

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM PROJETO FOTVOLTAICO DE BAIXO CUSTO INICIAL PARA FAMÍLIAS DE BAIXA RENDA

Ana Cecília Fernandez dos Santos¹, Eduardo José de Araújo², Kimberlly da Silva Neves³, Lorena Araújo dos Santos⁴, Marlon Lucas Gomes Salmento⁵ e Tamires Cristina Rodrigues Santos⁶.

^{1,2,3,4}Instituto Federal de Minas Gerais Campus Avançado Itabirito, Itabirito, Brasil

⁵Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

Abstract: Nowadays, the generation of renewable solar energy is developing on a large scale. Nonetheless, acquiring a photovoltaic system implies a high cost due to its components such as modules and high-power inverters. Taking it into consideration, only part of the population has financial access to invest in this system. A possible solution to this problem is the use of solar tiles which have become popular and enables the consumer to buy it gradually, according to his financial availability. Since plenty of this technology cannot be found in the market, there are some studies using prototypes which associate mini solar panels to traditional roof tiles. In this paper, we present the economic feasibility analysis of a prototype based on mini solar panels associated to an ecological tile. Through this work, we demonstrate that this system is economically feasible, meeting the power demand and enabling its acquisition by low-income families.

Resumo: A geração de energia renovável que utiliza a luz solar vem crescendo em grande escala. Entretanto a aquisição de um sistema fotovoltaico ainda tem um elevado custo devido ao preço dos equipamentos que compõem o sistema, principalmente os módulos e os inversores de grande potência. Desta forma, o sistema fica restrito apenas à população que possui condições financeiras para investir um alto valor inicial na instalação de um sistema fotovoltaico. Uma solução para esse problema é a utilização das telhas solares que estão se popularizando no mercado. A partir das mesmas, é possível adquirir o sistema fotovoltaico de forma gradual, ou seja, a aquisição pode ser feita de acordo com a disponibilidade financeira do consumidor. Como esta tecnologia encontra-se restrita no mercado, há estudos com protótipos associando mini painéis solares a telhas convencionais. Visamos, com este trabalho, apresentar a análise da viabilidade econômica de um protótipo que associa mini painéis fotovoltaicos a uma telha ecológica. Essa análise demonstra que o mesmo prova ser um sistema viável economicamente, atendendo a demanda de potência como um sistema convencional, e permitindo sua aquisição por famílias de baixa renda devido ao seu baixo custo inicial.

Keywords: Solar Photovoltaic Energy; Solar Tiles; Economic Feasibility.

Palavras-chaves: Energia Solar Fotovoltaica; Telhas Solares; Viabilidade Econômica.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da preocupação ambiental e a escassez dos recursos naturais utilizados para obtenção de energia elétrica, as fontes renováveis ganham cada vez mais espaço no mercado energético. Uma das opções é a energia fotovoltaica, que utiliza a conversão da energia solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico gerado pelos painéis solares.

Essa energia possui um grande potencial de geração no país devido a sua localização geográfica com elevada incidência de radiação solar durante o ano (Portal Solar 2021).

Além da vantagem de ser uma produção de energia limpa, inesgotável e confiável, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou uma regulamentação em 2012 que contribuiu para que se tornasse um dos maiores atrativos da geração de energia solar. Com a normativa 482/2012, o

consumidor tem a possibilidade de gerar sua própria energia elétrica e o excedente torna-se créditos em quilowatt-hora (kWh) para faturas posteriores (ANEEL 2015).

A geração da própria energia pode ser feita de duas maneiras: *off-grid* ou *on-grid*. O primeiro sistema é caracterizado por não estar conectado à rede elétrica da concessionária e utilizar baterias para armazenar energia, por isso também é conhecido como sistema isolado. Diferentemente, o sistema *on-grid* é interligado à concessionária, de forma a injetar ou consumir energia, descartando o uso de baterias, mas necessitando um medidor bilateral (Moraes Filho 2017). Através deste equipamento, a concessionária indica se há créditos ou débitos para a fatura de energia elétrica.

Após a aquisição e instalação do sistema, tem como consequência, redução nos valores de consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, nas contas associadas. A produção de energia solar passa a ser vista como um projeto

de investimento econômico na indústria, no comércio ou nas residências.

Apesar da redução dos preços dos painéis fotovoltaicos nos últimos anos, a aquisição e instalação do sistema requer um valor de investimento inicial alto, o que limita o acesso à população de baixa renda (Empresa de Pesquisa Energética 2020). Uma possível solução é a substituição dos módulos fotovoltaicos por uma nova tecnologia que permite a aquisição gradual do sistema, as telhas solares.

No Brasil, essa tecnologia foi apresentada pela empresa Eternit em 2019, com a estimativa de economizar de 10% a 20% no valor final da compra se comparada ao sistema convencional (Portal Solar 2019). Em setembro de 2021, a empresa iniciou a comercialização de telhas conhecidas como BIG-F10 para clientes selecionados no Estado de São Paulo, mas com o propósito de expansão comercial nos meses subsequentes. Segundo o presidente do grupo Eternit, o objetivo da empresa é democratizar o acesso à energia elétrica originada de fontes renováveis (Ciclo Vivo 2021).

Uma vez que a fabricação e venda das telhas solares no Brasil ainda é limitada e restrita, estudos sobre protótipos de telhas solares utilizando telhas convencionais associadas a células fotovoltaicas são encontrados na literatura (Barbosa 2016; Dias 2018).

Neste contexto, este trabalho consiste no estudo e análise da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico que seja acessível à população de baixa renda, através de um protótipo com utilização de telhas do tipo *Onduline* associadas a mini painéis fotovoltaicos a fim de comparação com um sistema fotovoltaico convencional.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho pode ser dividida em etapas conforme é apresentado no fluxograma da Figura 1.

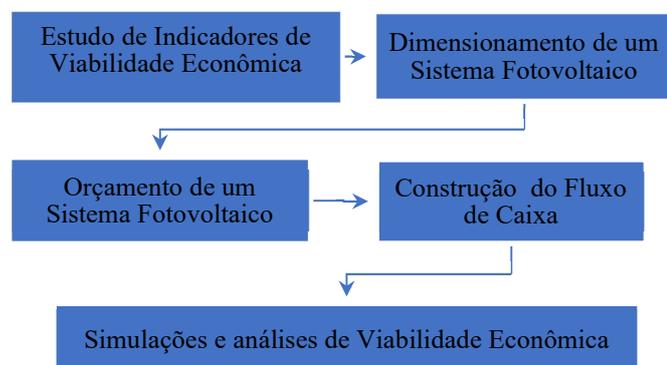


Fig. 1 Fluxograma Projeto Sistema Fotovoltaico

Etapa 1: Estudo de Indicadores de Viabilidade Econômica

Esta etapa consiste na realização do Referencial Teórico relacionado à Viabilidade Econômica de um Projeto. Foram abordados os principais indicadores econômicos utilizados.

O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos indicadores mais utilizados, pois o mesmo calcula o valor presente de pagamentos futuros. O cálculo é realizado através da subtração do valor inicial do projeto e o valor de entrada líquido, descontada a uma taxa de atratividade (TMA). Esta taxa refere-se a um desconto utilizado para representar o mínimo de retorno que o investidor espera obter (Lemes Júnior; Rigo; Cherobim 2002). A equação 1 apresenta o detalhamento do cálculo.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \quad (1)$$

Onde:

- I : Investimento de capital Inicial na data zero;
- FC_t : Fluxo de caixa total,
- TMA : Taxa mínima de atratividade;
- n : Período analisado.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um indicador utilizado para apurar a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu Valor Presente Líquido. Desta forma, a TIR faz com que os valores dos lucros, quando trazidos para a data zero e somados, se tornem o mesmo valor do investimento inicial, representando a porcentagem de retorno que o investimento terá (Cervi; Esperancini; Bueno 2010). Quando o resultado do TIR for superior a TMA o projeto é considerável viável e quanto maior a TIR melhor mais lucrativo será o negócio. A equação 2 apresenta o cálculo da obtenção da TIR.

$$-I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2)$$

O *Payback* é um método de análise, que evidencia o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Este índice tem como objetivo indicar o grau de risco do projeto, uma vez que, se o *payback* for superior ao tempo estabelecido pelo investidor, o projeto deverá ser reconsiderado (Camargo; Costa 2017).

Etapa 2: Dimensionamento de um sistema Fotovoltaico

Uma vez que, o objetivo final do projeto é obter um sistema que atenda a população de baixa renda, foi estipulada uma variação de consumo mensal de uma residência entre 50 a 200 quilowatts-hora (kWh) por mês.

O primeiro passo foi encontrar a potência total dos módulos em conjunto (PT_{mod}). Para isso, foi considerado o consumo médio diário (C_d) dividido pela multiplicação do valor médio de irradiação solar da região (N_{hsol}) e o rendimento do módulo (η). O consumo médio diário é o consumo médio mensal subtraído do valor referente ao custo de disponibilidade de rede monofásica (30kWh) dividido por 30 dias. Já no rendimento, foi utilizado o valor mais comum de 0,8. O valor

médio de irradiação solar para a localidade de Itabirito (Minas Gerais) é de 5,20 kWh/m² (Martins 2020).

$$PT_{mod} = \frac{C_d}{N_{hsol} \cdot \eta} \quad (3)$$

Onde:

- PT_{mod} : Potência total dos módulos;
- C_d : Consumo médio diário;
- N_{hsol} : Valor médio de irradiação solar da região;
- η : Rendimento do módulo.

A seguir são apresentadas as equações para cálculo da quantidade de módulos (Qtd_{mod}), posteriormente, a potência total dos módulos (PTI) e a estimativa da energia elétrica produzida no ano (Ep). As equações para estes cálculos são apresentadas na sequência.

$$Qtd_{mod} = \frac{PT_{mod}}{P_{mod}} \quad (4)$$

$$PTI = Qtd_{mod} \cdot P_{mod} \quad (5)$$

$$Ep = P_{mod} \cdot Qtd_{mod} \cdot N_{hsol} \cdot \eta \cdot 365 \quad (6)$$

Onde:

- Qtd_{mod} : Quantidade de módulos;
- PT_{mod} : Potência total dos módulos;
- P_{mod} : Potência dos módulos;
- PTI : Potência total dos módulos;
- Ep : Estimativa da energia elétrica produzida no ano;
- N_{hsol} : Valor médio de irradiação solar da região;
- η : Rendimento do módulo.

Após a realização do dimensionamento dos painéis, foi realizado o dimensionamento do inversor. Nesta etapa, foi considerada a recomendação dos fabricantes e instaladores a utilização do fator de dimensionamento do inversor (FDI) na faixa de 0,75 a 0,85, e com limite superior de 1,05 (Pinho; Galdino 2014). Com o intervalo de FDI definido, foi calculada a potência dos inversores através da equação 7.

$$FDI = \frac{P_{inversor}}{PTI} \quad (7)$$

Onde:

- FDI: Fator de dimensionamento do inversor;
- $P_{inversor}$: Potência dos inversores;
- PTI : Potência total dos módulos.

Etapa 3: Orçamento de um sistema fotovoltaico

Para um sistema convencional, foram utilizados os dados do dimensionamento, realizada uma pesquisa de preço de mercado para obter os valores financeiros dos módulos e inversores. A aquisição de cabos elétricos que realizam o transporte da corrente contínua (CC) e da corrente alternada (CA) pelo sistema não sofreu alteração monetária para o intervalo de potência considerado no estudo e, por isso, a aquisição desses cabos elétricos foi estabelecida como valor fixo (Martins 2020).

Para o sistema fotovoltaico de telhas solares, foi utilizado um protótipo de telha solar. O modelo dispõe de uma telha modelo ecológico *Onduline* com integração de dois minis painéis por vão, associados de forma mista. O mini painel possui características de tensão 5V e potência 5W. Como a potência de entrada é baixa, foi utilizado um microinversor, dispensando o uso de String Box. A partir destas definições e do dimensionamento, foi estipulado o quantitativo de materiais e realizada a pesquisa de preço de mercado.

Em ambos os casos, a instalação e manutenção do sistema foram consideradas de elevado custo. Segundo o ENTEC SOLAR 2019, o preço varia, respectivamente, 10% e 2% ao ano do valor do módulo e do inversor para um sistema convencional. O mesmo foi utilizado para o sistema de telhas solares.



Fig. 2 Protótipo de telha solar utilizado para análise de viabilidade.

Etapa 4: Construção do Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa é uma técnica utilizada para determinar o valor presente de um objeto de estudo com base nos valores futuros. Esta metodologia tem como finalidade auxiliar em decisões estratégicas de investimento (Gazzoni 2003). O fluxo de caixa descontado (F_{cd}) considera, neste processo, o desconto do tempo e os riscos assumidos, sua fórmula é apresentada conforme a equação 8.

$$F_{cd} = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC^t}{(1+TMA)^t} \quad (8)$$

Onde:

- F_{cd} : Fluxo de caixa descontado;
- FC : Fluxo da soma entre os gastos e o lucro no período t ;
- TMA : Taxa mínima de atratividade;
- n : Período analisado.

Através do software Excel, foi construído um fluxo de caixa para um período de 25 anos. Foi considerado a TMA a 12,25%, IPCA e IPGM sendo a média dos últimos cinco anos (respectivamente 5,1154% e 11,054%) e taxa de depreciação mais utilizada no mercado, 0,8%. Já o valor da energia elétrica foi considerado a média anual do ano de 2021 do preço do KW/h cobrado pela concessionária CEMIG.

A primeira saída monetária do fluxo é constituída pelo valor para aquisição do sistema dimensionado, somado ao seu custo de instalação. Nos anos seguintes, a saída é composta pelo valor da manutenção do sistema acrescido da inflação temporal. Uma vez que o inversor possui uma vida útil de 10 a 15 anos, foi considerado o valor da troca do mesmo após 12

anos também crescido do indicador IPCA. A entrada monetária é composta pela economia gerada pelo sistema multiplicada pelo valor da tarifa de energia de R\$1,05 real e seu acréscimo anual.

Com as entradas e saídas definidas e realizado a diferença entre elas estabelecida, obtemos, assim, o fluxo de caixa e, posteriormente, o fluxo descontado. Através da montagem do fluxo de caixa descontado, são obtidos os indicadores VPL, TIR e Payback.

Etapa 5: Simulação e análise da viabilidade econômica

Para uma análise da viabilidade econômica, primeiro realiza-se a análise de um sistema convencional para uma potência de consumo de 100 kWh/mês. Se a Taxa Interna de Retorno (TIR) for maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) o sistema é viável economicamente, pois o retorno gerado é maior que a taxa mínima de atratividade. Ao analisar o sistema com telhas solares, foram analisados três cenários.

O primeiro é configurado pela aquisição integral, ou seja, a aquisição para resultar em uma demanda de 100kWh/mês.

O segundo cenário considera, para a análise, a aquisição parcial do sistema. O dimensionamento é realizado considerando a potência do inversor, de forma a dividir o sistema integral em três partes. A quantidade de módulos, telhas e a potência do inversor reduzem para 1/3 do sistema integral, e, conseqüentemente, o valor do investimento inicial. Anualmente é adquirida uma parte do sistema, de forma que, após três anos há a integração total do sistema com a demanda próxima de 100 kWh/mês.

O terceiro cenário, além da aquisição parcial do cenário anterior, é realizado um espaçamento entre a aquisição parcial dos sistemas em um ano. Desta forma, o sistema instalado gera retorno e minimiza os custos para a instalação do próximo, além do fato de gerar um maior prazo para quitar o sistema adquirido. No intervalo de cinco anos, o sistema se encontra com a potência integral.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos, na tabela 1, o dimensionamento do sistema fotovoltaico que foi calculado através das equações 3 a 7 para a faixa de consumo de energia de 50 a 200 kWh/mês.

Tabela 1: Dimensionamento de um sistema fotovoltaico convencional

	50	100	125	150	200
PTmod (kWp)	0,160	0,561	0,761	0,962	1,362
Qtmod (und)	02	04	06	07	10
PTI (kW)	0,300	0,600	0,900	1,050	1,500
Ep (kWh/ano)	455,5	911,0	1366,5	1594,3	2277,6
Pinv (W)	250	500	750	1000	1200
FDI	0,83	0,83	0,83	0,95	0,80

Para o sistema utilizando telhas solares, o dimensionamento foi realizado para uma demanda de 100 kWh mensal, por meio das equações 3 a 7, de forma a respeitar o designer da telha apresentado na Figura 2. O resultado desse dimensionamento é apresentado na tabela 2. É possível observar que os valores encontrados se aproximam de um sistema convencional, porém é necessária uma quantidade 28 vezes superior de telhas para suprir determinada potência. Uma vez que os mini painéis são acoplados na telha, essa característica quantitativa não se torna um problema.

Tabela 2: Dimensionamento de um sistema de telhas solares

Cm (kWh/mês)	PT mod. (kWp)	Qtd mod. (und)	Qtd telha (und)
70	0,561	112	12
PTI (kWp)	Ep (kWh/ano)	P inversor (W)	FDI
0,560	850,30	450	0,80

Um quadro comparativo dos sistemas de 100 kWh é apresentado na tabela 3.

Tabela 3: Quadro comparativo

	Sistema Convencional	Sistema Protótipo
Potência dos painéis	150 W	05 W
Quantidade	04 und	112 und
Inversor	500 W	3 x 150 W
PTI	600 W	560 W
Energia Prod. (Ep)	911 Wh/ ano	850 Wh/ano
Materiais	Cabo String Box	Telha Ecológica

Utilizando o dimensionamento apresentado na tabela 3, foi realizado um orçamento através da quantidade de painéis e potência do inversor de cada sistema. Somado ao custo de instalação, o valor do investimento inicial necessário para aquisição é adquirido.

O sistema com telhas solares apresentou um orçamento quase 7% menor que o convencional. Apesar do gasto com painéis ser superior, um dos equipamentos mais custoso para a instalação do sistema é o inversor. Quanto maior a potência de trabalho, maior será o custo financeiro. Neste caso, a redução financeira foi de 70%.

Tabela 4: Orçamento Sistemas Fotovoltaicos

	Sistema Convencional	Sistema Protótipo
Painel	R\$ 1716,00	R\$ 2660,00
Inversor	R\$ 1549,00	R\$ 479,70
Materiais	R\$ 279,90	R\$ 299,88
Instalação	R\$ 197,80	R\$ 50,35
Investimento Inicial	R\$ 3742,70	R\$ 3489,93

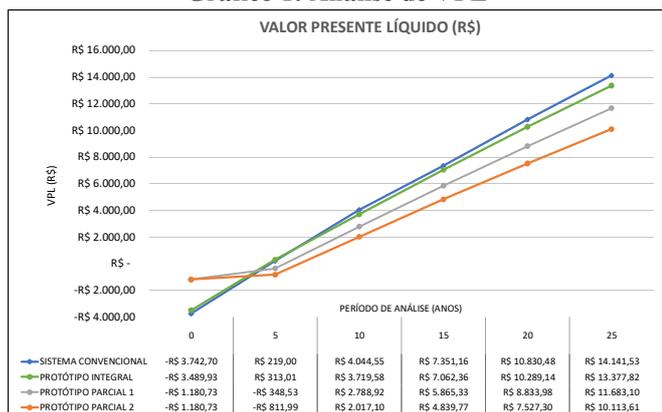
Uma vez que o investimento inicial do protótipo de telhas solares, apesar da redução, ainda apresenta um valor alto para famílias de baixa renda, o sistema foi dividido em três partes. Essa divisão foi realizada através da potência do inversor de 450 W, de forma a fragmentar o sistema com 3 inversores de 150W, redimensionando a quantidade de painéis e telhas necessárias para obter esta potência. A quantidade de painéis passa a ser de 38 módulos, integradas a 4 telhas para cada inversor de 150W. Dessa forma, o investimento inicial passa a ser de R\$ 1180,73 reais, o que representa quase 34% do investimento do sistema instalado de forma integral.

Com isso, o cliente passa a ter um período para o sistema instalado gerar energia e descontos na conta de energia, além de um prazo para quitar o custo de aquisição do sistema instalado até uma nova aquisição. Na tabela 5, são apresentados os resultados dos indicadores de viabilidade econômica para todos os cenários de estudo obtidos através das equações 1, 2 e 8, e pela análise do fluxo de caixa apresentado no APÊNDICE. No gráfico 1, é apresentada a comparação entre os sistemas analisados considerando 5, 10, 15, 20 e 25 anos.

Tabela 5: Resultados dos indicadores de viabilidade

	Sistema Convencional	Prot. Integral	Prot. Parcial 01	Prot. Parcial 02
Investimento	3.742,70	3.489,93	3.562,31	3.563,64
Tempo Aquisição	01 ano	01 ano	03 anos	05 anos
TIR	35,07%	35,27%	35,25%	35,04%
Payback	5 anos	5 anos	6 anos	7 anos
VPL	14.141,53	13.377,82	11.683,10	10.113,61
Retorno	3,78	3,83	3,28	2,84

Gráfico 1: Análise de VPL



Nota-se que ambos os sistemas são viáveis devido ao fato da TIR ser superior a TMA, de forma a obter um retorno positivo financeiramente ao longo do tempo. O sistema desenvolvido com protótipo de forma integral se torna até mais atrativo economicamente que um sistema convencional, pois os mesmos apresentam curvas de retorno parecidas, *payback* de 5 anos, e ao analisar o valor investido, o ganho financeiro do

protótipo é 5% superior do que o sistema convencional. Isso acontece devido ao inversor possibilitar a implementação de telhas fotovoltaicas ao sistema de forma gradativa, o que diminui o investimento inicial, apesar do mesmo ter uma vida útil de 5 anos.

Ao analisar o sistema gradual, o tempo de retorno se eleva, uma vez que a potência inicial é inferior à potência do sistema como um todo. O gráfico demonstra esse atraso nos períodos de 0 a 5 anos, onde o sistema está sendo integrado e pago ao mesmo tempo, e o VPL sofre pouca alteração. Logo em seguida, devido ao sistema estar com sua potência total a inclinação da reta se eleva, consequentemente o VPL e a TIR, de forma que no período de 25 anos, ambos possuem a taxa de retorno interna próxima de 35%.

Ao comparar o tempo de instalação do sistema, foi acrescido 2 e 4 anos respectivamente para o sistema parcial 1 e o sistema parcial 2, e o *payback* aumentou apenas 1 e 2 anos de acordo com a característica de instalação. E mesmo apresentando um intervalo de pausa no segundo cenário, o sistema se prova viável com obtenção de 71,52% de VPL de um sistema convencional.

4. CONCLUSÕES

Através deste estudo, foi possível realizar uma comparação entre o sistema fotovoltaico convencional e o sistema construído. Para o mesmo consumo de energia, o sistema de baixo custo inicial consegue alcançar 94% do investimento entregue por um sistema convencional, porém com um acréscimo de tempo. Desta forma, são comprovadas a viabilidade econômica de ambos os casos e a atratividade da energia fotovoltaica.

O que torna o projeto de baixo custo interessante é a característica de implementação gradual do sistema, que replica a característica das telhas solares, que futuramente serão comercializadas no Brasil para todos os tipos de consumidores.

Ao utilizar o sistema gradual, a construção passa a ser mediada pela característica financeira do consumidor, sempre respeitando os limites de potência do inversor. Com a aquisição do sistema realizada por etapas, o investimento inicial reduz de forma a permitir acesso à geração de energia fotovoltaica para população de baixa renda. É esperado que, com o tempo, as telhas solares se tornem um avanço econômico e social da microgeração de energia elétrica.

Para futuros trabalhos, sugerimos o estudo da viabilidade para projetos de maior porte, tais como de setores industrial e comercial, de forma a considerar a correlação entre área necessária para instalação das telhas e demanda energética.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, em especial a Pró Reitoria de

Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação pelo financiamento e apoio nesta pesquisa, ao Campus Avançado de Itabirito onde se desenvolveu o projeto, assim como ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais pela colaboração nesse processo. Também agradecemos a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AMARGO, M. P. de; COSTA, C. R. (2017). Viabilidade econômica do cultivo de videira niágara rosada. São Paulo, 2017.
- ANEEL. (2005). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília.a, 2005.
- ANEEL. (2014). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. 2. ed. Brasília: Aneel, 25 mar. 2014. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. de 2020.
- ANEEL. (2015). Geração Distribuída. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em: 10 de jan. de 2020.
- BARBOSA, RICARDO R. ALEXANDRE A. VARGAS. (2016). Estudo Da Captação De Energia Com Célula Fotovoltaica Em Telha De Zinco. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul., Porto Alegre, 2016.. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/1183/148010/001000554.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> .
- CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. (2010). Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. Eng. Agrícola, Jaboticabal, p. 831–844, 2010. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - São Paulo: Blucher, 2015.
- CICLO VIVO. (2021). 1ª Telha Solar do Brasil inicia comercialização. - Redaçãoãõ Ciclo Viva, 09 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/inovacao/negocios/telha-solar-brasil-comercializacao/>>. Acesso em: 19 de set. de 2021.
- DIAS, Aldrin Bezerra. (2018). Implantação de células solares fotovoltaicas em superfícies onduladas e planas: desenvolvimento de protótipo e projeto para aplicação no campus da UFRN. Programa de Pós-Graduação em Energia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/26172/1/Implanta%C3%A7%C3%A3oc%C3%A9lulasola res_Dias_2018.pdf>.
- ENTEC SOLAR. (2019). Composição do custo total de instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico. 2019. Disponível em: <<https://blog.entecsolar.com.br/composicao-do-custo-total-de-instalacao-de-um-sistema-de-energia-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 10 de jan. de 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (2020). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 - Ano base 2019. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao160/topico168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202020.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. de 2020.
- MORAES FILHO, J. R. S. (2017). Análise de viabilidade econômica do mercado de microgeração fotovoltaica on grid no estado do Maranhão. Dissertação (Mestrado), — Universidade Federal do Maranhão, Maranhão, 2017.
- GAZZONI, E. I. (2003). Fluxo de caixa: ferramenta de controle para a pequena empresa. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- LEMES JÚNIOR, Antônio Barbosa; RIGO, Cláudio Miessa; CHEROBIM, Ana Paula Mussi Szabo. (2002). Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras. Rio de Janeiro: Campus.,2002.
- MARTINS, C. M. (2020). Projeto E Análise De Viabilidade Econômica De Um Sistema Fotovoltaico Residencial. – IFMG –, Itabirito - MG, 2020.
- PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. (2014). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar –, GTES –, CEPEL –, DTE –, CRESESB. 2014
- PORTAL SOLAR. (2019). Eternit apresenta telha fotovoltaica inédita no País. 07 de ago. de 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/eternit-apresenta-telhafotovoltaica-inedita-no-pais.html>>. Acesso em: 14 de ago. de 2020.
- PORTAL SOLAR. (2021). Energia Solar do Brasil. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em: 14 de ago. de 2020.

APÊNDICE

1) Fluxo de caixa – Sistema Convencional

VPL	TIR	TMA	PayBack	VIÁVEL
R\$ 14.141,53	35,07%	12,25%	5 anos	

Ano	Saida Valor Monetario (A)	Entrada Valor Monetario (B)	Fluxo de Caixa (A+B)	Fluxo de Caixa Descontado	Total Corrente
0	-R\$ 3.742,70	R\$ -	-R\$ 3.742,70	R\$ 3.742,70	-R\$ 3.742,70
1	-R\$ 39,56	R\$ 911,04	R\$ 871,48	R\$ 776,37	-R\$ 2.966,33
2	-41,58	R\$ 1.057,96	R\$ 1.016,38	R\$ 806,64	-R\$ 2.159,68
3	-43,71	R\$ 1.174,90	R\$ 1.131,19	R\$ 799,79	-R\$ 1.359,89
4	-45,95	R\$ 1.304,78	R\$ 1.258,83	R\$ 792,91	-R\$ 566,98
5	-48,30	R\$ 1.449,00	R\$ 1.400,71	R\$ 785,99	R\$ 219,00
6	-50,77	R\$ 1.609,17	R\$ 1.558,41	R\$ 779,04	R\$ 998,05
7	-53,36	R\$ 1.787,05	R\$ 1.733,68	R\$ 772,09	R\$ 1.770,13
8	-56,09	R\$ 1.984,58	R\$ 1.928,49	R\$ 765,11	R\$ 2.535,25
9	-58,96	R\$ 2.203,96	R\$ 2.144,99	R\$ 758,14	R\$ 3.293,39
10	-61,98	R\$ 2.447,58	R\$ 2.385,60	R\$ 751,16	R\$ 4.044,55
11	-65,15	R\$ 2.718,13	R\$ 2.652,98	R\$ 744,19	R\$ 4.788,74
12	-68,48	R\$ 3.018,58	R\$ 2.950,10	R\$ 737,23	R\$ 5.525,96
13	-1620,99	R\$ 3.352,25	R\$ 1.731,27	R\$ 385,43	R\$ 5.911,39
14	-75,67	R\$ 3.722,80	R\$ 3.647,13	R\$ 723,34	R\$ 6.634,73
15	-79,54	R\$ 4.134,31	R\$ 4.054,77	R\$ 716,43	R\$ 7.351,16
16	-83,61	R\$ 4.591,31	R\$ 4.507,70	R\$ 709,54	R\$ 8.060,69
17	-87,89	R\$ 5.098,83	R\$ 5.010,94	R\$ 702,67	R\$ 8.763,36
18	-92,38	R\$ 5.662,44	R\$ 5.570,06	R\$ 695,83	R\$ 9.459,19
19	-97,11	R\$ 6.288,36	R\$ 6.191,25	R\$ 689,03	R\$ 10.148,22
20	-102,08	R\$ 6.983,46	R\$ 6.881,38	R\$ 682,26	R\$ 10.830,48
21	-107,30	R\$ 7.755,40	R\$ 7.648,10	R\$ 675,52	R\$ 11.506,01
22	-112,79	R\$ 8.612,66	R\$ 8.499,88	R\$ 668,83	R\$ 12.174,83
23	-118,55	R\$ 9.564,69	R\$ 9.446,14	R\$ 662,17	R\$ 12.837,00
24	-124,62	R\$ 10.621,95	R\$ 10.497,33	R\$ 655,55	R\$ 13.492,55
25	-130,99	R\$ 11.796,08	R\$ 11.665,09	R\$ 648,98	R\$ 14.141,53

2) Fluxo de caixa – Protótipo Integral

VPL	TIR	TMA	PayBack	VIÁVEL
R\$ 13.377,82	35,27%	12,25%	5 anos	

Ano	Saida Valor Monetario (A)	Entrada Valor Monetario (B)	Fluxo de Caixa (A+B)	Fluxo de Caixa Descontado	Total Corrente
0	-R\$ 3.489,93	R\$ -	-R\$ 3.489,93	R\$ 3.489,93	-R\$ 3.489,93
1	-R\$ 10,07	R\$ 850,30	R\$ 840,24	R\$ 748,54	-R\$ 2.741,39
2	-10,58	R\$ 987,43	R\$ 976,84	R\$ 775,27	-R\$ 1.966,12
3	-11,13	R\$ 1.096,58	R\$ 1.085,45	R\$ 767,45	-R\$ 1.198,66
4	-11,69	R\$ 1.217,79	R\$ 1.206,10	R\$ 759,69	-R\$ 438,97
5	-12,29	R\$ 1.352,40	R\$ 1.340,11	R\$ 751,98	R\$ 313,01
6	-492,62	R\$ 1.501,89	R\$ 1.009,27	R\$ 504,53	R\$ 817,54
7	-13,58	R\$ 1.667,91	R\$ 1.654,33	R\$ 736,75	R\$ 1.554,29
8	-14,28	R\$ 1.852,28	R\$ 1.838,00	R\$ 729,21	R\$ 2.283,50
9	-15,01	R\$ 2.057,03	R\$ 2.042,02	R\$ 721,74	R\$ 3.005,25
10	-15,78	R\$ 2.284,41	R\$ 2.268,63	R\$ 714,33	R\$ 3.719,58
11	-16,58	R\$ 2.536,92	R\$ 2.520,34	R\$ 706,98	R\$ 4.426,56
12	-497,13	R\$ 2.817,34	R\$ 2.320,21	R\$ 579,82	R\$ 5.006,38
13	-18,32	R\$ 3.128,77	R\$ 3.110,45	R\$ 692,47	R\$ 5.698,85
14	-19,26	R\$ 3.474,62	R\$ 3.455,36	R\$ 685,31	R\$ 6.384,15
15	-20,24	R\$ 3.858,69	R\$ 3.838,45	R\$ 678,20	R\$ 7.062,36
16	-21,28	R\$ 4.285,23	R\$ 4.263,95	R\$ 671,17	R\$ 7.733,52
17	-22,37	R\$ 4.758,91	R\$ 4.736,54	R\$ 664,19	R\$ 8.397,71
18	-503,21	R\$ 5.284,95	R\$ 4.781,73	R\$ 597,35	R\$ 8.995,07
19	-24,72	R\$ 5.869,13	R\$ 5.844,42	R\$ 650,43	R\$ 9.645,50
20	-25,98	R\$ 6.517,90	R\$ 6.491,92	R\$ 643,64	R\$ 10.289,14
21	-27,31	R\$ 7.238,37	R\$ 7.211,06	R\$ 636,92	R\$ 10.926,06
22	-28,71	R\$ 8.038,49	R\$ 8.009,78	R\$ 630,26	R\$ 11.556,32
23	-30,18	R\$ 8.927,04	R\$ 8.896,87	R\$ 623,66	R\$ 12.179,99
24	-511,42	R\$ 9.913,82	R\$ 9.402,40	R\$ 587,17	R\$ 12.767,16
25	-33,34	R\$ 11.009,68	R\$ 10.976,33	R\$ 610,66	R\$ 13.377,82

3) Fluxo de caixa – Protótipo Parcial 1

VPL	TIR	TMA	PayBack	VIÁVEL
R\$ 11.683,10	35,25%	12,25%	6 anos	

Ano	Saída Valor Monetario (A)	Entrada Valor Monetario (B)	Fluxo de Caixa (A+B)	Fluxo de Caixa Descontado	Total Corrente
0	-R\$ 1.180,73	R\$ -	-R\$ 1.180,73	R\$ 1.180,73	-R\$ 1.180,73
1	-R\$ 1.190,79	R\$ 288,50	R\$ 902,30	R\$ 803,83	-R\$ 1.984,55
2	-R\$ 1.190,79	R\$ 623,52	-R\$ 567,28	-R\$ 450,22	-R\$ 2.434,77
3	-R\$ 10,07	R\$ 995,57	R\$ 985,50	R\$ 696,78	-R\$ 1.737,99
4	-R\$ 11,69	R\$ 1.120,25	R\$ 1.108,56	R\$ 698,25	-R\$ 1.039,74
5	-R\$ 12,29	R\$ 1.244,08	R\$ 1.231,79	R\$ 691,20	-R\$ 348,53
6	-R\$ 172,82	R\$ 1.381,60	R\$ 1.208,78	R\$ 604,27	R\$ 255,73
7	-R\$ 173,48	R\$ 1.534,32	R\$ 1.360,84	R\$ 606,04	R\$ 861,77
8	-R\$ 174,18	R\$ 1.703,92	R\$ 1.529,74	R\$ 606,92	R\$ 1.468,69
9	-R\$ 15,01	R\$ 1.892,27	R\$ 1.877,26	R\$ 663,51	R\$ 2.132,20
10	-R\$ 15,78	R\$ 2.101,44	R\$ 2.085,66	R\$ 656,72	R\$ 2.788,92
11	-R\$ 16,58	R\$ 2.333,73	R\$ 2.317,14	R\$ 649,98	R\$ 3.438,91
12	-R\$ 177,33	R\$ 2.591,69	R\$ 2.414,36	R\$ 603,35	R\$ 4.042,25
13	-R\$ 178,22	R\$ 2.878,17	R\$ 2.699,95	R\$ 601,08	R\$ 4.643,33
14	-R\$ 179,16	R\$ 3.196,32	R\$ 3.017,16	R\$ 598,40	R\$ 5.241,73
15	-R\$ 20,24	R\$ 3.549,63	R\$ 3.529,39	R\$ 623,60	R\$ 5.865,33
16	-R\$ 21,28	R\$ 3.942,00	R\$ 3.920,72	R\$ 617,14	R\$ 6.482,47
17	-R\$ 22,37	R\$ 4.377,74	R\$ 4.355,38	R\$ 610,74	R\$ 7.093,21
18	-R\$ 183,41	R\$ 4.861,65	R\$ 4.678,24	R\$ 584,42	R\$ 7.677,63
19	-R\$ 184,62	R\$ 5.399,05	R\$ 5.214,43	R\$ 580,32	R\$ 8.257,95
20	-R\$ 185,88	R\$ 5.995,85	R\$ 5.809,97	R\$ 576,03	R\$ 8.833,98
21	-R\$ 27,31	R\$ 6.658,62	R\$ 6.631,31	R\$ 585,71	R\$ 9.419,70
22	-R\$ 28,71	R\$ 7.394,65	R\$ 7.365,94	R\$ 579,60	R\$ 9.999,30
23	-R\$ 30,18	R\$ 8.212,04	R\$ 8.181,86	R\$ 573,54	R\$ 10.572,84
24	-R\$ 191,62	R\$ 9.119,78	R\$ 8.928,16	R\$ 557,56	R\$ 11.130,40
25	-R\$ 193,24	R\$ 10.127,86	R\$ 9.934,62	R\$ 552,70	R\$ 11.683,10

4) Fluxo de caixa – Protótipo Parcial 2

VPL	TIR	TMA	PayBack	VIÁVEL
R\$ 10.113,61	35,04%	12,25%	7 anos	

Ano	Saída Valor Monetario (A)	Entrada Valor Monetario (B)	Fluxo de Caixa (A+B)	Fluxo de Caixa Descontado	Total Corrente
0	-R\$ 1.180,73	R\$ -	-R\$ 1.180,73	R\$ 1.180,73	-R\$ 1.180,73
1	-R\$ 10,07	R\$ 288,50	R\$ 278,43	R\$ 248,04	-R\$ 932,68
2	-R\$ 1.190,79	R\$ 335,02	-R\$ 855,77	-R\$ 679,18	-R\$ 1.611,87
3	-R\$ 11,13	R\$ 660,55	R\$ 649,42	R\$ 459,17	-R\$ 1.152,70
4	-R\$ 1.192,42	R\$ 748,20	-R\$ 444,22	-R\$ 279,80	-R\$ 1.432,50
5	-R\$ 13,58	R\$ 1.119,40	R\$ 1.105,82	R\$ 620,51	-R\$ 811,99
6	-R\$ 174,18	R\$ 1.211,25	R\$ 1.037,07	R\$ 518,43	-R\$ 293,56
7	-R\$ 15,01	R\$ 1.396,80	R\$ 1.381,79	R\$ 615,37	R\$ 321,81
8	-R\$ 175,68	R\$ 1.551,20	R\$ 1.375,53	R\$ 545,73	R\$ 867,54
9	-R\$ 16,58	R\$ 1.722,67	R\$ 1.706,09	R\$ 603,01	R\$ 1.470,55
10	-R\$ 177,33	R\$ 1.913,09	R\$ 1.735,76	R\$ 546,54	R\$ 2.017,10
11	-R\$ 18,32	R\$ 2.124,56	R\$ 2.106,24	R\$ 590,82	R\$ 2.607,92
12	-R\$ 179,16	R\$ 2.359,40	R\$ 2.180,24	R\$ 544,84	R\$ 3.152,76
13	-R\$ 20,24	R\$ 2.620,21	R\$ 2.599,96	R\$ 578,82	R\$ 3.731,58
14	-R\$ 181,18	R\$ 2.909,84	R\$ 2.728,66	R\$ 541,18	R\$ 4.272,76
15	-R\$ 22,37	R\$ 3.231,49	R\$ 3.209,12	R\$ 567,01	R\$ 4.839,77
16	-R\$ 183,41	R\$ 3.588,69	R\$ 3.405,28	R\$ 536,01	R\$ 5.375,78
17	-R\$ 24,72	R\$ 3.985,38	R\$ 3.960,66	R\$ 555,39	R\$ 5.931,17
18	-R\$ 185,88	R\$ 4.425,91	R\$ 4.240,03	R\$ 529,68	R\$ 6.460,85
19	-R\$ 27,31	R\$ 4.915,14	R\$ 4.887,83	R\$ 543,97	R\$ 7.004,82
20	-R\$ 188,61	R\$ 5.458,45	R\$ 5.269,84	R\$ 522,48	R\$ 7.527,30
21	-R\$ 30,18	R\$ 6.061,82	R\$ 6.031,64	R\$ 532,75	R\$ 8.060,05
22	-R\$ 191,62	R\$ 6.731,88	R\$ 6.540,26	R\$ 514,63	R\$ 8.574,68
23	-R\$ 33,34	R\$ 7.476,01	R\$ 7.442,67	R\$ 521,73	R\$ 9.096,41
24	-R\$ 194,95	R\$ 8.302,39	R\$ 8.107,44	R\$ 506,30	R\$ 9.602,71
25	-R\$ 36,84	R\$ 9.220,12	R\$ 9.183,28	R\$ 510,90	R\$ 10.113,61