

## SISTEMA DE AQUISIÇÃO E MONITORAMENTO DE DADOS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM TEMPO REAL COM COMUNICAÇÃO *BLUETOOTH*

RONNYEL C. C. SILVA, OTACÍLIO DA M. ALMEIDA, MAXWELL DE M. COSTA

*Departamento de Engenharia Elétrica – DEE, Universidade Federal do Piauí  
CT, Bairro Ininga, S/N, CEP 64049-550, Teresina, PI, Brasil*

*E-mails: [ronnyel.silva@ifma.edu.br](mailto:ronnyel.silva@ifma.edu.br), [otacilio@ufpi.edu.br](mailto:otacilio@ufpi.edu.br),  
[maxwell10melo@gmail.com](mailto:maxwell10melo@gmail.com)*

**Abstract**— This paper is about the project and the development of a real-time data acquisition and monitoring system for photovoltaic panels. The data were collected from an electric power generation photovoltaic panel, and the system developed contains two main parts: a data acquisition and conditioning structure, and also a monitoring interface, which consists of a Human-Machine Interface, as a way to get data viewed properly. The first part was developed using a PIC 18F2550 microcontroller in order to purchase current, voltage, temperature and their respective conditioning signals. The second part was implemented using Matlab and it allows those variables to be analysed in a graphical way, as well as presenting the instantaneous and the generated power. A Bluetooth communication was performed aiming to achieve the link between the acquisition and the monitoring parts of the.

**Keywords**— Solar photovoltaic data, data acquisition, monitoring, microcontrolled system, bluetooth communication.

**Resumo**— Este trabalho consistiu no projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição e monitoramento de dados em tempo real da geração de energia elétrica de um painel fotovoltaico. O sistema de aquisição e monitoramento desenvolvido é composto por duas partes: o sistema de aquisição e condicionamento, e a interface supervisória, Interface Homem Máquina – IHM. O sistema de aquisição e condicionamento é composto por um microcontrolador do tipo PIC 18F2550 para aquisição de dados de corrente, tensão, temperatura e seus respectivos sistemas de condicionamentos de sinais. A IHM foi desenvolvida no Matlab e permite a análise gráfica de corrente, tensão e temperatura, assim como a apresentação da potência instantânea e a energia gerada. A comunicação do sistema de aquisição com a estação PC é implementada através de um link de rádio do tipo *bluetooth*.

**Palavras-chave**— Dados solares fotovoltaicos, aquisição de dados, monitoramento, sistema microcontrolado, comunicação bluetooth.

### 1 Introdução

Todo crescimento tecnológico é acompanhado por uma demanda crescente de energia elétrica para o suprimento das necessidades básicas. Tendo em vista esse crescimento e o esgotamento das fontes convencionais não renováveis, torna-se necessária a intensificação do estudo de fontes alternativas de energia elétrica, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias para geração de energia.

A matriz energética brasileira é considerada hidrotérmica. Cerca de 90% de toda a energia produzida no Brasil provém de usinas hidroelétricas ou usinas termelétricas, seja pela queima de biomassa, seja pela queima de gás, carvão ou petróleo. Isso mostra o elevado grau de dependência nacional diante destas duas fontes de energia elétrica (Epe, 2015). Entretanto, desde 2014, a capacidade instalada de geração eólica e solar fotovoltaica têm aumentado, principalmente na região nordeste. A geração eólica aumentou de 6,6 GW em 2013 para 12,2 GW em 2014, o que corresponde a um aumento de 85,6%. A capacidade instalada de energia solar fotovoltaica aumentou de 5 MW para 15 MW neste período, um aumento de 200%. Por outro lado, nesse mesmo período, a geração hidroelétrica sofreu um déficit de 4,5%. Esses dados mostram a forte tendência na complementariedade da matriz energética brasileira baseada em energia solar e eólica (Cepel, 2014).

Essa assimetria na matriz energética brasileira se deve à falta de um planejamento adequado do sistema elétrico nacional, ou seja, ao não investimento gradual em fontes alternativas de energia elétrica para a sua diversificação. Isso tem provocado graves consequências como: aumento do custo

médio do kWh; a diminuição da qualidade de energia elétrica; o aumento do número de interrupções; e os apagões no sistema elétrico brasileiro (Greenpro, 2004).

Na busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias e devido ao encarecimento da energia elétrica no Brasil, torna-se necessário e cada vez mais viável, tecnologicamente e economicamente, o investimento em fontes renováveis de energia elétrica. Dentre estas, podem ser citadas como as principais: a eólica, a solar fotovoltaica e a biomassa.

Portanto, torna-se evidente a necessidade da pesquisa e aprofundamento das tecnologias de fontes renováveis de energia elétrica. Tal estudo, a longo e médio prazo, promoverá a gradual e significativa inserção destas fontes de energia na matriz energética brasileira. A energia solar fotovoltaica tem se mostrado uma solução viável para a problemática apresentada, já que o Brasil possui índices de irradiação solar que são muito superiores aos encontrados nos países de ponta desta tecnologia, como a Alemanha. Um comparativo entre esses dois países mostra que o Brasil, apesar de possuir uma área aproximadamente 24 vezes superior à área da Alemanha, e possuir índices máximos de irradiação solar que são 42% superiores aos do país europeu, tem uma produção de energia solar fotovoltaica cerca de 2,4 milhões de vezes inferior ao da Alemanha. Assim, o potencial brasileiro em energia solar fotovoltaica é muito grande, o que mostra a urgente necessidade do aproveitamento dessa fonte de energia elétrica (Cabral, 2013).

Neste contexto, os sistemas para aquisição de dados em tempo real têm se mostrado uma ferramenta poderosa no estudo da produção de energia em sistemas fotovoltaicos em aplicações residenciais (Yamini & Ratna, 2016) e comerciais (Halmeman, 2014). São muitos os trabalhos apresentados nesta temática visando o aumento do rendimento na produção de energia por meio do controle da posição da placa em relação ao sol (Lima, 2012), para aumentar o rendimento da captação da radiação solar sobre a placa (Souza, 2013). Outra linha de estudo é a diminuição das influências externas sobre as características elétricas dos painéis fotovoltaicos, como por exemplo, o resfriamento de painéis visando o aumento do seu rendimento (Souza, 2010).

Este trabalho está dividido em quatro partes: na seção 1 são apresentados os conceitos iniciais; na seção 2 é apresentado o kit de aquisição e monitoramento de dados; na seção 3 são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir do kit didático; na seção 4 são apresentados as principais conclusões e trabalhos futuros acerca da utilização do kit didático como ferramenta de estudo de energia solar fotovoltaica.

## 2 Sistema de aquisição e monitoramento de dados em tempo real

O sistema de aquisição de dados proposto é composto por duas partes: o computador com Matlab e a placa de aquisição, alocada junto ao sistema fotovoltaico. O computador é dotado de um adaptador *bluetooth* para possibilitar a comunicação sem fio entre os dois sistemas, enquanto que a placa de aquisição de dados é dotada de um módulo *bluetooth* HC-05 para a comunicação sem fio.

### 2.1 Placa de Aquisição de Dados

A placa de aquisição de dados é dotada de um microcontrolador e de um módulo *bluetooth*. Ele permite a comunicação com o sistema de monitoramento em tempo real das características elétricas do sistema fotovoltaico, conforme é ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Placa de aquisição de dados

O microcontrolador utilizado foi o PIC 18F2550 que possui um módulo de comunicação USB e três portas de E/S. O módulo permite a comunicação serial do microcontrolador com o computador através da emulação de uma porta serial, que associado a autoprogramação, permite grande agilidade na fase de testes do sistema de aquisição (Microchip, 2009).

### 2.1.1 Comunicação wireless

A comunicação *wireless* implementada na placa de aquisição de dados foi a *bluetooth*. Para isso, utilizou-se o módulo *bluetooth* HC-05. O módulo usado

possui uma distância máxima de comunicação de 50 metros e pode trabalhar configurado apenas como escravo, ou seja, sempre aguarda que o sistema de monitoramento inicie a comunicação (abertura do canal de comunicação).

Para que o sistema de monitoramento possa receber os dados da placa de aquisição é necessário que junto à estação PC, exista também um módulo *bluetooth*, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2. Sistema de aquisição e monitoramento de dados utilizando a comunicação *bluetooth*.



dos utilizando a comunicação *bluetooth*.

### 2.1.1 Condicionamento de sinais

O sistema de aquisição e monitoramento de dados foi pensado para trabalhar aplicado a sistemas fotovoltaicos. Assim, as variáveis de interesse monitoradas são: tensão, corrente, temperatura ambiente e potência instantânea. Para a medição da corrente fornecida pela placa à carga, utilizou-se um sensor de corrente, o *CI Allegro ACS712T-05A*, que é um sensor que se baseia no efeito Hall e possui precisão de  $\pm 1,5\%$ . Esse sensor fornece  $185mV$  de tensão de saída para cada 1A de corrente do sistema, e possui uma tensão de offset de  $1,65V$ , quando alimentado com  $3,3V$ . A precisão do conversor *A/D* do microcontrolador foi configurada para  $10\ bits$ , o que fornece uma precisão de aproximadamente  $2,15mV$ . Assim, a precisão da corrente medida por esse conversor foi de  $15mA$ , ou seja, a resolução na medida da corrente passou a ser  $\pm 15mA$ . Na Figura 3 tem-se a representação do sensor de corrente utilizado.



Figura 3. Sensor de corrente *Allegro ACS712T-05A*

Outra variável de interesse, que é mensurada pelo sistema de aquisição de dados, é a tensão fornecida pela placa solar. A diferença de potencial máxima fornecida pelo sistema fotovoltaico utilizado é de  $21,5V$ , que é justamente a tensão de circuito aberto máxima ( $V_{ocMax}$ ). Já a máxima tensão suportada pelo conversor *A/D* do PIC foi configurada para  $2,2V$ . Baseado nestes dois valores, e de modo a adequar a tensão da placa e a suportável pelo microcontrolador, um circuito divisor de tensão foi utilizado, conforme ilustrado na Figura 4.

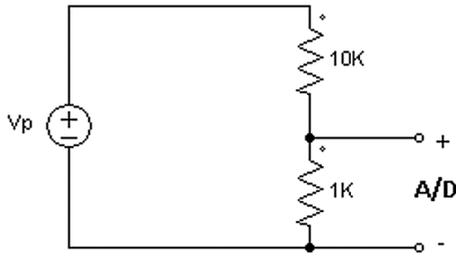


Figura 4. Condicionador de sinal de tensão.

Para a medição da temperatura ambiente, onde o sistema fotovoltaico está instalado, utilizou-se o sensor de temperatura *LM35*. Este sensor é capaz de medir valores positivos e negativos de temperatura, o que viabiliza o seu uso para a aplicação proposta neste trabalho. O *LM35* produz *10mV* de tensão de saída para cada *1°C* da temperatura ambiente.

Considerando uma temperatura ambiente máxima de *50°C*, tem-se que a máxima tensão de saída do sensor *LM35* será de *0,5V*. Então, para que a máxima tensão de saída do sensor esteja o mais próximo possível da tensão de fundo de escala do conversor *A/D* do PIC, é necessário que se faça uma amplificação desse sinal de três vezes. Para isso, usou-se um amplificador em configuração não-inversora, conforme mostra a Figura 5.

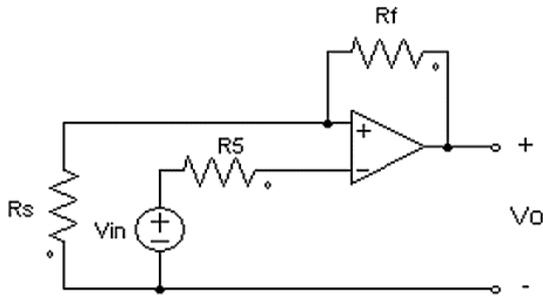


Figura 5. Amplificador não-inversor para amplificação do sinal do sensor *LM35*.

A partir da análise do circuito da Figura 5, obteve-se a Equação 1, que fornece a tensão de saída do circuito amplificador não-inversor.

$$V_o = \left( \frac{R_s + R_f}{R_s} \right) \cdot V_{in} \quad (1)$$

Onde:

$V_o$  - é a tensão de saída do amplificador, que será fornecida ao conversor *A/D*;

$V_{in}$  - é a tensão de saída do sensor *LM35*;

$R_s$  e  $R_f$  - são as resistências que determinam o ganho do amplificador;

$R_g$  - é a resistência ligada à saída do sensor *LM35* que é tipicamente na casa dos *MΩ*.

Sabe-se que  $V_o = 2,2V$  e  $V_{in} = 0,5V$ . Logo, arbitrando-se  $R_s$  e  $R_g$  ( $R_s = 1kΩ$  e  $R_g = 1MΩ$ ) e aplicando esses valores na Equação 1, chega-se à conclusão que  $R_f = 2kΩ$ .

## 2.2 Sistema de Monitoramento de Dados

A Interface Homem Máquina - *IHM* foi desenvolvida para o monitoramento das variáveis de interesse do sistema fotovoltaico e foi implementada no software Matlab. Ela

permite a análise gráfica da corrente, tensão e temperatura, assim como a apresentação da potência instantânea e a energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

O software Matlab permite que sua programação seja feita orientada a objetos, de forma a possibilitar a construção de interfaces gráficas ao se usar conceitos deste paradigma.

Por meio dos recursos de orientação a objetos fornecidos pelo Matlab, criou-se uma interface gráfica que permitisse estabelecer a conexão Computado/Placa de Aquisição e exibir os valores instantâneos dos parâmetros: temperatura ambiente, corrente, tensão sob carga, potência e energia geradas. Essa interface está ilustrada na Figura 6.

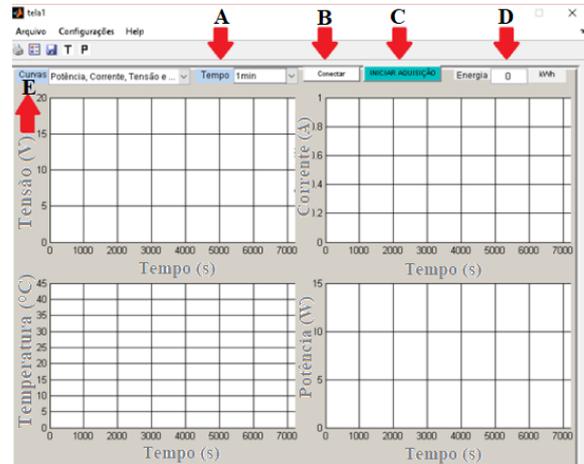


Figura 6. Interface gráfica para exibição dos parâmetros do sistema fotovoltaico através de gráficos.

A interface apresentada possui as seguintes funcionalidades: seleção do tempo de monitoramento (A), seleção das curvas que serão exibidas (E), conexão com o sistema de aquisição (B), iniciar/parar aquisição (C) e energia gerada (D). Onde A, B, C, D e E são as funcionalidades implementadas do software de monitoramento (IHM), conforme mostra a Figura 6.

### 2.2.1 Algoritmo da comunicação

Para que a comunicação entre o Matlab e o microcontrolador seja entendida de forma clara, é necessário que o algoritmo de cada sistema seja explicado separadamente.

O algoritmo da programação no Matlab funciona da seguinte maneira: como é mostrado no diagrama da Figura 7, durante a execução do programa no Matlab, antes de começar a aquisição dos dados, é necessário que duas tarefas sejam feitas pelo usuário na interface gráfica: as configurações e o estabelecimento da conexão *bluetooth*. As configurações necessárias são a seleção das curvas que o usuário deseja que sejam mostradas durante a aquisição e o tempo de aquisição. A segunda tarefa a se fazer é o estabelecimento da conexão *bluetooth* por meio do clique no botão "conectar". Em seguida, a aquisição e monitoramento dos dados podem

ser feitos pressionando-se o botão “aquisição”. Caso o algoritmo de tarefas da Figura 7 não seja obedecido, ocorrerão erros na execução do programa.

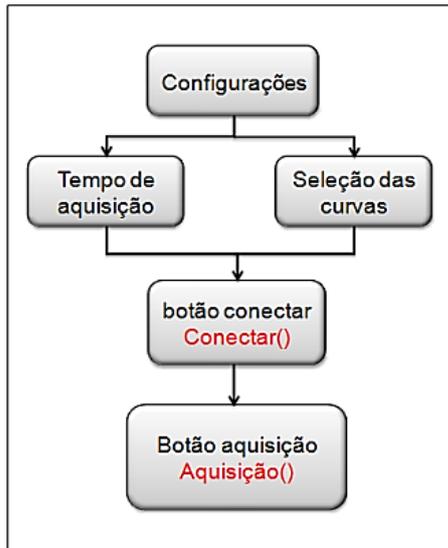


Figura 7. Diagrama do algoritmo de configuração e chamada das funções.

Conforme é mostrado na Figura 7, por trás dos cliques nos botões estão as chamadas das funções. Quando o botão “conectar” é pressionado, a função “conectar()” é chamada e um objeto *bluetooth* é criado e, logo em seguida, aberto. Quando o botão “aquisição” é pressionado, a principal tarefa executada é a chamada da função “aquisição()”, que por sua vez envia um caractere ‘a’ pela porta “COM” associada ao adaptador *bluetooth* e aguarda os dados de tensão, corrente e temperatura do sistema fotovoltaico.

O algoritmo da programação do microcontrolador funciona da seguinte maneira: a principal funcionalidade implementada na programação do microcontrolador foi que, ao receber o caractere ‘a’ pela porta serial, ele deve enviar a leitura do conversor *A/D* de todos os canais analógicos configurados (*A0* = tensão, *A1* = corrente e *A2* = temperatura). Após isso, as leituras desses canais analógicos são, então, encapsuladas em uma *string* de 15 bits que é enviada de forma serial ao módulo *bluetooth HC-05*. Uma vez enviados ao computador, os dados são tratados e mostrados graficamente conforme a seleção de curvas feita pelo usuário na interface gráfica.

### 3 Resultados e Discussões

Para comprovar a eficácia do kit didático desenvolvido como uma solução para auxiliar no estudo e ensino de sistemas fotovoltaicos, submeteu-se um painel fotovoltaico, sob monitoramento, a três cenários de teste, a saber: obstrução parcial de uma célula fotovoltaica, um dia nublado e os efeitos do sombreamento sobre o painel fotovoltaico. Todos os testes e aquisições de dados foram realizados na cidade de Teresina, na Universidade Federal do Piauí.

#### 3.1 Cenário 1: Efeitos da Obstrução de uma Célula do Painel Fotovoltaico

A obstrução total ou parcial de uma célula de um painel fotovoltaico provoca uma diminuição considerável na produção de energia do sistema fotovoltaico (Lindgren, 2000). Para comprovar esse efeito, obstruiu-se, sucessivamente, porções cada vez maiores (25%, 50% e 100%) de

uma célula do painel fotovoltaico. Esse teste foi realizado considerando dois casos: sol pleno e tempo nublado. Para o primeiro caso (sol pleno), obtiveram-se as curvas mostradas no supervisor da Figura 8.

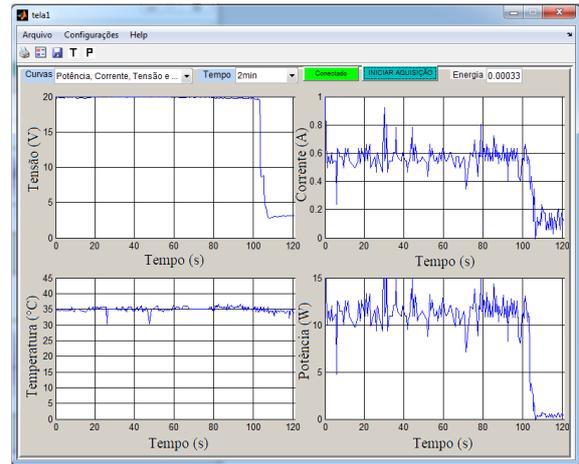


Figura 8. Variação da área de uma célula do sistema fotovoltaico para um dia com radiação solar média.

Com os dados da Figura 8, pode-se observar a relação entre a área obstruída da célula com as principais variáveis elétricas do sistema fotovoltaico.

Tabela 1. Aumento da área obstruída da célula para um dia com sol pleno.

Área obstruída da Célula (%)	Área obstruída do Painel (%)	Redução da Tensão Gerada (%)	Redução da Potência Instantânea (%)
25%	0,7%	3%	3%
50%	1,4%	3%	3%
100%	2,8%	83%	83%

Analisando-se a Figura 8 e a Tabela 1, observa-se que a obstrução parcial de uma célula da placa possui influência quase nula sobre a tensão gerada para um dia de sol pleno (30 a 100 segundos no tempo de aquisição). Entretanto, a obstrução total da célula provocou uma redução de 83% da tensão gerada (100 a 120 segundos no tempo de aquisição).

Para o segundo caso, realizou-se o mesmo processo de obstrução citado anteriormente, mas desta vez considerando-se um dia de pouca radiação solar (dia nublado). A Figura 9 mostra os gráficos obtidos nas condições de teste mencionadas.

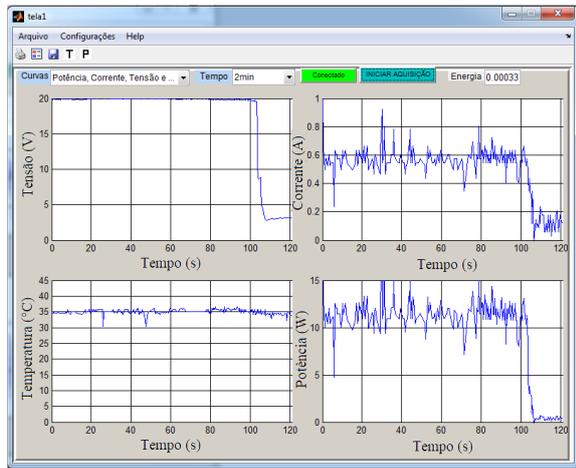


Figura 9. Variação da área obstruída de uma célula da placa solar para um dia com pouca radiação solar.

Com os resultados da Figura 9, a Tabela 2 foi elaborada de modo a se analisar a influência da área obstruída de uma célula do painel fotovoltaico.

Tabela 2. Aumento da área obstruída da célula para um dia com pouca radiação solar

Área obstruída da Célula (%)	Área obstruída do Painel (%)	Redução da Tensão Gerada (%)	Redução da Potência Instantânea (%)
25%	0,7%	35%	35%
50%	1,4%	50%	50%
100%	2,8%	80%	80%

A análise dos dados da Tabela 2 e da Figura 9 mostram que uma obstrução parcial de 25% da área de uma célula da placa solar (30 a 60 segundos no tempo de aquisição) provoca uma redução de aproximadamente 35% da tensão gerada. Para o pior caso, com obstrução total da célula, a redução da tensão gerada foi de aproximadamente 80% (90 a 120 segundos no tempo de aquisição).

Com a análise comparativa destas duas situações descritas, chega-se à conclusão de que, para um dia com pouca radiação solar, a influência da obstrução de uma pequena área da célula (25%) sobre as variáveis elétricas da placa solar é muito superior, se comparada à de um dia com sol pleno.

Em termos práticos, essa obstrução parcial de uma célula pode ser causada por folhas de árvores, fezes de pássaros e sujeiras diversas. Assim, esse tipo de problema requer uma ação rápida de limpeza do painel para garantir o ponto ótimo de geração (máximo aproveitamento da capacidade de geração) e evitar a queima de células da placa solar devido a ruptura causada pela corrente reversa que surge nessa condição de funcionamento do painel.

### 3.2 Cenário 2: Efeitos da Obstrução de uma Célula do Painel Fotovoltaico

O dia analisado para este cenário se encontrava parcialmente nublado. Foram escolhidos dois períodos para a coleta de dados: 10h às 12h e 14h às 16h. Como o sistema fotovoltaico desta aplicação possui baixa potência, esses períodos foram escolhidos para que se pudessem obter resultados expressivos de potência e energia gerada.

Para o período de 10h às 12h, obtiveram-se os gráficos de tensão, corrente, temperatura ambiente, potência e energia gerada, conforme mostra a interface do supervisor na Figura 10.

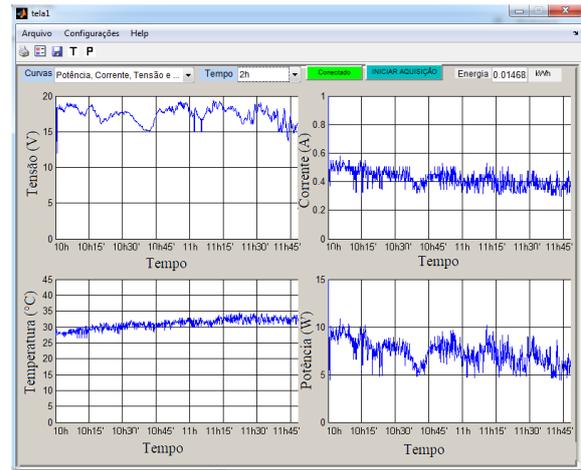


Figura 10. Resultados obtidos para o período de 10h às 12h.

Com esses resultados, percebe-se que devido às condições atmosféricas, (tempo nublado) a tensão produzida pelo painel fotovoltaico variou entre os valores de 15V e 18V. Essa variação da tensão já era esperada, uma vez que, para as condições analisadas, a radiação solar que chega à placa varia consideravelmente com a obstrução do sol causada pelas nuvens.

A temperatura ambiente sofreu pouca variação, aproximadamente 5°C, o que não permite, para este caso, uma correlação com as variáveis elétricas do painel fotovoltaico. A corrente instantânea produzida pela placa solar teve um valor médio de 400mA. A potência instantânea gerada pela placa teve um valor médio de 7,5W. Para o período analisado, a energia gerada pelo painel fotovoltaico foi de aproximadamente 0,01468kWh, o que é muito inferior à capacidade máxima de geração deste sistema fotovoltaico, que com o auxílio de um controlador de carga e com condições de irradiação iguais ou superior a 1000 W/m<sup>2</sup>, poderia chegar a 0,040kWh (geração com máximo aproveitamento).

Para o período de 14h às 16h, conforme mostra a interface do supervisor na Figura 11, percebe-se que a tensão gerada possui um perfil oscilatório até às 15h, aproximadamente, semelhante ao período analisado anteriormente (10h às 12h). No entanto, no período de 15h às 16h, a tensão sofreu uma variação considerável (5V). Isso é justificável, conhecendo-se o perfil da radiação solar durante as horas do dia, para a região e período do ano analisados.

Durante o período de análise, a temperatura ambiente, inicialmente, sofreu um leve aumento e em seguida sofreu um pequeno decaimento. A corrente e potência instantâneas tiveram o mesmo comportamento da tensão gerada. A energia gerada para esse período foi de aproximadamente 0,01029 kWh, que é 29,9% inferior, comparando-se com energia gerada para o período de 10h às 12h para o mesmo dia analisado.

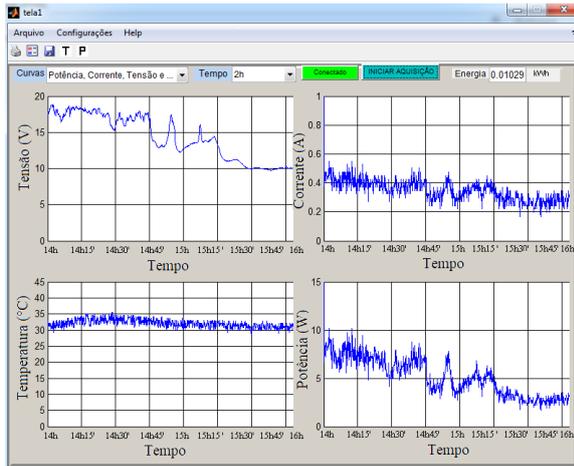


Figura 11. Resultados obtidos para o período de 14h às 16h

Com os dados obtidos para os dois períodos analisados, elaborou-se a Tabela 3 com os resultados comparativos de cada um dos períodos.

Tabela 3. Resumo dos resultados para os dois períodos do dia nublado.

	Período de 10h às 12h	Período de 14h às 16h
Energia gerada (kWh)	0,01468	0,01029
Corrente média (mA)	400	300
Potência Instalada média (W)	7,5	5,0

Comparando-se os dados de geração de energia obtidos entre o primeiro e segundo período (10h às 12h e 14h às 16h), percebe-se que com o mesmo tempo de aquisição (2h), o período de 10h às 12h permitiu uma maior geração de energia, o que pode ser explicado pelo maior nível de irradiação solar que incidiu sobre o painel nesse horário do dia.

### 3.3 Cenário 3: Efeitos da Obstrução de uma Célula do Painel Fotovoltaico

O sombreamento é um dos principais problemas quando se trata de energia solar fotovoltaica, devido à considerável perda causada na geração de energia dos sistemas fotovoltaicos (Jorge, 2013).

Nesse sentido, para este cenário, após 30 segundos de aquisição, submeteu-se o painel fotovoltaico a uma condição de sombreamento parcial por 30 segundos e, em seguida, sombreou-se completamente o painel por 30 segundos. Por fim eliminou-se o sombreamento. O resultado deste experimento pode ser visto na Figura 12.

A partir dessa análise, observou-se pelo supervisor das variáveis elétricas do painel da Figura 12, que durante um sombreamento de metade do painel, a tensão gerada sofreu uma redução de 73,33% (30 a 60 segundos no tempo de aquisição). Com o sombreamento total do painel fotovoltaico, a tensão gerada sofreu uma queda de aproximadamente 83,33% (60 a 90 segundos no tempo de aquisição). Além disso, sabe-se que esse fenômeno causa o aquecimento excessivo do painel solar, podendo causar danos irreversíveis a ele.

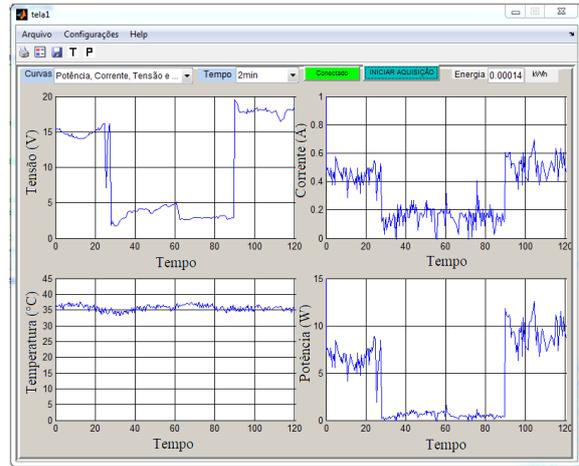


Figura 12. Efeitos do Sombreamento Sobre o Sistema Fotovoltaico

## 4 Conclusão

O sistema para aquisição e monitoramento de dados desenvolvido mostrou-se uma solução promissora como uma ferramenta para estudar a influência do sombreamento, e identificar condições indesejadas de funcionamento do sistema fotovoltaico. Com uma distância de até 20 metros, a comunicação entre o sistema de aquisição de dados e a estação PC funcionou satisfatoriamente sem perda de conexão. Entretanto, quando essa distância foi ultrapassada, não foi possível estabelecer a conexão do computador com a placa de aquisição de dados. Pelo monitoramento do sistema fotovoltaico, podem-se detectar falhas de origem transitória, bem como danos estruturais nos painéis, por meio da análise das suas variáveis elétricas.

Com esse sistema foi possível verificar, de forma prática, a variação das características elétricas do painel com o sombreamento, que diminuiu a produção de energia gerada e pode aumentar as perdas por aquecimento. Além disso, esse sombreamento sobre o painel fotovoltaico pode trazer danos permanentes a ele.

Também foi possível verificar a variação destas características elétricas mediante a obstrução parcial de uma única célula do painel fotovoltaico, que pode ser considerado como um sombreamento mais severo, pois nesse caso, nenhuma radiação solar chega à parte obstruída da célula.

Por fim, a interface gráfica desenvolvida no software Matlab possibilitou de forma eficiente a observação das características elétricas do sistema fotovoltaico, pois várias configurações de curvas foram implementadas, possibilitando a análise conjunta ou individual de cada variável de interesse do sistema fotovoltaico, como tensão versus corrente, corrente versus temperatura, corrente versus potência, tensão versus temperatura, tensão versus potência e temperatura versus potência. Em outras palavras, a análise conjunta das curvas possibilita estabelecer, em tempo real de aquisição ou em análise posterior, a correlação entre as variáveis elétricas do sistema fotovoltaico.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar as seguintes atividades: usar o kit didático como recurso

para o estudo e ensino de energia solar fotovoltaica por estudantes e professores dos diversos níveis de ensino; aumentar o rendimento do sistema fotovoltaico por meio da diminuição da sua temperatura interna, usando-se um determinado fluido (ventilação ou corrente de água); realizar o aumento da eficiência da captação da radiação solar por meio de uma plataforma móvel, para que a posição angular do painel fotovoltaico mude conforme a posição do sol; realizar a construção de um controlador de carga que possibilite transmissão máxima de potência do sistema fotovoltaico à carga pelo controle da corrente e tensão da mesma.

### Agradecimentos

Agradecemos a todos que contribuíram para a elaboração deste trabalho, dentre eles: Instituto Federal do Maranhão Campus Pedreiras, ao PET Potência do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí; ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí, por proporcionar acesso aos laboratórios quando necessário.

### Referências Bibliográficas

- Cabral, I. de S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. Energia solar: Análise Comparativa entre Brasil e Alemanha. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador, nov. 2013.
- Cepel, Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES / CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Edição Especial PRC PRODEEM, 2014.
- Epe, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional (BEN), 2015.
- Greenpro. Energias Fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projeto e instalação, 1 ed., 2004.
- Halmeman, R. J. Desenvolvimento de um Sistema para Monitoramento Remoto em Centrais de Microgeração Fotovoltaica. 2014.143f. Tese (Doutorado em agronomia na área de energia na agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Jorge, R. C. L. Efeito do Sombreamento nos Painéis Fotovoltaicos. 2013. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica na área de Sistemas de Potência e automação) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Lima, S. S. Sistema de Monitoramento de Transformadores de Distribuição Utilizando Modelos Térmicos e Tecnologias Java e Bluetooth. 2012.88f. Tese (Mestrado na Área de Concentração em Eletrônica de Potência e Automação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Lindgren, B. A Power Converter for Photovoltaic Applications. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2000.
- Souza, D. A. R. Monitoramento de Sensores de Temperatura Utilizando Redes sem Fio - Bluetooth®. 2010. 101f. Monografia - Instituto Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- Souza, E. D. Estudo das Tecnologias de Monitoramento de Painéis em Usinas Fotovoltaicas através de Redes de Sensores sem Fio. 2013. 89f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica na área de energia solar) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Yamini, J. & Ratna, Y. Design And Implementation Of Smart Home Energy Management System. International Conference On Communication And Electronics Systems. ICCS 2016. pp. 560-563.