

# Dimensionamento de Minigeração Fotovoltaica: Estudo de Caso

Felipe Perin

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha.  
Endereço: Av. São Vicente, 785 - Bairro Cinquentenário Farroupilha, RS.  
fellipecerin@hotmail.com

Ivan Jorge Gabe

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha.  
Endereço: Av. São Vicente, 785 - Bairro Cinquentenário Farroupilha, RS.  
ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br

**Resumo** — *O sistema fotovoltaico tornou-se uma interessante opção para suprir a demanda energética mundial. Em períodos onde não há geração ou esta é insuficiente, a energia pode ser fornecida pela rede de distribuição (sistema on-grid) ou por um banco de baterias (sistema off-grid). Recentemente, com o desenvolvimento de inversores híbridos, é possível que o sistema fotovoltaico possa estar conectado em um banco de baterias e na rede de energia elétrica, constituindo um sistema híbrido. Este trabalho, que foi realizado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia de Controle e Automação, realizou o dimensionamento e a viabilidade econômica de duas configurações de sistemas fotovoltaicos (on-grid e híbrido) a fim de entender qual será a mais eficiente em uma instalação conectada em média tensão no grupo tarifário A horo-sazonal verde e que possui um consumo considerável no posto tarifário ponta.*

**Palavras-chave** — Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Sistema On-grid, Sistema Híbrido, Posto Tarifário Ponta.

## I. INTRODUÇÃO

A conscientização ambiental é um tema relevante em nosso cotidiano e propõe a adoção de medidas com o intuito de minimizar os danos ambientais. Aplicada ao setor energético, recomenda-se que a eletricidade seja obtida a partir de processos que utilizem fontes de energia limpa e renovável, como por exemplo, a captação de energia solar realizada por sistemas fotovoltaicos.

Com o avanço tecnológico, associado a queda brusca nos custos dos equipamentos, o sistema fotovoltaico tornou-se uma excelente opção para suprir a demanda energética de uma instalação residencial, comercial ou industrial. O aumento da eficiência de conversão energética dos módulos viabilizou tecnicamente a produção significativa de energia mesmo em pequenos espaços.

Os sistemas fotovoltaicos foram muito utilizados em sistemas remotos, onde não havia rede elétrica disponível, entretanto, após a publicação das resoluções normativas [3] e [4], já foram instalados mais de 20 GW em instalações conectadas a rede elétrica sob o sistema de compensação de energia elétrica, durante um período de 10 anos no Brasil.

As resoluções [3] e [4] estabelecem as modalidades e regras para a compensação de energia elétrica nas instalações residenciais e industriais. Nestes empreendimentos, chamados de mini e microgeração distribuída de energia não existem contrapartida financeira, entretanto, a energia excedente gerará créditos que posteriormente podem ser utilizados nos períodos sem produção ou produção insuficiente.

A atualização da Portaria [15] do Inmetro, de 21 de março de 2022, regulamenta o uso dos inversores híbridos e das baterias de lítio. Se tratando de uma autorização de utilização recente, os custos para a aquisição dos inversores híbridos e as baterias de lítios são relativamente altos, sendo necessária uma análise para avaliar se o sistema híbrido é viável financeiramente.

Este trabalho tem como objetivo dimensionar dois tipos de sistemas fotovoltaicos (on-grid e híbrido) que atendam completamente a demanda requerida em uma instituição de ensino, o IFRS – Campus Farroupilha. Esta instalação é conectada em média tensão, então analisou-se o consumo de energia nos dois postos tarifários: fora ponta e ponta. Além disso, irá analisar a viabilidade econômica desses dois sistemas considerando a legislação vigente referente à compensação e tarifação de energia elétrica.

## II. DESENVOLVIMENTO

Para a realização deste trabalho foram estudados os seguintes tópicos: o efeito fotovoltaico, o sistema fotovoltaico, a legislação vigente, o estudo de caso e a viabilidade econômica.

### A. Efeito Fotovoltaico

A captação da energia solar pode ser dividida em térmica, química e fotovoltaica.

A conversão fotovoltaica foi observada pela primeira vez pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, que visualizou uma pequena quantidade de corrente era produzida quando certos materiais eram expostos à luz.

Segundo Albadó 2002 [2], a primeira aplicação prática foi realizada no Bell Laboratories no início da década de 1950.

Nessa época, a célula fotovoltaica foi desenvolvida para fornecer energia aos satélites que permanecem longos períodos no espaço. Por possuírem o menor peso e custo, a célula solar continua sendo a mais adequada para esta aplicação.

Segundo Lopes 2012 [16], a crise energética de 1973 renovou e ampliou o interesse em aplicações terrestres. Porém, para tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, seria necessário, naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção de células solares em relação às células usadas em explorações espaciais.

Com o desenvolvimento e a aplicação da tecnologia em grande escala, o custo da célula fotovoltaica caiu drasticamente, atingindo valores que tornaram a aplicação economicamente viável.

A figura 1 demonstra a variação do custo mundial da fabricação das células, o valor é apresentado em dólar (US\$) por Watt.

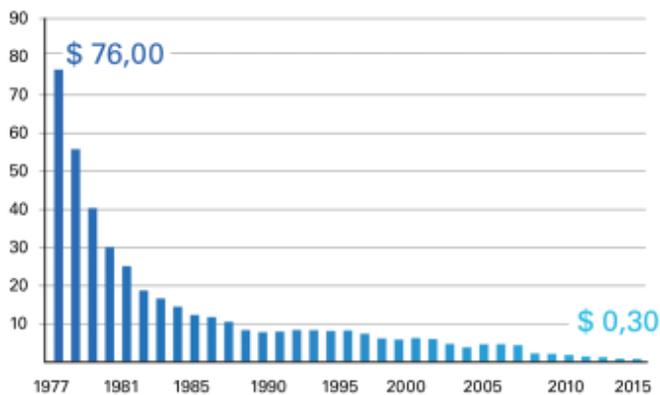


Fig. 1 – Preços das células fotovoltaicas (Bloomberg).

Com a redução dos custos dos componentes do sistema fotovoltaico, houve um aumento significativo na aquisição de sistemas desta energia renovável.

De acordo com o infográfico ABSOLAR n° 50 [1], atualizado em 1° de dezembro de 2022, a fonte solar fotovoltaica no Brasil é de 22.357 MW, isso corresponde a 10,6% da matriz elétrica brasileira (203.722 MW).

Num período de 10 anos, a energia solar fotovoltaica tornou-se a terceira maior fonte para a geração de energia elétrica, sendo superada apenas pela energia hídrica e eólica.

No Brasil, as unidades de geração de energia distribuída, ou seja, com potência até 5MW corresponde a 69 % da potência instalada. A outra parcela (31%) corresponde a potência instalada das usinas solares fotovoltaicas.

O infográfico demonstra que a instalação dos sistemas fotovoltaicos gerou 670.700 novos empregos e não foram emitidas 31,1 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

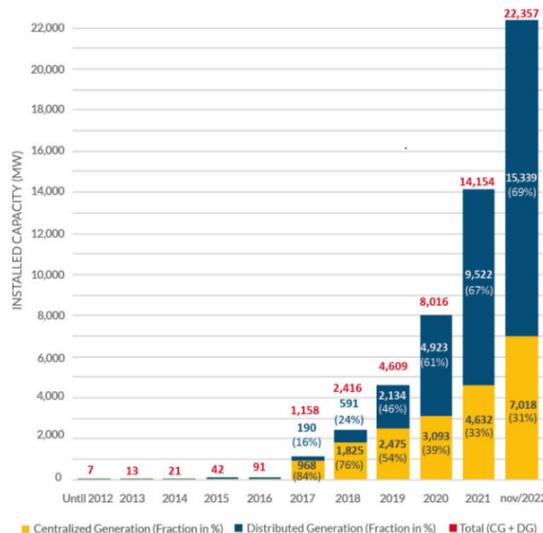


Fig. 2 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil (ANEEL/ABSOLAR, 2022).

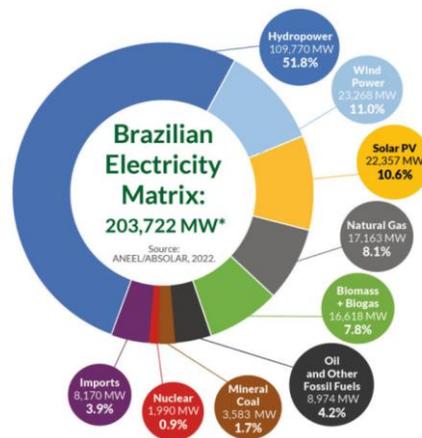


Fig. 3 – Matriz Elétrica Brasileira (ANEEL/ABSOLAR, 2022).

A célula fotovoltaica é composta de duas camadas semicondutoras, sendo que uma delas é dopada positivamente e outra negativamente. A junção PN é a área de contato entre as duas camadas. A energia do fóton gera um movimento de elétrons através da junção PN e fornece a circulação de corrente se possuir uma carga acoplada.

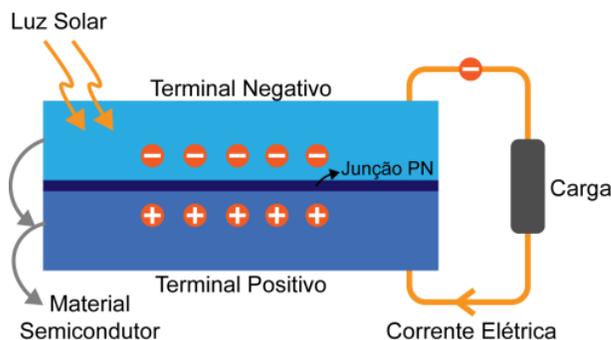


Fig. 4 - Ilustração da célula fotovoltaica (Morais, 2020)

Um conjunto de células fotovoltaicas (normalmente 60 ou 72) interligadas em série forma um módulo fotovoltaico, que é responsável pela captação da energia que será gerada pelo sistema.

O silício é o material mais utilizado na conversão fotovoltaica. Comercialmente, os módulos monocristalino e policristalino são predominantes no mercado. As diferenças construtivas são apresentadas na figura 5.

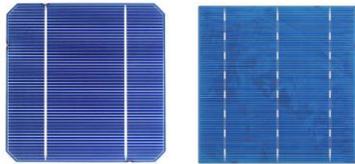


Fig. 5 – Célula monocristalina e policristalina (Talesun)

Segundo Buhler 2018 [9], a célula de silício monocristalino é obtida a partir do crescimento de um único cristal com alto grau de pureza. Devido ao método Czochralski, o produto obtido é um cilindro que será laminado em discos finos (da ordem de 100  $\mu\text{m}$ ). Já a célula de silício policristalino é obtida a partir da solidificação do silício, formando um cubo que pode não ser cortado em células quadradas. Nesse processo ocorre a formação de inúmeros cristais.

Atualmente, os módulos monocristalinos apresentam a eficiência de até 22,5%, enquanto que os módulos policristalinos possuem eficiência de até 20 %.

Considerando a relação de custo por potência (R\$/WP), não existem diferenças significativas entre os módulos monocristalinos e policristalinos.

Mais eficientes, os módulos monocristalinos são escolhidos para o sistema fotovoltaico, pois exigem uma área de instalação menor se comparado aos módulos policristalinos.



Fig. 6 – Módulo monocristalino 550 Wp (Canadian Solar)

Para avaliar qual a energia solar disponível no local da instalação serão analisados os dados disponibilizados no site do Centro de Referência para as Energias Solar e

Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB). Os valores tabelados de irradiação solar média diária são extraídos de estações climatológicas espalhadas em vários pontos do território nacional. A incidência solar gera entre 4,0 e 6,0 kWh/m<sup>2</sup> por dia.



Fig. 7 – Potencial solar do Brasil (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017)

### B. Sistema Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em: sistema off-grid, sistema on-grid e sistema híbrido.

A principal característica do sistema off-grid é que este está desacoplado à rede de distribuição da energia. A energia produzida pode ser armazenada em um banco de baterias. Um controlador de carga é utilizado para otimizar e prolongar a vida útil das baterias, evitando sobrecargas ou descargas excessivas. O sistema off-grid possui um custo mais elevado se comparado ao sistema on-grid, por isso é indicado para projetos menores em áreas remotas e sem acesso a rede de energia elétrica.

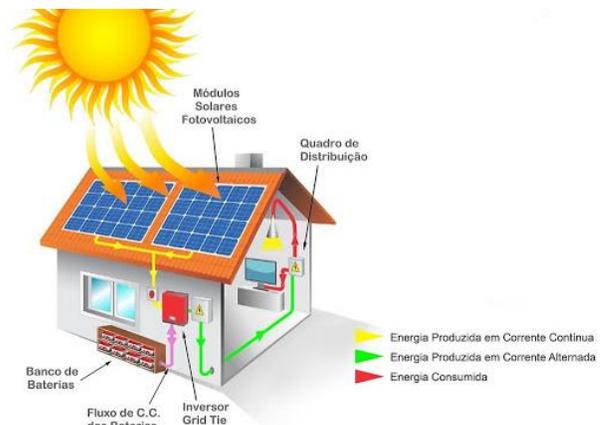


Fig. 8 – Sistema off-grid com armazenamento (Luz Solar, 2017).

Os sistemas on-grid estão conectados à rede. A energia solar captada pelo módulo fotovoltaico produz a corrente contínua que direcionada para um inversor fotovoltaico que a transformará em corrente alternada que é o padrão utilizado pela rede. Após ser convertida em corrente alternada (CA), a energia elétrica irá suprir a demanda da instalação e se existir um excesso de energia, esta será injetada na rede. Para período sem geração ou de geração insuficiente, a energia faltante será obtida da rede de distribuição. Um medidor bidirecional registrará a energia consumida e injetada na rede de energia elétrica.

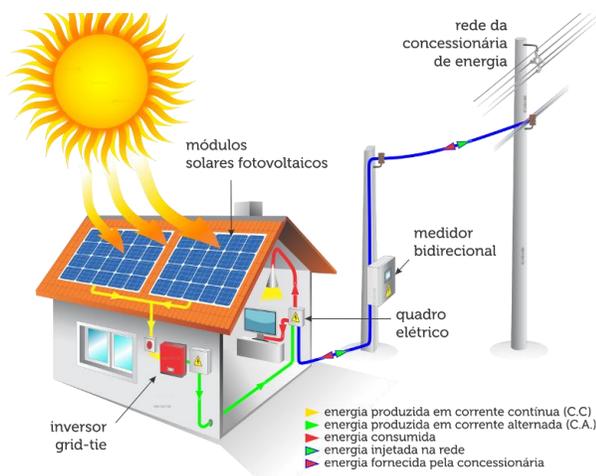


Fig. 9– Sistema fotovoltaico on-grid (Luz Solar, 2017).

Os sistemas híbridos são conectados à rede de distribuição de energia elétrica e a um banco de baterias. Após suprir a demanda da instalação, a energia excedente pode ser injetada na rede ou utilizada para o carregamento das baterias. O inversor híbrido realiza o direcionamento desta energia.

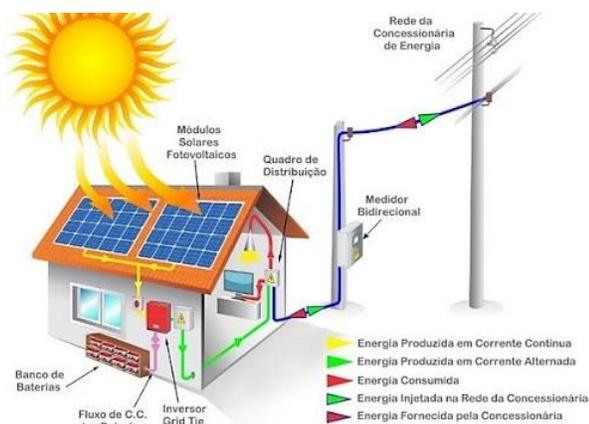


Fig. 10 – Sistema fotovoltaico híbrido (Luz Solar, 2017).

### C. Bateria

A bateria é um componente que pode ser interligado ao sistema fotovoltaico, armazenando a energia excedente.

Esta será aproveitada para períodos onde não há irradiação solar ou a produção é insuficiente.

As baterias mais utilizadas para esta aplicação são as de chumbo-ácido e as de lítio.

As baterias de lítio possuem algumas vantagens: maior ciclo de vida, menor tempo de carregamento, menor espaço físico e maiores taxas de carga e descarga. A desvantagem é o custo de aquisição, entretanto oferece o melhor custo-benefício em relas baterias de chumbo-ácido.

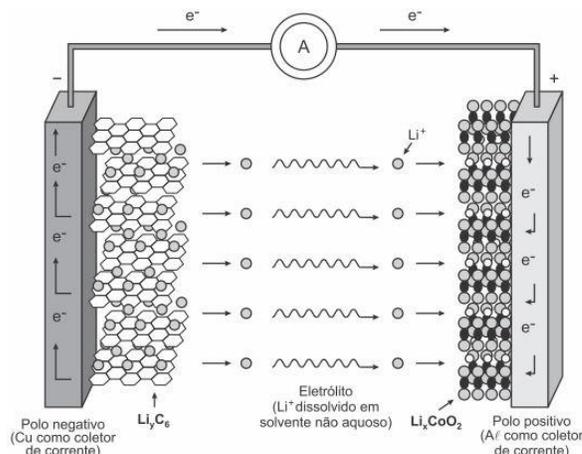


Fig. 11 – Descarga da Bateria de Lítio (Bocchi, 2000).

A figura 11 demonstra o processo de descarga da bateria de lítio. Os íons de lítio se deslocam do interior do material que compõe o anodo até o material do catodo e os elétrons movem-se através do circuito externo. Segundo Bocchi 2020 [7], os materiais de eletrodos são geralmente formados por compostos de estrutura aberta, que permitem a entrada e saída de íons de lítio. No anodo, o grafite é o mais comumente usado, porque é capaz de intercalar reversivelmente os íons lítio entre suas camadas de carbono sem alterar significativamente sua estrutura. O catodo contém, geralmente, um óxido de estrutura lamelar ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ) ou espinel ( $\text{LiMnO}_2$ ), sendo o óxido de cobalto lítio o material mais frequentemente usado pelos fabricantes de baterias de íons lítio.

### D. Legislação

Com a finalidade de reduzir os impactos ambientais e ampliar a diversificação da matriz energética, foram regulamentadas medidas para os sistemas de fontes renováveis que se conectam ao sistema elétrico.

A Resolução Normativa ANEEL nº 482 [3], de 17 de abril de 2012, permite que o consumidor produza a sua própria energia elétrica e define o sistema de compensação de energia elétrica.

Caso a energia gerada pelos sistemas de fontes renováveis for superior à consumida, serão gerados créditos de energia, que podem ser utilizados nos meses seguintes até um período de 60 meses.

Para as instalações de baixa tensão (grupo B), mesmo que a energia injetada na rede for maior que o consumo, será acrescido o custo de disponibilidade. Esta despesa é cobrada para levar o serviço de eletricidade até os consumidores. O valor da taxa em reais equivale a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico).

Para os consumidores de instalações de alta tensão (grupo A), a fatura possui uma parcela correspondente à demanda contratada. Outro ponto a ser analisado é horário de consumo da energia elétrica.

A Resolução Normativa ANEEL nº 1000 [5], de 7 de dezembro de 2021, define que o grupo A possui a seguinte divisão de posto tarifário: ponta e fora ponta.

O posto tarifário ponta é o período composto por 3 horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico. Não se aplica aos sábados, domingos e feriados.

O posto tarifário fora ponta é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta.

De acordo com a RGE, concessionária responsável pela energia elétrica no local da instalação, o posto tarifário ponta compreende o horário das 18:00 às 20:59, enquanto que o posto tarifário fora ponta compreende aos intervalos das 00:00 às 17:59 e das 21:00 às 23:59.

A Resolução Normativa ANEEL nº 687 [4], de 24 de novembro de 2015, denomina a potência para que instalação seja considerada uma central de microgeração.

A microgeração distribuída é a central geradora de energia elétrica conectada à rede de distribuição, com potência instalada menor ou igual a 75 kW.

A lei nº 14.300 [8], de 6 de janeiro de 2022 descreve a minigeração da seguinte forma.

A minigeração distribuída é a central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW, menor ou igual a 5 MW para fonte despacháveis e menor ou igual a 3 MW para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras.

A fonte de geração fotovoltaica é considerada não despachável, pois não é possível ter o controle da geração. Ou seja, a produção é variada conforme as condições ambientais e o período do dia. Desta forma, o sistema fotovoltaico deve ser maior que 75 KW e ser menor ou igual a 3 MW para ser considerado uma instalação de minigeração distribuída.

### III. ESTUDO DE CASO

Considerando as informações vistas anteriormente, será realizado o dimensionamento e a viabilidade econômica do sistema on-grid e do sistema híbrido. No primeiro caso, será considerado que toda a demanda energética será

atendida pelo sistema fotovoltaico on-grid através do sistema de compensação de energia. No segundo caso, o consumo do posto tarifário fora de ponta será atendido por um sistema on-grid e o consumo do posto tarifário ponta será atendido por um sistema híbrido, onde a energia produzida será armazenada em um banco de baterias de lítio, e quando for insuficiente, será fornecida pela rede.

Uma análise financeira demonstrará qual é o período de retorno de investimento e qual é a taxa interna de retorno. Por fim, apresentará qual dos dois sistemas é mais vantajoso economicamente.

#### A. Descrição

O projeto visa atender completamente a demanda do IFRS – Campus Farroupilha, uma instalação média tensão do grupo B.

O histórico do consumo da energia elétrica da instalação verificado nas contas de energia elétrica é apresentado na tabela I. O consumo é dividido pelos postos tarifários fora de ponta e ponta.

TABELA I  
HISTÓRICO DE CONSUMO

Mês	Consumo (kWh)		
	Fora Ponta	Ponta	Total
Set/21	6.272	1.126	7.398
Out/21	6.802	1.341	8.143
Nov/21	6.738	1.458	8.196
Dez/21	6.499	1.470	7.969
Jan/22	6.596	1.237	7.833
Fev/22	5.642	1.053	6.695
Mar/22	9.846	2.220	12.066
Abr/22	10.349	2.148	12.497
Mai/22	15.119	2.944	18.063
Jun/22	18.015	3.585	21.600
Jul/22	13.054	2.391	15.445
Ago/22	10.912	2.285	13.197
Média	13.959	1.938	15.897

Analisando que toda a produção de energia fotovoltaica é gerada no posto tarifário fora de ponta, o consumo a ser considerado para o dimensionamento do sistema fotovoltaico on-grid será a soma do consumo fora de ponta e o consumo ponta multiplicado por um fator que será determinado pelo preço do kWh de cada posto tarifário.

Na fatura de energia elétrica, o custo do kWh é apresentado em duas parcelas: a taxa de energia (TE) e a taxa de uso do sistema de distribuição (TUSD).

TABELA II  
CUSTO DO kWh

	TE	TUSD	Total
Ponta	0,49634	1,34299	1,83933
Fora Ponta	0,31474	0,12222	0,43696

O fator é o custo da tarifa de energia (TE) ponta dividido pelo custo da tarifa de energia (TE) fora de ponta, que é igual a 1,577.

$$Fator = \frac{0,49634}{0,31474} = 1,577 \quad (1)$$

Sendo assim, devemos considerar que o consumo ponta é o produto entre a média de consumo e o fator. Resultando em 3.056 kWh.

$$Consumo\ Ponta = 1.938 * 1,577 \quad (2)$$

$$Consumo\ Ponta = 3.056\ kWh \quad (3)$$

A soma do consumo ponta (corrigido pelo fator) e o consumo fora ponta compõem o consumo total para o dimensionamento do sistema on-grid.

$$Consumo\ Total = 13.959 + 3.056 \quad (4)$$

$$Consumo\ Total = 17.015\ kWh \quad (5)$$

Para o sistema fotovoltaico híbrido, o consumo fora ponta (13.959 kWh) será dimensionado como sendo um sistema on-grid, ou seja, haverá troca de energia com a rede elétrica durante o posto tarifário com o menor custo. A energia necessária para o consumo do posto tarifário ponta será armazenadas no banco de baterias.

O banco de bateria deverá suprir o consumo real do posto tarifário ponta (1.938 kWh), valor calculado a partir do consumo médio nos últimos 12 meses. Por não haver a troca de energia com a rede elétrica, o consumo ponta do sistema híbrido não considera o fator de correção dos custos entre os dois postos tarifários.

### B. Energia Solar Disponível

Uma prática comum adotada para o desenvolvimento do projeto fotovoltaico é obter as informações sobre a quantidade de energia solar disponível no banco de dados SunData 3.0 acessível no site do CRESESB [17]. Para a instituição de ensino IFRS – Campus Farroupilha, ao informar as coordenadas de latitude (29,2037548° S) e longitude (51,3492568° O), foram obtidos os valores de irradiação solar média diária que são apresentados na tabela III em quatro inclinações do módulo fotovoltaico: plano horizontal (0° N), ângulo igual a latitude (29° N), maior média anual (22° N) e maior mínimo mensal (49° N).

No site [14] é possível obter os dados para diferentes inclinações e orientações, informando os dados de latitude e longitude. O site utiliza os dados do 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em 2017.

Exclusivamente, para o telhado do IFRS – Campus Farroupilha, a irradiação média diária é de 4,34 kWh/m². Isso representa uma irradiação média mensal de 130,33 kWh/m². Esse valor será utilizado para os cálculos de desenvolvimento do projeto. A irradiação média mensal para a inclinação 12° L é apresentada na tabela III.

TABELA III  
IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA DIÁRIA EM FARROUPILHA

Mês	0° N	22° N	29° N	49°N	12°L
Janeiro	6,20	5,77	5,52	4,55	6,11
Fevereiro	5,70	5,60	5,45	4,73	5,49
Março	4,74	5,03	5,00	4,65	4,65
Abril	3,83	4,48	4,58	4,59	3,84
Mai	2,82	3,57	3,73	3,95	2,88
Junho	2,39	3,16	3,34	3,62	2,45
Julho	2,67	3,48	3,66	3,94	2,60
Agosto	3,40	4,12	4,25	4,37	3,26
Setembro	3,66	3,97	3,98	3,79	3,62
Outubro	4,75	4,77	4,68	4,15	4,77
Novembro	6,16	5,81	5,58	4,66	6,12
Dezembro	6,49	5,94	5,66	4,59	6,22
Média	4,40	4,64	4,62	4,30	4,34

Entretanto, os módulos fotovoltaicos serão instalados no telhado da instituição e posicionados no azimute leste oeste e com inclinação de 12° L. Então, essa é a inclinação considerada no projeto. A menor irradiação diária (2,45 kWh/m².dia, em junho) será utilizada para o dimensionamento do banco de baterias de lítio no sistema híbrido.

Outra variável do sistema fotovoltaica a ser considerada é a taxa de desempenho (*performance ration*), que inclui as perdas decorrentes do sombreamento, da sujeira, do efeito Joule nos cabamentos, da elevação da temperatura, da eficiência dos inversores. Segundo Antonioli [6], a taxa de desempenho (TD) para as cidades brasileiras é estimada em 78%.

### C. Sistema On-Grid

Como visto anteriormente, o consumo médio total a ser considerado pelo sistema on-grid para suprir completamente a demanda é de 17.015 kWh, considerando que a geração ocorrerá somente no posto tarifário fora ponta.

A potência CC (corrente contínua) é o quociente entre a demanda e o produto da irradiação solar média mensal e a taxa de desempenho. A potência dos módulos fotovoltaicos requerida para o sistema on-grid é de 167,38 kWp.

$$Potência\ CC = \frac{Demanda}{Irradiação * TD} \quad (6)$$

$$Potência\ CC = \frac{17.015}{130,33 * 0,78} = 167,38\ kWp \quad (7)$$

Diferentes modelos de módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado são apresentados na tabela IV. A avaliação do melhor custo-benefício será realizada a partir da divisão do custo unitário pela potência (R\$/Wp). O modelo que possuir o menor quociente será o mais apropriado.

TABELA IV  
MODELOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Marca	Modelo	Potência (Wp)	Preço (R\$)	R\$/Wp
Leapton	LP182-M-78-MH	590	1649,00	2,79
Luxen	Solar Series 5	595	1699,00	2,86
OSDA	ODA420-36V-PH	420	999,00	2,38
OSDA	ODA465-36V-MH	465	1099,00	2,36
OSDA	ODA545-36V-MH	545	1549,00	2,84
Sunova	SS-450-72-M	450	1199,00	2,66
Sunova	SS-505-66-MTF	505	1249,00	2,47
Sunova	SS-550-72-MDH	550	1399,00	2,54

Outro custo atrelado ao sistema fotovoltaico é a estrutura de fixação. Para a instalação foi definido o conjunto de fixação Romagnole 412211 RS-298, que suporta 4 módulos fotovoltaicos e possui um custo unitário de R\$ 729,00.



Fig. 12 – Conjunto de fixação Romagnole 412211 RS-298.

A quantidade de conjuntos de fixação dependerá da potência unitária do módulo fotovoltaico definido para o projeto. A tabela V apresenta a potência total de quatro unidades e o custo por Wp da estrutura, considerando o valor unitário.

TABELA V  
CUSTO DA ESTRUTURA REAIS POR WP

Marca	Modelo	Potência (Wp)	Potência Total (Wp)	R\$/Wp
Leapton	LP182-M-78-MH	590	2360	0,31
Luxen	Solar Series 5	595	2380	0,31
OSDA	ODA420-36V-PH	420	1680	0,43
OSDA	ODA465-36V-MH	465	1860	0,39
OSDA	ODA545-36V-MH	545	2180	0,33
Sunova	SS-450-72-M	450	1800	0,41
Sunova	SS-505-66-MTF	505	2020	0,36
Sunova	SS-550-72-MDH	550	2200	0,33

A tabela VI apresenta o custo total por Wp dos módulos fotovoltaicos. Esse valor foi obtido a partir da soma entre os custos dos módulos e da estrutura.

TABELA VI  
CUSTO TOTAL (REAIS POR WP) DOS MÓDULOS

Modelo	Módulo R\$/Wp	Estrutura R\$/Wp	Total R\$/Wp
LP182-M-78-MH	2,79	0,31	3,10
Solar Series 5	2,86	0,31	3,17
ODA420-36V-PH	2,38	0,43	2,81
ODA465-36V-MH	2,36	0,39	2,75
ODA545-36V-MH	2,84	0,33	3,17
SS-450-72-M	2,66	0,41	3,07
SS-505-66-MTF	2,47	0,36	2,83
SS-550-72-MDH	2,54	0,33	2,87

Considerando a relação do preço pela potência (R\$/Wp), o mais viável economicamente é o modelo ODA465-36V-MH da marca OSDA. Este módulo é monocristalino, possui potência de 465 Wp e tem o custo unitário de R\$ 1.099,00.

A quantidade necessária para o sistema é o quociente entre a potência CC do sistema fotovoltaico e a potência unitária do módulo fotovoltaico.

$$n = \frac{167,38\ kWp}{0,465\ kWp} = 359,95 = 360 \quad (8)$$

A quantidade de conjuntos de fixação será o quociente entre o número de módulos fotovoltaicos pela quantidade de módulos suportados por um conjunto. O custo total da estrutura será o produto entre a quantidade de conjuntos de fixação e o custo unitário.

$$n = \frac{360}{4} = 90\ conjuntos \quad (9)$$

$$\text{Custo} = 90 * 729,00 = \text{R\$ } 65.610,00 \quad (10)$$

Para a fixação dos módulos fotovoltaico serão necessários 90 conjuntos e o custo total da estrutura de fixação é de R\$ 65.610,00.

A potência CC real do sistema on-grid é 167,40 kWp. O custo total para a aquisição dos 360 módulos fotovoltaicos da marca OSDA é de R\$ 395.640,00.

$$\text{Potência CC} = 465 * 360 = 167,40 \text{ kWp} \quad (11)$$

$$\text{Custo} = 360 * 1.099,00 = \text{R\$ } 395.640,00 \quad (12)$$

A potência de corrente contínua pode ser de 25% a 50% superior à potência do inversor on-grid, variando conforme o modelo. Desta forma foram analisados os inversores on-grid que possuem potência entre 115 kW e 130 kW.

Tendo em vista o melhor custo-benefício, foi escolhido o inversor Growatt MAX120KTL3-X. Dentre suas características, possui potência CA (corrente alternada) de 120 kW, preço unitário de R\$ 42.719,00 e suporta uma potência máxima CC de até 180 kW.



Fig. 13 – Inversor Growatt MAX120KTL3-X.

Os outros custos referentes aos acessórios (cabos, conectores, stringbox, dispositivos de proteção), projeto e instalação estão estimados em R\$ 32.000,00.

A tabela VII descreve os custos dos itens que compõem o sistema fotovoltaico on-grid. O custo total é de R\$ 535.969,00.

TABELA VII  
CUSTOS DO SISTEMA ON-GRID

	Custo
Módulos	R\$ 395.640,00
Inversor	R\$ 42.719,00
Estrutura	R\$ 65.610,00
Outros	R\$ 32.000,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 535.969,00</b>

Sabendo o custo de aquisição, deve-se avaliar a viabilidade econômica através da diferença entre os valores da conta média atual e da nova conta de energia elétrica.

Na conta média atual, utiliza-se o consumo médio nos postos tarifários fora ponta e ponta, conforme mostrado na tabela VIII. O valor médio nos últimos 12 meses é de R\$ 14.663,78.

TABELA VIII  
CONTA MÉDIA ATUAL

	Qntd. (kW)	Preço Unitário	Valor (R\$)
Ponta TUSD	1.938,16	1,6132	3.126,50
Fponta TUSD	13.958,91	0,1302	1.816,83
Ponta TE	1.938,16	0,6573	1.274,01
Fponta TE	13.958,91	0,4063	5.671,83
Demanda	80	34,6827	2.774,62
		<b>Total</b>	<b>14.663,78</b>

Na conta de energia elétrica é apresentado o custo com a demanda contratada. Essa despesa, repassada apenas para os consumidores do grupo A, é a demanda de potência que a distribuidora precisa obrigatoriamente disponibilizar ao consumidor, conforme estipulado em contrato.

O sistema foi dimensionado para atender 100% da demanda e a energia excedente será transformada em saldo que pode ser utilizado num período de até 60 meses.

Na tabela IX são apresentados os valores que estarão disponíveis na conta de energia elétrica após a instalação do sistema fotovoltaico on-grid. São apresentados os créditos da energia injetada na rede de energia elétrica. Podemos analisar que na troca de energia com a concessionária, o preço do kW consumido é maior que o preço do kW injetado.

TABELA IX  
NOVA CONTA

	Qntd. (kW)	Preço Unitário	Valor (R\$)
Ponta TUSD	1.938,16	1,6132	3.126,50
Fponta TUSD	13.958,91	0,1302	1.816,83
Ponta TE	1.938,16	0,6573	1.274,01
Fponta TE	13.958,91	0,4063	5.671,51
Demanda	80	34,6827	2.774,62
Inj Fponta TUSD	13.958,91	0,0911	-1.217,66
Inj Fponta TE	13.958,91	0,4063	-5.671,51
Inj mUC oPT Pta - TUS	1.938,16	1,1292	-2.188,54
Inj mUC oPT Pta - TE	1.938,16	0,6573	-1.274,01
		<b>Total</b>	<b>4.312,15</b>

A economia média mensal é a diferença entre o valor da conta atual e o valor da nova conta.

$$\text{Economia} = \text{R\$ } 14.663,87 - \text{R\$ } 4312,15 \quad (13)$$

$$\text{Economia} = \text{R\$ } 10.351,72 \quad (14)$$

Na análise econômica, o método para determinar o tempo de retorno de investimento (payback) será o valor presente líquido (VPL). Segundo Padoveze 2012 [16], o valor presente líquido significa descontar o valor dos fluxos futuros, a uma determinada taxa de juros, de tal forma que o fluxo futuro se apresente a valores de hoje, ou ao valor atual. Se o valor atual dos fluxos futuros for igual ou superior ao valor atual a ser investido, o investimento deverá ser aceito. Se o valor atual dos fluxos for inferior ao valor a ser investido, o investimento não deverá ser aceito.

TABELA X  
PAYBACK DO SISTEMA ON-GRID

Ano	Fluxo de caixa	VPL
0	-R\$ 535.969,00	-R\$ 535.969,00
1	R\$ 124.220,64	-R\$ 419.874,94
2	R\$ 135.959,49	-R\$ 301.122,66
3	R\$ 148.803,90	-R\$ 179.654,35
4	R\$ 162.857,61	-R\$ 55.411,06
5	R\$ 178.234,01	R\$ 71.667,33
6	R\$ 195.057,12	R\$ 201.642,12
7	R\$ 213.462,51	R\$ 334.575,84
8	R\$ 233.598,40	R\$ 470.532,24
9	R\$ 255.626,85	R\$ 609.576,31
10	R\$ 279.725,01	R\$ 751.774,32
11	R\$ 306.086,53	R\$ 897.193,83
12	R\$ 292.744,10	R\$ 1.027.175,71
13	R\$ 366.466,13	R\$ 1.179.246,13
14	R\$ 400.968,52	R\$ 1.334.748,63
15	R\$ 438.706,74	R\$ 1.493.756,14
16	R\$ 479.982,91	R\$ 1.656.342,96
17	R\$ 525.127,25	R\$ 1.822.584,80
18	R\$ 574.500,62	R\$ 1.992.558,80
19	R\$ 628.497,40	R\$ 2.166.343,57
20	R\$ 687.548,53	R\$ 2.344.019,18
21	R\$ 752.124,91	R\$ 2.525.667,19
22	R\$ 822.741,09	R\$ 2.711.370,68
23	R\$ 899.959,24	R\$ 2.901.214,28
24	R\$ 984.393,62	R\$ 3.095.284,16
25	R\$ 1.076.715,29	R\$ 3.293.668,06

Para determinar o retorno do investimento devem-se estimar algumas variáveis. A taxa de depreciação do sistema fotovoltaico é de 0,5% ao ano. Analisando os dados dos últimos 5 anos, foram definidas duas variáveis a partir da média. O aumento anual de energia elétrica é de 10% e a inflação é de 7% ao ano.

Tendo uma perspectiva conservadora, considerou-se que o sistema fotovoltaico tenha uma vida útil de 25 anos e que haja a troca do inversor programada para o 13º ano, considerando o custo atual do equipamento.

O retorno do investimento ocorre em 53 meses, ou seja, 4 anos e 5 meses. A economia gerada pelo sistema fotovoltaico em 25 anos será de R\$ 3.293.668,06. A figura 14 demonstra a economia durante o período.

A taxa interna de retorno é igual a 32,35 % ao ano. Isso significa que o investimento é viável diante de aplicações que possuem taxa de juros inferiores à taxa interna de retorno.

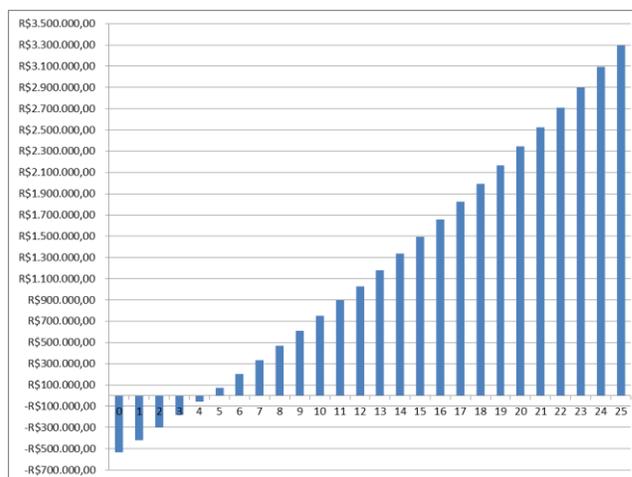


Fig. 14 - Economia do sistema on-grid

#### D. Sistema Híbrido

O consumo do posto tarifário fora ponta será suprido por um sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica (on-grid).

A energia necessária no posto tarifário ponta será armazenada no banco de baterias e caso seja insuficiente será consumida da rede de distribuição. O inversor híbrido definirá a escolha da fonte de energia.

Com a mesma metodologia utilizada anteriormente, foi dimensionado o sistema on-grid para atender ao consumo fora ponta (13.958 kWh).

$$\text{Demanda} = \text{Consumo Fora Ponta} \quad (15)$$

$$\text{Potência CC} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Irradiação} * \text{TD}} \quad (16)$$

$$\text{Potência CC} = \frac{13.958}{130,33 * 0,78} = 137,70 \text{ kWp} \quad (17)$$

A quantidade necessária de módulos fotovoltaicos com a potência de 465 Wp é 296 unidades. Cujo custo é R\$ 325.304,00.

$$n = \frac{137,30 \text{ kWp}}{0,465 \text{ kWp}} = 295,28 = 296 \quad (18)$$

$$\text{Custo} = 296 * 1.099,00 \quad (19)$$

$$\text{Custo} = \text{R\$ } 325.304,00 \quad (20)$$

A potência real do sistema fotovoltaico que suprirá o consumo fora ponta é de 137,64 kWp.

$$\text{Potência CC} = 465 * 296 = 137,64 \text{ kWp} \quad (21)$$

O inversor escolhido para o sistema fotovoltaico foi o Growatt MAX100KTL3-X LV, que suporta uma potência máxima CC de até 150 kW e possui o preço é R\$ 35.209,00.

Como visto anteriormente, a média mensal do consumo ponta é 1.938 kWh. A energia armazenada nas baterias irá ser utilizada no posto tarifária ponta. Esse período exclui os sábados, os domingos e os feriados. Considerou-se que esse consumo seja realizado considerando 22 dias úteis. Além disso, foi adotada a menor irradiação solar (2,45 kWh/m<sup>2</sup>/dia), observada no mês de junho.

$$\text{Média Diária} = \frac{\text{Demanda}}{22} = \frac{1938 \text{ kWh}}{22} \quad (22)$$

$$\text{Média Diária} = 88,09 \text{ kWh} \quad (23)$$

Para suprir completamente o consumo ponta, a capacidade de armazenamento deve ser de 46,10 kWh.

$$\text{Potência CC} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Menor Irradiação} * TD} \quad (24)$$

$$\text{Potência CC} = \frac{88,09}{2,45 * 0,78} \quad (25)$$

$$\text{Potência CC} = 46,10 \text{ kWp} \quad (26)$$

Para atingir a potência calculada serão necessários 100 módulos fotovoltaicos de 465 Wp.

$$n = \frac{46,10 \text{ kWp}}{0,465 \text{ kWp}} = 99,14 = 100 \quad (27)$$

A potência real do sistema fotovoltaico que suprirá o consumo ponta é de 46,50 kWp.

$$\text{Potência CC} = 465 * 100 = 46,50 \text{ kWp} \quad (28)$$

O sistema híbrido terá 396 módulos fotovoltaicos de 465 Wp. Destes 296 módulos serão para atender o consumo fora ponta e 100 módulos para suprir o consumo ponta. O custo dos módulos é de R\$ 435.204,00.

$$\text{Custo} = 396 * 1.099,00 \quad (29)$$

$$\text{Custo} = \text{R\$ } 435.204,00 \quad (30)$$

Serão necessários 99 conjuntos de fixação e o custo da estrutura é de R\$ 61.965,00.

$$n = \frac{396}{4} = 99 \text{ conjuntos} \quad (31)$$

$$\text{Custo} = 99 * 729,00 = \text{R\$ } 72.171,00 \quad (32)$$

Para o posto tarifário ponta será dimensionado o banco de baterias, a partir do modelo A48100 da marca Dyness. É do tipo LiFePO<sub>4</sub>, possui tensão nominal de 48 V, capacidade nominal de 100 Ah e energia nominal de 4.8 kWh. O custo unitário é de R\$ 14.539,00. Segundo a folha de dados do fabricante, a vida útil da bateria é superior a 4000 ciclos.



Fig. 15 – Bateria A48100 (Dyness)

O consumo ponta médio é 88,09 kWh/dia. Esse valor deve ser dividido pelas 3 horas que constituem o posto tarifário ponta (das 18:00 às 20:59). O consumo ponta é 29,36 kWh/h.

$$\text{Consumo ponta (hora)} = \frac{88,09}{3} \quad (33)$$

$$\text{Consumo ponta (hora)} = 29,36 \text{ kWh/h} \quad (34)$$

A profundidade de descarga, que é a porcentagem de descarga em cada ciclo, é igual a 80 %. Ou seja, a capacidade utilizável é 80 Ah (80% da capacidade nominal, que é 100 Ah). Essa capacidade deve ser dividida pelas 3 horas do posto tarifário ponta.

$$\text{Utilizável} = \frac{80}{3} = 26,66 \text{ Ah/h} \quad (35)$$

A capacidade utilizável por hora é 26,66 Ah.

Entretanto, o inversor híbrido escolhido (Growatt SPH 10000 TL3) limita a corrente de carga e descarga máxima em 25 A. Vamos considerar uma corrente de carga e descarga correspondente a 90% da corrente máxima. A corrente considerada é 22,5 A.



Fig. 16 – Inversor híbrido Growatt SPH 10000 TL3.

Sendo assim a energia que cada bateria é capaz de entregar é de 1080 Wh.

$$\text{Potência} = \text{Tensão} * \text{Corrente} \quad (36)$$

$$\text{Potência} = 48 \text{ V} * 22,50 \text{ Ah} = 1.080 \text{ Wh} \quad (37)$$

A quantidade de baterias necessárias para suprir completamente o consumo posto tarifário de ponta é o quociente entre a potência demandada e a potência unitária da bateria. Isso resulta em 28 unidades. O custo das baterias é R\$ 407.092,00.

$$n = \frac{29360 \text{ Wh}}{1080 \text{ Wh}} = 27,19 = 28 \quad (38)$$

$$\text{Custo} = 28 * 14.539,00 = \text{R\$ } 407.092,00 \quad (39)$$

Para integrar os módulos fotovoltaicos e as baterias será utilizado um inversor híbrido. Este inversor é conectado na rede de energia elétrica e ao banco de baterias. Durante o período do dia, pode ser programado para diferentes modos de operação: prioridade solar, prioridade rede, somente rede e somente solar.

No período de produção de energia fotovoltaica, o inversor direcionará a energia produzida para a instalação e o excedente para o banco de baterias, evitando a troca de energia com a rede elétrica.

No posto tarifário ponta, não ocorre a produção de energia fotovoltaica, então será utilizada como prioridade a energia disponível no banco de baterias.

No período noturno e com o posto tarifário fora ponta, não será utilizada a energia restante no banco de baterias, com o intuito de prolongar a sua vida útil.

Este sistema fornece autonomia ao sistema fotovoltaico, funcionando mesmo que ocorram casos de queda de energia.

O inversor híbrido, utilizado para atender ao consumo ponta, é uma novidade e a potência máxima CA encontrada no mercado é 10 kW. Sendo assim deve-se utilizar mais de um inversor para atender a demanda da instalação.

No projeto serão utilizados inversores híbridos da marca Growatt. Para atender a demanda de 46,50 kWp, serão utilizados 4 inversores Growatt SPH 10000 TL3 (potência de 10 kW e preço unitário de R\$ 12.299,00) e 1 inversor Growatt SPH 7000 TL3 BH (potência de 7 kW e preço unitário de R\$ 10.699,00). Assim, a potência e o custo dos inversores híbridos, são 47 kW e R\$ 59.895,00, respectivamente.

Esses inversores aceitam a tensão das baterias entre 100 e 550V. Desta forma, as 28 baterias necessárias serão distribuídas da seguinte forma.

Os quatro inversores de 10 kW terão 6 baterias em série resultando numa tensão de 288 V. O inversor de 7 kW terá 4 baterias em série resultando numa tensão de 192 V.

O custo total dos inversores (on-grid e híbrido) é R\$ 95.104,00.

Os outros custos referentes aos acessórios (cabos, conectores, stringbox, dispositivos de segurança), projeto e instalação estão estimados em R\$ 37.000,00. O custo total do sistema fotovoltaico híbrido é de R\$ 1.046.571,00.

TABELA XI  
CUSTOS DO SISTEMA HIBRIDO

	Custo
Módulos	R\$ 435.204,00
Baterias	R\$ 407.092,00
Inversores	R\$ 95.104,00
Estrutura	R\$ 72.171,00
Outros	R\$ 37.000,00
Total	R\$ 1.046.571,00

Após a implementação do sistema híbrido, a nova conta de energia elétrica apresentará os seguintes valores.

TABELA XII  
NOVA CONTA

	Qntd.	Preço Unitário	Valor (R\$)
Fponta TUSD	13.958,91	0,1302	1.817,45
Fponta TE	13.958,91	0,4063	5.671,51
Demanda	80	34,6827	2.774,62
Inj Fponta TUSD	13.958,91	0,0911	-1.271,65
Inj Fponta TE	13.958,91	0,4063	-5.671,51
		Total	3.320,42

A economia média mensal é a diferença entre o valor da conta atual e o valor da nova conta.

$$\text{Economia} = \text{R\$ } 14.663,87 - \text{R\$ } 3.320,42 \quad (40)$$

$$\text{Economia} = \text{R\$ } 11.343,45 \quad (41)$$

Para determinar o retorno do investimento do sistema híbrido foram utilizadas as mesmas variáveis do sistema on-grid. A taxa de depreciação do sistema fotovoltaico é de 0,5% ao ano, o aumento anual de energia elétrica é de 10% e a inflação é de 7% ao ano.

As baterias realizam em média 22 ciclos por mês. O fabricante estima a vida útil em 4.000 ciclos. Sendo assim, a vida útil da bateria é de 181 meses, aproximadamente 15 anos. Tendo uma perspectiva conservadora, considerou-se a troca das baterias e dos inversores no 13º ano.

TABELA XIII  
PAYBACK DO SISTEMA HÍBRIDO

Ano	Fluxo de caixa	VPL
0	-R\$ 1.046.571,00	-R\$ 1.046.571,00
1	R\$ 136.121,40	-R\$ 919.354,74
2	R\$ 148.984,87	-R\$ 789.225,58
3	R\$ 163.059,83	-R\$ 656.120,19
4	R\$ 178.459,92	-R\$ 519.973,97
5	R\$ 195.309,43	-R\$ 380.721,05
6	R\$ 213.744,25	-R\$ 238.294,22
7	R\$ 233.912,94	-R\$ 92.625,00
8	R\$ 255.977,93	R\$ 56.356,48
9	R\$ 280.116,78	R\$ 208.721,45
10	R\$ 306.523,62	R\$ 364.542,52
11	R\$ 335.410,66	R\$ 523.893,71
12	-R\$ 135.186,12	R\$ 463.869,45
13	R\$ 401.574,83	R\$ 630.508,73
14	R\$ 439.382,67	R\$ 800.908,90
15	R\$ 480.736,33	R\$ 975.149,87
16	R\$ 525.966,90	R\$ 1.153.313,06
17	R\$ 575.436,22	R\$ 1.335.481,43
18	R\$ 629.539,74	R\$ 1.521.739,53
19	R\$ 688.709,59	R\$ 1.712.173,47
20	R\$ 753.418,02	R\$ 1.906.871,00
21	R\$ 824.181,04	R\$ 2.105.921,51
22	R\$ 901.562,48	R\$ 2.309.416,03
23	R\$ 986.178,40	R\$ 2.517.447,29
24	R\$ 1.078.701,88	R\$ 2.730.109,72
25	R\$ 1.179.868,27	R\$ 2.947.499,48

O retorno do investimento ocorre em 92 meses, ou seja, 7 anos e 8 meses. A economia gerada pelo sistema fotovoltaico em 25 anos será de R\$ 2.974.499,48. A figura 17 mostra a economia do sistema híbrido.

A taxa interna de retorno é igual a 20,76 % ao ano. Isso significa que o investimento é viável diante de aplicações que possuem taxa de juros inferiores à taxa interna de retorno.

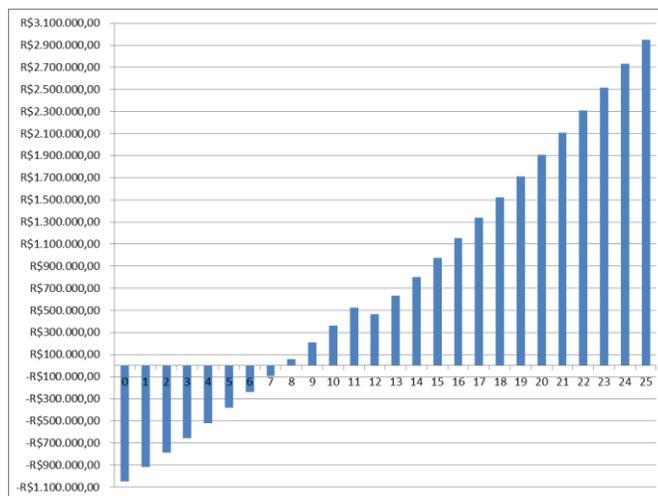


Fig. 17 – Economia do sistema híbrido.

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Definido o tema do presente trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica a fim de obter informações relevantes sobre os conceitos compreendidos sobre o efeito fotovoltaico.

A legislação vigente foi consultada para entender as especificações técnicas que podem ser implementadas no desenvolvimento dos projetos e definir qual estratégia será utilizada para tornar o sistema fotovoltaico mais eficiente financeiramente.

Foram demonstradas duas soluções para atender completamente a demanda da instalação de média tensão: o sistema fotovoltaico on-grid e o sistema fotovoltaico híbrido.

O intuito destes dimensionamentos é comparar um sistema fotovoltaico mais tradicional (on-grid) com o sistema fotovoltaico mais moderno (híbrido). O sistema on-grid já vem sendo implementado por muito tempo e com isso conta com inversores de potência maiores e equipamentos com preços mais acessíveis.

O sistema híbrido é um conceito mais recente e permite a menor dependência da rede de energia elétrica, isso é uma vantagem diante de casos de falta de energia e do aumento nos custos da troca energia elétrica com a rede de distribuição. Entretanto, os custos para a aquisição de um banco de baterias são relativamente elevados. Outro custo relevante são os inversores híbridos que estão

disponíveis no mercado com potência relativamente baixa e com valor muito elevado se comparado ao inversor on-grid.

Entretanto, em um período de 25 anos, a economia gerada pelo sistema híbrido é parecida com a do sistema on-grid (R\$ 2.947.499,48 ante R\$ 3.293.668,06).

As taxas internas de retorno do sistema fotovoltaico on-grid e híbrido foram consideradas altas (32,35% ao ano e 20,76% ao ano, respectivamente), isso significa que o sistema fotovoltaico é um investimento oportuno. Essa taxa não é encontrada em investimentos de renda fixa, e dificilmente será alcançada em investimento de renda variável. Além do ponto de vista financeiro, a energia solar é uma fonte renovável e preserva o meio ambiente.

Futuramente, com a diminuição dos custos das baterias e dos inversores híbridos, o sistema fotovoltaico híbrido se tornará mais vantajoso financeiramente, principalmente pelo fato de ser o menos afetado pelas taxas cobradas com a troca de energia elétrica.

O sistema híbrido, que é mais independente da rede elétrica, é uma excelente opção para as aplicações futuras, como por exemplo, o carregamento de carros elétricos.

## V. REFERÊNCIAS

- [1] ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR Energia Solar Fotovoltaica no Brasil, nº50.**  
Disponível em:  
<<https://www.absolar.org.br/market/infographic/>>  
Acesso em 5 dez 2022.
- [2] ALBADÓ, Ricardo. **Energia Solar.** São Paulo, Artliber Editora, 2002.
- [3] ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012.  
Disponível em:  
<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>  
Acesso em 05 set 2022.
- [4] ANEEL. **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015.  
Disponível em:  
<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>  
Acesso em 05 set 2022.
- [5] ANEEL. **Resolução Normativa nº 1000**, de 7 de dezembro de 2021.  
Disponível em:  
<<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>>  
Acesso em 05 set 2022.
- [6] ANTONIOLLI, Andriago Filippo Gonçalves. **Avaliação do desempenho de geradores solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil.** Florianópolis, 2015.
- [7] BOCCHI, N, Ferracin, LC, Biaggio, SR. **Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental.** 2000.  
Disponível em:  
<<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>>  
Acesso em 23 set 2022.
- [8] BRASIL. **Lei nº 14.300**, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS).  
Disponível em:  
<<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>  
Acesso em 29 set 2022.
- [9] BUHLER, A. J.; SANTOS, F.H.; GABE, I. J.. **Uma revisão sobre as tecnologias atuais.** Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.
- [10] DYNES, **Folha de Dados da Bateria A48100.**  
Disponível em:  
<<https://www.dyness.net/uploadfile/file/20220811/2b499478312502829aad729cba321727.pdf>>  
Acesso em 25 out 2022.
- [11] GOODWE, **SEMS Portal**  
Disponível em:  
<<https://www.semsportal.com/home/login>>  
Acesso em 28 out 2022.
- [12] GROWATT, **Folha de Dados do Inversor Híbrido SPH 4000-1000TL3 BH-UP.**  
Disponível em:  
<<https://www.growatt-inverter.com/product/growatt-sph-8000-tl3-bh-up-hybrid8kw2-mppt-3-phase/>>  
Acesso em 23 out 2022.
- [13] GROWATT, **Folha de Dados do Inversor On-Grid MAX 100-125KTL3-X LV.**  
Disponível em:  
<<https://www.ginverter.pt/show-42-647.html>>  
Acesso em 14 out 2022.
- [14] IFPE Pesqueira. **Cálculo de Radiação.**  
Disponível em:  
<<http://www.radiacaosolar.com.br>>  
Acesso em 08 out 2022.
- [15] INMETRO. **Portaria nº140**, de 21 de março de 2022.  
Disponível em:  
<<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-140-de-21-de-marco-de-2022-389587680>>  
Acesso em 17 set 2022.

- [16] LOPES, Ricardo Albadó. **Energia Solar para produção de eletricidade**. São Paulo, Artliber Editora, 2012.
- [17] PADOVEZE, Clóvis Luiz. **Contabilidade gerencial**. Curitiba, IESDE Brasil S.A, 2012.
- [18] **Potencial Solar – SunData v 3.0**, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB). Disponível em:  
<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>  
Acesso em 12 set 2022.
- [19] VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo, Érica, 2015.