



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

JONAS PLATINI REGES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS
PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

FORTALEZA, CEARÁ

2017

JONAS PLATINI REGES

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em energias renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria

FORTALEZA, CEARÁ

2017

Catálogo na Fonte

R333 Reges, Jonas Platini.
Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para sistemas fotovoltaicos / Jonas Platini Reges -- 2017.
118f.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis) -- Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Maracanaú, 2017.
Orientador: Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria.

1.SISTEMA FOTOVOLTAICO. 2.ENERGIA SOLAR.
3.SISTEMA DE MONITORAMENTO. 4. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS. I.Título.

621.471

Sistema AutoCata (Desenvolvido por Cledson Oliveira)
SIBI/PROEN - Biblioteca Rachel de Queiroz - IFCE-Maracanaú

JONAS PLATINI REGES

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

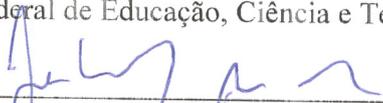
Aprovada em 20 / 03 / 2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE


Prof. Dr. John Hebert da Silva Félix
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB


Prof. Dr. José Renato de Brito Sousa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE


Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

*Dedico este trabalho, primeiramente, aos meus pais, pelo total apoio,
dedicação e incentivo na minha vida.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Laboratório de Ensaios Mecânicos pela disponibilização de todos equipamentos e materiais de consumo necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria pela confiança e orientações neste trabalho. Agradeço a todos os bolsistas do LEM pela ajuda e descontração nas horas vagas. Ao membros da banca examinadora Prof. Dr. José Renato de Brito Sousa, Prof. Dr. José Wally Mendonça e Menezes e Prof. Dr. John Hebert da Silva Felix que se dispuseram e dedicaram seu tempo na leitura e realização das considerações. Aos professores, Dr. Pedro Pedrosa Rebouças Filho, Dr. José Renato de Brito Sousa e Dr. Franklin Aração Gondim, e ao Programa de Pós Graduação em Energias Renováveis - PPGER do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

Ao meus colegas de pós-graduação, especialmente, Holanda Junior, André, Rafael, Fábio e Marcus, aos meus colegas de graduação, especialmente, Marcelo Vitor. Ao meu colega de trabalho e amigo Prof. Francisco Ismael de Oliveira por toda ajuda na parte prática do experimento. A todos meus colegas de trabalho, servidores, terceirizados e alunos do IFCE - Campus Jaguaribe pela amizade e motivação no crescimento profissional e pessoal. A todos que contribuíram, motivaram e discutiram direta e indiretamente a melhoria deste trabalho.

A minha família, meus pais, Helder Reges (*In memoriam*) e Luiza Reges, pela educação repassada, a minha irmã, Bianca Reges, por todo companheirismo e confiança, ao meu tio Hildo Reges por toda força e motivação, as minhas tias Rosa Reges, Luzia Reges e Maria Neuza por toda compreensão. A todos que me motivaram para conclusão desta etapa profissional e acadêmica. Obrigado a todos.

“Quem nunca errou nunca experimentou algo novo.”
(Albert Einstein)

Resumo

A geração de energia através de fontes renováveis alternativas para a matriz energética brasileira é muito importante para a segurança da rede de energia elétrica, devido a diversificação dos elementos fundamentais para geração de energia. Logo, os sistemas fotovoltaicos são uma boa solução para esta aplicação possuindo uma eficiência energética relativamente em crescimento. O monitoramento na geração de energia elétrica é algo imprescindível como forma para analisar estatisticamente os rendimentos da geração de energia elétrica e validar a viabilidade técnica do sistema. Nesta dissertação é descrito o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados visando uma análise no desempenho de sistema fotovoltaicos. Este trabalho é motivado pela implementação de um sistema de monitoramento com isolamento elétrico através de optoacopladores na medição, possuindo a capacidade de readequação dos módulos permitindo inserção de novos sensores ou *shields*. O sistema de monitoramento foi desenvolvido na plataforma Arduino, sendo esta uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre. O sistema solar fotovoltaico foi instalado nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Jaguaribe. No total, são realizados 3 testes com o sistema de monitoramento onde seus resultados são apresentados e avaliados. Os resultados são analisados com o intuito de avaliar o desempenho do sistema de monitoramento quanto ao erro de medição e a precisão na medição. Em seguida, é realizada uma análise geral sobre o funcionamento do sistema de monitoramento. A principal contribuição deste trabalho é o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados.

Palavras-chaves: Desempenho na geração de energia; Sistema de aquisição de dados; Sistema de geração fotovoltaica.

Abstract

The generation of energy through alternative renewable sources for the Brazilian energy matrix is very important for the safety of the electric power network due to the diversification of the fundamental elements for power generation. Therefore, photovoltaic systems are a good solution for this application having a relatively growing energy efficiency. The monitoring in the generation of electric power is essential as a way to statistically analyze the incomes of the energy generation and to validate its technical feasibility of the system. This dissertation describes the development of a data acquisition system aiming at a performance analysis of photovoltaic systems. This work is motivated by the implementation of a monitoring system with electrical insulation through optocouplers in the measurement having, then, the ability to readjust the modules allowing the insertion of new sensors or shields. The monitoring system was developed in the Arduino platform, which is a platform of electronic prototyping of free hardware. The photovoltaic solar system was installed in the premises of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará - Campus Jaguaribe. In total, 3 tests are carried out with the monitoring system where their results are presented and evaluated. The results are analyzed with the purpose of evaluating the performance of the monitoring system regarding measurement error and measurement accuracy. Then, a general analysis is performed on the operation of the monitoring system. The main contribution of this work is the development of the data acquisition system.

Key-words: Performance in power generation; Data acquisition system; Photovoltaic generation system.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Plataforma petrolífera.	18
Figura 2 – Indústria de gás natural.	19
Figura 3 – Usina nuclear Angra II.	19
Figura 4 – Usina hidrelétrica de Itaipu.	20
Figura 5 – Usina de ondas instalada no Ceará.	21
Figura 6 – Composição do espectro da radiação solar.	25
Figura 7 – Efeito FV de uma célula solar.	26
Figura 8 – Efeito fotoelétrico sobre uma superfície metálica.	27
Figura 9 – Piranômetro a) termoeletrico e b) fotovoltaico.	28
Figura 10 – Sistema FV autônomo <i>off-grid</i>	28
Figura 11 – Sistema FV conectados à rede elétrica (<i>on-grid</i>).	29
Figura 12 – Usina solar instalada no Estádio Mineirão.	30
Figura 13 – Célula a) monocristalina e b) policristalina.	31
Figura 14 – Circuito equivalente de uma célula FV.	31
Figura 15 – Curva característica $I - V$ da célula FV.	32
Figura 16 – Curva característica e os três pontos notáveis da célula FV.	32
Figura 17 – Associação mista de células FV.	34
Figura 18 – Bateria estacionária de eletrólito líquido.	36
Figura 19 – Bateria estacionária de eletrólito em gel.	36
Figura 20 – Controlador de carga para sistemas FV.	37
Figura 21 – Inversor de frequência para sistemas FV.	38
Figura 22 – Módulos FV com diferentes técnicas de arrefecimento.	41
Figura 23 – Sistema de imersão líquida.	43
Figura 24 – Implantação de telhado FV.	44
Figura 25 – Esquemático de uma trigeriação.	45
Figura 26 – Experimento com telhados <i>PV-green</i>	46
Figura 27 – Experimento com painéis FV espaçados e com mesma inclinação.	47
Figura 28 – Diagrama de bloco de um sistema de monitoramento.	50
Figura 29 – Esquema geral de interligação dos componentes.	51
Figura 30 – Sistema de aquisição de dados.	52
Figura 31 – Sensores e módulo transmissor de dados instalados.	54
Figura 32 – Esquemático do sistema FV com os pontos de monitoramento.	56
Figura 33 – Diagrama do componentes do sistema completo.	57
Figura 34 – Sensor de corrente ACS712.	58
Figura 35 – Esquemático do CI ACS712.	58
Figura 36 – Diagrama elétrico de ligação do sensor de corrente.	59

Figura 37 – Divisor de tensão.	59
Figura 38 – Modelo esquemático de um optoacoplador.	60
Figura 39 – Esquemático do optoacoplador HCPL-7520.	61
Figura 40 – Diagrama elétrico de ligação do sensor de tensão com optoacoplador.	61
Figura 41 – Real Time Clock e Módulo SDcard.	62
Figura 42 – Diagrama elétrico de ligação do módulo RCT DS1302.	62
Figura 43 – Diagrama de elétrico de ligação do módulo SD card.	63
Figura 44 – <i>Display</i> LCD 16x2.	63
Figura 45 – Módulo I2C para Display Lcd 16x2.	64
Figura 46 – Diagrama elétrico de ligação do módulo serial I2C.	64
Figura 47 – Microcontrolador Arduíno Pro Mini.	65
Figura 48 – Visualização 3D da placa de circuito impresso do sistema de monitoramento.	65
Figura 49 – Diagrama eletrônico.	66
Figura 50 – Controlador de carga.	66
Figura 51 – Bateria Unipower.	67
Figura 52 – Painel solar 10 W.	68
Figura 53 – Esquema de ligação do sistema solar FV.	69
Figura 54 – Multímetro Politerm POL-41A.	69
Figura 55 – Diagrama de ligação dos multímetros.	70
Figura 56 – Esquema de ligação do controlado com o sistema de monitoramento.	71
Figura 57 – Painel FV instalado em campo para calibração do sistema de monitoramento.	72
Figura 58 – Calibração do sistema de monitoramento em bancada.	73
Figura 59 – Suporte de instalação do painel FV.	73
Figura 60 – Painel FV instalado a) vista frontal e b) vista superior.	74
Figura 61 – Sistema de monitoramento instalado em campo a) vista do sistema FV completo e b) vista do sistema de monitoramento.	77
Figura 62 – Representação da metodologia utilizada neste trabalho.	78
Figura 63 – Medição de tensão do painel, bateria e carga.	80
Figura 64 – Medição de corrente do painel, bateria e carga.	81
Figura 65 – Medição de potência do painel, bateria e carga.	82
Figura 66 – Gráfico da tensão do painel FV, bateria e carga.	84
Figura 67 – Gráfico da corrente do painel FV, bateria e carga.	84
Figura 68 – Gráfico da potencia do painel FV, bateria e carga.	85
Figura 69 – Gráfico da corrente média do painel com o desvio padrão.	86
Figura 70 – Gráfico da tensão média do painel com o desvio padrão.	87
Figura 71 – Gráfico da potência média do painel com o desvio padrão.	88

Figura 72 – Gráfico da potência média diária do painel FV com o desvio padrão e o rendimento médio diário.	89
Figura 73 – Diagrama elétrico do Arduino Pro Mini.	106

Lista de tabelas

Tabela 1 – Características das baterias.	35
Tabela 2 – Avaliação da eficiência de células/painéis FV para diferentes tecnologias e a média da eficiência.	39
Tabela 3 – Trabalhos sobre módulos híbridos FV/T.	41
Tabela 4 – Sistema de aquisição e transmissão de dados em torres.	53
Tabela 5 – Propriedades dos sistemas de monitoramento.	53
Tabela 6 – Avaliação da calibração por sensores.	79
Tabela 7 – Avaliação da verificação do sistema de monitoramento.	82
Tabela 8 – Avaliação métrica sobre o sistema de monitoramento.	88
Tabela 9 – Materiais utilizados.	105
Tabela 10 – Medições realizadas no primeiro dia.	108
Tabela 11 – Medições realizadas no segundo dia.	109
Tabela 12 – Medições realizadas no terceiro dia.	110
Tabela 13 – Medições realizadas no quarto dia.	111
Tabela 14 – Medições realizadas no quinto dia.	112
Tabela 15 – Medições realizadas no sexto dia.	113
Tabela 16 – Medições realizadas no sétimo dia.	114
Tabela 17 – Medições realizadas no oitavo dia.	115
Tabela 18 – Medições realizadas no nono dia.	116
Tabela 19 – Medições realizadas no décimo dia.	117
Tabela 20 – Medições realizadas no décimo primeiro dia.	118

Lista de abreviaturas e siglas

AGM	<i>Absorbed Glass Mat</i>
AM	<i>Air Mass</i>
CdTe	Telureto de Cádmi
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
ddp	Diferença de Potencial
EMQ	Erro Médio Quadrático
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
FV	Fotovoltaico(a)(os)(as)
FV/T	Fotovoltaico(a)(os)(as) Térmico(a)(os)(as)
GEE	Gases do Efeito Estufa
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
IHM	Interface Homem-Máquina
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
NiCd	Níquel-Cádmi
NiMH	Níquel-Metal-Hidreto
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
MPP	<i>Maximum Power Point</i>
MPPD	<i>Max Power Point Detection</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
PCB	<i>Printed Circuit board</i>
PIB	Produto Interno Bruto
TMA	Taxa Média de Acerto
VRLA	<i>Valve-regulated Lead Acid</i>

Lista de símbolos

θ_Z	ângulo zenital do Sol
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
G	Irradiância
H	Irradiação
I_M	Corrente de Máxima Potência
I_{SC}	Corrente de Curto-Circuito
J	Joule
K	Graus Kelvin
kW	Kilowatt
kWh/m^2	Kilowatt-hora por metro quadrado
kJ/m^2	Kilo Joule por metro quadrado
P_L	Potência luminosa incidente na área do dispositivo.
P_M	Potência Máxima
MW	MegaWatt
V	Tensão
V_M	Tensão de Máxima Potência
V_{OC}	Tensão de Circuito Aberto
W/m^2	Watt por metro quadrado
Wh/kg	Watt-hora por Quilograma

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	22
1.1.1	Objetivo geral	22
1.1.2	Objetivos específicos	22
1.2	Justificativa	23
1.3	Produção Científica	23
1.4	Organização da dissertação	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE	25
2.1	Energia solar FV	25
2.1.1	Conceitos básicos	25
2.1.2	Sistemas FV típicos	28
2.1.2.1	Sistemas FV autônomos	28
2.1.2.2	Sistemas FV conectados à rede elétrica	29
2.1.3	Célula FV	30
2.1.4	Bateria	35
2.1.5	Controlador de carga	37
2.1.6	Inversor	38
2.2	Desempenho da geração de energia	39
2.2.1	Sistemas de arrefecimento e análise térmica	39
2.2.2	Telhados FV	44
2.2.3	Inclinação e orientação	46
2.3	Sistemas para aquisição de dados	48
2.3.1	Conceitos	48
2.3.2	Sistemas de monitoramento	49
2.3.3	<i>Softwares</i> de monitoramento	54
2.4	Conclusão do Capítulo	55
3	MATERIAIS E MÉTODOS	56
3.1	Sistema de monitoramento FV	56
3.1.1	Sensor de corrente	58
3.1.2	Sensor de tensão	59
3.1.3	<i>Datalogger</i>	61
3.1.4	<i>Display</i> LCD	63
3.1.5	Arduino	64
3.1.6	Sistema solar FV	66

3.2	Metodologia de calibração	67
3.2.1	Método de instalação	72
3.3	Métricas de avaliação	75
3.4	Conclusão do Capítulo	76
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1	Resultado para a calibração por sensores	79
4.2	Resultado da verificação do sistema de monitoramento	80
4.3	Resultado da instalação do sistema de monitoramento em campo	83
4.4	Conclusão do Capítulo	90
5	CONCLUSÃO E TRABALHO FUTUROS	91
5.1	Trabalhos futuros	92
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICES	104
	APÊNDICE A – CUSTOS	105
	APÊNDICE B – DIAGRAMA ELÉTRICO DO ARDUINO PRO MINI	106
	APÊNDICE C – RESULTADOS COMPLETOS - GERAÇÃO EM CAMPO	107

1 Introdução

A energia faz parte dos principais recursos existentes no planeta Terra. Sendo, a pedra fundamental para a vida, a energia está presente em nosso cotidiano e por muitas vezes passa despercebida, em um simples gesto de piscar os olhos, ou no movimento de translação da Terra. A energia pode ser notada em diferentes formas, tais como: Potencial, Cinética, Mecânica, Elétrica, Química e Radiante (HALLIDAY; RESNICK, 1997; NUSSENZVEIG, 2007). Como a sociedade humana vem cada vez mais elevando o consumo energético, ao longo de sua subsistência, diversos processos de armazenamento, transformação e transporte de energia foram desenvolvidos.

Com o crescente consumo energético da sociedade, com foco no setor elétrico, o aumento das fontes de geração de energia elétrica é uma necessidade atual enfrentando um grande desafio de fornecer energia a um custo acessível e protegendo simultaneamente o meio ambiente. A demanda de energia elétrica a cada ano vem aumentando, logo, há uma necessidade na instalação de diversas fontes de energia (JOHANSSON, 1993; SAHU; CHAKRABORTY; SARKAR, 2014).

As fontes de energia são divididas em dois grandes grupos: As fontes não-renováveis de energia e fontes renováveis de energia. No trabalho de Apergis e Payne (2012) é realizado um comparativo entre as fontes renováveis e não renováveis de energia e verifica-se o crescimento econômico em 80 países ao longo do período de 1990-2007. O estudo demonstra que ambos os tipos de fontes causam impactos positivos no produto interno bruto (PIB) em longo prazo.

Uma fonte não-renovável de energia é aquela que depende diretamente de processos em escala de tempo geológica¹ para se tornarem disponíveis. Para Sahu, Chakraborty e Sarkar (2014), o cenário atual é dominado principalmente por combustíveis fósseis. No geral, este tipo de energia necessita ser transformada em uma energia secundária, como eletricidade ou gasolina para ser utilizada, são exemplos de energia não-renovável, o carvão mineral, o petróleo, o gás natural e a energia nuclear (JOHANSSON, 1993).

O carvão mineral é formado, no geral, da mistura de vários produtos químicos, especialmente elementos inorgânicos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Muitos destes compostos têm efeitos mutagênicos e carcinogênicos para os organismos que forem expostos a tal. Sendo encontrado em jazidas e extraído através da mineração. A energia é extraída por meio da combustão do carvão, muito utilizado em usinas termoeletricas e indústrias siderúrgicas (SOUZA et al., 2015; CAI et al., 2015; SAHU; CHAKRABORTY;

¹ representa a linha do tempo desde a formação da terra até o presente, sendo baseado nos grandes eventos geológicos da história do planeta

SARKAR, 2014).

O petróleo é uma substância oleosa, inflamável, com coloração escura constituído em sua maior parte por hidrocarbonetos. A indústria de refino converte o petróleo bruto em mais de 2500 produtos petrolíferos incluindo querosene, gasolina, combustível para aviação, óleo diesel, óleos lubrificantes, entre outros. O petróleo é o principal contribuinte para a emissão de gases do efeito estufa (*GEE*). As principais fases do ciclo de vida do petróleo são o estado bruto, o transporte, o refino, a distribuição e a combustão, durante a combustão ocorre a maior emissão de *GEE* (GUO et al., 2016; HAN et al., 2015). Uma plataforma petrolífera em funcionamento é mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Plataforma petrolífera.



Fonte: Retirada de Navelog (2016).

O gás natural é um combustível fóssil formado pela combinação hidrocarbonetos gasosos contendo, principalmente, metano e etano em sua composição. Encontrado na natureza, normalmente em reservatórios profundos no subsolo. Uma indústria de extração de gás natural é mostrada na Figura 2. Sendo um gás inodoro, incolor e que oferece uma baixa taxa de emissão de poluentes locais comparados aos combustíveis de hidrocarbonetos (petróleo e carvão) (THOMSON; CORBETT; WINEBRAKE, 2015; KOH et al., 2016; WEI; GENG, 2016).

A energia nuclear é geralmente obtida através da fissão do núcleo do átomo de urânio, ocasionando assim a liberação de uma grande quantidade de energia, um exemplo de usina nuclear é mostrado na Figura 3. Em geral, existem dois principais riscos relacionados com a energia nuclear. O primeiro é o risco de um acidente nuclear com alto impacto ambiental. A segunda é a geração de resíduos radioativos (CORTÉS-BORDA; GUILLÉN-GOSÁLBEZ; JIMÉNEZ, 2015; ASHLEY et al., 2015; NASER, 2015).

As fontes renováveis de energia são aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização, sendo utilizadas continuamente sem haver esgotamento, ou

Figura 2 – Indústria de gás natural.



Fonte: Retirada de [Igás \(2016\)](#).

Figura 3 – Usina nuclear Angra II.



Fonte: Retirada de [Brasil \(2016\)](#).

seja, se renovando ao longo do tempo. Estas fontes podem ser classificadas como: energia hidrelétrica, energia solar, energia eólica, energia oceânica, energia geotérmica e energia da biomassa. A principal fonte de energia para funcionamento de todas as outras existentes no planeta Terra é o Sol ([JOHANSSON, 1993](#)).

A energia solar é dividida em dois grupos: energia solar fotovoltaica e energia solar térmica. A energia solar fotovoltaica gera eletricidade através da conversão direta da radiação solar ocorridas pelos efeitos da radiação(luz e calor) incidente em determinados

materiais, especialmente semicondutores. Enquanto, a solar térmica funciona através da transferência de calor diretamente para aquecer outro meios, sejam coletores de calor ou tubos a vácuo que captam o calor e transferem para um fluido. Os tipos de geração de energia solar possuem um grande potencial por serem naturais e disponíveis em quase todo o território terrestre (TIAN; ZHAO, 2013; GREEN et al., 2015).

A energia hidrelétrica (hidroelétrica) é obtida através do potencial hidráulico de um reservatório. As usinas hidrelétricas são construídas em rios que possuem um grande volume de água e desníveis ao longo de seu leito. A água, armazenada no reservatório, passa pelas tubulações das hidrelétricas com velocidade e força para proporcionar o movimento de turbinas, estas são acopladas a geradores elétricos que são responsáveis pela transformação da energia mecânica em energia elétrica (ZHOU et al., 2015; VIEIRA et al., 2015).

A matriz energética brasileira é, quase que completamente, composta por energia proveniente de usinas hidrelétricas, devido o vasto território rico em rios com grandes extensões, caudalosos e correndo sobre planaltos e depressões. Segundo Minas e Energia (2016), a matriz energética é composta por 75,5 % de energias renováveis com a energia hidráulica sendo preponderante, correspondendo por 66,2 % da matriz. A principal hidrelétrica do Brasil com uma capacidade de 14 000 MW é a usina hidrelétrica de Itaipu, conforme mostrada na Figura 4.

Figura 4 – Usina hidrelétrica de Itaipu.



Fonte: Retirada de Promon (2016).

Na energia eólica o principal combustível é o vento, o equipamento utilizado na geração de energia chama-se aerogerador. Neste processo, a conversão da energia mecânica (Força dos ventos) em energia elétrica (Eletricidade) ocorre através da movimentação das pás do aerogerador que são acopladas no eixo de um gerador elétrico. Os aerogeradores são comumente instalados nos litorais devido ao grande espaço necessário para sua instalação e a disponibilidade de ventos praticamente durante todo o dia. A energia do vento pode ser utilizada de outras formas como em moinhos de vento para a produção de energia

mecânica ou em velas para impulsionar embarcações (ACKERMANN, 2005; ZHANG; WANG; WANG, 2014).

Devido a natureza dos ventos, a energia elétrica gerada pelos aerogeradores é altamente irregular podendo afetar a qualidade da energia elétrica, bem como no planejamento de sistemas de energia. Uma solução para este problema são os Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE) que funcionam através do armazenamento energia mecânica como: motor-bomba² e motor volante³, permitindo uma maior penetração da energia eólica no sistema da concessionária. Juntamente com os conversores de energia, que são utilizados para melhorar a qualidade da energia elétrica sem a necessidade do armazenamento em bateria (DÍAZ-GONZÁLEZ et al., 2012; ZHAO et al., 2015; FARIA, 2017).

A energia oceânica pode ser obtida através de três maneiras: ondas, marés e diferença de temperatura do oceano. Esse tipo de tecnologia comparada com as outras fontes de energia renovável possui um menor desenvolvimento no presente, devido à falta de investimento e a confiança dos potenciais investidores no aprimoramento desta fonte de energia. Sendo que, somente em 2008 surgiu a primeira geração de dispositivos comerciais para a geração de energia oceânica, sendo estas instaladas no Reino Unido e Portugal (ASTARIZ; IGLESIAS, 2015; ESTEBAN; LEARY, 2012). A primeira usina de ondas da América Latina está instalada no Ceará, a mesma é mostrada na Figura 5.

Figura 5 – Usina de ondas instalada no Ceará.



Fonte: Retirada de Promon (2016).

A energia geotérmica é uma forma de energia advinda a partir do calor que provém da Terra, mas especificamente do seu interior. A energia elétrica é obtida através de perfurações no solo onde há uma grande quantidade de vapor e água quente, estes são

² Armazenar energia potencial do ar comprimido em recipientes apropriados.

³ Armazenar energia através de movimento giratório (energia cinética).

levados por tubulações até a superfície e transportados a uma central elétrica geotérmica, rotacionando as pás de uma turbina convertendo energia mecânica em energia elétrica. A desvantagem em utilizar a energia geotérmica está na emissão de um odor desagradável, a natureza corrosiva do vapor e as propriedades nocivas do ácido sulfídrico (H_2S) (DICKSON; FANELLI, 2013; SHORTALL; DAVIDSDOTTIR; AXELSSON, 2015).

A energia possui um papel importante no desenvolvimento econômico-social de um país. A biomassa é uma forte aliada neste processo, sendo uma fonte de energia proveniente de restos de seres vivos (animal e vegetal) onde seus principais materiais são: lenha, resíduos florestais, estrume animal, resíduos municipais e industriais. As tecnologias de conversão da energia de biomassa incluem digestão anaeróbica, pirólise, gaseificação, transesterificação, fermentação e combustão (NAKOMCIC-SMARAGDAKIS; CEPIC; DRAGUTINOVIC, 2016; JINGURA; MUSADEMBA; KAMUSOKO, 2013).

Por fim, a energia solar fotovoltaica é uma fonte renovável de energia, e que está em crescimento no mercado mundial, onde vários empresários e microempreendedores estão investindo nesta fonte. Na energia solar, as células fotovoltaicas captam a radiação incidente e a convertem em energia elétrica e calor, onde este calor está relacionado às perdas de conversão. O rendimento da energia solar é uma peça fundamental para sua inserção no mercado, existem fatores que influenciam sua geração e que podem ser analisados a partir de sistemas de monitoramento fotovoltaicos (GREEN et al., 2015; DIMROTH et al., 2005).

Todas as formas de geração de energia possuem um papel importantíssimo para a humanidade, mas deve-se priorizar as formas de gerações de energia renovável. Estas, são fontes inesgotáveis e que possuem rendimentos consideráveis quando utilizadas da forma correta. Assim, haverá uma conservação e preservação do ecossistema terrestre, levando em consideração as influências causadas pelas fontes não-renováveis (TIEPOLO et al., 2012).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho consiste em desenvolver e avaliar um sistema de aquisição de dados para analisar o desempenho da geração de energia em painéis solares fotovoltaicos.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste trabalho, podem-se citar:

- Implementar um sistema de monitoramento fotovoltaico que armazene os dados de potência da geração, da bateria e da carga.

- Validar o funcionamento do sistema de monitoramento quanto a sua calibração.
- Avaliar o desempenho da geração de energia solar fotovoltaica através do sistema de monitoramento.

1.2 Justificativa

O crescente uso e aplicação da geração solar fotovoltaica vem tornando-se algo muito presente no dia a dia da sociedade brasileira, bem como, a necessidade para suprir a demanda de energia solicitada pelos consumidores. Devido, alguns sistemas fotovoltaicos possuírem baixos rendimentos estes necessitam de uma maior área para instalação dos painéis. Contudo, os sistemas fotovoltaicos de melhores rendimentos poderiam ocupar área igual, gerando uma quantidade maior de energia. Logo, a necessidade do monitoramento torna-se algo imprescindível para análise do desempenho da geração energia, podendo apresentar os principais fatores que influenciam no rendimento, a escolha do ângulo de inclinação que trará maior absorção da radiação direta e a escolha do local de instalação do sistema de geração fotovoltaico.

1.3 Produção Científica

É importante atentar que, durante o período que o aluno se dedicou às pesquisas no PPGER, o mesmo publicou dois artigos, sendo um destes avaliado como Qualis B1 interdisciplinar, ambos em temas ligados diretamente à sua dissertação e linhas de pesquisa do PPGER:

- **REGES, J. P.**; BRAGA, E. J. ; MAZZA, L. C. S. ; ALEXANDRIA, A. R. . Inserting Photovoltaic Solar Energy to an Automated Irrigation System. International Journal of Computer Applications, v. 134, p. 1-7, 2016.
- **REGES, J. P.**; MOREIRA, F. D. L. ; BEZERRA, L. D. S. ; ALEXANDRIA, A. R. ; REBOUCAS FILHO, P. P. . Thermographic Image Processing Application in Solar Followers. Revista IEEE América Latina, v. 13, p. 3350-3358, 2015.

1.4 Organização da dissertação

Esta proposta de dissertação está organizada em 5 capítulos. A fundamentação teórica e o estado da arte sobre o princípio de funcionamento da geração da energia solar fotovoltaica e os sistema de monitoramento necessários para a realização deste trabalho são apresentados no Capítulo 2. No Capítulo 3, os elementos que compõem o sistema de monitoramento fotovoltaico, as metodologias de calibração e instalação do sistema,

bem como as métricas de avaliação são descritas detalhadamente. Os teste e resultados obtidos, além de discussão sobre estes, estão postos no Capítulo 4. No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões, contribuições e considerações finais desta dissertação. Além disso, no Apêndice A é apresentada tabela com os valores do componentes utilizados no trabalho, no Apêndice B é apresentado do diagrama elétrico do Arduino pro mini e no Apêndice C são apresentados os dados completos do sistema de monitoramento instalado em campo.

2 Fundamentação teórica e estado da arte

Neste capítulo é apresentada, a base teórica para o desenvolvimento deste trabalho sobre energia solar fotovoltaica. São estudados os componentes que integram o sistema fotovoltaico (FV¹) e suas aplicações. Por fim, é realizada uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de monitoramento FV e análise de desempenho da geração de energia, apresentando os principais métodos propostos na literatura que foram estudados para o desenvolvimento do trabalho.

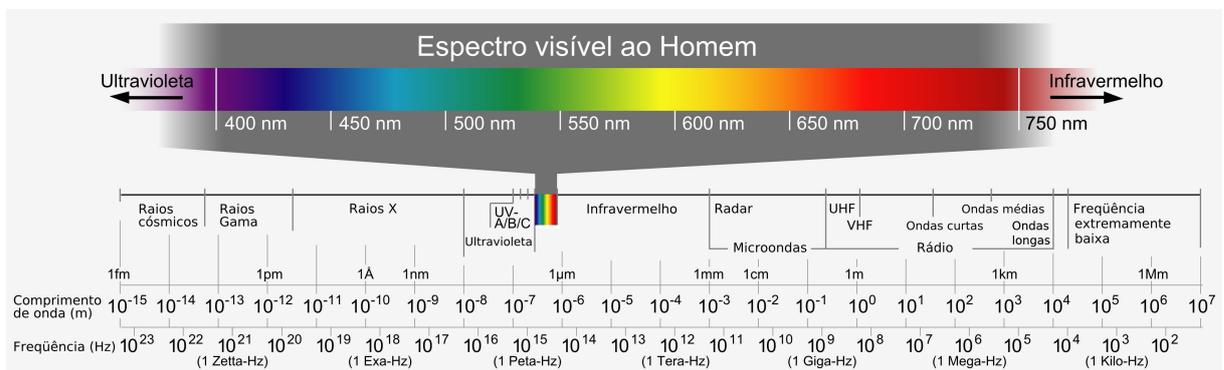
2.1 Energia solar FV

Os conceitos básicos para a geração FV são apresentados nesta seção, bem como os equipamentos que integram o sistema FV e os métodos de geração. Por fim, são apresentados os tipos de sistemas de geração solar FV.

2.1.1 Conceitos básicos

A capacidade de energia transmitida por uma onda está diretamente associada à sua frequência, logo, quanto maior a frequência, maior será a energia transmitida. O conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol chama-se de espectro da radiação solar, onde apenas uma pequena parte deste espectro é visível a olho nu, chamado de luz visível, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Composição do espectro da radiação solar.



Fonte: Retirada de [Carvalho \(2013\)](#).

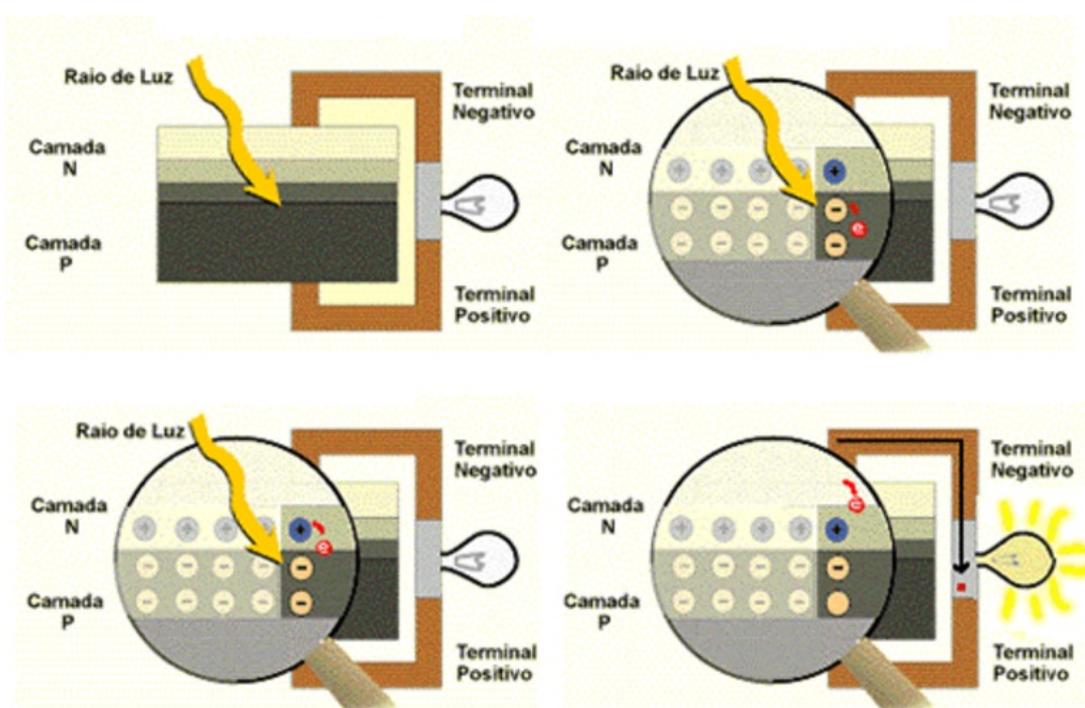
Quando as ondas eletromagnéticas incidem sobre determinados materiais, transformam a energia eletromagnética em energia térmica, em alguns casos ao invés de transmitir

¹ A abreviatura FV será utilizada para se referir a partes e componentes de um sistema fotovoltaico, podendo se referir às palavras fotovoltaico, fotovoltaica, fotovoltaicos, fotovoltaicas, dependendo do contexto (concordância de gênero e número)

calor, podem ocasionar alterações nas propriedades elétricas do material gerando assim tensões e correntes elétricas. Dentre os diversos efeitos elétricos observados, podem-se citar o efeito FV e o efeito fotoelétrico (JOHANSSON, 1993; HALLIDAY; RESNICK, 1997).

O efeito FV consiste da transformação da radiação eletromagnética (luz) em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial (ddp), tensão elétrica, sobre um sanduíche de materiais semicondutores polarizados por um campo elétrico próprio com propriedades específicas. Caso este material seja conectado a dois eletrodos e se houver um caminho elétrico entre eles, surgirá uma corrente elétrica. Tal efeito foi observado primeiramente por Henri Becquerel² em 1839 (GOETZBERGER; HOFFMANN, 2005). O efeito FV é mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Efeito FV de uma célula solar.



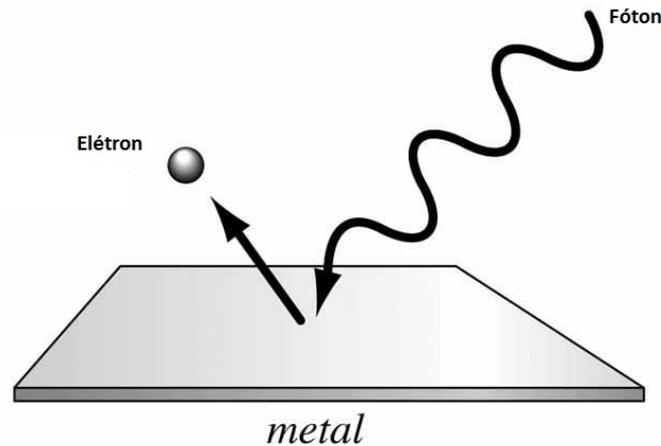
Fonte: Retirada de CRESESB (2017).

Já o efeito fotoelétrico ocorre tanto em materiais metálicos como em materiais não metálicos, ele é caracterizado pela remoção de elétrons, mas não tem a capacidade de criar uma ddp sobre o material. Sendo muitas vezes confundido com o efeito FV, mesmo que estejam vinculados, são fenômenos distintos (JOHANSSON, 1993; HALLIDAY; RESNICK, 1997). O efeito fotoelétrico é representado na Figura 8.

No processo de geração de eletricidade por meio do efeito FV, uma grandeza muito importante envolvida é a irradiância (G), sendo definida como a potência radiante incidente por unidade de área, sobre uma determinada superfície. Essa grandeza é expressa em W/m^2 . Já a irradiação (H), também chamada de insolação, é definida como a energia

² Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891), cientista francês.

Figura 8 – Efeito fotoelétrico sobre uma superfície metálica.



Fonte: Retirada de [Física \(2017\)](#).

radiante incidente num intervalo de tempo por unidade de área, sobre uma superfícies. Essa grandeza é expressa em kWh/m^2 . A radiação total que atinge uma determinada superfície é denominada radiação global sendo a soma de três componentes: a radiação direta, a radiação difusa e o albedo ([CANO et al., 1986](#)).

A radiação solar incidente sobre o solo sofre diversas alterações ao atravessar a atmosfera terrestre. As características desta radiação dependem da espessura da camada de ar e da composição da atmosfera. A espessura da camada de ar é o comprimento do trajeto até o solo, que depende do ângulo de inclinação do Sol com relação à linha do zênite³. A massa de ar AM (do inglês *Air Mass*) é calculada por

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_Z}, \quad (2.1)$$

em que θ_Z é o ângulo zenital do Sol

Para medir a radiação solar são utilizados dois tipos de instrumentos: o piranômetro, destinado a medição da radiação global, e o pireliômetro, destinado a medição da radiação direta. O piranômetro pode ser do tipo termoelétrico, formado por uma termopilha colocada em seu interior, ou do tipo FV composto por um fotodiodo, estes são mostrados na Figura 9.

³ Linha imaginária perpendicular ao solo.

Figura 9 – Piranômetro a) termoeletrico e b) fotovoltaico.



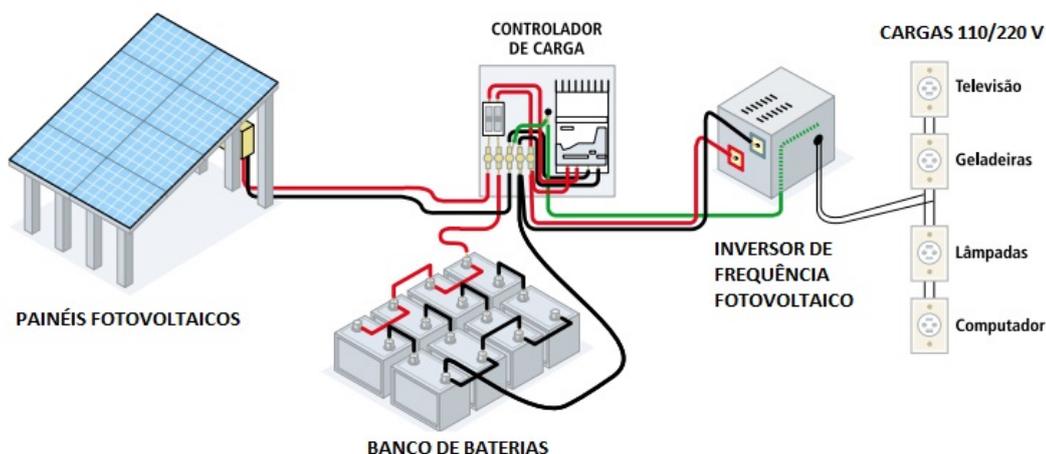
Fonte: Retirada de [Dias \(2015\)](#).

2.1.2 Sistemas FV típicos

Neste etapa é explicado o funcionamento básico, bem como a classificação dos sistemas FV em dois tipos: os sistemas FV autônomos e os sistemas FV conectados à rede elétrica.

2.1.2.1 Sistemas FV autônomos

Os sistemas FV autônomos são comumente compostos por painéis FV ou conjunto de painéis FV, um banco de baterias, um controlador de carga e, dependendo da aplicação, e um inversor de frequência, o esquema básico é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Sistema FV autônomo *off-grid*.

Fonte: Adaptado de [SAS \(2017\)](#).

Tais sistemas, são geralmente empregados em locais que não possuem rede elétrica de distribuição pública. Possuem aplicações diversas como: residências rurais, iluminação pública, sinalização de estradas, alimentação de sistemas de telecomunicações e estaci-

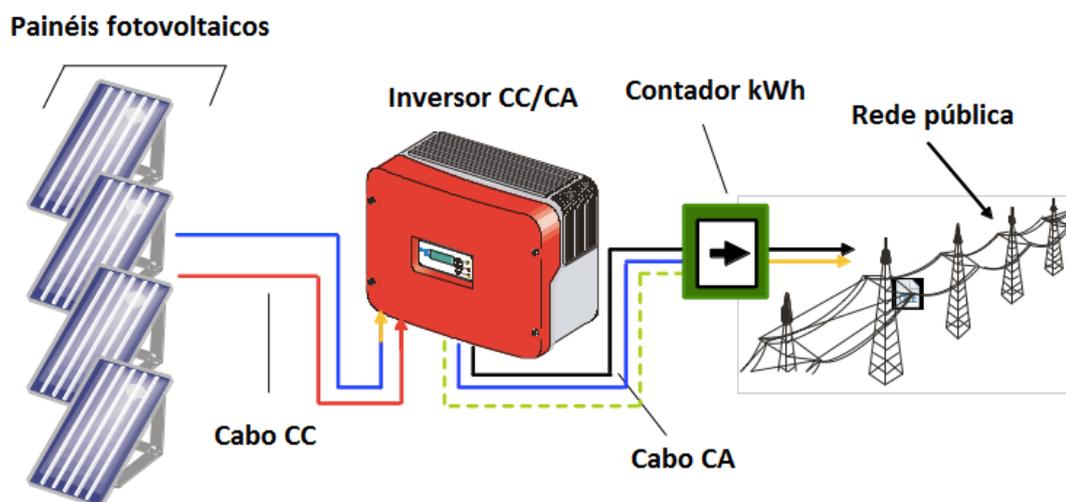
onamentos FV para o carregamento das baterias de veículos elétricos. Podem fornecer eletricidade para um grande número de aplicações, desde *smartphones* até sistemas aeroespaciais (BUBE, 2012; GOETZBERGER; HOFFMANN, 2005).

Na Amazônia, onde ainda existem comunidades isoladas, um sistema FV autônomo pode ser a melhor opção para a geração local de energia elétrica, podendo ser empregados para substituir geradores movidos a diesel, com a vantagem de reduzir o ruído e a poluição. Os sistemas solares FV são silenciosos, ecológicos e não precisam de abastecimento de combustível. O ponto crítico do sistema FV *off-grid* é o banco de baterias, pois precisam de manutenções periódicas e a substituição após determinado período de uso (SOUSA, 2008).

2.1.2.2 Sistemas FV conectados à rede elétrica

Os sistemas FV conectados à rede elétrica funcionam em paralelo com a rede de distribuição de eletricidade, diferentemente do sistema FV autônomo. O principal objetivo deste sistema é gerar energia elétrica para o consumo. As residências e empresas que possuem tal sistema e produzem mais energia do que consomem, deixam de ser apenas consumidores e passam a ser produtores (BUBE, 2012). O esquema básico deste sistema é mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Sistema FV conectados à rede elétrica (*on-grid*).



Fonte: Adaptada de Greentech (2017).

Este sistema pode ser centralizado, usinas de geração de energia elétrica ou micro e mini sistemas descentralizados na forma de geração distribuída. Os sistemas FV conectados à rede elétrica são classificados, quanto ao seu tamanho, em três categorias: a microgeração que são sistemas instalados nos telhados de residências, por exemplo, com a potência de até 75 kW; a mini geração é aquela instalada em consumidores comerciais e industriais com a potência entre 75 kW e 5 MW; e as usinas de geração FV que são grandes sistemas

conectados ao sistema elétrico através de transformadores e linhas de transmissão possuindo a potência instalada acima de 5 MW (ISLAM; MEKHILEF; HASAN, 2015; BUBE, 2012). Um exemplo é a usina solar montada na estrutura superior do Estádio Mineirão, em Belo Horizonte, é mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Usina solar instalada no Estádio Mineirão.



Fonte: Retirada de BLUE SOL (2014).

2.1.3 Célula FV

A unidade básica FV é a célula FV, entre os diversos materiais utilizados na produção de células FV, destacam-se o silício monocristalino, o silício policristalino e os filmes finos, que são o silício amorfo, o silício microcristalino, o telureto de cádmio (CdTe), dentre outros (CUCCHIELLA; D'ADAMO, 2012). Além do silício, outros materiais são utilizados como o Arseneto de Gálio e o Germânio, entretanto, sua aplicação é restringida devido seu elevado valor econômico, como em projetos espaciais. Por fim, existem ainda células FV orgânicas, entretanto sua utilização comercial ainda é limitada (GREEN et al., 2015; DIMROTH et al., 2005).

As células FV de silício monocristalino possuem uma eficiência, em torno de 17 %, e um custo relativamente alto quando comparado com outros tipos. Entretanto, as células FV de silício policristalino é utilizada no intuito de cortar o gastos de fabricação, resultando num eficiência menor, em torno de 14 %. A estrutura da célula FV de policristalino é formada através de fragmentos do silício monocristalino (SOUSA, 2008; HARTMANN, 2007). As células FV monocristalinas e policristalinas são mostradas na Figura 13.

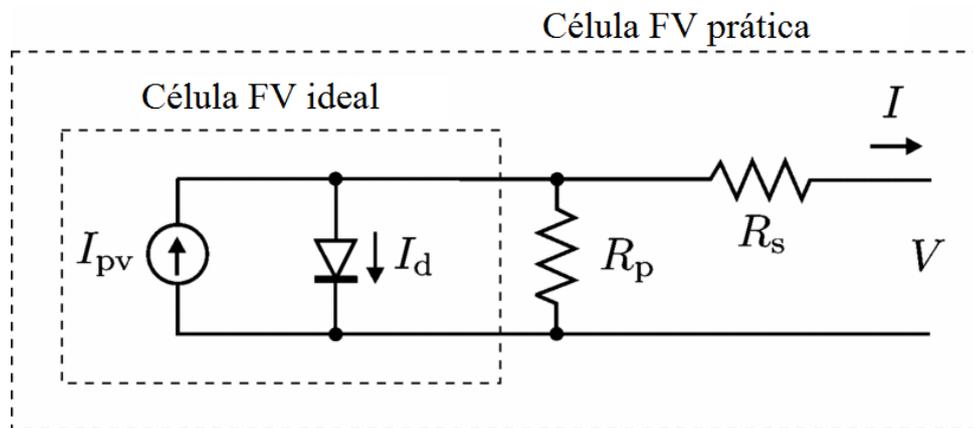
Figura 13 – Célula a) monocristalina e b) policristalina.



Fonte: Adaptada de [Energia \(2017\)](#).

O modelo ideal de uma célula FV, consiste numa fonte de corrente e um diodo, conforme mostrado na Figura 14. Na prática o modelo mais realista consiste, além do modelo ideal, de uma resistência em série R_s e outra em paralelo R_p . A corrente no diodo é representado por I_d e a fonte de corrente por I_{PV} .

Figura 14 – Circuito equivalente de uma célula FV.



Fonte: Adaptada de [Villalva, Gazoli et al. \(2009\)](#).

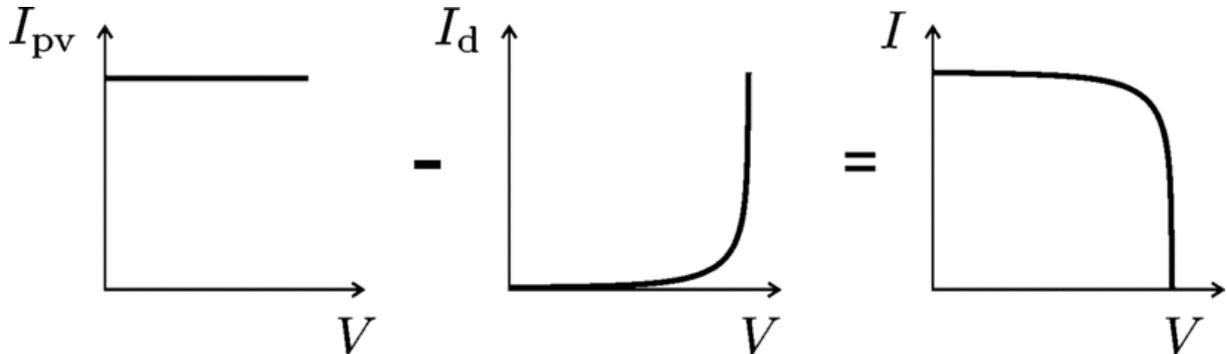
A equação básica da teoria dos semicondutores ([JOSEPHS, 1976](#)) que matematicamente descreve as características I-V de uma célula FV é dada por

$$I = I_{PV} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + R_s I}{V_{ta}} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (2.2)$$

em que I_{pv} é a corrente gerada pela luz incidente, I_d é a corrente do diodo de roda-livre, I_0 é a corrente de saturação reversa ou corrente de fuga do diodo, R_s é a resistência em

série equivalente, R_p é a resistência em paralelo equivalente, V_t é temperatura da célula. A curva característica $I - V$ originada a partir da Equação 2.2 é mostrada na Figura 15.

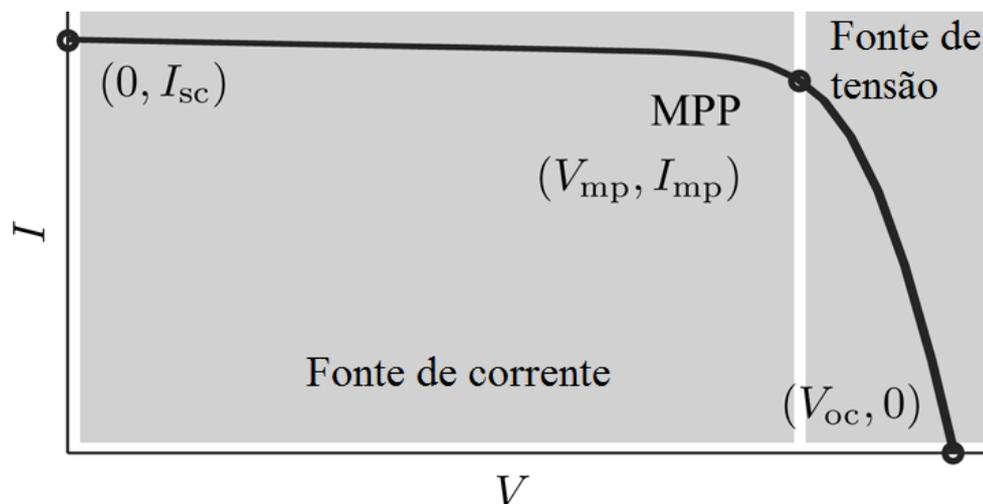
Figura 15 – Curva característica $I - V$ da célula FV.



Fonte: Retirada de Villalva, Gazoli et al. (2009).

A célula FV possui uma curva característica de corrente *vs.* tensão, a partir desta curva é possível destacar três pontos importantes: a corrente de curto-circuito, *short circuit* (I_{SC}), onde a tensão e a potência são praticamente zero; a tensão de circuito aberto, *open circuit* (V_{OC}), onde a corrente e a potência são praticamente zero; e o ponto de potência máxima, *maximum power point* (*MPP*), onde a tensão é a V_M (tensão de máxima potência), a corrente é a I_M (corrente de máxima potência) e a potência é P_M (potência máxima) (SALAS et al., 2006), conforme mostrados na Figura 16.

Figura 16 – Curva característica e os três pontos notáveis da célula FV.



Fonte: Adaptada de (VILLALVA; GAZOLI et al., 2009).

A curva característica padrão é obtida a partir das seguintes condições de operação:

- irradiância de 1000 W/m^2 ;
- temperatura da célula igual a 25°C ;

- distribuição espectral igual $AM = 1,5$; e
- incidência normal.

Existem mais dois parâmetros característicos importantes da célula FV, que são o fator de forma (FF) que diz respeito a qualidade da célula; e a eficiência de operação (η) no que diz respeito ao rendimento da célula, dadas por

$$FF = \frac{I_M \times V_M}{I_{SC} \times V_{OC}}, \quad (2.3)$$

$$\eta = \frac{FF \times I_{SC} \times V_{OC}}{P_M}, \quad (2.4)$$

Como a potência de apenas uma célula FV é muito baixa, para aplicações práticas, é comum a associação de várias células FV em série e paralelo. A associação é realizada devido o aumento da corrente, quando associada em paralelo e o aumento da tensão, quando associada em série, ocasionando diretamente no aumento da potência. Em seguida é realizado um encapsulamento para protegê-las, principalmente de umidade. Este conjunto de células FV associadas é denominado painel FV (BUBE, 2012; ALMEIDA, 2012).

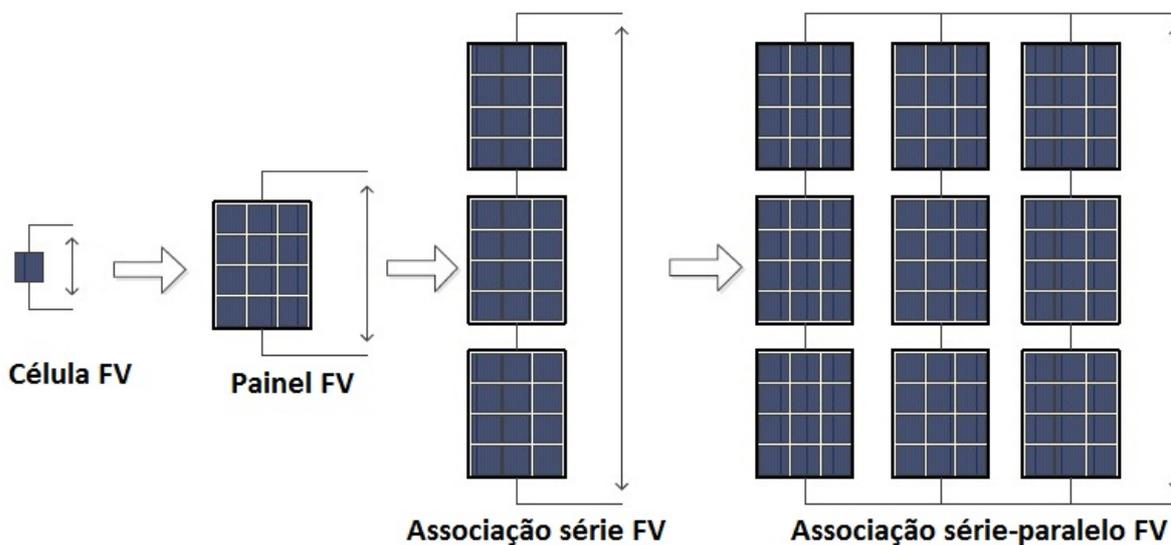
Como a célula FV, o painel FV também possui sua curva característica que é o resultado da combinação das células FV que o compõem. No geral, pode-se dizer que em condições ideais:

- A tensão de circuito aberto do módulo é igual ao número de células FV em série vezes a tensão de circuito aberto das células FV.
- A corrente de curto-circuito do módulo FV é igual ao número de séries em paralelo vezes a corrente de curto-circuito das células FV.
- A tensão de máxima potência do módulo FV é igual ao número de células FV em série vezes a tensão de máxima potência das células FV.
- A corrente de máxima potência do módulo FV é igual ao numero de séries em paralelo vezes a corrente de máxima potência das células FV.
- A potência máxima do módulo FV é igual ao número do total de células FV vezes a potência máxima das células FV.

Porém, como as células FV de um painel FV não são exatamente iguais, existem perdas em função dos parâmetros serem diferentes. Logo, os valores são tão diferentes dos reais a medida que as células forem diferentes entre si. Na maioria das aplicações, um único painel FV não possui potência o suficiente para suprir a demanda de energia

solicitada. Faz-se então a associação de painéis FV em série e paralelo (ALMEIDA, 2012), conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Associação mista de células FV.



Fonte: Adaptada de Almeida (2012).

Para a geração de energia existem duas principais características que influenciam diretamente, são a intensidade luminosa (irradiância) e a temperatura das células. Com uma intensidade luminosa de 1000 W/m^2 o módulo FV é capaz de fornecer a corrente máxima especificada em seu *Datasheet* (para uma temperatura de 25°C), aumentando linearmente com o aumento de intensidade luminosa. Entretanto, o aumento da temperatura ambiente influencia na tensão que é fornecida pelo módulo FV, pois uma parte da incidência solar absorvida não é convertida em energia elétrica, mas sim dissipada em forma de calor. Causando assim, uma redução na potência máxima gerada (CHAO; LI; HO, 2008; PAPAGEORGAS et al., 2015).

Existem discrepâncias entre a eficiência dita pelos fabricantes (condições ideais) e a eficiência média realmente medida (condições reais), onde os valores reais são inferiores aos valores descritos pelos fabricantes. Estas discrepâncias ocorrem devido as medições dos fabricantes serem executadas em laboratórios com valores controlados de radiação, temperatura ambiente e inclinação dos módulos. Em campo os painéis estão susceptíveis a variações climáticas, como mudanças de temperatura, presença de nuvens e chuvas, que podem danificar ou alterar as propriedades do painel FV. A eficiência na conversão de radiação solar em eletricidade varia também com o tipo de célula FV (monocristalina ou policristalina).

2.1.4 Bateria

Segundo [Coelho \(2001\)](#), a bateria é um elemento que armazena energia elétrica na forma eletroquímica. Ela não produz energia, somente armazena. Sua presença é fundamental em sistemas FV autônomos, visto na Seção 2.1.2.1. As baterias são empregadas para armazenar energia e evitam o seu desperdício, sendo utilizadas em momentos de pouca e nenhuma radiação, como períodos chuvosos e a noite, respectivamente.

Há diversos tipos de baterias: chumbo ácido, Níquel-Cádmio (NiCd) e Níquel-Metal-Hidreto (NiMH), *AGM (Absorbed Glass Mat)*, Íons de lítio (*lithium-ion*), dentre outras. Uma comparação entre alguns dos tipos de baterias mais presentes no mercado é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das baterias.

	Chumbo ácido	NiCd	NiMH	Íons de lítio
Custo inicial	Baixo	Médio	Médio	Baixo
Custo a longo prazo	Alto	Médio	Médio	Baixo
Segurança	Boa	Boa	Boa	Boa
Impacto ambiental	Alto	Alto	Médio/Alto	Médio/Baixo
Ciclos	200	250	400-500	400-600
Tensão nominal (V)	2	1,2	1,2	3,4
Densidade de energia (Wh/Kg)	35	41	80	120
Densidade de energia volumétrica (Wh/m ²)	80	120	200	280
Autodescarga por mês (%)	<5	<10	<20	<5
Efeito memória	Não	Sim	Pouco	Não
Temperatura de operação (°C)	-15° a +50°	-20° a +50°	-20° a +60°	-20° a +60°
Peso	Pesada	Leve	Leve	Muito Leve
Tempo de carga	Longo	Médio	Médio	Curto

Fonte: Retirada de [Bastos \(2013\)](#).

Dentre as baterias de chumbo ácido as mais conhecidas são: as baterias de chumbo ácido estacionária com eletrólito líquido e as baterias de chumbo ácido com eletrólito em gel. As baterias com eletrólito líquido, conforme a Figura 18, são as mais empregadas nos sistemas FV, devido seu custo reduzido. Estas foram desenvolvidas especialmente para aplicação FV, podem ser utilizadas por um longo período de tempo podendo e descarregadas até atingir a carga mínima especificada pelos fabricante, sem serem danificadas ([PERRIN et al., 2005](#); [SOLOVEICHIK, 2011](#)).

As baterias com eletrólito em gel, conforme a Figura 19, também conhecidas como baterias seladas, são uma versão aprimorada das baterias com eletrólito líquido. As principais vantagens são: maior vida útil, maior número de ciclos de carga e descarga, e a utilização em locais pouco ventilados, devido não haver a liberação de gases durante seu funcionamento normal ([PERRIN et al., 2005](#); [SOLOVEICHIK, 2011](#)).

Figura 18 – Bateria estacionária de eletrólito líquido.



Fonte: Retirada de [Neosolarenergia \(2016\)](#).

Figura 19 – Bateria estacionária de eletrólito em gel.



Fonte: Retirada de [Duran \(2016\)](#)

As baterias que possuem níquel, como NiCD e NiMH, em sua composição não são popularmente empregadas em sistemas FV, devido ao seu alto custo. Mas, possuem boas características quando comparadas com as baterias estacionárias de chumbo ácido, como um baixo coeficiente de autodescarga, resistem a grandes variações de temperatura e possuem taxas de descargas mais profundas ([LAMBERT; HOLLAND; CRAWLEY, 2000](#); [GALEOTTI et al., 2015](#)).

Baterias do tipo *AGM* são uma versão aprimorada das baterias de chumbo ácido com eletrólito em gel possuindo as características muito parecidas, diferenciando por permitir ciclos de descargas mais profundos. Seu alto custo faz com que seja dificilmente encontrada no mercado ([SPANOS; TURNEY; FTHENAKIS, 2015](#)).

Nos sistemas FV são utilizadas uma associação de baterias, denominado banco de baterias. Na associação são conectadas as baterias em série, em paralelo ou em série paralelo. A associação em série é utilizada para aumentar a tensão total do banco. A associação em paralelo é utilizada para aumentar a corrente total do banco ([SOUSA, 2008](#)).

2.1.5 Controlador de carga

O controlador de carga, conforme mostrado na Figura 20, é um dispositivo que faz a conexão entre o painel FV, o banco de baterias e a carga de forma correta. As principais funções do controlador de carga são impedir que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente e controlar as tensões e correntes da bateria e da carga (LUJANO-ROJAS; DUFO-LÓPEZ; BERNAL-AGUSTÍN, 2014).

Figura 20 – Controlador de carga para sistemas FV.



Fonte: Retirada de Alpha (2016).

As funções do controlador podem ser definidas como:

- Proteção de sobrecarga;
- Proteção de descarga excessiva;
- Gerenciamento da carga da bateria;
- Estágio de carregamento pesado;
- Estágio de absorção; e
- Estágio de flutuação.

Os módulos FV nunca devem ser conectados diretamente às baterias, pois é preciso ser verificado o nível de carga das baterias, com a finalidade em evitar sobrecargas. Esta conexão deve ser realizada por meio do controlador de carga. Logo, a conexão é realizada por um circuito interno que verifica os níveis de tensão da bateria. O controlador realiza o controle tanto no carregamento como no descarregamento das baterias. Estes estágios variam de acordo com a quantidade de energia gerada pelos módulos FV, o nível de energia da bateria, o acionamento da carga e o tipo de controlador (SALAS et al., 2006).

Os métodos de controle de carga podem variar conforme a metodologia proposta por cada autor em seus trabalhos como: Bhat e Nagaraja (2015) propuseram utilizar um Processador Digital de Sinal (PDS) baseado no controle proporcional integral em

conversores *buck-boost* para aplicações em sistemas FV; [Guenounou, Dahhou e Chabour \(2014\)](#), [Chekired et al. \(2011\)](#), [Dounis et al. \(2013\)](#) propuseram controladores MPPT baseado na lógica *fuzzy* para sistemas FV; [Yongchang e Chuanan \(2012\)](#) propuseram um controlador MPPT baseado no microcontrolador AVR Mega16; e [Altas e Sharaf \(2008\)](#) propuseram um novo método de rastreamento de potência máxima utilizando a lógica *fuzzy* mostrando a versão aprimorada de um *Max Power Point Detection* (MPPD) com MPPT.

2.1.6 Inversor

O inversor de frequência FV, conforme mostrado na Figura 21, é um equipamento, cuja sua principal função é converter corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), sendo esta a forma de corrente mais utilizada nos eletrodomésticos e pelas concessionárias de energia elétrica. Este equipamento é conectado, normalmente, na saída do banco de baterias quando se trata de um sistema FV autônomo para realizar a conversão de energia ([LATRAN; TEKE, 2015](#); [IKKURTI; SAHA, 2015](#)).

Figura 21 – Inversor de frequência para sistemas FV.



Fonte: Retirada de [ArchiExpo \(2016\)](#).

Este equipamento converte as tensões de 12/24/48 V (CC) do sistema FV para 110/220 V monofásico e/ou 220/380/440 V trifásico, com potências que variam entre os fabricantes e os modelos de inversores. Como todo equipamento elétrico em pleno funcionamento necessita de energia elétrica, há um consumo próprio de energia. Devido a este consumo próprio e as perdas intrínsecas a conversão de energia, o rendimento de um inversor FV comercialmente vendido varia entre 95 % e 99 % ([LATRAN; TEKE, 2015](#); [AHMAD; SELVARAJ; RAHIM, 2013](#)).

Alguns inversores possuem um sistema de desligamento automático para economizar a carga das baterias, quando não há consumo de energia. Um sensor instalado no inversor verifica a ausência de carga e desligando a saída, voltando a religar sua saída novamente ao

identificando algum consumo de energia. Além disso, alguns destes equipamentos possuem um sincronizador com a rede elétrica de distribuição para ser possível a injeção da potência gerada pelo sistema FV na rede da concessionária (IKKURTI; SAHA, 2015; AHMAD; SELVARAJ; RAHIM, 2013).

2.2 Desempenho da geração de energia

Nesta seção são apresentados alguns dos métodos encontrados na literatura, onde foram analisados o desempenho de painéis solares FV. O desempenho de um painel solar FV pode ser descrito como a capacidade de uma célula FV para converter a energia solar incidente em eletricidade em condições normais. A eficiência elétrica do módulo FV pode ser aumentada através do incremento do fator de empacotamento da célula e a redução da temperatura do módulo FV, uma breve revisão da literatura em relação a eficiência FV é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Avaliação da eficiência de células/painéis FV para diferentes tecnologias e a média da eficiência.

Módulo Fotovoltaico	Eficiência da Célula (%)		Eficiência do Módulo (%)		Média
	Autor 1	Autor 2	Autor 1	Autor 2	
Silício monocristalino	14-19	16-22	16	13-19	16,8
Silício policristalino	13-17	14-18	14	11-15	14,5
Silício cristalino Ribbon	14-16	-	12	-	13,5
Silício amorfo	6-8	4-8	6	4-8	6,2
Telureto de cádmio	11-7	10-11	8	10	9,3
Cobre, Índio e Seleneto de Gálio	8-13	7-12	10	7-12	9,8
Referências	Autor 1	Autor 2	Autor 1	Autor 2	

Autor 1 = Agrawal e Tiwari (2010) e Autor 2 = Generation (2011)

Fonte: Retirada de Cucchiella e D'Adamo (2012)

2.2.1 Sistemas de arrefecimento e análise térmica

A análise térmica em painéis solares FV é aplicada para poder observar em quais condições de temperatura as células FV produzem uma maior quantidade de energia. Após a análise, são propostas melhorias que visam o aumento do rendimento FV, assim podem ser realizadas alterações nas estruturas ou na composição do material empregado na fabricação das células FV. Trabalhos como Green, Emery e Blakers (1982), Osterwald, Glatfelter e Burdick (1987), Friedman (1996), Nann e Emery (1992), apresentam resultados de medições e cálculos do coeficiente de temperatura de células FV para análise de desempenho da geração. A temperatura das células FV é a principal causa para queda no desempenho do

sistema FV, sendo que é preciso adotar estratégias para aproveitar o calor gerado a partir dos painéis, arrefecendo assim o sistema (PILLAI et al., 2014).

Baloch et al. (2015) em seu trabalho analisou um sistema de arrefecimento em forma de canal cônico convergindo ao longo de toda seção transversal, a área de entrada é relativamente maior que a área de saída. Tal ideia é baseada no princípio continuidade, isso implica que a medida que a seção transversal diminui, a velocidade do fluido aumenta. Logo, enquanto a velocidade do fluido aumenta a taxa de dissipação de calor é alterada. O trocador de calor é acoplado na parte traseira das células FV, ligadas em série. O sistema foi instalado em Dhahran, na Arábia Saudita.

Ainda sobre o trabalho de Baloch et al. (2015), a avaliação do desempenho foi realizada por duas configurações, um sistema FV não refrigerado e um canal convergente arrefecendo um sistema FV. Foi realizada uma análise experimental e numérica (análise de CFD⁴) destinada para obter a temperatura média da célula FV e uma distribuição uniforme da temperatura em toda a superfície do painel FV. Para o presente estudo as medições foram realizadas nos meses de junho e dezembro, a temperatura média da célula não arrefecida foi de 71,2 °C e 48,3 °C e a temperatura média da célula com o sistema de arrefecimento foi de 45,1 °C e 36,4 °C, respectivamente. Com a técnica de arrefecimento, a temperatura foi reduzida em 57,8 % e 32,7 %, respectivamente. O rendimento da potência gerada pelos painéis FV foi de 35,5 % e 26,1 %, respectivamente, na produção de energia.

Antes da montagem do sistemas de arrefecimento com aplicações em sistemas FV, alguns autores realizam simulações para prever os possíveis desempenhos dos sistemas FV com arrefecimento comparando com sistema FV sem arrefecimento. Em Bahaidarah, Baloch e Gandhidasan (2014) foi realizada esta comparação, onde as curvas de eficiência das diferentes configurações são analisadas mostrando que o caso 1 obtém uma eficiência de 8,2 %. Já para o caso 2 é obtido 14,6 % e no caso 3 a eficiência chega a 17,2 %. Os 3 casos que foram analisados são os seguintes:

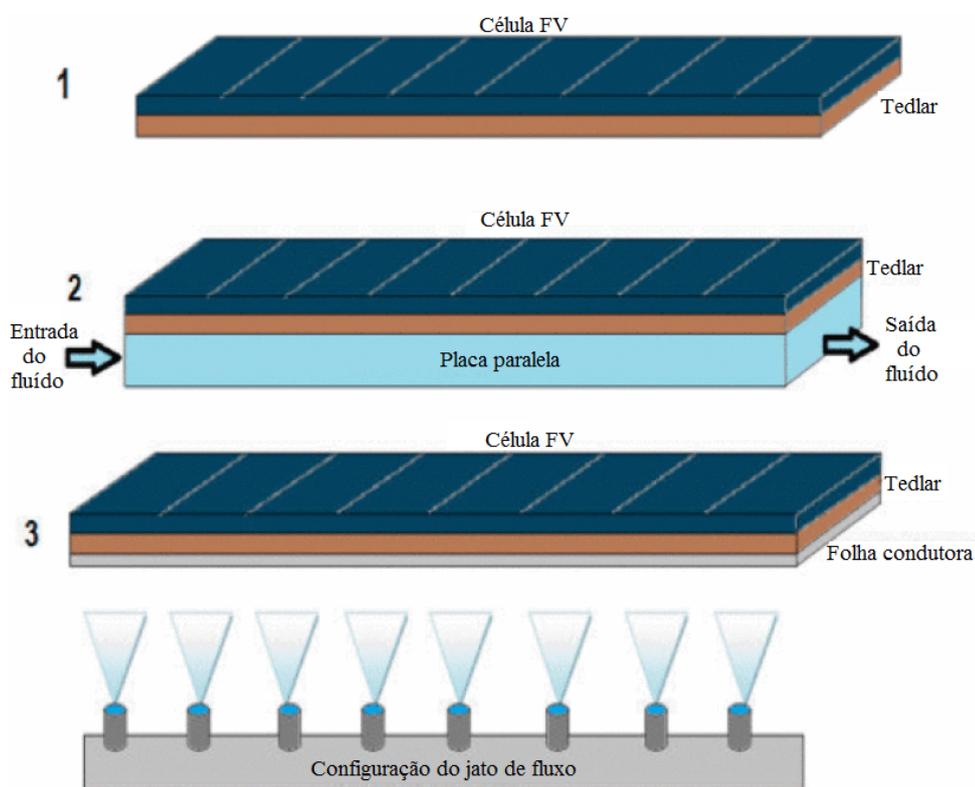
- Caso 1: Módulo FV sem arrefecimento;
- Caso 2: Módulo FV com arrefecimento na forma de canal; retangular
- Caso 3: Módulo FV com arrefecimento na forma de jato de água.

Os modelos utilizados por Bahaidarah, Baloch e Gandhidasan (2014) são apresentados conforme a Figura 22.

Os módulos híbridos fotovoltaico-térmico (FV/T) geram eletricidade e energia térmica simultaneamente, a combinação destas duas tecnologias em um único módulo possui o potencial de reduzir a utilização de materiais e o espaço para instalação, além de

⁴ Dinâmica dos fluidos computacional, do inglês, *Computational Fluid Dynamics*.

Figura 22 – Módulos FV com diferentes técnicas de arrefecimento.



Fonte: Adaptada de Bahaidarah, Baloch e Gandhidasan (2014).

aumentar a eficiência total do módulo. Na Tabela 3, é possível verificar alguns trabalhos encontrados na literatura que mostram a utilização de sistemas híbridos FV/T em diferentes localidades do mundo.

Tabela 3 – Trabalhos sobre módulos híbridos FV/T.

Publicação	Tecnologia FV/T	Eficiência FV [%]	Localização
(TRIPANAGNOSTOPOULOS et al., 2005)	FV/T-líquido	10,6 - 12,6	Patras, Grécia
(BATTISTI; CORRADO, 2005)	FV/T- a ar	10,7	Roma, Itália
(TIWARI; RAMAN; TIWARI, 2007)	FV/T-líquido	11	New Dehli and Leh, India
(CHOW; JI, 2012)	FV/T-líquido	13	Hong Kong
(KAMTHANIA; TIWARI, 2014)	FV/T-a ar (9 tecnologias FV)	5 - 17	Srinagar, India

Fonte: Retirada de Good (2016).

Em Teo, Lee e Hawlader (2012), foi realizada a simulação do rendimento de um sistema híbrido (FV/T). O arrefecimento a ar do sistema foi montado na forma de uma matriz paralela de dutos instalados na traseira do painel FV e foi projetado para distribuição uniforme do fluxo de ar. Sem o arrefecimento ativo, a temperatura foi elevada e o módulo FV atingiu uma eficiência de 8-9 %. Com o arrefecimento ativo, a temperatura caiu significativamente e aumentou a eficiência do módulo FV para 12-14 %.

Já em Bahaidarah et al. (2013) que realizou a simulação de um sistema FV com arrefecimento a água, onde a temperatura do módulo FV foi reduzida em 20 % conduzindo

ao aumento da eficiência do painel FV em 9 %. Segundo o autor, o rendimento mostrou-se 4 vezes maior em comparação ao sistema FV sem arrefecimento. Com o nível de radiação de 900 W/m^2 , o sistema com arrefecimento capturou cerca de 750 W enquanto o sistema sem arrefecimento capturou cerca de 190 W.

Nos sistemas FV que utilizam arrefecimento por água, o ideal seria usar a menor quantidade de água e energia. [Moharram et al. \(2013\)](#) utilizou em seu trabalho um sistema não pressurizado de refrigeração na forma de pulverizadores de água em intervalos de tempo, foi desenvolvido um modelo matemático para determinar o tempo necessário de arrefecimento e calculado a velocidade de aquecimento dos painéis FV. A velocidade de arrefecimento adotada foi de $2 \text{ }^\circ\text{C/min}$ e verificando que até atingir $45 \text{ }^\circ\text{C}$, quando é ligado o sistema de arrefecimento, obtém-se o melhor rendimento.

Como forma alternativa para arrefecer os painéis FV, [Alami \(2014\)](#) utilizou uma argila sintética à base de água modelada sobre uma chapa perfurada de cobre e outra chapa apenas perfurada sem adição da argila, ambos instalados na parte traseiro do painel. Tal trabalho obteve como resultado um aumento na potência de 19,4 %, e quando comparado com o sistema sem argila sintética obteve um aumento de 19,1 %.

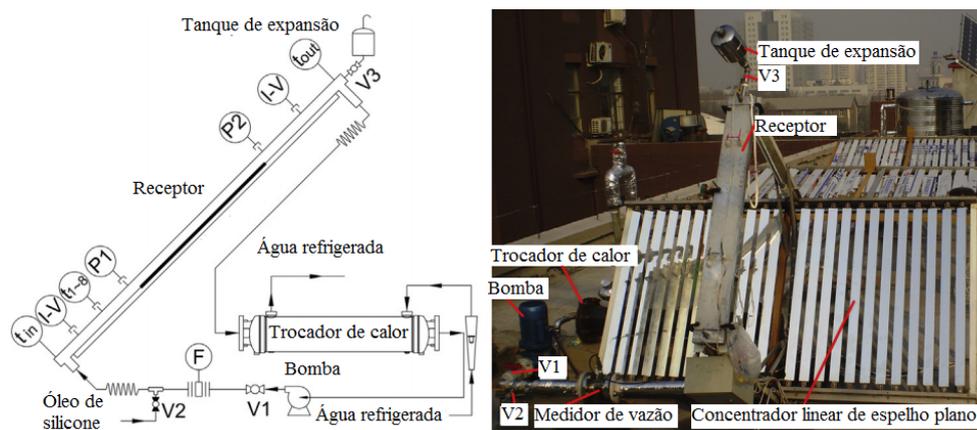
A viabilidade técnica e o desempenho elétrico e térmico de células FV imersas em líquidos dielétricos, sendo por simulações ou experimentos, são realizadas em experimentos para obtenção de sistemas que possam produzir o máximo de energia possível. Além, da utilização de água e ar como fluidos refrigerantes, os óleos, glicerinas, parafinas e outros, estão ganhando aplicações nos sistemas de arrefecimento ([SUN et al., 2014](#); [XIANG et al., 2012](#); [XIN et al., 2015](#)).

As análises numéricas, sejam 3D ou 2D, para verificação da taxa de resfriamento em células solares FV são realizadas em células FV imersas em líquido dentro de concentradores. No trabalho de [Xiang et al. \(2012\)](#) a análise foi realizada num concentrador retangular, enquanto, [Han et al. \(2010\)](#) realizou a análise num concentrador cilíndrico. O resultado obtido através destas análises é o coeficiente de transferência de calor da célula FV.

[Sun et al. \(2014\)](#) propõe refrigerar células FV por imersão líquida em óleo de silicone como solução para dissipação de calor, conforme mostrado na Figura 23. A temperatura de entrada do óleo é $15 \text{ }^\circ\text{C}$, a temperatura da célula foi controlada entre $20\text{-}31 \text{ }^\circ\text{C}$, a irradiação direta de 910 W/m^2 . O autor verificou que a distribuição de temperatura na célula FV é uniforme e o desempenho elétrico permanecem estável num período 270 dias, sem haver degradação da própria célula FV.

No trabalho de [Xin et al. \(2015\)](#) foi realizada uma análise comparativa de desempenho entre uma célula FV imersa em óleo de silicone e outra não imersa. Foi observado que a célula FV, imersa numa espessura de 1 mm de óleo de silicone, aumenta a potência gerada de 19,56 W para 20,08 W. No entanto, o autor verificou que aumento da espessura

Figura 23 – Sistema de imersão líquida.



Fonte: Retirada de [Sun et al. \(2014\)](#).

causa redução na eficiência, quando ultrapassado 6,3 mm.

Alguns fluídos podem ser utilizados para o arrefecimento de sistemas FV. Entretanto, deve ser escolhido aquele fluído que proporciona as melhores vantagens para o sistema. [Han, Wang e Zhu \(2011\)](#) analisam o desempenho elétrico e térmico da células FV imersas em: água desionizada, álcool isopropílico, acetato de etilo e óleo de silicone, e verificam que ocorre um aumento de 1,6 %, 8 %, 1,5 % e 2,9 %, respectivamente. Entretanto, apesar do álcool isopropílico possui um aumento na eficiência de 8 %, o óleo silicone é o fluído mais estável em períodos longos de utilização, sendo comprovado por [Han, Wang e Zheng \(2016\)](#) em seu trabalho.

Neste processo de arrefecimento por imersão é ideal que os fluídos possuam uma baixa transmitância⁵ para que a radiação direta sobre a célula FV não sofra interferência. [Victoria et al. \(2013\)](#) realizaram um trabalho para verificar a durabilidade de fluídos dielétricos em sistemas de arrefecimento de células FV fazendo uma exposição acelerada de raios ultravioleta. O autor observou que os fluídos mais estáveis foram o óleo de parafina e o óleo de silicone, cuja a transmitância manteve-se praticamente inalterada após a dosagem equivalente a 3 anos de radiação.

[Michael, Iniyan e Goic \(2015\)](#) realizaram um estudo para maximizar a geração de energia num menor espaço possível, como os módulos FV e os coletores térmicos ocupariam espaço maiores se fossem instalados separadamente, o autor resolveu juntar ambas as tecnologias e verificar com base na literatura qual a eficiência dos mesmos. Identificou-se na junção do sistema térmico com o sistema FV uma eficiência superior a 80 % e 20 %, respectivamente, para o sistema FV/T, além de utilizar um menor local para instalação.

Estudos mostram que a velocidade do vento sobre painéis FV influencia diretamente em seu arrefecimento, quando menor que 1 m/s não apresentam melhorias consideráveis.

⁵ É a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria

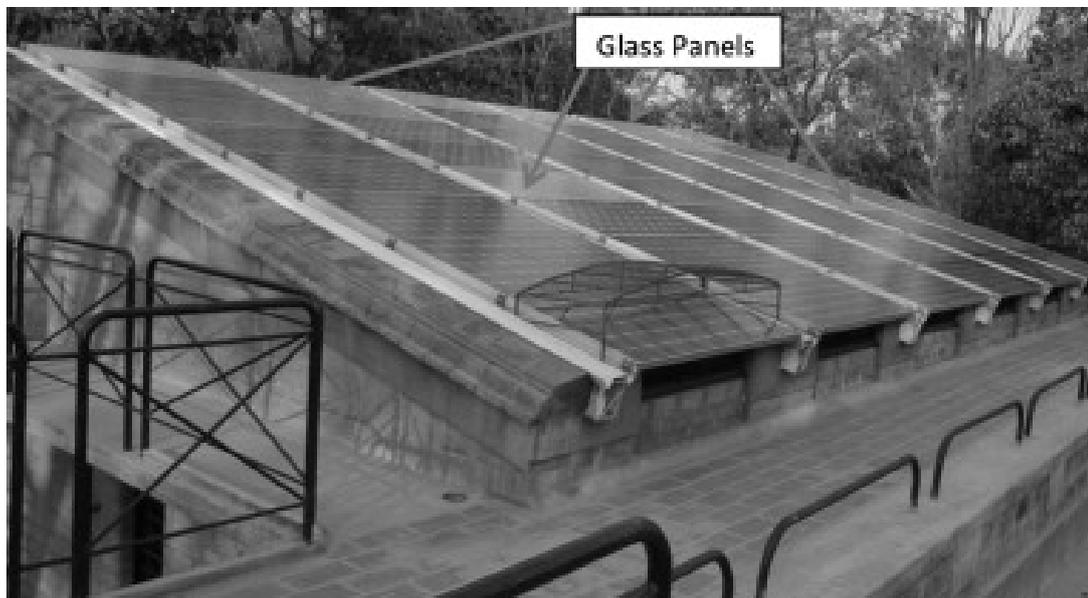
Já para velocidades superiores há 1 m/s, o desempenho da dissipação do calor do módulo FV é significativo, em módulos FV com alto concentradores (WANG et al., 2013), coletores solares não vidrados com painéis FV (LI et al., 2014), instalações FV com medições ao ar livre (KALDELLIS; KAPSALI; KAVADIAS, 2014), utilização de ventiladores no arrefecimento (SHEYDA et al., 2014).

Na próxima seção, são apresentadas aplicações em que são realizadas análises de desempenho elétrico e térmico em instalações FV, bem como a utilização de métodos para maximização da geração de energia e redução da temperatura.

2.2.2 Telhados FV

A grande maioria dos painéis FV são instalados diretamente nos telhados de prédios, casas e apartamentos. Devido as estruturas já serem previamente construídas, tal aplicação é favorável no momento da instalação. Esse tipo de instalação já vem sendo usada por várias décadas até a atualidade (NATH; LAARMAN; SINGH, 1993). Mas, existem aplicações onde o painel FV é instalado diretamente como telhado (sem teto falso) (PILLAI et al., 2014; SHI; CHEW, 2012), conforme mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Implantação de telhado FV.



Fonte: Retirada de Pillai et al. (2014).

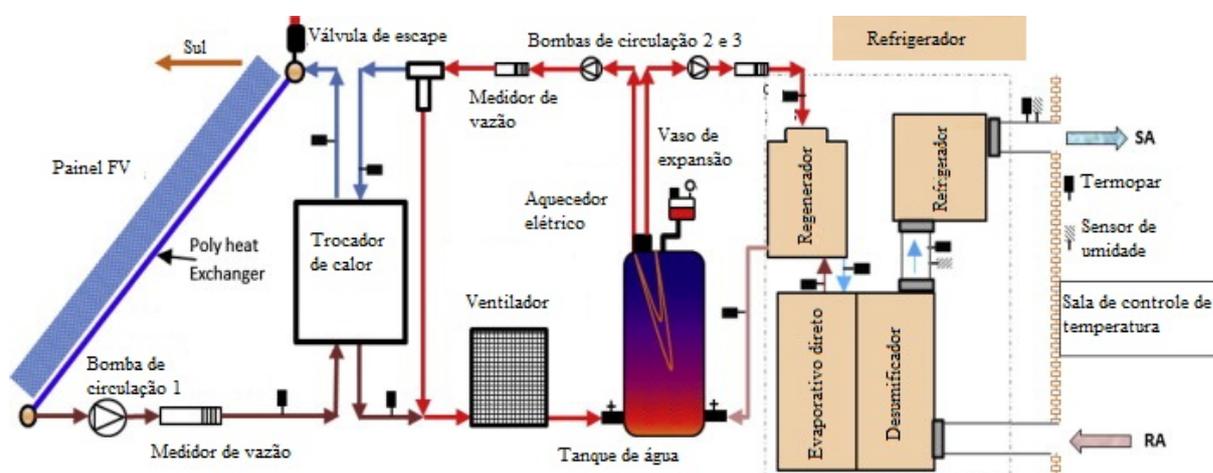
Pillai et al. (2014) realiza a instalação e analisa o desempenho elétrico tal como o conforto térmico. O sistema apresentou uma eficiência média na geração de energia de 6 % em painéis de silício monocristalinos, já o conforto térmico ficou numa média de 27 °C. Os módulos FV semitransparentes estão cada vez mais substituindo as janelas de vidros nos edifícios, Park et al. (2010) realizou um estudo sobre os módulo semitransparentes e verificou que a produção de energia diminuiu em média 0,52 % por cada 1 °C de aumento

na temperatura, entretanto, a luminosidade foi reduzida e a temperatura do ambiente aumentou.

Os telhados dos edifícios são, em sua maioria, opacos. Estes, por sua vez absorvem uma maior quantidade de calor e necessitam de uma demanda de energia elevada para funcionamento dos ar condicionados. A instalação de telhados reflexivos junto com painéis FV pode ser uma alternativa bastante promissora, pois reduzirá o calor absorvido (telhado reflexivo) e ainda poderia gerar energia elétrica através dos módulos FV, reduzindo assim a demanda de energia para o funcionamento dos aparelhos de ar condicionado (BAN-WEISS et al., 2013; BUKER; MEMPOUO; RIFFAT, 2015).

Ban-Weiss et al. (2013) utilizou um edifício construído e realizou a instalação do telhado reflexivo com os módulos FV, verificou que após a instalação a temperatura média do telhado diminuiu cerca de 5 °C com um rendimento médio na geração de energia 25% por dia. Verificando que o principal benefício para este prédio foi a geração de energia e não a redução da temperatura do telhado. Buker, Mempouo e Riffat (2015) realizaram a integração de uma aquecedor solar com um sistema de refrigeração combinado com painéis FV promovendo assim um sistema de trigeração, mostrado no esquemático da Figura 25, onde o sistema é capaz de fornecer cerca de 3 kW de aquecimento, 5,2 kW de potência de refrigeração e 10,3 MW de geração de energia.

Figura 25 – Esquemático de uma trigeração.



Fonte: Adaptada de Buker, Mempouo e Riffat (2015).

Recentemente no setor de construção civil, a junção dos chamados telhados verdes com a geração de energia FV (*PV-green*) vem ganhando bastante espaço no mercado. Devido juntar as vantagens de proporcionar um ambiente fresco e úmido, ainda, gera energia elétrica (LAMNATOU; CHEMISANA, 2015; VIJAYARAGHAVAN, 2016). Diversos trabalhos apresentam a geração de energia solar FV dos telhados verdes comparando-os com os telhados normais, telhados com cascalho ou telhados com musgos (HUI; CHAN, 2011; PEREZ et al., 2012; CHEMISANA; LAMNATOU, 2014; NAGENGAST; HENDRICKSON;

MATTHEWS, 2013). Nesta aplicação como os painéis são instalados junto com a vegetação e devido o processo de evapotranspiração⁶, o sistema FV recebe um arrefecimento.

No trabalho de Hui e Chan (2011) foram realizadas análises experimentais e uma modelagem comparativa entre um telhado *PV-green* e uma geração FV num telhado normal, em que o *PV-green* na análise experimental obteve um aumento de 4,3 % e na modelagem obteve um aumento de 8,3 % na geração de energia. Já Perez et al. (2012) (teste com um tipo de planta) e Chemisana e Lamnatou (2014) (teste com dois tipos de plantas) realizaram uma análise experimental comparativa entre um telhado *PV-green* e um telhado com cascalho, onde o *PV-green* obteve um aumento de 2,56 % e (1,29 % e 3,33 %), respectivamente. Por fim, Nagengast, Hendrickson e Matthews (2013) fazem uma análise comparativa experimental entre um telhado *PV-green* e um telhado com musgos, obtendo um aumento de 0,5 % na geração de energia. Na Figura 26 é mostrado um experimento com análise de geração em telhados *PV-green*.

Figura 26 – Experimento com telhados *PV-green*.



Fonte: Adaptada de Chemisana e Lamnatou (2014).

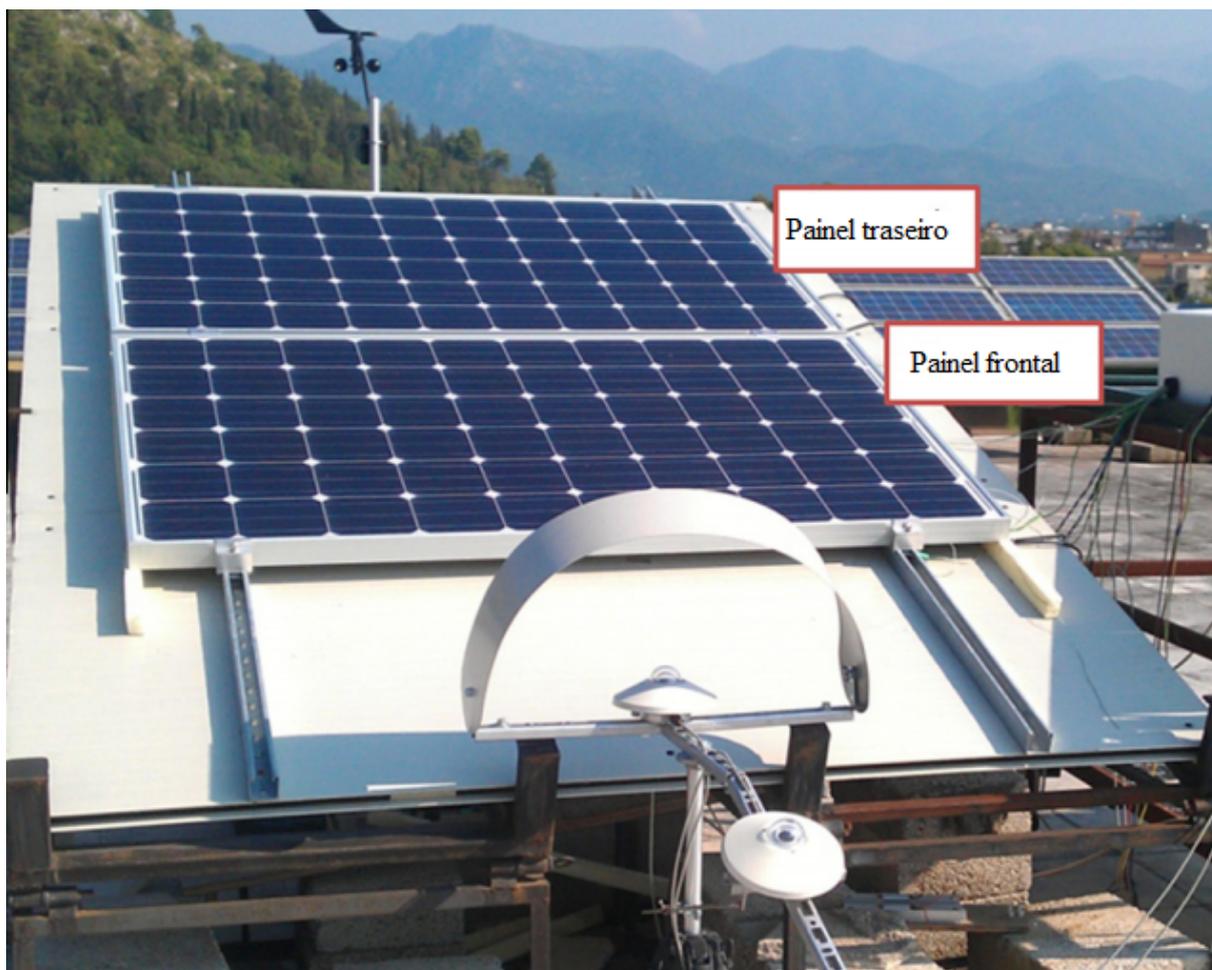
2.2.3 Inclinação e orientação

As influências causadas devido mudanças na inclinação do painéis FV, bem como a instalação em diferentes orientações são apresentadas nesta seção. Este fatores influenciam no desempenho da geração de energia quando instalados incorretamente.

⁶ Perda de água de uma comunidade ou ecossistema para a atmosfera, causada pela evaporação a partir do solo e pela transpiração das plantas.

Arpino, Cortellessa e Frattolillo (2015) investigam experimentalmente e numericamente um conjunto de dois módulos FV destinados a fornecer indicações da instalação e funcionamento, permitindo a otimização da eficiência. Os painéis FV foram instalados com a mesma inclinação, um após o outro, conforme mostrado na Figura 27. Os dados a serem analisados foram: a temperatura e eficiência do tamanho do suporte de alumínio, o ângulo de inclinação, a distância entre o painel FV e o painel de suporte e a velocidade do vento.

Figura 27 – Experimento com painéis FV espaçados e com mesma inclinação.



Fonte: Adaptada de Arpino, Cortellessa e Frattolillo (2015).

Variando a inclinação entre 15° e 30° , a diferença da temperatura média era $\sim 4^{\circ}\text{C}$ no painel frontal e $\sim 6^{\circ}\text{C}$ no painel traseiro. Já para altura do painel em relação ao suporte foram testadas alturas de 0 mm, 40 mm e, em seguida, 60 mm. A temperatura média do painel frontal foi de $90,1^{\circ}\text{C}$ para $59,1^{\circ}\text{C}$ e do painel traseiro de $88,5^{\circ}\text{C}$ para $66,0^{\circ}\text{C}$, quando a altura da instalação aumenta de 0 mm para 40 mm. Para a velocidade do vento foram realizadas simulações em que a velocidade variou entre 0,1 m/s a 0,6 m/s, a variação máxima da temperatura média para ambos os painéis foi de $\sim 1^{\circ}\text{C}$. Por fim, a análise numérica evidenciou que a distância dos painéis (frontal e traseiro) de 50 mm permitem uma melhor transferência de calor do que painéis distantes 30 mm, aumentando o rendimento

médio da geração de energia do painéis ([ARPINO; CORTELLESA; FRATTOLILLO, 2015](#)).

[Armendariz-Lopez et al. \(2016\)](#) em seu trabalho analisou a produção de energia através de simulações utilizando dados meteorológicos e comparou com diversas orientações e inclinações. Verificando que o ângulo médio de 30° é o que tem a melhor produção de energia. A metodologia de [Armendariz-Lopez et al. \(2016\)](#) promove tanto uma avaliação técnica e financeira para sistema FV em edifícios, facilitando a seleção adequada para uma configuração que obtenha uma maior eficiência. Instalações FV em edifícios não permitem uma distribuição/rendimento, pois estão suscetíveis a condições multifatorial, tais como: nebulosidade, sombreamento, limitações geométricas, dentre outros.

Com o aumento de novas instalações FV tais sistemas estão sendo instalados frequentemente em climas frios e que possuem uma queda de neve relativamente significativa. No trabalho de [Andrews, Pollard e Pearce \(2013\)](#) foi estudado o desempenho da geração de energia variando o ângulo de inclinação (queda da neve) e o tipo de tecnologia a ser utilizada, o trabalho foi executado em dois invernos. Neste trabalho, verificou-se que ângulos inferiores a 15° o acúmulo de neve aumenta e ângulo superiores a 40° o rendimento dos painéis caem devido captar pouca radiação solar. Logo, instalações FV em locais com queda de neve o ângulo de 15° a 40° é viável.

2.3 Sistemas para aquisição de dados

Os principais métodos utilizados no monitoramento FV encontrados na literatura, bem como sistemas de monitoramento de variáveis diversas são apresentados nesta seção. A tecnologia FV vem ganhando bastante espaço na matriz energética brasileira, logo surge a necessidade de sistemas de monitoramento para verificar o rendimento da geração de energia solar FV.

2.3.1 Conceitos

Desde o início dos avanços tecnológicos, a humanidade buscou métodos para avaliar as variáveis de diversos sistemas. São exemplos, as linhas de produção, a saúde dos humanos, as redes de distribuição elétrica, os veículos, os sistemas bancários, os gasodutos, os sistema de abastecimento de água, dentre outras aplicações.

Para avaliar um sistema é necessário primeiro o monitoramento das variáveis de funcionamento do mesmo, tais como: temperatura, corrente, tensão, umidade, velocidade, densidade, irradiação, luminosidade, frequência e tempo. Monitorar significa observar, analisar, vigiar e medir, não obedecendo uma ordem pré-definida. Em outras palavras, monitorar é analisar as condições de funcionamento do sistema em determinado período de tempo verificando se está dentro dos padrões. Monitorar difere de rastrear, onde rastrear é

o acompanhamento dos percursos realizados por um objeto ou equipamento (ELDENBURG; WOLCOTT, 2007).

A variável escolhida para o monitoramento vai depender totalmente do tipo de sistema que é monitorado. Logo, trabalhos na área da saúde especificamente em cardiologia a principal variável monitorada é a frequência cardíaca (AKSELROD et al., 1981). Já para trabalhos com sistemas FV, as principais variáveis monitoradas são: potência gerada (tensão e corrente) e irradiação solar (ARMENDARIZ-LOPEZ et al., 2016).

O monitoramento de variáveis é indispensável quando se quer analisar um sistema em funcionamento, logo, com o sistema de monitoramento é possível a tomada de decisões seja na substituição de componentes do sistema (analisado), bem como na utilização de outros sistema que mantenham o mesmo funcionamento (RUTES, 2006; RIBEIRO et al., 2014).

No geral, quando se fala em monitoramento de painéis FV, pretende-se determinar a eficiência do equipamento que é uma característica de qualquer dispositivo de conversão de energia, onde é determinado o quanto da energia captada pelos painéis é convertida efetivamente em energia elétrica (BRAGA JÚNIOR, 2014). A eficiência da célula pode ser obtida através da Equação 2.4 já vista anteriormente, outra forma de medir a eficiência de módulos FV é através de:

$$\eta = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{G \cdot A}, \quad (2.5)$$

em que V_{mp} e I_{mp} são tensão e corrente, respectivamente de máxima potência, G é a irradiância incidente na superfície do módulo FV e A é a área do módulo.

Entretanto, deve-se levar em consideração que a eficiência do módulo FV indicado no *datasheet* dos equipamento é medida nas seguintes condições STC (*Standard Test conditions*): irradiância igual a 1000 W/m^2 , temperatura da célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e massa de ar igual a $1,5 \text{ AM}$. Estas condições são escolhidas para a realização de comparações uniformes de módulos FV por diferentes fabricantes (BLAESSER; ROSSI, 1988).

2.3.2 Sistemas de monitoramento

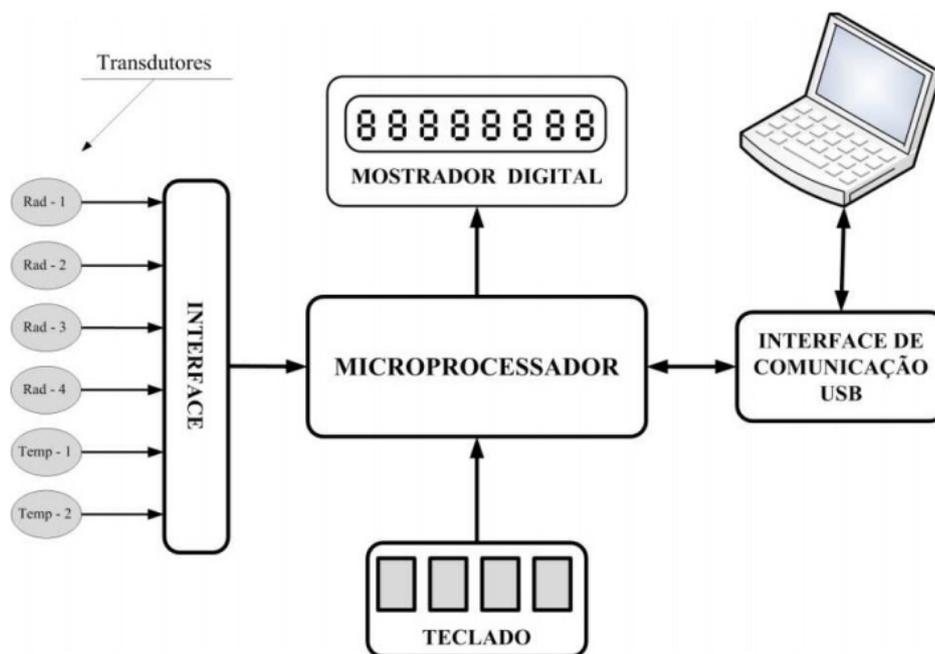
A topologia da planta FV é determinante na escolha do tipo de equipamento de monitoramento que será utilizado no projeto. Logo, quando o sistema FV possuir grandes dimensões a utilização de redes de comunicação sem fio para realizar a transmissão do dados é extremamente importante. Entretanto, os sistemas de pequeno porte, poucos painéis, não necessitam de redes sem fio apenas necessitando de um *datalogger* para registro dos dados de geração de energia.

O sistema de monitoramento é um conjunto de componentes interligados que executam uma atividade de medição de uma determinada grandeza específica ou de diversas grandezas. Em sistemas desta natureza, um componente não funciona separadamente, mas em conjunto com outros componentes formando um sistema de medição. Os sensores utilizados em sistemas de monitoramento, no geral, funcionam com saídas contínuas onde a informação apresentada varia continuamente no tempo. As medições dos sistemas analógicos podem ser sinais elétricos ou sinais de grandezas físicas convertidos para sinais elétricos (KLEMOUS; LYSAKOWSKA; NIKODEM, 1999; CANTO, 2007).

Alguns cuidados devem ser tomados em sistemas de monitoramento, tais como isolamento elétrica, ruídos na transmissão dos sinais e a calibração correta do sensor. Os sinais não desejados como ruídos podem ser enfraquecidos com a utilização de filtros e aterramentos adequados. Sensores são elementos sensíveis que captam as grandezas físicas, uma ou mais, que estão sendo medidas. Geralmente, em sistema de aquisição de dados utiliza-se o termo transdutor para dispositivos que convertem um sinal medido em outro, no geral sinal elétrico (VILELA, 2010).

Segundo Vilela (2010), o sistema de monitoramento é composto por transdutores, um mostrador digital (*Display*) com teclado (IHM), interface de comunicação USB e um microcontrolador. Estes elementos são conectados entre si e trabalham em conjunto. O diagrama de um sistema de monitoramento é mostrado na Figura 28.

Figura 28 – Diagrama de bloco de um sistema de monitoramento.



Fonte: Retirada de Vilela (2010).

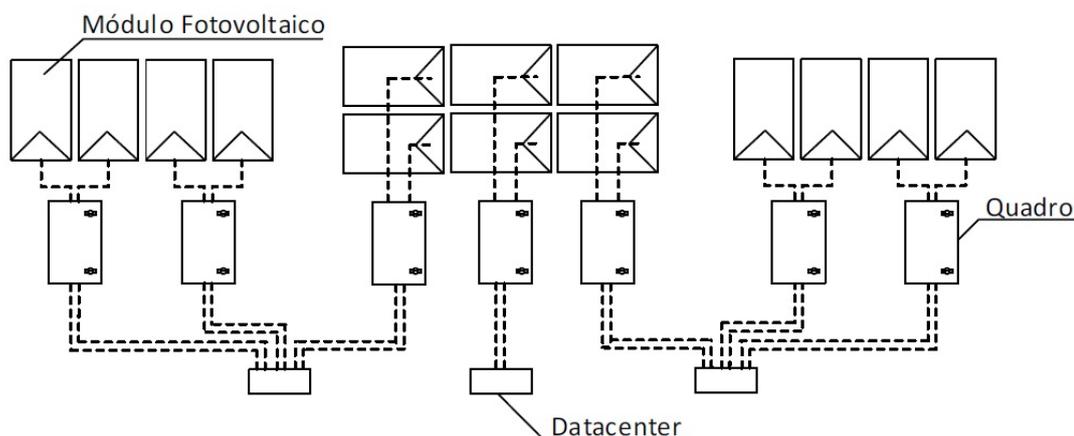
Um fator decisivo para instalação de uma planta FV é qual tipo de tecnologia do módulo FV deve ser adquirida. Logo, o ideal é realizar o monitoramento dos parâmetros de

diversos painéis para, por fim, obter a eficiência de conversão elétrica. Trabalhos como de Braga Júnior (2014) ajudam na decisão do tipo de painel FV que deve ser escolhido, pois o autor realizou um trabalho de monitoramento do desempenho de forma experimental com 13 módulos FV de 5 diferentes tecnologias. O estudo foi realizado na Universidade Federal do Pará no período de 21/10/2012 a 30/08/2013.

Sistemas de monitoramento em tempo real possibilitam a detecção de falhas com maior qualidade, além da possibilidade da verificação dos parâmetros que estão sendo trabalhados (monitorados) em intervalos de tempo relativamente pequenos. Ribeiro et al. (2014) apresentam um sistema de monitoramento e controle de um processo de distribuição de água, usando Arduíno e protocolo GSM, possui uma facilidade na implementação devido ser feito numa plataforma de *hardware* e *software* livres, além da utilização de componentes de baixo custo como: sensores de temperatura e corrente e um modem GSM SIM900.

Para realizar a análise do desempenho FV dos diferentes painéis, Braga Júnior (2014) utilizou de um sistema de monitoramento, tal sistema é composto por dois sensores de irradiância do tipo célula FV, um sensor de temperatura PT100 para cada painel instalado, uma estação meteorológica responsável pela medição da velocidade do vento, umidade do ar e temperatura ambiente, um *datalogger* comercial com um cartão de memória do tipo *Compact Flash*, um sistema de aquisição de dados (tensão e corrente) e uma fonte de alimentação externa. Segundo o autor, os *dataloggers* são conectados a um *datacenter* para monitoramento em tempo real. O esquema de ligação pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 – Esquema geral de interligação dos componentes.

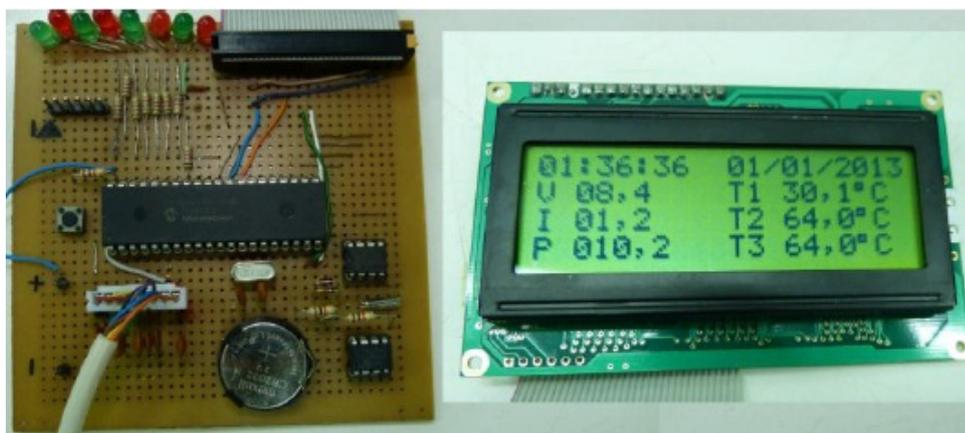


Fonte: Retirada de Braga Júnior (2014).

Entretanto, sistemas de monitoramento FV podem ser uma boa opção para redução dos custos iniciais em instalações FV, como em Coelho et al. (2013) que desenvolveu um sistema de aquisição de dados de baixo custo para monitoramento de sistemas de geração FV. O sistema é composto por um microcontrolador PIC16F877A, *display* de cristal líquido

e um RTC, no monitoramento das variáveis o sistema é dotado de um sensor de corrente ACS756, um divisor de tensão (sensor de tensão) e três sensores de temperatura LM35. Este tipo de sistema monitora apenas a geração de energia. O sistema de aquisição de dados, a parte de processamento de dados, pode ser visto na Figura 30.

Figura 30 – Sistema de aquisição de dados.



Fonte: Retirada de [Coelho et al. \(2013\)](#).

[Dias \(2015\)](#) desenvolveu um sistema de monitoramento para controle de carga numa microinstalação FV. O sistema utilizado para o gerenciamento e controle de dados é desenvolvido em Arduíno, o modelo utilizado é o Atmega 2560. Os sensores utilizados foram o ACS712 (Sensor de corrente), Sensor de tensão (Divisor de tensão), LM35 (Sensor de temperatura) e o monitoramento da irradiância foi através de um módulo FV calibrado com o auxílio de uma estação meteorológica.

Os sistemas de monitoramento que utilizam diversos sensores com o intuito de realizar medições de diversas variáveis são dotados de um nível de complexidade maior. Entretanto, a partir do aumento do número de sensores a realização de análise sobre um determinado sistema monitorado torna-se mais confiável. Em seus trabalhos [Canto \(2007\)](#), [Fornari et al. \(2012\)](#) utilizaram diversos sensores tais como: sensores de temperatura, fotoresistência, fotodiodo, sensor de umidade relativa, sensor de pressão barométrica, sensor de precipitação, sensor para medir velocidade do vento (utilizando *reed switch*) e anemômetros. [Fornari et al. \(2012\)](#) além de utilizar os diversos sensores, os mesmos foram instalados em três torres diferente, o sistemas de aquisição de dados junto com sistemas de transmissão distintos conforme a Tabela 4.

Em seu trabalho [Vera e Krenzinger \(2007\)](#), realizou a comparação entre os valores simulados e os valores reais para um sistema FV autônomo. Para obtenção dos valores reais o autor desenvolveu um sistema de monitoramento constituído por um computador, uma unidade de aquisição de dados HP-34970A, sensores e um programa computacional para gerenciar o processo. As variáveis monitoradas neste trabalho, foram: corrente, tensão e temperatura do painel, corrente e tensão do banco de baterias, corrente consumida pela

Tabela 4 – Sistema de aquisição e transmissão de dados em torres.

Torre	Sistema de Aquisição	Sistema de Transmissão
A - 3 m	CR1000 – Campbell Sci	Transceptor Wireless (RS-232)
B - 3 m	DataRad – Orbital Engenharia	Cabo (USB)
C - 10 m	CR1000 – Campbell Sci	Rádio (RF-401)

Fonte: Retirada de [Fornari et al. \(2012\)](#).

carga, radiação solar incidente, temperatura ambiente, direção e velocidade do vento.

[Rutes \(2006\)](#) montou um sistema de monitoramento e controle de um veículo movido a célula a combustível⁷ reversível composto por dois transceptores, dois microcontroladores e um veículo didático. O veículo possui um painel FV que realiza a eletrólise da água na própria célula combustível, gerando hidrogênio e oxigênio. Um microcontrolador presente no veículo que gerencia a aquisição do dados como distância percorrida pelo veículo, temperatura e correntes (célula combustível e painel FV). Através dos transceptores e dos microcontroladores, os dados são enviados para um microcomputador. Por fim, é possível verificar a eficiência da célula combustível.

Os sistema de monitoramento que possuem o maior tipo de propriedades, proporcionam para o usuário uma maior análise sobre seus dados obtidos. Determinados sistemas de monitoramento são construídos com diversos tipos de sensores e em grandes quantidades. A diversidade de sensores depende diretamente das variáveis que o usuário necessita para o monitoramento. Além dos sensores, o *datalogger* é importante, devido ser um componente para armazenamento e registro dos níveis das variáveis monitoradas. Um resumo sobre as propriedades dos sistemas de monitoramento de cada autor é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Propriedades dos sistemas de monitoramento.

Autores	Sensores					<i>Datalogger</i>
	Irradiação	Temperatura	Corrente	Tensão	Velocidade do vento	
Braga Júnior (2014)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ribeiro et al. (2014)	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não
Coelho et al. (2013)	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Díaz-González et al. (2012)	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Canto (2007)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Fornari et al. (2012)	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Vera e Krenzinger (2007)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Observando a Tabela 5 é possível verificar que o sistema de monitoramento de [Braga Júnior \(2014\)](#) possui 5 tipos de sensores e é dotado de um *datalogger*, enquanto o sistema de monitoramento de [Ribeiro et al. \(2014\)](#) possui apenas 2 tipos de sensores e não possui um *datalogger*. Comparando estes trabalhos verifica-se que existem sistemas melhores indicados para uma análise mais abrangente, que possuem uma quantidade maior

⁷ É uma tecnologia que utiliza a combinação química entre os gases oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2) para gerar energia elétrica, energia térmica e água ([NETO GOMES, 2005](#))

de sensores quando comparados a outros. Uma gama maior de sensores possibilita uma análise mais complexa, devido a diversidade de variáveis analisadas.

2.3.3 Softwares de monitoramento

As variáveis ambientais podem ser monitoradas em tempo real por sistemas que disponibilizam na rede as suas mudanças (*online*) ou apenas registarem em seus bancos de dados pessoais (*offline*), o sistema escolhido depende diretamente da aplicação e do investimento necessário para sua utilização.

Alguns sites como [MeteoCercal \(2016\)](#) disponibilizam em sua página, o monitoramento em tempo real de diversas variáveis tais como: temperatura, velocidade do vento, radiação, pressão, dentre outras. Este site é uma boa opção para analisar a viabilidade técnica de uma instalação FV ou até mesmo outras instalações, antes da montagem da mesma. Tal sistema funciona devido serem instaladas centrais de monitoramento ambiental em diversos pontos da cidade, estado ou países.

O monitoramento online das variáveis de um sistema FV é uma boa alternativa para unidades descentralizadas que necessitam da aquisição de dados para verificação do funcionamento do sistema. Logo, os sistemas online dependem diretamente de aplicações web, módulos wifi e servidores.

O trabalho de [Halmeman \(2014\)](#) tem semelhança com este tipo de funcionamento, logo este desenvolveu um sistema de monitoramento em *hardware* livre (Arduíno) e uma transmissão de dados via rede sem fio (*ZigBee*) que envia tais dados para uma central onde são gerenciados. O monitoramento do funcionamento da instalação FV pode ser observado por uma página na *internet*, onde também é possível realizar o *download* dos dados. A eficiência do sistema foi de 96 % na quantidade de dados registrados. O sistema de monitoramento e módulo de transmissão dos dados, pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Sensores e módulo transmissor de dados instalados.



Fonte: Retirada de [Halmeman \(2014\)](#).

Para tratamento de dados são elaborados *softwares* específicos com esta funcionalidade, Vera e Krenzinger (2007) desenvolveu em seu trabalho um programa para *Windows* na linguagem de programação Visual Basic, com este *software* é possível: definir os parâmetros ou níveis de tensão do controlador de carga, programar os canais, controle do período de funcionamento das cargas, armazenar e visualizar em tempo real as variáveis do sistema.

Da mesma forma, Ruschel (2015) desenvolveu um *software* para supervisão de usinas solares FV. Neste trabalho, o autor aprimorou o *software* FVCONECT, sendo que este trabalha com dados climáticos médios de uma região para simular o funcionamento típico do sistema. Dando origem ao *software* SPV–SuPerVisor, que a partir das condições meteorológicas instantâneas fornecidas ao sistema, calcula os dados das condições de operação do sistema FV que deveria está ocorrendo, como: tensão, corrente e potência.

A utilização de *software* já previamente elaborados é uma boa alternativa para utilização no monitoramento de parâmetros, pois possuem sistemas padronizados de comunicação que facilitam sua aquisição. No trabalho de Canto (2007) foi utilizado o *software* Labview, onde a programação é desenvolvida em diagrama de blocos. O autor utilizou uma rotina disponibilizada pelo fabricante, de controle da comunicação via interface RS-232, para obtenção dos dados e condicionamento dos sinais.

*Softwares open source*⁸ e *freeware*⁹ são bastantes utilizados como sistemas supervisórios em diversas aplicações devido seu baixo custo, tais *softwares* dão suporte para informações recebidas dos módulos de aquisição de dados que podem ser exibidas em páginas Web por meio de servidores. Na plataforma Web é possível acessar o sistema via internet para coleta, gerenciamento e análise de dados, onde será capaz de produzir indicadores e gráficos para os usuários (LIMA; CORDEIRO; SOUZA, 2012).

2.4 Conclusão do Capítulo

Ciente da importância da geração de energia elétrica através de fontes alternativas e renováveis, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os principais métodos de geração e monitoramento, além da eficiência energética da energia solar FV. No próximo capítulo, a metodologia utilizada para calibração e verificação do sistema de monitoramento nesta dissertação é apresentada.

⁸ Software que possuem código aberto e podem ser adaptados para diferente fins

⁹ Programa de computador cuja sua utilização não implica no pagamento de licença de uso

3 Materiais e Métodos

O trabalho é desenvolvido em três etapas: na primeira etapa é realizado o desenvolvimento do sistema de monitoramento FV, bem como a realização da calibração dos sensores separadamente em bancada, na segunda etapa é realizada a calibração do sistema completo e na terceira etapa é realizada a instalação do sistema de monitoramento em campo, juntamente com o sistema solar FV.

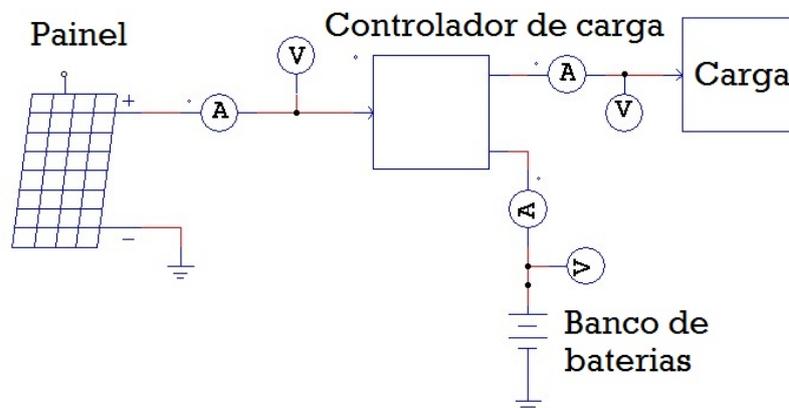
3.1 Sistema de monitoramento FV

Nesta etapa do projeto é desenvolvido um sistema de monitoramento FV para analisar o desempenho da geração de energia. O trabalho consiste na utilização de uma placa microcontrolada (Arduino) aplicada na aquisição dos dados da geração de energia. Os componentes que integram o sistema e seus respectivos esquemas de ligação também são apresentados nesta seção.

O esquema de monitoramento é instalado em três pontos, medindo corrente e tensão, como pode ser observado na Figura 32:

- Ponto 1: Entre o painel e o controlador de carga (Potência do painel FV).
- Ponto 2: Entre a bateria e o controlador de carga (Potência da bateria).
- Ponto 3: Entre o controlador de carga e a carga (Potência entregue a carga).

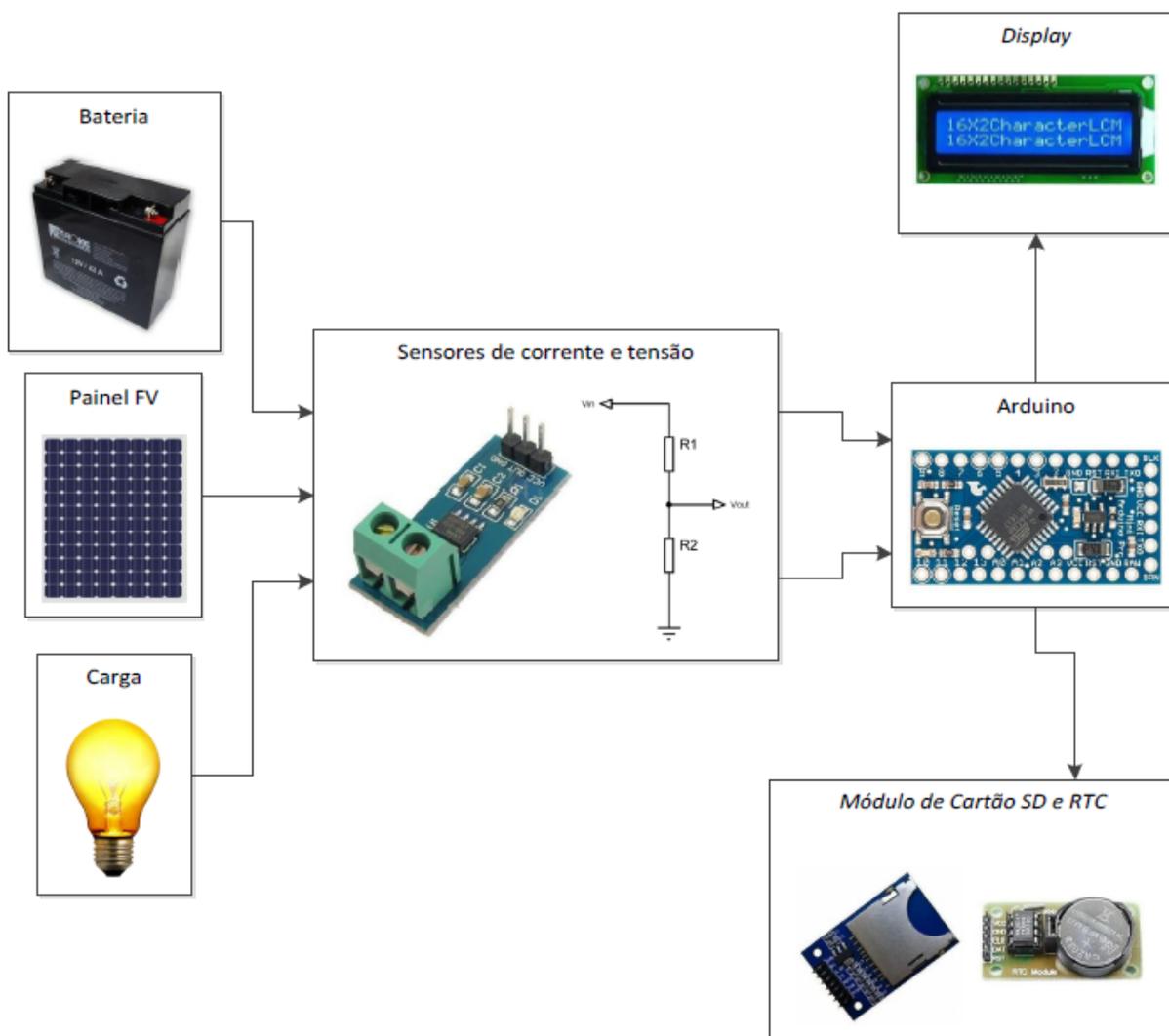
Figura 32 – Esquemático do sistema FV com os pontos de monitoramento.



O monitoramento é realizado através de sensores que captam os valores de tensão e corrente da bateria, do painel e da carga, estes níveis são enviados para um microcontrolador que neste trabalho é utilizado o Arduino. Os dados enviados para o Arduino são organizados

e registrados através do módulo de cartão SD num cartão de memória micro SD 8 Gigabytes. O monitoramento é realizado em tempo real através de um *display* que exibe os níveis de tensão, corrente e potência, além do horário. Um diagrama ilustrando as etapas que compõem o sistema de monitoramento é mostrado na Figura 33.

Figura 33 – Diagrama do componentes do sistema completo.



Cada componente do sistema necessita de um tipo de ligação diferente com Arduino, alguns destes componentes devem ser ligados em portas específicas do microcontrolador. Os sensores empregados neste trabalho são ligados nas portas analógicas do Arduino Pro Mini, pois trabalham com grandezas que variam continuamente ao longo de tempo dentro de uma faixa de valores. Os esquemas de ligação dos componentes foram desenhados no programa *Fritzing electronics made easy* Versão 0.9.3. (FRITZING, 2016).

3.1.1 Sensor de corrente

O sistema é dotado de 3 sensores de corrente ACS712, conforme ilustrado na Figura 34, e 3 divisores de tensão, apresentado na Seção 3.1.2, para obtenção da tensão e denominados no projeto de sensores de tensão, com um sensor de tensão e um sensor de corrente obtém-se a potência, onde são três potências: a geração FV, o banco de baterias e a carga.

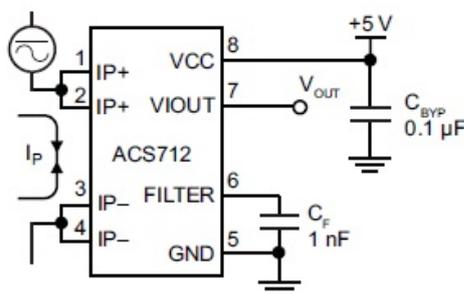
Figura 34 – Sensor de corrente ACS712.



Fonte: Retirada de [Autocore \(2016\)](#).

O sensor de corrente utilizado neste projeto foi escolhido por apresentar boa linearidade, isolamento satisfatório entre o lado de potência e o monitoramento, além de possuir um tamanho reduzido. O CI (Circuito Integrado) ACS712 funciona pelo efeito *hall* que ligado em série com o circuito de potência passará uma corrente pelos terminais do CI produzindo um campo magnético. O diagrama esquemático do CI ACS712 é mostrado na Figura 35.

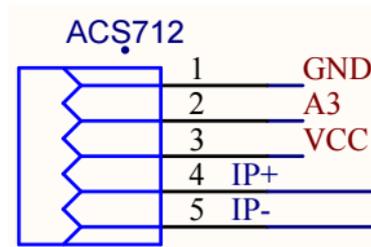
Figura 35 – Esquemático do CI ACS712.



Fonte: Retirada de [Allegro \(2016\)](#).

O sensor de corrente ACS712 que funciona por efeito *Hall*, possui 5 pinos. Os pinos denominados $IP+$ e $IP-$ são os pinos de entrada, que são ligados em série com a carga para medição da passagem de corrente. Os pinos GND e $5V$ são de alimentação do CI ACS712 e o pino V_o é a saída de dados do sensor de corrente. Este último é o que fornece a informação para a porta analógica do Arduino. A informação é enviada em tensão. O diagrama elétrico de ligação do sensor de corrente no Arduino é mostrado na Figura 36.

Figura 36 – Diagrama elétrico de ligação do sensor de corrente.



Para efeito de medição, o sensor de corrente empregado possui uma faixa de medição de -30 A a +30 A. Este sensor (Sensor de corrente 30 A) possui uma sensibilidade de tensão por Ampere de 66 mV/A. No cálculo da corrente do sensor deve-se converter o valor lido para Volts. Os valores lidos pelo Arduino são 0-1023 que devem ser convertidos para 0-5 V, onde é realizada a normalização da amplitude do sinal de 5 V, através da divisão de cada atributo por 1024 (uma vez que a resolução do conversor analógico-digital é de 8 bits). A corrente é calculada pela Equação 3.1

$$corrente = (input_sensor - (V_{cc}/2)) \cdot \frac{tensão_por_unidade}{sensibilidade} \quad (3.1)$$

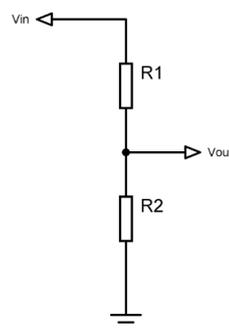
Inserindo os valores na Equação 3.1 obtém-se a Equação 3.2

$$corrente = (input_sensor - (1023/2)) \cdot \frac{0,004887586}{0,066} \quad (3.2)$$

3.1.2 Sensor de tensão

A principal funcionalidade de um divisor de tensão está em uma técnica de projeto utilizada para criar uma tensão (V_{out}) proporcional à entrada de tensão (V_{in}) chamada de regra do divisor de tensão (O'MALLEY, 2014), onde dois resistores são ligados em série conforme o diagrama da Figura 37.

Figura 37 – Divisor de tensão.

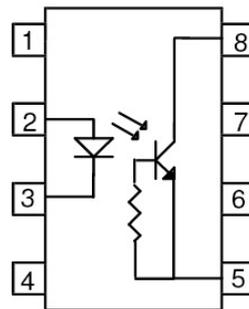


Onde a tensão de saída (V_{out}) é dada por:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad (3.3)$$

Com o intuito de isolar eletricamente o circuito de monitoramento do circuito de potência será utilizado um opto acoplador que é um componente eletrônico bastante utilizado no isolamento total entre o sinal de entrada e o sinal de saída. O optoacoplador é constituído basicamente por um diodo emissor de luz e um fototransistor, conforme é mostrado na Figura 38.

Figura 38 – Modelo esquemático de um optoacoplador.



Fonte: Retirada de [Ufsc \(2016\)](#).

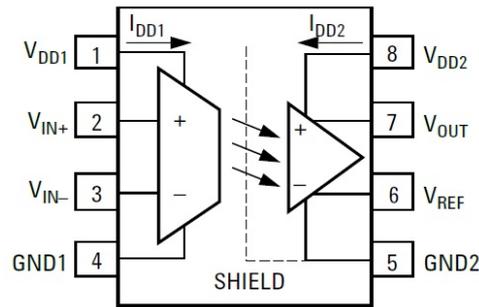
Para o isolamento elétrico do sistema de aquisição desenvolvido neste trabalho será utilizado o optoacoplador HCPL-7520. Este CI HCPL-7520 é isolado e sensível a corrente, sendo projetado normalmente para detecção de corrente em motores elétricos de baixa potência. Em aplicações típicas, a corrente que flui através de uma resistência externa proporciona uma queda de tensão que é sentida pela entrada do HCPL-7520. Logo, uma tensão de saída é gerada no outro lado da barreira de isolamento óptico, sendo esta proporcional a entrada. Devido sua capacidade de isolamento, o HCPL-7520 proporciona segurança no monitoramento da tensão.

O HCPL-7520 também pode ser utilizado para aplicações de isolamento de sinais analógicos em geral. Possui como características gerais, ser compacto (8 pinos), desvio de tensão de 0,6 mV, 8 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ de variação na entrada, largura da banda de 100 kHz, 0,06% de não linearidade, dentre outras características. Este CI pode ser empregado como: sensor de corrente em baixa potência, no isolamento de sinais em fontes chaveadas, uso geral em baixa potência na detecção de corrente e no isolamento de sinais analógicos de uso geral.

O diagrama funcional do optoacoplador HCPL-7520 é mostrado na Figura 39. Entretanto, alguns circuitos necessitam de um capacitor de *bypass* de 0,1 μF que deve ser conectado entre os pinos 1 e 4 e entre os pinos 5 e 8.

A saída do sensor de tensão (V_{out}) é ligada diretamente ao pino 2 (V_{IN+}) do optoacoplador, bem como, o terra também chamado de negativo é ligado ao pino 3 do optoacoplador (V_{IN-}). Os pinos 1 (V_{DD1}) e 4 ($GND1$) necessitam de uma alimentação

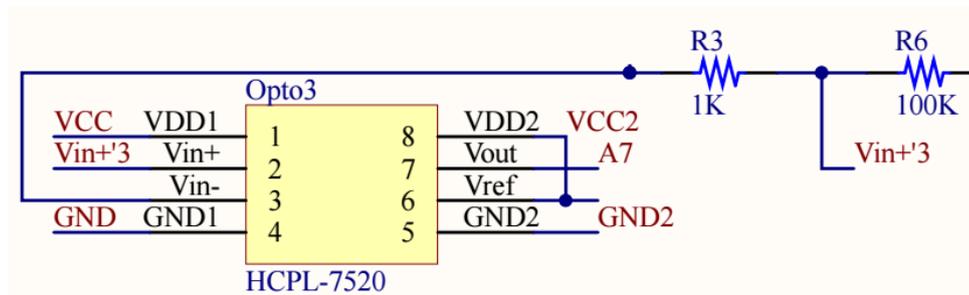
Figura 39 – Esquemático do optoacoplador HCPL-7520.



Fonte: Retirada de [Avago \(2008\)](#).

externa para o funcionamento do optoacoplador no lado da corrente (I_{DD1}). Nos pinos 8 (V_{DD2}) e 5 ($GND2$) é conectada uma alimentação diretamente do Arduino pelos pinos (VCC) e (GND), respectivamente. o pino 6 (V_{REF}) denominado pino de tensão de referência é ligado juntamente ao pino 8 (V_{DD2}). O pino 7 (V_{OUT}) do optoacoplador é ligado diretamente nas portas analógicas do Arduino, como por exemplo na porta (A0). O diagrama elétrico de ligação do sensor de tensão com o optoacoplador ao Arduino é mostrado na Figura 40.

Figura 40 – Diagrama elétrico de ligação do sensor de tensão com optoacoplador.



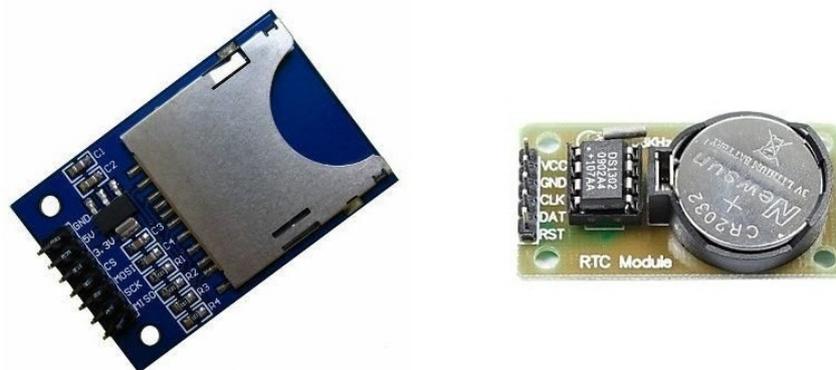
3.1.3 Datalogger

Para registro das potências será utilizado um módulo SDcard combinado com um RTC (*Real Time Clock*), conforme a Figura 41, formando assim um *datalogger* para armazenamento dos dados de potência e os respectivos horários.

O módulo SDcard permite fácil ligação com o Arduino e outros microcontroladores. Este módulo suporta formatos de arquivo FAT16 e FAT32, alimentação de 3,3 V ou 5 V. O RTC é utilizado quando se precisa manter um controle preciso do tempo em sistemas integrados. No trabalho proposto este dispositivo será importante para registrar a potência dos painéis organizando-as em intervalos de tempo.

O módulo RTC é controlado pelo DS1302 possuindo funções de data, hora e calendário. Sendo capaz de fornecer informações de horas, minutos, segundos, dia da

Figura 41 – Real Time Clock e Módulo SDcard.

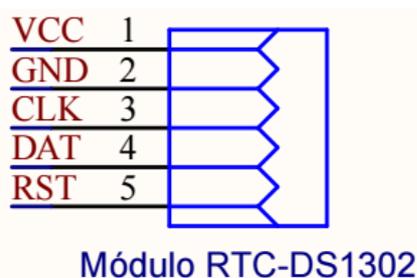


Fonte: Retirada de [Autocore \(2016\)](#).

semana, data, mês e ano, contendo um ajuste automático nos dados referentes aos meses com menos de 31 dias e também anos bissextos.

O módulo RCT DS1302 possui uma placa com 5 pinos de saída, um cristal oscilador de 32,768 kHz e um suporte para bateria de 3 V. Os pinos *VCC* e *GND* são de alimentação. O pino *DAT* é onde os dados são enviados e recebidos através de um *shift register*. O pino *CLK* que é uma via de *clock*, controla o fluxo de dados. O pino *RST* é o que habilita ou não a transmissão e recepção dos dados. O diagrama elétrico de ligação do módulo RTC DS1302 no Arduíno é mostrado na Figura 42.

Figura 42 – Diagrama elétrico de ligação do módulo RCT DS1302.



Para extrair as informações do DS1302 e utilizá-las junto com outras funções do Arduíno, existe uma biblioteca chamada de *virtuabotixRTC* para download com um código adaptado para sua utilização.

O módulo SD card possui 8 pinos, onde 4 destes pinos são de alimentação +5, +3.3 e *GND*(2 pinos). A comunicação com o módulo é realizada pela interface *SPI* (pinos *MOSI*, *SCK*, *MISO* e *CS*), esta é uma comunicação serial síncrona definida como Mestre-Escravo, do inglês, *Master-Slave*¹. O diagrama elétrico de ligação do módulo SD card no Arduíno é mostrado na Figura 43.

¹ Tipo de comunicação em que, o gerador do sinal de sincronismo é chamado de *Master* e o que utiliza deste sinal de sincronismo é denominado *Slave*. A ligação mais comum é um *Master* e vários *Slaves*

Figura 43 – Diagrama de elétrico de ligação do módulo SD card.



O pino *MOSI* é pelo qual o mestre envia os dados ao periférico, o pino *MISO* o mestre recebe os dados do periférico, o pino *SCK* o mestre controla o pulso/clock da conexão e o pino *CS* o mestre seleciona qual escravo receberá a informação.

3.1.4 Display LCD

Para visualização em tempo real da produção de energia gerada pelos painéis FV, da potência em tempo real no banco de baterias e da potência consumida pela carga, é instalado um *display* de cristal líquido (LCD) 16x2, conforme a Figura 44, devido o RTC ocupar pinos semelhantes ao pinos do LCD foi utilizado um adaptador I2C.

Figura 44 – Display LCD 16x2.



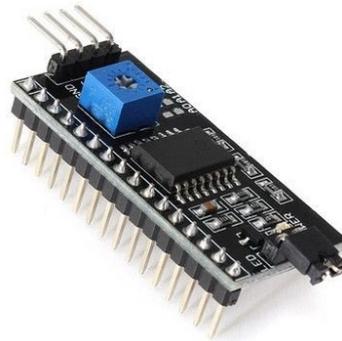
Fonte: Retirada de [Autocore \(2016\)](#).

O *display* LCD é um periférico bastante utilizado em sistemas que necessitam mostrar informações em tempo real. O *display* LCD utilizado no trabalho proposto possui 16 colunas e 2 linhas e regulação do *backlight*. A interface de conexão com o Arduino é simples, basicamente são 4 pinos de dados e 2 de controle. O módulo adaptador I2C é um dispositivo muito utilizado na instalação de *displays* LCDs junto com o Arduino devido reduzir a quantidade de pinos que serão usados, além de proporcionar o projetista uma instalação rápida e de qualidade, conforme a Figura 45.

A ligação do LCD 16x2 com o Arduino necessita de vários pinos, entretanto, às vezes esta quantidade de pinos não está disponível, por serem utilizados por outro periféricos. Um forma de reduzir a quantidade de pinos é através da utilização do módulo serial I2C para *display*. O diagrama elétrico de ligação módulo serial I2C ao Arduino é mostrado na Figura 46.

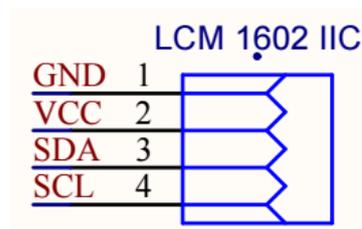
O módulo serial I2C possui 4 pinos, onde dois destes são para alimentação *VCC* e *GND*. Já os pinos *SDA* e *SCL* são responsáveis pela comunicação I2C (*Master-Slave*),

Figura 45 – Módulo I2C para Display Lcd 16x2.



Fonte: Retirada de [Autocore \(2016\)](#).

Figura 46 – Diagrama elétrico de ligação do módulo serial I2C.



o *Master* manda um pulso no pino *SDA* quando deseja se comunicar, e caso exista um dispositivo (*Slave*), este responde com um pulso no *SCL*, começando a transferência de dados.

3.1.5 Arduino

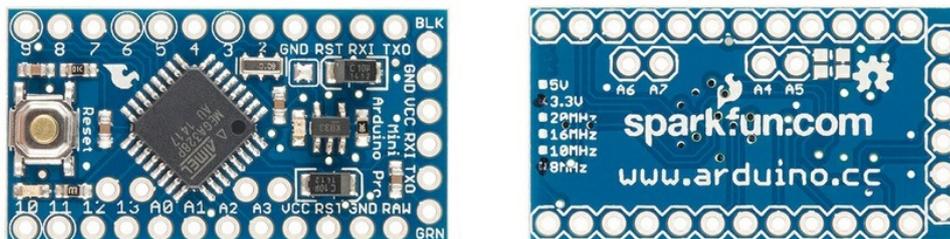
Para a aquisição dos dados da geração FV, é desenvolvido um sistema microcontrolado para armazenamento dos valores da potência gerada, da potência armazenada no banco de baterias e da potência utilizada numa carga.

O sistema microcontrolador é desenvolvido em Arduíno, consiste em uma plataforma de desenvolvimento eletrônica de *hardware/software* livre e de placa única, projetada com um microcontrolador Atmel AVR possuindo suporte de entrada/saída embutido. É programável em um formato de linguagem de programação padrão baseada em C/C++. O Arduíno escolhido para o projeto é o Arduíno Pro mini, conforme Figura 47, devido possuir uma dimensão reduzida e a pinagem atender as especificações do projeto.

O Arduíno utilizado no projeto consiste numa placa com o microcontrolador baseado no Atmega328, possui 14 pinos digitais de entrada/saída (onde 6 destes podem ser usados como saídas PWM²), 6 entradas analógicas, botão de *reset* e furos para montagem de *pin headers*. Este Arduíno é destinado a instalação semipermanente em sistemas ou exposições,

² Modulação por largura de pulso, do inglês, *Pulse Width Modulation*

Figura 47 – Microcontrolador Arduino Pro Mini.



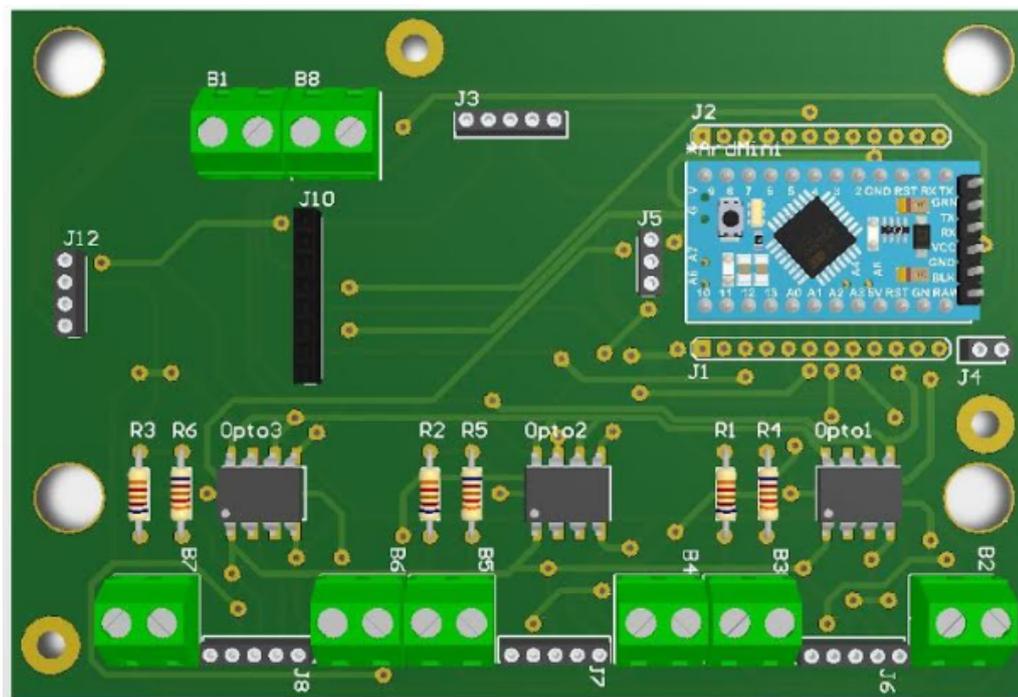
Fonte: Retirada de [Arduino \(2016\)](#).

existindo duas versões em 3,3 V e 8 MHz e a outra em 5 V e 16 MHz. Este modelo possui diversas comunicações como, serial UART TTL, I2C e SPI ([ARDUINO, 2016](#)). O diagrama elétrico do Arduino Pro Mini é mostrado no Apêndice B.

O Arduino pode ser utilizado em diversas aplicações através da interação dos sinais de entrada com os sinais de saída. Diversos dispositivos podem ser conectados ao Arduino como: sensor de temperatura, luminosidade, umidade, pressão, ultrassônico, efeito hall, outros dispositivos como motores, módulos *bluetooth* e *Ethernet shield*, e etc.

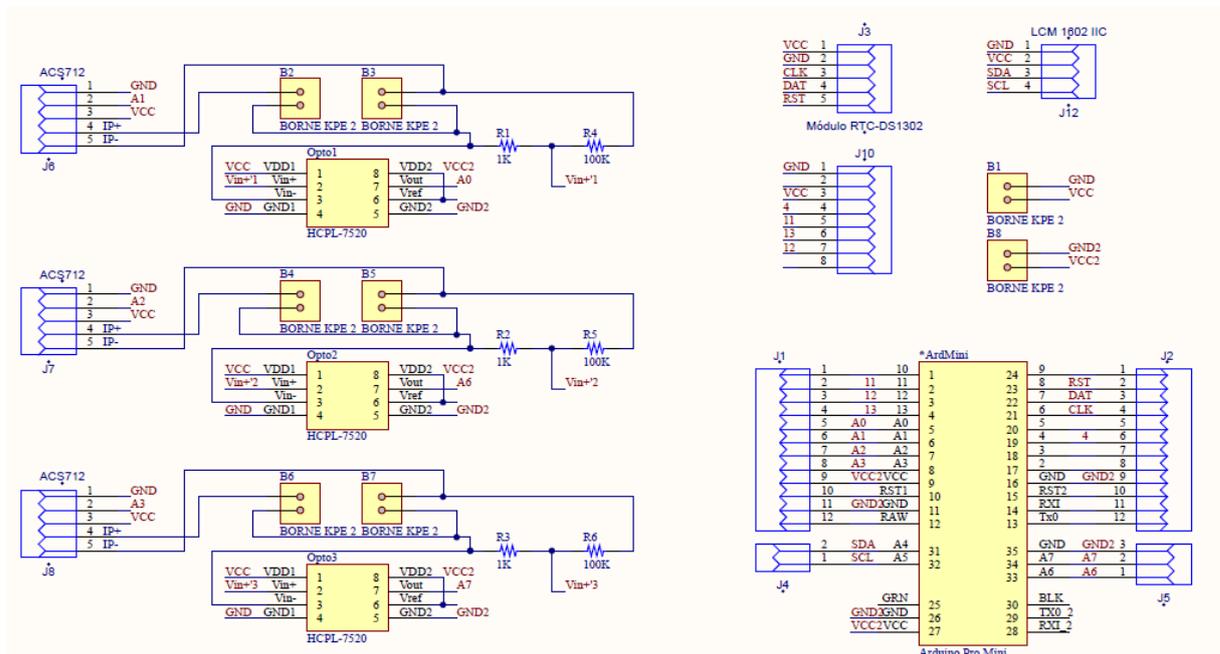
A placa de circuito impresso (PCB, do inglês *Printed Circuit Board*) foi desenvolvida no programa Altium Designer 17 que é um pacote de software de automação de design eletrônico para placa de circuito impresso. A utilização do software Altium Designer 17 foi importante para organização do componentes na placa proporcionando uma ideia de como ficaria após sua confecção, sua visualização 3D é mostrada na Figura 48.

Figura 48 – Visualização 3D da placa de circuito impresso do sistema de monitoramento.



O diagrama eletrônico do sistema de monitoramento FV é mostrado na Figura 49.

Figura 49 – Diagrama eletrônico.



3.1.6 Sistema solar FV

O sistema FV utilizado neste trabalho é um sistema autônomo como descrito na Seção 2.1.2.1 não possuindo um inversor de frequência, sendo dotado de um controlador de carga, banco de baterias e uma carga de tensão contínua. O controlador de carga utilizado é o *Solar Charge Controller - Black 12 V/24 V 30 A* conforme mostrado na Figura 50.

Figura 50 – Controlador de carga.



Fonte: Retirada de Mixtrade (2017).

O controlador de carga é um dos principais elementos do sistema FV, seu trabalho consiste em distribuir a energia evitando sobrecargas ou descargas excessivas, otimizando e prolongando a vida útil das baterias. Contudo, alguns controladores de carga possuem diferentes forma de operação, tais como: ligar/desligar a carga pressionando um botão, ligar a carga com ausência de energia solar, ligar a carga duas horas após a bateria está totalmente carregada, dentre outras opções.

A bateria utilizada é a Unipower UP1272 do tipo Chumbo Ácida regulada por válvula (VRLA), possui uma tensão nominal de 12 V e uma capacidade nominal de 7,2 Ah conforme mostra a Figura 51.

Figura 51 – Bateria Unipower.



Fonte: Retirada de Unipower (2017).

O painel solar utilizado no experimento é um monocristalino com uma potência de 10 W da empresa Sun Home Energia Solar modelo: ST-M10. O modelo do painel é mostrado na Figura 52. Por fim, como carga do experimento foi utilizada uma lâmpada automotiva de 12 V 5 W.

O esquema de ligação dos componentes do sistema FV utilizados é mostrado na Figura 53.

3.2 Metodologia de calibração

Nesta seção são apresentados os métodos de calibração dos sensores de corrente e tensão, a calibração por sensores separadamente e a calibração com todo o sistema funcionando.

Figura 52 – PAINEL solar 10 W.



Fonte: Retirada de [Sun home \(2017\)](#).

Primeiramente foram calibrados os sensores de corrente e tensão separadamente por pares, sendo eles painel FV, carga e bateria. Na calibração foram aplicados dois multímetros da Politerm modelo POL-41A, conforme mostra a Figura 54. Um multímetro em paralelo com uma lâmpada para realizar a medição da tensão e outro multímetro em série com a carga para realizar a medição da corrente.

Na calibração do sistema de monitoramento foi utilizado uma fonte regulável de tensão contínua, o sistema foi aplicando-se inserindo uma tensão de 21 V e uma corrente de 33 mA como carga foram utilizadas duas lâmpadas de 12 V e 5 W em série para dividir a tensão utilizada na calibração. O valores mostrados nos dois multímetros foram anotados e tomados com o padrão para a calibração. O esquema de ligação dos multímetros para calibração do sistema de monitoramento é mostrado na Figura 55.

A medição pelo sensor de tensão é realizada pelo média simples de 500 amostragens por segundo, proporcionando uma boa estabilização no valor real da medição. Não foi possível utilizar uma amostragem maior devido a capacidade de memória do próprio Arduino. A Equação 3.3 é utilizada para obter a tensão medida, onde foi realizado modificações no valor da divisão do R_2 pela soma de R_1 mais R_2 , tais modificações são inseridas devido a influência das perdas por resistência do sistema de monitoramento, dada

Figura 53 – Esquema de ligação do sistema solar FV.

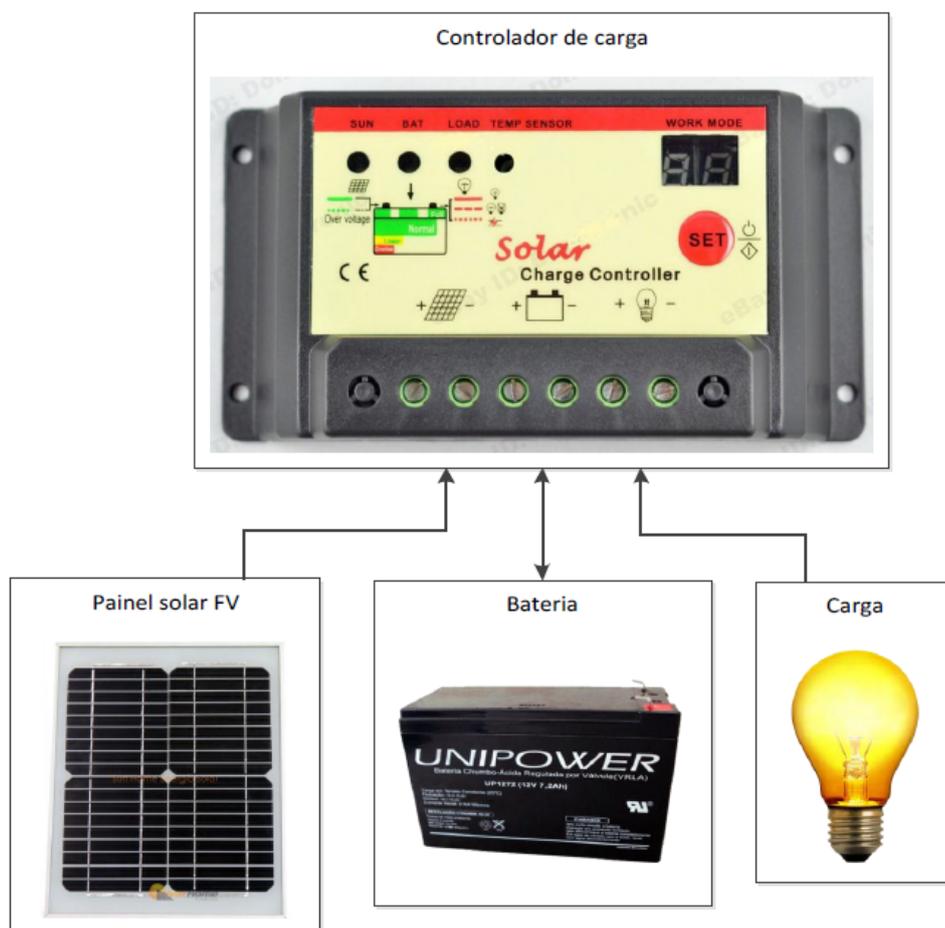
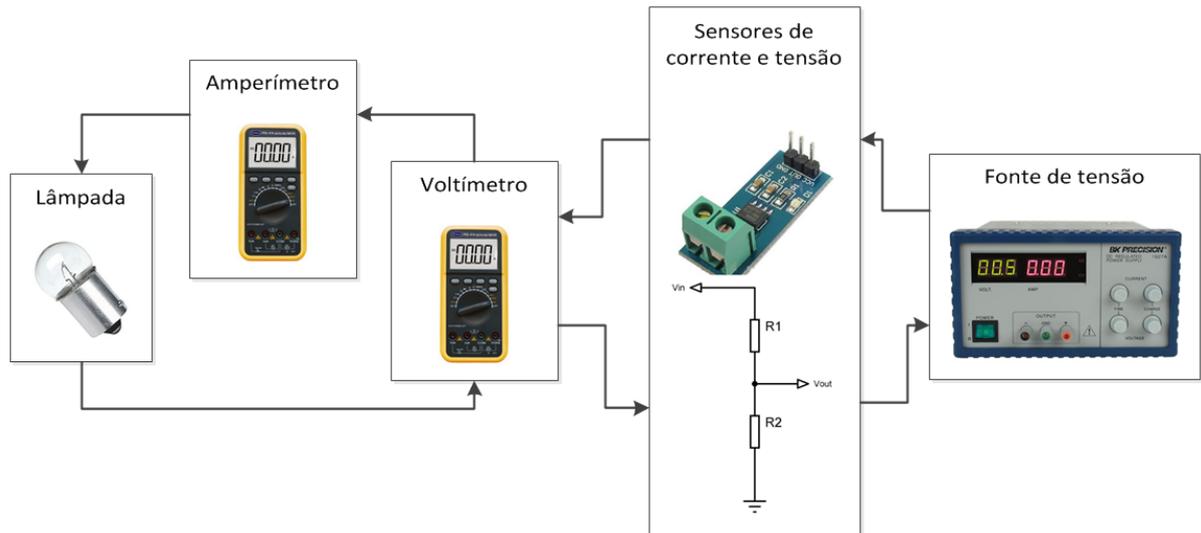


Figura 54 – Multímetro Politem POL-41A.



Fonte: Retirada de Politem (2017).

Figura 55 – Diagrama de ligação dos multímetros.



por

$$V_{out} = V_{in} \cdot V_{AT} \quad (3.4)$$

em que V_{out} é a tensão de saída, V_{in} é tensão de entrada e V_{AT} é uma variável de ajuste da tensão.

A Equação 3.1 é modificada para calibrar o sensor de corrente, onde é alterado o valor da divisão da tensão por unidade pela sensibilidade que normalmente seria 0,07405, mas devido as perdas por resistência dos componentes do sistema e as diferentes temperaturas proporcionam uma modificação na sensibilidade do sensor. A corrente é obtida através do efeito *Hall* e calculada através de uma média quadrática com 1000 valores para melhor estabilização da medição, dada por

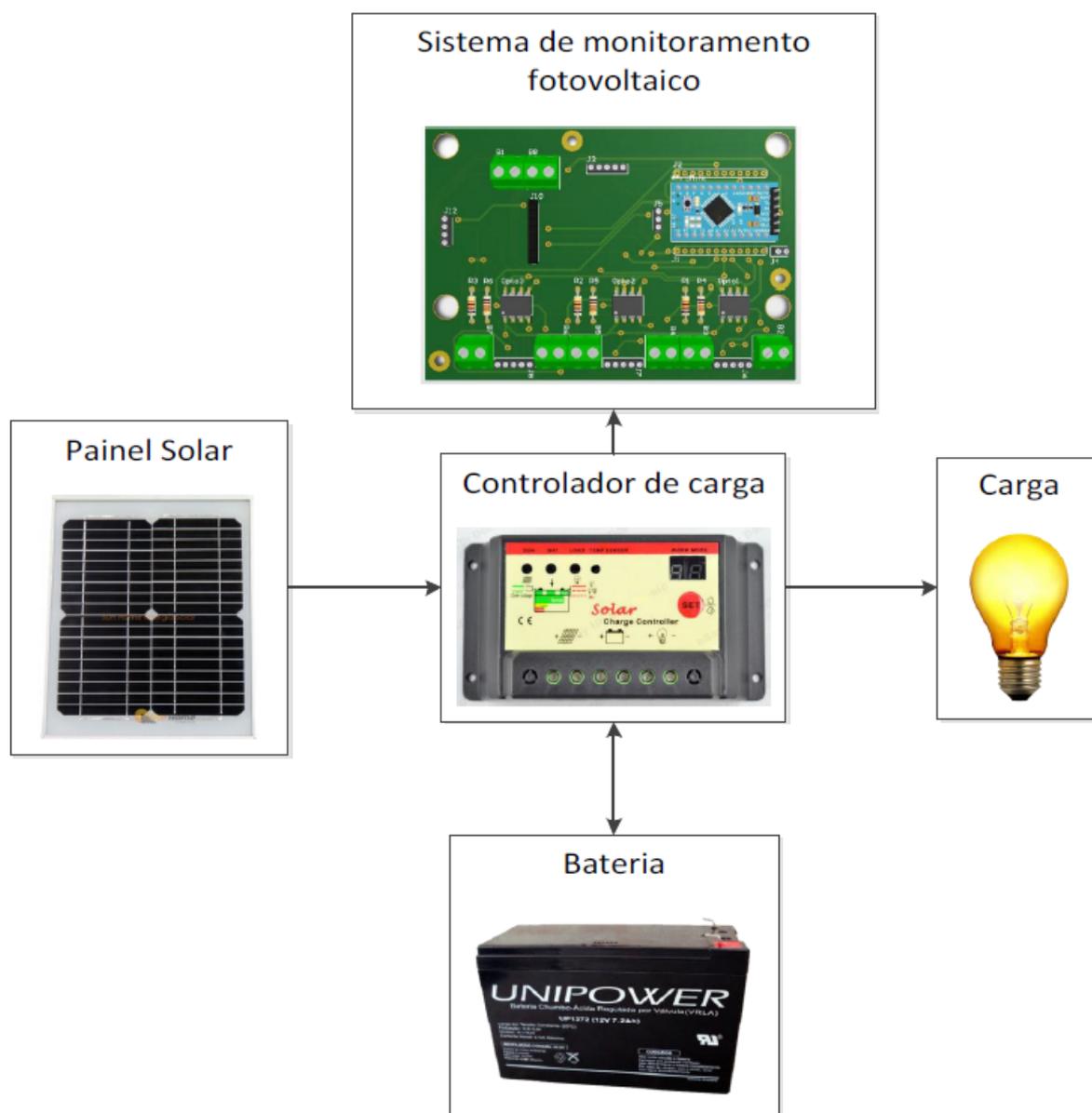
$$x_q = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (3.5)$$

em que x_q é a média quadrática, $x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2$ conjunto finito de números reais e n é a quantidade de valores.

As medições de tensão e corrente por sensor foram coletadas num período de tempo de 10 minutos, onde foram coletadas as informações a 1 segundo totalizando 600 medições. A calibração ocorreu dentro do Laboratório de Eletricidade do IFCE - Campus Jaguaribe (coordenadas geográficas: 5°52'45.2"S 38°36'32.4"W), com uma temperatura ambiente de 25 °C.

Após ocorrida a calibração dos sensores do sistema de monitoramento separadamente por pares, foi executada a calibração do sistema completo. Nesta etapa foi conectado o controlador de carga que funciona em paralelo com o sistema de monitoramento, juntamente com o painel FV, uma bateria e a mesma carga utilizada na calibração anterior, O diagrama de blocos da ligação é mostrado na Figura 56.

Figura 56 – Esquema de ligação do controlado com o sistema de monitoramento.



O sistema de monitoramento permaneceu dentro do Laboratório de Eletricidade e um painel FV foi instalado em campo sem inclinação e sobre um suporte de madeira, conforme mostrado na Figura 57. O sistema de monitoramento é alimentado através de duas fontes de tensão externa de 5V. Devido, o optoacoplador funcionar como isolador elétrico entre o sensor de tensão e o Arduino, este necessita de uma fonte de tensão separadamente.

Figura 57 – Painel FV instalado em campo para calibração do sistema de monitoramento.



A calibração do sistema completo ocorreu por o período de 60 minutos com medições realizadas a cada 1 segundo, com um total de 3600 medições. Esta calibração foi importante para aprimorar pequenos erros que passaram despercebidos na calibração anterior e verificar o funcionamento do sistema de monitoramento completo. Os dados obtidos foram registrado em um cartão de memória sendo tensão e corrente do painel, da bateria e da carga e monitorados em tempo real através do *display* LCD.

Após a realização das medições de calibração por sensores separadamente e pelo sistema de monitoramento completo, foram executadas as avaliações métricas descritas na Seção 3.3 e seus respectivos resultados são apresentados posteriormente no Capítulo 4. A Figura 58 mostra o teste sendo realizado na bancada do Laboratório de Eletricidade.

3.2.1 Método de instalação

Nesta seção, é apresentada o método utilizado para instalação, bem como, a confecção do suporte para o painel FV.

Primeiramente, foi realizada uma análise geral sobre o funcionamento das micro gerações FV, como a produção de energia gerada, o carregamento do banco de baterias e a potência consumida pela carga. A instalação do painel FV em campo ocorreu através da confecção de um suporte feito de tubo quadrado metalon 25,4 x 25,4 x 1,0 mm por 6 m de comprimento (tamanho comercialmente encontrado), o suporte é mostrado na Figura 59.

O suporte foi confeccionado especialmente para o painel FV utilizado neste trabalho,

Figura 58 – Calibração do sistema de monitoramento em bancada.

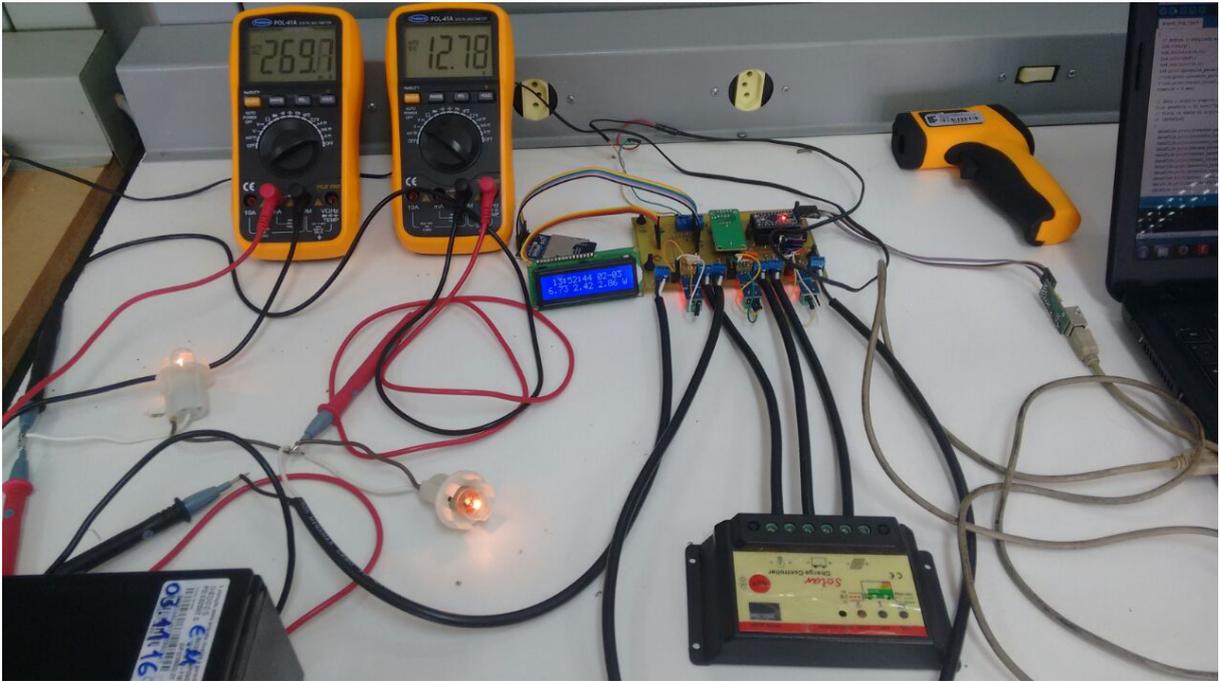
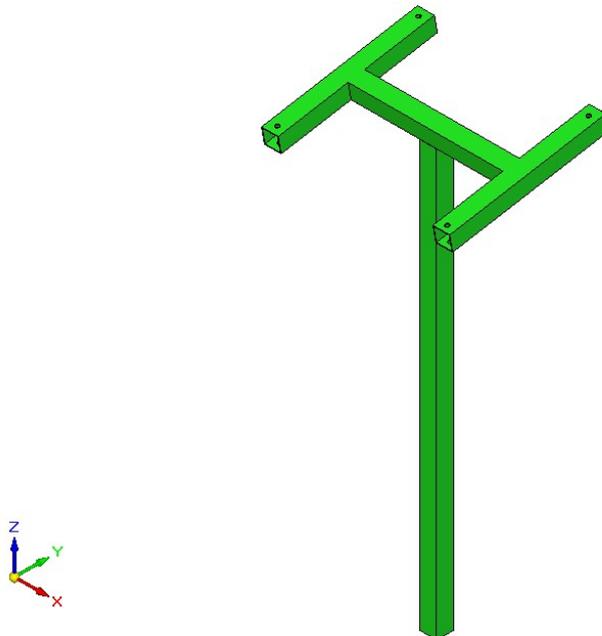
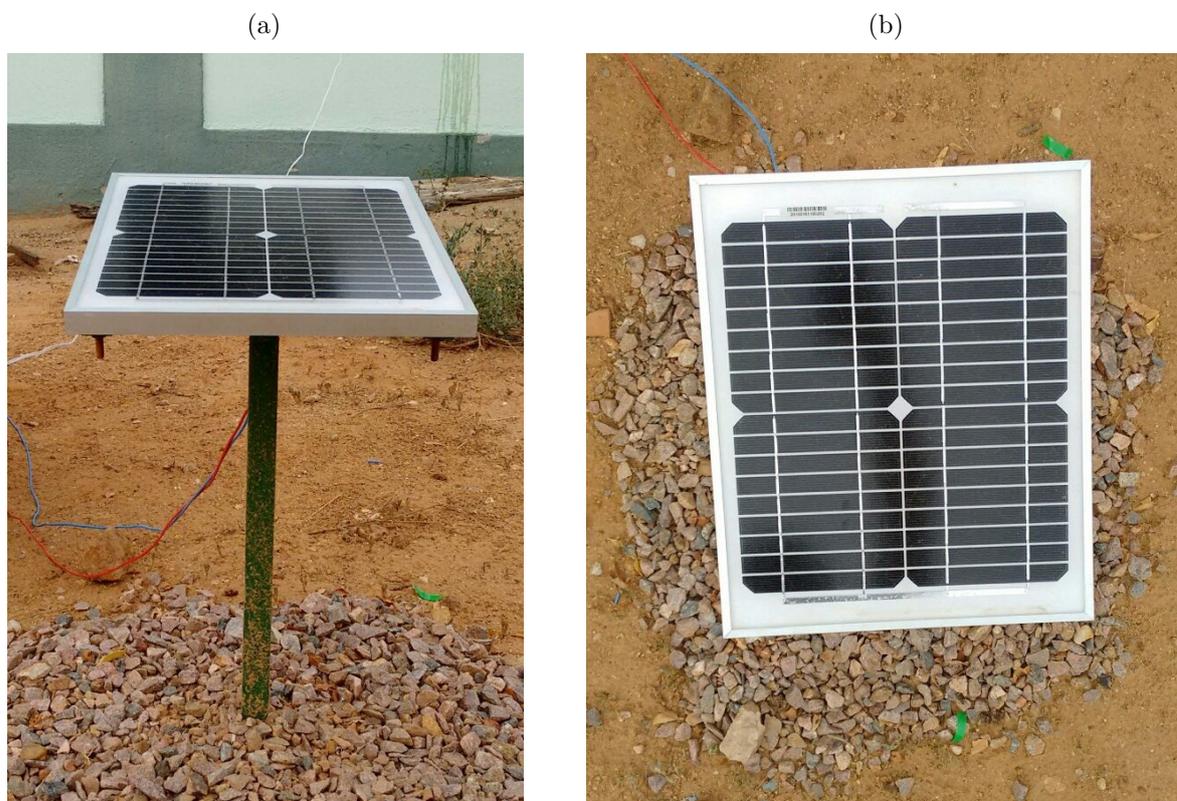


Figura 59 – Suporte de instalação do painel FV.



com um distância padronizada entre os furos e com um *design* que permite a conexão do cabos ao painel FV com rapidez e tranquilidade, tal suporte possui uma inclinação de 10° em relação ao horizonte (ângulo azimutal). O suporte juntamente com o painel FV foram instalados nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Jaguaribe num terreno próximo ao estacionamento e ao bloco administrativo. O painel FV instalado é mostrado na Figura 60.

Figura 60 – Painel FV instalado a) vista frontal e b) vista superior.



Após a instalação do painel FV, foi instalado o sistema de monitoramento juntamente com o controlador de carga e a bateria, suas respectivas conexões. O sistema de monitoramento está localizado próximo ao painel FV, conforme é mostrado na Figura 61. Em seguida foi realizada a medição da temperatura do painel FV com um termômetro digital infravermelho da Leetools, o painel apresentou um temperatura de 45 °C.

O sistema de monitoramento FV proposto nessa dissertação é aplicado num sistema FV de pequeno porte, com apenas um painel de 10W e um banco de baterias de 12V. Contudo, existe a possibilidade de aplicação num sistema de maior porte, desde que alguns componentes do projeto elétrico sejam alterados (novo dimensionamento). Os componentes que possibilitam essa intercambiabilidade são: os resistores do sensor de tensão, o sensor de corrente, o optoacoplador HCPL-7520 e os bornes e conexões. O sistema de monitoramento FV é aplicado num sistema FV de pequeno porte, devido a facilidade na manipulação dos equipamentos em relação ao peso e as dimensões físicas. Através do experimento realizado neste sistema, o mesmo poderá ser expandido e aprimorado.

A metodologia utilizada nesta etapa do trabalho será medir as grandezas de tensão e corrente (geradas, armazenadas e consumidas) através do sistema de monitoramento. Com as medições realizadas e armazenadas serão executadas as métricas de avaliação.

3.3 Métricas de avaliação

Serão analisadas as gerações de energia, potências instantâneas dos painéis FV obtidas através do sistema de monitoramento em tempo real, ao longo de determinados períodos para cálculo do rendimento. As métricas utilizadas para analisar o desempenho da geração de energia solar FV neste trabalho serão:

- Média;
- Desvio Padrão;
- Taxa média de acerto (eficiência);
- Erro Médio Quadrático.

O desempenho da geração de energia elétrica será avaliado com base nas métricas de avaliação. O valor da média aponta para onde mais se concentram os dados de uma distribuição, sendo calculada através da combinação de valores de um conjunto, dada por

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.6)$$

em que \bar{x} é a média, n é a quantidade de valores e x_i é o valor real.

O desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística, indicando qual é o “erro”, caso queira, substituir um dos valores coletados pelo valor da média ou valor esperado, dado por

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.7)$$

em que σ é o desvio padrão.

A taxa média de acerto é utilizada para comparação e qualidade de valores medidos. Essa taxa mensura a porcentagem das previsões nas quais os padrões desejados e padrões que as medições retornam coincidem. A média das taxas de acerto nos testes de todas as realizações é dada por

$$TMA(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_1}{x} \times 100 \quad (3.8)$$

em que TMA é a taxa média de acerto, n é a quantidade de valores, x é o valor padrão e x_1 é o valor real.

O erro médio quadrático é um estimador de um parâmetro escalar, muito utilizado para comparação de estimadores. Sendo a soma das diferenças entre o valor estimado e o valor real dos dados, ponderados pelo número de termos, dado por

$$EMQ = \sum_i \frac{(x_1 - \hat{x}_1)^2}{n} \quad (3.9)$$

em que x_1 é o valor real e \hat{x}_1 é o valor estimado.

3.4 Conclusão do Capítulo

A metodologia apresentada neste capítulo consiste na montagem de uma microgeração FV, no desenvolvimento de um sistema de monitoramento FV em que as variáveis (potência, corrente e tensão) serão analisadas através de métricas de avaliação já descritas. A metodologia é representada, resumidamente, através da Figura 62. O fluxo de informações de trabalho segue os seguintes itens:

- Desenvolvimento e montagem do sistema de monitoramento;
- Calibração do sistema de monitoramento;
- Instalação do sistema de monitoramento com o sistema FV;
- Aquisição dos dados;
- Avaliações métricas já mencionadas;

Assim, no próximo Capítulo, os resultados obtidos com as respectivas discussões são apresentados.

Figura 61 – Sistema de monitoramento instalado em campo a) vista do sistema FV completo e b) vista do sistema de monitoramento.

(a)



(b)

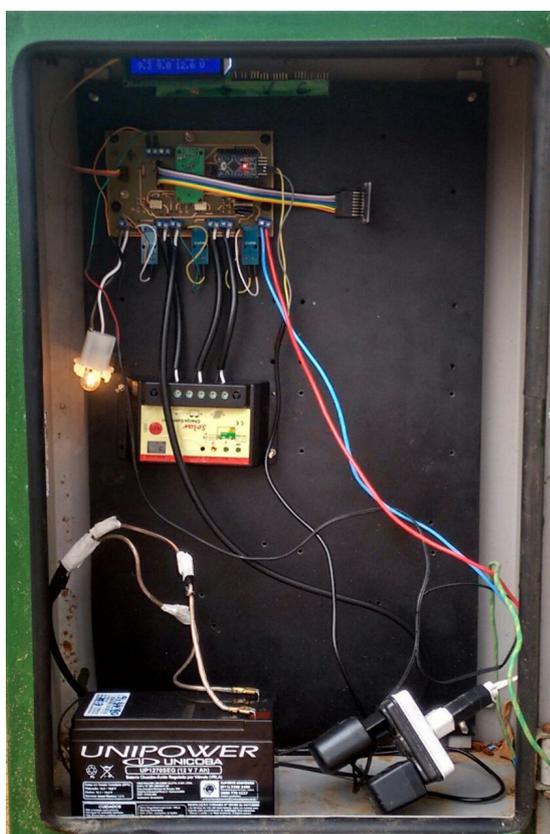
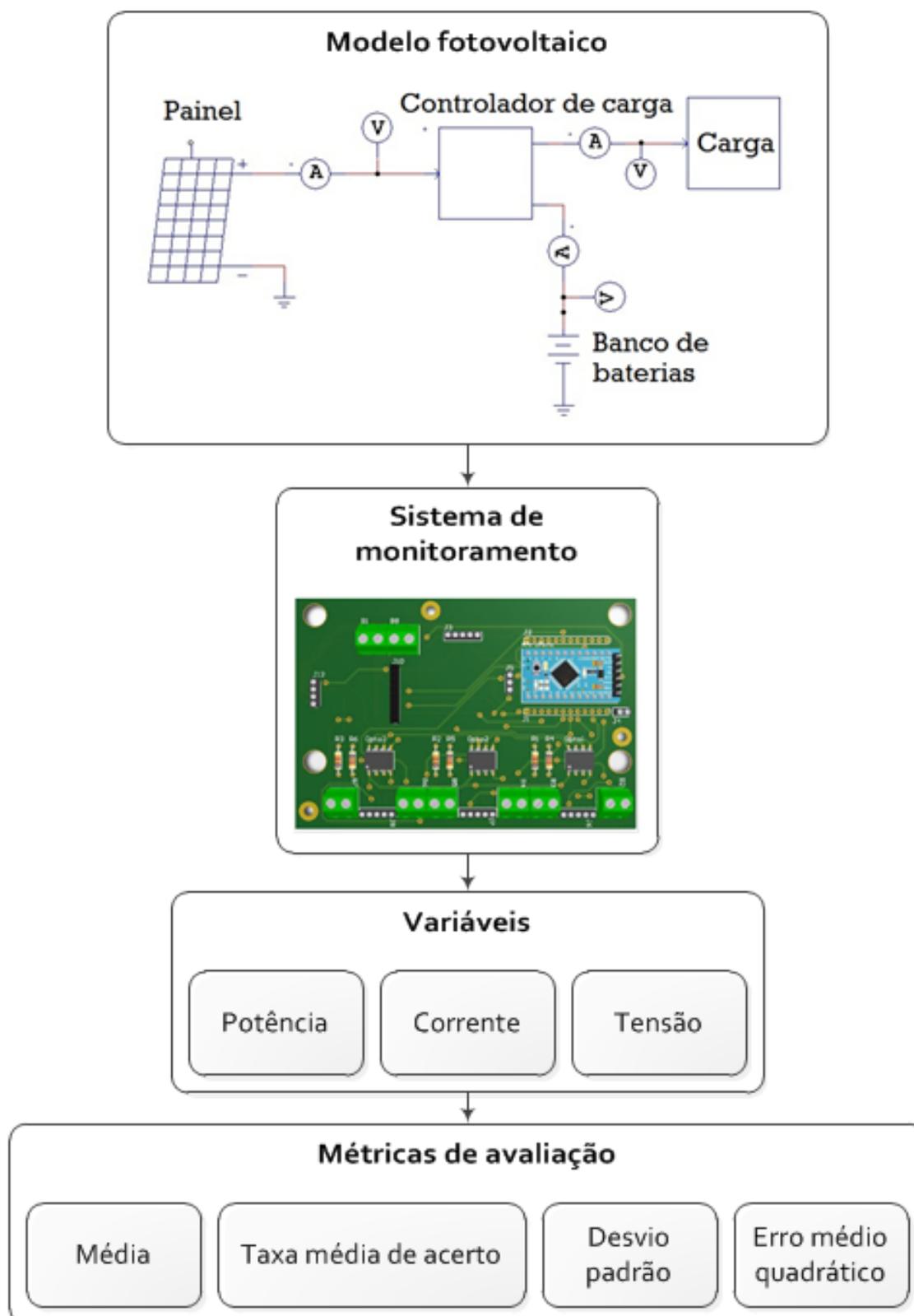


Figura 62 – Representação da metodologia utilizada neste trabalho.



4 Resultados e discussões

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos da geração de energia solar FV. É validado experimentalmente o sistema de aquisição de dados, bem como, é realizada uma análise sobre a calibração do sistema de monitoramento. Por fim, o funcionamento do sistema de geração de energia solar FV instalado em campo é analisado e discutido.

4.1 Resultado para a calibração por sensores

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados da calibração dos sensores de corrente e tensão para o painel, a bateria e a carga. A calibração ocorreu durante o período de 10 minutos por sensor. Os resultados foram analisados conforme as métricas de avaliação descritas na Seção 3.3. Os dados obtidos através das métricas são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Avaliação da calibração por sensores.

Elemento	Sensor	Medição Padrão	Média	Desvio Padrão	TMA	EMQ
Painel FV	Tensão	20,56 V	20,66 V	0,15	99,51%	0,033
	Corrente	0,336 A	0,338 A	0,00	99,39%	
Bateria	Tensão	20,71 V	20,69 V	0,15	99,47%	0,023
	Corrente	0,337 A	0,330 A	0,00	97,94%	
Carga	Tensão	20,95 V	20,95 V	0,15	99,37%	0,035
	Corrente	0,339 A	0,340 A	0,00	99,71%	

Nota-se que para todos os sensores (tensão e corrente) a média dos valores obtidos possui uma pequena variação em relação a medição padrão realizada através dos multímetros, explicado pelo fato da ausência da variação de tensão e corrente fornecida pela fonte de tensão controlada. A diferença entre a média e a medição padrão está relacionada com pequenos ruídos presentes na medição. Alguns dos ruídos percebidos pelo sistema de monitoramento FV são provenientes da ausência de filtros capacitivos nos sensores. Os filtros capacitivos quando empregados estabilizam o sinal, reduzindo os ruídos.

Observando a taxa média de acerto, observa-se que todas as medições promovem uma boa precisão, levando o sensor a uma taxa média de acerto próxima a 100%. Quanto ao desvio padrão, observa-se que os sensores de corrente e tensão possuem desvios padrão próximos a 0. Esse fato é devido a utilização de uma fonte de tensão controlada que, praticamente, não possui variações significativas nos valores instantâneos de tensão e

corrente. Por fim, ao analisar o erro médio quadrático, verifica-se que a diferença entre o valor real e o valor da medição é zero.

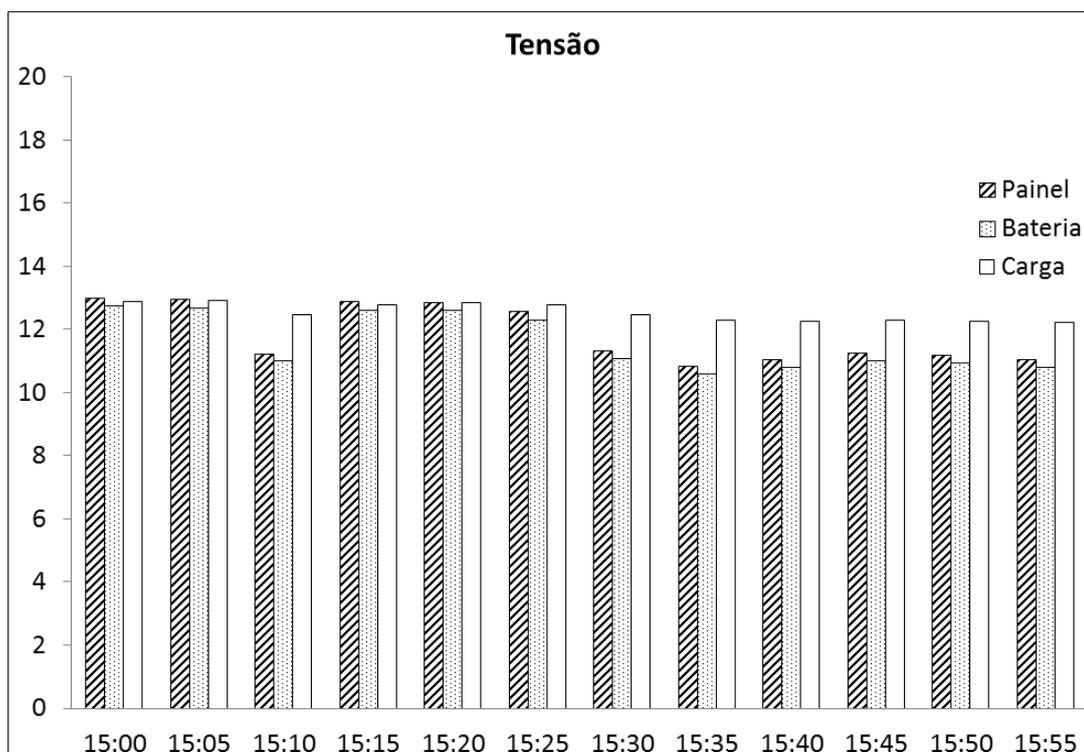
Analisando os resultados, pode-se concluir que o sistema de monitoramento apresenta uma boa calibração, obtendo valores pequenos de desvio padrão e erro médio quadrático e uma taxa média de acerto próxima a 100%.

4.2 Resultado da verificação do sistema de monitoramento

Nesta seção são apresentados os resultados das medições realizadas pelo sistema de monitoramento como parte da calibração, onde são avaliados seus desempenhos. A verificação ocorreu pelo período de 60 minutos onde foram obtidos os valores de tensão, corrente e potência do painel, bateria e carga.

Para análise foram obtidos os valores referentes a uma medição média com intervalos de tempo de 5 minutos, por exemplo. Como foi realizada a calibração por um período de 60 minutos haverá 12 valores espaçados igualmente com 5 minutos de diferença. Os valores obtidos são apresentados nas Figuras 63, 64 e 65.

Figura 63 – Medição de tensão do painel, bateria e carga.

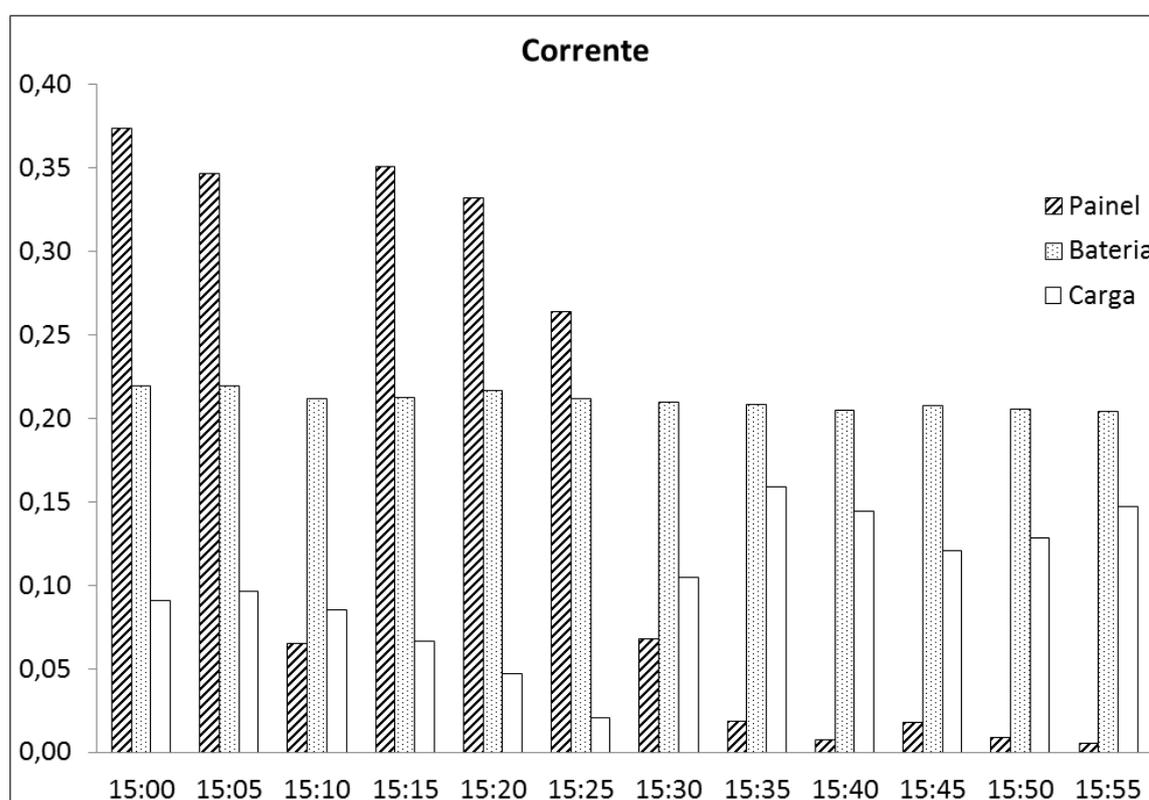


Observando os resultados de tensão mostrados na Figura 63, nota-se que a tensão da carga permanece, praticamente, constante ao longo do período de verificação. Quanto ao painel e a bateria, observa-se as tensões sofrem variações. No painel FV, a variação ocorre devido a variação de temperatura e radiação solar direta incidente. Na bateria, a

variação ocorre devido à redução no fornecimento de energia do painel FV e o consumo de energia pela carga.

Observando os resultados de correntes mostrados na Figura 64, nota-se que a corrente da bateria permanece, praticamente, constante durante o período de verificação. O painel apresentou durante a verificação variações bruscas de corrente, com máximo de 0,37 A e mínimo de 0,02 A. Uma possível explicação para isso é o fato da presença de nuvens no céu durante a verificação. A presença de nuvens no céu interfere na incidência direta de radiação solar. Quanto a carga, observa-se que nos primeiros 30 minutos, a corrente sofre uma pequena variação. Entretanto, os 30 minutos restantes da verificação apresentam um aumento na corrente solicitada pela carga.

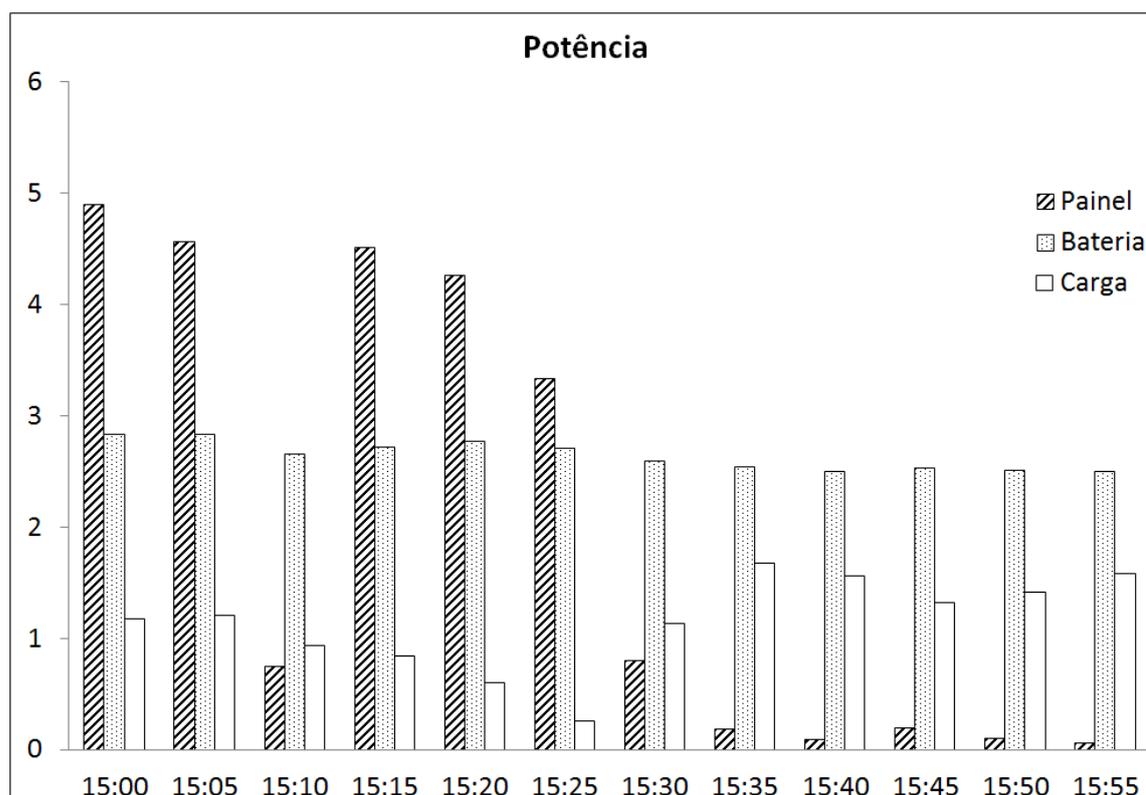
Figura 64 – Medição de corrente do painel, bateria e carga.



Observando os resultado de potência mostrado na Figura 65, nota-se que a potência fornecida pelo painel é reduzida durante a verificação. A carga possui um consumo médio de 1 W e a bateria uma potência de 2,7 W. No início da verificação (30 minutos iniciais), o painel fornece energia para a bateria (carregando) e a carga (consumindo). Nos 30 minutos finais da verificação, o painel não fornece energia, em contrapartida, a bateria (descarregando) alimenta a carga (consumindo).

Analisando os resultados, pode-se concluir que o sistema FV apresenta duas formas de trabalho. Na primeira, o sistema funciona através da geração de energia, onde a carga consome energia do painel FV e parte da energia armazenada pela bateria. Na segunda, o

Figura 65 – Medição de potência do painel, bateria e carga.



sistema funciona através da energia armazenada na bateria, onde a carga consome energia diretamente da bateria, quando a geração de energia pelo painel é baixa ou nula.

Quanto a avaliação métrica sobre os dados obtidos pelo sistema de monitoramento, estes são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Avaliação da verificação do sistema de monitoramento.

Módulo	Sensor	Média	Desvio padrão	EMQ
Corrente (A)	Painel	0,15	0,16	0,024
	Bateria	0,21	0,01	0,000
	Carga	0,10	0,04	0,002
Tensão (V)	Painel	11,85	0,90	0,743
	Bateria	11,60	0,89	0,728
	Carga	12,54	0,28	0,073
Potência (W)	Painel	1,98	2,11	4,068
	Bateria	2,64	0,13	0,015
	Carga	1,14	0,42	0,165

Nota-se que o desvio padrão de todos os sensores possui um valor pequeno, indicando que o erro de medição ao longo do período de 60 minutos foi baixo, com exceção da potência do painel que possui um desvio padrão de 2,107. Quanto ao erro médio quadrático, nota-se que a potência do painel possui o maior valor, demonstrando que o erro da medição é relativamente alto. Entretanto, o erro médio quadrático é mínimo nos sensores da bateria

e carga. Este resultado é explicado devido a pouca variação no valores de corrente, tensão e potência da bateria e carga.

Analisando os resultados da verificação, pode-se concluir que o sistema de monitoramento apresentam erros, principalmente no sensor de tensão do painel. Este erro pode ser explicado devido presença de ruído durante medição. Uma medida de redução do ruído é a inserção de um filtro capacitivo na entrada do optoacoplador.

4.3 Resultado da instalação do sistema de monitoramento em campo

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados das medições executadas pelo sistema de monitoramento instalado em campo. As medições são tensão, corrente e potência do painel FV, bateria e carga, durante o período de 07:00:00 às 17:00:00 entre o dia 01 de abril de 2017 e 11 de abril de 2017. Os resultados são apresentados pela média das onze medições realizadas. Os dados diários são apresentados no Apêndice C. Por fim, é realizada uma análise sobre as métricas de avaliação empregada sobre o sistema de monitoramento instalado em campo.

Na Figura 66 são apresentados os gráficos de tensão do painel FV, bateria e carga. Observa-se que o painel FV gerou 14,2 V de tensão máxima no período entre as 10:00 e as 12:00 e 11,8 V de tensão mínima no períodos de 12:30 e 16:00. Entretanto, durante todo o período de medição a geração de energia solar FV permaneceu praticamente constante, apresentando pequenas variações. Contudo, observando os gráficos de tensão na bateria e na carga, nota-se que ambos seguem uma inclinação igual, diferenciando-os apenas pelo seu nível de tensão. No período compreendido entre as 10:00 e as 11:00 horas, o nível de tensão da bateria estava superior ao nível da geração FV, tal fato é explicado devido o controlador de carga, minutos antes, estava na função de carregamento da bateria.

Na Figura 67, são apresentados os gráficos de corrente do painel FV, bateria e carga. Observando os gráficos de corrente do painel e bateria, nota-se que a corrente da bateria está diretamente ligada a corrente fornecida pela geração de energia FV. Entretanto, ao final do dia a corrente da carga depende do somatório das correntes da geração FV e da bateria.

No período entre as 07:00 e as 12:00 horas, a bateria permaneceu em carregamento. Observando o gráfico, nota-se que devido a corrente solicitada pela carga ser constante em 0,2 A e a corrente gerada pelo sistema FV ser superior a corrente solicitada, o restante da corrente era direcionada para o carregamento da bateria. No período entre as 10:00 e as 11:00 horas, a corrente gerada pelo sistema FV obteve o valor máximo de 0,5 A e a corrente entregue à bateria (carregamento) foi superior à corrente solicitada pela carga.

Figura 66 – Gráfico da tensão do painel FV, bateria e carga.

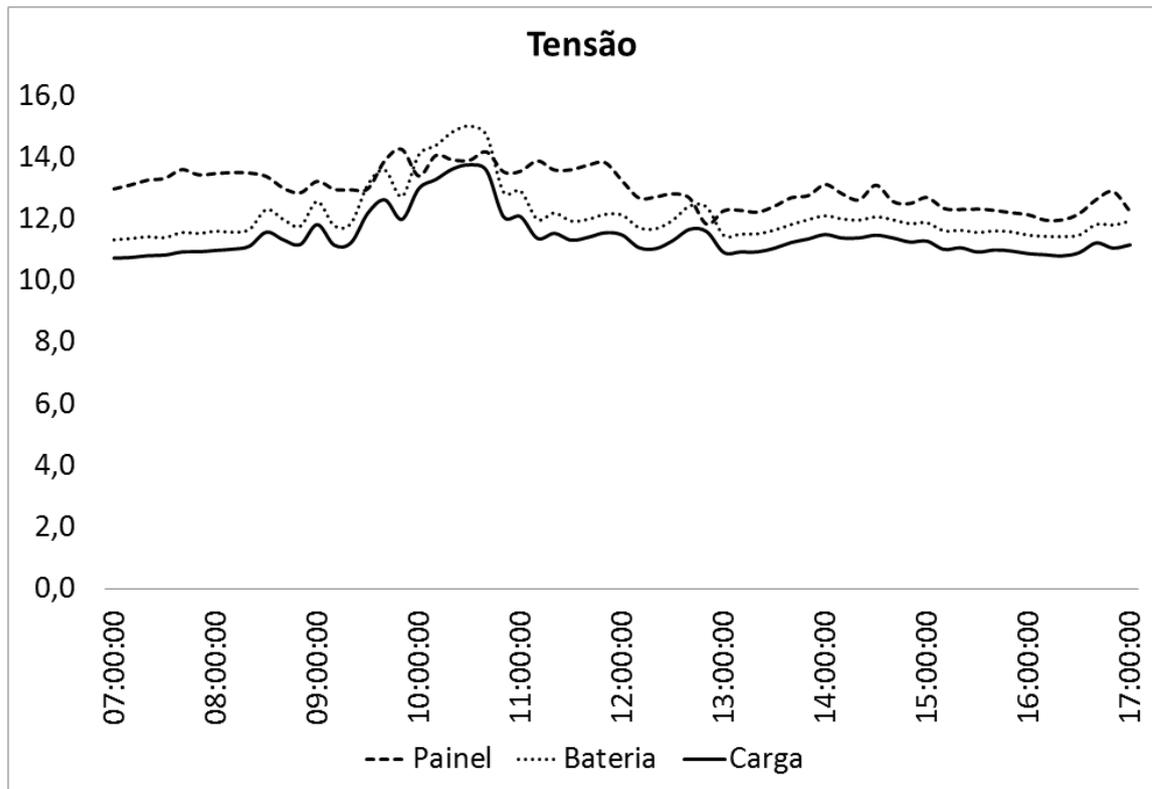
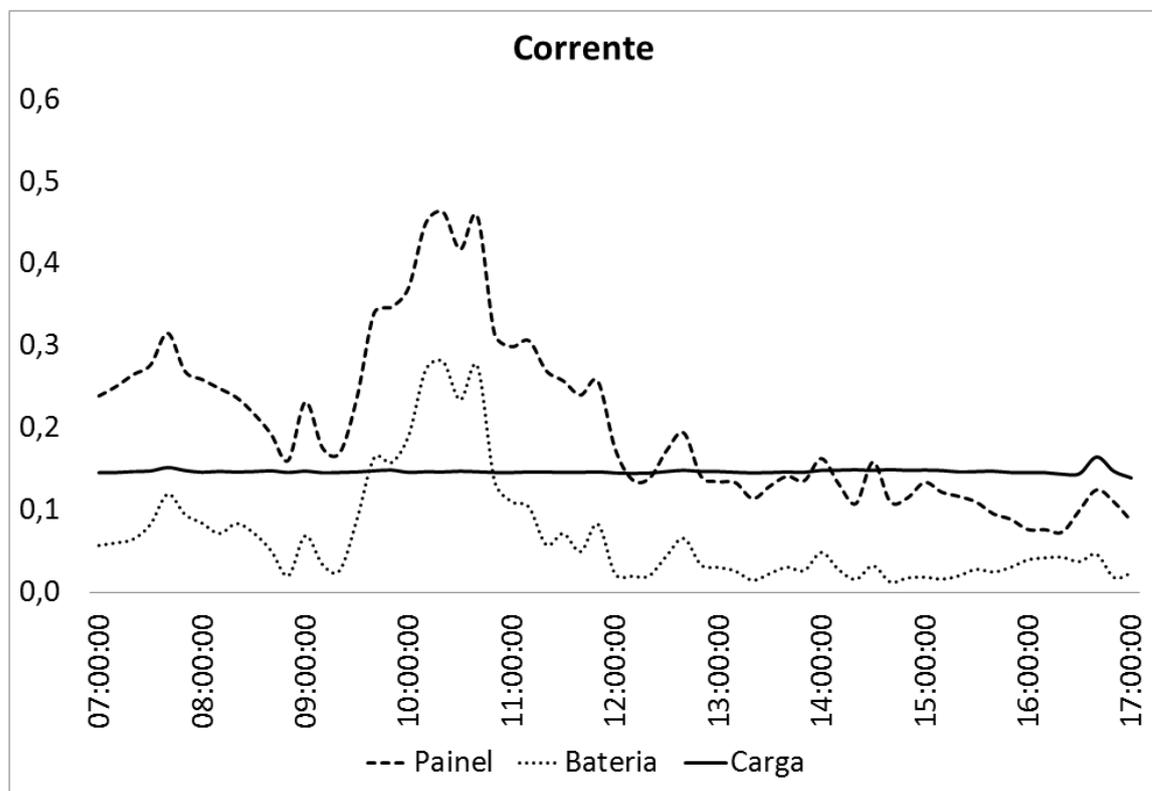


Figura 67 – Gráfico da corrente do painel FV, bateria e carga.

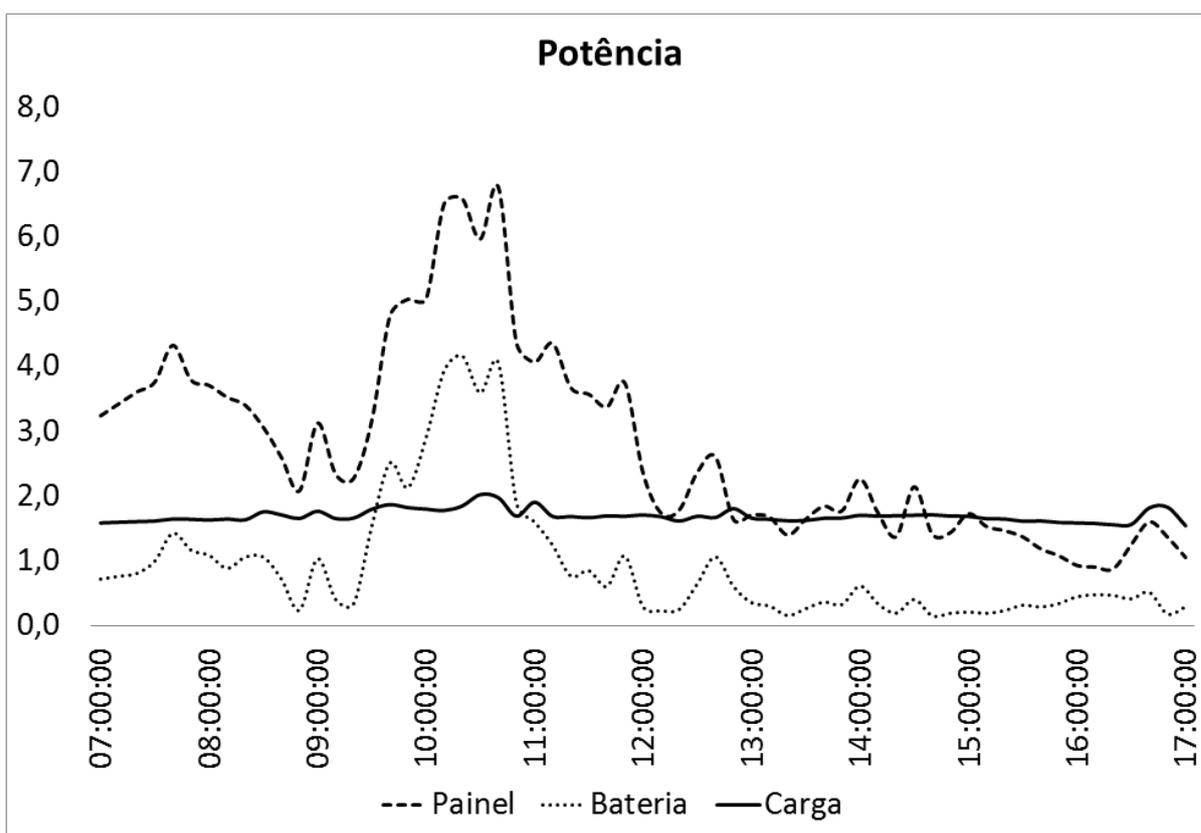


Na Figura 68, são apresentadas as potências da geração de energia através do painel

FV, armazenamento de energia através da bateria e consumo de energia através da carga. O painel FV possui uma elevada geração de energia no início do dia entre as 09:30 e as 12:00 horas. Observando a potência da bateria durante todo o dia, seu comportamento é similar a potência gerada pelo painel FV. Entretanto, após o meio dia, devido o consumo de energia permanece estável, a potência cai conforme a geração FV vai diminuindo.

Quanto a potência consumida pela carga, observa-se que esta permanece praticamente constante ao longo do tempo. Entretanto, ocorre pequenas variações na potência ao longo do dia e na baixa geração de energia FV. Quando a geração de energia FV é reduzida o controlador de carga apresenta falhas no gerenciamento de energia, tal fato é observado na Figura 68, ao final do dia. Apresentando o carregamento da bateria com a redução da geração e a elevação na potência consumida quando a geração volta a aumentar.

Figura 68 – Gráfico da potencia do painel FV, bateria e carga.



Analisando os resultados, nota-se que a energia da carga encontra-se, praticamente, constante ao longo do tempo. Esse fato é explicado, devido a carga ser uma lâmpada e apresentar características resistivas, solicitando uma potência constante. A energia solar FV apresenta variações ao longo de todo o dia devido a presença de nuvens no céu e a variação do ângulo de incidência, afetando diretamente na radiação direta total absorvida pelo painel FV.

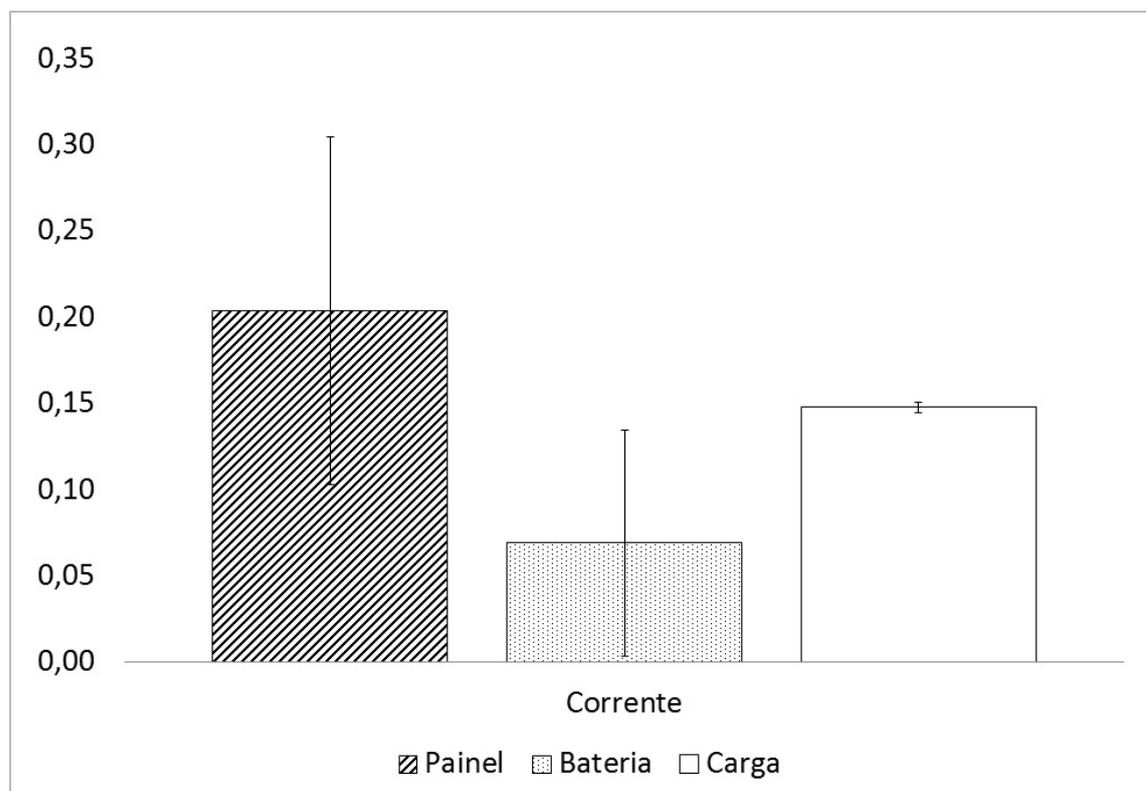
A bateria apresentou variações ao longo das medições ao obedecer dois estágios

estabelecidos pelo controlador de carga, carregamento e descarregamento. O carregamento ocorre quando a potência FV gerada é superior a potência consumida pela carga, assim o restante é direcionado a bateria. Já o descarregamento ocorre quando a potência consumida pela carga é superior a potência FV gerada, assim a potência armazenada na bateria é direcionada a carga.

Quanto a avaliação métrica sobre os dados obtidos pelo sistema de monitoramento instalado em campo, a média e o desvio padrão são apresentados nas Figuras 69, 70 e 71. Em seguida, é realizado o cálculo do rendimento da geração de energia diária através da Equação 3.8, em que o valor padrão é a máxima potência gerada pelo painel FV e a potência média diária com o desvio padrão, ambos os resultados são apresentado na Figura 72.

Observando os resultados mostrados na Figura 69, nota-se que a corrente consumida pela carga é menor que a corrente fornecida pelo painel. Logo, uma parte da corrente fornecida pelo painel é direcionada para a bateria. Quanto aos desvios padrão, a carga possui um valor pequeno, mostrando que praticamente a corrente da lâmpada permanece constante. Entretanto, os desvio padrão do painel e bateria apresentam valores significativos, devido a variação da radiação direta sobre o painel FV e o fornecimento da corrente sobressalente (carregamento) para o armazenamento na bateria.

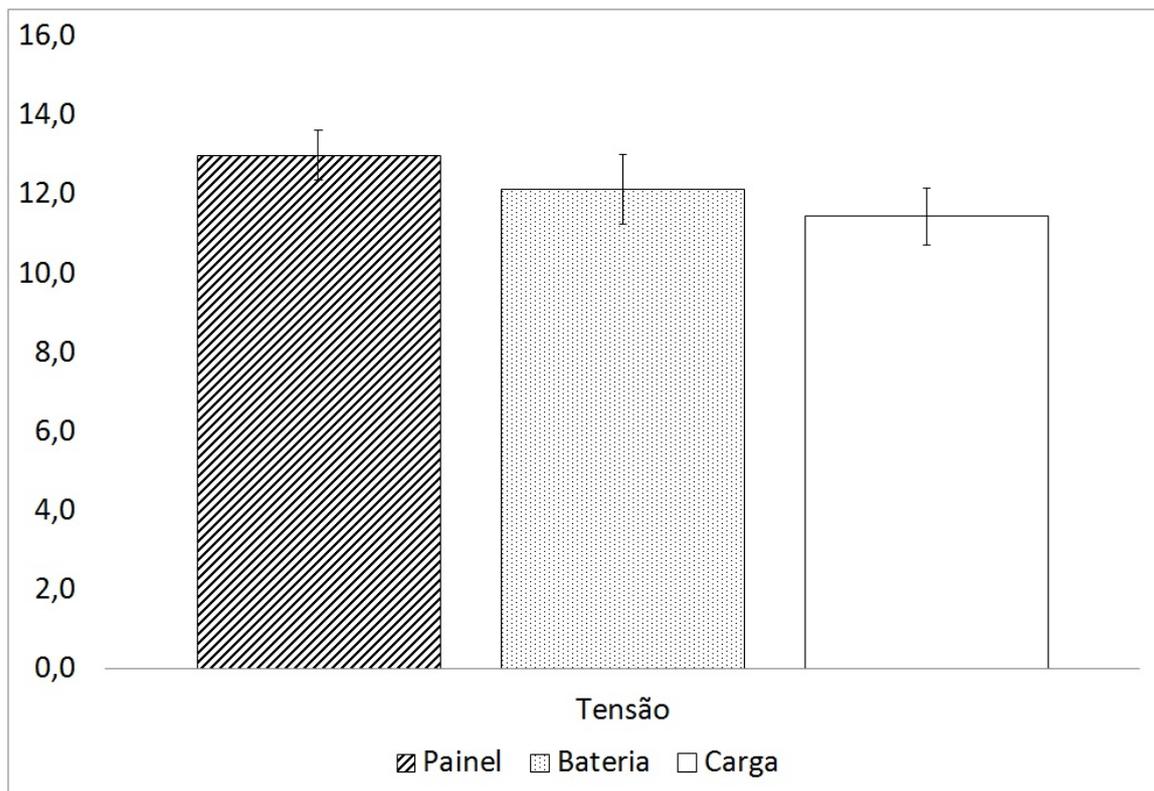
Figura 69 – Gráfico da corrente média do painel com o desvio padrão.



O gráfico da tensão média do painel, bateria e carga com os desvios padrão,

respectivamente, são apresentados na Figura 70. A tensão média do painel FV é superior aos 12 V, a tensão média da bateria é 12 V e carga não ultrapassa os 12 V, ficando próximo dos 11 V. A bateria possui momentos de carregamento e descarregamento, enquanto a carga apenas consome a energia. Quanto aos desvios padrão, os sensores apresentaram valores pequenos, uma variação de mais ou menos 1 V.

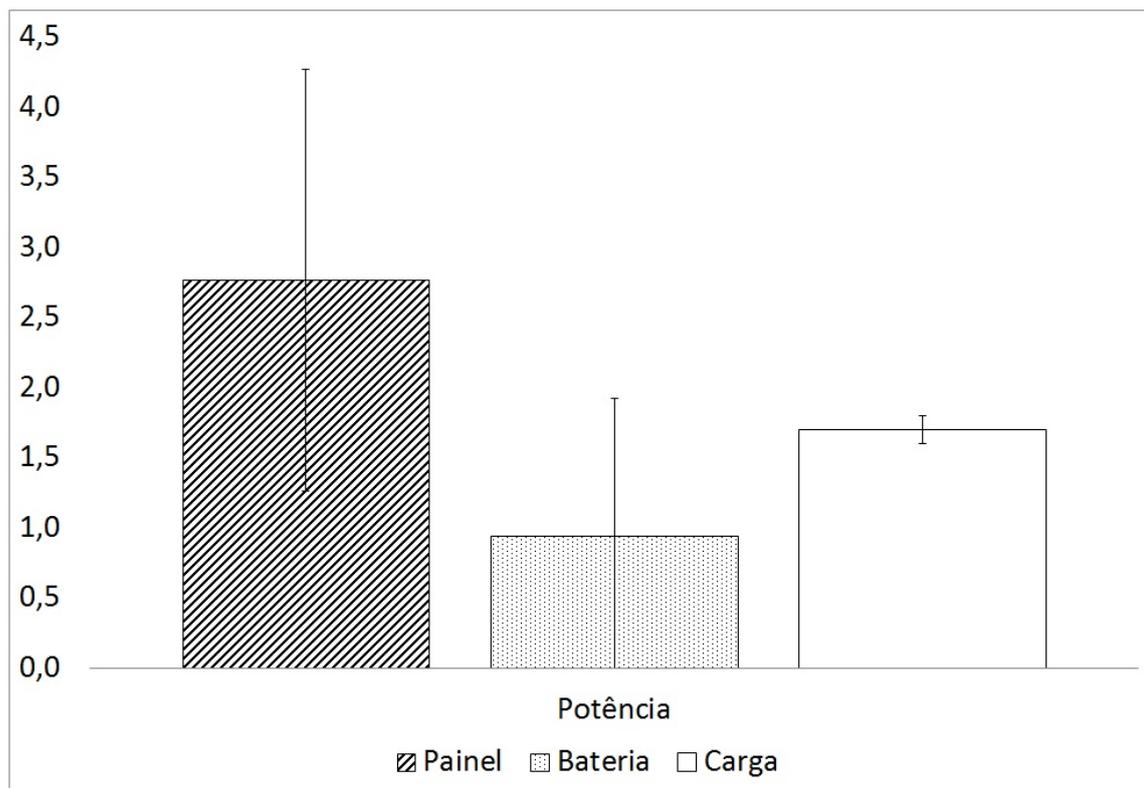
Figura 70 – Gráfico da tensão média do painel com o desvio padrão.



Observando os resultados mostrados na Figura 71, nota-se que o desvio padrão do painel é muito alto. Este resultado é explicado devido a grande variação na geração de energia durante o dia, apresentando uma não uniformidade. A potência da bateria apresenta um valor alto de desvio padrão, devido o controlador de carga variar o estado de funcionamento entre o carregamento e descarregamento da bateria. Entretanto, a carga apresenta um valor pequeno de desvio padrão, mostrando que permanece com a potência constante durante o dia.

Os resultados métricos são apresentados na Tabela 7. Nota-se que o valor do desvio padrão de todos os sensores são relativamente pequenos, indicando que o erro de medição ao longo do tempo foi baixo, com exceção da potência do painel (1,507) e a potência de bateria (0,990). O desvio padrão dos sensores que compõem a geração de energia (painel FV) são maiores, devido as várias variações de corrente e tensão proporcionados pelo ambiente externo. Como o painel está sujeito a variação da inclinação do Sol em relação a Terra (reduzindo ou aumentando a geração de energia) e a passagem de nuvens que bloqueiam a incidência direta da radiação solar, o desvio padrão nos sensores relacionados a geração de

Figura 71 – Gráfico da potência média do painel com o desvio padrão.



energia são altos, quando comparados aos outros (bateria e carga). Observando o EMQ, verifica-se que a potência do painel é o que apresenta o maior erro, enquanto os demais são relativamente baixo e até nulos.

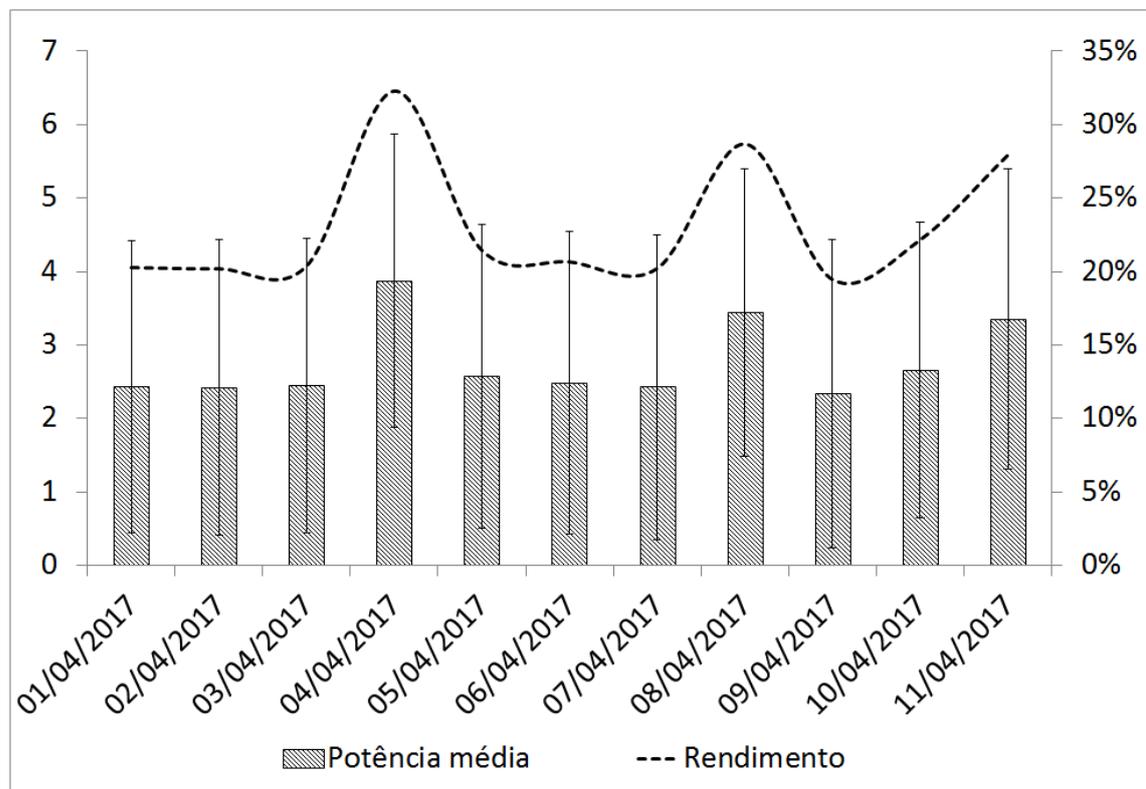
Tabela 8 – Avaliação métrica sobre o sistema de monitoramento.

Sensores		Média	Desvio Padrão	EMQ
Corrente	Painel	0,204	0,101	0,010
	Bateria	0,069	0,066	0,004
	Carga	0,148	0,003	0,000
Tensão	Painel	12,997	0,621	0,379
	Bateria	12,135	0,874	0,752
	Carga	11,449	0,716	0,504
Potência	Painel	2,768	1,507	2,233
	Bateria	0,936	0,990	0,964
	Carga	1,699	0,098	0,009

O rendimento e a potência diária com os respectivos desvios padrão são apresentados na Figura 72. A potência média do painel FV permaneceu praticamente constante ao longo dos 11 dias com um desvio padrão médio de 2, alguns dias a potência teve uma máxima de 4W com rendimento diário de 32,29 % e a mínima de 2,5W com rendimento diário de 20,19 %. Contudo, o rendimento médio durante o período de medição foi de 23,07 %.

Observando o gráfico da Figura 72, nota-se que o painel FV apresenta um rendimento

Figura 72 – Gráfico da potência média diária do painel FV com o desvio padrão e o rendimento médio diário.



baixo, entretanto, o painel utilizado é classificado como E na tabela de eficiência energética do INMETRO¹, indicando uma baixa eficiência energética. Logo, o rendimento pode ser considerado satisfatório para pequenas aplicações.

Por fim, foram realizadas medições da temperatura do opto acopladores utilizados para insolação do sistema de monitoramento. O opto acoplador está ligado diretamente ao seu respectivo senso de tensão, tais como painel, bateria e carga, possuindo uma temperatura de 49°, 33° e 29°, respectivamente. A temperatura do opto acoplador referente sensor de tensão do painel FV estava muito elevada devido o fluxo de energia que passa pelo sensor, observando a potência gerada pelo painel FV e comparando-a com a temperatura é possível verificar que a temperatura aumenta proporcional a potência fornecida.

Contudo, nota-se que o sistema de monitoramento em campo obteve bons resultados, apesar de não apresentar uma boa precisão nos sensores relacionados ao painel e carga. Tal fato é explicado, devido as variações proporcionadas pelo ambiente externo que influenciam diretamente no monitoramento.

¹ Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

4.4 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos para a calibração, verificação e instalação do sistema de monitoramento realizando análises métricas e discutindo os resultados. No próximo Capítulo são apresentadas as conclusões e sugerido os trabalhos futuros.

5 Conclusão e trabalho futuros

Nesta dissertação é proposto o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados aplicado na análise de desempenho de sistemas FV. O sistema de monitoramento é projetado e apresentado, em seguida são realizadas calibrações. Primeiramente, é realizada uma calibração separadamente por pares de sensores, tensão e corrente, do painel, bateria e carga. Em seguida, é realizada a verificação do sistema completo em funcionamento onde são analisadas a tensão, corrente e potência, do painel, bateria e carga. Por fim, o sistema de monitoramento é instalado em campo juntamente com o sistema FV, onde é analisada a geração, o armazenamento e o consumo de energia. Durante as etapas foram utilizadas métricas de avaliação descritas no decorrer deste trabalho.

O sistema de monitoramento foi desenvolvido baseado na plataforma Arduino, facilitando adaptações e modificações na estrutura, além de ser uma plataforma gratuita e muito versátil. Na primeira etapa, a calibração dos sensores ocorreu de forma positiva apresentando baixos valores no desvio padrão e no erro médio quadrático, indicando que o erro é praticamente inexistente. Apresentou um erro médio quadrático com valores muito próximos de zero, indicando que o valor monitorado é muito próximo do valor estimado (medição realizada através dos multímetros).

Na segunda etapa, a verificação do sistema de monitoramento ocorreu de forma positiva. O sistema em determinados sensores não apresentou erro, como no sensor de corrente da bateria com o erro médio quadrático de valor 0, indicando que praticamente não possui um erro. Entretanto, em contrapartida a potência do painel apresentou um erro médio quadrático de 4,068 e um desvio padrão de 2,11. Estes valores mostram que o indicador possui o erro relativamente considerável e uma alta variação do valor medido.

Na terceira etapa, o sistema de monitoramento foi instalado em campo juntamente com o sistema FV onde foram analisadas a geração, o armazenamento e o consumo de energia pelo período de 01 de Abril de 2017 à 11 de Abril de 2017 das 07:00 às 17:00 horas. No início do dia, a geração de energia apresentou-se maior com uma potência máxima de 6,5 W (11:00 horas), e uma redução ao longo da tarde chegando praticamente a 1 W. A carga permaneceu praticamente constante com uma potência média da 1,7 W. O armazenamento de energia comportou-se igual ao painel no início do dia e no final do dia permaneceu praticamente constante.

Analisando a avaliação métrica do sistema de monitoramento instalado em campo, é visível que os desvios padrão foram relativamente baixos com exceção da potência do painel com 1,507. O sistema obteve valores altos no erro médio quadrático indicando que parte do sistema possui uma baixa precisão nos sensores de corrente do painel e carga.

Entretanto, o sistema de FV apresentou um rendimento razoável durante o experimento com uma potência média de 2,7 W, visto que o painel FV utilizado possui uma baixa eficiência energética. O rendimento médio da geração de energia é 23,07%, apesar do selo do INMETRO apresentar a indicação de valor de menor eficiência energética. Vale ressaltar que alguns dias foram ensolados e outros nublados, devido o período de quadra chuvosa na cidade de Jaguaribe - CE.

De forma geral, pode-se dizer que o sistema de aquisição de dados obteve um bom funcionamento, conseguindo monitorar e registrar os dados solicitados. Apresentou alguns erros de medição e baixa precisão em determinados sensores, contudo, ao analisar o sistema por completo verifica-se um bom funcionamento.

As principais contribuições deste trabalho são o estudo sobre monitoramento de energia solar FV; uma revisão bibliográfica sobre o desempenho da geração de energia solar e sobre os sistemas de aquisição de dados; estudo sobre o funcionamento do opto acoplador HCPL-7520 aplicado na isolação da tensão de monitoramento; a instalação de um sistema de micro geração de energia solar FV no IFCE - Campus Jaguaribe; o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados; Além disso, um estudo sobre o comportamento do sistema de monitoramento analisando seus erros e precisões na medições realizadas.

5.1 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros sugerem-se:

- Análise de desempenho da geração de energia por um período de tempo maior.
- Desenvolvimento de uma placa eletrônica com os módulos e sensores utilizados já soldados, evitando a presença de ruídos e interferências.
- Inserção de um módulo de internet para monitoramento em tempo real, descartando a presença de um cartão SD.
- Desenvolver o sistema de monitoramento juntamente com o controlador de carga, reduzindo os gastos e conexões.
- Implementação de sensores de temperatura, radiação e velocidade do vento no sistema de monitoramento.
- Monitoramento de sistemas interligados a rede elétrica.

Referências

- ACKERMANN, T. *Wind power in power systems*. England: John Wiley & Sons, 2005. v. 140.
- AGRAWAL, B.; TIWARI, G. Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (bipvt) systems. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 42, n. 9, p. 1472–1481, 2010.
- AHMAD, K. N. E. K.; SELVARAJ, J.; RAHIM, N. A. A review of the islanding detection methods in grid-connected pv inverters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 21, p. 756–766, 2013.
- AKSELROD, S.; GORDON, D.; UBEL, F. A.; SHANNON, D. C.; BERGER, A.; COHEN, R. J. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *science*, American Association for the Advancement of Science, v. 213, n. 4504, p. 220–222, 1981.
- ALAMI, A. H. Effects of evaporative cooling on efficiency of photovoltaic modules. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 77, p. 668–679, 2014.
- ALLEGRO. *Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*. Worcester, Massachusetts, 2016.
- ALMEIDA, M. P. *Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, USP, 2012.
- ALPHA. *Controlador de Carga Solar 10A (12v/24v) EP Solar LS1024B*. 2016. Acessado em: 02 mai. 2016. Disponível em: <<http://www.alphaenergiasolar.com.br/controlador-de-carga-solar-10a-12v24v-ep-solar-ls1024b>>.
- ALTAS, I.; SHARAF, A. A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 33, n. 3, p. 388–399, 2008.
- ANDREWS, R. W.; POLLARD, A.; PEARCE, J. M. The effects of snowfall on solar photovoltaic performance. *Solar Energy*, Elsevier, v. 92, p. 84–97, 2013.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, Elsevier, v. 34, n. 3, p. 733–738, 2012.
- ARCHIEXPO. *Inversor para sistemas fotovoltaicos*. 2016. Acessado em: 02 mai. 2016. Disponível em: <<http://www.archiexpo.es/prod/steca-elektronik/product-74408-1307321.html>>.
- ARDUINO. *Arduino Pro Mini*. 2016. Acessado em: 27 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>>.
- ARMENDARIZ-LOPEZ, J.; LUNA-LEON, A.; GONZALEZ-TREVIZO, M.; ARENA-GRANADOS, A.; BOJORQUEZ-MORALES, G. Life cycle cost of photovoltaic technologies in commercial buildings in baja california, mexico. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 87, p. 564–571, 2016.

- ARPINO, F.; CORTELLESA, G.; FRATTOLILLO, A. Experimental and numerical assessment of photovoltaic collectors performance dependence on frame size and installation technique. *Solar Energy*, Elsevier, v. 118, p. 7–19, 2015.
- ASHLEY, S.; FENNER, R.; NUTTALL, W.; PARKS, G. T. Life-cycle impacts from novel thorium–uranium-fuelled nuclear energy systems. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 101, p. 136–150, 2015.
- ASTARIZ, S.; IGLESIAS, G. The economics of wave energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 45, p. 397–408, 2015.
- AUTOCORE. *Sensor de corrente ACS712*. 2016. Acessado em: 29 fev. 2016. Disponível em: <<http://www.autocorerobotica.com.br/modulo-sensor-de-corrente-30a-ac712>>.
- AVAGO. *HCPL-7520 Isolated Linear Sensing IC*. Copyright © 2006 avago technologies limited. United States and other countries, 2008. Data Sheet.
- BAHAIDARAH, H.; BALOCH, A. A.; GANDHIDASAN, P. Modeling and comparative analysis of jet impingement cooling and conventional channel cooling for photovoltaic strings. In: IEEE. *Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2014 IEEE 40th*. [S.l.], 2014. p. 0748–0753.
- BAHAIDARAH, H.; SUBHAN, A.; GANDHIDASAN, P.; REHMAN, S. Performance evaluation of a pv (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy*, Elsevier, v. 59, p. 445–453, 2013.
- BALOCH, A. A. B.; BAHAIDARAH, H. M. S.; GANDHIDASAN, P.; AL-SULAIMAN, F. A. Experimental and numerical performance analysis of a converging channel heat exchanger for pv cooling. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 103, p. 14–27, 2015.
- BAN-WEISS, G.; WRAY, C.; DELP, W.; LY, P.; AKBARI, H.; LEVINSON, R. Electricity production and cooling energy savings from installation of a building-integrated photovoltaic roof on an office building. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 56, p. 210–220, 2013.
- BASTOS, R. F. *Sistema de gerenciamento para carga e descarga de baterias (chumbo-ácido) e para busca do ponto de máxima potência gerada em painéis fotovoltaicos empregados em sistema de geração distribuída*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, USP, 2013.
- BATTISTI, R.; CORRADO, A. Evaluation of technical improvements of photovoltaic systems through life cycle assessment methodology. *Energy*, Elsevier, v. 30, n. 7, p. 952–967, 2005.
- BHAT, S.; NAGARAJA, H. Dsp based proportional integral sliding mode controller for photo-voltaic system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 71, p. 123–130, 2015.
- BLAESSER, G.; ROSSI, E. Extrapolation of outdoor measurements of pv array i–v characteristics to standard test conditions. *Solar cells*, Elsevier, v. 25, n. 2, p. 91–96, 1988.

BLUE SOL. *Usina solar funciona dentro do Estádio Mineirão*. 2014. Acessado em: 12 fev. 2016. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/usina-solar-funciona-dentro-do-estadio-mineirao-em-belo-horizonte/>>.

Braga Júnior, W. *Monitoramento do desempenho de diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Pará, Pará, 2014.

BRASIL. *Usinas nucleares de Angra batem recorde*. 2016. Acessado em: 15 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.businessreviewbrasil.com.br/assuntodedinheiro/754/Usinas-nucleares-de-Angra-batem-recorde>>.

BUBE, R. *Fundamentals of solar cells: photovoltaic solar energy conversion*. [S.l.]: Elsevier, 2012.

BUKER, M. S.; MEMPOUO, B.; RIFFAT, S. B. Experimental investigation of a building integrated photovoltaic/thermal roof collector combined with a liquid desiccant enhanced indirect evaporative cooling system. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 101, p. 239–254, 2015.

CAI, Y.; LIU, D.; PAN, Z.; YAO, Y.; LI, C. Mineral occurrence and its impact on fracture generation in selected qinshui basin coals: An experimental perspective. *International Journal of Coal Geology*, Elsevier, v. 150, p. 35–50, 2015.

CANO, D.; MONGET, J.-M.; ALBUISSON, M.; GUILLARD, H.; REGAS, N.; WALD, L. A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data. *Solar Energy*, Elsevier, v. 37, n. 1, p. 31–39, 1986.

CANTO, M. A. R. d. *Projeto e desenvolvimento de um sistema automatizado para monitoramento de fontes alternativas de energia*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, 2007.

CARVALHO, C. R. F. d. *Sistema fotovoltaico isolado: Uma aplicação prática no projeto Xapuri*. Tese (Monografia da especialização) — Universidade Federal de Lavras, UFLA, Minas Gerais, 2013.

CHAO, K.-H.; LI, C.-J.; HO, S.-H. Modeling and fault simulation of photovoltaic generation systems using circuit-based model. In: IEEE. *Sustainable Energy Technologies, 2008. ICSET 2008. IEEE International Conference on*. Singapore, 2008. p. 290–294.

CHEKIRED, F.; LARBES, C.; REKIOUA, D.; HADDAD, F. Implementation of a mppt fuzzy controller for photovoltaic systems on fpga circuit. *Energy Procedia*, Elsevier, v. 6, p. 541–549, 2011.

CHEMISANA, D.; LAMNATOU, C. Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. *Applied Energy*, Elsevier, v. 119, p. 246–256, 2014.

CHOW, T.-T.; JI, J. Environmental life-cycle analysis of hybrid solar photovoltaic/thermal systems for use in hong kong. *International Journal of Photoenergy*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2012, p. 1–9, 2012.

COELHO, F. J. S.; SILVA, V. L.; NETO, M. R. B.; LOPES, L. C. N.; SILVA, R. G.; CUNHA, L. D. B. Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados de baixo custo para monitoramento de sistemas de geração fotovoltaica. In: CONNEPI. *Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*. Salvador, Bahia, 2013. p. 1.

COELHO, K. D. *Estudo de uma Fonte Ininterrupta de Corrente Contínua de Baixa Potência Gerenciada por um Microcontrolador*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2001.

CORTÉS-BORDA, D.; GUILLÉN-GOSÁLBEZ, G.; JIMÉNEZ, L. Assessment of nuclear energy embodied in international trade following a world multi-regional input-output approach. *Energy*, Elsevier, v. 91, p. 91–101, 2015.

CRESESB. *Energia Solar Fotovoltaica*. 2017. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321>.

CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I. Estimation of the energetic and environmental impacts of a roof-mounted building-integrated photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 16, n. 7, p. 5245–5259, 2012.

DIAS, R. M. *Instalação de uma microrrede fotovoltaica conectada/isolada com estocagem e monitoramento com controle da carga alimentada*. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

DÍAZ-GONZÁLEZ, F.; SUMPER, A.; GOMIS-BELLMUNT, O.; VILLAFÁFILA-ROBLES, R. A review of energy storage technologies for wind power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 16, n. 4, p. 2154–2171, 2012.

DICKSON, M. H.; FANELLI, M. *Geothermal energy: utilization and technology*. New York: Routledge, 2013.

DIMROTH, F.; BAUR, C.; BETT, A. W.; MEUSEL, M.; STROBL, G. 3-6 junction photovoltaic cells for space and terrestrial concentrator applications. In: IEEE. *Photovoltaic Specialists Conference, 2005. Conference Record of the Thirty-first IEEE*. Lake Buena Vista, FL, USA, USA, 2005. p. 525–529.

DOUNIS, A. I.; KOFINAS, P.; ALAFODIMOS, C.; TSELES, D. Adaptive fuzzy gain scheduling pid controller for maximum power point tracking of photovoltaic system. *Renewable energy*, Elsevier, v. 60, p. 202–214, 2013.

DURAN. *Bateria estacionária de eletrólito em gel*. 2016. Disponível em: <<http://www.bateriasduran.com.br/baterias-seladas-vrla-agm-gel/bateria-stroke-power-22ah-12v-selada>>.

ELDENBURG, L. G.; WOLCOTT, S. K. *Gestão de custos: como medir, monitorar e motivar o desempenho*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

ENERGIA. *Tipos de células fotovoltaicas*. 2017. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/tipos-celulas-fotovoltaicas>>.

ESTEBAN, M.; LEARY, D. Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy. *Applied Energy*, Elsevier, v. 90, n. 1, p. 128–136, 2012.

- FARIA, C. C. *Armazenamento da Energia Elétrica (Energia Eólica)*. 2017. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/energia/armazenamento-da-energia-eletrica-energia-eolica/>>.
- FÍSICA. *O efeito fotoelétrico pode ocorrer em nossa pele?* 2017. Disponível em: <<https://naturezadafisica.com/2015/01/31/o-efeito-fotoeletrico-pode-ocorrer-em-nossa-pele/>>.
- FORNARI, C. I.; BELOTO, A. F.; VILELA, W. A.; BERNI, L. A. Unidade de monitoramento ambiental visando o estudo da irradiância solar em função da temperatura e umidade. *IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES*, 2012.
- FRIEDMAN, D. *Modeling of tandem cell temperature coefficients*. [S.l.], 1996.
- FRITZING. *Fritzing electronics made easy*. 2016. Acessado em: 24 jun. 2016. Disponível em: <<http://fritzing.org/support-us/>>.
- GALEOTTI, M.; GIAMMANCO, C.; CINÀ, L.; CORDINER, S.; CARLO, A. D. Synthetic methods for the evaluation of the state of health (soh) of nickel-metal hydride (nimh) batteries. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 92, p. 1–9, 2015.
- GENERATION, S. 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world. *European Photovoltaic Industry Association–EPIA*, 2011.
- GOETZBERGER, A.; HOFFMANN, V. U. *Photovoltaic solar energy generation*. New York: Springer Science & Business Media, 2005. v. 112.
- GOOD, C. Environmental impact assessments of hybrid photovoltaic–thermal (pv/t) systems—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 55, p. 234–239, 2016.
- GREEN, M.; EMERY, K.; BLAKERS, A. Silicon solar cells with reduced temperature sensitivity. *Electronics Letters*, IET, v. 18, n. 2, p. 97–98, 1982.
- GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W.; DUNLOP, E. D. Solar cell efficiency tables (version 45). *Progress in photovoltaics: research and applications*, Wiley Online Library, v. 23, n. 1, p. 1–9, 2015.
- GREENTECH. *Sistema de energia solar conectado á rede elétrica*. 2017. Disponível em: <<http://www.greentechdistribuidora.com/SISTEMA-ENERGIA-SOLAR-CONECTADO-A-REDE-ELETRICA/prod-3498862/>>.
- GUENOUNOU, O.; DAHHOU, B.; CHABOUR, F. Adaptive fuzzy controller based mppt for photovoltaic systems. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 78, p. 843–850, 2014.
- GUO, X.; ZHAN, Y.; CHEN, C.; CAI, B.; WANG, Y.; GUO, S. Influence of packing material characteristics on the performance of microbial fuel cells using petroleum refinery wastewater as fuel. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 87, p. 437–444, 2016.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de física. In: *Fundamentos de Física*. [S.l.]: Companhia Editorial Continental, 1997.

- HALMEMAN, R. J. *Desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto em centrais de microgeração fotovoltaica*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2014.
- HAN, J.; FORMAN, G. S.; ELGOWAINY, A.; CAI, H.; WANG, M.; DIVITA, V. B. A comparative assessment of resource efficiency in petroleum refining. *Fuel*, v. 157, p. 292–298, 2015. ISSN 0016-2361.
- HAN, X.; EVERETT, V.; WANG, Y.; ZHU, L. Numerical analysis of direct liquid-immersed solar cell cooling of a linear concentrating photovoltaic receiver. In: *IEEE. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE*. Honolulu, HI, USA, 2010. p. 003033–003038.
- HAN, X.; WANG, Q.; ZHENG, J. Determination and evaluation of the optical properties of dielectric liquids for concentrating photovoltaic immersion cooling applications. *Solar Energy*, Elsevier, v. 133, p. 476–484, 2016.
- HAN, X.; WANG, Y.; ZHU, L. Electrical and thermal performance of silicon concentrator solar cells immersed in dielectric liquids. *Applied Energy*, Elsevier, v. 88, n. 12, p. 4481–4489, 2011.
- HARTMANN, L. V. *Otimização de sistemas fotovoltaicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- HUI, S. C.; CHAN, S. Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In: *INTEGRATED BUILDING DESIGN IN THE NEW ERA OF SUSTAINABILITY. Joint symposium*. Kowloon Shangri-la Hotel, Tsim Sha Tsui East, Kowloon, Hong Kong, 2011. p. 1–12.
- IGÁS. *Recorde na produção bruta de gás natural*. 2016. Acessado em: 15 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.igas.com.br/noticias/recorde-na-producao-bruta-de-gas-natural/>>.
- IKKURTI, H. P.; SAHA, S. A comprehensive techno-economic review of microinverters for building integrated photovoltaics (bipv). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 47, p. 997–1006, 2015.
- ISLAM, M.; MEKHILEF, S.; HASAN, M. Single phase transformerless inverter topologies for grid-tied photovoltaic system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 45, p. 69–86, 2015.
- JINGURA, R. M.; MUSADEMBA, D.; KAMUSOKO, R. A review of the state of biomass energy technologies in zimbabwe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 26, p. 652–659, 2013.
- JOHANSSON, T. B. *Renewable energy: sources for fuels and electricity*. Washington, D.C.: Island press, 1993.
- JOSEPHS, R. *Solar cell array design handbook*. USA: NASA, 1976.
- KALDELLIS, J. K.; KAPSALI, M.; KAVADIAS, K. A. Temperature and wind speed impact on the efficiency of pv installations. experience obtained from outdoor measurements in greece. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 66, p. 612–624, 2014.

- KAMTHANIA, D.; TIWARI, G. Energy metrics analysis of semi-transparent hybrid pvt double pass facade considering various silicon and non-silicon based pv module hyphen is accepted. *Solar Energy*, Elsevier, v. 100, p. 124–140, 2014.
- KLEMPOUS, R.; LYSAKOWSKA, B.; NIKODEM, J. A data acquisition and processing system. In: IEEE. *Africon, 1999 IEEE*. Cape Town, South Africa, South Africa, 1999. v. 1, p. 549–552.
- KOH, D.-Y.; KANG, H.; LEE, J.-W.; PARK, Y.; KIM, S.-J.; LEE, J.; LEE, J. Y.; LEE, H. Energy-efficient natural gas hydrate production using gas exchange. *Applied Energy*, Elsevier, v. 162, p. 114–130, 2016.
- LAMBERT, D.; HOLLAND, R.; CRAWLEY, K. Appropriate battery technology for a new, rechargeable, micro-solar lantern. *Journal of Power Sources*, v. 88, n. 1, p. 108 – 114, 2000. ISSN 0378-7753.
- LAMNATOU, C.; CHEMISANA, D. A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 43, p. 264–280, 2015.
- LATRAN, M. B.; TEKE, A. Investigation of multilevel multifunctional grid connected inverter topologies and control strategies used in photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 42, p. 361–376, 2015.
- LI, S.; KARAVA, P.; CURRIE, S.; LIN, W. E.; SAVORY, E. Energy modeling of photovoltaic thermal systems with corrugated unglazed transpired solar collectors–part 1: Model development and validation. *Solar Energy*, Elsevier, v. 102, p. 282–296, 2014.
- LIMA, F. de S.; CORDEIRO, L. C.; SOUZA, R. C. R. Sistema de monitoramento a distância para unidade de célula a combustível. *VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE*, p. 1–12, 2012.
- LUJANO-ROJAS, J. M.; DUFO-LÓPEZ, R.; BERNAL-AGUSTÍN, J. L. Technical and economic effects of charge controller operation and coulombic efficiency on stand-alone hybrid power systems. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 86, p. 709–716, 2014.
- METEOCERCAL. *Previsão do tempo para o Cercal CDV*. 2016. Acessado em: 02 mai. 2016. Disponível em: <<http://www.meteocercal.info/realtimegauges.php>>.
- MICHAEL, J. J.; INIYAN, S.; GOIC, R. Flat plate solar photovoltaic–thermal (pv/t) systems: A reference guide. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 51, p. 62–88, 2015.
- Minas e Energia. *Matriz energética de 2016 terá maior participação das energias renováveis*. 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/matriz-energetica-de-2016-tera-maior-participacao-das-energias-renovaveis>.
- MIXTRADE. *Controlador De Carga Solar Pwm 10a Smart 12v 24v*. 2017. Disponível em: <<http://www.mixtrade.com.br/products.php?product=Controlador-De-Carga-Solar-Pwm-10a-Smart-12v-24v-Energia-Solar-E%F3lica-Hidraulica>>.

- MOHARRAM, K.; ABD-ELHADY, M.; KANDIL, H.; EL-SHERIF, H. Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling. *Ain Shams Engineering Journal*, Elsevier, v. 4, n. 4, p. 869–877, 2013.
- NAGENGAST, A.; HENDRICKSON, C.; MATTHEWS, H. S. Variations in photovoltaic performance due to climate and low-slope roof choice. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 64, p. 493–502, 2013.
- NAKOMCIC-SMARAGDAKIS, B.; CEPIC, Z.; DRAGUTINOVIC, N. Analysis of solid biomass energy potential in autonomous province of vojvodina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 57, p. 186–191, 2016.
- NANN, S.; EMERY, K. Spectral effects on pv-device rating. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 189–216, 1992.
- NASER, H. Analysing the long-run relationship among oil market, nuclear energy consumption, and economic growth: An evidence from emerging economies. *Energy*, Elsevier, v. 89, p. 421–434, 2015.
- NATH, P.; LAARMAN, T.; SINGH, A. *Photovoltaic roof system*. [S.l.]: Google Patents, 1993. US Patent 5,232,518.
- NAVELOG. *Indústria Petrolífera*. 2016. Acessado em: 15 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.navelog.com/industria-petrolifera/>>.
- NEOSOLARENERGIA. *Bateria estacionária de eletrólito líquido*. 2016. Acessado em: 02 mai. 2016. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df2000-115ah-105ah.html>>.
- NETO GOMES, E. H. *Hidrogênio, evoluir sem poluir: a era do hidrogênio, das eenergia renováveis e das células a combustível*. Curitiba: H2 Fuel Cell Energy, 2005.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. reimp., 2007.
- O'MALLEY, J. *Análise de circuitos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- OSTERWALD, C.; GLATFELTER, T.; BURDICK, J. *Comparison of the temperature coefficients of the basic IV parameters for various types of solar cells*. [S.l.], 1987.
- PAPAGEORGAS, P.; PIROMALIS, D.; VALAVANIS, T.; KAMBASIS, S.; ILIOPOULOU, T.; VOKAS, G. A low-cost and fast pv i-v curve tracer based on an open source platform with m2m communication capabilities for preventive monitoring. *Energy Procedia*, v. 74, p. 423 – 438, 2015. ISSN 1876-6102.
- PARK, K.; KANG, G.; KIM, H.; YU, G.; KIM, J. Analysis of thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (pv) module. *Energy*, Elsevier, v. 35, n. 6, p. 2681–2687, 2010.
- PEREZ, M. J.; WIGHT, N.; FTHENAKIS, V.; HO, C. Green-roof integrated pv canopies—an empirical study and teaching tool for low income students in the south bronx. *detail*, v. 4, p. 6, 2012.

- PERRIN, M.; SAINT-DRENAN, Y.; MATTERA, F.; MALBRANCHE, P. Lead–acid batteries in stationary applications: competitors and new markets for large penetration of renewable energies. *Journal of Power Sources*, Elsevier, v. 144, n. 2, p. 402–410, 2005.
- PILLAI, R.; AADITYA, G.; MANI, M.; RAMAMURTHY, P. Cell (module) temperature regulated performance of a building integrated photovoltaic system in tropical conditions. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 72, p. 140–148, 2014.
- POLITERM. *Multímetro Digital TRUE-RMS modelo POL-41A*. 2017. Disponível em: <<http://www.politerm.com.br/Produto-c-1-Multimetro-Digital-TRUE-RMS-modelo-POL-41A-versao-136-136.aspx>>.
- PROMON. *Usina Hidrelétrica de Itaipu*. 2016. Disponível em: <<http://www.promonengenharia.com.br/pt-br/projetos/Paginas/usina-hidreletrica-de-itaipu.aspx>>.
- RIBEIRO, J. M.; SANTOS, E. C. B. F. d.; OLIVEIRA, G. R.; MIRANDA, R. A.; RESENDE, I. T. F. Sistema de monitoramento e controle de um processo de distribuição de água, usando arduíno e protocolo gsm. *XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química COBEQ*, p. 1–8, 2014.
- RUSCHEL, C. S. *Desenvolvimento de software para supervisão de usinas solares fotovoltaicas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- RUTES, M. A. *Sistema de monitoramento e controle de um veículo movido a célula a combustível reversível*. Tese (Monografia) — Centro Universitário Positivo - UnicenP, Curitiba, 2006.
- SAHU, S.; CHAKRABORTY, N.; SARKAR, P. Coal–biomass co-combustion: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 39, p. 575–586, 2014.
- SALAS, V.; OLIAS, E.; BARRADO, A.; LAZARO, A. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. *Solar energy materials and solar cells*, Elsevier, v. 90, n. 11, p. 1555–1578, 2006.
- SAS. *Energia Fotovoltaica*. 2017. Disponível em: <<http://sasfotovoltaico.com.br/index.php/energia-fotovoltaica/>>.
- SHEYDA, P. Valeh-e; RAHIMI, M.; PARSAMOGHADAM, A.; MASAH, M. M. Using a wind-driven ventilator to enhance a photovoltaic cell power generation. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 73, p. 115–119, 2014.
- SHI, L.; CHEW, M. Y. L. A review on sustainable design of renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 16, n. 1, p. 192–207, 2012.
- SHORTALL, R.; DAVIDSDOTTIR, B.; AXELSSON, G. Geothermal energy for sustainable development: A review of sustainability impacts and assessment frameworks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 44, p. 391–406, 2015.
- SOLOVEICHIK, G. L. Battery technologies for large-scale stationary energy storage. *Annual review of chemical and biomolecular engineering*, Annual Reviews, v. 2, p. 503–527, 2011.

SOUSA, J. R. B. *Modelagem e Supervisão de Bancos de Baterias em Sistemas Múltiplas Fontes de Energia Utilizando Redes de Petri*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Campina Grande-UFPG, Campina Grande, 2008.

SOUZA, M. R. de; SILVA, F. R. da; SOUZA, C. T. de; NIEKRASZEWICZ, L.; DIAS, J. F.; PREMOLI, S.; CORRÊA, D. S.; SOARES, M. do C.; MARRONI, N. P.; MORGAM-MARTINS, M. I. et al. Evaluation of the genotoxic potential of soil contaminated with mineral coal tailings on snail *helix aspersa*. *Chemosphere*, Elsevier, v. 139, p. 512–517, 2015.

SPANOS, C.; TURNEY, D. E.; FTHENAKIS, V. Life-cycle analysis of flow-assisted nickel zinc-, manganese dioxide-, and valve-regulated lead-acid batteries designed for demand-charge reduction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 43, p. 478–494, 2015.

Sun home. *Painel Solar 10 W Monocristalino*. 2017. Disponível em: <<http://www.sunhome.com.br/st-m10>>.

SUN, Y.; WANG, Y.; ZHU, L.; YIN, B.; XIANG, H.; HUANG, Q. Direct liquid-immersion cooling of concentrator silicon solar cells in a linear concentrating photovoltaic receiver. *Energy*, Elsevier, v. 65, p. 264–271, 2014.

TEO, H.; LEE, P.; HAWLADER, M. N. A. An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, Elsevier, v. 90, n. 1, p. 309–315, 2012.

THOMSON, H.; CORBETT, J. J.; WINEBRAKE, J. J. Natural gas as a marine fuel. *Energy Policy*, Elsevier, v. 87, p. 153–167, 2015.

TIAN, Y.; ZHAO, C.-Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, Elsevier, v. 104, p. 538–553, 2013.

TIEPOLO, G.; CASTAGNA, A. G.; JR, O. C.; BETINI, R. C. Fontes renováveis de energia e a influência no planejamento energético emergente no brasil. In: *VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético-CBPE*. [S.l.: s.n.], 2012.

TIWARI, A.; RAMAN, V.; TIWARI, G. Embodied energy analysis of hybrid photovoltaic thermal (pv/t) water collector. *International Journal of Ambient Energy*, Taylor & Francis, v. 28, n. 4, p. 181–188, 2007.

TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y.; SOULIOTIS, M.; BATTISTI, R.; CORRADO, A. Energy, cost and lca results of pv and hybrid pv/t solar systems. *Progress in photovoltaics*, Chichester, West Sussex, England: Wiley, c1993-, v. 13, n. 3, p. 235–250, 2005.

UFSC. *Roteiro da experiência 10 circuitos optoeletrônicos*. 2016. Acessado em: 30 mai. 2016. Disponível em: <<http://www.labspt.ufsc.br/~jackie/eel7011/Aula10.PDF>>.

UNIPOWER. *Baterias Unipower VRLA*. 2017. Disponível em: <<http://www.unipower.com.br/index.php?/Baterias/VRLA.html>>.

VERA, L. H.; KRENZINGER, A. Comparação entre valores simulados e medidos para um sistema fotovoltaico autônomo. In: *I Congresso Brasileiro de Energia Solar*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–10.

- VICTORIA, M.; ASKINS, S.; DOMÍNGUEZ, C.; ANTÓN, I.; SALA, G. Durability of dielectric fluids for concentrating photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Elsevier, v. 113, p. 31–36, 2013.
- VIEIRA, D.; GUEDES, L.; LISBOA, A.; SALDANHA, R. Formulations for hydroelectric energy production with optimality conditions. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 89, p. 781–788, 2015.
- VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 57, p. 740–752, 2016.
- VILELA, W. A. *Estudo, desenvolvimento e caracterização de radiômetros para medidas da radiação solar*. Tese (Tese de Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos-SP, 2010.
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. et al. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 24, n. 5, p. 1198–1208, 2009.
- WANG, Y.; LIN, T.; LEONG, J.; HSU, Y.; YEH, C.; LEE, P.; TSAI, C. Numerical investigation of high-concentration photovoltaic module heat dissipation. *Renewable energy*, Elsevier, v. 50, p. 20–26, 2013.
- WEI, L.; GENG, P. A review on natural gas/diesel dual fuel combustion, emissions and performance. *Fuel Processing Technology*, Elsevier, v. 142, p. 264–278, 2016.
- XIANG, H.; WANG, Y.; ZHU, L.; HAN, X.; SUN, Y.; ZHAO, Z. 3d numerical simulation on heat transfer performance of a cylindrical liquid immersion solar receiver. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 64, p. 97–105, 2012.
- XIN, G.; WANG, Y.; SUN, Y.; HUANG, Q.; ZHU, L. Experimental study of liquid-immersion iii-v multi-junction solar cells with dimethyl silicon oil under high concentrations. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 94, p. 169–177, 2015.
- YONGCHANG, Y.; CHUANAN, Y. Implementation of a mppt controller based on avr mega16 for photovoltaic systems. *Energy Procedia*, Elsevier, v. 17, p. 241–248, 2012.
- ZHANG, Y.; WANG, J.; WANG, X. Review on probabilistic forecasting of wind power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 32, p. 255–270, 2014.
- ZHAO, H.; WU, Q.; HU, S.; XU, H.; RASMUSSEN, C. N. Review of energy storage system for wind power integration support. *Applied Energy*, Elsevier, v. 137, p. 545–553, 2015.
- ZHOU, J.; ZHANG, Y.; ZHANG, R.; OUYANG, S.; WANG, X.; LIAO, X. Integrated optimization of hydroelectric energy in the upper and middle yangtze river. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 45, p. 481–512, 2015.

Apêndices

APÊNDICE A – CUSTOS

Na Tabela 9, são mostrados os valores do componentes utilizados no desenvolvimento deste trabalho, os valores unitário e o valor total.

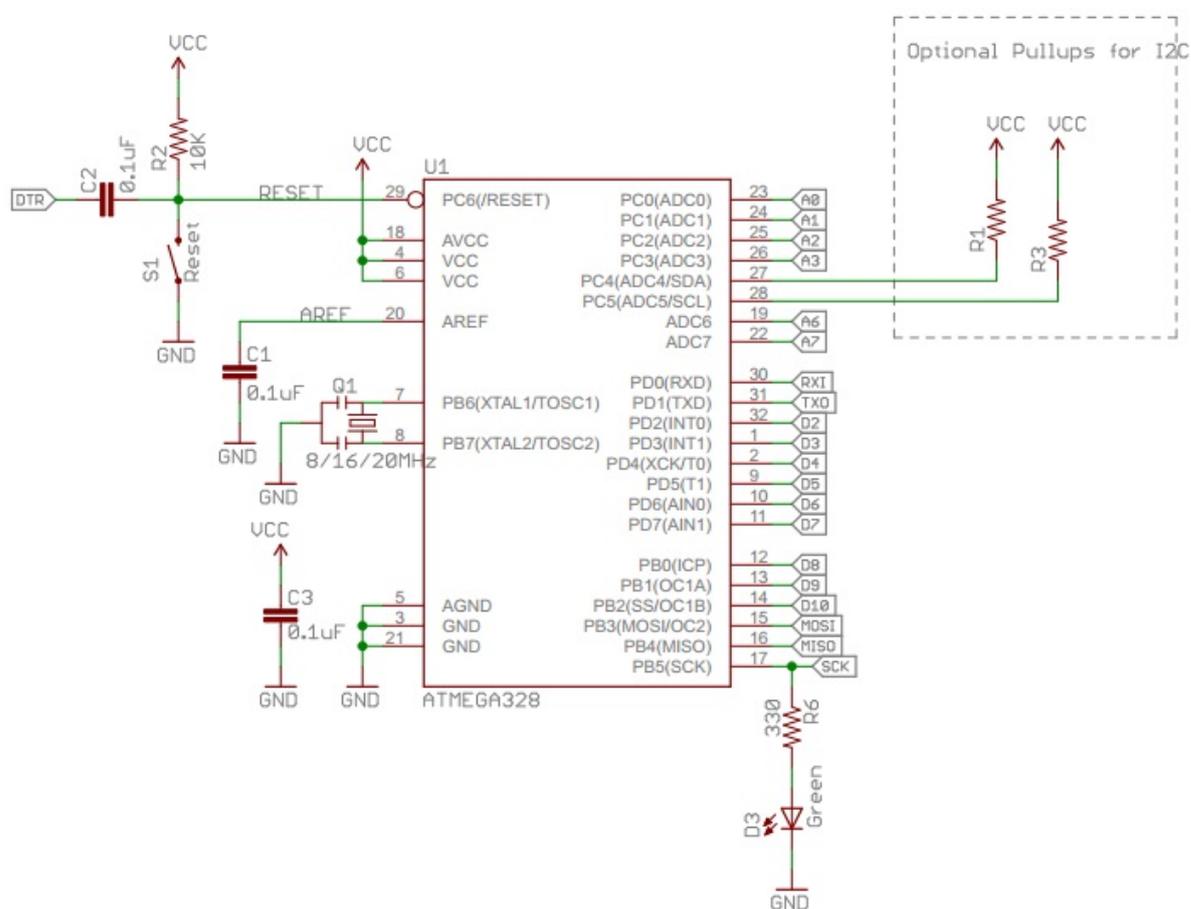
Tabela 9 – Materiais utilizados.

Descrição	Quantidade	Valor unitário R\$	Valor total R\$
Painel fotovoltaico 10 W	1	130,00	130,00
Controlador de carga	1	85,00	85,00
Bateria 12 V	1	60,00	60,00
Lâmpada automotiva 12 V	1	2,50	2,50
Arduino Pro Mini	1	30,00	30,00
Sensor de corrente ACS712	3	15,00	45,00
RTC DS1302	1	16,00	16,00
Módulo SD Card	1	10,00	10,00
Display LCD 16x2	1	19,50	19,50
Módulo I2C para display	1	14,00	14,00
Optoacoplador HCPL-7520-300E	3	10,00	30,00
Resistor 1 $k\Omega$	3	0,50	1,50
Resistor 100 $k\Omega$	3	0,50	1,50
Placa de fenolite 20x30cm	1	12,00	12,00
Bornes 2 pinos	10	0,80	8,00
Cartão de memória SDHC 8 GB	1	16,00	16,00
Barra de pino 1x20 fêmea	40	1,30	52,00
Total			533,00

APÊNDICE B – DIAGRAMA ELÉTRICO DO ARDUINO PRO MINI

Na Figura 73, é mostrado o diagrama elétrico do Arduino pro mini. O diagrama elétrico apresenta os pinos de ligação como: VCC, GND, PWM, entre outros.

Figura 73 – Diagrama elétrico do Arduino Pro Mini.



Fonte: Retirada de [Arduino \(2016\)](#).

APÊNDICE C – RESULTADOS COMPLETOS - GERAÇÃO EM CAMPO

Os resultados obtidos das medições realizadas pelo sistema de monitoramento são apresentadas nas Tabelas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20. As medições foram realizadas no período de 01 de Abril de 2017 à 11 de Abril de 2017, totalizando 11 dias.

Tabela 10 – Medições realizadas no primeiro dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,122	0,004	0,128	11,224	10,790	10,026	1,408	0,056	1,302	07:00:00
0,189	0,007	0,130	11,713	10,850	10,090	2,212	0,093	1,327	07:10:00
0,225	0,019	0,131	12,325	11,089	10,322	2,742	0,196	1,383	07:20:00
0,249	0,056	0,134	12,366	10,987	10,226	3,089	0,626	1,380	07:30:00
0,310	0,120	0,139	12,926	11,164	10,382	3,992	1,367	1,416	07:40:00
0,169	0,028	0,131	11,817	11,103	10,300	1,994	0,309	1,380	07:50:00
0,170	0,021	0,130	11,979	11,260	10,474	2,076	0,252	1,392	08:00:00
0,180	0,012	0,130	12,071	11,260	10,493	2,154	0,154	1,403	08:10:00
0,152	0,031	0,134	12,234	11,502	10,717	1,879	0,381	1,444	08:20:00
0,151	0,030	0,131	12,277	11,575	10,823	1,884	0,388	1,449	08:30:00
0,150	0,030	0,136	12,222	11,620	10,800	1,819	0,360	1,460	08:40:00
0,130	0,019	0,133	12,071	11,566	10,774	1,581	0,194	1,451	08:50:00
0,181	0,006	0,133	12,636	11,647	10,892	2,303	0,073	1,465	09:00:00
0,144	0,030	0,131	12,176	11,651	10,817	1,766	0,338	1,446	09:10:00
0,130	0,013	0,132	12,242	11,731	10,950	1,595	0,169	1,468	09:20:00
0,127	0,014	0,131	12,226	11,694	10,889	1,545	0,159	1,453	09:30:00
0,258	0,070	0,131	13,305	11,791	11,006	3,427	0,794	1,474	09:40:00
0,486	0,300	0,137	15,530	12,234	11,485	7,594	3,673	1,557	09:50:00
0,322	0,127	0,131	13,932	12,013	11,148	4,482	1,529	1,480	10:00:00
0,583	0,391	0,130	16,183	12,309	11,561	9,451	4,820	1,513	10:10:00
0,496	0,299	0,130	15,454	12,284	11,495	7,686	3,678	1,497	10:20:00
0,331	0,124	0,130	14,099	12,183	11,351	4,678	1,515	1,451	10:30:00
0,621	0,426	0,130	16,386	12,355	11,573	10,177	5,272	1,498	10:40:00
0,180	0,023	0,130	12,998	12,168	11,271	2,366	0,285	1,451	10:50:00
0,403	0,198	0,130	14,603	12,149	11,276	5,925	2,407	1,455	11:00:00
0,240	0,028	0,130	13,265	11,963	11,096	3,198	0,340	1,415	11:10:00
0,278	0,065	0,130	13,527	12,035	11,241	3,758	0,798	1,441	11:20:00
0,228	0,015	0,130	13,234	12,059	11,169	3,019	0,190	1,470	11:30:00
0,240	0,040	0,131	13,478	12,100	11,302	3,232	0,477	1,509	11:40:00
0,182	0,011	0,131	13,010	12,097	11,314	2,378	0,136	1,508	11:50:00
0,208	0,010	0,130	13,659	12,501	11,677	2,842	0,109	1,553	12:00:00
0,130	0,001	0,130	12,548	12,133	11,152	1,587	0,040	1,488	12:10:00
0,120	0,006	0,130	12,385	12,095	11,218	1,462	0,063	1,490	12:20:00
0,120	0,000	0,132	11,772	11,388	10,588	1,424	0,040	1,424	12:30:00
0,120	0,000	0,130	11,759	11,368	10,544	1,400	0,036	1,400	12:40:00
0,110	0,010	0,130	11,476	11,162	10,326	1,298	0,095	1,379	12:50:00
0,110	0,010	0,130	11,423	11,071	10,373	1,245	0,097	1,368	13:00:00
0,109	0,010	0,131	11,666	11,339	10,555	1,236	0,114	1,412	13:10:00
0,110	0,010	0,130	11,744	11,395	10,574	1,266	0,098	1,411	13:20:00
0,112	0,008	0,131	11,712	11,331	10,595	1,337	0,067	1,408	13:30:00
0,110	0,010	0,132	12,199	11,839	11,070	1,334	0,104	1,484	13:40:00
0,110	0,010	0,131	12,669	12,301	11,438	1,372	0,124	1,529	13:50:00
0,100	0,010	0,135	12,582	12,231	11,399	1,283	0,134	1,540	14:00:00
0,104	0,010	0,133	12,496	12,318	11,387	1,311	0,132	1,531	14:10:00
0,110	0,010	0,136	12,632	12,297	11,523	1,394	0,120	1,557	14:20:00
0,120	0,002	0,135	12,695	12,272	11,476	1,501	0,052	1,546	14:30:00
0,122	0,003	0,134	12,742	12,234	11,480	1,585	0,055	1,547	14:40:00
0,119	0,010	0,136	12,560	12,154	11,376	1,458	0,093	1,539	14:50:00
0,114	0,010	0,136	12,614	12,246	11,389	1,448	0,087	1,540	15:00:00
0,100	0,010	0,133	11,812	11,638	10,780	1,175	0,157	1,452	15:10:00
0,090	0,016	0,131	11,792	11,585	10,833	1,094	0,181	1,453	15:20:00
0,090	0,020	0,135	11,726	11,565	10,740	1,090	0,215	1,450	15:30:00
0,092	0,020	0,130	12,024	11,873	10,992	1,129	0,232	1,433	15:40:00
0,088	0,027	0,130	11,976	11,818	10,947	1,035	0,310	1,429	15:50:00
0,082	0,032	0,130	11,806	11,745	10,880	0,985	0,381	1,404	16:00:00
0,080	0,035	0,130	11,799	11,719	10,913	0,925	0,417	1,414	16:10:00
0,071	0,039	0,130	11,689	11,649	10,811	0,867	0,436	1,408	16:20:00
0,189	0,011	0,133	13,017	12,024	11,306	2,432	0,145	1,516	16:30:00
0,151	0,028	0,140	12,867	12,176	11,340	1,968	0,321	1,556	16:40:00
0,120	0,010	0,140	12,428	12,016	11,177	1,467	0,074	1,547	16:50:00
0,087	0,024	0,140	12,264	11,981	11,199	1,064	0,285	1,555	17:00:00

Tabela 11 – Medições realizadas no segundo dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,189	0,014	0,130	11,822	10,926	10,156	2,243	0,152	1,351	07:00
0,126	0,009	0,130	11,349	10,811	10,068	1,436	0,091	1,337	07:10
0,183	0,013	0,130	11,754	10,858	10,121	2,149	0,140	1,349	07:20
0,251	0,059	0,135	12,442	11,061	10,290	3,122	0,655	1,388	07:30
0,310	0,120	0,140	12,927	11,170	10,416	3,984	1,352	1,426	07:40
0,165	0,030	0,131	11,772	11,100	10,322	1,941	0,346	1,384	07:50
0,170	0,021	0,130	11,920	11,198	10,427	2,064	0,256	1,384	08:00
0,180	0,012	0,130	11,978	11,167	10,391	2,152	0,134	1,391	08:10
0,155	0,031	0,133	12,230	11,490	10,763	1,892	0,384	1,443	08:20
0,151	0,030	0,131	12,325	11,564	10,843	1,889	0,388	1,448	08:30
0,150	0,030	0,134	12,214	11,623	10,785	1,843	0,370	1,454	08:40
0,130	0,019	0,132	12,049	11,518	10,784	1,572	0,192	1,449	08:50
0,185	0,002	0,131	12,645	11,590	10,892	2,330	0,036	1,457	09:00
0,142	0,030	0,131	12,180	11,626	10,804	1,751	0,327	1,446	09:10
0,130	0,014	0,132	12,240	11,740	10,871	1,597	0,172	1,460	09:20
0,124	0,009	0,131	12,091	11,602	10,774	1,503	0,107	1,441	09:30
0,261	0,070	0,131	13,340	11,779	11,008	3,487	0,807	1,472	09:40
0,516	0,332	0,140	15,798	12,213	11,447	8,175	4,049	1,560	09:50
0,324	0,128	0,133	13,984	12,021	11,164	4,538	1,539	1,493	10:00
0,592	0,401	0,130	16,246	12,288	11,579	9,632	4,938	1,517	10:10
0,461	0,263	0,130	15,211	12,258	11,469	7,047	3,218	1,489	10:20
0,331	0,127	0,130	14,179	12,269	11,279	4,706	1,567	1,444	10:30
0,628	0,431	0,130	16,475	12,382	11,589	10,344	5,339	1,499	10:40
0,180	0,023	0,130	13,020	12,189	11,277	2,365	0,281	1,454	10:50
0,397	0,193	0,130	14,629	12,163	11,299	5,840	2,351	1,448	11:00
0,240	0,026	0,130	13,273	12,022	11,130	3,189	0,311	1,417	11:10
0,272	0,062	0,130	13,485	12,058	11,276	3,672	0,753	1,439	11:20
0,233	0,022	0,130	13,333	12,119	11,277	3,101	0,258	1,483	11:30
0,240	0,040	0,130	13,418	12,032	11,295	3,210	0,477	1,499	11:40
0,186	0,007	0,131	13,025	12,034	11,281	2,435	0,088	1,503	11:50
0,212	0,010	0,130	13,707	12,429	11,600	2,899	0,120	1,544	12:00
0,130	0,001	0,130	12,495	12,084	11,127	1,587	0,046	1,485	12:10
0,120	0,004	0,130	12,413	12,122	11,159	1,467	0,058	1,480	12:20
0,120	0,001	0,133	11,777	11,437	10,635	1,421	0,044	1,432	12:30
0,120	0,002	0,130	11,763	11,374	10,531	1,400	0,044	1,400	12:40
0,111	0,010	0,130	11,435	11,095	10,319	1,298	0,095	1,378	12:50
0,110	0,010	0,130	11,520	11,204	10,472	1,255	0,097	1,384	13:00
0,109	0,010	0,131	11,636	11,364	10,544	1,233	0,115	1,410	13:10
0,110	0,010	0,130	11,804	11,455	10,628	1,275	0,100	1,421	13:20
0,111	0,007	0,130	11,679	11,292	10,553	1,332	0,060	1,397	13:30
0,110	0,010	0,133	12,194	11,884	11,103	1,336	0,109	1,495	13:40
0,110	0,010	0,130	12,652	12,312	11,433	1,370	0,120	1,524	13:50
0,100	0,010	0,137	12,621	12,263	11,469	1,292	0,137	1,552	14:00
0,104	0,010	0,133	12,501	12,342	11,441	1,310	0,133	1,539	14:10
0,110	0,010	0,136	12,537	12,295	11,495	1,378	0,120	1,555	14:20
0,120	0,001	0,132	12,670	12,296	11,469	1,494	0,046	1,536	14:30
0,121	0,003	0,136	12,756	12,302	11,442	1,584	0,052	1,547	14:40
0,120	0,010	0,134	12,622	12,206	11,407	1,472	0,087	1,537	14:50
0,115	0,010	0,136	12,651	12,304	11,437	1,455	0,084	1,547	15:00
0,100	0,010	0,133	11,802	11,602	10,764	1,176	0,157	1,448	15:10
0,090	0,017	0,131	11,763	11,570	10,786	1,092	0,183	1,447	15:20
0,090	0,020	0,133	11,740	11,577	10,744	1,092	0,208	1,444	15:30
0,092	0,020	0,130	12,045	11,872	11,006	1,131	0,244	1,443	15:40
0,089	0,027	0,130	11,943	11,807	10,951	1,042	0,307	1,431	15:50
0,082	0,031	0,130	11,865	11,790	10,919	0,990	0,374	1,411	16:00
0,080	0,035	0,130	11,824	11,726	10,905	0,930	0,411	1,411	16:10
0,072	0,040	0,130	11,745	11,701	10,805	0,873	0,440	1,408	16:20
0,148	0,021	0,132	12,467	11,740	11,025	1,882	0,244	1,466	16:30
0,154	0,030	0,140	12,816	12,118	11,294	1,983	0,335	1,549	16:40
0,120	0,008	0,140	12,409	11,970	11,102	1,468	0,068	1,535	16:50
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,086	0,269	1,558	17:00

Tabela 12 – Medições realizadas no terceiro dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,206	0,010	0,130	12,011	10,934	10,174	2,473	0,102	1,358	07:00:00
0,189	0,014	0,130	11,822	10,926	10,156	2,243	0,152	1,351	07:10:00
0,229	0,020	0,135	12,188	10,941	10,155	2,755	0,199	1,371	07:20:00
0,244	0,050	0,132	12,391	11,042	10,273	3,032	0,542	1,381	07:30:00
0,300	0,102	0,140	12,906	11,164	10,444	3,844	1,152	1,426	07:40:00
0,154	0,031	0,133	11,697	11,077	10,302	1,809	0,371	1,387	07:50:00
0,178	0,015	0,130	11,869	11,078	10,295	2,105	0,181	1,370	08:00:00
0,180	0,010	0,130	12,009	11,112	10,365	2,170	0,108	1,386	08:10:00
0,160	0,031	0,130	12,205	11,527	10,686	1,940	0,385	1,425	08:20:00
0,152	0,031	0,131	12,254	11,536	10,813	1,885	0,388	1,442	08:30:00
0,154	0,031	0,133	12,178	11,536	10,759	1,886	0,380	1,447	08:40:00
0,130	0,019	0,132	12,049	11,518	10,784	1,572	0,192	1,449	08:50:00
0,190	0,003	0,130	12,661	11,657	10,910	2,391	0,040	1,451	09:00:00
0,143	0,030	0,131	12,191	11,637	10,840	1,754	0,339	1,450	09:10:00
0,130	0,015	0,132	12,186	11,646	10,815	1,596	0,175	1,455	09:20:00
0,120	0,003	0,130	11,984	11,610	10,731	1,449	0,040	1,436	09:30:00
0,261	0,070	0,131	13,340	11,779	11,008	3,487	0,807	1,464	09:40:00
0,516	0,332	0,140	15,798	12,213	11,447	8,175	4,049	1,563	09:50:00
0,324	0,128	0,133	13,984	12,021	11,164	4,538	1,539	1,489	10:00:00
0,592	0,401	0,130	16,246	12,288	11,579	9,632	4,938	1,509	10:10:00
0,461	0,263	0,130	15,211	12,258	11,469	7,047	3,218	1,473	10:20:00
0,331	0,127	0,130	14,179	12,269	11,279	4,706	1,567	1,475	10:30:00
0,628	0,431	0,130	16,475	12,382	11,589	10,344	5,339	1,487	10:40:00
0,180	0,023	0,130	13,020	12,189	11,277	2,365	0,281	1,458	10:50:00
0,397	0,193	0,130	14,629	12,163	11,299	5,840	2,351	1,443	11:00:00
0,240	0,026	0,130	13,273	12,022	11,130	3,189	0,311	1,417	11:10:00
0,272	0,062	0,130	13,485	12,058	11,276	3,672	0,753	1,423	11:20:00
0,233	0,022	0,130	13,333	12,119	11,277	3,101	0,258	1,491	11:30:00
0,240	0,040	0,130	13,418	12,032	11,295	3,210	0,477	1,517	11:40:00
0,186	0,007	0,131	13,025	12,034	11,281	2,435	0,088	1,499	11:50:00
0,212	0,010	0,130	13,707	12,429	11,600	2,899	0,120	1,536	12:00:00
0,130	0,001	0,130	12,495	12,084	11,127	1,587	0,046	1,487	12:10:00
0,120	0,004	0,130	12,413	12,122	11,159	1,467	0,058	1,481	12:20:00
0,120	0,001	0,133	11,777	11,437	10,635	1,421	0,044	1,447	12:30:00
0,120	0,002	0,130	11,763	11,374	10,531	1,400	0,044	1,412	12:40:00
0,111	0,010	0,130	11,435	11,095	10,319	1,298	0,095	1,411	12:50:00
0,110	0,010	0,130	11,520	11,204	10,472	1,255	0,097	1,388	13:00:00
0,109	0,010	0,131	11,636	11,364	10,544	1,233	0,115	1,414	13:10:00
0,110	0,010	0,130	11,804	11,455	10,628	1,275	0,100	1,431	13:20:00
0,111	0,007	0,130	11,679	11,292	10,553	1,332	0,060	1,409	13:30:00
0,110	0,010	0,133	12,194	11,884	11,103	1,336	0,109	1,494	13:40:00
0,110	0,010	0,130	12,652	12,312	11,433	1,370	0,120	1,526	13:50:00
0,100	0,010	0,137	12,621	12,263	11,469	1,292	0,137	1,556	14:00:00
0,104	0,010	0,133	12,501	12,342	11,441	1,310	0,133	1,536	14:10:00
0,110	0,010	0,136	12,537	12,295	11,495	1,378	0,120	1,536	14:20:00
0,120	0,001	0,132	12,670	12,296	11,469	1,494	0,046	1,523	14:30:00
0,121	0,003	0,136	12,756	12,302	11,442	1,584	0,052	1,544	14:40:00
0,120	0,010	0,134	12,622	12,206	11,407	1,472	0,087	1,536	14:50:00
0,115	0,010	0,136	12,651	12,304	11,437	1,455	0,084	1,549	15:00:00
0,100	0,010	0,133	11,802	11,602	10,764	1,176	0,157	1,449	15:10:00
0,090	0,017	0,131	11,763	11,570	10,786	1,092	0,183	1,440	15:20:00
0,090	0,020	0,133	11,740	11,577	10,744	1,092	0,208	1,431	15:30:00
0,092	0,020	0,130	12,045	11,872	11,006	1,131	0,244	1,442	15:40:00
0,089	0,027	0,130	11,943	11,807	10,951	1,042	0,307	1,429	15:50:00
0,082	0,031	0,130	11,865	11,790	10,919	0,990	0,374	1,419	16:00:00
0,080	0,035	0,130	11,824	11,726	10,905	0,930	0,411	1,395	16:10:00
0,072	0,040	0,130	11,745	11,701	10,805	0,873	0,440	1,404	16:20:00
0,148	0,021	0,132	12,467	11,740	11,025	1,882	0,244	1,378	16:30:00
0,154	0,030	0,140	12,816	12,118	11,294	1,983	0,335	1,553	16:40:00
0,120	0,008	0,140	12,409	11,970	11,102	1,468	0,068	1,557	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,086	0,269	1,548	17:00:00

Tabela 13 – Medições realizadas no quarto dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,373	0,170	0,140	14,828	12,846	11,755	5,531	2,182	1,635	07:00:00
0,386	0,183	0,140	15,041	12,993	11,867	5,810	2,359	1,655	07:10:00
0,395	0,187	0,140	15,153	12,977	11,924	5,985	2,417	1,683	07:20:00
0,390	0,180	0,140	15,202	12,787	11,981	5,929	2,321	1,699	07:30:00
0,377	0,170	0,140	15,303	13,413	12,136	5,760	2,266	1,695	07:40:00
0,410	0,200	0,140	15,406	13,006	12,043	6,352	2,611	1,698	07:50:00
0,440	0,240	0,140	15,735	13,315	12,161	6,962	3,167	1,716	08:00:00
0,456	0,245	0,140	15,729	12,974	12,088	7,193	3,175	1,679	08:10:00
0,288	0,108	0,134	13,970	12,403	11,591	4,173	1,358	1,559	08:20:00
0,502	0,308	0,141	15,731	15,619	14,022	7,896	4,802	2,014	08:30:00
0,477	0,275	0,140	15,292	15,609	14,046	7,312	4,423	1,962	08:40:00
0,177	0,030	0,136	13,687	12,728	11,810	2,421	0,404	1,597	08:50:00
0,361	0,161	0,139	13,922	13,721	12,549	5,113	2,396	1,705	09:00:00
0,311	0,120	0,136	14,206	12,459	11,593	4,513	1,506	1,570	09:10:00
0,194	0,019	0,137	13,797	12,786	11,964	2,668	0,249	1,623	09:20:00
0,494	0,322	0,140	13,574	18,522	16,296	6,708	5,972	2,312	09:30:00
0,483	0,319	0,140	13,121	19,341	16,948	6,346	6,156	2,245	09:40:00
0,464	0,302	0,140	12,616	20,003	17,486	5,858	6,049	2,407	09:50:00
0,404	0,224	0,136	12,719	16,633	14,887	5,147	3,930	1,583	10:00:00
0,369	0,199	0,140	12,177	17,727	15,645	4,485	3,650	1,658	10:10:00
0,428	0,294	0,140	10,187	21,673	18,636	4,355	6,378	2,014	10:20:00
0,384	0,263	0,140	9,625	22,873	19,629	3,704	6,031	2,736	10:30:00
0,381	0,265	0,140	9,670	22,806	19,575	3,686	6,037	2,749	10:40:00
0,178	0,029	0,140	13,086	12,074	11,349	2,307	0,327	1,584	10:50:00
0,392	0,273	0,140	9,718	22,906	19,709	3,806	6,251	2,792	11:00:00
0,254	0,052	0,140	13,677	12,622	11,689	3,501	0,684	1,669	11:10:00
0,292	0,077	0,140	13,987	12,369	11,497	4,138	0,969	1,607	11:20:00
0,172	0,030	0,134	12,924	12,180	11,328	2,218	0,387	1,525	11:30:00
0,474	0,270	0,139	15,480	12,537	11,683	7,481	3,406	1,615	11:40:00
0,509	0,307	0,139	15,537	12,426	11,568	8,064	3,856	1,517	11:50:00
0,264	0,070	0,140	14,220	13,214	12,152	3,818	1,012	1,724	12:00:00
0,180	0,029	0,131	13,101	12,311	11,475	2,384	0,383	1,530	12:10:00
0,175	0,030	0,132	12,940	12,188	11,359	2,267	0,400	1,512	12:20:00
0,317	0,121	0,140	15,034	13,103	12,215	4,934	1,595	1,891	12:30:00
0,282	0,093	0,141	14,705	13,112	12,202	4,254	1,227	1,851	12:40:00
0,371	0,228	0,140	10,272	20,993	18,158	3,807	4,759	2,484	12:50:00
0,326	0,144	0,140	14,269	12,421	11,545	4,812	1,806	1,568	13:00:00
0,177	0,030	0,136	13,024	12,211	11,396	2,306	0,376	1,543	13:10:00
0,134	0,000	0,130	12,756	12,214	11,397	1,718	0,021	1,517	13:20:00
0,257	0,081	0,133	13,758	12,441	11,593	3,623	1,009	1,567	13:30:00
0,162	0,024	0,137	12,875	12,148	11,329	2,073	0,303	1,529	13:40:00
0,317	0,106	0,137	14,358	12,581	11,676	4,602	1,338	1,560	13:50:00
0,367	0,162	0,140	15,017	12,846	11,966	5,546	2,068	1,679	14:00:00
0,281	0,078	0,140	13,846	12,288	11,424	3,907	0,955	1,574	14:10:00
0,099	0,020	0,140	12,392	12,084	11,246	1,226	0,248	1,553	14:20:00
0,291	0,081	0,140	14,099	12,418	11,585	4,141	1,024	1,641	14:30:00
0,114	0,010	0,140	12,588	12,226	11,343	1,444	0,117	1,593	14:40:00
0,112	0,010	0,140	12,518	12,041	11,260	1,383	0,139	1,603	14:50:00
0,230	0,021	0,140	13,424	12,238	11,407	3,096	0,245	1,553	15:00:00
0,193	0,000	0,140	13,092	12,123	11,313	2,544	0,017	1,566	15:10:00
0,199	0,000	0,135	13,083	12,092	11,267	2,596	0,015	1,522	15:20:00
0,179	0,025	0,133	12,918	12,095	11,253	2,290	0,303	1,504	15:30:00
0,133	0,010	0,140	12,629	12,049	11,235	1,693	0,120	1,555	15:40:00
0,110	0,010	0,140	12,421	12,012	11,221	1,405	0,110	1,550	15:50:00
0,081	0,030	0,140	12,174	11,875	11,123	1,009	0,369	1,544	16:00:00
0,070	0,051	0,140	12,044	11,712	10,952	0,795	0,628	1,545	16:10:00
0,072	0,040	0,130	11,745	11,701	10,805	0,873	0,440	1,404	16:20:00
0,148	0,021	0,132	12,467	11,740	11,025	1,882	0,244	1,378	16:30:00
0,154	0,030	0,140	12,816	12,118	11,294	1,983	0,335	1,553	16:40:00
0,120	0,008	0,140	12,409	11,970	11,102	1,468	0,068	1,557	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,086	0,269	1,548	17:00:00

Tabela 14 – Medições realizadas no quinto dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,208	0,010	0,130	11,942	10,838	10,123	2,469	0,100	1,352	07:00:00
0,206	0,010	0,130	12,013	10,935	10,166	2,464	0,100	1,357	07:10:00
0,228	0,020	0,131	12,355	11,097	10,329	2,784	0,198	1,384	07:20:00
0,240	0,049	0,130	12,310	11,072	10,208	2,959	0,515	1,348	07:30:00
0,295	0,100	0,140	12,878	11,213	10,443	3,805	1,105	1,426	07:40:00
0,321	0,130	0,140	13,070	11,227	10,460	4,201	1,438	1,426	07:50:00
0,171	0,021	0,131	11,885	11,159	10,384	2,061	0,252	1,388	08:00:00
0,170	0,030	0,135	11,880	11,189	10,375	2,021	0,333	1,399	08:10:00
0,170	0,023	0,131	11,995	11,237	10,461	2,060	0,272	1,398	08:20:00
0,150	0,030	0,131	12,244	11,593	10,723	1,843	0,371	1,439	08:30:00
0,160	0,031	0,131	12,315	11,695	10,762	1,980	0,391	1,442	08:40:00
0,135	0,016	0,133	12,149	11,654	10,816	1,634	0,183	1,455	08:50:00
0,152	0,032	0,132	12,219	11,575	10,835	1,850	0,386	1,451	09:00:00
0,170	0,024	0,131	12,399	11,692	10,848	2,123	0,284	1,453	09:10:00
0,151	0,030	0,130	12,280	11,698	10,915	1,878	0,389	1,455	09:20:00
0,129	0,009	0,131	12,142	11,654	10,796	1,535	0,095	1,449	09:30:00
0,154	0,032	0,130	12,243	11,681	10,761	1,888	0,392	1,446	09:40:00
0,281	0,080	0,132	13,515	11,780	10,985	3,779	0,957	1,486	09:50:00
0,317	0,128	0,134	14,020	12,074	11,284	4,450	1,555	1,528	10:00:00
0,361	0,157	0,132	14,318	12,022	11,255	5,255	1,897	1,467	10:10:00
0,577	0,378	0,130	16,038	12,298	11,525	9,274	4,654	1,493	10:20:00
0,482	0,285	0,130	15,329	12,277	11,423	7,392	3,478	1,489	10:30:00
0,528	0,330	0,130	15,717	12,243	11,521	8,325	4,037	1,453	10:40:00
0,523	0,324	0,130	15,676	12,282	11,593	8,299	3,998	1,501	10:50:00
0,284	0,076	0,126	13,679	12,058	11,234	3,907	0,911	1,425	11:00:00
0,515	0,313	0,130	15,652	12,267	11,541	8,086	3,837	1,526	11:10:00
0,269	0,062	0,130	13,493	11,976	11,163	3,627	0,747	1,422	11:20:00
0,444	0,242	0,130	15,192	12,266	11,424	6,846	2,972	1,493	11:30:00
0,227	0,014	0,130	13,111	11,939	11,103	2,970	0,174	1,498	11:40:00
0,240	0,041	0,130	13,458	12,012	11,292	3,240	0,480	1,514	11:50:00
0,181	0,010	0,130	13,086	12,175	11,266	2,402	0,094	1,511	12:00:00
0,160	0,031	0,132	13,077	12,319	11,545	2,089	0,410	1,558	12:10:00
0,129	0,000	0,130	12,532	12,078	11,156	1,575	0,038	1,483	12:20:00
0,120	0,003	0,130	12,396	12,018	11,208	1,474	0,054	1,497	12:30:00
0,120	0,000	0,132	11,777	11,393	10,572	1,427	0,035	1,426	12:40:00
0,120	0,000	0,133	11,757	11,372	10,516	1,422	0,028	1,424	12:50:00
0,110	0,010	0,132	11,664	11,261	10,532	1,301	0,110	1,422	13:00:00
0,110	0,010	0,130	11,650	11,361	10,573	1,249	0,113	1,405	13:10:00
0,109	0,010	0,131	11,698	11,319	10,598	1,245	0,108	1,413	13:20:00
0,110	0,010	0,132	11,706	11,398	10,589	1,290	0,098	1,398	13:30:00
0,111	0,010	0,139	11,796	11,524	10,672	1,347	0,083	1,459	13:40:00
0,110	0,010	0,136	12,218	11,871	11,076	1,325	0,118	1,448	13:50:00
0,110	0,010	0,130	12,550	12,265	11,448	1,339	0,125	1,530	14:00:00
0,100	0,010	0,136	12,587	12,274	11,425	1,263	0,147	1,540	14:10:00
0,102	0,010	0,135	12,490	12,185	11,423	1,297	0,130	1,540	14:20:00
0,110	0,010	0,134	12,614	12,273	11,513	1,385	0,106	1,542	14:30:00
0,120	0,000	0,138	12,747	12,202	11,464	1,535	0,039	1,570	14:40:00
0,121	0,007	0,131	12,775	12,223	11,375	1,588	0,066	1,526	14:50:00
0,110	0,010	0,135	12,639	12,150	11,389	1,423	0,113	1,551	15:00:00
0,110	0,010	0,136	12,070	11,712	10,881	1,343	0,109	1,545	15:10:00
0,100	0,010	0,133	11,802	11,578	10,742	1,147	0,155	1,444	15:20:00
0,090	0,017	0,132	11,725	11,568	10,691	1,077	0,177	1,452	15:30:00
0,090	0,024	0,140	12,007	11,794	11,049	1,083	0,294	1,533	15:40:00
0,100	0,020	0,130	11,990	11,887	10,986	1,178	0,214	1,421	15:50:00
0,080	0,030	0,130	11,845	11,751	10,956	0,971	0,380	1,431	16:00:00
0,080	0,036	0,130	11,832	11,763	10,890	0,917	0,421	1,398	16:10:00
0,080	0,037	0,130	11,757	11,615	10,803	0,899	0,416	1,412	16:20:00
0,071	0,039	0,130	11,672	11,656	10,823	0,865	0,433	1,405	16:30:00
0,154	0,030	0,140	12,816	12,118	11,294	1,983	0,335	1,553	16:40:00
0,120	0,008	0,140	12,409	11,970	11,102	1,468	0,068	1,557	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,086	0,269	1,548	17:00:00

Tabela 15 – Medições realizadas no sexto dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,206	0,010	0,130	12,027	10,944	10,183	2,479	0,103	1,358	07:00:00
0,185	0,014	0,130	11,765	10,901	10,140	2,186	0,152	1,349	07:10:00
0,229	0,020	0,136	12,187	10,949	10,155	2,757	0,200	1,371	07:20:00
0,245	0,050	0,134	12,434	11,055	10,317	3,045	0,544	1,389	07:30:00
0,300	0,103	0,140	12,898	11,102	10,422	3,840	1,152	1,425	07:40:00
0,153	0,031	0,133	11,698	11,070	10,311	1,805	0,372	1,388	07:50:00
0,177	0,016	0,130	11,874	11,107	10,287	2,103	0,191	1,370	08:00:00
0,180	0,010	0,130	11,987	11,111	10,345	2,166	0,106	1,383	08:10:00
0,152	0,030	0,130	12,170	11,538	10,775	1,865	0,379	1,443	08:20:00
0,155	0,031	0,132	12,265	11,608	10,795	1,901	0,391	1,444	08:30:00
0,140	0,022	0,134	12,148	11,464	10,749	1,697	0,277	1,448	08:40:00
0,170	0,029	0,131	12,466	11,679	10,860	2,099	0,315	1,452	08:50:00
0,160	0,032	0,134	12,383	11,677	10,862	1,959	0,394	1,464	09:00:00
0,140	0,026	0,131	12,222	11,648	10,847	1,709	0,296	1,446	09:10:00
0,120	0,000	0,131	11,997	11,700	10,794	1,405	0,016	1,447	09:20:00
0,220	0,018	0,134	12,989	11,722	10,912	2,855	0,208	1,472	09:30:00
0,550	0,365	0,140	16,045	12,295	11,481	8,822	4,476	1,570	09:40:00
0,331	0,132	0,132	14,002	12,049	11,201	4,628	1,583	1,487	09:50:00
0,509	0,310	0,130	15,572	12,296	11,460	7,933	3,807	1,505	10:00:00
0,508	0,312	0,130	15,565	12,293	11,495	7,947	3,826	1,489	10:10:00
0,528	0,331	0,130	15,722	12,248	11,530	8,333	4,045	1,455	10:20:00
0,363	0,161	0,130	14,398	12,099	11,389	5,215	1,940	1,503	10:30:00
0,285	0,077	0,126	13,668	12,045	11,222	3,912	0,917	1,426	10:40:00
0,512	0,309	0,130	15,604	12,245	11,528	8,015	3,789	1,525	10:50:00
0,269	0,063	0,130	13,498	11,980	11,167	3,632	0,749	1,423	11:00:00
0,443	0,241	0,130	15,180	12,267	11,430	6,824	2,959	1,493	11:10:00
0,227	0,014	0,130	13,106	11,935	11,102	2,970	0,175	1,463	11:20:00
0,240	0,041	0,130	13,450	12,001	11,291	3,239	0,482	1,513	11:30:00
0,181	0,010	0,130	13,083	12,163	11,262	2,403	0,093	1,487	11:40:00
0,173	0,028	0,130	13,296	12,449	11,650	2,306	0,363	1,548	11:50:00
0,128	0,000	0,130	12,531	12,090	11,164	1,575	0,038	1,483	12:00:00
0,120	0,008	0,130	11,858	11,502	10,663	1,435	0,063	1,458	12:10:00
0,120	0,000	0,132	11,783	11,402	10,579	1,428	0,035	1,426	12:20:00
0,120	0,000	0,133	11,772	11,401	10,528	1,424	0,028	1,425	12:30:00
0,110	0,010	0,132	11,649	11,242	10,526	1,299	0,110	1,422	12:40:00
0,110	0,010	0,130	11,641	11,354	10,557	1,248	0,113	1,405	12:50:00
0,109	0,010	0,131	11,696	11,322	10,600	1,245	0,108	1,412	13:00:00
0,110	0,010	0,132	11,725	11,400	10,604	1,292	0,098	1,398	13:10:00
0,111	0,010	0,139	11,787	11,518	10,663	1,346	0,082	1,460	13:20:00
0,110	0,010	0,136	12,213	11,878	11,094	1,324	0,118	1,450	13:30:00
0,110	0,010	0,130	12,550	12,277	11,456	1,339	0,125	1,531	13:40:00
0,100	0,010	0,136	12,591	12,274	11,430	1,263	0,147	1,540	13:50:00
0,102	0,010	0,135	12,493	12,194	11,414	1,298	0,130	1,538	14:00:00
0,110	0,010	0,134	12,610	12,282	11,506	1,384	0,106	1,542	14:10:00
0,120	0,000	0,138	12,741	12,202	11,459	1,535	0,039	1,569	14:20:00
0,121	0,007	0,131	12,773	12,225	11,374	1,588	0,067	1,528	14:30:00
0,110	0,010	0,135	12,636	12,160	11,390	1,422	0,113	1,551	14:40:00
0,110	0,010	0,136	12,069	11,716	10,869	1,343	0,110	1,544	14:50:00
0,100	0,010	0,133	11,809	11,576	10,744	1,148	0,155	1,443	15:00:00
0,090	0,017	0,132	11,729	11,578	10,688	1,077	0,177	1,453	15:10:00
0,090	0,024	0,140	12,010	11,802	11,046	1,082	0,295	1,533	15:20:00
0,100	0,020	0,130	11,991	11,885	10,988	1,178	0,214	1,420	15:30:00
0,080	0,030	0,130	11,850	11,766	10,965	0,971	0,381	1,415	15:40:00
0,080	0,036	0,130	11,818	11,753	10,890	0,916	0,421	1,396	15:50:00
0,080	0,037	0,130	11,762	11,622	10,812	0,899	0,415	1,409	16:00:00
0,070	0,038	0,130	11,610	11,498	10,736	0,847	0,429	1,404	16:10:00
0,080	0,037	0,130	11,757	11,615	10,803	0,899	0,416	1,412	16:20:00
0,071	0,039	0,130	11,672	11,656	10,823	0,865	0,433	1,405	16:30:00
0,154	0,030	0,140	12,816	12,118	11,294	1,983	0,335	1,553	16:40:00
0,120	0,008	0,140	12,409	11,970	11,102	1,468	0,068	1,557	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,086	0,269	1,548	17:00:00

Tabela 16 – Medições realizadas no sétimo dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,132	0,010	0,131	11,363	10,807	10,061	1,499	0,111	1,338	07:00:00
0,210	0,018	0,131	11,943	10,895	10,082	2,501	0,186	1,347	07:10:00
0,230	0,025	0,131	12,052	10,836	10,077	2,777	0,265	1,352	07:20:00
0,252	0,059	0,140	12,346	11,046	10,285	3,095	0,638	1,404	07:30:00
0,310	0,120	0,140	12,932	11,181	10,429	3,993	1,343	1,425	07:40:00
0,178	0,016	0,130	11,948	11,187	10,412	2,109	0,171	1,386	07:50:00
0,170	0,028	0,133	11,924	11,200	10,386	2,038	0,293	1,396	08:00:00
0,173	0,020	0,131	12,025	11,253	10,476	2,093	0,252	1,402	08:10:00
0,148	0,030	0,132	12,207	11,534	10,733	1,785	0,344	1,443	08:20:00
0,167	0,030	0,132	12,337	11,628	10,775	2,037	0,373	1,444	08:30:00
0,130	0,010	0,134	11,930	11,464	10,679	1,527	0,116	1,440	08:40:00
0,175	0,019	0,131	12,543	11,703	10,945	2,192	0,215	1,464	08:50:00
0,153	0,031	0,131	12,275	11,613	10,840	1,890	0,394	1,451	09:00:00
0,131	0,020	0,130	12,215	11,792	10,892	1,633	0,201	1,455	09:10:00
0,120	0,000	0,130	12,090	11,762	10,785	1,424	0,011	1,433	09:20:00
0,261	0,068	0,130	13,439	11,731	10,979	3,518	0,808	1,464	09:30:00
0,318	0,129	0,134	14,040	12,094	11,308	4,466	1,561	1,530	09:40:00
0,342	0,138	0,132	14,171	12,008	11,250	4,907	1,655	1,466	09:50:00
0,621	0,426	0,130	16,447	12,326	11,549	10,227	5,245	1,502	10:00:00
0,592	0,396	0,130	16,329	12,408	11,651	9,664	4,911	1,504	10:10:00
0,517	0,319	0,130	15,632	12,312	11,489	8,215	3,942	1,490	10:20:00
0,530	0,330	0,130	15,907	12,378	11,415	8,468	4,100	1,482	10:30:00
0,200	0,000	0,127	12,984	11,996	11,126	2,609	0,026	1,422	10:40:00
0,274	0,067	0,130	13,493	11,989	11,209	3,690	0,785	1,445	10:50:00
0,303	0,093	0,130	13,811	12,081	11,196	4,208	1,134	1,435	11:00:00
0,299	0,090	0,130	13,790	12,028	11,232	4,134	1,080	1,485	11:10:00
0,236	0,027	0,130	13,282	11,932	11,120	3,127	0,326	1,463	11:20:00
0,314	0,111	0,130	14,272	12,243	11,400	4,476	1,364	1,519	11:30:00
0,185	0,008	0,130	13,290	12,273	11,449	2,464	0,087	1,509	11:40:00
0,160	0,031	0,131	13,112	12,348	11,570	2,099	0,413	1,556	11:50:00
0,121	0,000	0,131	12,435	12,049	11,150	1,540	0,009	1,497	12:00:00
0,120	0,003	0,130	11,814	11,433	10,645	1,417	0,049	1,411	12:10:00
0,120	0,007	0,132	11,767	11,361	10,591	1,396	0,060	1,414	12:20:00
0,120	0,000	0,131	11,757	11,343	10,563	1,428	0,032	1,419	12:30:00
0,110	0,010	0,132	11,469	11,193	10,412	1,257	0,120	1,423	12:40:00
0,110	0,010	0,130	11,582	11,287	10,497	1,239	0,108	1,405	12:50:00
0,110	0,010	0,131	11,863	11,573	10,740	1,273	0,107	1,424	13:00:00
0,110	0,010	0,133	11,865	11,462	10,715	1,321	0,091	1,423	13:10:00
0,110	0,010	0,132	11,987	11,627	10,859	1,355	0,084	1,468	13:20:00
0,110	0,010	0,133	12,783	12,405	11,486	1,408	0,118	1,551	13:30:00
0,108	0,010	0,130	12,651	12,366	11,490	1,337	0,121	1,540	13:40:00
0,100	0,010	0,131	12,546	12,286	11,427	1,282	0,139	1,535	13:50:00
0,104	0,010	0,132	12,493	12,208	11,312	1,309	0,121	1,535	14:00:00
0,110	0,010	0,136	12,684	12,287	11,484	1,433	0,097	1,543	14:10:00
0,120	0,000	0,132	12,686	12,248	11,387	1,544	0,015	1,551	14:20:00
0,120	0,001	0,133	12,767	12,223	11,438	1,578	0,032	1,526	14:30:00
0,111	0,010	0,132	12,546	12,238	11,399	1,427	0,085	1,550	14:40:00
0,109	0,010	0,139	11,913	11,652	10,806	1,264	0,124	1,457	14:50:00
0,095	0,011	0,132	11,715	11,731	10,847	1,112	0,167	1,451	15:00:00
0,090	0,020	0,135	11,817	11,568	10,806	1,086	0,194	1,460	15:10:00
0,092	0,024	0,139	12,074	11,905	11,078	1,130	0,291	1,504	15:20:00
0,098	0,020	0,130	11,962	11,848	11,003	1,150	0,261	1,434	15:30:00
0,080	0,034	0,130	11,868	11,755	10,893	0,948	0,405	1,421	15:40:00
0,080	0,040	0,130	11,790	11,693	10,864	0,925	0,460	1,412	15:50:00
0,074	0,039	0,130	11,596	11,487	10,674	0,866	0,424	1,408	16:00:00
0,070	0,034	0,130	11,499	11,376	10,614	0,838	0,393	1,403	16:10:00
0,080	0,037	0,130	11,757	11,615	10,803	0,899	0,416	1,412	16:20:00
0,071	0,039	0,130	11,672	11,656	10,823	0,865	0,433	1,405	16:30:00
0,154	0,030	0,140	12,816	12,118	11,294	1,983	0,335	1,553	16:40:00
0,120	0,008	0,140	12,409	11,970	11,102	1,468	0,068	1,557	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,086	0,269	1,548	17:00:00

Tabela 17 – Medições realizadas no oitavo dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,394	0,184	0,141	15,158	13,047	11,942	5,975	2,401	1,695	07:00:00
0,400	0,190	0,141	15,226	13,020	11,949	6,116	2,485	1,708	07:10:00
0,397	0,188	0,140	15,315	13,080	12,054	6,076	2,444	1,684	07:20:00
0,381	0,180	0,140	15,096	12,696	11,884	5,762	2,246	1,678	07:30:00
0,410	0,199	0,140	15,109	13,059	11,827	6,172	2,564	1,665	07:40:00
0,420	0,211	0,140	15,530	13,079	12,088	6,530	2,773	1,707	07:50:00
0,455	0,247	0,140	15,836	13,269	12,200	7,214	3,278	1,724	08:00:00
0,400	0,194	0,137	15,397	12,981	12,071	6,241	2,536	1,649	08:10:00
0,490	0,283	0,136	15,642	12,708	11,843	7,752	3,607	1,608	08:20:00
0,435	0,235	0,140	15,365	14,830	13,407	6,712	3,615	1,900	08:30:00
0,241	0,050	0,138	13,897	12,510	11,701	3,372	0,652	1,592	08:40:00
0,176	0,030	0,132	13,216	12,373	11,547	2,312	0,404	1,553	08:50:00
0,364	0,206	0,140	11,050	19,479	16,976	3,935	4,298	2,323	09:00:00
0,171	0,030	0,136	13,015	12,305	11,428	2,260	0,401	1,546	09:10:00
0,336	0,128	0,135	14,531	12,591	11,743	5,111	1,647	1,586	09:20:00
0,414	0,225	0,140	14,184	16,652	14,835	5,834	4,040	2,084	09:30:00
0,448	0,269	0,140	13,790	17,459	15,528	6,134	4,879	2,407	09:40:00
0,218	0,018	0,138	13,968	12,818	11,849	3,061	0,233	1,616	09:50:00
0,405	0,280	0,138	9,463	22,912	19,659	3,836	6,404	2,664	10:00:00
0,396	0,267	0,140	9,982	22,080	19,049	3,938	5,916	2,396	10:10:00
0,381	0,261	0,140	9,864	22,808	19,639	3,757	5,969	2,748	10:20:00
0,378	0,251	0,140	10,829	22,239	19,250	4,097	5,604	2,714	10:30:00
0,359	0,228	0,140	10,497	20,408	17,750	3,715	4,957	2,761	10:40:00
0,258	0,070	0,140	13,697	12,271	11,442	3,665	0,885	1,597	10:50:00
0,188	0,018	0,140	13,361	12,288	11,440	2,493	0,227	2,064	11:00:00
0,181	0,015	0,140	13,217	12,215	11,481	2,403	0,180	1,625	11:10:00
0,338	0,144	0,140	13,038	14,785	13,377	4,345	2,418	1,929	11:20:00
0,159	0,020	0,140	12,738	12,074	11,226	1,995	0,229	1,534	11:30:00
0,168	0,029	0,140	13,218	12,376	11,574	2,226	0,364	1,641	11:40:00
0,230	0,039	0,140	13,874	12,608	11,768	3,218	0,487	1,673	11:50:00
0,171	0,030	0,134	13,195	12,302	11,555	2,271	0,394	1,575	12:00:00
0,160	0,020	0,135	12,881	12,214	11,410	2,030	0,225	1,534	12:10:00
0,170	0,030	0,135	12,910	12,134	11,360	2,223	0,386	1,540	12:20:00
0,440	0,242	0,141	15,169	15,145	13,661	6,713	3,824	1,951	12:30:00
0,479	0,294	0,149	14,571	16,771	15,038	6,981	4,925	1,883	12:40:00
0,169	0,035	0,140	12,615	13,970	12,792	2,076	0,742	2,472	12:50:00
0,163	0,029	0,140	12,988	12,276	11,441	2,118	0,343	1,582	13:00:00
0,262	0,085	0,134	13,631	12,261	11,421	3,676	1,062	1,533	13:10:00
0,140	0,005	0,132	12,753	12,192	11,346	1,778	0,064	1,527	13:20:00
0,160	0,020	0,134	12,870	12,236	11,369	2,031	0,272	1,539	13:30:00
0,182	0,027	0,134	13,049	12,193	11,429	2,359	0,330	1,541	13:40:00
0,180	0,025	0,134	13,040	12,239	11,351	2,362	0,320	1,541	13:50:00
0,383	0,178	0,140	15,069	12,787	11,845	5,788	2,278	1,636	14:00:00
0,110	0,012	0,140	12,525	12,041	11,213	1,359	0,174	1,553	14:10:00
0,105	0,012	0,140	12,431	12,099	11,285	1,305	0,174	1,571	14:20:00
0,290	0,080	0,140	14,203	12,553	11,686	4,154	1,035	1,652	14:30:00
0,111	0,010	0,140	12,489	12,125	11,304	1,368	0,146	1,579	14:40:00
0,153	0,019	0,140	12,844	12,131	11,327	1,992	0,229	1,608	14:50:00
0,221	0,011	0,140	13,383	12,255	11,431	2,974	0,164	1,592	15:00:00
0,199	0,000	0,140	13,166	12,197	11,345	2,585	0,017	1,575	15:10:00
0,190	0,007	0,132	13,064	12,095	11,315	2,500	0,068	1,521	15:20:00
0,169	0,030	0,139	12,790	12,059	11,188	2,141	0,389	1,516	15:30:00
0,129	0,000	0,140	12,572	12,011	11,195	1,589	0,028	1,565	15:40:00
0,107	0,010	0,140	12,353	12,080	11,219	1,308	0,153	1,552	15:50:00
0,080	0,034	0,140	12,158	11,774	11,052	0,959	0,407	1,546	16:00:00
0,070	0,051	0,140	12,044	11,712	10,952	0,795	0,628	1,538	16:10:00
0,080	0,037	0,130	11,757	11,615	10,803	0,899	0,416	1,412	16:20:00
0,071	0,039	0,130	11,672	11,656	10,823	0,865	0,433	1,405	16:30:00
0,154	0,030	0,140	12,816	12,118	11,294	1,983	0,335	1,553	16:40:00
0,120	0,008	0,140	12,409	11,970	11,102	1,468	0,068	1,557	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,086	0,269	1,548	17:00:00

Tabela 18 – Medições realizadas no nono dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,199	0,025	0,278	13,618	10,352	10,900	2,714	0,257	3,033	07:00:00
0,273	0,032	0,279	14,122	10,389	10,962	3,859	0,336	3,060	07:10:00
0,180	0,020	0,280	13,692	10,370	10,923	2,465	0,207	3,053	07:20:00
0,178	0,011	0,280	13,479	10,349	10,925	2,393	0,114	3,059	07:30:00
0,170	0,000	0,280	13,345	10,410	10,965	2,262	0,000	3,070	07:40:00
0,250	0,024	0,283	14,641	10,428	11,038	3,670	0,250	3,124	07:50:00
0,292	0,056	0,282	14,651	10,422	11,027	4,313	0,580	3,113	08:00:00
0,394	0,155	0,289	15,681	10,775	11,397	6,209	1,673	3,292	08:10:00
0,202	0,021	0,288	14,693	10,686	11,297	2,969	0,226	3,252	08:20:00
0,170	0,000	0,287	14,157	11,105	11,528	2,404	0,002	3,305	08:30:00
0,196	0,030	0,287	13,843	11,040	11,418	2,706	0,331	3,279	08:40:00
0,236	0,005	0,284	14,036	11,242	11,631	3,318	0,056	3,307	08:50:00
0,474	0,239	0,293	16,274	11,481	11,947	7,786	2,749	3,497	09:00:00
0,241	0,015	0,290	14,549	11,264	11,676	3,512	0,171	3,384	09:10:00
0,155	0,010	0,287	13,555	11,108	11,501	2,104	0,106	3,295	09:20:00
0,131	0,020	0,281	13,143	11,035	11,394	1,717	0,221	3,205	09:30:00
0,409	0,172	0,289	15,354	11,212	11,648	6,331	1,927	3,327	09:40:00
0,186	0,025	0,288	13,992	11,187	11,574	2,605	0,280	3,341	09:50:00
0,168	0,000	0,285	13,428	10,977	11,337	2,260	0,000	3,226	10:00:00
0,193	0,030	0,289	13,976	10,935	11,319	2,695	0,328	3,241	10:10:00
0,288	0,050	0,290	15,045	11,239	11,633	4,362	0,563	3,431	10:20:00
0,609	0,370	0,300	17,512	11,955	12,445	10,665	4,423	3,713	10:30:00
0,520	0,297	0,298	16,714	12,688	13,045	8,710	3,821	4,062	10:40:00
0,229	0,007	0,283	14,109	11,185	11,557	3,224	0,078	3,322	10:50:00
0,194	0,030	0,289	13,958	11,093	11,455	2,703	0,329	3,318	11:00:00
0,267	0,022	0,290	14,186	11,149	11,526	3,790	0,243	3,332	11:10:00
0,280	0,037	0,290	14,368	11,180	11,561	4,026	0,412	3,349	11:20:00
0,207	0,026	0,290	14,214	11,089	11,472	2,947	0,290	3,327	11:30:00
0,297	0,059	0,290	14,927	11,207	11,616	4,436	0,661	3,358	11:40:00
0,134	0,017	0,290	13,551	11,060	11,412	1,820	0,188	3,305	11:50:00
0,079	0,080	0,282	13,005	11,012	11,362	1,030	0,881	3,206	12:00:00
0,070	0,081	0,287	13,235	10,393	10,697	0,926	0,837	3,056	12:10:00
0,080	0,071	0,287	13,628	10,430	10,771	1,088	0,737	3,056	12:20:00
0,098	0,063	0,283	12,857	10,797	11,255	1,258	0,675	3,174	12:30:00
0,110	0,050	0,284	12,938	10,829	11,296	1,423	0,541	3,181	12:40:00
0,098	0,063	0,289	12,531	10,853	11,307	1,230	0,684	3,247	12:50:00
0,073	0,078	0,289	12,585	10,840	11,302	0,921	0,847	3,266	13:00:00
0,070	0,080	0,289	12,500	10,795	11,218	0,879	0,864	3,203	13:10:00
0,070	0,080	0,289	12,632	10,673	11,102	0,888	0,852	3,219	13:20:00
0,080	0,070	0,286	12,699	10,826	11,227	1,016	0,760	3,207	13:30:00
0,080	0,070	0,282	12,768	10,771	11,189	1,024	0,754	3,164	13:40:00
0,080	0,070	0,281	12,361	10,731	11,171	0,989	0,751	3,153	13:50:00
0,074	0,071	0,286	12,534	10,835	11,277	0,932	0,771	3,243	14:00:00
0,070	0,070	0,283	12,790	10,831	11,294	0,897	0,760	3,209	14:10:00
0,070	0,080	0,281	12,857	10,934	11,372	0,900	0,875	3,184	14:20:00
0,060	0,090	0,289	12,766	10,929	11,344	0,766	0,984	3,257	14:30:00
0,061	0,089	0,282	12,270	10,938	11,391	0,746	0,972	3,217	14:40:00
0,060	0,099	0,280	12,510	10,942	11,355	0,751	1,081	3,184	14:50:00
0,060	0,100	0,283	12,775	10,882	11,375	0,766	1,086	3,214	15:00:00
0,060	0,100	0,283	12,701	10,822	11,278	0,762	1,082	3,197	15:10:00
0,060	0,098	0,286	12,537	10,887	11,328	0,752	1,069	3,256	15:20:00
0,060	0,100	0,288	13,058	10,457	10,822	0,784	1,046	3,124	15:30:00
0,060	0,099	0,280	12,838	10,462	10,791	0,770	1,032	3,026	15:40:00
0,060	0,100	0,283	12,942	10,355	10,736	0,774	1,035	3,029	15:50:00
0,050	0,110	0,281	13,213	10,356	10,708	0,661	1,137	2,995	16:00:00
0,050	0,110	0,280	12,359	10,297	10,606	0,612	1,133	2,974	16:10:00
0,043	0,110	0,280	12,788	10,339	10,670	0,554	1,141	2,990	16:20:00
0,040	0,116	0,280	12,388	10,374	10,706	0,498	1,204	2,986	16:30:00
0,040	0,120	0,280	12,176	10,672	11,064	0,487	1,281	3,052	16:40:00
0,095	0,045	0,184	15,253	11,200	10,949	1,289	0,440	3,116	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,102	0,249	1,562	17:00:00

Tabela 19 – Medições realizadas no décimo dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,208	0,010	0,130	13,618	10,352	10,900	2,838	0,104	1,419	07:00:00
0,206	0,010	0,130	14,122	10,389	10,962	2,902	0,104	1,429	07:10:00
0,228	0,020	0,131	13,692	10,370	10,923	3,117	0,202	1,429	07:20:00
0,240	0,049	0,130	13,479	10,349	10,925	3,235	0,502	1,420	07:30:00
0,295	0,100	0,140	13,345	10,410	10,965	3,937	1,041	1,535	07:40:00
0,321	0,130	0,140	14,641	10,428	11,038	4,700	1,356	1,543	07:50:00
0,171	0,021	0,131	14,651	10,422	11,027	2,498	0,217	1,441	08:00:00
0,170	0,030	0,135	15,681	10,775	11,397	2,666	0,323	1,540	08:10:00
0,170	0,023	0,131	14,693	10,686	11,297	2,498	0,241	1,477	08:20:00
0,150	0,030	0,131	14,157	11,105	11,528	2,124	0,333	1,510	08:30:00
0,160	0,031	0,131	13,843	11,040	11,418	2,217	0,344	1,492	08:40:00
0,135	0,016	0,133	14,036	11,242	11,631	1,895	0,178	1,549	08:50:00
0,152	0,032	0,132	16,274	11,481	11,947	2,470	0,362	1,579	09:00:00
0,170	0,024	0,131	14,549	11,264	11,676	2,473	0,268	1,532	09:10:00
0,151	0,030	0,130	13,555	11,108	11,501	2,045	0,335	1,495	09:20:00
0,129	0,009	0,131	13,143	11,035	11,394	1,691	0,096	1,496	09:30:00
0,154	0,032	0,130	15,354	11,212	11,648	2,360	0,353	1,503	09:40:00
0,281	0,080	0,132	13,992	11,187	11,574	3,929	0,899	1,549	09:50:00
0,317	0,128	0,134	13,428	10,977	11,337	4,249	1,407	1,513	10:00:00
0,361	0,157	0,132	13,976	10,935	11,319	5,048	1,715	1,472	10:10:00
0,577	0,378	0,130	15,045	11,239	11,633	8,690	4,251	1,529	10:20:00
0,482	0,285	0,130	17,512	11,955	12,445	8,440	3,406	1,609	10:30:00
0,528	0,330	0,130	16,714	12,688	13,045	8,814	4,191	1,760	10:40:00
0,523	0,324	0,130	14,109	11,185	11,557	7,368	3,627	1,503	10:50:00
0,284	0,076	0,126	13,958	11,093	11,455	3,967	0,842	1,475	11:00:00
0,515	0,313	0,130	14,186	11,149	11,526	7,303	3,488	1,496	11:10:00
0,269	0,062	0,130	14,368	11,180	11,561	3,863	0,697	1,493	11:20:00
0,444	0,242	0,130	14,214	11,089	11,472	6,313	2,686	1,491	11:30:00
0,227	0,014	0,130	14,927	11,207	11,616	3,384	0,155	1,506	11:40:00
0,240	0,041	0,130	13,551	11,060	11,412	3,252	0,452	1,491	11:50:00
0,181	0,010	0,130	13,005	11,012	11,362	2,347	0,108	1,483	12:00:00
0,160	0,031	0,132	13,235	10,393	10,697	2,118	0,322	1,395	12:10:00
0,129	0,000	0,130	13,628	10,430	10,771	1,751	0,000	1,402	12:20:00
0,120	0,003	0,130	12,857	10,797	11,255	1,543	0,034	1,463	12:30:00
0,120	0,000	0,132	12,938	10,829	11,296	1,553	0,000	1,510	12:40:00
0,120	0,000	0,133	12,531	10,853	11,307	1,504	0,000	1,513	12:50:00
0,110	0,010	0,132	12,585	10,840	11,302	1,384	0,108	1,474	13:00:00
0,110	0,010	0,130	12,500	10,795	11,218	1,375	0,108	1,458	13:10:00
0,109	0,010	0,131	12,632	10,673	11,102	1,381	0,107	1,449	13:20:00
0,110	0,010	0,132	12,699	10,826	11,227	1,397	0,108	1,477	13:30:00
0,111	0,010	0,139	12,768	10,771	11,189	1,421	0,108	1,555	13:40:00
0,110	0,010	0,136	12,361	10,731	11,171	1,360	0,107	1,463	13:50:00
0,110	0,010	0,130	12,534	10,835	11,277	1,375	0,108	1,489	14:00:00
0,100	0,010	0,136	12,790	10,831	11,294	1,279	0,108	1,514	14:10:00
0,102	0,010	0,135	12,857	10,934	11,372	1,305	0,109	1,513	14:20:00
0,110	0,010	0,134	12,766	10,929	11,344	1,404	0,109	1,508	14:30:00
0,120	0,000	0,138	12,270	10,938	11,391	1,472	0,002	1,591	14:40:00
0,121	0,007	0,131	12,510	10,942	11,355	1,516	0,078	1,496	14:50:00
0,110	0,010	0,135	12,775	10,882	11,375	1,405	0,109	1,581	15:00:00
0,110	0,010	0,136	12,701	10,822	11,278	1,397	0,108	1,535	15:10:00
0,100	0,010	0,133	12,537	10,887	11,328	1,254	0,111	1,505	15:20:00
0,090	0,017	0,132	13,058	10,457	10,822	1,175	0,174	1,481	15:30:00
0,090	0,024	0,140	12,838	10,462	10,791	1,158	0,251	1,513	15:40:00
0,100	0,020	0,130	12,942	10,355	10,736	1,290	0,207	1,397	15:50:00
0,080	0,030	0,130	13,213	10,356	10,708	1,057	0,312	1,390	16:00:00
0,080	0,036	0,130	12,359	10,297	10,606	0,987	0,374	1,381	16:10:00
0,080	0,037	0,130	12,788	10,339	10,670	1,019	0,384	1,388	16:20:00
0,071	0,039	0,130	12,388	10,374	10,706	0,878	0,402	1,385	16:30:00
0,040	0,120	0,280	12,176	10,672	11,064	0,487	1,281	3,052	16:40:00
0,095	0,045	0,184	15,253	11,200	10,949	1,289	0,440	3,116	16:50:00
0,090	0,021	0,140	12,269	11,962	11,189	1,102	0,249	1,562	17:00:00

Tabela 20 – Medições realizadas no décimo primeiro dia.

Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)			Horário
Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	Painel	Bateria	Carga	
0,399	0,190	0,140	15,219	12,840	11,953	6,074	2,429	1,681	07:00:00
0,394	0,186	0,140	15,164	13,002	11,930	5,970	2,410	1,710	07:10:00
0,400	0,190	0,140	15,267	13,215	12,037	6,112	2,493	1,678	07:20:00
0,384	0,179	0,140	15,062	13,003	11,906	5,770	2,343	1,689	07:30:00
0,400	0,189	0,140	15,133	12,993	11,907	6,043	2,450	1,680	07:40:00
0,426	0,220	0,140	15,625	13,242	12,088	6,646	2,903	1,711	07:50:00
0,462	0,250	0,140	15,977	13,306	12,227	7,408	3,354	1,716	08:00:00
0,255	0,078	0,139	14,226	12,810	11,928	3,758	1,032	1,654	08:10:00
0,529	0,320	0,140	16,434	13,090	12,267	8,673	4,146	1,551	08:20:00
0,219	0,046	0,140	14,169	13,282	12,163	3,148	0,667	2,007	08:30:00
0,172	0,030	0,138	13,209	12,333	11,552	2,274	0,360	1,864	08:40:00
0,180	0,029	0,137	13,156	12,295	11,443	2,369	0,356	1,562	08:50:00
0,184	0,025	0,138	13,168	12,415	11,462	2,408	0,323	1,651	09:00:00
0,178	0,031	0,133	12,990	12,344	11,370	2,284	0,411	1,545	09:10:00
0,259	0,043	0,138	14,059	12,737	11,841	3,681	0,571	1,642	09:20:00
0,468	0,290	0,140	14,045	17,259	15,312	6,560	5,247	2,036	09:30:00
0,452	0,284	0,140	13,042	18,843	16,553	5,843	5,532	2,188	09:40:00
0,201	0,007	0,136	13,534	12,434	11,693	2,742	0,073	2,089	09:50:00
0,373	0,229	0,133	10,475	20,750	17,981	3,843	5,027	1,884	10:00:00
0,400	0,277	0,140	9,733	22,984	19,743	3,896	6,366	1,875	10:10:00
0,383	0,262	0,140	9,740	22,591	19,435	3,730	5,930	1,780	10:20:00
0,379	0,262	0,140	9,481	22,723	19,488	3,595	5,934	2,705	10:30:00
0,357	0,219	0,140	10,697	19,898	17,288	3,763	4,699	1,673	10:40:00
0,429	0,296	0,140	10,111	21,881	18,818	4,342	6,467	1,820	10:50:00
0,185	0,011	0,140	13,303	12,185	11,423	2,451	0,130	2,747	11:00:00
0,180	0,023	0,140	13,125	12,241	11,404	2,354	0,285	1,741	11:10:00
0,243	0,033	0,140	13,461	12,745	11,787	3,270	0,459	1,582	11:20:00
0,164	0,025	0,140	12,776	12,117	11,217	2,082	0,313	1,561	11:30:00
0,170	0,030	0,134	12,960	12,148	11,370	2,177	0,366	1,580	11:40:00
0,592	0,394	0,140	16,749	13,599	12,634	9,952	5,349	1,525	11:50:00
0,180	0,029	0,139	13,234	12,298	11,516	2,371	0,381	1,754	12:00:00
0,159	0,020	0,132	12,848	12,170	11,340	2,012	0,221	2,171	12:10:00
0,253	0,081	0,138	13,595	12,263	11,434	3,570	1,018	1,557	12:20:00
0,212	0,065	0,140	13,894	12,824	11,848	3,054	0,826	1,536	12:30:00
0,450	0,270	0,149	14,105	17,281	15,504	6,348	4,685	1,537	12:40:00
0,130	0,000	0,140	12,913	12,252	11,489	1,676	0,021	1,823	12:50:00
0,160	0,023	0,140	12,908	12,267	11,404	2,054	0,292	2,057	13:00:00
0,201	0,030	0,140	13,335	12,385	11,560	2,696	0,368	1,935	13:10:00
0,150	0,016	0,132	12,929	12,287	11,479	1,945	0,191	1,571	13:20:00
0,160	0,028	0,135	12,867	12,206	11,378	2,069	0,323	1,537	13:30:00
0,368	0,155	0,131	14,660	12,490	11,701	5,440	1,938	1,531	13:40:00
0,176	0,030	0,132	13,006	12,229	11,381	2,278	0,395	1,540	13:50:00
0,250	0,063	0,140	13,884	12,501	11,681	3,509	0,799	1,513	14:00:00
0,267	0,082	0,140	13,732	12,273	11,385	3,714	1,017	1,588	14:10:00
0,151	0,022	0,140	12,760	12,119	11,304	1,946	0,270	1,620	14:20:00
0,290	0,082	0,140	14,156	12,448	11,625	4,150	1,046	1,562	14:30:00
0,112	0,010	0,140	12,525	12,141	11,276	1,420	0,127	1,607	14:40:00
0,130	0,010	0,140	12,699	12,214	11,365	1,658	0,124	1,651	14:50:00
0,211	0,010	0,140	13,311	12,209	11,370	2,817	0,113	1,608	15:00:00
0,197	0,000	0,140	13,194	12,204	11,359	2,587	0,025	1,565	15:10:00
0,190	0,010	0,132	13,062	12,112	11,313	2,465	0,106	1,559	15:20:00
0,160	0,030	0,140	12,903	12,205	11,312	2,086	0,377	1,563	15:30:00
0,120	0,001	0,140	12,449	11,936	11,139	1,508	0,037	1,506	15:40:00
0,085	0,027	0,140	12,188	11,934	11,162	1,043	0,323	1,551	15:50:00
0,080	0,040	0,140	12,091	11,776	10,985	0,926	0,440	1,561	16:00:00
0,119	0,010	0,140	12,480	12,085	11,259	1,448	0,088	1,560	16:10:00
0,088	0,023	0,140	12,249	11,956	11,162	1,079	0,289	1,551	16:20:00
0,080	0,037	0,140	12,135	11,770	11,023	0,942	0,426	1,541	16:30:00
0,070	0,044	0,140	12,105	11,823	11,033	0,865	0,518	1,546	16:40:00
0,069	0,053	0,140	12,019	11,726	10,929	0,792	0,635	1,531	16:50:00
0,068	0,054	0,140	12,038	11,755	10,972	0,790	0,645	1,535	17:00:00