com precisão de 1 mV, foi necessário desenvolver um condicionamento de sinal baseado em amplificador operacional a ser aplicado em ambas as plantas de Fortaleza e Maracanaú. Para a conversão dos valores de resistência do Pt100 em valores de tensão de acordo com as especificações do ADC do ESP 32, foi desenvolvido um circuito de condicionamento de sinal. Neste projeto, a conexão de três fios foi implementada. Para a medição de tensão de acordo com a variação de resistência do Pt100, foi necessário utilizar a Ponte de Wheatstone. À medida que a resistência aumenta com a temperatura, uma pequena variação de tensão pode ser medida. A cada grau, a variação é de apenas  $0,385 \Omega$ . Assim, é preciso amplificar o sinal que será lido pelo AD do ESP 32. O circuito de amplificação diferencial foi desenvolvido utilizando o CI LM358N.

### 3.0 - RESULTADOS

Três parâmetros importantes para analisar a geração fotovoltaica são: Produtividade, Fator de Capacidade (FC) e Taxa de Desempenho (TD). A produtividade ( $Y$ , do inglês *Yield*) é a razão entre a energia elétrica gerada ( $\text{kWh}$ ) e a potência instalada ( $\text{kW}_p$ ) da planta FV (Equação 1). Assim, é possível comparar a produtividade de uma planta com outra de potência instalada diferente.



$$Produtividade(Y) = \frac{Energia\ gerada}{Potência\ instalada} \left( \frac{kWh}{kWp} \right) \quad (1)$$

Fator de capacidade (FC) é o índice em percentagem que representa a razão entre a eletricidade gerada em um período e a capacidade de geração nominal neste mesmo período. Este índice permite comparar a geração de energia elétrica de fontes diferentes. FC é determinado pela Equação 2.

$$FC = \frac{Energia\ gerada}{Potência\ instalada * 24 * n^o\ dias} (\%) \quad (2)$$

A taxa de desempenho, TD ou PR (do inglês *Performance Ratio*), é a razão entre a produtividade e a irradiação disponível, ou seja, entre Y e a quantidade de horas de Sol a 1.000 W/m<sup>2</sup> no período analisado (Equação 3). TD considera todas as perdas de eficiência considerando o aumento da temperatura do módulo, variação da irradiação, sujidade, perdas nas conexões e no inversor. As plantas FV (módulos, inversor, cabos, acessórios) podem atingir TD média de 80% até 90% ao longo do ano (15), sendo possível analisar a eficiência global do sistema FV. Obtendo-se baixo valor, é possível atuar sobre um fator de perda específico, como sujidade, limpando os módulos em período adequados, elevando o desempenho do sistema e a eficiência (16).

$$TD = \frac{Produtividade}{Irradiação} (\%) \quad (3)$$

TD é normalmente estimada em projeto com dados climatológicos da região de instalação e inserção de perdas. Porém, como o monitoramento proposto dispõe de dados de irradiação medidos pelo piranômetro a partir de março de 2018, a irradiação foi calculada a partir da soma das médias horárias de irradiação em cada dia e em seguida somadas para gerar o valor de irradiação disponível no mês. Utilizando os dados medidos, os parâmetros de geração FV (Produtividade, FC, TD e irradiação mensal) no período de um ano (mar/18 a mar/19) são apresentados na Tabela 1. Observa-se que o mês de maior produtividade em Maracanaú durante o período analisado foi out/18 com o total de 149,2 kWh/kWp (FC = 20,1%) a partir de irradiação de 189,3 kWh/m<sup>2</sup>. Por outro lado, em Fortaleza o mês de maior produtividade foi set/18, com o valor de 172,7 kWh/kWp (FC = 24,0%) e irradiação de 180,0 kWh/m<sup>2</sup>. A média anual da taxa de desempenho no período analisado foi de 91% em Maracanaú e 96% em Fortaleza. Apesar da proximidade das duas localidades (distância de 20 km), a geração em Fortaleza é maior. A planta de Fortaleza localiza-se a 4 km da praia e a de Maracanaú, a 19 km. Maracanaú é também uma região com microclima serrano característico por maior precipitação (maior quantidade de nuvens), maior incidência de ventos e temperatura ambiente mais baixa. Dados dos sensores meteorológicos implementados serão utilizados para analisar o comportamento do clima em cada uma das regiões.

Tabela 1 – Parâmetros de geração das plantas FV de Maracanaú e Fortaleza

Mês	Maracanaú				Fortaleza			
	Produtividade (kWh/kWp)	FC (%)	Taxa de Desempenho (%)	Irradiação Mensal (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade (kWh/kWp)	FC (%)	Taxa de Desempenho (%)	Irradiação Mensal (kWh/m <sup>2</sup> )
Mar/18	130,2	17,5	92	142,0	133,7	18,0	96	138,6
Abr/18	118,0	16,4	91	130,1	139,8	19,4	95	147,9
Mai/18	112,4	15,1	78	143,7	138,3	18,6	90	152,8
Jun/18	113,3	15,7	77	147,4	150,7	20,9	92	164,4
Jul/18	119,6	16,1	76	156,7	157,2	21,1	91	172,2
Ago/18	135,9	18,3	78	173,3	162,4	21,8	93	175,0
<b>Set/18</b>	142,7	19,8	78	181,8	<b>172,7</b>	<b>24,0</b>	96	<b>180,0</b>
<b>Out/18</b>	<b>149,2</b>	<b>20,1</b>	79	<b>189,3</b>	168,5	22,7	94	178,6
Nov/18	143,8	20,0	80	179,2	148,5	20,6	94	158,6
Dez/18	138,9	18,7	94	148,3	126,0	16,9	91	138,0
Jan/19	134,7	18,1	124	108,9	119,9	16,1	94	127,9
Fev/19	98,8	14,7	123	80,6	96,7	14,4	102	94,9

Mar/19	87,9	11,8	117	75,0	113,9	15,3	126	90,6
--------	------	------	-----	------	-------	------	-----	------

A Figura 4 mostra a produtividade e o FC das plantas de Maracanaú e Fortaleza. O primeiro semestre do ano (jan a jun) nessa região do Nordeste próxima à linha do Equador é o período chuvoso e o segundo semestre (jul a dez) é o período seco. Como pode ser visto, os meses de menor geração nas duas cidades foram fevereiro e março de 2019. Pode-se visualizar na Figura 5 a irradiação diária média calculada a partir da irradiância medida pelos dois piranômetros instalados. Em Fortaleza, o mês com maior irradiação diária foi set/18, com o valor de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>; e em Maracanaú, out/18, com o valor médio diário de 6,1 kWh/m<sup>2</sup>.

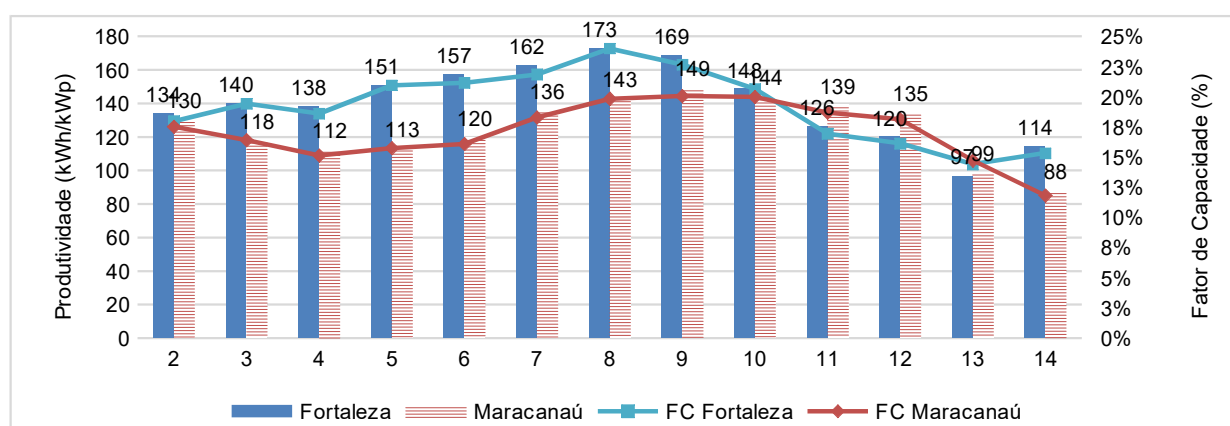


Figura 4 – Produtividade e FC das plantas de Fortaleza e Maracanaú

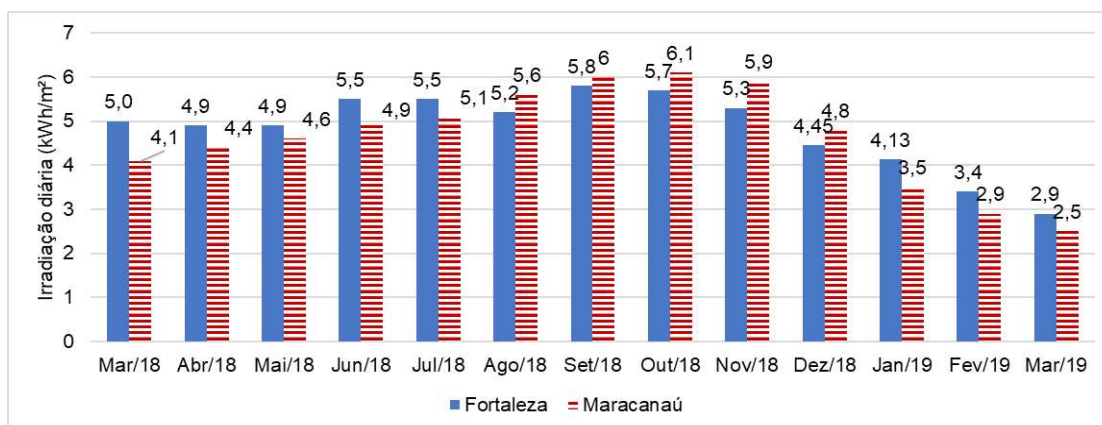


Figura 5 – Irradiação diária em Fortaleza e Maracanaú

Considerando out/18 como o mês de maior produtividade em Maracanaú, o dia 09/10/18 foi o dia de maior geração, totalizando 7,7 kWh (5,7 kWh/kWp). A Figura 6 mostra o valor mensal obtido a partir das médias diárias do mês. No horário de 12:10h há um pico de irradiância no valor de 924 W/m<sup>2</sup> e temperatura dos módulos FV de 48°C. Nesta interface é possível selecionar o local, o período e os sensores que se deseja obter os gráficos.

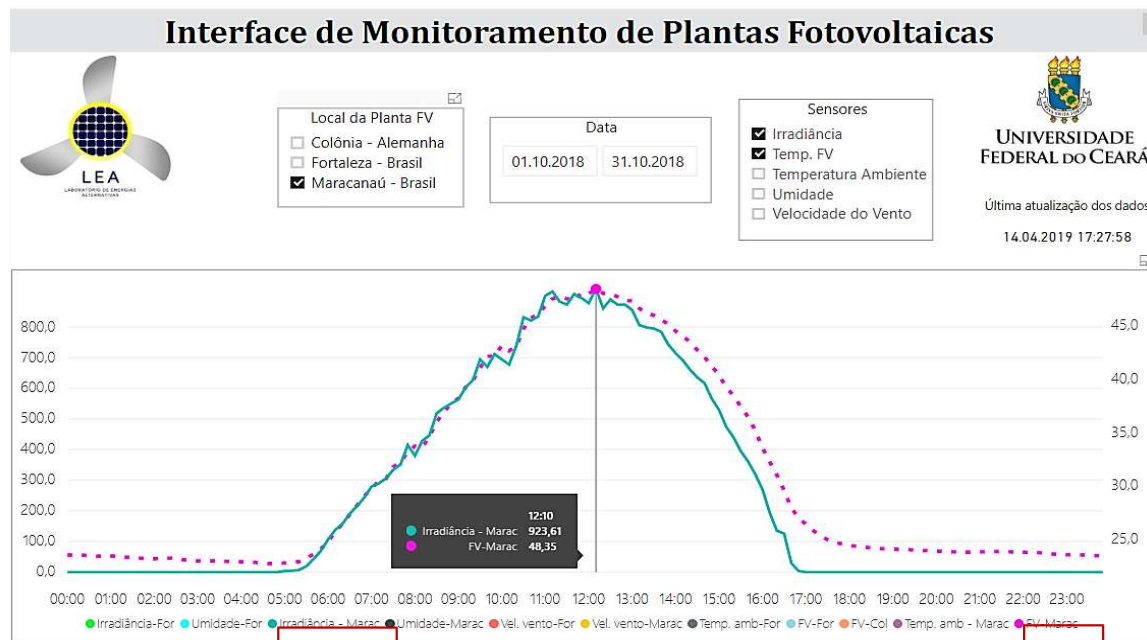


Figura 6 – Irradiância e temperatura do módulo FV da planta de Maracanaú em out/18

Na Figura 7 e na Figura 8 são mostradas as curvas de irradiância e de temperatura dos módulos FV no dia de maior geração do melhor mês na planta de Maracanaú. Observa-se que o dia foi ensolarado, apresentando uma curva com poucos cortes e com valores de aproximadamente  $1.000 \text{ W/m}^2$  em torno de 11 às 13h. A temperatura dos módulos FV foi medida no centro dos cinco módulos (FV 1a, 2a, 3a, 4a e 5a) e na borda de três deles (FV 1b, 3b e 5b), conforme indicado na legenda da Figura 8. Observa-se que o módulo 5, à direita da *string* (b), local que favorece maior ventilação, apresenta temperatura em torno de  $42^\circ\text{C}$  ao meio-dia enquanto o módulo 1, à esquerda, apresenta valores em torno de  $48^\circ\text{C}$ , conforme mostrado na Figura 8.

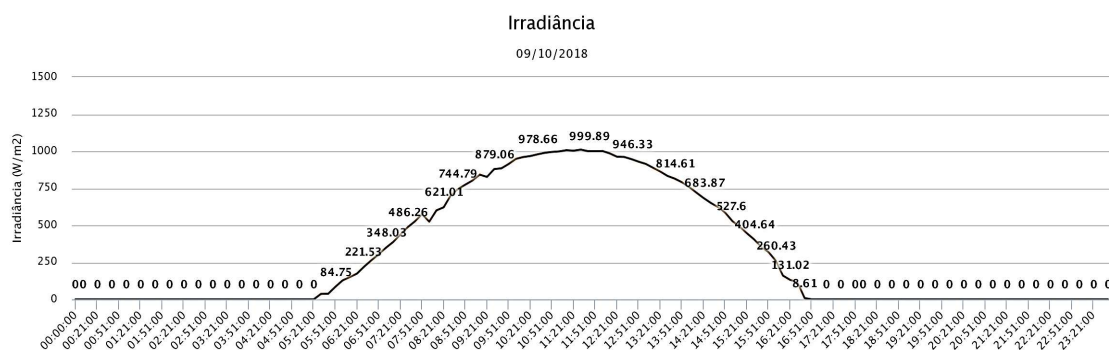


Figura 7 – Irradiância em Maracanaú no dia 09/10/18

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

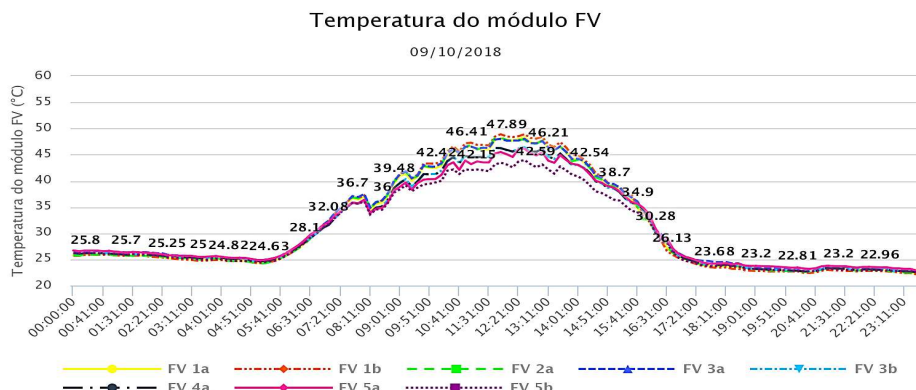


Figura 8 – Temperatura dos módulos FV da planta de Maracanaú em 09/10/18

Em Fortaleza, set/18 foi o melhor mês do período analisado. Na Figura 9, a curva de irradiância para o dia de maior geração deste mês (21/09/18) é mostrado. A geração neste dia foi de 9,4 kWh (6,3 kWh/kWp). Observa-se que pela manhã o dia foi nublado, apresentando queda de irradiância em torno de 9h, o que causou a queda da temperatura dos módulos FV neste horário (Figura 10). De 11 às 13:30h, a temperatura dos seis módulos mantém-se em torno de 56°C, valores maiores que em Maracanaú, devido à instalação da planta sobre uma laje de concreto, ocasionando menor ventilação dos módulos.

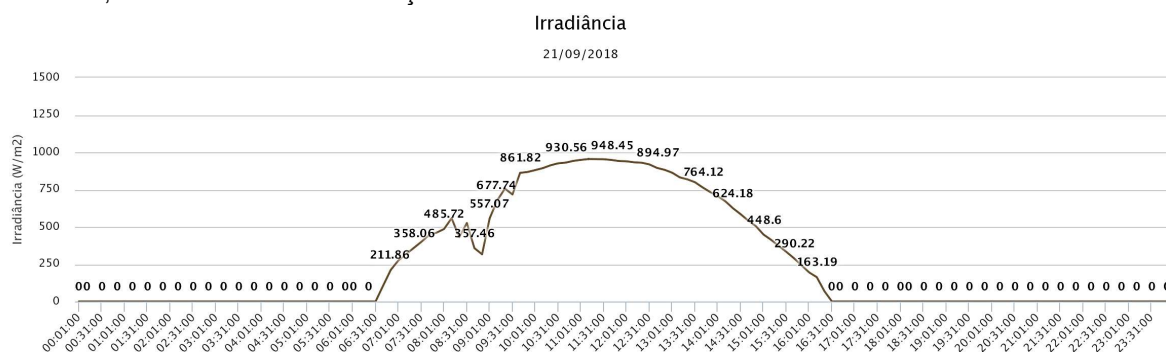


Figura 9 – Irradiância em Fortaleza no dia 21/09/18

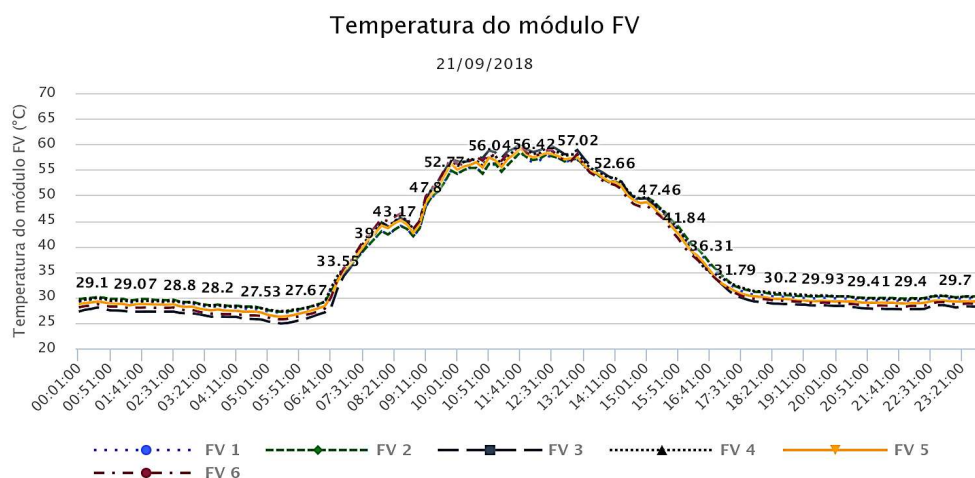


Figura 10 – Temperatura dos módulos FV da planta de Fortaleza em 21/09/18



10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

Como pode ser visto na Figura 11, a média mensal da velocidade do vento em set/18 foi maior em Maracanaú, atingindo valores acima de 3 m/s pela manhã, o que proporciona maior ventilação, reduzindo a temperatura dos módulos FV. Por outro lado, em Fortaleza, a velocidade do vento média no mesmo período atingiu o valor máximo de 1 m/s em torno do meio-dia, o que reduz a ventilação e aumenta a temperatura dos módulos.

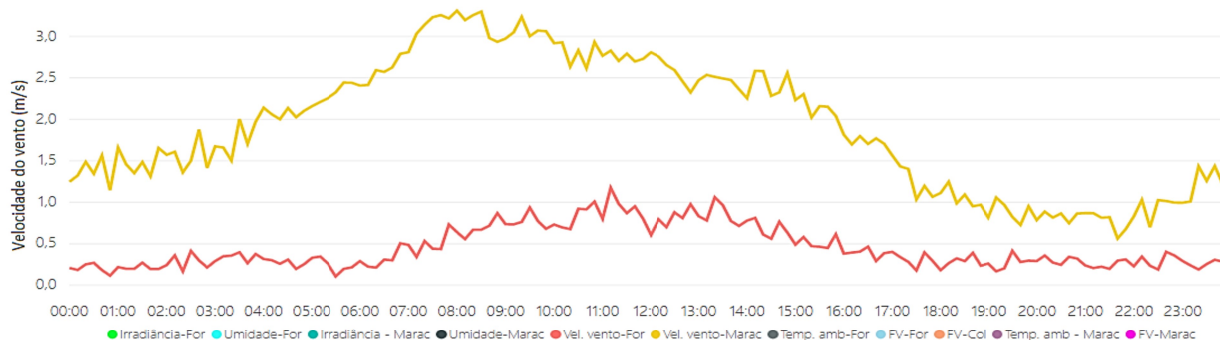


Figura 11 – Média mensal em set/18 da velocidade do vento em Maracanaú e Fortaleza

No fim da primavera e no início do verão em Colônia, no mês de junho, a temperatura dos módulos FV chega a 48°C e os dias são os mais longos do ano, com luz do Sol de 05:15h às 21:45h, totalizando 16 horas e 30 minutos. A temperatura dos módulos mantém-se acima de 30°C de 9h às 17:00h, como pode ser visto na Figura 12 (a). Em julho, no verão, a temperatura média ao longo do mês nos módulos FV de Colônia chega a máximas de 60°C de 12h às 15h (ver Figura 12 (b)). As horas de Sol totalizam 16 horas neste período (05:40h às 21:40h).

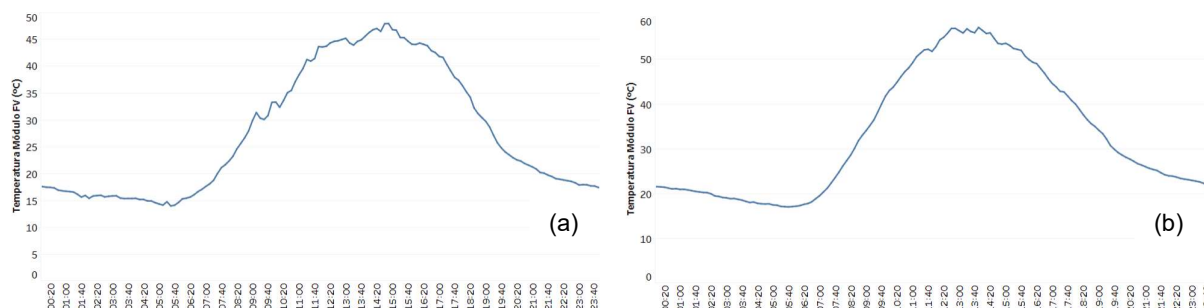


Figura 12 – Temperatura dos módulos FV da planta de Colônia em junho (a) e julho (b) de 2018

#### 4.0 - CONCLUSÃO

A rede de monitoramento IoT projetada, implementada e testada propõe sistemas embarcados de baixo custo multiplataforma (Linux, Windows® e Mac OSX), baseados em hardware e software livres, permitindo distribuição online para desenvolvimento e pesquisa. O ESP 8266 e o ESP 32 comunicam-se com a nuvem via WiFi, o que é uma desvantagem em instalações remotas sem conexão cabeada. A partir do Web Monitor desenvolvido, é possível monitorar em tempo real as três plantas FV analisadas (Fortaleza - CE, Maracanaú - CE e Colônia - Alemanha) e gerar gráficos diários. Assim, falhas podem ser detectadas antecipadamente. A irradiância solar, a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento foram coletadas para permitir uma análise mais precisa do impacto dessas variáveis no desempenho da geração elétrica, juntamente com a temperatura do módulo FV. Circuitos de condicionamento de sinais para Pt100, piranômetro e anemômetro foram desenvolvidos e calibrados utilizando equipamentos comerciais e apresentaram medidas dentro da faixa de erro específica de cada sensor. Os sistemas de monitoramento propostos podem ser expandidos para coletar dados de outros tipos de sensores analógicos ou digitais, bem como para outros tipos de aplicações que utilizam fontes renováveis de energia. Os sistemas estão trabalhando em campo há mais de um ano, enviando

dados a cada minuto para a nuvem 24 horas/dia.

## 5.0 - AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores gostariam de agradecer ao *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (DAAD-Alemanha) e à CAPES pelas bolsas de doutorado no país e de doutorado sanduíche na *TH Köln* concedidas à primeira autora; à Fundação Carolina pela bolsa de intercâmbio de pesquisadores concedida ao segundo autor; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (420133/2016-0 Universal 01/2016) e pela bolsa de pesquisador concedidos ao terceiro autor; e pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida ao quarto autor (Proc. 311794/20165 DT). Por fim, à UFC e ao IFCE pela disponibilidade de laboratórios e equipamentos.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PEREIRA, R. I. S., DUPONT, I. M., CARVALHO, P. C. M. & JUCÁ, S. C. S. IoT Embedded Linux System based on Raspberry Pi applied to Real-Time Cloud Monitoring of a decentralized Photovoltaic plant. *Measurement* 114, 286–297 (2017).
- (2) ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Datasheet. 58 (2018).
- (3) ESPRESSIF. ESP8266EX Datasheet. *Espr. Syst. Datasheet* 1–31 (2018).
- (4) ZHU, L., RAMAN, A., WANG, K. X., ANOMA, M. A. & FAN, S. Radiative cooling of solar cells. *Optica* 1, 32–38 (2014).
- (5) JINKO SOLAR. Jkm270Pp-60. 5–6 (2008).
- (6) DUBEY, S., SARVAIYA, J. N. & SESHADRI, B. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - A review. *Energy Procedia* 33, 311–321 (2013).
- (7) SIMIONI, T. O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil. (2017).
- (8) BARYKINA, E. & HAMMER, A. Modeling of photovoltaic module temperature using Faiman model: Sensitivity analysis for different climates. *Sol. Energy* 146, 401–416 (2017).
- (9) DUFFIE, J. A. & BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. (2013).
- (10) ROSS, R. G. Interface design considerations for terrestrial solar cell modules. in *Proceedings of 12th IEEE photovoltaic specialists conference* 801–6 (1976).
- (11) CHENNI, R., MAKHLOUF, M., KERBACHE, T. & BOUZID, A. A detailed modeling method for photovoltaic cells. *Energy* 1724–30 (2007).
- (12) BUSSON, B. D. O., HASSAN, P., CAMPOS, M., CESAR, P. & CARVALHO, M. De. Validação de modelos de comportamento térmico de painéis fotovoltaicos para o semiárido brasileiro. (2018).
- (13) BRITISH STANDARD. IEC 61724: 1998. Photovoltaic system performance monitoring — Guidelines for measurement, data exchange and analysis. (1998).
- (14) PHB. INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO PHB 1500-NS. (2017).
- (15) IEA. *Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy*. (2014).
- (16) RABELO, A. D. S., COSTA, D. A. C., CARVALHO, P. C. M. Estudo Sobre Sujidade Em Planta Fotovoltaica Localizada Em Zona Urbana. in *Congresso Brasileiro de Geração Distribuída* 1–7 (2017).

(\*) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica – Laboratório de Microengenharia – CEAR – CEP 58051-970 João Pessoa, PB – Brasil, Tel: (+55 85) 99794-7611 – Email: renata@dee.ufc.br

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Renata Imaculada Soares Pereira** é doutora (2018) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (UFC) com bolsa de doutorado sanduíche na TH Köln (*Technische Hochschule Köln*) – Alemanha. Concluiu mestrado (2014) em Engenharia Elétrica pela UFC. Atualmente é pesquisadora de pós-doutorado na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) com bolsa PNPd CAPES. No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE - Campus Maracanaú) concluiu Tecnólogo em Manutenção Industrial (2012) e curso técnico em Automação Industrial (2009). Áreas de atuação: Sistemas embarcados IoT, Aquisição de dados e Monitoramento online em Nuvem, Energias Renováveis.



**Sandro César Silveira Jucá** é doutor em Engenharia Elétrica (2014) pela Universidade Federal do Ceará (UFC) com pesquisa realizada na *Universität Paderborn* - Alemanha e apoio do programa de Doutorado Sanduíche do *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (DAAD). Realizou também estágio de pesquisa pós-doutoral (2019) na *Universidad de Cádiz* - Espanha com apoio da *Fundación Carolina*. Atualmente é professor/pesquisador do IFCE - Campus Maracanaú e membro permanente do corpo docente do ProfEPT (Mestrado em educação profissional e tecnológica em rede nacional) e do Mestrado Acadêmico em Energias Renováveis (PPGER).



**Paulo Cesar Marques de Carvalho** possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (1989), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1992) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Paderborn, Alemanha (1997). Atualmente é professor titular do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. Tem atividades de ensino, pesquisa e extensão nos temas: geração fotovoltaica, geração eólica e biodigestores. Coordena o Laboratório de Energias Alternativas da UFC. Bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq.



**Cleonilson Protásio de Souza** é doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (2006) com pós-doutorado pela University of Washington Tacoma em 2018. Atualmente é Bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora do CNPq - DT2 e foi Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - PQ2 pelo CA de Microeletrônica entre os anos de 2010 e 2013. Suas áreas de interesse são: desenvolvimento de sistemas de colheita de Energia (*Energy Harvesting*) visando Redes de Sensores sem-fio (RSSF) e IoT (*Internet of Things*), teste de circuitos integrados e sistemas eletrônicos embarcados. Membro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Micro e Nanoeletrônicos (INCT NAMITEC) e membro do IEEE TC-13 - *Wireless & Telecommunications in Measurements*.

(\*) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica – Laboratório de Microengenharia – CEAR – CEP 58051-970 João Pessoa, PB – Brasil, Tel: (+55 85) 99794-7611 – Email: renata@dee.ufc.br