

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA BATERIA UTILIZADA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE PEQUENO PORTE¹

JOSÉ RENATO CASTRO POMPEIA FRAGA² & JOSÉ ANGELO CAGNON³

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo a análise do sistema de armazenamento de energia elétrica gerada a partir de um sistema fotovoltaico, composto por baterias de chumbo-ácido. A crescente demanda de energia no mundo, além da necessidade de utilização de recursos renováveis de forma a preservar o nosso meio ambiente, obriga o desenvolvimento de técnicas de eficiência na produção e controle dessa energia. Para o desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados dois sistemas fotovoltaicos. O primeiro, convencional, com painel solar estacionário e o segundo com um sistema de posicionamento automático com relação ao sol. Esta análise comparativa permitiu avaliar as vantagens ou não de um sistema, em relação ao outro. Além disso, foram levantadas as curvas de carga, descarga, capacidade da bateria, determinação da taxa hora-funcional, a reação de auto-descarga (através do estado de flutuação) entre outras informações relevantes que permitam entre outras coisas, obter uma maior vida útil da bateria estacionária em questão. Os resultados obtidos indicam que a bateria ligada ao sistema móvel fornece 36% mais energia que àquela ligada ao sistema fixo. Em condições desfavoráveis, ou seja, quando a bateria era incapaz de fornecer energia à carga, a bateria ligada ao sistema móvel consumiu cerca de 33 % menos energia que àquela ligada ao fixo.

Palavras-chave: Sistema de armazenamento de energia, energia Solar, fontes de energia renováveis.

¹ Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, intitulada: “Análise do Comportamento da Bateria Utilizada em Sistemas Fotovoltaicos de Pequeno Porte”.

² Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – FCA/UNESP, Botucatu/SP e Docente do Departamento de Engenharia Elétrica – FEB/UNESP, Bauru/SP, jfraga@feb.unesp.br

³ Orientador, Docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – FCA/UNESP, Botucatu/SP e Docente do Departamento de Engenharia Elétrica – FEB/UNESP, Bauru/SP, jacagnon@feb.unesp.br

ANALYSIS OF BATTERY BEHAVIOR IN SMALL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

SUMMARY: *This work aimed to analyze the electric energy storage system generated from a photovoltaic system with lead-acid batteries. The increasing claim for energy in the world in addition to the need of using renewable energy sources in order to preserve the environment makes necessary the development of efficient techniques of power supply and control. Two photovoltaic systems were used in this work, a conventional one with stationary solar panel and another with automatic solar position system. The comparative analysis has allowed assessing the advantages of both systems. The following characteristics were obtained during the development of this work: charge, discharge, battery capacity, operating time rate, auto-discharge reaction (through fluctuation state), among other important information that allows an extended life to the stationary battery studied. The obtained results indicate that the battery connected to the mobile system provides 36% of additional energy compared to the fixed system. When the battery was unable to provide energy to the load, the battery connected to the mobile system consumed about 33% less energy than that one connected to the fixed system.*

Keywords: *Storage energy system, solar energy, renewable energy sources.*

1 INTRODUÇÃO

Em muitos sistemas fotovoltaicos encontram-se baterias estacionárias, as quais deverão acumular energia em seu interior no mesmo instante em que há incidência de energia solar nas placas semicondutoras. Em todas as baterias, o processo de acúmulo de energia elétrica implica a transformação da energia, por uma ação eletro-química, em energia química, acumulada sob esta forma. Ao ser solicitada uma corrente da bateria, a energia novamente se transforma de química para elétrica, descarregando-se. É necessário, portanto, a recarga da bateria, uma vez que ela é apenas um acumulador de energia.

As pequenas propriedades rurais no Brasil, particularmente as residências situadas na zona rural, em função de suas características de localização, muitas vezes em áreas distantes das redes de distribuição convencionais, aliado ao fato de apresentarem baixa demanda, não justificam, na maioria dos casos, o investimento para extensão da rede; neste contexto, apresentam-se como um espaço adequado para a aplicação dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia, os quais proporcionam uma solução local como fonte de energia renovável, confiável, e podem promover o desenvolvimento auto-sustentável, social e econômico das populações da zona rural, melhorando a qualidade de vida de seus habitantes.

O presente trabalho visa comparar o desempenho de baterias tanto em painéis solares fixos quanto em placas solares com sistema automático de posicionamento (“tracking”), com a função específica de rastrear a movimentação do sol ao longo do dia e no decorrer do ano, buscando sempre a melhor posição dos painéis fotovoltaicos, de modo a captar o máximo de radiação solar possível.

Para esta análise comparativa desses dois sistemas, realizou-se um levantamento experimental, utilizando-se os dois sistemas fotovoltaicos desenvolvidos por Alves (2008), com o auxílio de controladores lógicos programáveis (CLP), para a aquisição de todos os parâmetros relevantes. Esta montagem experimental será descrita detalhadamente no decorrer deste trabalho.

No que concerne aos assuntos relacionados as baterias, suas características construtivas e funcionais, é importante ressaltar como referências fundamentais os livros escritos por Linden e Reddy (2001) e Kiehne (2003), extremamente importantes para o conhecimento global de baterias, distintas em forma, nas características físicas e químicas, construtivas assim como suas aplicações. Estas referências formam uma rica forma de compreensão, pois são muito abrangentes e ricas em detalhes e, portanto, extremamente úteis no início deste trabalho.

Fundamental também foi à análise e compreensão das normas IEEE Std 1013(2007) e IEEE Std 1188 (2006), que tratam respectivamente da utilização e dimensionamento de baterias de chumbo ácido em sistemas fotovoltaicos e da bateria de chumbo-ácido regulada por válvulas de uma forma ampla. Estas normas oferecem subsídios para a escolha correta da bateria, de acordo com uma série de parâmetros, dependendo da aplicação e condições de carga. Além disso, elenca os quesitos para a correta manutenção.

Com objetivo de entender o comportamento das baterias, os trabalhos desenvolvidos por Chan (2000), Salameh et al. (1992), Min e Rincon-Mora (2006) e Mayer e Biscaglia (1989), desenvolveram modelos equivalentes para as baterias na forma de circuitos elétricos.

Nessa linha de modelagem é importante ressaltar o artigo apresentado por Chan (2000), que faz uma revisão interessante em vários modelos de bateria na forma de circuitos elétricos. Neste artigo, propõe um novo modelo com características que o tornam mais simples de representar, por necessitar um número menor de parâmetros. Tal modelo consegue representar bem as condições de carga e descarga, como também a dependência com o estado de carga da bateria.

O trabalho de Robbins e Hawkins (1994), explora a modelagem de baterias em sistemas de distribuição CC, em condições de sobrecorrente. Essa modelagem permite associar a outros modelos de um sistema de telecomunicação com o objetivo de dimensionar a proteção corretamente.

Interessante é a abordagem proposta por Min e Rincon-Mora (2006), na qual propõe um modelo de bateria com o objetivo de prever o comportamento da bateria em condições de operação. O artigo apresenta uma série de resultados simulados comparados com a utilização real que validam sua abordagem.

De grande relevância e que muito contribuíram ao estudo, foram os trabalhos desenvolvidos por McNutt et Al.(2000), Sanidad et al. (2000) e Alminauskas (1993), que analisaram baterias e outros componentes, especialmente utilizados em sistemas fotovoltaicos. Nessa mesma linha, está o livro escrito por Castaner e Silvestre (2003), que procura modelar todo um sistema fotovoltaico com seus componentes, configurações e distintas aplicações. Destacam-se a seguir algumas dessas referências relacionadas ao uso de baterias em sistemas fotovoltaicos.

A proposta principal dessa pesquisa é avaliar se foi possível conseguir o aumento do ciclo de vida e rendimento de uma bateria estacionária através do levantamento das curvas de carga, descarga, capacidade da bateria, entre outras informações pertinentes (ALMINAUSKAS, 1993).

Ao comparar a eficiência da bateria em dois sistemas fotovoltaicos diferentes o projeto inova pela idéia, pelo levantamento do comportamento em diferentes situações de carga, possibilitando soluções viáveis no âmbito da melhoria da captação energética em sistemas solares, (MCDOWALL et al., 2001).

Vale ressaltar novamente que a alta quantificação da energia provida pelo sistema depende irrefutavelmente de uma bateria estacionária em excelentes condições.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de analisar o comportamento das baterias em condições reais de funcionamento, foram utilizados os recursos disponíveis nos laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica de Unesp – Campus de Bauru. Além desses recursos já disponíveis, foram adquiridos equipamentos e materiais através deste projeto de pesquisa aprovado pela FAPESP, com o objetivo da montagem de um laboratório de campo.

A descrição dos equipamentos utilizados existentes ou adquiridos será relatada logo a seguir. Inicialmente é importante descrever a solução encontrada para a análise do comportamento das baterias em condições reais de funcionamento.

2.1 Laboratório de Campo

Este foi construído com recursos e mão de obra própria, cedidos pela Faculdade de Engenharia de Bauru, e é constituído de uma base de concreto cercada com alambrado, de dimensões aproximadas de 12m X 6m, como pode ser visto no lado esquerdo da Figura 1, estrategicamente localizado próximo aos laboratórios didáticos e de pesquisa do Departamento de Engenharia Elétrica, com a finalidade de facilitar a coleta de dados e o transporte de equipamentos para dentro e para fora do laboratório de pesquisa; além

disso, foi construído em local que oferecesse segurança, para evitar furto dos equipamentos adquiridos, além, logicamente, de receber insolação direta durante a maior parte do dia e do ano.

Neste espaço foram instalados dois armários de aço, vistos em detalhe no lado direito da Figura 1, conseguidos como sucata, reformados e pintados, dotados de cadeados, os quais abrigam internamente os controladores de carga, baterias, Controlador Lógico Programável, inversores e as cargas de teste. Sobre estes armários, foram instalados os painéis fotovoltaicos, fixo e móvel. Nesta montagem baseada em um trabalho desenvolvido por Alves (2008), utilizaram-se dois painéis fotovoltaicos idênticos, de silício monocristalino, com potência de 50Wp, cada um alimentando uma carga dinâmica. Para sustentação do painel fixo utilizou-se um suporte mecânico padrão (com possibilidade de ajuste manual da inclinação) e para o painel móvel desenvolveu-se um suporte com ajustes de inclinação e azimute, adequado para receber os motores e as engrenagens de redução de velocidade. Um Controlador Lógico Programável (CLP) é o responsável pelos cálculos da posição aparente do Sol, pela geração e envio de pulsos à placa de acionamento e controle dos motores, e pela coleta e armazenamento dos dados (tensão, corrente, irradiância, temperatura).



Figura 1 – Laboratório de campo.

Para aquisição do valor da corrente de carga e descarga da bateria, foram utilizados resistores tipo *shunt*. Para a corrente da carga foram utilizados sensores de efeito Hall e para a medida da irradiância foram utilizados sensores de radiação global colocados junto ao plano dos painéis, assim como sensores de temperatura para coleta deste parâmetro junto à superfície dos mesmos. Além destes dados, foram também coletadas temperatura ambiente e irradiância no plano horizontal.

Aplicado a estes dois sistemas fotovoltaicos, foi desenvolvido este trabalho, com o objetivo de levantar as características elétricas, como tensão na bateria, corrente de carga e descarga e corrente na carga. Para este objetivo foram montados em cada um dos painéis sistemas de aquisição e controle.

2.2 Composição do sistema experimental

O sistema, basicamente foi composto dos seguintes elementos:

- Dois módulos fotovoltaicos idênticos, de silício monocristalino, modelo SE 50 do fabricante Shell Solar com as seguintes características nominais (tolerâncias de +/- 10%):
 - Tensão de Circuito Aberto (V_{OC}) = 21,3 V
 - Corrente de Curto-Circuito (I_{SCC}) = 3,4 A
 - Tensão de Potência Máxima (V_{MP}) = 16,7 V
 - Corrente de Potência Máxima (I_{MP}) = 3,0 A
 - Potência Máxima (P_M) = 50 Wp
- Dois transdutores de tensão, com entrada nominal na faixa de 0-15 Vcc e saída de 0 - 20 mAcc.
- Dois Transdutores de corrente, com entrada nominal na faixa de 0-25 Acc e saída de 4 – 20 mAcc.
- Duas cargas dinâmicas eletrônicas, que serão descritas detalhadamente a seguir, ligadas em cada sistema.
- Dois controladores lógicos programáveis, dotados de módulos de expansão, para aquisição dos parâmetros elétricos em sua portas analógicas.
- Dois controladores de carga/descarga da bateria, com capacidade nominal de 12 A,
- Duas baterias de chumbo-ácido, reguladas por válvulas, tensão de terminal de 12V e capacidade de 7,2Ah.

A Figura 2, mostra um diagrama representando a montagem utilizada para a aquisição dos parâmetros utilizados para essa pesquisa.

Utilizando esta estrutura em duplicata, levantou-se os parâmetros de corrente de carga e descarga na bateria, tensão nos seus terminais, como também, a corrente na carga dinâmica, sempre com o objetivo de comparar o comportamento da bateria no sistema fixo convencional com a bateria ligada em um sistema de posicionamento automático. Estes resultados são apresentados e discutidos no próximo capítulo. A Figura 3, mostra o fluxograma que representa a lógica de programação utilizada no CLP, para aquisição dos parâmetros elétricos utilizados para o objeto de análise deste trabalho.

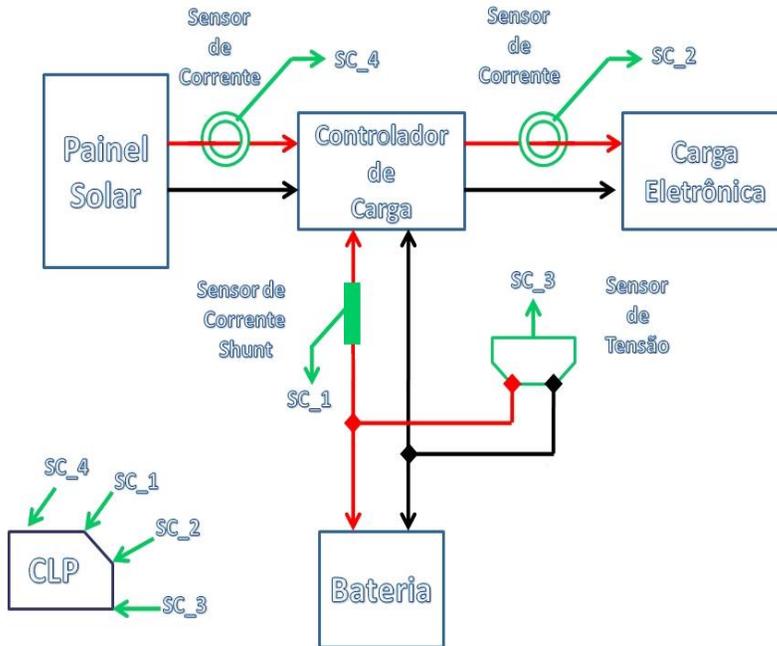


Figura 2 – Esquema do sistema de aquisição

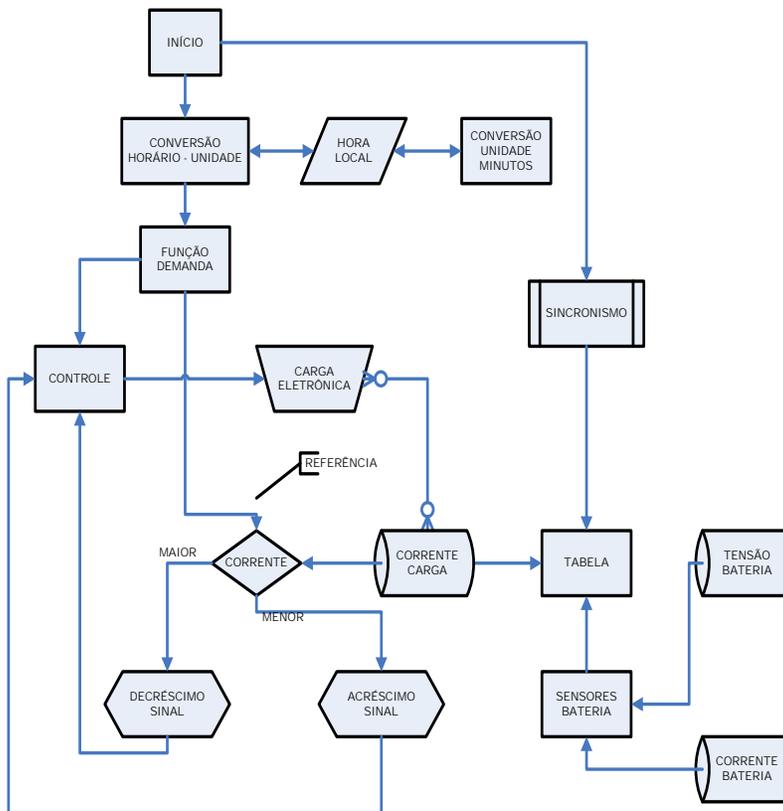


Figura 3 – Fluxograma do Programa de aquisição de dados.

2.3 Definição da carga

Com o objetivo de avaliar um comportamento real, desenvolveu-se uma carga que atendesse às especificações exigidas pela presente pesquisa. No início da montagem em laboratório foram utilizadas cargas resistivas, na forma de lâmpadas incandescentes. Porém, esse tipo de carga mostrou-se limitada, para explorar o comportamento da bateria em condições variadas de utilização.

Procurando por uma solução que atendesse aos objetivos dessa análise, projetou-se uma carga dinâmica eletrônica, que permitisse simular as condições reais de funcionamento. A seguir descrevemos as características dessa carga.

A carga eletrônica foi desenvolvida para drenar corrente de maneira automática, conforme programação solicitada pelo controlador CLP. A tensão máxima para o terminal de carga é de 14V.

A potência nominal da carga eletrônica era 450W, para uma corrente máxima de 15 Ampéres, em situação limite de operação, considerando-se tensão máxima de 14V e corrente de 15A por módulo.

O projeto foi desenvolvido dentro de parâmetros de temperatura suportados pelos transistores de potência, os quais, quando em operação, não devem exceder em suas carcaças a temperatura de 80°C. Para tanto, é imprescindível a instalação de sistema de refrigeração do ar ambiente, com dutos de ventilação forçada sobre os dissipadores de potência, garantindo o limite de temperatura especificado.

2.4 Diagrama em Blocos

Apresenta-se na Figura 4 um diagrama em blocos de um módulo de potência da carga eletrônica. A carga foi projetada para trabalhar em regime estático de solicitação de corrente; o que significa que, a cada incremento de corrente solicitado pelo CLP, haveria um tempo de acomodação das características da mesma, que poderia ser maior ou menor dependendo do nível de potência. Nos testes realizados, como o aumento ou a diminuição de corrente sempre ocorreram de maneira gradual (lenta), este tempo de acomodação não foi determinante para qualquer alteração nos resultados de ensaios, visto que o sistema de controle trabalhava em malha fechada, com sensor de corrente de efeito Hall, medindo e corrigindo qualquer pequena variação na corrente da carga.

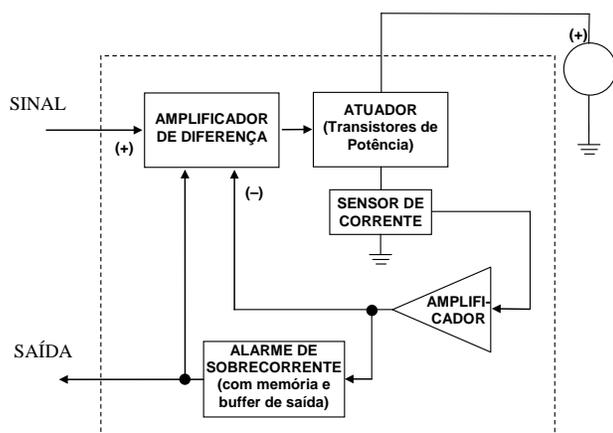


Figura 4 - Diagrama em Blocos de um Módulo de Potência.

Identificam-se, no diagrama, os seguintes blocos, com suas funções:

- **ATUADOR:** é composto pelos transistores de potência, responsáveis por drenarem corrente do alternador durante os testes.
- **SENSOR DE CORRENTE:** é um resistor de baixo valor, com boa estabilidade térmica, com a função de fornecer ao circuito de realimentação uma amostra da corrente que está sendo drenada do alternador.
- **AMPLIFICADOR:** amplifica o sinal proveniente do sensor de corrente para níveis compatíveis com o sinal de controle, vindo do CLP.
- **AMPLIFICADOR DE DIFERENÇA:** é o circuito que fecha a malha de realimentação, comparando o sinal de controle (vindo do CLP) ao sinal amplificado do sensor de corrente e determinando o nível do sinal que acionará a potência.
- **ALARME DE SOBRECORRENTE:** monitora a corrente drenada, e em caso de sobrecorrente, desarma o módulo, envia um sinal de alarme ao CLP e memoriza a situação de falha, até que o sistema seja desligado e religado ou seja rearmado por intervenção do operador.

A Figura 5 mostra a foto da carga dinâmica montada para utilização na parte experimental deste trabalho.



Figura 5 – Carga Eletrônica Dinâmica.

Com o objetivo de analisar o comportamento das baterias submetidas a condições de funcionamento próximas a situação real, definiu-se uma curva de demanda de carga para tal estudo. A Figura 6, mostra três curvas de carga, sendo possível, de acordo com a conveniência, ajustá-la para qualquer valor ou forma, apenas variando a tensão de controle V_{CLP} . Pode-se observar a grande vantagem da utilização deste dispositivo usado como carga. Na verdade pode-se representar uma vasta gama de comportamentos diferentes.

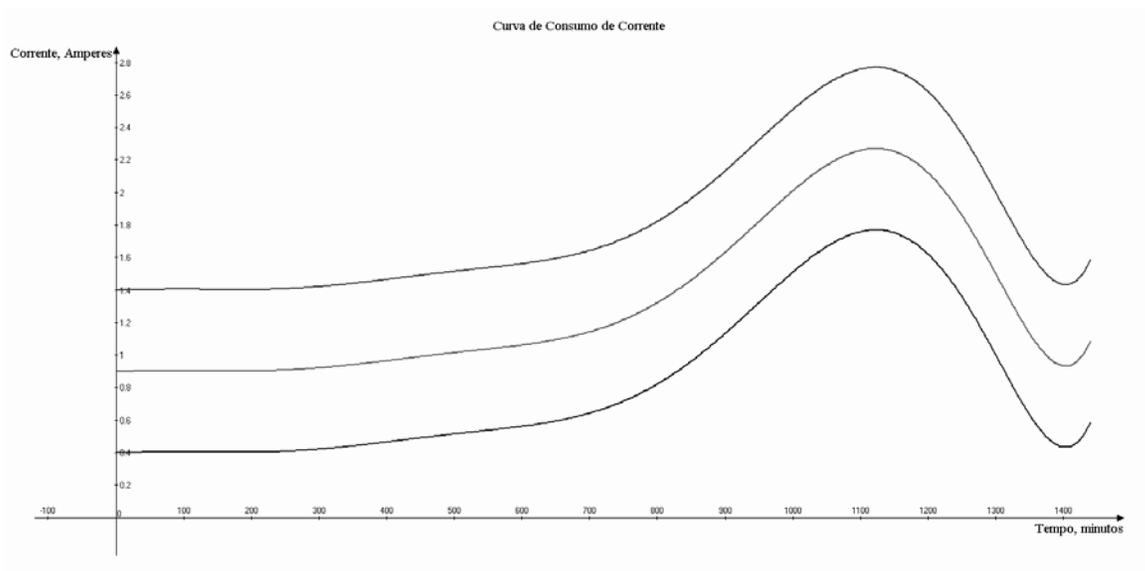


Figura 6 – Exemplo de curvas da carga dinâmica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados alguns resultados que irão permitir a análise e a melhor compreensão do comportamento do sistema de armazenamento, que consiste de baterias de chumbo-ácido, utilizados em duas configurações distintas. Serão sempre destacados os resultados obtidos no sistema móvel, em oposição ao sistema fixo. A partir dessa análise, será discutida a diferença de comportamento entre ambos.

Os resultados experimentais abrangeram um período de seis meses de coleta dos dados. Inicialmente apresentam-se os resultados obtidos, num dia de análise, para o comportamento de funcionamento da bateria utilizada nesse trabalho. No final deste tópico apresenta-se um resumo dos resultados obtidos para todo período de análise.

A Figura 7, no lado esquerdo, mostra a tensão nos terminais da bateria, ligadas a duas cargas de mesmo comportamento. O período de coleta era das 7h00 até as 19h00. No lado direito da Figura 7, mostra o comportamento da bateria para o mesmo caso 1 em análise. É possível observar nesta figura, que tanto em termos de tensão elétrica, como corrente, que a bateria ligada na configuração móvel, sempre apresentou maiores valores, quando submetidos à mesma situação de corrente de carga.

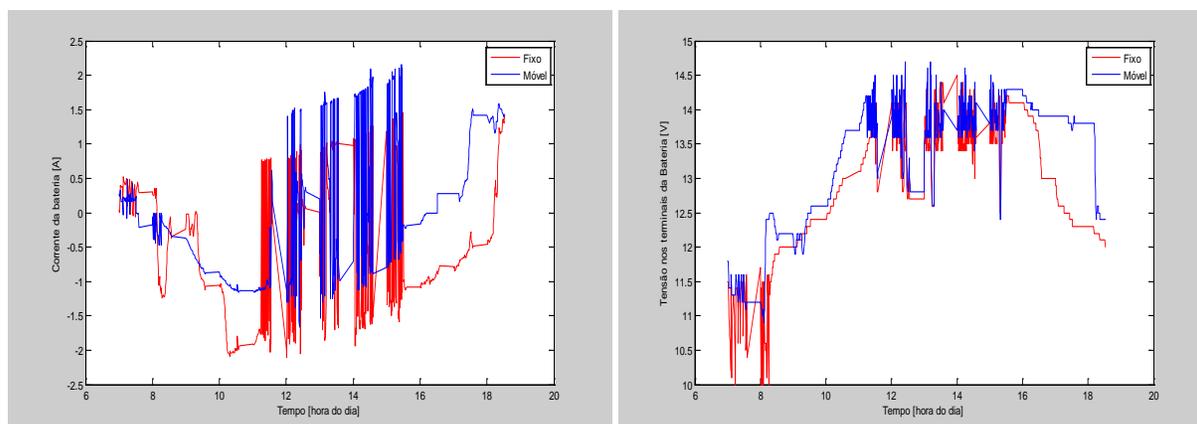


Figura 7 – Tensão nos terminais e corrente na bateria.

As condições de radiação de temperatura são apresentadas no lado direito na Figura 8, e como em todos os resultados aqui apresentados, sempre considera-se os dois sistemas, fixo e móvel.

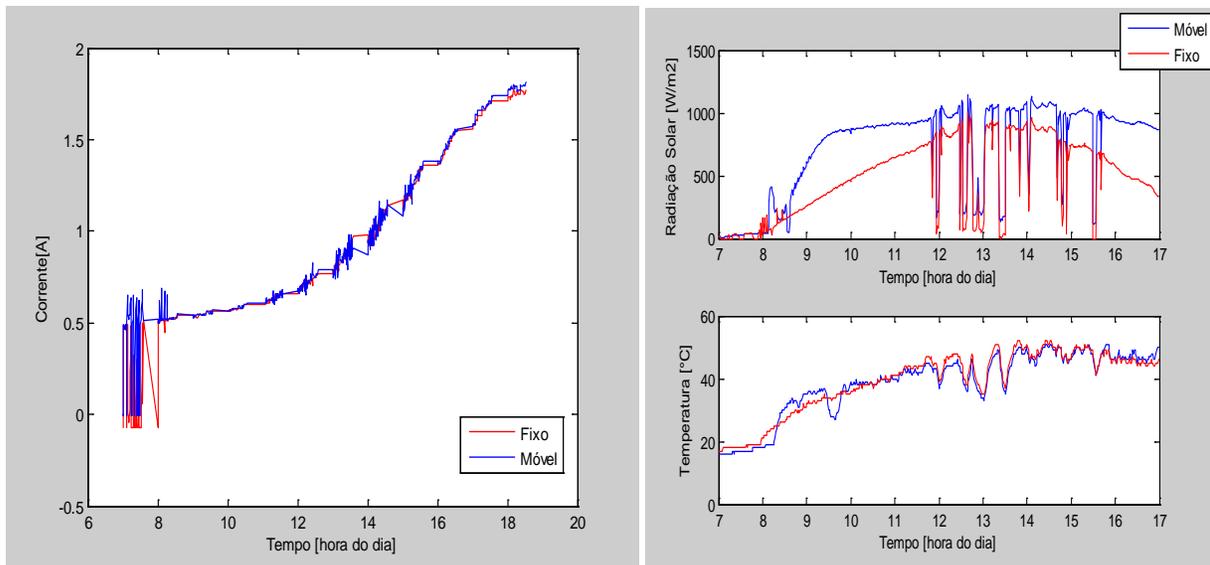


Figura 8 – Corrente na Carga Dinâmica e Radiação solar e Temperatura nos painéis.

Na Figura 9, apresentam-se os gráficos da potência na bateria de forma separada. No lado esquerdo temos a potência positiva das duas baterias, ligadas no fixo e móvel. Esta potência positiva representa a situação quando a bateria transfere a potência para a carga. Enquanto isso, no lado direito, mostra-se a potência negativa, condição em que a bateria está consumindo potência.

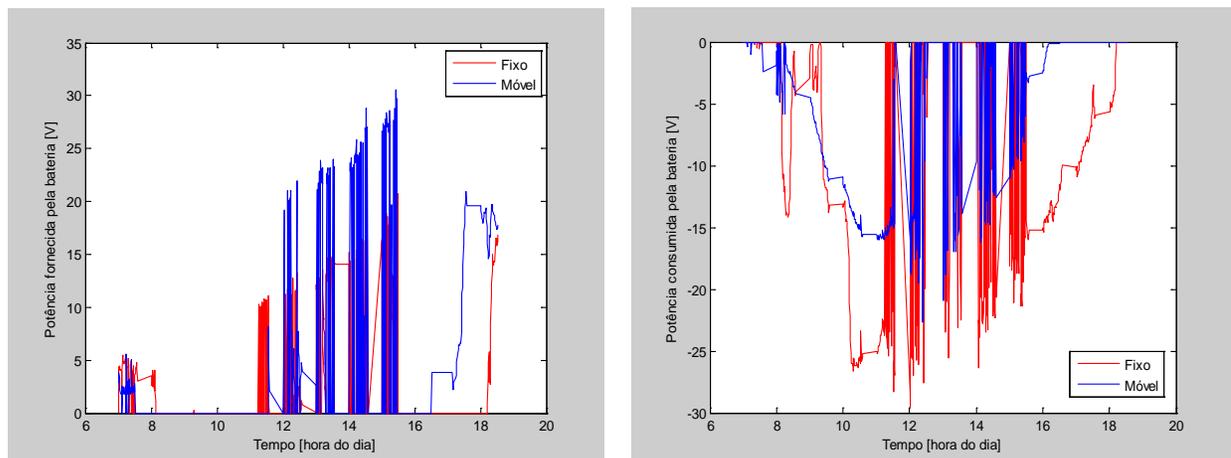


Figura 9 – Potências fornecidas e consumidas pela bateria nos dois sistemas.

Para uma análise em termos de energia, aplicou-se a integral no tempo para esses comportamentos da potência em todas as situações. A Tabela 1, apresenta os resultados para a energia. Pode-se observar que a bateria no sistema móvel forneceu mais energia e consome menos para as mesmas condições de funcionamento.

Tabela 1 – Energia Gerada/Consumida nas baterias dos dois sistemas.

	Fixo	Móvel	Diferença-Percentual de energia Móvel/Fixo(Ref. Fixo)
Energia Gerada (W.h)	32,70	48,62	48,66
Energia Consumida (W.h)	102,94	63,04	-38,76

Finalizando essa discussão, apresenta-se na Tabela 2, os valores médios obtidos para todos os dados coletados nessa montagem. Em termos de tensão nos terminais na bateria, os valores coletados apontam que a tensão na bateria ligada ao sistema móvel uma tensão 8,38% superior à ligada ao sistema fixo. Com relação a potência entregue pela bateria a carga, tem-se que no caso do sistema fixo uma potência 16,5% menor que aquela suprida pela bateria ligado ao sistema móvel.

Para a análise de energia, é importante destacar que, quando a bateria efetivamente funcionou como um gerador, a bateria do sistema móvel forneceu 36% mais energia que o caso fixo. Já para a situação em que a bateria se comportava como uma carga, ou seja consumia energia, a bateria ligada ao sistema fixo demandou 32,83% menos que aquela ligada ao sistema fixo.

Na Tabela 3, apresentam-se os valores da energia gerada/consumida nos dois sistemas como também a radiação solar média nos painéis dos dois sistemas relacionados com as condições de nebulosidade. Com base na análise do banco de dados coletados, procurou-se separar em três situações distintas de nebulosidade, alta, média e baixa nebulosidade. A situação de alta, aconteceu em dias nublados e chuvosos, no caso de média nebulosidade, considerou-se os dias com a presença de nuvens em determinados momentos, mas com vários períodos sem essa interferência. A última condição se refere a dias em que pouca ou nenhuma perturbação interferiu na captação da energia solar.

Tabela 2 – Valores médios obtidos e calculados neste trabalho.

	Energia Gerada (W.h)	Energia consumida (W.h)	Potência Média (W)	Tensão Média Bateria (V)
Painel Fixo	50,02	71,33	3,38	12,29
Painel Móvel	68,05	47,91	2,90	13,32

Tabela 3 – Relação da energia e radiação média com a nebulosidade para ambos painéis.

	Energia Gerada (W.h)	Energia consumida (W.h)	Nebulosidade	Radiação Média (W/m²)
Painel Fixo	58,23	67,69	Baixa	370.25
Painel Móvel	66,59	49,37	Baixa	552.44
Painel Fixo	73,40	61,34	Média	490.83
Painel Móvel	103,54	42,32	Média	722.12
Painel Fixo	80,02	54,33	Alta	555,61
Painel Móvel	114,89	34,62	Alta	837,65

4 CONCLUSÕES

É de amplo conhecimento, que a bateria de um sistema Fotovoltaico, é uma parte integrante fundamental, principalmente por suprir energia em condições meteorológicas desfavoráveis e também na situação da ausência total de insolação.

Por sua importância, é fundamental que este componente trabalhe nas condições mais favoráveis possíveis, para garantir o melhor suprimento de energia, como também aumentar sua vida útil.

As condições para alcançar esses objetivos foram colocadas na parte introdutória deste trabalho, onde ressalta-se que a tensão de operação da bateria, corrente de carga e descarga da bateria são fatores determinantes para manter a boa saúde da bateria

A proposta do desenvolvimento de uma carga eletrônica dinâmica demonstrou ser bastante acertada, uma vez que foi possível obter resultados em situações bem próximas de uma utilização real do sistema proposto.

Pôde-se observar ao final da apresentação desses resultados, que a bateria do sistema móvel foi capaz de dispor 36% mais energia para a carga, do que aquela ligada ao sistema fixo. Enquanto que a mesma consumiu cerca de 32% a menos quando em condição de carga. Este comportamento foi uma condição extremamente positiva para a bateria, porque preservou um melhor estado de carga.

Resultados similares, sempre a favor da bateria ligada ao sistema móvel, também foram encontrados para os outros parâmetros elétricos, tais como a potência e tensão nos terminais da bateria.

Através dos resultados colhidos, também foi possível distinguir as situações de funcionamento da bateria em condições distintas de inferências naturais, como nuvens e chuva, na captação da energia solar como também no funcionamento de todo o sistema.

No caso dos dias de baixa nebulosidade, a bateria ligada ao painel móvel forneceu 14,4% mais energia que àquela ligada ao fixo. Na mesma situação quando precisou ser carregada consumiu 27,1% a menos quando ligado ao móvel em relação a ligada ao fixo.

No caso dos dias de média nebulosidade, a bateria ligada ao painel móvel forneceu 41,1% mais energia que àquela ligada ao fixo. Na mesma situação quando precisou ser carregada consumiu 31,0% a menos quando ligado ao móvel em relação a ligada ao fixo.

E finalmente, nessa mesma linha de análise, no caso dos dias de baixa nebulosidade, a bateria ligada ao painel móvel forneceu 43,6% mais energia que àquela ligada ao fixo. Na mesma situação quando precisou ser carregada consumiu 36,3% a menos quando ligado ao móvel em relação a ligada ao fixo.

Com base nesses resultados é possível visualizar as condições de operações dos dois sistemas propostos em situações bastante distintas e reais.

Resultados similares, sempre a favor da bateria ligada ao sistema móvel, também foram encontrados para os outros parâmetros elétricos, tais como a potência e tensão nos terminais da bateria.

Portanto, as análises destes resultados comprovam a expectativa inicial, que o sistema de posicionamento automático permitiu que a bateria trabalhasse em condições mais favoráveis do que aquela ligada ao sistema fixo. Dessa forma, é possível manter a bateria com mais carga, mesmo em situações meteorológicas adversas. Isto poderia proporcionar aumento da vida útil da bateria. No entanto, a confirmação dessa última suposição requer pesquisa adicional.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro, e à direção da FE/UNESP-Bauru, pela cessão do espaço para instalação dos equipamentos.

6 REFERÊNCIAS

ALMINAUSKAS, V. Performance evaluation of lead acid batteries for use with solar panels. In: PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, 1993, Louisville. **Anais...** Louisville: IEEE. 1993. p.1258-1263.

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos**. 2008. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia)–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

CASTANER, L.; SILVESTRE, S. **Modelling photovoltaic systems using pSpice**. West Sussex: Wiley, 2003. 358 p.

CHAN, H. A new battery model for use with battery energy storage systems and electric vehicles power systems. In: POWER ENGINEERING SOCIETY WINTER MEETING, 2000, Singapura. **Anais...** Singapura: IEEE, 2000. v. 1, p.470-475.

IEEE. **Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications: IEEE Std 1188-2005 (Revision of IEEE Std 1188-1996)**. Piscataway:2006.

IEEE. **Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems: IEEE Std 1013-2007 (Revision of IEEE Std 1013-2000)**. Piscataway: 2007.

KIEHNE, H. **Battery technology handbook**. 2. ed. Rennigen-Mashein: CRC, 2003. 565 p.

LINDEN, D.; REDDY, T. B. **Handbook of batteries**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2002. 731 p.

MAYER, D.; BISCAGLIA, S. Modelling and analysis of lead acid battery operation. In: TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE, 11., 1989, Florença. **Anais...** Florença: IEEE, 1989. v.2, p.23.3/1-23.3/6.

MCDOWALL, J.; NORMAN, S.; RAFTER, E. Maintaining the health of stationary battery systems. In: POWER ENGINEERING SOCIETY SUMMER MEETING, 2001, Vancouver. **Anais...** Vancouver: IEEE, 2001. v. 3, p. 1817-1819.

MCNUTT, P. ET AL. Procedures for determining the performance of stand-alone photovoltaic systems. In: PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, 2000, Anchorage. **Anais...** Anchorage: IEEE, 2000. p. 1556-1559.

MIN, CHEN; RINCON-MORA, G. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance. **Energy Conversion, IEEE Transactions On**, Piscataway, v. 21, n. 2, p. 504-511, 2006.

ROBBINS, T.; HAWKINS, J. Battery model for overcurrent protection simulation of DC distribution systems. In: TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE, 16., 1994, Vancouver. **Anais...** Vancouver: IEEE, 1994. p.307-314.

SALAMEH, Z.; CASACCA, M.; LYNCH, W. A mathematical model for lead-acid batteries. **Energy Conversion, IEEE Transaction On**, Piscataway, v. 7, n. 1, p. 93-98, 1992.

SANIDAD, L. et al. Effect of on/off charge controller on stand-alone PV system performance. In: ENERGY CONVERSION ENGINEERING CONFERENCE AND EXHIBIT, 35., 2000, Las Vegas. **Anais...** Las Vegas: IEEE, 2000. v. 2, p.1497-1501.