

# Sistema de Medição para Geração de Banco de Dados Relacionados à Energia Fotovoltaica

<sup>1</sup>G. C. Flores, <sup>2</sup>C. B. F. Darui, <sup>1</sup>N. K. Neto, <sup>2</sup>M. F. Veiga, <sup>2</sup>C. T. A. Oliveira, <sup>2</sup>T. G. Lucca, <sup>2</sup>D. P. Bernardon

<sup>1</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santo Ângelo – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Brasil

matheusfveiga@hotmail.com & carolanesi@hotmail.com

**Resumo** — Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de medição registrador de dados relacionados à energia solar fotovoltaica. Considerando o crescimento da utilização da energia fotovoltaica e que esta depende diretamente dos níveis de radiação solar no local onde será instalada, torna-se necessário possuir uma base de dados sólida da disponibilidade dessa fonte. Sendo assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de medição para criação de banco de dados relacionados à energia fotovoltaica. O sistema foi desenvolvido com equipamentos disponíveis no laboratório da universidade, resultando em um instrumento de baixo custo se comparado com as estações meteorológicas encontradas no Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos para níveis de radiação são validados e concisos. Entretanto, o curto período de medições realizadas e os imprevistos ocorridos na fase de testes ainda não possibilitaram a criação de um banco de dados confiável.

**Palavras-Chave** — Energia solar fotovoltaica, Instrumento de medição, Sistema de medição fotovoltaico.

## I. INTRODUÇÃO

Tendo como premissa o contexto energético atual do Brasil, torna-se fundamental o investimento em pesquisas na área de fontes alternativas de energia, entre elas a geração solar fotovoltaica que mais cresce no país nos últimos anos [1].

Apesar de ser um sistema de geração já discutido há bastante tempo no meio acadêmico e científico, ainda há várias lacunas que precisam ser preenchidas à medida que os sistemas de geração fotovoltaicos vão se tornando mais populares. Por exemplo, a base de dados de disponibilidade da fonte. A geração solar fotovoltaica tem como princípio a transformação da radiação solar diretamente em energia elétrica através de células fotovoltaicas. Por isso, um dos aspectos fundamentais para estudos de sistemas de geração fotovoltaicos é o conhecimento das características de radiação solar do local onde se pretende instalá-lo. Além da qualidade dos equipamentos utilizados, a radiação solar é a principal variável que afeta a potência gerada pelo sistema. A temperatura nas células fotovoltaicas também é de extrema importância [2].

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – realiza coleta e armazenamento de dados de radiação solar através do SONDA – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – com objetivo de melhorar a base de dados dos recursos de energia solar e eólica no Brasil [3]. Apesar do Instituto já prover de uma boa base de dados, essa é restrita a poucos locais de coleta. No Rio Grande do Sul, há apenas uma estação de medição anemométrica e radiométrica, devido ao

custo elevado associado a instalação de uma estação meteorológica. Esta estação está localizada em São Martinho da Serra e serve de fonte de dados para maioria dos estudos relacionados à geração solar e eólica do estado.

Levando em consideração essas informações, associadas ao elevado número de trabalhos acadêmicos e científicos realizados sobre energia solar fotovoltaica, além do grande número de instalações desses sistemas de geração na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de um sistema de medição de grandezas associadas a energia fotovoltaica. Esse sistema deve ser desenvolvido a partir da utilização de equipamentos disponíveis no laboratório do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional Integrada no campus de Santo Ângelo – RS, o que irá proporcionar a criação de um banco de dados que servirá de base para desenvolvimento de trabalhos sobre energia fotovoltaica, bem como para projetos e dimensionamentos mais precisos, auxiliando em tais sistemas.

## II. METODOLOGIA

Tendo em vista o objetivo de criar uma sistema de medição de dados relacionados à energia solar fotovoltaica e assim obter um banco de dados válido e preciso, a metodologia se divide em três etapas conforme a Fig. 1.

A primeira etapa apresenta a estruturação do sistema de geração fotovoltaica, fazendo uma caracterização do sistema a ser estudado.

Na segunda etapa são observadas as medições das grandezas e armazenamentos dos dados.

A terceira e última etapa mostra os dados obtidos, bem como a validação dos mesmos.

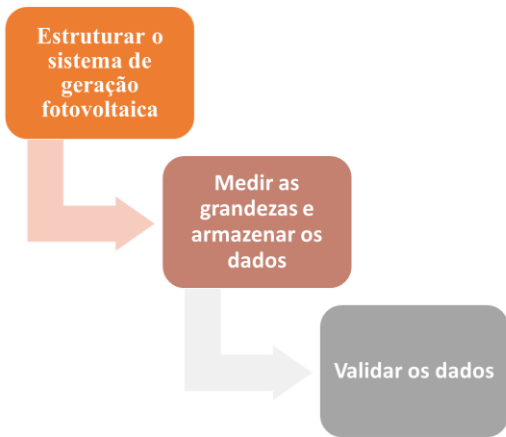


Fig. 1. Fluxograma das etapas da metodologia.

### A. Estruturação do Sistema de Geração de Energia Fotovoltaica

O sistema de geração é composto por um módulo fotovoltaico de 145 W de potência. Para obter o máximo de potência que o módulo pode gerar, é preciso posicioná-lo de modo que incida sobre ele o maior índice de radiação possível durante o ano. Para isso, foi construída uma estrutura para fixação a fim de obter a melhor orientação possível para que isso aconteça. Para conhecer esta orientação foi levado em consideração a média anual de radiação da cidade de Santo Ângelo, obtida dos dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito [4] que faz a relação da angulação com a radiação anual. Através destes valores, pôde-se encontrar a melhor angulação, que para este caso é de 23°. Por se tratar da região sul do país, a melhor direção para a instalação do módulo fotovoltaico para obter a máxima geração é voltado para o norte geográfico, possibilitando assim um tempo maior médio de incidência solar tanto no verão quanto no inverno.

Para medir os dados relacionados à energia fotovoltaica é preciso conhecer a potência gerada pelo módulo. Para isso, uma carga deve consumir toda essa potência. Sabendo a potência máxima ( $P$ ) e a taxa de corrente ( $I$ ) informadas no datasheet do módulo, é possível calcular a carga ( $R$ ) a partir da lei de Joule Eq. 1.

$$P = R \cdot I^2 \quad (1)$$

Assim, a resistência mínima necessária para carga é de 2,27  $\Omega$ . Deve-se ter o cuidado para que a resistência opere na mesma faixa de tensão que o módulo.

A resistência foi instalada em paralelo com o módulo e submergida em um compartimento com água, para fazer o resfriamento e evitar que o aquecimento provocasse o seu rompimento.

Com o sistema de geração instalado, o próximo passo foi desenvolver o sistema de medição.

### B. Desenvolvimento do Sistema de Medição – Registrador de Dados

O sistema desenvolvido trata-se de um medidor de corrente e tensão. A partir desses dados se pode obter a potência do módulo pela Eq. 2.

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

A instrumentação utilizada para o desenvolvimento do registrador de dados está descrita na Fig. 2.

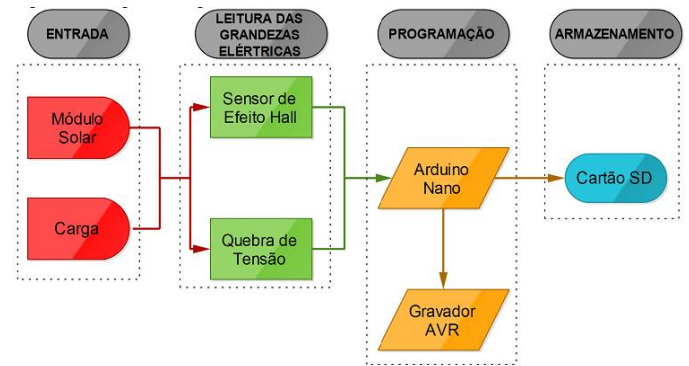


Fig. 2. Fluxograma da instrumentação do registrador de dados

#### 1) Dados de Entrada, Leituras das Grandezas Elétricas e Programação

Os dados de entrada são os obtidos do módulo fotovoltaico associado à carga, esses dados são tensão e corrente. O método utilizado para o cálculo é o da queda de tensão, feito através de resistores associados como na Fig. 3 [5]. O resultado são valores minimizados de tensão em sua saída, para que possam ser recebidos pelo microcontrolador que fará os cálculos e registros dos dados sem ser danificado. O microcontrolador utilizado é o da plataforma Arduino.

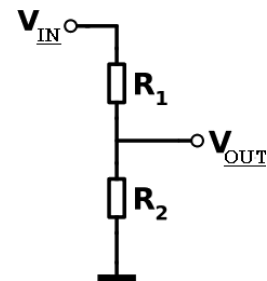


Fig. 3. Circuito divisor de tensão

#### a) Corrente Contínua (CC)

A medição deve ser realizada em corrente contínua (CC), com o intuito de evitar o máximo de perdas que outros equipamentos associados poderiam causar. A ferramenta que possibilita medição dessa forma de corrente é o sensor de efeito hall ACS712 que, conforme o campo magnético aplicado em seus terminais, libera um valor de tensão em sua saída. De acordo com o gráfico da Fig. 4 [6], pode-se verificar que quando circular a corrente máxima suportada de 30A, sua

saída de medição apresentará uma tensão de 4,5 V e quando circular uma corrente de -30 A sua saída liberará 0,5 V. Ele possui uma sensibilidade de aproximadamente 66 mV/A, que possibilita ter uma medição mais próxima da real.

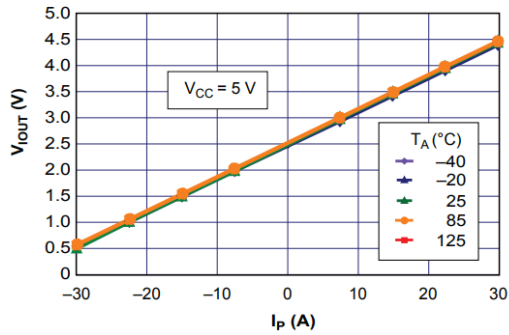


Fig. 4. Tensão de saída x corrente detectada

### b) Semiciclo Negativo

Para obter valores mais precisos com os dez bits do conversor analógico digital (AD) do microcontrolador, determinou-se apenas a utilização do semiciclo negativo de medição de corrente do sensor. Então, na equação dentro do microcontrolador, ajustou-se 0A como 2,5 V e 30 A como 0,5 V. Para isto, adicionou-se 2,5 V no pino de referência do arduino, conseguindo aproveitar melhor o número de bits do conversor AD com um circuito simples.

Para calcular os índices de radiação são necessários também os valores de temperatura do local mais próximo do módulo. Para isso, utilizou-se os dados de temperatura da estação meteorológica da universidade, que fica próxima do módulo fotovoltaico. A partir da potência de saída do módulo Pmax e dos índices de temperatura Ti se pode calcular os valores radiação solar pelo método de *Osterwald* [7] Eq. 3, para cada hora do dia.

$$P(t)GD_i = PSTC \cdot \frac{G(t)i}{GSTC} \cdot [1 - \gamma \cdot (T(t)i - TSTC)] \quad (3)$$

Em que o sub índice “STC” significa Standard Test Conditions ou Condições Padrão de Teste. PSTC é a potência máxima gerada pelo módulo, dada em (Watts), informada pelo fabricante no datasheet. GSTC é a radiação global para a condição do STC, e TSTC é a temperatura para a condição do STC. Sabendo que as condições de STC são dadas em condições restritas, é necessário aplicar um fator de correção da temperatura para potência que é representado por  $\gamma$ . Para obter ao valor desejado, deve-se isolar a radiação global (GSTC) e substituir Pmax pelo valor da potência obtida nas medições. Os valores informados pelo fabricante para o módulo fotovoltaico utilizado estão demonstrados na Tabela 1 - Detalhes do módulo fotovoltaico [8].

TABLE I. DETALHES DO MÓDULO FOTOVOLTAICO.

$G_{STC}$ (kW/m <sup>2</sup> )	1
$T_{STC}$ (°C)	25

$\gamma$ (°C <sup>-1</sup> )	-0.0045
$P_{STC}$ (W)	145

### c) Armazenamento

Os resultados serão armazenados em variações de 10s, gerando assim um arquivo por dia. Para o sistema conseguir compreender os horários e dias corretos, inseriu-se um módulo relógio RTC – DS1302 que envia para a programação os valores em tempo real.

Com isto, depois de recebido e calculado os dados de medição, a plataforma arduino armazena estes valores em um cartão SD. Para isto, foi interligado junto ao arduino um soquete slot. A programação deste equipamento foi feita para conseguir armazenar os valores no formato de txt.

No intuito de possibilitar alterações na programação e analisar dados no terminal do microcontrolador sem mexer na estrutura do sistema, prolongou-se a entrada USB do arduino até o lado externo do coletor.

Para visualização dos dados de medição, colocou-se um display do tipo sete segmentos que mostra os valores de tensão, corrente e potência em tempo real. Neste display, pode-se analisar também se os dados medidos estão sendo gravados no cartão de memória. Caso ocorra algum erro na gravação, aparecerá no *display* um asterisco; se estiver funcionando corretamente aparecerá o símbolo de *hashtag*.

### 2) Validação dos Dados Obtidos

Para validação do sistema foram utilizados dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2017), que possui uma estação meteorológica na cidade de São Luiz Gonzaga, distante em uma linha reta 69,41 km de Santo Ângelo. A comparação é realizada através da sobreposição dos resultados da radiação obtida pelo registrador e dos obtidos com o INMET [9].

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Fig. 5 está demonstrado o interior do registrador de dados. Destacados em amarelo se tem as entradas do módulo e da carga, em vermelho a plataforma arduino, em verde e azul são os medidores das grandezas elétricas: o sensor de efeito hall e os resistores, respectivamente. Já em laranja, tem-se o soquete *slot* do cartão de memória e em branco, o módulo do relógio RTC.

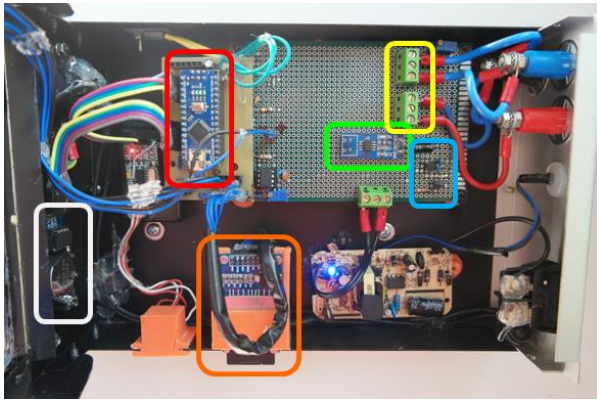


Fig. 5. Interior do registrador de dados

As medições foram realizadas em um período de 3 meses e meio. Os resultados da fase de teste contaram com alguns imprevistos que resultaram na perda de alguns dados. Em um determinado dia, o sistema de medição registrou dados de tensão e corrente nulas. Ao medir a resistência da carga, verificou-se que a mesma estava rompida. Como a medição é feita em CC, um dos conectores da resistência apresentou traços de eletrólise, ocasionando assim o seu rompimento. Para tentar solucionar este problema realizou-se primeiramente o isolamento do terminal que apresentava corrosão por eletrólise. Um mês depois o problema voltou a acontecer. Devido à estas ocasiões puderam ser aproveitados os dados de 86 dias de medição.

O registrador foi programado para armazenar as medições em uma variação de 10 s, resultando assim em 8640 medições por dia. Para calcular todos estes valores obtidos e fazer a relação necessária das medições, utilizou-se o software Matlab que possibilita a geração de tabelas e gráficos da potência e do tempo.

O gráfico da Fig. 6 mostra a relação de potência gerada pelo módulo com a variação do tempo para os 86 dias, considerando o horizonte de 24 horas diárias. Observa-se que no início da manhã (entre 2600 e 3000 segundos, equivalente a 6h e 7h) há uma perda de valores, isso se dá devido à localização da instalação do módulo não ser totalmente adequada, havendo sombreamento nesse período. Os traços com picos mais elevados mostram o potencial de radiação solar que a região possui, pois o módulo conseguiu ultrapassar a sua potência nominal. Isso só foi possível graças ao alto nível de radiação solar, associado a uma temperatura menor que 25°C, favorecendo assim o alto nível de geração.

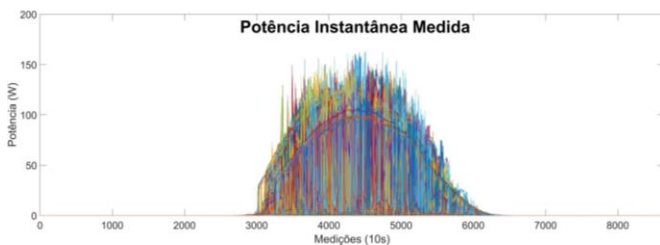


Fig. 6. Gráfico da potência x tempo (total medido)

Realizou-se uma análise mais criteriosa das medições e foram encontrados alguns erros. Esses erros representam uma perda equivalente a 5,81% dos valores registrados. Desta forma estes valores foram descartados para gerar o gráfico da potência média horária (Fig. 7). Para obtenção desse gráfico foi considerado o valor da máxima demanda dentro de 15 minutos e, logo após, calculado a média destes valores. O resultado é um gráfico com valores mais constantes de potência e com uma menor taxa de variação no tempo, o que facilita a análise da média naqueles intervalos de tempo. Os traços coloridos mostra melhor o quantitativo de dias que ficaram nublados (traços medianos) e os com chuva (traços mais próximos ao eixo x).

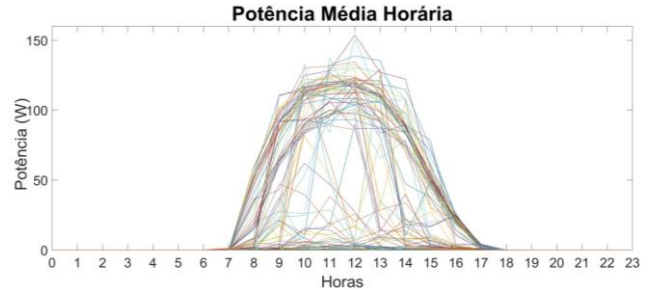


Fig. 7 - Gráfico da potência x tempo (média)

A partir da base de dados de potência do registrador e dos dados de temperatura da estação meteorológica da URI, foi possível obter dados validados de radiação solar a partir da Eq. 3, para um total de 56 dias.

Os cálculos foram realizados a partir de programação no Matlab, gerando assim o gráfico da Fig. 8, que mostra os valores de máxima e mínima radiação dentro do período selecionado. Nota-se que a incidência solar por metro quadrado ultrapassa da necessária para geração nominal do módulo, que seria de 1000 W/m<sup>2</sup>. Isso justifica um dos motivos pelo qual o sistema registrou uma potência mais elevada do que os 145 W informados pelo fabricante.

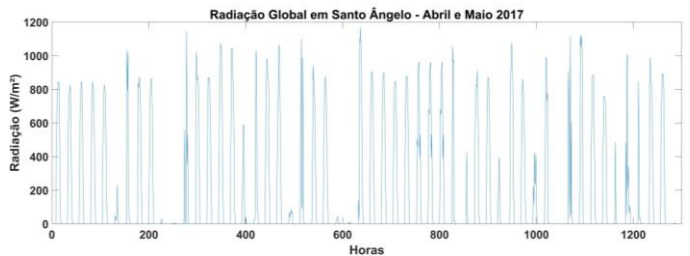


Fig. 8. Gráfico da radiação x hora

O gráfico da Fig. 9 apresenta a média de radiação global para a cidade de Santo Ângelo para os meses de Abril e Maio de 2017. Conforme pode ser observado, mesmo com os picos de radiação solar maiores que os 1000 W/m<sup>2</sup>, a média diária não chega aos 700 W/m<sup>2</sup>, mostrando assim o quão inconstante é essa forma de energia, seja por consequência de chuvas ou nuvens. Além disso, observa-se uma caracterização do comportamento de radiação diferente do típico (pico às 12h). Isso ocorre devido à baixa representatividade dos dados aproveitados, fazendo com que o registro de um elevado índice

de radiação num determinado período impacte no valor médio do mesmo.

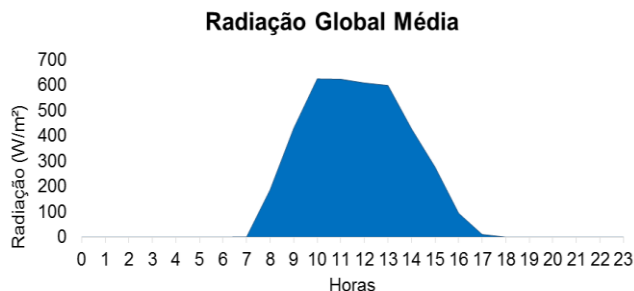


Fig. 9. Gráfico da radiação x hora (média)

Os dados foram validados de acordo com a metodologia descrita no item 2.3. Com a superposição dos dados de radiação obtidos pelo registrador e os obtidos com o INMET se tem o gráfico da Fig. 10. Observa-se que para alguns dias só é visto a variação em azul (valores do INMET). Nesses dias ocorreram os erros citados. De maneira geral, nota-se que os valores foram similares.

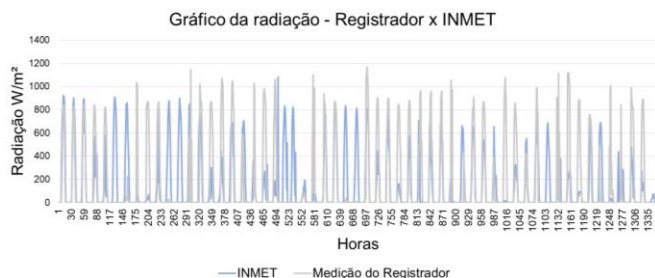


Fig. 10. Gráfico de comparação de radiações

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de desenvolver um sistema de medição de dados relacionados à energia fotovoltaica a partir de equipamentos disponíveis no laboratório da universidade foi alcançado. Entretanto, devido ao curto período de análises, prejudicado por alguns erros da fase de teste, ainda não possibilitaram a criação de um banco de dados sólido.

A partir dos dados registrados, foi possível fazer os cálculos da radiação solar da cidade, o que nos possibilitou analisar o potencial da região quanto a esse tipo de energia. Aspecto esse que é comprovado com os valores apresentados

nos resultados, que mostram os picos de potência que ultrapassaram os 145 W nominais do módulo.

Os relatórios e testes realizados demonstraram a validade dos dados obtidos e por isso o sistema será capaz de gerar a base de dados pretendida, desde que o período de análises contemple, pelo menos, um ano inteiro de dados para que sejam confiáveis.

Como a resistência utilizada apresentou danos com o passar do tempo, essa não seria a carga adequada para um sistema de monitoramento de longo prazo, pois necessitaria de manutenção constante. Portanto, uma alternativa adequada seria a instalação de lâmpadas de 12 V que, calculadas corretamente, supririam o consumo total do módulo, tornando dispensável a manutenção mais rotineira.

Ainda, para obter melhores resultados e uma base de dados sólida e confiável, a posição da instalação do módulo deve ser adequada a fim de evitar interferência de sombreamento em qualquer hora do dia.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2017. Geração Distribuída. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/VerGD.asp>, acessado em 15/11/2017.
- [2] Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [3] Bernardon, D. P., Pfitscher, L. L., Canha, L. N., Mello, A. P. C., Abaide, A. R., Sperandio, M., Ramos, M. J. S., 2016. Sistemas de Distribuição no Contexto das Redes Elétricas Inteligentes. Santa Maria: Editora Pallotti.
- [4] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2016. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA. Disponível em <http://sonda.ccst.inpe.br/>, acessado em 15/07/2017.
- [5] CRESESEB, 2016. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito.
- [6] Cabral, L., 2017. Circuito Divisor de Tensão.
- [7] Microsystems, A., 2017. Datasheet ACS712.
- [8] Osterwald, C. R., 1986. Translation of device performance measurements to reference conditions. *Solar Cells*, 18(3–4), 269–279. [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(86\)90126-2](https://doi.org/10.1016/0379-6787(86)90126-2).
- [9] Yingli Green Energy Holding Co. Ltd., 2017. Datasheet Módulo YL145P-17b.
- [10] Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2017. Estações Automáticas - São Luiz Gonzaga. Disponível em [http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTg1Mg==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTg1Mg==), acessado em 09/08/2017.