



ENERGIA SOLAR: ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM COLATINA (ES)

SOLAR ENERGY: STUDY ON THE ECONOMIC FEASIBILITY OF THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN A SINGLE-FAMILY RESIDENCE IN COLATINA (ES)

Gabriel Bastos Plantickow¹, Bernardo Pianna Campostrini¹, Alexandre Leite Ferreira²

¹Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Espírito Santo – UNESC, ²Mestre em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Itajubá, Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Itajubá, Professor do Centro Universitário do Espírito Santo – UNESC.

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é a energia gerada pela conversão da radiação solar em eletricidade. No Brasil, a geração solar fotovoltaica é regulada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas. O objetivo do trabalho é analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar em Colatina (ES) e comparar com a energia atualmente utilizada. O dimensionamento do sistema foi feito a partir das características do local, do perfil do consumidor e do desempenho do sistema. Baseado em estimativas e previsões, foram definidos três cenários de reajuste da tarifa de energia para o estudo. No cenário A com reajuste anual de 3,75%, o Valor Presente Líquido (VPL) foi de R\$ 50.303,55, a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi de 19,36% com payback descontado de 6 anos e 4 meses; no cenário B com reajuste anual de 5,61%, o VPL foi de R\$ 67.444,68, a TIR foi de 21,25% com payback descontado de 6 anos e 1 mês; no cenário C com reajuste anual de 10,00%, o VPL foi de R\$ 132.936,82, a TIR foi de 25,67% com payback descontado de 5 anos e 6 meses. Em todos os cenários o VPL foi positivo, indicando que a economia gerada superou o investimento e o payback foi satisfatório levando-se em consideração um horizonte de projeto de 25 anos.

Palavras-chave: Energia Solar, viabilidade econômica, Colatina.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is the energy generated by solar radiation into electricity. In Brazil, photovoltaic solar generation is regulated by the Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), which requires the general conditions for distributed micro and mini-generation access. The aim of this work is to analyze the economic feasibility of implementing a photovoltaic system in a single-family home in Colatina (ES) and compare it with the regular electricity used. The dimensioning of the system was made based on the characteristics of the location, the consumer profile, and the performance of the system. Based on estimates and forecasts, three energy tariff



readjustment scenarios were defined for the study. In scenario A with an annual readjustment of 3.75%, the Net Present Value (NPV) was R\$ 50.303,55, the Internal Rate Return (IRR) was 19,36% with a compensated return of 6 years and 4 months; in scenario B with an annual adjustment of 5.61%, the NPV was R\$ 67.444,68, the IRR was 21,25% with a compensated return of 6 years and 1 month; in scenario C with an annual adjustment of 10.00%, the NPV was R\$ 132.936,82, the IRR was 25,67% with a compensated return of 5 years and 6 months. In all scenarios the NPV was positive, indicating that the savings generated exceeded the investment and the payback was satisfactory considering a 25-year project horizon.

Keywords: Solar Energy, economic viability, Colatina

INTRODUÇÃO

O Sol, a estrela central do Sistema Solar, é também sua principal fonte de energia, a qual é gerada por meio de fusão nuclear, processo no qual o hidrogênio é convertido em hélio, liberando energia radiante. A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007).

O grande marco da geração solar fotovoltaica no Brasil foi a introdução da Resolução Normativa - REN n° 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em abril de 2012. A mesma estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de abastecimento de energia elétrica. Sendo revista pela REN n° 687 e pela REN n° 786 em 2015 e 2017, respectivamente, e definiu a microgeração distribuída como central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis e esteja conectada à rede por meio de instalações de unidades consumidoras. Seja em um empreendimento com múltiplas ou uma unidade consumidora, a norma possibilita a injeção da eletricidade gerada e não consumida na rede e define que a energia inserida em determinado horário deve ser utilizada de forma a compensar a demanda nesse mesmo posto tarifário.

A tarifa média nominal de energia elétrica sofreu um aumento de 230% de 2001 a 2019, segundo cálculos da ANEEL, frente a uma elevação de 189% do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que representa a inflação oficial medida pelo governo, no mesmo período. A demanda energética no mundo

contemporâneo está crescendo, além da busca pela redução dos impactos do homem no meio ambiente. Por esses motivos se mostra importante a comparação entre as fontes alternativas de energia e as tradicionais tecnologias (COUTINHO, 2019).

O objetivo do trabalho é fazer um comparativo entre a eletricidade atualmente utilizada e a energia solar fotovoltaica. Para mostrar o melhor custo-benefício da energia solar fotovoltaica, foi feita uma pesquisa bibliográfica sendo consultados livros, órgãos reguladores, publicações de agentes do setor energético, monografias, dissertações, teses e sites referentes ao tema abordado. Para o estudo de caso foram utilizados bancos de dados para calcular o índice solarimétrico da região de Colatina (ES) e a angulação ideal das células fotovoltaicas. Para a análise da viabilidade econômica foram utilizados conceitos da matemática financeira e o auxílio de planilhas eletrônicas para o cálculo do payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar a comparação entre os sistemas fotovoltaicos e convencionais, foi feito um estudo de caso em uma residência unifamiliar localizada em Colatina (ES), de onde foram extraídas informações como o levantamento do consumo, gastos com eletricidade na edificação, o desempenho do sistema e a irradiação solar no local para otimizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Os dados do estudo da viabilidade financeira foram calculados e armazenados em planilhas eletrônicas e para análise dos mesmos foram utilizados conceitos da matemática financeira.

CARACTERIZAÇÃO DA RESIDÊNCIA

A residência utilizada para o estudo de caso situa-se no bairro Marista, Colatina (ES), Brasil. Foi construída em um terreno de 37 m de largura por 26 m de profundidade, totalizando 962 m². O bairro é predominantemente residencial, sem muitas casas e vegetação ao redor e não há potenciais sombreamentos causados por agentes externos, conforme exibido na Figura 1.



Figura 1 - Vista aérea da residência estudada.
Fonte: Modificado do Google Earth.

Há consumo de eletricidade nos 4 quartos, 2 banheiros, área de serviço, cozinha, sala de estar, piscina e jardim. Existem eletrodomésticos como TVs, computadores, geladeira, freezer, micro-ondas, aparelhos de som, aquecedores, ar-condicionado, chuveiros elétricos, máquina de lavar e ferro de passar, além de iluminação em todos os cômodos e na área externa. A instalação elétrica é do tipo trifásico e se enquadra no subgrupo B1 (residencial) da ANEEL. A região é atendida pela concessionária Luz e Força Santa Maria (ELFSM).

Para aperfeiçoar o aproveitamento da energia solar recomenda-se o posicionamento das células fotovoltaicas voltadas para o norte geográfico, demonstrado na Figura 2, com uma inclinação aproximada de 20° de acordo com a latitude do local ($19^{\circ} 32' 18''$ Sul) onde há captação máxima da energia fotovoltaica, conforme dados da irradiação solar diária média ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$) de Colatina (ES), reunidos na Tabela 1.



Figura 2 – Incidência da radiação solar diária na residência estudada.
Fonte: Modificado do SunCalc.

TABELA 1 - ÍNDICE SOLARIMÉTRICO DE COLATINA

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	6,09	6,20	5,34	4,58	3,94	3,62	3,69	4,31	4,78	4,93	4,96	5,75	4,85
Ângulo igual a latitude	20° N	5,52	5,90	5,44	5,06	4,68	4,47	4,46	4,91	5,01	4,80	4,59	5,17	5,00
Maior média anual	17° N	5,64	5,98	5,45	5,01	4,59	4,37	4,37	4,85	5,00	4,85	4,67	5,28	5,00
Maior mínimo mensal	22° N	5,44	5,84	5,42	5,08	4,73	4,53	4,52	4,95	5,01	4,77	4,53	5,09	4,99

Fonte: Sundata – CRESESB (2017).

TARIFA DE ENERGIA

O valor da conta elétrica leva em conta o consumo da unidade e os tributos que serão adicionados na conta, conforme mostrado na equação 1.

$$VP = VC + PIS + COFINS + ICMS + CIP \quad (1)$$

Em que:

VP = Valor a ser pago na conta elétrica (R\$)

VC = Valor do consumo (R\$).

PIS = Programas de Integração Social (Imposto Federal).

COFINS = Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Imposto Federal)

ICMS = Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (Imposto Estadual)

CIP = Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (Imposto Municipal).

O valor do consumo (VC), em reais (R\$) é calculado multiplicando-se o valor da energia consumida (EC), em kWh, pela tarifa unitária de energia (TU), em R\$/kWh.

$$VC = EC \times TU \quad (2)$$

O cálculo do PIS, COFINS e do ICMS usa uma base de cálculo que depende do valor do consumo mensal e das alíquotas do PIS e do COFINS que variam mensalmente e da alíquota do ICMS. Os clientes residenciais que consomem acima de 50 kWh pagam 25% de ICMS e, para efeitos de cálculo, iremos definir a alíquota do PIS e do COFINS fixos em 0,88% e 4,07%, com base nas tarifas do último ano na residência estudada.

O cálculo do CIP leva em conta a faixa de consumo e o grupo tarifário. Como a residência estudada pertence ao subgrupo B1 e consome entre 200 e 500 kWh mensais, a tarifa do CIP é de 5,3% de acordo com a ELFSM.

Para a avaliação da viabilidade da simulação são necessários os dados relacionados às tarifas de energia vigentes, bem como suas projeções para os próximos anos. Segundo a ELFSM, o valor pago para o subgrupo B1 no momento do estudo era de 0,59339 R\$/kWh (Bandeira verde sem adicional de bandeiras). Com isso chegamos à tarifa unitária de energia com impostos de 0,8765 R\$/kWh, segundo as bases de cálculos fornecidas pela concessionária.

A atualização anual do preço da eletricidade se dá através do Índice de Reajuste de Tarifas (IRT) em que não há um padrão bem definido. Portanto foram considerados três diferentes cenários de reajuste anual para o cálculo da viabilidade econômica com valores de 3,75% (A), 5,61% (B) e 10,00% (C). O primeiro cenário é a média geométrica da projeção do IPCA para os próximos anos de acordo com o

Banco Central (Tabela 2), o segundo é o reajuste médio residencial da tarifa de energia segundo a ANEEL para o ano de 2021 e o terceiro é um valor sugerido propositalmente alto para comparação com os outros cenários.

TABELA 2 - PROJEÇÃO IPCA

ANO	IPCA
2021	5,15%
2022	3,64%
2023	3,25%
2024	3,25%
MÉDIA	3,75%

Fonte: Os autores.

ENERGIA PRODUZIDA E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Para o cálculo da simulação foram utilizados os dados no plano horizontal (4,85 kWh/m² dia ou 1770,25 kWh/m² ano) (Tabela 1) por segurança ao invés do plano inclinado, caso não seja possível a instalação dos painéis de acordo com o ângulo ótimo de inclinação.

O cálculo da energia produzida é dado pela equação:

$$E = Y_r \cdot P_0 \cdot P_r \quad (3)$$

Em que:

E = Energia entregue pelo sistema em um período

Y_r = Produtividade de referência

P_0 = Potência nominal da unidade geradora

P_r = Performance Ratio

O desempenho global do sistema, também conhecido como *performance ratio* (P_r) relaciona o rendimento nominal com o real. Este é limitado por diversos fatores como funcionamento fora das condições ideais de temperatura, conversão da corrente contínua para alternada e perdas na transmissão e nas ligações

(NAKABAYASHI, 2014). Para esse trabalho, foi considerado um valor de 75% para o P_r , com base nas pesquisas de Coutinho (2019).

Considerando a potência nominal como 1 kWp e a produtividade de referência igual à irradiação solar, obtemos o valor de 1327,7 kWh/m² produzidos ao ano para cada kWp instalado. Ao longo do tempo, no entanto, é necessário levar em conta a perda de eficiência anual dos módulos, que pode chegar até a 1%. Foi adotada uma queda de 0,75% a.a., conforme manual fotovoltaico Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) (PINHO; GALDINO, 2014).

O consumo de energia da unidade no último ano está exposto na Tabela 3. Com esses dados podemos estimar a média de consumo a fim de dimensionar o sistema.

TABELA 3 - CONSUMO ENERGÉTICO DA RESIDÊNCIA ESTUDADA

Meses	Mai 2020	Jun 2020	Jul 2020	Ago 2020	Set 2020	Out 2020	Nov 2020	Dez 2020	Jan 2021	Fev 2021	Mar 2021	Abr 2021
Consumo (kWh)	380	384	349	327	383	360	383	444	476	471	486	469

Fonte: Os autores.

A média de consumo mensal da unidade é de aproximadamente 409 kWh baseado nas últimas faturas da unidade. No Brasil é necessário pagar o custo de disponibilidade de energia à distribuidora, por isso não é financeiramente atrativo adotar um sistema que gere mais do que o que conseguirá ser abatido da conta. Como a instalação elétrica do local é trifásica, o custo de disponibilidade é de 100 kWh mensais. Desse modo devemos dimensionar o sistema fotovoltaico para produzir o montante médio consumido em kWh e subtrair o Custo de Disponibilidade. Desse modo a geração ideal do sistema será de 309 kWh mensais ou 3708 kWh anuais. Assim, conhecendo a geração ideal e a energia produzida para cada kWp, podemos calcular a potência instalada (P) para suprir o estabelecido.

$$P = \frac{3708 \text{ kWh}}{1327 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{ano}}} \approx 2,80 \text{ kWp}$$

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Com os dados necessários em mãos, foi realizado o da viabilidade econômica do projeto para os três cenários propostos. Conforme mostrado na tabela 3.

TABELA 4 - DADOS OBTIDOS PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Cenário	A	B	C	Fonte dos dados
Reajuste Tarifário	3,75%	5,61%	10,0%	Cálculos Próprios
Classe	Residencial (B1)			ANEEL, 2010
Horizonte de Projeto	25 anos			NAKABAYASHI (2014)
Inflação (IPCA)	3,75%			Cálculos Próprios
Performance Ratio	75%			TOLMASQUIM (2016)
Operação e Manutenção (O&M)	1,00% a.a.			TOLMASQUIM (2016)
Redução de Produtividade	0,75% a.a.			PINHO; GALDINO (2014)
Potência Instalada	2,80 kWp			Cálculos Próprios
Custo de Instalação	R\$ 18.400,00			Cálculos Próprios
Consumo Mensal	409 kWh			Cálculos Próprios
Geração Ideal Anual	3708 kWh			Cálculos Próprios

Fonte: Os autores.

A data do investimento inicial foi convencionada como Ano 0. O orçamento para aquisição e instalação dos kits fotovoltaicos foi feito a partir de consulta com empresas locais, chegando ao valor médio de R\$18.400,00, que possui sinal negativo por tratar-se de uma despesa. A geração de energia inicia-se no Ano 1 com valor estimado de 3708 kWh e é depreciada em 0,75% a.a. A receita nominal é obtida a partir do produto da geração anual pela tarifa de eletricidade e corresponde ao quanto foi economizado ao não se comprar eletricidade da distribuidora. É considerado que o mesmo padrão de consumo atual foi mantido e que a tarifa foi reajustada de acordo com os cenários A, B e C. Na receita líquida, desconta-se o valor de operação e manutenção, estimado em 1% do investimento inicial por ano, segundo Pinho e Galdino (2014). É obtido então o fluxo de caixa simples, que corresponde à soma das receitas líquidas ao longo do tempo. Essa ferramenta, no entanto, não considera a desvalorização monetária, sendo necessária a atualização para o valor presente. Para uma análise mais realista, foi utilizada a taxa de inflação de 3,75% já abordada anteriormente para se chegar ao fluxo de caixa descontado.

A partir dos valores definidos, foi possível determinar o VPL, o TIR e o tempo de payback conforme equações encontradas em Coutinho (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com auxílio de uma planilha eletrônica foi calculada a viabilidade financeira dos três cenários de reajuste propostos. As informações obtidas estão expostas nas tabelas 5, 6 e 7.

TABELA 5 - CENÁRIO A - REAJUSTE 3,75%, INFLAÇÃO 3,75%

ANO	GERAÇÃO ANUAL (kWh)	TARIFA (R\$/kWh)	O & M	RECEITA NOMINAL	RECEITA LÍQUIDA	FLUXO DE CAIXA SIMPLES	VALOR PRESENTE	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO
0				-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00
1	3708	0,8765	-R\$ 184,00	R\$ 3.250,06	R\$ 3.066,06	-R\$ 15.333,94	R\$ 2.955,24	-R\$ 15.444,76
2	3680	0,9094	-R\$ 184,00	R\$ 3.346,65	R\$ 3.162,65	-R\$ 12.171,29	R\$ 2.938,16	-R\$ 12.506,60
3	3653	0,9435	-R\$ 184,00	R\$ 3.446,11	R\$ 3.262,11	-R\$ 8.909,18	R\$ 2.921,02	-R\$ 9.585,59
4	3625	0,9789	-R\$ 184,00	R\$ 3.548,52	R\$ 3.364,52	-R\$ 5.544,66	R\$ 2.903,83	-R\$ 6.681,76
5	3598	1,0156	-R\$ 184,00	R\$ 3.653,98	R\$ 3.469,98	-R\$ 2.074,68	R\$ 2.886,60	-R\$ 3.795,16
6	3571	1,0536	-R\$ 184,00	R\$ 3.762,57	R\$ 3.578,57	R\$ 1.503,89	R\$ 2.869,33	-R\$ 925,83
7	3544	1,0932	-R\$ 184,00	R\$ 3.874,39	R\$ 3.690,39	R\$ 5.194,28	R\$ 2.852,04	R\$ 1.926,21
8	3518	1,1341	-R\$ 184,00	R\$ 3.989,53	R\$ 3.805,53	R\$ 8.999,82	R\$ 2.834,72	R\$ 4.760,94
9	3491	1,1767	-R\$ 184,00	R\$ 4.108,10	R\$ 3.924,10	R\$ 12.923,91	R\$ 2.817,39	R\$ 7.578,32
10	3465	1,2208	-R\$ 184,00	R\$ 4.230,18	R\$ 4.046,18	R\$ 16.970,10	R\$ 2.800,04	R\$ 10.378,37
11	3439	1,2666	-R\$ 184,00	R\$ 4.355,90	R\$ 4.171,90	R\$ 21.142,00	R\$ 2.782,69	R\$ 13.161,06
12	3413	1,3141	-R\$ 184,00	R\$ 4.485,35	R\$ 4.301,35	R\$ 25.443,35	R\$ 2.765,33	R\$ 15.926,39
13	3388	1,3634	-R\$ 184,00	R\$ 4.618,65	R\$ 4.434,65	R\$ 29.878,00	R\$ 2.747,98	R\$ 18.674,37
14	3362	1,4145	-R\$ 184,00	R\$ 4.755,91	R\$ 4.571,91	R\$ 34.449,91	R\$ 2.730,64	R\$ 21.405,01
15	3337	1,4675	-R\$ 184,00	R\$ 4.897,25	R\$ 4.713,25	R\$ 39.163,16	R\$ 2.713,31	R\$ 24.118,32
16	3312	1,5226	-R\$ 184,00	R\$ 5.042,79	R\$ 4.858,79	R\$ 44.021,95	R\$ 2.695,99	R\$ 26.814,31
17	3287	1,5797	-R\$ 184,00	R\$ 5.192,66	R\$ 5.008,66	R\$ 49.030,61	R\$ 2.678,70	R\$ 29.493,01
18	3263	1,6389	-R\$ 184,00	R\$ 5.346,98	R\$ 5.162,98	R\$ 54.193,58	R\$ 2.661,42	R\$ 32.154,43
19	3238	1,7003	-R\$ 184,00	R\$ 5.505,88	R\$ 5.321,88	R\$ 59.515,46	R\$ 2.644,18	R\$ 34.798,61

PLANTICKOW, CAMPOSTRINI e FERREIRA. UNESC EM REVISTA 5 (2021) 16-32

20	3214	1,7641	-R\$ 184,00	R\$ 5.669,51	R\$ 5.485,51	R\$ 65.000,97	R\$ 2.626,97	R\$ 37.425,58
21	3190	1,8303	-R\$ 184,00	R\$ 5.838,00	R\$ 5.654,00	R\$ 70.654,97	R\$ 2.609,79	R\$ 40.035,37
22	3166	1,8989	-R\$ 184,00	R\$ 6.011,50	R\$ 5.827,50	R\$ 76.482,47	R\$ 2.592,65	R\$ 42.628,02
23	3142	1,9701	-R\$ 184,00	R\$ 6.190,15	R\$ 6.006,15	R\$ 82.488,62	R\$ 2.575,55	R\$ 45.203,57
24	3118	2,0440	-R\$ 184,00	R\$ 6.374,12	R\$ 6.190,12	R\$ 88.678,74	R\$ 2.558,49	R\$ 47.762,06
25	3095	2,1206	-R\$ 184,00	R\$ 6.563,55	R\$ 6.379,55	R\$ 95.058,28	R\$ 2.541,48	R\$ 50.303,55

Fonte: Os autores.

TABELA 6 - CENÁRIO B - REAJUSTE 5,61%, INFLAÇÃO 3,75%

ANO	GERAÇÃO ANUAL (kWh)	TARIFA (R\$/kWh)	O & M	RECEITA NOMINAL	RECEITA LÍQUIDA	FLUXO DE CAIXA SIMPLES	VALOR PRESENTE	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO
0				-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00
1	3708	0,8765	-R\$ 184,00	R\$ 3.250,06	R\$ 3.066,06	-R\$ 15.333,94	R\$ 2.955,24	-R\$ 15.444,76
2	3680	0,9257	-R\$ 184,00	R\$ 3.406,65	R\$ 3.222,65	-R\$ 12.111,29	R\$ 2.993,90	-R\$ 12.450,86
3	3653	0,9776	-R\$ 184,00	R\$ 3.570,78	R\$ 3.386,78	-R\$ 8.724,51	R\$ 3.032,65	-R\$ 9.418,21
4	3625	1,0324	-R\$ 184,00	R\$ 3.742,81	R\$ 3.558,81	-R\$ 5.165,70	R\$ 3.071,52	-R\$ 6.346,70
5	3598	1,0904	-R\$ 184,00	R\$ 3.923,14	R\$ 3.739,14	-R\$ 1.426,56	R\$ 3.110,51	-R\$ 3.236,19
6	3571	1,1515	-R\$ 184,00	R\$ 4.112,15	R\$ 3.928,15	R\$ 2.501,60	R\$ 3.149,63	-R\$ 86,56
7	3544	1,2161	-R\$ 184,00	R\$ 4.310,28	R\$ 4.126,28	R\$ 6.627,87	R\$ 3.188,90	R\$ 3.102,35
8	3518	1,2844	-R\$ 184,00	R\$ 4.517,94	R\$ 4.333,94	R\$ 10.961,81	R\$ 3.228,33	R\$ 6.330,68
9	3491	1,3564	-R\$ 184,00	R\$ 4.735,61	R\$ 4.551,61	R\$ 15.513,42	R\$ 3.267,93	R\$ 9.598,61
10	3465	1,4325	-R\$ 184,00	R\$ 4.963,77	R\$ 4.779,77	R\$ 20.293,20	R\$ 3.307,70	R\$ 12.906,30
11	3439	1,5129	-R\$ 184,00	R\$ 5.202,92	R\$ 5.018,92	R\$ 25.312,12	R\$ 3.347,66	R\$ 16.253,96
12	3413	1,5977	-R\$ 184,00	R\$ 5.453,59	R\$ 5.269,59	R\$ 30.581,71	R\$ 3.387,82	R\$ 19.641,78
13	3388	1,6874	-R\$ 184,00	R\$ 5.716,34	R\$ 5.532,34	R\$ 36.114,05	R\$ 3.428,18	R\$ 23.069,96

PLANTICKOW, CAMPOSTRINI e FERREIRA. UNESC EM REVISTA 5 (2021) 16-32

14	3362	1,7820	-R\$ 184,00	R\$ 5.991,75	R\$ 5.807,75	R\$ 41.921,81	R\$ 3.468,76	R\$ 26.538,72
15	3337	1,8820	-R\$ 184,00	R\$ 6.280,43	R\$ 6.096,43	R\$ 48.018,24	R\$ 3.509,57	R\$ 30.048,30
16	3312	1,9876	-R\$ 184,00	R\$ 6.583,02	R\$ 6.399,02	R\$ 54.417,26	R\$ 3.550,62	R\$ 33.598,91
17	3287	2,0991	-R\$ 184,00	R\$ 6.900,18	R\$ 6.716,18	R\$ 61.133,44	R\$ 3.591,90	R\$ 37.190,82
18	3263	2,2169	-R\$ 184,00	R\$ 7.232,63	R\$ 7.048,63	R\$ 68.182,07	R\$ 3.633,45	R\$ 40.824,26
19	3238	2,3412	-R\$ 184,00	R\$ 7.581,09	R\$ 7.397,09	R\$ 75.579,16	R\$ 3.675,25	R\$ 44.499,51
20	3214	2,4726	-R\$ 184,00	R\$ 7.946,34	R\$ 7.762,34	R\$ 83.341,50	R\$ 3.717,33	R\$ 48.216,84
21	3190	2,6113	-R\$ 184,00	R\$ 8.329,19	R\$ 8.145,19	R\$ 91.486,69	R\$ 3.759,68	R\$ 51.976,52
22	3166	2,7578	-R\$ 184,00	R\$ 8.730,48	R\$ 8.546,48	R\$ 100.033,17	R\$ 3.802,32	R\$ 55.778,84
23	3142	2,9125	-R\$ 184,00	R\$ 9.151,11	R\$ 8.967,11	R\$ 109.000,29	R\$ 3.845,26	R\$ 59.624,11
24	3118	3,0759	-R\$ 184,00	R\$ 9.592,01	R\$ 9.408,01	R\$ 118.408,29	R\$ 3.888,51	R\$ 63.512,62
25	3095	3,2484	-R\$ 184,00	R\$ 10.054,14	R\$ 9.870,14	R\$ 128.278,44	R\$ 3.932,07	R\$ 67.444,68

Fonte: Os autores.

TABELA 7 - CENÁRIO C - REAJUSTE 10,00%, INFLAÇÃO 3,75%

ANO	GERAÇÃO ANUAL (kWh)	TARIFA (R\$/kWh)	O & M	RECEITA NOMINAL	RECEITA LÍQUIDA	FLUXO DE CAIXA SIMPLES	VALOR PRESENTE	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO
0				-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00	-R\$ 18.400,00
1	3708	0,8765	-R\$ 184,00	R\$ 3.250,06	R\$ 3.066,06	-R\$ 15.333,94	R\$ 2.955,24	-R\$ 15.444,76
2	3680	0,9642	-R\$ 184,00	R\$ 3.548,26	R\$ 3.364,26	-R\$ 11.969,68	R\$ 3.125,45	-R\$ 12.319,31
3	3653	1,0606	-R\$ 184,00	R\$ 3.873,81	R\$ 3.689,81	-R\$ 8.279,88	R\$ 3.304,00	-R\$ 9.015,31
4	3625	1,1666	-R\$ 184,00	R\$ 4.229,23	R\$ 4.045,23	-R\$ 4.234,65	R\$ 3.491,33	-R\$ 5.523,98
5	3598	1,2833	-R\$ 184,00	R\$ 4.617,26	R\$ 4.433,26	R\$ 198,62	R\$ 3.687,93	-R\$ 1.836,05
6	3571	1,4116	-R\$ 184,00	R\$ 5.040,89	R\$ 4.856,89	R\$ 5.055,51	R\$ 3.894,31	R\$ 2.058,25
7	3544	1,5528	-R\$ 184,00	R\$ 5.503,40	R\$ 5.319,40	R\$ 10.374,91	R\$ 4.110,98	R\$ 6.169,24
8	3518	1,7081	-R\$ 184,00	R\$ 6.008,33	R\$ 5.824,33	R\$ 16.199,24	R\$ 4.338,52	R\$ 10.507,75
9	3491	1,8789	-R\$ 184,00	R\$ 6.559,60	R\$ 6.375,60	R\$ 22.574,84	R\$ 4.577,50	R\$ 15.085,25
10	3465	2,0667	-R\$ 184,00	R\$ 7.161,44	R\$ 6.977,44	R\$ 29.552,28	R\$ 4.828,53	R\$ 19.913,78

PLANTICKOW, CAMPOSTRINI e FERREIRA. UNESC EM REVISTA 5 (2021) 16-32

11	3439	2,2734	-R\$ 184,00	R\$ 7.818,50	R\$ 7.634,50	R\$ 37.186,79	R\$ 5.092,27	R\$ 25.006,06
12	3413	2,5008	-R\$ 184,00	R\$ 8.535,85	R\$ 8.351,85	R\$ 45.538,64	R\$ 5.369,40	R\$ 30.375,45
13	3388	2,7508	-R\$ 184,00	R\$ 9.319,02	R\$ 9.135,02	R\$ 54.673,65	R\$ 5.660,62	R\$ 36.036,07
14	3362	3,0259	-R\$ 184,00	R\$ 10.174,04	R\$ 9.990,04	R\$ 64.663,69	R\$ 5.966,69	R\$ 42.002,76
15	3337	3,3285	-R\$ 184,00	R\$ 11.107,50	R\$ 10.923,50	R\$ 75.587,19	R\$ 6.288,40	R\$ 48.291,17
16	3312	3,6614	-R\$ 184,00	R\$ 12.126,62	R\$ 11.942,62	R\$ 87.529,81	R\$ 6.626,59	R\$ 54.917,75
17	3287	4,0275	-R\$ 184,00	R\$ 13.239,23	R\$ 13.055,23	R\$ 100.585,04	R\$ 6.982,11	R\$ 61.899,86
18	3263	4,4302	-R\$ 184,00	R\$ 14.453,93	R\$ 14.269,93	R\$ 114.854,98	R\$ 7.355,90	R\$ 69.255,77
19	3238	4,8733	-R\$ 184,00	R\$ 15.780,08	R\$ 15.596,08	R\$ 130.451,06	R\$ 7.748,93	R\$ 77.004,69
20	3214	5,3606	-R\$ 184,00	R\$ 17.227,90	R\$ 17.043,90	R\$ 147.494,96	R\$ 8.162,20	R\$ 85.166,89
21	3190	5,8967	-R\$ 184,00	R\$ 18.808,56	R\$ 18.624,56	R\$ 166.119,53	R\$ 8.596,78	R\$ 93.763,67
22	3166	6,4863	-R\$ 184,00	R\$ 20.534,25	R\$ 20.350,25	R\$ 186.469,78	R\$ 9.053,81	R\$ 102.817,48
23	3142	7,1350	-R\$ 184,00	R\$ 22.418,27	R\$ 22.234,27	R\$ 208.704,05	R\$ 9.534,47	R\$ 112.351,95
24	3118	7,8484	-R\$ 184,00	R\$ 24.475,14	R\$ 24.291,14	R\$ 232.995,19	R\$ 10.039,99	R\$ 122.391,94
25	3095	8,6333	-R\$ 184,00	R\$ 26.720,74	R\$ 26.536,74	R\$ 259.531,93	R\$ 10.571,70	R\$ 132.963,65

Fonte: Os autores.

Analisando as tabelas, é possível afirmar que o projeto é economicamente viável para todos os panoramas testados. O fluxo de caixa descontado foi positivo nos três casos. No cenário A tivemos um VPL de R\$ 50.303,55 e uma TIR de 19,36%; o payback simples desse cenário é cerca de 5 anos e 7 meses e o payback descontado é de 6 anos e 4 meses. No cenário B tivemos um VPL de R\$ 67.444,68 e uma TIR de 21,25%; o payback simples desse cenário é de 5 anos e 5 meses e o payback descontado é de 6 anos e 1 mês. No cenário C tivemos um VPL de R\$ 132.936,82 e uma TIR de 25,67%; o payback simples desse cenário é de 5 anos e o payback descontado é de 5 anos e 6 meses. Percebe-se que quanto maior a tarifa de energia, maior é a economia proporcionada pelo sistema ao longo da vida útil do projeto e, conseqüentemente, maior é a TIR e mais vantajoso é o investimento.

CONCLUSÃO

A discussão de como atingir o desenvolvimento sustentável, encontrar soluções viáveis financeiramente e reduzir os impactos causados pelo homem é de extrema relevância para a sociedade. O artigo busca se inserir nesse contexto, abordando o uso de energia solar fotovoltaica em edificações comparando com as fontes convencionais.

O estudo de caso mostrou que diversos fatores influenciam na viabilidade financeira do projeto, como condições do local de instalação, irradiação solar, desempenho do sistema, perfil de consumo, investimento necessário, condições tarifárias, inflação, entre outras, que foram levadas em conta para a avaliação. Os resultados indicaram um valor presente líquido positivo para todos os três cenários analisados e uma taxa interna de retorno que supera os reajustes estudados, mostrando que a economia proporcionada pelo sistema é superior ao investimento demandado. Levando em consideração uma vida útil do sistema de 25 anos, o payback encontrado nos três cenários estudados foi bem satisfatório, sendo que na pior situação estudada o custo do sistema “se paga” em aproximadamente um quarto do horizonte do projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos para as empresas Technova Engenharia, Solartec Energia, Comet Energias Renováveis, Tática Solar e Noroeste Energia Solar pela ajuda em

montar o orçamento da implantação do sistema fotovoltaico usado no estudo. Agradecemos também a Luz e Força Santa Maria pelas informações cedidas sobre a tarifa de energia também usadas no estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INFRA. **Energia elétrica tem aumento de 230% desde 2001, frente a uma inflação de 189% no período, diz Aneel**. 2001. Disponível em: <<https://www.abdib.org.br/2019/05/06/energia-eletrica-tem-aumento-de-230-desde-2001-frente-a-uma-inflacao-de-189-no-periodo-diz-aneel/>>. Acesso em: 08 Jun. 2021.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 414**. Brasília, 09 de setembro de 2010. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/resolucoes-normativas>>. Acesso em: 03 Mar. 2021.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 482**. Brasília, 17 de abril de 2012. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/resolucoes-normativas>>. Acesso em: 03 Mar. 2021.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 687**. Brasília, 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/resolucoes-normativas>>. Acesso em: 03 Mar. 2021.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Programa de incentivo às fontes alternativas**. Brasília, 27 de novembro de 2015. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/proinfra>>. Acesso em 03 Mar. 2021.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 786**. Brasília, 17 de outubro de 2017. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/resolucoes-normativas>>. Acesso em: 03 Mar. 2021.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório Evolução Tarifas Residenciais**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/relatorio-evolucao-tarifas-residenciais>>. Acesso em: 03 Mar. 2021.

COUTINHO, Fernando Jubran. **Uso de energia fotovoltaica em edificação – vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional**. 2019. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

CRESESB Potencial Solar - SunData, versão 3.0: CCST/LABREN/INPE, 2017.

ELFSM - Empresa Luz e Força Santa Maria. **Tributos na Fatura**. Disponível em: <<https://portal.elfsm.com.br/consumo/tributos-na-fatura/>>. Acesso em: 28 Fev. 2021.

ESTADÃO. **Focus eleva novamente projeção para IPCA de 2021, de 5,06% para 5,15%**. Disponível em:<<https://www.istoedinheiro.com.br/focus-eleva-novamente-projecao-para-ipca-de-2021-de-506-para-515/>>. Acesso em: 08 Jun. 2021.

GOOGLE EARTH. Disponível em:<<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 30 maio 2021.

IMHOFF, Johninon. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2007. 146f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2007.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 107f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências) - Instituto de Energia e Ambiente. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2014.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. (Org.) **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

SUNCALC. Disponível em:<<https://www.suncalc.org/#/>>. Acesso em: 30 Mai. 2021.

TOLMASQUIM, Maurício, **Energia renovável hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016. 452p.