

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
ENGENHARIA ELÉTRICA

Bruno Lima Araújo
Cícero Matheus da Silva Lacerda

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ON GRID COM
CÁLCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Palmas,
2019

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
1.1. DIMENSIONAMENTO	2
1.1.1. Cálculo da Energia de Geração	2
1.1.2. Cálculo de Tempo de Exposição	3
1.1.3. Cálculo do Rendimento	4
1.1.4. Cálculo da Quantidade de Painéis	5
1.1.5. Escolha do Inversor	5
1.2. VIABILIDADE ECONÔMICA	5
1.2.1. Custo Inicial do Sistema Fotovoltaico	6
1.2.2. Durabilidade de um Sistema Fotovoltaico	7
1.2.3. Economia na Fatura de Energia	6
1.2.4. IPTU	6
1.2.5. Financiamentos.....	8
1.2.6. Equação Final do Rendimento do Sistema Fotovoltaico	8
1.2.7. Rendimento da Poupança.....	9
2. DIMENSIONAMENTO.....	10
3. VIABILIDADE ECONÔMICA	11
4. CONCLUSÃO.....	12
REFERÊNCIAS.....	13

1. INTRODUÇÃO

1.1. DIMENSIONAMENTO

Essa seção de dimensionamento foi escrita conforme metodologia apresentada por (FOTAIC ENERGIA SOLAR, 2017), portanto, quando a fonte não for informada, fica subentendido que é esse autor.

O dimensionamento consiste em determinar a quantidade de placas e a potência do inversor a ser instalado. Para isso, é necessário determinar a potência total de pico que será gerada pelo sistema fotovoltaico, conforme equação abaixo:

$$P_t = \frac{E_g}{T * \eta} \quad (1)$$

Onde:

- P_t é a potência de pico de todos os painéis, dado em [kW];
- E_g é a energia de geração necessária para atender a unidade consumidora, dada em [kWh/dia];
- T é o tempo em que os painéis ficam expostos à luz do sol, dado em [h/dia];
- η é o rendimento da instalação completa, incluindo placas, cabos e inversor.

1.1.1. Cálculo da Energia de Geração

O primeiro passo para calcular a energia de geração necessária é olhar a conta de energia do cliente e pegar o consumo médio dos últimos 12 meses. Caso os dados sejam muito discrepantes (presença de outliers), pode-se usar a mediana em vez da média, conforme alertado por (TOLEDO e OVALLE, 1981).

Em seguida, é preciso observar o tipo de ligação do cliente, pois, se for monofásica, o mesmo terá que pagar um consumo mínimo de 30kWh; caso seja bifásica, 50 kWh e, por fim, 100 kWh se for trifásica. Além disso, é necessário obter a energia por dia, logo, a seguinte equação é suficiente para calcular E_g :

1.1.3. Cálculo do Rendimento

Existem diversos fatores que afetam o rendimento de um sistema fotovoltaico. A tabela abaixo estratifica esses fatores e informa as quantidades que serão adotadas para a cidade de Palmas.

Tabela 1 - Fatores que Causam Perdas em um Sistema Fotovoltaico

Nome	Descrição	Faixa Média	Valor Adotado
Perdas por Temperatura	Quanto maior a temperatura, maiores as perdas	Entre 7 e 18%	10%
Incompatibilidade Elétrica	Os painéis associados em série ou paralelo não são exatamente iguais	Entre 1 e 2%	2%
Sujeira nos Painéis	Quando os painéis são deixados sujos	Entre 1 e 8%	5%
Cabeamento CC Cabeamento CA	Perdas por efeito Joule	Entre 0,5 e 1%	1%
Inversor	A conversão de energia acarreta perdas	Entre 2,5 e 5%	2%

Dados obtidos com o professor orientador da disciplina.

Se L_i for cada uma das perdas mostradas na tabela, cujo valor está expresso em porcentagem, o rendimento total do sistema é:

$$\eta = \prod_i 1 - L_i = 0,8048 \quad (4)$$

1.1.4. Cálculo da Potência a Ser Instalada

Com os valores obtidos anteriormente, é possível obter a potência total do sistema. Em seguida, deve-se selecionar um painel com potência P para então determinar a quantidade de painéis:

$$N = \text{ceil} \left(\frac{P_t}{P} \right) \quad (4)$$

Onde *ceil* indica que o valor, caso seja fracionário, deve ser arredondado para o maior inteiro mais próximo. Encontrada a quantidade de painéis, é necessário calcular a nova potência total, uma vez que houve arredondamentos no processo:

$$P_t = N * P \quad (5)$$

1.1.5. Escolha do Kit

O inversor não pode ser superdimensionado e, tampouco, subdimensionado. Dessa forma, a potência do kit pode ser, no mínimo, 80% de P_t e no máximo 120% de P_t . Algumas marcas sugeridas são: Fronius, ABB, PHB e SMA. Por fim, como orientação do professor, é recomendável procurar kits completos, pois sai mais barato em virtude da menor incidência de impostos. Caso seja comprado o kit, o valor P_t passa a ser o valor informado no kit.

1.2. VIABILIDADE ECONÔMICA

Para cálculo de viabilidade econômica, o investimento no sistema solar fotovoltaico será comparado com um investimento na poupança, cujo aporte inicial para os dois será o mesmo. O aporte inicial será o preço do sistema e o tempo de análise será pela vida útil do mesmo, que é em média 25 anos (SOLARVOLT).

1.2.1. Custo Inicial do Sistema Fotovoltaico

O custo inicial será o preço do kit somado com R\$ 1000,00 para compensar os materiais adicionais. Depois, será acrescido de 5% para contabilizar o frete. Além disso, será acrescido 30% nesse último valor para levar em conta custos com instalação do sistema. Dessa forma, o custo inicial será o preço do kit, somado com R\$ 1000,00, multiplicado por 1,365.

1.2.2. Economia na Fatura de Energia

Inicialmente, a economia mensal proporcionada pelo sistema fotovoltaico é igual à quantidade de energia gerada. É importante lembrar também que a eficiência do sistema cai com o passar dos anos. Segundo o professor orientador, a eficiência cai 0,008 a cada ano que se passa. Matematicamente:

$$e(t) = \eta - 0,008t; t \in [0,25] \quad (6)$$

Sendo t é o tempo em anos, onde o ano 0 indica o ano da instalação. Portanto, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico em um dado ano é:

$$C(t) = 12 * T * P_t * 30 * e(t) \quad (7)$$

Se o preço inicial do sistema for P , então, o valor de fluxo de caixa acumulado em um ano t será:

$$\begin{cases} V(t) = \varphi(C(t)) + V(t-1); se t > 0 \\ V(t) = \varphi(C(t)) - P; se t = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Onde φ é uma função que recebe energia e retorno o valor dessa energia com base no preço da tarifa da concessionária.

1.2.3. IPTU

Algumas cidades, como é o caso de Palmas – TO, dão incentivo ao valor do IPTU caso haja um sistema fotovoltaico. De acordo com o (DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO DE

PALMAS, 2016), para consumidores do tipo B, o desconto é dado com base no valor de IAES(TB), conforme tabela abaixo:

Tabela 2 - Faixas de Desconto de IPTU

Faixa de IAES(TB)	Desconto
Maior que 1	80%
Entre 0,75 e 1	65%
Entre 0,5 e 0,75	50%
Entre 0,25 e 0,5	35%
Menor que 0,25	20%

Onde:

$$IAES(TB) = \frac{Potência\ Instalada * 0,8 * 5,54 * 30}{Consumo\ Médio\ ou\ Mediano} \quad (9)$$

Se D for o valor do desconto no IPTU, então, o fluxo de caixa será modificado da seguinte forma:

$$V_D(t) = V(t) + t * D * IPTU \quad (10)$$

1.2.4. Durabilidade de um Sistema Fotovoltaico

É dito na literatura que os inversores duram em média 10 anos, logo, ao longo desses 25 anos, serão considerados a compra de três inversores. Ainda de acordo com (SOLARVOLT), é recomendado fazer limpeza do sistema fotovoltaico 4 vezes por ano. Dessa forma, considerando um valor de R\$200,00 para limpeza, tem-se um custo adicional de R\$800,00 por ano. Dessa forma, os custos com manutenção são dados por:

$$M(t) = i(t) * A + 800t \quad (11)$$

Onde $i(t)$ é uma função que retorna a quantidade de inversores comprados até o ano t e A é o preço do inversor. Dessa forma, o fluxo de caixa acumulado se torna:

$$V_M(t) = V_D(t) - M(t) \quad (12)$$

1.2.5. Financiamento

O financiamento pode ser simulado no site (PORTAL SOLAR). Bastando apenas preencher os dados e ver os planos disponíveis. Conhecidos os valores da quantidade de parcelas e da parcela, o valor final do fluxo de caixa acumulado é:

$$V_F(t) = V_M(t) - K(t) \quad (13)$$

Onde $K(t)$ é uma função que retorna total do financiamento já pago no ano t . Além disso, o financiamento altera o valor de P , tornando-o igual ao produto da quantidade de parcelas pelo valor da parcela.

1.2.6. Equação Final do Rendimento do Sistema Fotovoltaico

Inicialmente, a tabela abaixo, com dados oriundos de (ENERGISA), mostra as tarifas para consumidores residenciais, foco desse trabalho. Além disso, com base em análise prévia de contas de energia, será adicionado um valor de R\$0,30 a cada tarifa, para indicar os impostos.

Tabela 3 - Tabela de Tarifas

Classificação	Descrição	Tarifa (R\$/kWh)	Tarifa com Imposto (R\$/kWh)
B1	Residencial Sem	0,60530	0,90530
	Benefício		
	Consumo até 30 kWh	0,20553	0,50553

Consumo até 31 a 100 kWh	0,35234	0,65234
Consumo até 101 a 220 kWh	0,52851	0,82851
Consumo maior que 220 kWh	0,58724	0,88724

Portanto, a função φ é simplesmente o valor da tarifa com imposto multiplicado pelo consumo. Para finalizar, se a inflação for f , o poder de compra do fluxo de caixa acumulado será:

$$V_I(t) = V_F(t) * (1 - f)^t \quad (14)$$

Vale salientar que f será a inflação no ano de 2018, avaliada em 3,75% segundo (G1, 2019).

1.2.7. Rendimento da Poupança

Para o rendimento da poupança, é necessário usar a rentabilidade real do investimento, ou seja, já considerando a inflação. Para isso, os valores também serão considerados constantes, de modo que o rendimento da poupança será fixado em 1,12% ao ano, conforme visto em (RICO, 2019) para o ano de 2018, uma vez que 2019 está apenas no início. Nesse caso, o montante final para t anos é dado por (MATEMÁTICA BÁSICA):

$$M(t) = C * (1 + i)^t \quad (11)$$

Onde:

- M é o montante após a aplicação;
- C é o aporte inicial;
- i é a taxa de juros em porcentagem;
- t é o tempo de aplicação.

2. DIMENSIONAMENTO

O projeto deve ser feito de acordo com as seguintes características, fornecidas online pelo AVA:

- Cidade de Palmas – TO;
- Ligação Monofásica;
- Consumo Médio Mensal: 1980 [kWh/mês];
- Telhado: Plano;
- Valor Médio do IPTU: R\$950,00.

Além disso, será considerando um financiamento nas seguintes condições:

- Financiamento em 60 parcelas de R\$ 2248,97 por mês.

O dimensionamento foi feito usando as bibliotecas Python criadas que acompanham esse trabalho. O programa realiza os cálculos supracitados, onde carrega os dados dos kits a partir de um banco de dados feito em SQLite 3 e retorna o que gerará o menor custo de compra. Além disso, vale salientar que a ligação foi modificada para trifásica (algo que pode ser pedido na concessionária) para evitar comprar dois inversores monofásicos e comprar apenas um trifásico. A tabela abaixo mostra os dados retornados pelo algoritmo:

Custo Total	Kit	Potência do Kit	Potência da Placa
R\$ 94.101,74	Gerador De Energia		
	Fronius		
	Finame/MDA Aldo	12.5 kW	330 W
	Solar		

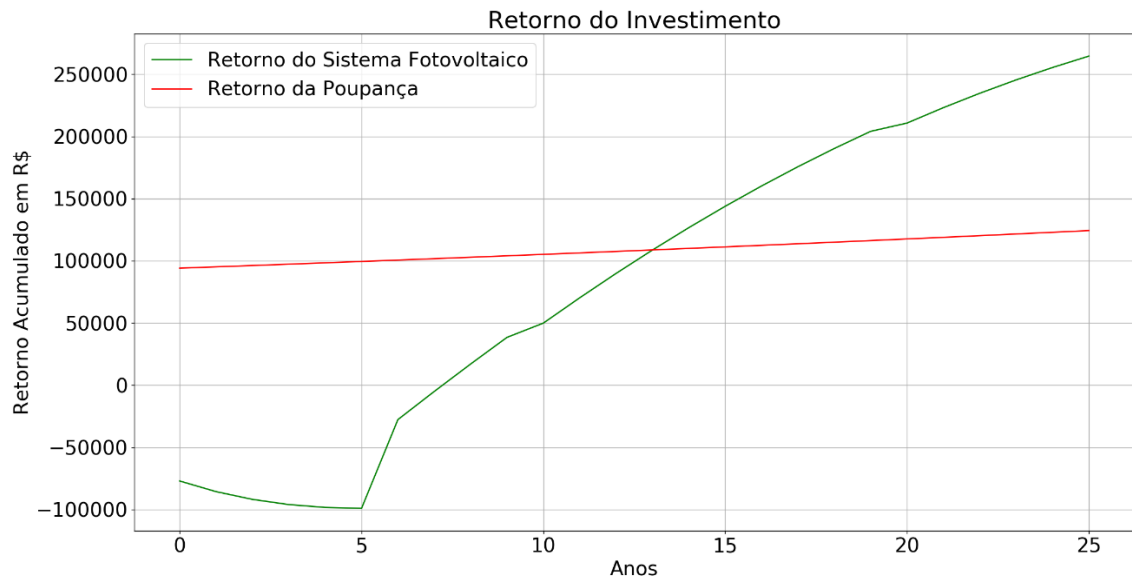
Segundo o algoritmo, o kit:

- <https://www.aldo.com.br/Produto/?c=43001&d=gerador-de-energia-fronius-finame/mda-aldo-solar-GEF;>

3. VIABILIDADE ECONÔMICA

O algoritmo retornou o seguinte gráfico em relação à comparação dos investimentos:

Figura 2 - Retorno dos Investimentos



O algoritmo ainda informou que o payback se dará em 8 anos e que, ao final de 25 anos, a poupança terá rendido R\$ 124.315,18. Já o sistema fotovoltaico, terá rendido R\$ 264.586,12, em valores atuais. Ou seja, ao final de 25 anos, o consumidor pode trocar inteiramente seu sistema fotovoltaico e ainda sairá no lucro. Ainda é importante informar que, com as configurações de parcelamento, o preço total do sistema ficou R\$ 152.469,60.

4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que, além de atenuar os problemas ambientais do planeta, os sistemas fotovoltaicos também são um ótimo investimento, pois possuem alto retorno e, além disso, o payback se dá em uma pequena fração do tempo de vida útil do sistema.

REFERÊNCIAS

CALCULADORA DE JUROS COMPOSTOS. Como converter taxa anual para mensal.

Calculadora de Juros Compostos. Disponível em:

<<https://calculadorajuroscompostos.com.br/taxa-anual-para-mensal/>>. Acesso em: 14 Março 2019.

CRÉDITO OU DÉBITO. O que é financiamento? **Crédito ou Débito**. Disponível em:

<<https://www.creditooudebito.com.br/que-financiamento/>>. Acesso em: 14 Março 2019.

CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. **CRESESB**, 2014.

Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 5 Março 2019.

CRESESB. Potencial Solar - SunData. **CRESESB**, 2018. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 5 Março 2019.

DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO DE PALMAS. Palmas - TO, Segunda Feira, 28 de Março de 2016. **Diário Oficial do Município de Palmas**, 2016. Disponível em:

<<http://diariooficial.palmas.to.gov.br/media/diario/1470-28-3-2016-18-53-10.pdf>>. Acesso em: 5 Março 2019.

ENERGISA. Histórico de Reajuste Tarifário. **Energisa**, 2018. Disponível em:

<<https://www.energisa.com.br/Documents/Tocantins/Hist%C3%B3rico%20de%20Reajuste%20Tarif%C3%A1rio%20-%20ETO.pdf>>. Acesso em: 14 Março 2019.

ENERGISA. Tipos de Tarifas. **Energisa**. Disponível em:

<<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em: 5 Março 2019.

FOTAIC ENERGIA SOLAR. Dimensionamento Sistema Solar Fotovoltaico Passo a Passo.

Youtube, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=i5NG_wHAodk>.

Acesso em: 05 Março 2018.

G1. Inflação oficial fecha 2018 em 3,75%. **G1**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/11/inflacao-oficial-fecha-2018-em-375.ghtml>>. Acesso em: 6 Março 2019.

MATEMÁTICA BÁSICA. Juros Compostos: Aprenda a Calcular. **Matemática Básica**. Disponível em: <<https://matematicabasica.net/juros-compostos/>>. Acesso em: 5 Março 2019.

PORTAL SOLAR. Financiamento. **Portal Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/financiamento>>. Acesso em: 15 Março 2019.

RICO. Qual o Rendimento da Poupança Hoje, Como Calcular e Simulador [2019]. **Blog Rico**, 2019. Disponível em: <<https://blog.rico.com.vc/rendimento-da-poupanca>>. Acesso em: 5 Março 2019.

SOLARVOLT. Kit de Energia Solar: Qual a Vida Útil dos Equipamentos? **Solarvolt**. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>>. Acesso em: 5 Março 2019.

TOLEDO, G. L.; OVALLE, I. I. **Estatística Básica**. 2^a. ed. [S.l.]: Atlas, 1981.