

Sizing calculations for a photovoltaic generator system

Matheus Fellipe da Silva Lima

Depart. de Eng. Elétrica

Instituto Federal do Paraná - Paranavaí

Paranavaí, PR, Brasil

matheus_fellipesl@hotmail.com

Abstract—With the decrease in the height of rivers, the main electromotive source in Brazil is having a great reduction in its supply, causing an increase in the amount charged per kWh. With the electricity bill becoming more and more expensive, other alternative sources of energy are being sought, one of which is the installation of solar plants, which, in addition to using a renewable source, also generate a long-term financial return for the consumer. The objective of this work is to monitor the dimensioning of one of these plants, from the analysis of the energy bill, the dimensioning of a system to supply the demand and, finally, the calculation of the return on investment.

Index Terms—Renewable Energies, Electrical Project, Economy, Investment.

I. INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é predominantemente não renovável e baseada em derivados de petróleo. As reservas de petróleo são recursos naturais que se esgotam e seus derivados emitem gases poluentes durante o processo de combustão. No Brasil, a matriz energética é baseada em quatro sistemas principais: petróleo (36,4%), derivados da cana (17%), gás natural (13%) e água (12%). Embora as hidrelétricas utilizem fontes renováveis de energia, as inundações em suas áreas de implantação têm grande impacto no meio ambiente e na sociedade.

Além disso, o setor de energia do Brasil também enfrenta problemas de forte demanda e oferta insuficiente de energia, o que desencadeou crises como o "apagão" de 2001, e problemas frequentes nos horários de pico da demanda. Somado a isto, a disposição geográfica do consumo de energia elétrica tem nos aglomerados urbanos os grandes consumidores, pois estes detêm a maior parte do consumo dos setores residencial, comercial e público, e ainda alguma parcela dos consumos industriais. Contudo, as principais centrais geradoras de energia brasileiras (hidrelétricas) estão localizadas em pontos específicos do país, o que exige uma complexa rede nacional de transmissão e distribuição de energia elétrica para que essa chegue às cidades. Assim, os custos de geração das grandes hidrelétricas acabam aumentando se considerados os custos de instalação e de manutenção das linhas de transmissão, bem como as perdas características deste sistema elétrico. [1]

Diante dessas adversidades do setor energético, buscaram-se alternativas para minimizar os impactos ambientais e garantir

o fornecimento adequado de energia a toda população. Nesse sentido, estudos são conduzidos na busca por fontes alternativas de energia, propondo o uso de tecnologias diferenciadas, com baixo impacto à natureza. A geração fotovoltaica é uma forma de obter energia limpa, utilizando-a diretamente radiação solar. Portanto, o uso desta tecnologia permite gerar energia a partir de forma sustentável e se apresenta como uma solução para os problemas de energia atualmente. Os sistemas fotovoltaicos já estão tecnologicamente disponíveis para sua disseminação no mercado. Em alguns países europeus, como a Alemanha, esses sistemas já estão em utilização há cerca de 30 anos, apresentando durabilidade e confiabilidade de geração [1]

II. ENERGIA SOLAR

O aproveitamento da energia solar pode ser realizado diretamente para iluminação, aquecimento de fluidos e ambientes ou ainda para geração de potência mecânica ou elétrica, como fonte de energia térmica. A energia solar pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica por meio de efeitos sobre materiais, dentre os quais o termoelétrico e fotovoltaico [2]. A utilização do sol para gerar energia elétrica proporciona diversos benefícios, tanto do ponto de vista elétrico como ambiental e socioeconômico.

O Brasil além de receber em torno de $4,44 \text{ kWh/m}^2$ até $5,48 \text{ kWh/m}^2$, tem sua insolação diária média anual de até 8 horas dependendo da região. [2]

A. Energia Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica, pode ser definida como a eletricidade produzida a partir da radiação solar e representa um importante tipo de energia limpa e renovável. Quanto maior for a radiação solar, maior será a quantidade de eletricidade produzida. A energia fotovoltaica também pode ser gerada mesmo em dias nublados ou chuvosos, no entanto em menor intensidade. A luz do Sol é absorvida pelas células fotovoltaicas, pequenas estruturas que formam os módulos solares que são afixados em locais onde haja incidência solar.

III. DIMENSIONAMENTO DE UMA UNIDADE GERADORA

O objetivo deste trabalho é descrever matematicamente os processos necessários para o dimensionamento de uma

unidade geradora fotovoltaica das modalidades tarifárias A e B, para isso deve se atentar nas informações fornecidas pelas tarifas de energia.

IV. ANÁLISE DA TARIFA DE ENERGIA

A. Grupo A

Analisando a tarifa de energia da UC observa-se o consumo do grupo A, que tem duas tarifas a serem consideradas no dimensionamento, a tarifa de ponta e a tarifa fora ponta. Para dimensionar o consumo total deve se usar a seguinte fórmula:

$$ct = \left(\frac{tP}{tFP} * cP \right) + cFP \quad (1)$$

onde:

ct - Consumo Total [kWh];

cP - Consumo Ponta[kWh];

cFP - Consumo Fora Ponta[kWh].

tP - Tarifa de Ponta[r\$];

tFP - Tarifa Fora Ponta[r\$].

B. Grupo B

Diferente do grupo A, o grupo B da modalidade tarifária tem a mesma cobrança de energia em horário integral, portanto temos que seu consumo total não precisa de coeficientes de correção de consumo de acordo com o período do dia, de maneira matemática, temos que:

$$ct = ct \quad (2)$$

V. DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para o cálculo do número de módulos fotovoltaicos a se utilizar, inicialmente deve se escolher o modelo e saber sua potência.

Após a escolha do módulo, deve se descobrir a taxa de irradiação solar diária média da cidade, esse dado pode ser obtido adicionando os dados de latitude e longitude do local escolhido no link a seguir:

Após a obtenção dos dados deve se calcular a geração diária de um módulo e em seguida converter para geração mensal multiplicando a potência pico do módulo pela irradiação solar média diária da região(Isd), e multiplicar por 0,75 para ser feita uma compensação de geração devido a fatores externos que ocasionam perdas, por exemplo a temperatura, acúmulo de sujeira, inclinação dos módulos e perdas no inversor, resultando na fórmula:

$$Geração\ mensal\ individual = P_{pico} * I_{sd} * 30 * 0,75 \quad (3)$$

Em seguida dividir o valor encontrado na geração mensal individual pelo valor encontrado no cálculo do consumo total.

$$\frac{Geração\ mensal\ individual}{consumo\ total} = Total\ de\ módulos. \quad (4)$$

O resultado do número total de módulos deve ser sempre arredondado para cima.

VI. DIMENSIONAMENTO DE INVERSOR

Após encontrado o número de placas, deve se selecionar um ou mais inversores que suportem a potência fornecida.

Ao associar vários módulos é somada a sua potência, porém cada inversor tem uma potência máxima de operação, a mesma é especificada em seu datasheet. portanto ao ser feita a somatória das potências de placa.

$$P_{total} = \sum_{P=1}^n P1 + P2 + P3... + Pn \quad (5)$$

Ao fazer essa soma, chegará a um número limite suportado pelo inversor, portanto, para encontrar o total de módulos fotovoltaicos a serem ligados no inversor, deve se usar a seguinte relação:

$$Total\ de\ módulos \leq \frac{P_{max}\ do\ inversor}{P_{max}\ do\ módulo} \quad (6)$$

Ambas informações podem ser encontradas nos *datasheets* dos mesmos.

A. Módulos por string

Cada entrada do inversor suporta uma tensão máxima em CC, para encontrar essa tensão deve se usar a equação:

$$Total\ de\ módulos\ em\ serie \leq \frac{V_{max}\ da\ entrada\ CC}{V_{max}\ do\ módulo} \quad (7)$$

VII. DIMENSIONAMENTO DE PROTEÇÕES

A. proteção CC

Cada associação de módulos contará com um par de conector CC do tipo MC4, chave seccionadora e ao menos 1 Dispositivo de Proteção contra surtos(DPS-CC) por MPPT.

B. proteção CA

A saída do inversor contará com um disjuntor capaz de suportar uma corrente maior fornecida pelo inversor, por exemplo, se o inversor produz uma corrente máxima de 36 ampéres, deve se usar um disjuntor de 40 ampéres, também deve se utilizar um DPS-CA por fase ou fazer o uso de um DPS multipolar em caso de inversores trifásicos.

VIII. CABEAMENTO

A. Cabo solar

Os cabos que compõem um sistema fotovoltaico apresentam características específicas para esse tipo de instalação, que são diferentes dos usados em instalações elétricas de baixa tensão. Escolher componentes adequados é fundamental para o melhor desempenho e maior vida útil. Por isso, é importante que os cabos atendam todas as normas técnicas da ABNT NBR 16690:

Apresentar dupla isolamento;

Não propagar chamas;

Proteção contra radiação UV;

Próprios para corrente contínua;

Tensão de isolamento ser maior ou igual à de aplicação no

circuito;

Constituídos de cobre estanhado quando expostos a ambiente salino.

Os cabos também devem ser recobertos nas cores preta (negativo) e vermelha (positivo).

Para dimensionar o cabo, deve se considerar a distância de cada arranjo até o inversor(em metros), depois multiplicar pelo número de entradas, como tem o polo positivo e negativo deve se multiplicar por dois, sendo metade da metragem o cabo vermelho e outra metade cabo preto.

B. Cabo CA

Para dimensionar o cabo de corrente alternada na saída do inversor, e verificar como será feita a instalação. De acordo com esses dois dados obtidos deve se olhar na tabela 36 da NBR-5410 para se obter a seção mínima do cabo de fase. Em seguida

IX. RETORNO FINANCEIRO

A. Grupo A

Após a efetuação do orçamento dos materiais, projeto e instalação fornecidos por uma empresa do ramo, deve se calcular a tarifa de demanda contratada e multiplicar pela potência do inversor.

$$\text{tarifa de demanda} * \text{potencia de saída} = \text{valor de demanda} \quad (8) [1]$$

O valor acima é o custo da demanda contratada, esse custo não pode ser descontado da conta, caso a potência do inversor seja maior que a demanda contratada, é necessário pedir um aumento de demanda.

Em seguida calcular a energia que deixará de ser paga na fatura e multiplicar por sua tarifa.

$$(\text{consumo atual} - \text{geração}) * \text{tarifa} = \text{economia} \quad (9)$$

Com os resultados acima deve se considerar que nas futuras tarifas será cobrada apenas a taxa de demanda, calculando o tempo de retorno sob o valor investido temos a seguinte equação.

$$\frac{\text{valor investido}}{\text{economia} - \text{valor de demanda}} = \text{retorno} \quad (10)$$

Se obtem o retorno em meses ou se divide o resultado por 12 para obter o retorno em anos.

B. grupo B

O processo de cálculo do retorno de investimento do grupo B é mais simplificado do que o grupo A.

Inicialmente deve se calcular a energia que deixará de ser paga na fatura e multiplicar por sua tarifa.

$$(\text{consumo atual} - \text{geração}) * \text{tarifa} = \text{economia} \quad (11)$$

Com os resultados acima deve se considerar que nas futuras tarifas será cobrada a taxa de iluminação pública e a potência

mínima de cobrança, essa potência pode variar dependendo da região e do número de fases contratada(1,2 ou 3), calculando o tempo de retorno sob o valor investido temos a seguinte equação.

$$\frac{\text{valor investido}}{\text{economia} - \text{cobrança mínima} - \text{iluminação pública}} = \text{retorno} \quad (12)$$

X. CONCLUSÃO

Com o aumento da demanda de semicondutores no mercado, escassez de recursos e crescente aumento da tarifa de energia, mesmo com o investimento inicial em sua implantação de uma unidade geradora fotovoltaica residencial, industrial ou até mesmo para venda de energia ainda vem se mostrando um investimento de baixo risco e alto retorno a longo prazo, além de gerar economia para aquele que a implantou e também ser uma fonte energética renovável, pois apresentam processo de geração de eletricidade mais simples do que a obtenção de energia através de combustíveis fósseis, nucleares e hídricos. A sua utilização de forma distribuída apresenta as vantagens de redução de gastos com os sistemas de transmissão e distribuição, além de permitir desenvolvimento social para localidades não que não são beneficiadas com energia elétrica.

REFERENCES

- [1] Abreu, Samuel Luna de and others, Desenvolvimento de um sistema de aquecimento solar compacto utilizando termossifões bifásicos, Florianópolis, SC, 2003
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Atlas de Energia Elétrica do Brasil (Atlas of Electric Power of Brazil), ANEEL Brasília, 2005