

Eficiência Energética Residencial: Projeção de um Sistema de Energia Fotovoltaica para uma Residência

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, do consumo e produção industrial vem elevando de forma contínua a demanda pela energia elétrica. É estimado que, as fontes de geração de energia tradicionalistas, como a hidráulica, a fóssil e a nuclear, acabarão atingido seus limites produtos de energia em cerca de 20 TW e o déficit produtivo precisará ser atendido através de outras fontes, como as fontes de energias renováveis (JUNIOR et al. 2016).

No Brasil, a matriz principal de geração de energia é a hidráulica seguida da geração térmica. Como fontes alternativas e de energias renováveis há um crescimento do uso da energia de biomassa, dos ventos e das pequenas centrais hidroelétricas, com impulso pelos programas do governo e um forte cenário de expansão da geração de energia fotovoltaica.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabeleceu na Resolução nº 482/2012, condições para acesso dos sistemas de micro e minigeração aos sistemas de distribuição elétrico, além da criação do sistema de compensação, onde o cliente poderá ganhar "créditos" quando sua produção de energia for superior à sua demanda.

A conversão da energia solar fotovoltaica representa um alto potencial no país, com uma irradiação solar diária média na faixa de 4,8 a 6,0 kWh/m². Os alemães que possuem uma maior capacidade instalada deste tipo de geração de energia, não ultrapassam uma máxima irradiação diária de 3,2 kWh/m² (JUNIOR et al. 2016).

Estudos apontam possibilidades de a tecnologia fotovoltaica alcançar valores de até 47,8% de eficácia na conversão, reduzindo o custo por kWh gerado. Concretizando esta tendência, com associação aos incentivos do governo, a energia solar poderá realizar contribuições de forma significativa na matriz energética partindo de duas soluções que são: as centrais solares e a geração distribuída (VILLALVA, 2015).

De outra vertente, os custos desta tecnologia no Brasil são considerados altos, o que dificulta a competitividade e justifica a pequena participação na matriz de energia elétrica. Com isso, para a obtenção de um melhor aproveitamento relacionado com esta tecnologia, é fundamental implantar corretamente os equipamentos com responsabilidade. Para tanto, é fundamental projetar o sistema para as condições específicas a cada local e carga atendida. A simulação do projeto em ambiente computacional, possibilita a avaliação dos impactos técnicos que esta nova fonte poderá causar.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo projetar um sistema para uma residência gerar energia fotovoltaica seguido as normas técnicas atuais e vigentes, assim como apontar números do uso da energia elétrica no Brasil, apresentar os sistemas fotovoltaicos e analisar dados acerca da sustentabilidade.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como metodologia o estudo de caso, em que será projetado um sistema de energia fotovoltaica para uma residência.

O dimensionamento dos componentes do sistema de micro-geração fotovoltaica baseia-se em: irradiação, temperatura ambiente e a potência atendida.

O local a ser instalado o sistema é uma residência em zona rural com pequenas edificações e área verde. As perdas para captar a energia solar nestes ambientes têm a tendência a se tornarem menores, comparado aos sistemas em áreas urbanas onde existe uma maior probabilidade de sombreamento, e interferência das superfícies reflexivas em proximidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O uso da energia elétrica no Brasil

Não é de hoje a preocupação dos países com a grande necessidade do suprimento de energia elétrica para atender as atividades econômicas que estão cada vez mais dependentes desse insumo para seu desenvolvimento (MAGALHÃES, 2009).

No Brasil, verifica-se uma preocupação cada vez maior relacionada ao descompasso perante as previsões de ritmo de crescimento e os investimentos na área de geração de energia elétrica (RODRIGUES, 2013).

De forma estrutural, o foco dos investimentos para gerar energia elétrica no país, foram, todavia, voltados para a transformação da energia hidráulica em elétrica, e com isso nenhuma definição regulatória e estímulos a produção de energia partindo de outras fontes primária (CASTRO, 2009).

No conjunto dos aspectos apresentados, é possível encontrar a garantia de uma produção de energia compatível com o crescimento econômico de forma sustentável, aproveitando os recursos disponíveis, de menor impacto ao meio-ambiente e com custos de produção nivelados com a realidade econômica. É neste ponto que são utilizadas as fontes de energias alternativas e renováveis como maneira de resolver o descompasso criado entre a demanda, oferta e a capacidade de investimento no setor elétrico (CASTRO, 2009).

3.2 A energia solar

O Brasil possui um índice de radiação solar médio diário superior aos patamares de 5kWh/m², em algumas regiões. Somente o estado do Rio de Janeiro possui uma disponibilidade anual de 1.758 kWh/m² ou diária de 4,82 kWh/m² (ZILLES et al. 2012).

Para efeitos comparativos, a região do Brasil que possui menor insolação do país acaba recebendo um índice de radiação solar de 40% maior do que a região mais ensolarada da Alemanha, considerado um dos países líderes na utilização da energia solar (ZILLES et al. 2012).

Os fatores básicos que acabam afetando o processo de tomada de decisão da instalação de um sistema de geração solar são: o clima; a viabilidade financeira, levando em consideração o tipo de geração solar; a quantidade de energia usada, e; a área à disposição para a instalação (PINHO E GALDINO, 2014).

3.3 Sistemas fotovoltaicos

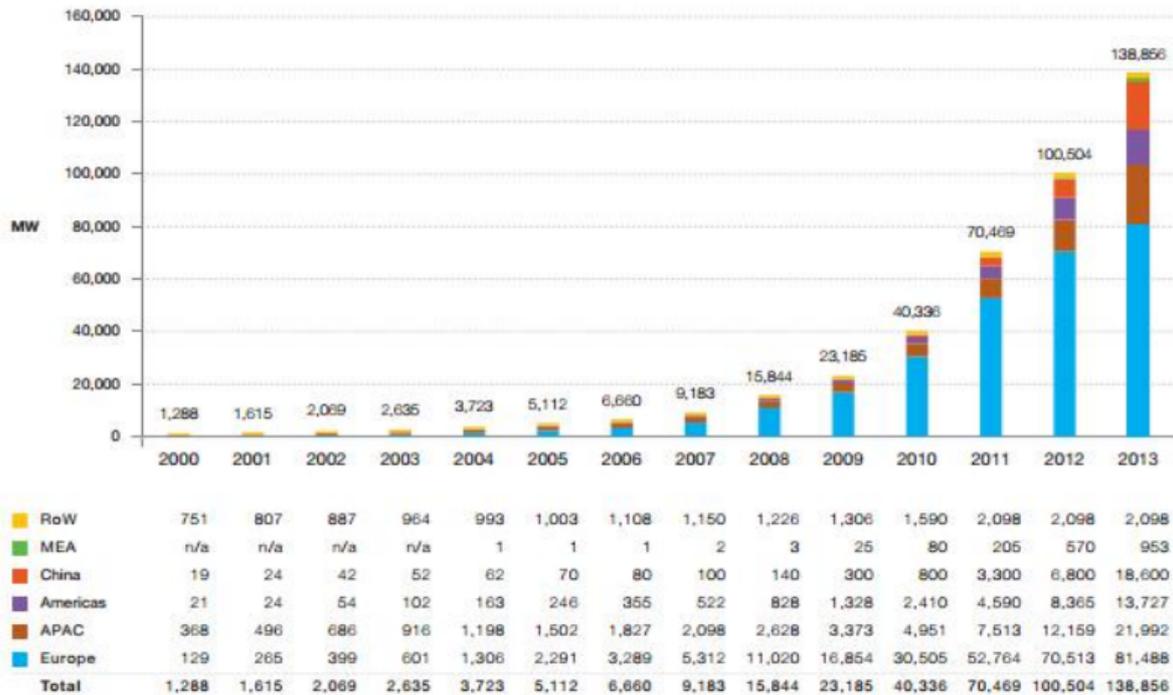
A energia solar fotovoltaica desempenha um grande papel na evolução da participação de fontes alternativas na matriz energética mundial, sendo que é possuínte de uma abundância e ampla disponibilidade na superfície terrestre (URBANETZ JR, 2013).

Em diversos países, os programas de incentivos da geração de energia fotovoltaica para residências conectadas à rede elétrica, estão atrelados à justificativas ambientais, segurança energética, geração de empregos, desenvolvimento de tecnologia e de uma cadeia de produção. Esses programas têm variância segundo o país e a fonte de energia (EPIA, 2014).



Na década passada, foi verificado um crescimento expressivo da energia solar fotovoltaica em todo o mundo, principalmente na Europa. No final de 2010, a capacidade instalada alcançou 24 GW e em 2013 existia quase 140 GW de capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos em todo o mundo, o que representa mais de 490% em menos de cinco anos (EPIA, 2014), como é possível observar na "Figura 1":

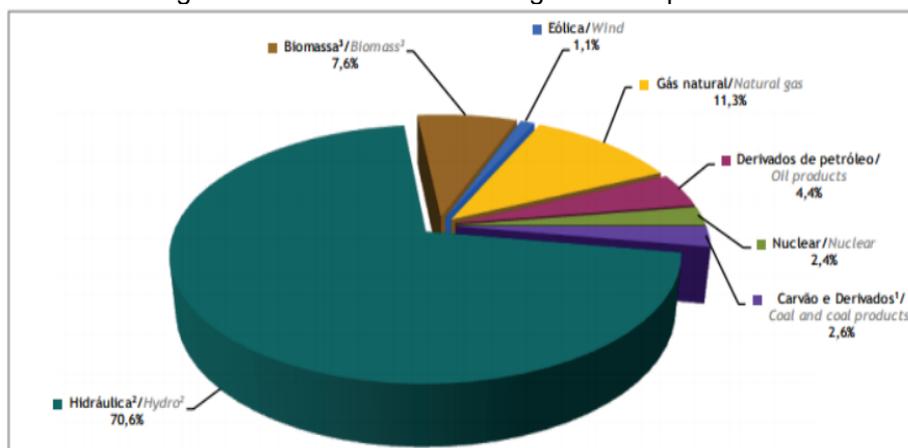
Figura 1: Evolução da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos



Fonte: Epia (2014)

Já no Brasil, em 2013, a fonte hidráulica com quase 75% da matriz energética, teve dificuldades de crescimento, devido restrições ambientais, distâncias dos centros de carga e também da dificuldade de gestão destas obras no Brasil (NAKABAYASHI, 2013).

Figura 2: Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: Epia (2014)

3.4 Estudo de caso

Avaliação

Os dados da irradiância e da temperatura para o local de instalação proposto, foram obtidos do software Radasol 2. O software desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da UFRGS incorpora dados das irradiações e da temperatura em base mensal com fonte no Atlas Solarimétrico e do programa Swera. O usuário define o valor da angulação da inclinação, ângulo de orientação azimutal e o coeficiente de reflexão (albedo), para que o software faça a sintetização de dados horários de irradiação. A melhor orientação tem direção para a linha do equador e a inclinação dos painéis que promovem maior produção de energia é onde a luz tem incidência no ângulo mais perpendicular possível ao plano dos módulos fotovoltaicos, equivalente a cerca do valor da latitude do local.

A “Tabela 1” apresenta os dados de irradiação com obtenção para inclinações superficiais de captação $\beta = 30^\circ$ e ângulo Azimutal da superfície $\gamma = 0^\circ$. O albedo em adoção teve igualdade a 20, o menor valor possível com aceitação no software.

Tabela 1: Média mensal e anual dos índices de irradiação para a região da residência

Mês	Irr. Global (kWh/m ² /dia)	Irr. Direta (kWh/m ² /dia)	Irr. Difusa (kWh/m ² /dia)	Irr. Plano Inclinado (kWh/m ² /dia)
Janeiro	5,77	2,49	2,86	5,42
Fevereiro	5,54	2,92	2,52	5,51
Março	4,68	2,7	2,41	5,16
Abril	3,91	2,61	2,18	4,83
Maio	2,97	2,26	1,73	4,03
Junho	2,46	2,10	1,51	3,54
Julho	2,83	2,38	1,58	4,00
Agosto	3,29	2,46	1,72	4,22
Setembro	4,11	2,35	2,36	4,76
Outubro	5,21	2,83	2,54	5,44
Novembro	5,92	2,92	2,67	5,66
Dezembro	6,35	3,03	2,64	5,75
Média Anual	4,42	2,59	2,23	4,86

Fonte: O Próprio Autor (2021)

A “Tabela 2” informa as temperaturas médias do local obtidas através do Radasol 2.

Tabela 2: Temperatura média mensal para a região da residência

Mês	Temperatura (°C)	Mês	Temperatura (°C)
Janeiro	22,9	Julho	12,7
Fevereiro	22,5	Agosto	13,9
Março	21,4	Setembro	15,0
Abril	17,9	Outubro	17,2
Maio	15,5	Novembro	19,5
Junho	13,6	dezembro	21,3

Fonte: O Próprio Autor (2021)

3.5 Levantamento do consumo de energia elétrica

O consumo mensal da residência foi extraído dos últimos 13 meses na fatura da energia elétrica da distribuidora. A “Tabela 3” apresenta os dados entre os meses de fevereiro de 2020 e janeiro de 2021.

Tabela 3: Consumo de energia elétrica da residência

Mês	Consumo (kWh)	Mês	Consumo (kWh)
Fev/20	192	Ago/20	151
Mar/20	204	Set/20	287
Abr/20	203	Out/20	206
Mai/20	146	Nov/20	208
Jun/20	147	Dez/20	191
Jul/20	129	Jan/21	151

Fonte: O Próprio Autor (2021)

Com base nas faturas de energia, o consumo médio total foi de 185 kWh e o consumo diário médio de 6,16 kWh.

3.6 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Foi pesquisado o modelo de módulos disponível no mercado e dados de potência, eficiência e preço. O melhor custo-benefício foi o modelo de fabricação da Yingli Solar que possui o selo do Inmetro e da Procel. A garantia do fabricante é de dez 10 anos para defeitos de fabricação e 25 anos de vida útil. A "Tabela 4" informa os modelos à disposição no Brasil e suas principais informações:

Tabela 4: Modelos de módulos fotovoltaicos com comércio no país

Fabricante	Modelo	Potência (Wp)	Eficiência (%)	Tecnologia	Preço (R\$)
Kyocera	KD250GH-4FB2	250	15,10	Si-Poli	510,57
SunEdison	F330ByC	330	16,90	Si-Mono	709,59
Canadian Solar	CS6U-320P	320	16,46	Si-Poli	664,95
Canadian Solar	CS6K-270P	270	16,50	Si-Poli	557,07
Yingli Solar	YL275D-30b	275	16,90	Si-Mono	565,44

Fonte: O Próprio Autor (2021)

A "Tabela 5" apresenta as características elétricas do módulo. Os valores foram obtidos em condições padrões de teste (PTV). A "Tabela 6" apresenta as características térmicas do módulo, de acordo com manual do fabricante.

Tabela 5: Características elétricas do módulo YL275D-30b

P_{mp} (Wp)	V_{mp} (V)	I_{mp} (A)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	η (%)
275	31,2	8,82	38,9	9,34	16,9

Fonte: O Próprio Autor (2021)

Tabela 6: Características térmicas do módulo YL275D-30b

NOTC	γ_{mp}	β_{Voc}	α_{Isc}
46,00 °C	-0,42 %/°C	-0,32 %/°C	0,05 %/°C

Fonte: O Próprio Autor (2021)

A quantidade dos módulos dimensionada considerou a expectativa de energia a gerar, a irradiância média no plano em inclinação e a eficiência dos módulos, de acordo com a "Equação (1)", e que teve manipulação para obtenção da "Equação (2)", que determina a área mínima dos módulos para a produção da energia.

$$\eta = \frac{P_{gerada}}{P_{incidente}} = \frac{(I_{mp} \cdot V_{mp})}{P_{t,\beta} \cdot A} \quad (1)$$

Onde: A = área útil do módulo [m²]; $H_{t,\beta}$ = irradiância no plano gerador [W/m²];

$$A = \frac{E_{gerada}}{\eta \cdot I_{pi}} = \frac{6,16\text{kWh}}{0,169 \cdot 4,86\text{kWh/m}^2} = 7,5\text{m}^2 \quad (2)$$

O módulo selecionado possui 60 células de silício monocristalino; altura e largura a um valor de 156 mm. A "Equação (3)" acaba determinando a área total do módulo.

$$A_{mod} = N_{cel} \cdot A_{cel} = 60 \cdot 0,156^2 = 1,46\text{m}^2 \quad (3)$$

A "Equação (4)" calcula o total de módulos utilizando a área obtida na "Equação (2)".

$$N_{mod} = \frac{A}{A_{mod}} = \frac{7,5}{1,46} = 5,14 \therefore N_{mod} = 6 \text{ módulos} \quad (4)$$

3.7 Seleção do inversor

A "Tabela 7" apresenta os principais modelos comercializados no Brasil. Para determinação do inversor, utilizou-se os critérios da potência nominal, certificado de acordo com as normas técnicas e funções de proteção com incorporação e preço.

Tabela 7: Principais modelos dos inversores à disposição no país

Fabricante	Modelo	Proteção incorporada	Potência (W)	Preço (R\$)
SMA	Sunny Boy SB 1600TL-10	Sim	1.600	6.614,40
Fronius	GALVO 1.5-1	Sim	1.500	7.574,40
PHB	1500-SS	Sim	1.500	5.989,30
Solar Energy	SE-TL1.5K	Sim	1.500	4.249,90
EcoSolys	ecoS-2000	Sim	2.000	3.328,47

Fonte: O Próprio Autor (2021)

O inversor escolhido para o projeto foi o modelo ecoS-2000, fabricante EcoSolys, registrado no Inmetro e atende as normas ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NRB IEC 62116. A "Tabela 8" informa os parâmetros elétricos do inversor.

Tabela 8: Parâmetros elétricos Inversor EcoSolys ecoS-2000

Potência nominal CC	2000 W
Tensão CC de partida	45 V
Tensão CC máxima	340 V
Corrente CC máxima	10 A
Faixa de operação	125 – 320 V
Potência nominal CA	2000 W
Tensão nominal de saída	220 V
Corrente nominal de saída	9 A
Eficiência	95 %
Proteção interna	Anti-ilhamento, Sobre/sub tensão, Sobre/sub corrente, Sobre/sub frequência, Proteção contra sobrecarga.

Fonte: O Próprio Autor (2021)

De posse dos dados relacionados com a tensão e a corrente de entrada máximos do inversor. Foi então definido um arranjo com ligação série para 6 módulos:

$$V_{Ototal} = 6 \cdot V_{OC} = 6 \cdot 38,9 = 233,4\text{V} \quad (5)$$

$$I_{Sctotal} = I_{SC} = 9,34 \text{ A}$$

A influência da temperatura influi na variação da tensão e os valores precisam estar dentro da faixa da operação do inversor. Com isso foi considerada para cálculo, a máxima tensão de operação, onde o módulo fotovoltaico atinge 85°C conforme manual do fabricante.

$$V_{OCT}(T) = V_{OC} \cdot [1 + \beta_{Voc} \cdot (T - 25)]$$

$$V_{OCTtotal}(85) = 38,9 \cdot [1 - 0,0032 \cdot (85 - 25)] = 31,43V \quad \therefore \quad (6)$$

$$V_{OCTtotal}(85) = 6 \cdot V_{OCT} = 6 \cdot 31,43 = 188,59V$$

É possível verificar através do cálculo que mesmo nas condições extremas de temperatura, o arranjo dos módulos permanece dentro da faixa de operação do inversor, e atinge a tensão de 188,59 V.

3.8 Simulações de produtividade do sistema

A estimativa da produção de energia elétrica foi extraída da base de dados do software Radasol 2, utilizando a irradiância no plano do gerador e a temperatura ambiente. A “Tabela 9” informa, como exemplo, os dados extraídos do sistema.

Tabela 9: Valores de irradiância com extração do software RADIASOL

Dia	Hora	Irradiância Global (W/m ²)	Irradiância Direta (W/m ²)	Irradiância Difusa (W/m ²)	Irradiância Inclinada (W/m ²)
1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0
1	3	0	0	0	0
1	4	0	0	0	0
1	5	34	0	24	24
1	6	148	19	86	106
1	7	293	84	159	247
1	8	414	135	245	385
1	9	579	268	275	551
1	10	631	316	289	614
1	11	706	349	348	706
1	12	759	418	326	753
1	13	669	329	320	658
1	14	587	270	284	562
1	15	462	186	232	423
1	16	289	83	158	244
1	17	155	20	89	111
1	18	39	0	24	24
1	19	0	0	0	0
1	20	0	0	0	0
1	21	0	0	0	0
1	22	0	0	0	0
1	23	0	0	0	0

Fonte: O Próprio Autor (2021)

O cálculo da energia gerada, parte do software Radasol, através das “Equações (7), (8) e (9)”. Os dados de irradiância inclinada e temperatura são extraídos da base de dados do software. Os parâmetros do inversor e dos módulos fotovoltaicos são fornecidos pelos fabricantes. A Tabela 10 apresenta os resultados alcançados.

$$P_{mp} = P_{nFV} \cdot \frac{H_{t,\beta}}{H_{ref}} \cdot [1 - Y_{mp} \cdot (T_c - T_{c,ref})] \cdot \eta_{mppt} \quad (7)$$

$$P_{FV} = P_{mp} \cdot \eta_{mppt} \quad (8)$$

$$T_c = T_{amb} + H_{t,\beta} \cdot \frac{T_{NOC} - 20}{800} \cdot 0,9 \quad (9)$$

Onde:

P_{mp} : máxima potência fornecida pelo gerador fotovoltaico [W];

P_{nFV} : potência nominal do gerador fotovoltaico [W]

$H_{t,\beta}$: irradiância no plano gerador [W/m^2]

H_{ref} : 1000 W/m^2

T_c : temperatura de operação das células [°C]

$T_{c,ref}$: 25°C

T_{amb} : temperatura ambiente [°C]

T_{NOC} : temperatura nominal de operação das células [°C]

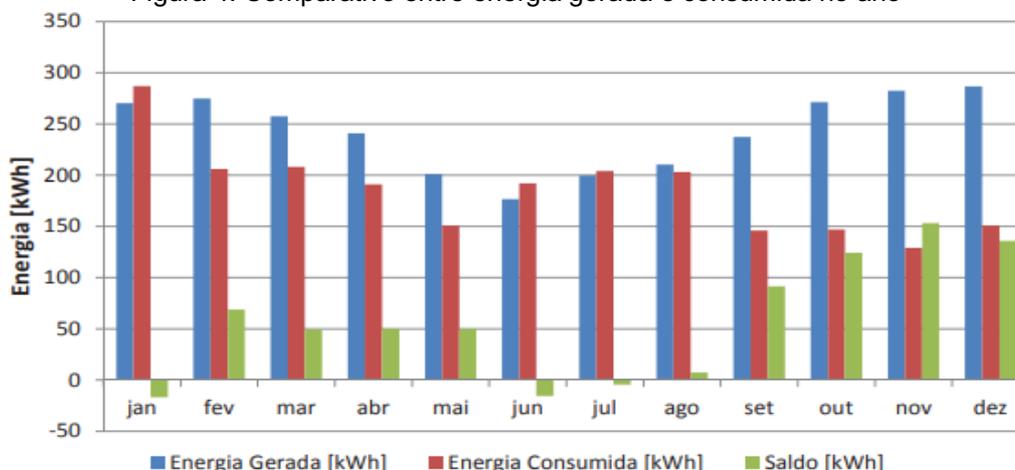
Tabela 10: Estimativa de geração por mês do sistema fotovoltaico

Mês	Energia Gerada (kWh)	Mês	Energia Gerada (kWh)
Janeiro	270,32	Julho	199,50
Fevereiro	274,81	Agosto	210,47
Março	257,35	Setembro	237,41
Abril	240,90	Outubro	271,32
Mai	201,00	Novembro	282,29
Junho	176,56	Dezembro	286,78
Total	2908,71	Média Mensal	242,39

Fonte: O Próprio Autor (2021)

Comparando os dados da “Tabela 3” e da “Tabela 10”, identifica-se uma produção de energia de 30% superior a energia consumida. A “Figura 4” detalha esta comparação em período mensal.

Figura 4: Comparativo entre energia gerada e consumida no ano



Fonte: O Próprio Autor (2021)



Percebe-se que no mês de janeiro, mesmo com o alto índice de radiação, o consumo foi superior à produção, provavelmente pelo maior uso dos equipamentos de ar-condicionado durante o verão. Em junho e julho, o consumo também foi superior à produção, entretanto, neste caso os baixos índices de radiação durante o inverno foram decisivos, resultando em um sistema fotovoltaico menos eficiente. Nos outros meses, a geração de energia elétrica superou o consumo.

De acordo com o estabelecido na Resolução Normativa nº 482/2012, o excesso de energia produzida se transforma em créditos que poderão ser abatidos na fatura de energia. A média de produção gira em torno de 30% maior que a média de consumo, então é considerado que residência acabará sendo autossuficiente.

3.9 Viabilidade econômica

O projeto leva em consideração os custos do inversor e os módulos fotovoltaicos, comparados com a economia na fatura de energia elétrica da distribuidora. Também foi estimado um valor de custeio de instalação física do sistema. A "Tabela 11" apresenta os custos.

Tabela 11: Custeios do projeto

Descrição	Valor (R\$)
Inversor EcoSolys ecos-2000	3.328,47
6 módulos fotovoltaicos Yingli Solar YL275-D30b	3.392,64
Custo estimado da instalação	1.000,00
Total	7.721,11

Fonte: O Próprio Autor (2021)

Foi constatado que a geração de energia solar suprirá totalmente o consumo da residência e, com isso, o custo mensal de energia elétrica terá relação com a tarifa de disponibilidade cobrada pela distribuidora de acordo com o tipo de conexão à rede elétrica. A "Tabela 12" informa o valor da tarifa de disponibilidade em kWh/mês.

Tabela 12: Valor de consumo mínimo em decorrência do padrão da conexão

Tipo de Conexão	Tarifa de disponibilidade (kWh/mês)	Custo mensal mínimo (R\$/mês)
Monofásico	30	14,00
Bifásico	50	23,33
Trifásico	100	46,65

Fonte: O Próprio Autor (2021)

O cálculo considerou o consumo médio residencial de 185 kWh/mês. A "Equação (10)" calcula o custo médio mensal antes da instalação do sistema (C_{atual}), levando em conta o ICMS incidente na tarifa, que é de 30%. A "Equação (11)" calcula o consumo futuro (C_{futuro}) para residências com tipos de conexão bifásica.

$$C_{atual} = consumo \cdot tarifa + ICMS = (185 \cdot 0,466536) \cdot \frac{100}{70} = R\$ 123,29 \quad (10)$$

$$C_{futuro} = custo\ mensal\ mínimo + ICMS = 23,33 \cdot \frac{100}{70} = R\$ 33,33 \quad (11)$$

Após resultados, a economia média mensal resulta em R\$ 89,97 e a economia anual média é de R\$ 1.079,70.

Para cálculo do retorno do investimento, utilizou-se o método "payback" descontado, a uma taxa de juros SELIC média de 10,25% anual, para calcular o valor presente (VP). A "Equação (12) apresenta a expressão de cálculo.

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n} \quad (12)$$

Onde:

VF: valor futuro; VP: valor presente; N: número de anos; i: taxa SELIC

A "Tabela 13" apresenta o saldo do investimento partindo do fluxo de caixa e do valor presente (VP) e fica constatado o retorno do investimento no ano 10. Fatores relacionados à tarifa energética, variação na taxa de juros, variação do consumo energético e manutenção dos equipamentos do sistema de geração não foram considerados neste cálculo, podendo causar impactos no demonstrativo.

Tabela 13: Cálculo de payback

Ano	Fluxo Caixa (R\$)	Valor Presente (R\$)	Saldo (R\$)
0	-6550,34	-6550,3	-6550,3
1	1079,7	979,32	-5570,98
2	1079,7	888,27	-4682,71
3	1079,7	805,69	-3877,02
4	1079,7	730,78	-3146,24
5	1079,7	662,84	-2483,4
6	1079,7	601,22	-1882,18
7	1079,7	545,32	-1336,86
8	1079,7	494,62	-842,24
9	1079,7	448,64	-393,6
10	1079,7	406,93	13,33

Fonte: O Próprio Autor (2021)

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve proposição do desenvolvimento de um projeto de sistema de microgeração distribuída para uma residência rural e como base uma revisão bibliográfica em relação a conversão de energia solar em elétrica dos equipamentos que são necessários para este procedimento.

Para o dimensionar os equipamentos e atender o consumo de energia médio da residência, foi analisada a capacidade local de gerar energia partindo com os dados de irradiação solar e temperatura extraídos do programa computacional Radiasol2. Baseado nestes dados, o sistema produz aproximadamente 2.908 kWh ao ano, ao tempo que a residência registrou um consumo histórico nos últimos 12 meses igual a 2.215 kWh. O excesso da energia produzida é convertido em créditos de energia e o consumidor tem até 60 meses para sua utilização

Também foi realizado o estudo da viabilidade econômica para implementar o presente projeto. O investimento para a implementação do projeto foi de aproximadamente R\$ 7.720,00, com o retorno do investimento em aproximadamente 10 anos.

Dentre os fatores que poderão elevar o retorno do capital, apresentam-se o aumento da eficácia dos módulos fotovoltaicos e inversores de frequência, assim como a diminuição

dos custos dos equipamentos. Com isso, criar políticas fiscais de incentivos ao mercado da energia solar trariam impactos positivos para o setor acelerar o desenvolvimento.

Mesmo que o investimento financeiro apresente um tempo de retorno alto, as contribuições para o meio ambiente e para a sociedade fazem com que os sistemas fotovoltaicos sejam atrativos, sendo possível gerar a energia elétrica limpa para consumo próprio.

REFERÊNCIAS

BENEDITO, R. Da S. **Caracterização da geração distribuída por meios de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob aspectos técnico, econômico e regulatório**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BRANKER, K; PATHAK, M.J.M; PEARCE, J.M. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 4470–4482, 2011.

CASTRO, Nivaldo José, outros. **A importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira**, Makron Books, 2009.

DE LA TOUR, A; GLACHANT, M; MÉNIÈRE, Y. Predicting the costs of photovoltaic solar modules in 2020 using experience curve models. *Energy*, v. 62, p. 341-348, 2013.

EPIA. Survey report of selected IEA countries. **Photovoltaic Power Systems Programme – PVPS**. Reporte IEA, 2014.

JUNIOR, J. V. S.; COMINI, R.; FERRARI, J. **Guia de energia solar fotovoltaica: aplicação as micro e pequenas empresas**. Mato Grosso, Brasil: SEBRAE, 2016.

MAGALHÃES, Murilo Vill. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Grupo de trabalho de energia solar (GTES), 2014.

RODRIGUES, Anastácia. **O apagão no Brasil e motivação para o Programa Prioritário de Termoeletricidade**, Makron Book, 2013

URBANETZ JR, Jair. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Dimensionamento de Sistemas**, UTFPR, 2013.



VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 2ª ed. rev. e atual, São Paulo, Brasil: Érica, 2015.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482/2012.** Diretoria Geral, Brasília, Brasil, 2012.

Residential Energy Efficiency: Projection of a Photovoltaic Energy System for a Residence

Abstract: The growth in population, consumption, and industrial production has continuously increased the demand for electricity. Moreover, in recent times, companies in various areas of the electrical sector have mobilized and adopted new policies to minimize the environmental damage resulting from the growing demand for energy. Furthermore, there are prospects for the expansion of photovoltaic energy generation. Thus, the present work aims to design a photovoltaic system for a residence to generate electricity following the technical and regulatory norms currently in effect. It is concluded that the estimated production of electrical energy from this system is approximately 2,908 kWh per year, with the consumption registered in the last 12 months being 2,215 kWh. The excess production is converted into energy credits and the consumer has up to 60 months to use them. The investment for the implementation of the project was approximately R\$7,720.00, with a payback period of approximately 10 years. The financial investment presents a high payback period, but the contributions to the environment and society make photovoltaic systems attractive, because it is possible to generate clean electricity without producing or consuming polluting elements that generate the greenhouse effect and global warming.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic Energy. Residence. Design.

