

Exercício – Etapa 4

PEA 3100

Etapa 4 - Sistema fotovoltaico

Índice

1- Objetivo

Essa etapa do Seminário tem a função de realizar uma avaliação técnica-econômica da instalação de um sistema fotovoltaico na residência utilizada na etapa 2 dos exercícios e conectado na rede elétrica da Concessionária de Distribuição de Energia.

A instalação de fontes renováveis nas instalações dos consumidores de baixa tensão, em especial a solar fotovoltaica, é permitida desde 2012 com a criação da Resolução ANEEL 482 (abril de 2012).

Parte 1

2- Dimensionamento do projeto

Teoria:

Neste caso, a opção que será adotada será a de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

O sistema conectado à rede tem a seguinte configuração simplificada:

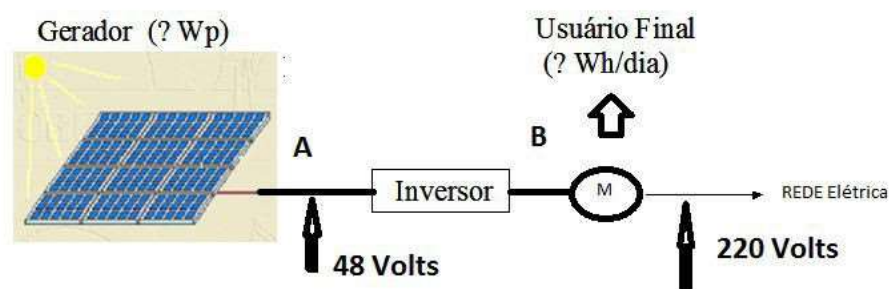


Figura 1

Gerador – Fonte de energia elétrica: conjunto de módulos fotovoltaicos ligados em um arranjo série-paralelo para fornecer a potência/energia necessária e nível de tensão CC requerida pelo inversor utilizado.

Inversor – Equipamento de condicionamento da potência : Converte a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos em voltagem CC (Corrente contínua) para voltagem CA (Corrente alternada) .

M – Medidor de energia elétrica bidirecional – mede a energia injetada e consumida da rede elétrica.

O sistema também conta com cabos (condutores elétricos que interligam os componentes do sistema), painel com chaves e disjuntores para acionamento e proteção do sistema.

Para o dimensionamento do sistema o aluno deverá recuperar da etapa 2, o **consumo diário de energia (Wh/dia)**.

Porquê etapa 2? Como sistemas fotovoltaicos ainda possuem um preço considerado alto, é importante que os mesmos sejam dimensionados considerando um consumo de energia mais eficiente.

A seguir apresenta-se um roteiro para dimensionamento do sistema

2.1) Passo 1: Recuperar consumo diário

Recuperar o consumo diário de energia (Wh/dia) da Etapa 2.

2.2) Passo 2: Radiação Solar

Acessar o site do Cresesb (Etapa 3) para verificar a radiação solar a ser utilizada de acordo com a localização da edificação.

Obs: Usar a radiação diária (kWh/m²) no plano inclinado com ângulo igual a latitude do local e média dos 12 meses.

<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>

2.3) Passo 3: Cálculo da energia que deve ser gerada

Para calcular a energia que o painel solar deve gerar (ponto A do sistema – figura 1) para atender o consumo diário de carga, a seguinte equação deve ser utilizada:

$$\text{Energia gerada} = \text{Consumo A} = \text{Consumo B} / (\eta_{\text{inversor}} \cdot (1 - \text{perdas nos condutores}))$$

- Utilizar para perda nos condutores = 3%.

2.4) Passo 4: Cálculo da potência necessária do painel solar (arranjo de módulos fotovoltaicos)

Para este cálculo é necessário conhecer a radiação solar diária levantada de acordo com as condições estabelecidas no ítem 2.2).

$$P(Wp) = \text{Consumo no ponto A} / NSP$$

Teoria: Número de horas de sol pleno

Número de horas de sol pleno (NSP) - O que vem a ser ?

Explicação está na figura 2:

Cálculo do número de horas de sol pleno (NSP)

Radiação diária média mensal = 4 kWh / m²

NSP = Reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m² de forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada para o dia em questão.

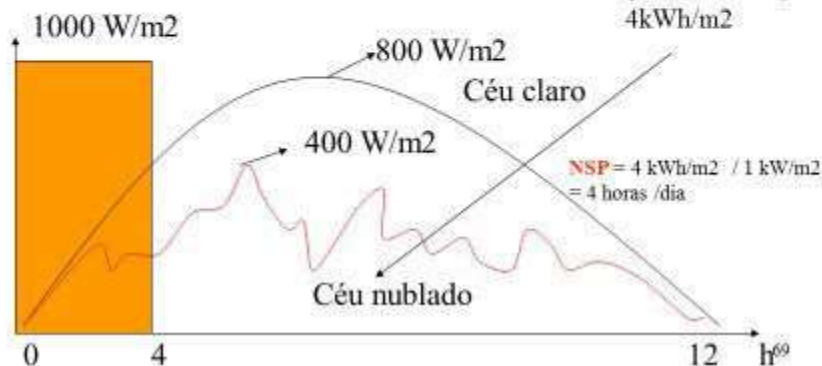


Figura 2

Assim sendo, a potência do painel é calculada na unidade Wp (Watts-pico).

Os **módulos fotovoltaicos são vendidos na potência Wp**, ou seja, um módulo de 100Wp significa que ele atinge esta potência quando a radiação solar atinge seu valor máximo ao meio dia (sol pleno – céu sem nenhuma nuvem) que é de 1000 W/m².

Em outras palavras.

Exemplo: Se a radiação solar diária (média dos 12 meses) utilizada foi 4 kWh/m². Isto é o mesmo que dizer 4 horas de 1000W/m² (sol pleno). Na prática foi visto que a potência (W/m²) instantânea da radiação solar varia ao longo do dia atingindo seu valor máximo ao 1/2 dia de 1000W/m². Baseado então em que valor de radiação (W/m²) é definida a potência do módulo comercialmente vendido e consequentemente a potência a ser instalada?

Os fabricantes escolheram a radiação de 1000W/m² (a máxima) para projetar o módulo.

Assim, quando a radiação atingir este valor o módulo gera sua potência máxima.

Ou seja um módulo de 300Wp atinge esta potência quando a radiação atingir 100W/m².

Nos demais horários em que a potência da radiação é menor, o módulo fornece uma potência menor.

2.5) Passo 5: Escolha do inversor

Escolha no mercado um inversor com potência **1,2 x potência máxima do arranjo fotovoltaico (Potência instalada)** . Se o *datasheet* do inversor fornecer a eficiência, tudo bem, se não, como informado acima, use o valor de 90%. O inversor deve ter uma tensão de entrada de 48Vcc (Claro. Sua entrada está ligada diretamente no painel solar) e uma saída de 220 Volts conforme indica o esquema.

É possível usar inversores de menor potência. Calcule quantos inversores irão precisar de forma a dar a potência total necessária . Liguem os mesmos em paralelo de tal forma que a voltagem de entrada do inversor não seja modificada.

2.6) Passo 6: Cálculo do número de módulos fotovoltaicos

- Em função da tensão da entrada do inversor e tensão do módulo, quantos módulos terão que ser colocados em série?

- Em função da potência instalada, quantos arranjos de módulos em série terão que ser colocados em paralelo?

Número total de módulos = Número de módulos em série X Número de arranjos em paralelos.

Exemplo: Sendo a tensão na entrada do inversor de 48 V, e a tensão do módulo escolhido 24 V. Serão ligados dois módulos em série.

Caso a Potência total em Wp necessária seja 900 W e o módulo escolhido de 300Wp, serão necessários comprar $900\text{Wp}/300\text{Wp} = 3$ módulos.

Como deverão ser ligados dois módulos em série para atingir a tensão necessária, então terão que ser adquiridos 4 módulos de 300Wp. Ou seja serão instalados dois arranjos paralelos de dois módulos em série.

Portanto a potência total instalada será de 4 módulos x 300Wp = 1200 Wp.

2.7) Passo 7 - Cálculo da área ativa dos módulos

Exemplo:

Cálculo da área ativa do módulo:

Equação para cálculo da área:

$$P(Wp) = \eta \times A \times 1000(W/m^2)$$

- η : rendimento do módulo
- A = área do painel em m^2

$$A(m^2) = P(Wp) / (\eta \times 1000W/m^2)$$

Obs:

Caso o *datasheet* do módulo fotovoltaico escolhido não indique sua eficiência , considerar um valor de **15%**.

Não há área suficiente no telhado para instalação dos módulos? .

Refaça os cálculos redimensionando o sistema (recalculando a potência em Wp do arranjo fotovoltaico) considerando a área disponível no telhado para instalação.

Lembrete: A equação acima é para cálculo da área ativa do arranjo de módulos fotovoltaicos. Para o cálculo da área efetivamente ocupada na laje será necessário realizar a projeção considerando a dimensão dos módulos e a inclinação dos mesmos.

2.8) Passo 8: Esquema completo do circuito

Com base na figura 1, e calculado o número de módulos necessários, número de módulos em série, número de inversores, desenhe o circuito completo,

Figura 2 : Esquema de ligação considerando a ligação do arranjo de módulos e inversores:

2.9) - Avaliação econômica do projeto

:

a. Apresente as seguintes informações, que são necessárias para cálculo da viabilidade econômica:

- Preço do módulo:..... R\$
- Preço do inversor:R\$
- Custo de instalação (cabos, quadro, disjuntor, medidor e instalação dos módulos) = R \$
- Taxa de desconto = 12%.
- Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh) – a da casa usada na etapa 2

b. Cálculo do Custo do investimento:

→ Custo total de Investimento(CTI)

CTI = Número de módulos x preço do módulo + número de inversores x preço do inversor + custo de instalação

→ Custo do kWp instalado;

$$\text{Custo do kWp instalado} = \text{Custo total de investimento} / \text{kWp instalado}$$

→ Custo da energia gerada (CGanual)

$$\text{Custo da energia gerada (R\$/MWh)} = \{(\text{Custo total de investimento} \times \text{FRC}) + (\text{Custo anual de O\&M})\} / (\text{energia anual gerada})$$

Energia anual gerada = PInstalada (Wp) X NSP x 365 dias/ano

Considere o custo anual de O&M (Operação e manutenção) como sendo igual a = 1% do CTI

Obs: Trata-se de um cálculo simplificado da CGanual, pois está se considerando que a vida útil do inversor é igual à dos módulos fotovoltaicos – 25 anos.

Lembre-se: FRC = Fator de recuperação do capital

$$FRC(i, n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

c. Comente os resultados

Parte 2

3- Tratamento de dados e simulação

3.1) Recupere dados anteriores

Dado que o sistema foi dimensionado:

- a. Recupere os dados abaixo de radiação solar diária média mensal (pesquisado no site do CRESESB):

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
kWh/m ²												

- b. Recupere os dados da conta de energia elétrica (consumo mensal – CMi) da etapa 2.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
kWh/m ²												

Nota: Caso a casa escolhida na etapa 2 não tenha todas as contas mensais de consumo de energia elétrica, preencha a tabela com os valores existentes e nos meses faltantes assuma valores diferentes, porém a média anual / 720h/mês dê um consumo diário próximo ao usado para dimensionar o sistema na etapa 1.

3.2) Energia gerada x Consumo Mensal

Para cada mês “i”, calcule a quantidade de energia fornecida (Egi) pelo sistema solar fotovoltaico.

$$E_{gi} = P(Wp) \times NSP_i \times \eta_{inversor} \times (1 - \text{perdas nos condutores}) \times 30 \text{ (dias/mês)}$$

- a. Preencha a tabela abaixo (kWh):

Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
E _{Gi}												
CM _i												
Balanco de energia												

Sendo i (mês) varia de 1 à 12

Caso EG_i seja $>$ que CM_i , a “sobra” de energia é utilizada para ser abatida na conta do mês seguinte e assim por diante.

Caso EG_i seja $<$ CM_i , a energia não suprida pelos módulos solares é consumida da rede elétrica.

Assim sendo, durante alguns meses do ano poderá ocorrer situações em que haverá uma conta a pagar e outros meses a conta irá zerar, caso $EG +$ sobra de energia dos mês anterior seja $>$ consumo.

$$\text{Balanço de energia } (i+1) = EG(i+1) - CM(i+1) + \text{sobra } (EG_i - CM_i) \text{ (caso haja)}$$

$$\text{Balanço de energia } (i+2) = EG(i+2) - CM(i+2) + \text{sobra } (EG_{i+1} - CM_{i+1}) \text{ (caso haja)}$$

E assim por diante até o Mês 12.

b. Considerando a tarifa de energia da residência usada na etapa 2 (R\$/kWh), monte a seguinte tabela colocando as despesas mensais com energia elétrica;

Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
R\$ (2)												
R\$ (4)												
Balanço (R\$)												

Sendo:

- $R\$(2)$ = despesa mês a mês com a conta de energia elétrica (etapa 2)
- $R\$(4)$ = despesa mês a mês com a conta de energia elétrica (etapa 4 – com sistema fotovoltaico)
- Balanço (redução nas despesas mensais com energia elétrica) = $R\$(2) - \{ R\$(4) + \text{custo mensal de O\&M do sistema fotovoltaico} \}$

Obs: Considere como custo mensal de O&M , o custo anual / 12 meses

3.3) Perguntas e conclusão

a) Ao final do ano, quanto foi a redução das despesas com energia elétrica (balanço anual) R\$/ano?

b) Calcule em quanto tempo (PBS) haverá retorno do investimento feito no sistema fotovoltaico em função da economia nas despesas anuais de energia elétrica.

c) Considerando a vida útil do sistema, tarifa de energia elétrica aplicada e demais parâmetros de cálculo, o investimento no sistema apresentou viabilidade econômica?

Nota: Considere que no fechamento de cada ano, caso haja sobra de energia (crédito) no mês de dezembro, esta é cedida gratuitamente para a concessionária e, portanto, esta sobra não é computada na conta do mês de janeiro do ano seguinte.

- $PBS \text{ (anos)} = \text{Custo de Investimento (R\$)} / \text{balanço anual (R\$/ano)}$

d) Comente o resultado

Observação final importante:

Coloque no relatório:

- Memorial de cálculo
- Especificação dos componentes do sistema com *datasheet* (em anexo)

Bom trabalho