



DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA UMA RESIDÊNCIA ISOLADA DA REDE ELÉTRICA

Letícia Cury Souto¹; Antônio Manoel Batista da Silva²; Guilherme Henrique Bernardes Cunha³

¹Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba – Minas Gerais

²Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba - Minas Gerais e Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos - São Paulo

*³Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – Minas Gerais
leticia_engeletica@hotmail.com; guilhermehbcunha@gmail.com*

Resumo

A utilização da energia elétrica se tornou essencial para a qualidade de vida das pessoas e desenvolvimento de qualquer país. Porém, por serem regiões afastadas existem locais que não recebem este recurso por meio das redes de distribuição das concessionárias de energia. Assim, em busca de produzir a própria eletricidade nessas localidades, podem ser utilizadas várias fontes alternativas. Contudo, considerando a irradiação solar no país, a alternativa proposta de geração para uma residência isolada é a fonte fotovoltaica. Neste contexto, para o presente trabalho o objetivo é avaliar a viabilidade da geração elétrica solar autônoma e dimensionar um sistema para a demanda de 88,8 kWh/mês. Para ser realizado, foi necessário um estudo pertinente ao local, a fim de analisar as características do potencial energético solar. Para desenvolver o projeto, foram levantadas as cargas da instalação. Foi avaliada e considerada a utilização de módulos de 260 W no projeto, muito embora, eles não sejam muito utilizados em sistemas autônomos. Os módulos foram dimensionados pelo método de insolação. Em seguida, foram especificados o banco de baterias, o controlador de cargas e o inversor de frequência. Os resultados obtidos com os cálculos realizados foram expressos em tabelas, seguidos das configurações. Depois de estabelecidos os equipamentos do sistema, a capacidade de geração de energia foi analisada e seu custo de implantação elaborado. Com a realização desses procedimentos, pôde-se constatar que a energia gerada atende a

demanda da casa e garante uma autonomia de três dias.

Palavras-chave: Sistema Autônomo. Energia Renovável. Sistema Fotovoltaico.

1 Introdução

O sistema isolado da rede, ou autônomo, é aquele que não possui acesso ao fornecimento de energia elétrica pelas concessionárias. Um dos principais motivos da indisponibilidade de conexão é a distância entre a unidade consumidora e as linhas de distribuição.

Em locais remotos como comunidades afastadas, residências em zonas rurais e ilhas, muitas vezes o investimento para levar a rede elétrica é economicamente inviável para a concessionária. Assim, a geração distribuída, utilizando-se fontes alternativas, tem sido considerada para atender à necessidade local de energia elétrica.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2014), uma tendência de geração de energia elétrica por fontes renováveis é verificada. A geração próxima ao centro de consumo reduz o carregamento das redes, as perdas e investimentos na expansão do sistema interligado.

O Brasil é um país tropical, com sol em abundância, portanto, utilizá-lo para produzir energia é uma boa opção, pois é totalmente natural e inesgotável. Além disso, a geração fotovoltaica apresenta grandes vantagens como a baixa manutenção dos equipamentos, a

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

inexistência de ruídos e a baixíssima poluição ambiental.

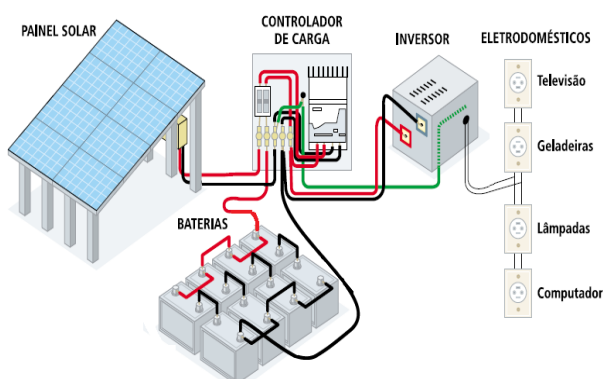
A energia solar fotovoltaica utiliza diretamente a luz do sol para gerar eletricidade. A possibilidade de produzir energia no período de sol e armazená-la para uso a noite torna esta alternativa viável em locais remotos.

Neste contexto, o intuito deste trabalho é demonstrar a viabilidade de produzir energia para residências situadas em área sem acesso à rede. Para isso, foi avaliado e dimensionado um sistema de geração fotovoltaica capaz de suprir a necessidade básica de consumo no local.

2 Composição do sistema fotovoltaico

Para aplicações isoladas da rede o sistema é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos, banco de baterias, controlador de carga e inversor de frequência. Esses equipamentos são conectados conforme esquema de ligação da figura 1.

Figura 1 – Composição de um sistema fotovoltaico isolado



Fonte: Adaptado de ANEEL: Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2005, p. 37).

Segundo Varella e Gomes (2009), o painel solar é capaz de gerar energia elétrica utilizando a luz do sol, por meio do efeito chamado fotovoltaico. Este efeito acontece quando os raios solares incidem sobre o painel, provocando certa movimentação dos elétrons do silício, material semicondutor que a compõem. Esta movimentação dos elétrons

produz uma diferença de potencial ou tensão elétrica nos terminais do painel.

Uma forma comum de armazenar energia e manter o fornecimento contínuo aos equipamentos é por meio de baterias. A energia gerada no painel solar é capaz de suprir o consumo durante o período de geração. E simultaneamente, carregar as baterias para utilização da eletricidade no período de ausência de sol.

Para Vera (2004), O controlador de carga faz a interligação entre os painéis, as baterias e o inversor de frequência. Ele é responsável por regular a tensão nas baterias para que a energia gerada nos painéis não as sobrecarreguem, e também, para que a corrente drenada pelo do inversor não as descarreguem além dos limites permitidos. Desta forma, a atuação do controlador prolonga a vida útil das baterias, tornando-se uma vantagem o seu emprego em sistemas isolados.

A energia gerada nos módulos e armazenada nas baterias é na forma de onda contínua. Ela precisa ser convertida em alternada no nível de 127 ou 220 V com 60 Hz de frequência, para atender o padrão de alimentação dos eletrodomésticos da residência. Por meio do inversor de frequência é possível fazer esta conversão (PINHO; GALDINO, 2014).

Geralmente, os módulos fotovoltaicos utilizados em sistemas autônomos são de potência de 140 W. A tensão de saída (18 Vcc) deles é menor do que em módulos de 260 W (30 Vcc). Isso implica diretamente na escolha do controlador de carga, tendo em vista que a maioria dos modelos de mercado é fabricada para operar com a faixa de tensão menor.

A fim de otimizar a área de utilização do telhado, o sistema foi dimensionado com painéis de 260 W. Portanto, o controlador de carga foi dimensionado para atender a tensão do painel.

Os controladores mais sofisticados que utilizam o rastreamento do ponto de máxima potência, em inglês: *Maximum Power Point Tracker* - MPPT, possibilitam a conexão com painéis de 260 W. Além disso, ele otimiza o

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

carregamento da bateria e melhora a eficiência do painel solar.

O painel solar usado neste projeto é o modelo CS6P-260 do fabricante *Canadian Solar*. Os dados do catálogo informam a potência nominal máxima na temperatura nominal de operação da célula, em inglês: *Nominal Operating Cell Temperature* – NOCT de 189 W, a eficiência de 16,47%, a área de 1,6 m².

A bateria estacionária pode operar com descargas profundas e suporta muito mais ciclos de carga e descarga comparada com a automotiva, resultando em uma vida útil maior. A bateria mais empregada em sistema fotovoltaico autônomo é a de chumbo ácido com eletrólito líquido (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A bateria estacionária com eletrólito em gel apresenta algumas vantagens em relação à bateria de eletrólito líquido. Ela possui vida útil ainda maior, suporta maior quantidade de ciclos e pode ser instalada em local com pouca ventilação. Por estes diferenciais, ela é conveniente ao sistema.

A bateria empregada nesta aplicação é o modelo DF4001 do fabricante *Freedom*. Ela tem capacidade de 240 Ah em operação de 100 horas com a temperatura de 25°C, e permite uma profundidade de descarga de 40%. A tensão de uma bateria é 12 Vcc. A tensão do banco foi determinada em 24 Vcc para se adequar aos módulos.

Em dias nublados e de pouca irradiância solar, a geração de energia é menor. Contudo, a capacidade de armazenamento das baterias deve garantir o fornecimento de energia à residência mesmo sem produção de eletricidade. Por este motivo as baterias foram dimensionadas para dar uma autonomia de três dias à instalação.

A residência estudada situa-se em uma região fora do centro urbano desprovida de redes de distribuição. Localiza-se no estado de Goiás, próxima ao município de Formosa compreendida nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 15,391417° sul e longitude 47,471583° oeste.

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB, os dados oriundos de medições para as coordenadas da localidade, apresentam o valor médio mensal da irradiação solar diária de 5,04 kWh/m²/dia no plano inclinado (SUNDATA, 2015).

É possível obter outro dado relevante sobre a localidade da instalação por meio do mapa solarimétrico. De acordo com a ANEEL (2005), o tempo médio anual de insolação solar diária na região é de 6 horas por dia.

Além destes dados, uma premissa fundamental para o dimensionamento do sistema é o consumo da instalação. Para obter a demanda de energia que a residência necessita é realizada uma estimativa de consumo da instalação. A tabela 1 apresenta a relação de cargas previstas e seus consumos diários:

Tabela 1 – Cargas elétricas da residência

Carga	Pot. (W)	Horas de uso diário	Consumo diário (KWh)
Freezer	140	10	1,40
Geladeira	70	10	0,55
TV (21")	65	4	0,26
6 Lâmpadas	150	5	0,75
Consumo Diário (KWh/dia):			2,96
Consumo Mês (KWh/mês):			88,80

Fonte: Acervo dos autores, 2015

Para a tabela de cargas apresentada, é necessário dimensionar os painéis e o banco de baterias capaz de suprir a demanda de energia da instalação.

3 Resultados

Considerando as características dos equipamentos, os dados peculiares da localidade e o consumo da residência é preciso dimensionar os componentes do sistema.

Para calcular a energia produzida por módulo utilizando o método da insolação, consideram-se os valores mensais de irradiação oriundos do CRESESB, os dados de

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

eficiência e área do fabricante. Por meio da equação 1, determina-se esta geração.

$$Ep = \text{dias} \times \text{irradiação diária} \times \text{área módulo} \times \text{eficiência do módulo} \quad (1)$$

Os valores obtidos mês a mês pela equação 1 são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Método de insolação

Mês	Dias	Irradiação	Geração
		Diária (kWh/m ²)	Energia módulo (kWh - mês)
JAN	31	4,73	38,64
FEV	28	4,7	34,68
MAR	31	5,35	43,70
ABR	30	5,02	39,69
MAIO	31	5,16	42,15
JUN	30	4,75	37,55
JUL	31	5,68	46,40
AGO	31	6,08	49,67
SET	30	5,19	41,03
OUT	31	4,96	40,52
NOV	30	4,48	35,42
DEZ	31	4,41	36,03
Média		5,04	40,46

Fonte: Acervo dos autores, 2015

Considerando o consumo mensal da residência, calcula-se o número de painéis necessários utilizando a equação 2.

$$N = \text{Consumo Mês} / Ep \quad (2)$$

Os valores resultantes para o número de painéis é apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Composição dos módulos

Demanda Mensal (kWh/mês)	88.800
Energia produzida (Wh)	40.456
Número de módulos	2,19

Fonte: Acervo dos autores, 2015

Por meio da tabela 3, obteve-se a quantidade mínima para atender o sistema e foi determinado o uso de três painéis ligados em série.

Para dimensionar a capacidade do banco de baterias foi considerada a autonomia de três dias e a profundidade de descarga de 40%. De acordo com a energia armazenada, é possível obter a capacidade de carga por meio da equação 3.

$$C_{\text{banco}} = (\text{consumo dia} \times \text{autonomia}) / \text{Profundidade descarga} / V_{\text{banco}} \quad (3)$$

Os resultados oriundos da equação 3 são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Capacidade de Carga

Energia consumida diária (Wh)	2960
Dias de autonomia	3
Profundidade descarga (%)	0,4
Vbanco (V)	24
Capacidade do banco (Ah)	925

Fonte: Acervo dos autores, 2015

Encontrada a capacidade de carga que o banco deve suportar dentro dos critérios estabelecidos, determina-se o número de baterias em paralelo pela equação 4.

$$NBP = C_{\text{banco}} / C_{\text{bat}} \quad (4)$$

A quantidade de baterias em paralelo é expressa por intermédio da tabela 5.

Tabela 5 – Composição do arranjo em paralelo

Capacidade carga banco (Ah)	925
Capacidade carga bateria (Ah)	240
Núm. baterias em paralelo	3,85

Fonte: Acervo dos autores, 2015

A quantidade de baterias ligadas em série é definida pela equação 5.

$$NBS = V_{\text{banco}} / V_{\text{bat}} \quad (5)$$

O número obtido de baterias em série é apresentado na tabela 6.

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

Tabela 6 – Composição do arranjo em série

Vbanco (V)	24
Vbat (V)	12
Núm. Baterias em série	2

Fonte: Acervo dos autores, 2015

De acordo com os resultados das tabelas 5 e 6, define-se a quantidade de oito baterias.

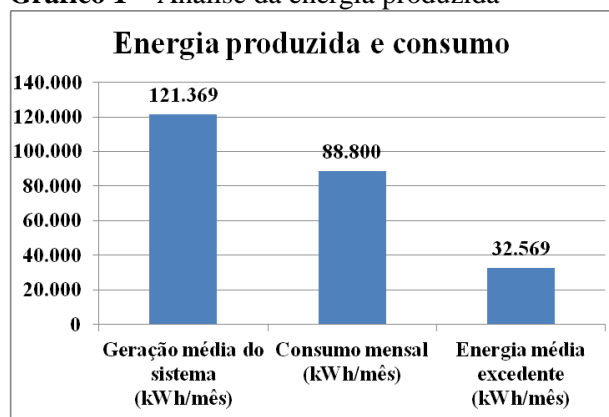
O sistema com três módulos instalados de 260 Wp atinge uma potência de 780 Wp. Adotada a configuração em série, a tensão solar de saída dos módulos é 90 Vcc e a corrente 8,43 A.

Conforme estabelecidos os painéis e baterias, define-se o controlador de carga adequado. O modelo adotado é o Tracer-4210RN da EP Solar. Ele é provido da tecnologia MPPT e suporta até 100 Vcc de tensão solar na entrada. Em banco de baterias com tensão de 24 Vcc, ele opera com até 1.000 W de potência.

Em função da potência de saída dos módulos, definiu-se o inversor de frequência de 1000 W, modelo SR-1000-V-24V do fabricante *Sunrise*. A razão da escolha se deve as características de operar com a tensão do banco de baterias de 24 Vcc, fornecer 220 Vca e drenar uma corrente de até 80 A. Deste modo, ele satisfaz as condições do sistema.

De acordo com sistema estabelecido, é realizada uma análise da capacidade média de geração de energia elétrica. Pôde-se comparar a capacidade de geração com o consumo da residência por meio do gráfico 1.

Gráfico 1 – Análise da energia produzida



Fonte: Acervo dos autores, 2015

Para avaliar o custo da instalação do projeto, obtiveram-se os valores dos equipamentos, sendo que a mão de obra de execução foi a do próprio morador beneficiado pela implantação. Com isso, o valor despendido nesta solução foi apenas o de aquisição dos componentes. Estes são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Levantamento de custos

Item	Valor Total
3 - Módulos 260 Wp	R\$ 3.348,00
8 - Baterias 240 Ah	R\$ 9.744,00
1 - Controlador 1.000W	R\$ 1.141,00
1 - Inversor 1.000W	R\$ 928,00
Outros	R\$ 2.137,36
Custo total	R\$ 17.298,36

Fonte: Acervo dos autores, 2015

Com relação à vida útil dos equipamentos, o fabricante dos módulos garante 25 anos de produção de 80% da capacidade de geração delas. O banco de baterias deverá suportar 5 anos de operação. Considerando a substituição das baterias a cada 5 anos, em 25 anos de operação o sistema custa mensalmente R\$ 187,58.

4 Discussão

O sistema estabelecido tem capacidade de produzir em média de 121,36 kWh/mês e o consumo mensal previsto para a residência é de 88,8 kWh/mês. Portanto, há uma capacidade média de geração de 32,56 kWh/mês acima da demanda prevista. Em função da variação mensal da irradiação solar, esta capacidade de geração além do presumido atenderá a demanda nos meses de menor irradiação solar.

De acordo com o custo apresentado para aquisição dos equipamentos, tornou-se economicamente viável a execução do projeto. Além disso, tendo em vista, o conforto e a qualidade de vida que a energia traz aos moradores da residência a viabilidade do projeto é ampliada em termos gerais.

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015**5 Conclusão**

Com a realização do trabalho, foi possível demonstrar os critérios de projeto e a possibilidade de utilização de módulos solares de 260 W em sistema isolado.

Pode-se inferir que o sistema dimensionado é capaz de suprir a demanda de energia da instalação estudada considerando os aspectos de irradiação local, tamanho e eficiência do módulo, autonomia de três dias e 40% de ciclos de descarga.

Sendo assim, comprova-se que é possível a aplicação da geração de energia fotovoltaica autônoma em locais desprovidos de acesso à rede elétrica.

Referências

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2 ed. Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>. Acesso em: 12 Set. 2015.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. Brasília: ANEEL, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em: 03 Out. 2015.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL, DTE, CRESESB, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 14 Set. 2015.

SUNDATA. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 12 Set. 2015.

VARELLA, Fabiana K. de O. M.; GOMES, Rodolfo D. M. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: Panorama da atual legislação**. Campinas: Pro Cobre, 2009. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf>. Acesso em: 03 Out. 2015.

VERA, Luís Horácio. **Programa computacional para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2004. 187 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2012.