

## COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA FOTVOLTAICA ON GRID E OFF GRID

### COMPARISON BETWEEN THE IMPLEMENTATION OF ON-GRID AND OFF-GRID PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEMS

### COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA FOTVOLTAICA CONECTADA A LA RED Y FUERA DE LA RED

Bruno Amorim do Amor Divino

**RESUMO:** Diante da progressiva escalada na demanda por eletricidade e da urgência por matrizes energéticas limpas e também autônomas, a geração fotovoltaica consolidou-se como a principal solução para a descentralização energética no Brasil. Este trabalho analisa o panorama técnico e econômico da energia solar em 2026, com foco na comparação entre os sistemas *On-Grid* (conectados à rede) e *Off-Grid* (isolados com armazenamento). O objetivo é avaliar a aplicabilidade de cada modelo em setores residenciais e comparar os custos da implementação dos sistemas.

**Palavras chaves:** Energia fotovoltaica residencial. Sistemas On Grid e Off Grid. Viabilidade econômica.

**ABSTRACT:** Faced with the progressive increase in electricity demand and the urgency for clean and autonomous energy sources, photovoltaic generation has consolidated itself as the main solution for energy decentralization in Brazil. This work analyzes the technical and economic landscape of solar energy in 2026, focusing on the comparison between On-Grid (grid-connected) and Off-Grid (isolated with storage) systems. The objective is to evaluate the applicability of each model in residential sectors and compare the implementation costs of the systems.

**Keywords:** Residential photovoltaic energy. On-Grid and Off-Grid systems. Economic viability.

**RESUMEN:** Ante el aumento progresivo de la demanda de electricidad y la urgencia de contar con fuentes de energía limpias y autónomas, la generación fotovoltaica se ha consolidado como la principal solución para la descentralización energética en Brasil. Este trabajo analiza el panorama técnico y económico de la energía solar en 2026, centrándose en la comparación entre sistemas conectados a la red (*On-Grid*) y sistemas aislados (*Off-Grid*) con almacenamiento. El objetivo es evaluar la aplicabilidad de cada modelo en el sector residencial y comparar los costos de implementación de los sistemas.

**Palabras clave:** Energía fotovoltaica residencial. sistemas conectados a la red y sistemas aislados. viabilidad económica.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico global, aliado à expansão do consumo e da produção industrial, impulsiona uma demanda crescente e contínua por energia elétrica. A modernização dos processos fabris, a implementação de tecnologias automatizadas e o uso de maquinário de alta performance resultaram em um salto no consumo elétrico quando comparado a décadas anteriores. Contudo, este cenário sofreu uma retração atípica devido à pandemia de COVID-19. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), a oferta interna total de energia no Brasil atingiu 287,6 Mtep, representando uma queda de 2,2% em relação ao ano anterior, enquanto o consumo específico de energia elétrica apresentou uma diminuição de 0,8% comparado a 2019 (Balanço Energético, 2022). Porém no ano de 2024 a oferta de energia interna alcançou 322 Mtep que representou aumento de 2,4% em relação aos dados de 2023 com a participação e aumento de renováveis(EPE, 2025).

Apesar desse recuo momentâneo na demanda total devido a pandemia que teve, consolidou uma tendência irreversível: a aceleração da busca por fontes limpas e renováveis. A geração eólica, registrou 2,9%, da repartição de oferta de energia nacional (EPE,2025) . Paralelamente, a geração solar fotovoltaica, foco central deste estudo, demonstrou uma evolução exponencial. O Brasil apresenta uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, Indicadores mostram que 5,6% da energia total gerada no Brasil vem de fontes de micro e minigeração e e a geração solar fotovoltaica alcançou 70,7 TWh crescendo cerca de 39,6% (EPE,2025).

Atualmente, a estrutura da matriz elétrica brasileira permanece liderada pela fonte hidráulica. No entanto, observa-se que a energia solar tem escalado posições rapidamente, impulsionada pela redução de custos tecnológicos e pelo novo Marco Legal da Geração Distribuída, que oferece maior segurança jurídica aos investidores e consumidores.

Nesse contexto, a transição para um modelo de uso mais racional e consciente tem levado empresas de diversos setores a adotar políticas de sustentabilidade. A integração de fontes renováveis deixou de ser apenas uma preocupação ambiental para tornar-se uma estratégia de gestão: além de minimizar danos ecológicos, a autogeração de energia solar permite que as corporações mitiguem os riscos de variações tarifárias e assegurem previsibilidade de custos.

## 2 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO - OFF GRID:

Os sistemas fotovoltaicos autônomos, tecnicamente denominados Off-Grid, caracterizam-se pela completa independência em relação à rede de distribuição elétrica

convencional. Essa arquitetura é predominantemente empregada em localidades desprovidas de infraestrutura concessionária, como ilhas, zonas rurais remotas ou propriedades onde a extensão da rede elétrica se mostra economicamente inviável (Goetze, 2017).

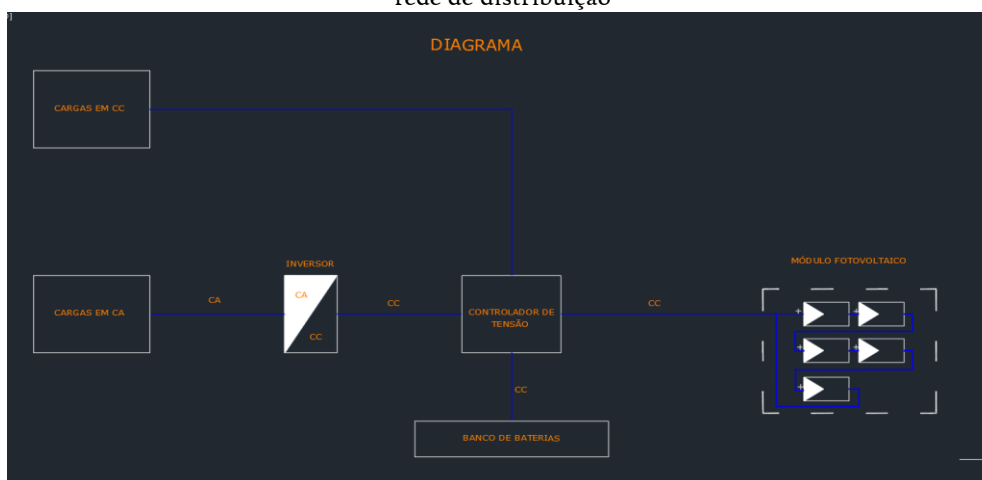
Além do atendimento a regiões isoladas, o sistema autônomo apresenta-se como uma alternativa estratégica para consumidores que buscam autonomia tarifária. No contexto atual de 2026, esse modelo ganha relevância frente às diretrizes da Lei 14.300/2022. Com a gradativa incidência da tarifa sobre o "Fio B" — que já atinge o patamar de 60% e projeta-se para 100% até 2029, a desconexão total da rede isenta o usuário de encargos regulatórios e flutuações nas bandeiras tarifárias. Adicionalmente, a configuração Off-Grid oferece imunidade contra interrupções no fornecimento público (blackouts), garantindo a continuidade operacional das cargas conectadas.

Outra aplicação em franca expansão no Brasil e no exterior é a integração em veículos recreativos, como motorhomes e trailers. Nestes casos, a energia solar constitui a principal fonte renovável viável, superando tecnicamente os geradores a combustão devido ao menor ruído, ausência de emissão de gases e menor custo operacional a longo prazo. Todavia, Goetze (2017) ressalta que, apesar dos benefícios, a adoção em larga escala em áreas urbanas ainda enfrenta o obstáculo do elevado investimento inicial, impulsionado principalmente pelo custo dos bancos de baterias, que representam o componente mais oneroso do sistema.

O processo de conversão energética em sistemas isolados segue um fluxo específico para garantir a estabilidade do fornecimento (FIGURA 1). Inicialmente, os módulos fotovoltaicos convertem a irradiância solar em corrente contínua (CC). Essa energia é direcionada aos controladores de carga, componentes vitais que gerenciam a tensão enviada ao banco de armazenamento, prevenindo sobrecargas e otimizando a vida útil das baterias estacionárias com base em parâmetros térmicos e de carga.

A energia acumulada nas baterias é, posteriormente, processada por um inversor senoidal, que transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), adequando-a aos requisitos dos equipamentos eletroeletrônicos convencionais. É imperativo destacar que o projeto de um sistema Off-Grid exige um dimensionamento rigoroso da demanda energética. Diferente dos sistemas conectados à rede, o sistema isolado depende exclusivamente da capacidade de armazenamento do banco de baterias em períodos de baixa ou nula irradiância solar. Portanto, é necessário que o cálculo de autonomia preveja uma margem de segurança (dias de autonomia) para assegurar o abastecimento durante regimes climáticos desfavoráveis (Goetze, 2017).

**Figura 1** Representação do diagrama de um sistema solar fotovoltaico com banco de baterias e desconectado da rede de distribuição



Fonte: Autoral, AutoCAD 2026.

### 3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (ON-GRID)

Os sistemas On-Grid, ou conectados à rede, representam a modalidade mais difundida e consolidada no mercado fotovoltaico contemporâneo. Sua ampla aceitação decorre, primordialmente, de uma arquitetura simplificada que prescinde de controladores de carga e bancos de armazenamento (baterias). Essa característica reduz drasticamente o custo de capital, tornando a tecnologia economicamente mais viável e acessível em comparação aos sistemas isolados, embora o investimento inicial ainda demande mecanismos de financiamento para democratização total do acesso (Goetze, 2017).

O funcionamento deste modelo (FIGURA 2) baseia-se no sistema de compensação de energia elétrica. Ao contrário do sistema Off-Grid, a rede de distribuição da concessionária atua como uma "reserva virtual" de energia. Durante os períodos de alta irradiância solar, o excedente energético gerado e não consumido instantaneamente pela unidade consumidora é injetado na rede pública. Essa energia injetada é convertida em créditos energéticos que, em 2026, são compensados na fatura mensal conforme as regras de transição estabelecidas pelo Marco Legal da Geração Distribuída, permitindo o abatimento do consumo em períodos de baixa ou nula produção (período noturno).

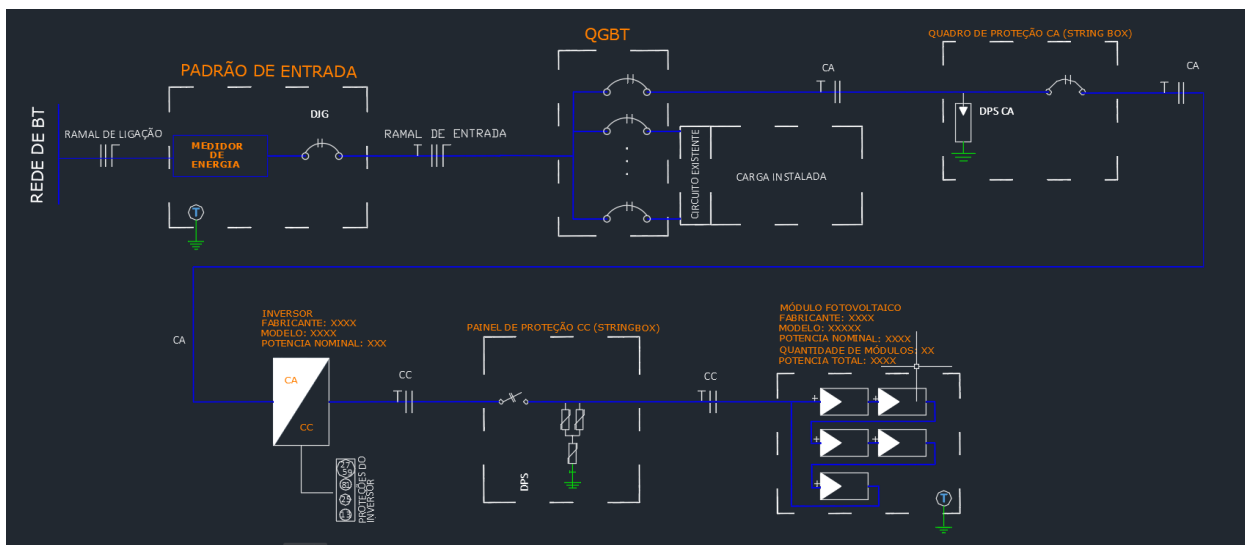
A base normativa para esta modalidade foi estabelecida inicialmente pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, posteriormente aprimorada pela Resolução nº 687/2015, que definiu as diretrizes para a micro e minigeração distribuída (Aneel, 2012). Atualmente, o setor é regido pela Lei 14.300/2022, que em 2026 impõe uma cobrança de 60% sobre os encargos de

distribuição (Fio B) para novas conexões, alterando a dinâmica do retorno sobre o investimento (Payback), mas mantendo a atratividade do sistema diante das altas tarifas de energia elétrica.

Apesar das vantagens econômicas, o sistema On-Grid apresenta vulnerabilidades técnicas específicas. A principal delas é a dependência intrínseca da rede de distribuição: em caso de interrupção no fornecimento público (falta de energia), o inversor interativo deve ser automaticamente desligado por protocolos de segurança. Esse mecanismo visa impedir o fenômeno do "ilhamento", garantindo que a residência não injete tensão na rede enquanto técnicos da concessionária realizam reparos, protegendo a integridade física dos operadores.

Por fim, Goetze (2017) ressalta que a necessidade de conexão física com a rede inviabiliza esta tecnologia em zonas geográficas remotas ou em aplicações de mobilidade, como trailers e motorhomes, onde a ausência de infraestrutura concessionária torna o sistema isolado a única solução tecnicamente executável.

**Figura 2** Representação do diagrama unifilar de um sistema solar fotovoltaico On grid



Fonte: Autoral, AutoCAD 2026.

#### 4. ANÁLISE COMPARATIVA SISTEMAS ON-GRID VS. OFF-GRID:

Nesta seção, os estudos de caso analisados permitiram uma confrontação direta entre as arquiteturas fotovoltaicas On-Grid (conectada) e Off-Grid (autônoma), avaliando-se critérios de viabilidade financeira, capacidade operacional e as respectivas externalidades técnicas aplicadas ao contexto residencial.

A análise dos custos revelou uma disparidade significativa no investimento inicial além do fato de que o sistema off grid exige maior manutenção pois suas baterias apresentam uma vida útil em torno de 3 a 5 anos para as chumbo ácido e média de 10 a 15 anos para as de lítio,

dependendo do uso isso torna o sistema mais caro ao longo prazo pois visto que o restante dos equipamentos que são comuns aos dois apresentam uma vida útil média de 25 anos. Os sistemas On-Grid consolidam-se como a opção de menor custo de implementação e manutenção, dado que sua infraestrutura simplificada — composta essencialmente por módulos e inversores interativos — dispensa dispositivos de armazenamento. Em contrapartida, os sistemas Off-Grid demandam um aporte financeiro substancialmente superior, impulsionado pela necessidade de bancos de baterias (especialmente as de Lítio-Ferro-Fosfato, padrão em 2026) e controladores de carga, elevando o custo total do projeto em níveis que podem dobrar o valor de uma instalação conectada equivalente.

No que tange aos custos operacionais, o sistema isolado também apresenta maior complexidade, exigindo a substituição periódica dos acumuladores, o que gera maior custo, enquanto o sistema conectado demanda manutenções preventivas mínimas.

Quanto à capacidade de atendimento, os estudos de caso demonstraram que:

**Sistemas On-Grid:** Oferecem alta conveniência em áreas urbanas, utilizando a rede pública como um "buffer" infinito de energia. Entretanto, falham no critério de continuidade, pois são programados para cessar a operação durante quedas na rede da concessionária e também fica sujeito as tarifações de energia.

**Sistemas Off-Grid:** Apresentam autonomia total e nada de custo ao longo dos meses que na on-grid mesmo sem gasto é necessário pagar a tarifa mínima e o fio B, com o off-grid está garantindo o fornecimento em cenários de instabilidade da rede pública ou em locais onde esta é inexistente. Sua capacidade é limitada apenas pelo dimensionamento do banco de baterias, exigindo uma gestão de consumo mais rigorosa por parte do usuário.

**4.1 Caso Off Grid:** Para o projeto e dimensionamento de um sistema *Off-Grid* eficiente, é imperativo estabelecer parâmetros que garantam a confiabilidade do suprimento energético sem a dependência da rede elétrica. Diferente do sistema *On-Grid*, o cálculo aqui é orientado pela segurança energética e pela vida útil do banco de armazenamento:

➤ A tensão de funcionamento do sistema solar *Off Grid*, que pode ser de 12V, 24V, o 48V, comumente para redução de gastos em fiação e minimizar perdas é utilizado e em residências o padrão de 48V porém neste estudo de caso, utilizou-se a tensão de 12V.

➤ A identificação dos aparelhos que serão implementados e as suas respectivas potências.

➤ Fator de correção de eficiência.

Para compensar as perdas térmicas e de conversão, aplicou-se um rendimento de 90% sobre os componentes. O cálculo de correção do consumo foi estruturado em dois níveis:

Cargas em Corrente Contínua (CC): Divisão do consumo nominal por 0,90 considerando apenas as perdas de armazenamento.

Cargas em Corrente Alternada (CA): Divisão do consumo por 0,81, refletindo a perda cumulativa (rendimento sistêmico) entre o banco de baterias e a inversão para CA (0,90x0,90). Os valores ajustados constam na Tabela 1.

**Tabela 1** Dimensionamento dos equipamentos

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	TEMPO DE USO	TIPO DE TENSÃO	CONSUMO (WH)	REND. BATERIA	REND. INVERSOR	CONSUMO CORRIGIDO (Wh)
Frigobar	1	70	8	CA	560	0,9	0,9	691
Tomadas	4	125	2	CA	1000	0,9	0,9	1235
Ventilador	1	100	6	CA	600	0,9	0,9	741
TV	1	50	4	CA	200	0,9	0,9	247
Notebook	1	80	6	CA	480	0,9	0,9	593
Luz	2	5	4	CA	40	0,9	0,9	50

Energia consumida diariamente = 3557 Wh/Dia

Fonte: Autoral, Excel 2026.

➤ Para os módulos fotovoltaicos foram escolhidos o modelo de 465 Watt (W) da marca OSDA, ele possui 144 células de silício monocristalino.

Para calcular a quantidade de módulos necessários para atender a demanda, foi utilizado como base a média da radiação solar mínima brasileira.

Visto isso, a energia produzida diariamente por cada módulo será calculada conforme equação 1:

$$Energia\ diária = Irradiação * área * eficiência \quad (1)$$

Para a irradiação, foi adotada a mínima brasileira de 4,15. As informações de área e eficiência do módulo encontradas no *datasheet* do equipamento.

$$Energia\ diária = 4,15 * 2,18 * 21,3\%$$

$$Energia\ diária = 1,927KWh/Dia$$

Visto que as Condições Padrão de Teste estabelecidas pelos fabricantes não refletem as variáveis dinâmicas de campo, aplicou-se um fator de desempenho de 0,80. Este índice de correção de 20% foi integrado ao cálculo para mitigar as discrepâncias causadas pela degradação térmica dos módulos e as perdas no cabeamento, assegurando que o dimensionamento represente a produtividade líquida real do sistema fotovoltaico :

$$Energia\ diária = 1927Wh/Dia * 0,8$$

$$Energia\ diária = 1541,6Wh/Dia$$

Logo, para calcular a quantidade de painéis solares, utilizando a equação 2:

(*E consumida diaria = Tabela 1*):

$$Q \text{ painéis} = \frac{E \text{ consumida diaria}}{E \text{ diária}} \quad (2)$$

$$Q \text{ painéis} = \frac{3557}{1541,5}$$

$$Q \text{ painéis} = 2,3$$

O valor deve ser arredondado, totalizando uma quantidade de 3 painéis fotovoltaicos para o sistema trabalhar sem preocupações.

Os painéis fotovoltaicos puderam ser ligados em série, pois como se utilizou a tensão no banco de baterias em 12Vcc e a tensão máxima do painel ( $V_{pm}$ ) de 42,10V, foi atendido o requisito mínimo de 25% superior à tensão do banco.

➤ Em sistemas isolados da rede elétrica, a confiabilidade do suprimento é condicionada à capacidade de armazenamento do banco de baterias. Para mitigar os riscos de interrupção em períodos de baixa irradiância — como dias nublados ou chuvosos — estabeleceu-se uma autonomia operacional de 48 horas (dois dias). Este intervalo de segurança garante a resiliência do sistema, permitindo o atendimento da carga crítica mesmo em condições meteorológicas adversas.

➤ Quanto à tecnologia de armazenamento, optou-se pela utilização de acumuladores de chumbo-ácido. Embora as tecnologias de Lítio e Sódio apresentem maior densidade energética e vida útil superior no cenário tecnológico, a escolha pelo chumbo-ácido justifica-se pela viabilidade econômica e pelo menor investimento inicial. O dimensionamento buscou o equilíbrio entre a maximização da capacidade de reserva e a otimização do espaço físico disponível, garantindo uma configuração robusta para as demandas especificadas.

Para o cálculo da arquitetura do banco de baterias em série, é necessário realizar o seguinte cálculo para considerando a tensão do banco já definida anteriormente como 12V, equação 3:

$$T_{\text{baterias em série}} = \frac{V_{\text{do banco de bateria}}}{V \text{ da bateria}} \quad (3)$$

$$T_{\text{baterias em série}} = \frac{12V_{cc}}{12V_{cc}}$$

$$T_{\text{baterias em série}} = 1 \text{ Bateria na série}$$

Para calcular a quantidade de baterias ligadas em paralelo, é preciso realizar o cálculo da energia consumida pela autonomia desejada (48H de autonomia), equação 4:

(*E consumida diaria = Tabela 1*):

$$EC \text{ autonomia} = 3557 * 2 \quad (4)$$

$$EC \text{ autonomia} = 7114Wh$$

Cálculo para a energia armazenada no banco de baterias calculado conforme equação 5:

$$E \text{ armazenada} = \frac{EC}{Pd} \quad (5)$$

A determinação da capacidade útil do banco de armazenamento é diretamente influenciada pela profundidade de descarga, o PD que é quanto a bateria pode descarregar o que

é previamente recomendado pelo fabricante que seja algo em torno de 20% ou 30 % para que não se diminua sua vida útil. Foi considerada, então, a capacidade de 30% para os cálculos, basicamente 15% de descarga para cada dia:

$$E_{armazenada} = \frac{EC}{Pd}$$

$$E_{armazenada} = \frac{7114}{0,3}$$

$$E_{armazenada} = 23713Wh$$

Portanto, capacidade em Ampere hora calculada pela equação 6:

$$Capacidade\ do\ Banco = \frac{E_{armazenada}}{V\ do\ banco} \quad (6)$$

$$Capacidade\ do\ Banco = \frac{23713}{12}$$

$$Capacidade\ do\ Banco = 1976Ah$$

Cálculo da quantidade de baterias necessárias ligadas em paralelo, definida como bateria Freedom DF4100 com capacidade de 220Ah, calculadas conforme equação 7:

$$T_{baterias\ em\ paralelo} = \frac{1976}{220} \quad (7)$$

$$T_{baterias\ em\ paralelo} = 8,98$$

$$Total\ necessário\ de\ baterias\ em\ paralelo = 9$$

Concluindo assim, um total de baterias:

$$9(Bateria\ em\ série) * 1(Bateria\ em\ paralelo) = 9$$

Totalizando 9 baterias necessárias para o armazenamento com 48H de autonomia.

➤ No que tange ao gerenciamento do carregamento, optou-se pela tecnologia 9

MPPT por ser mais eficiente no carregamento das baterias. A escolha justifica-se pela superioridade técnica em relação aos controladores PWM, uma vez que o algoritmo MPPT é capaz de rastrear o ponto de máxima potência dos módulos, convertendo o excedente de tensão em corrente de carga, o que resulta em um ganho de eficiência de até 30% em condições de baixa temperatura.

➤ Para o dimensionamento do dispositivo, o parâmetro fundamental é a corrente de máxima potência dos módulos fotovoltaicos  $I_{mp}=11,06$  A, considerando que serão três módulos ligados em paralelos, essa quantidade deve ser multiplicada por três, adiciona-se 20% para uma sobra no sistema, conforme equação 8:

$$Corrente\ controlador = I_{mp} * 1,2 * Q_{painéis} \quad (8)$$

$$Corrente\ controlador = 11,06 * 1,2 * 3$$

$$Corrente\ controlador = 39,816$$

Mediante isso, o controlador de carga para atender ao sistema é de no mínimo 40A e 12V.

➤ A escolha do inversor é determinante para a qualidade da energia entregue às cargas. No mercado atual, as tecnologias dividem-se entre onda senoidal modificada e onda senoidal pura. Para este estudo, optou-se exclusivamente pela tecnologia senoidal pura, visto que ela entrega uma forma de onda com baixa Distorção Harmônica Total, assemelhando-se à

qualidade da rede elétrica convencional. Essa escolha é crítica para preservar a integridade de cargas indutivas e eletrônicos sensíveis, evitando o superaquecimento e a redução da vida útil dos equipamentos. No dimensionamento da potência nominal do inversor, adotou-se um critério de resiliência operacional. A potência total demandada pelas cargas foi dimensionada para representar apenas 70% da capacidade nominal do inversor.

➤ Potência total dos equipamentos:

1 Frigobar (70W), 4 tomadas (125W), 1 ventilador (100W), 1 TV (50W), 1 Notebook (80W) e 2 luzes (5W) totalizam uma potência de 810W

Logo, pôde-se calcular a capacidade do inversor, através da equação 9:

$$P_{\text{inversor}} = P_{\text{total}} / 0,7 \quad (9)$$

$$P_{\text{inversor}} = 810 / 0,7$$

$$P_{\text{inversor}} = 1157,2W$$

Assim, dimensionou-se um inversor de 1500W com onda senoidal pura.

➤ O dimensionamento dos condutores restringiu-se à parte CC do sistema, assim, excluindo a parte de corrente alternada, após inversor de nossos cálculos.

Para interligar os módulos fotovoltaicos até o controlador de calculada conforme equação 10:

$$S1 = \frac{2 * l * I_{sc} * Q_p * s}{56 * V_{mp} * \Delta V\%} \quad (10)$$

Onde:

$l$  = comprimento do cabo

$I_{sc}$  = corrente de curto circuito dos painéis

$Q_p$  = quantidade de painéis

$s$  = 25% de sobra

coeficiente de condutibilidade do cobre = 56

$V_{pm}$  = tensão em máxima potencia

$Q_p$  = quantidade de painéis dos painéis

$\Delta V\%$  = queda de tensão de 3%

$$S1 = \frac{2 * 4 * 11,78 * 3 * 1,25}{56 * 42,10 * 0,03}$$

$$S1 = 4,99$$

Dada a inexistência dessa secção transversal exata nos cabos, foi utilizado de 6 mm<sup>2</sup>.

Para o segmento que conecta o banco de baterias e o controlador de cargas, foi utilizada a mesma equação anterior, ajustando a distância entre os equipamentos, onde  $l = 1m$  e uma queda de tensão máxima de 1%:

$$S2 = \frac{2 * 1 * 11,78 * 3 * 1,25}{56 * 42,10 * 0,01}$$

$$S2 = 3,747$$

Dada a inexistência dessa secção transversal exata nos cabos, foi utilizado de 4 mm<sup>2</sup>.

No segmento final da instalação que interliga o inversor as baterias, baseou-se na potência contínua do inversor de 1500W dividida pela tensão de entrada. E foi encontrada a corrente de entrada através da equação 11:

$$I_{entrada} = \frac{P_{inversor}}{V_{entrada}} \quad (11)$$

$$I_{entrada} = \frac{1500}{12}$$

$$I_{entrada} = \frac{1500}{12}$$

$$I_{entrada} = 125A$$

E para encontrar a secção transversal do cabo, conforme equação 12:

$$S3 = \frac{2 * I_{entrada}}{56 * V_{entrada} * 0,01} \quad (12)$$

$$S3 = \frac{2 * 0,4 * 125}{56 * 12 * 0,01}$$

$$S3 = 14,88$$

Dada a inexistência dessa secção transversal exata nos cabos, foi utilizado de 16mm<sup>2</sup>.

Para a estimativa do investimento inicial, o levantamento concentrou-se nos equipamentos principais (painéis, baterias, controlador e inversor), conforme a Tabela 2. Itens periféricos (cabearamento, conectores e proteções) foram desconsiderados nesta etapa para simplificar a comparação financeira. Adotou-se uma estratégia de mínimo custo, utilizando os menores valores de mercado em 2026 para validar a viabilidade econômica e o potencial de aplicabilidade do sistema.

Buscando o equilíbrio entre viabilidade econômica e autonomia, o sistema Off-Grid foi dimensionado com três módulos fotovoltaicos, cotado em R\$1.099,00 cada, nove baterias estacionárias 220Ah cotadas em R\$1.649,00 Cada, um controlador de carga 40A cotado em R\$829,00 e um inversor de 1500W cotado em R\$ 2.249,00 . O investimento total foi estipulado em R\$21.216,00. (Neo solar)

Nota-se que o banco de baterias representa o item de maior impacto financeiro no projeto, representando a maior parcela do custo global e que esse banco de baterias deve ser trocado em média a cada 5 anos nos melhores dos cenários. Mesmo com a opção pela tecnologia de chumbo-ácido, selecionada pelo menor custo inicial em relação ao lítio, o armazenamento permanece como o principal desafio econômico para sistemas isolados devido ao elevado custo de implementação e de manutenção.

**4.2 Caso On Grid:** Utilizou-se a mesma base de dados e demanda energética do estudo de Caso 1 para garantir uma base comparativa. Esta etapa visa contrastar a viabilidade econômica e as exigências técnicas de um sistema interligado à rede frente ao modelo isolado, mantendo a mesma capacidade de geração e o perfil de consumo de carga.

**Tabela 2** Consumo dos equipamentos

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	TEMPO DE USO	CONSUMO NO DIA (Wh)	CONSUMO NO MÊS (Wh)
Frigobar	1	70	8	560	16800
Tomadas	4	125	2	1000	30000
Ventilador	1	100	6	600	18000
TV	1	50	4	200	6000
Notebook	1	80	6	480	14400
Luz	2	5	4	40	1200

Consumo total = 86,400 kW/ Mês
Consumo total = 2,880 kW/ Dia

Fonte: Autoral, Excel 2026.

Considerando que esses dados foram calculados para uma pessoa que não apresenta um marcador de energia nem histórico de faturas, o consumo mensal médio foi estipulado com base no inventário de cargas (Tabela 2), servindo como referência para a comparação entre os sistemas. O perfil do consumidor foi classificado como residencial monofásico, dada a tensão de operação dos equipamentos (127V), o que implica um custo de disponibilidade de 30 kWh, conforme normativa vigente.

Para fins de análise comparativa, optou-se por não descontar esse valor mínimo da geração total. Essa abordagem visa proporcionar uma avaliação mais precisa da produtividade do sistema frente à carga instalada, permitindo uma visualização clara do desempenho técnico de ambas as configurações sem as interferências contratuais da tarifa mínima.

12

Conforme equação 13:

$$Pot\ total\ painés = \frac{E\ de\ geração}{T\ exposição * \mu\ rendimento} \quad (13)$$

A variável tempo de exposição, diferentemente do valor adotado para o estudo de caso 1, foi utilizado o valor adotado para a cidade de Niterói RJ

Assim, adotou-se o valor médio para tempo de exposição de 4,78 h/dia.

No rendimento repetiu-se o valor de correção adotado no estudo 1, de 0,8.

Logo:

$$Pot\ total\ painés = \frac{2,88}{4,78 * 0,8}$$

$$Pot\ total\ painés = 0,7531\ kW$$

Para os cálculos adotou-se a potência total necessária e considerou os mesmos painéis, calculando a quantidade necessária de painéis para o sistema, equação 14.

$$Q\ painés = \frac{Pot\ total\ painés}{Pot\ Paineis} \quad (14)$$

$$Q\ painés = \frac{0,7531}{0,465}$$

$$Q\ painés = 1,619$$

$$Q\ painés = 2$$

Devido à elevada irradiância solar de Niterói e ao sobredimensionamento estratégico adotado no Estudo de Caso 1, a configuração On-Grid exigiu uma quantidade inferior de

módulos para suprir a baixa carga instalada. Com o arranjo definido em dois painéis de 465 Wp, a potência total do sistema totalizou 930 Wp.

Diante dessa potência e buscando otimizar o desempenho individual de cada módulo, optou-se pela utilização de um microinversor. O modelo selecionado foi o Hoymiles MI-1200, escolhido por sua alta eficiência e custo-benefício. Esta tecnologia permite que os módulos operem de forma independente, mitigando perdas por sombreamento parcial e garantindo uma conversão mais eficiente para a rede elétrica.

A arquitetura com microinversores elimina a necessidade de dimensionar cabos CC, pois a conexão é direta entre os módulos e o equipamento. Além disso, dispensa-se o uso de *string boxes* externas, uma vez que as proteções de Corrente Contínua já estão integradas internamente ao inversor. Essa configuração reduz a complexidade da instalação, os custos com componentes periféricos e os eventuais pontos de falha no sistema. O painel solar apresenta um custo de R\$1099,00 e serão utilizados duas unidades e o micro inversor apresenta um custo de R\$1999,90 e será utilizado apenas uma unidade e com isso o sistema totaliza um gasto inicial de R\$4.197,90 (Neo solar)

A análise financeira demonstra que o sistema On-Grid demanda uma estrutura significativamente simplificada, resultando em um investimento capital muito inferior ao modelo isolado e uma manutenção muito mais simples e menos custosa. Enquanto o sistema Off-Grid totalizou R\$21.216,00, a configuração On-Grid exigiu apenas R\$4.197,90.

Essa discrepância superior a cinco vezes, uma diferença nominal de R\$17.018,10, deve-se primordialmente à ausência do banco de baterias e controladores de carga no sistema conectado. Conclui-se, portanto, que para o perfil residencial urbano analisado, onde é possível ligar a rede, o sistema On-Grid apresenta uma viabilidade econômica e um retorno financeiro amplamente superior, oferecendo o menor tempo de retorno sobre o investimento, menor custo para manutenção e condições de eficiência energética similares.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa entre os sistemas fotovoltaicos demonstra que a viabilidade econômica é estritamente condicionada à infraestrutura de rede local e ao perfil de investimento. Os dados coletados revelam uma disparidade acentuada no CAPEX (Investimento Inicial): enquanto o sistema On-Grid totalizou R\$4.197,90, o sistema Off-Grid demandou R\$21.216,00. Esta variação de aproximadamente 405% é justificada pela complexidade

do armazenamento energético, onde as baterias de chumbo-ácido e os controladores de carga elevam drasticamente o custo por kWp instalado.

Para a compreensão técnica da aplicação de cada modelo, fundamentam-se as seguintes diretrizes:

#### Sistema On-Grid (Conectado):

**Vantagens e Cenários:** Apresenta o menor tempo de retorno sobre o investimento e alta eficiência financeira em centros urbanos. Sua principal vantagem é a utilização da rede concessionária como acumulador de custo zero.

**Desvantagens e Limitações:** Possui como limitação técnica o "anti-ilhamento", o que significa que o sistema é interrompido em quedas de energia da rede externa para proteção da infraestrutura, não oferecendo autonomia total e fica sujeito às tarifações e regras da concessionária de energia.

#### Sistema Off-Grid (Isolado):

**Vantagens e Cenários:** Essencial para cenários de isolamento geográfico ou locais onde a extensão da rede elétrica é inviável. Oferece autonomia absoluta e imunidade às variações de tarifas das concessionárias.

**Desvantagens e Limitações:** Além do alto custo inicial, apresenta um OPEX (Custo de Manutenção) mais oneroso devido à vida útil dos acumuladores químicos. A principal limitação reside na capacidade finita de armazenamento, exigindo um gerenciamento de carga rigoroso pelo usuário.

Apesar dos custos, o sistema Off-Grid supera a competitividade dos geradores a combustão (diesel ou gasolina). Enquanto os motores a combustão impõem custos variáveis crescentes e passivos ambientais significativos, a energia solar oferece uma fonte de geração limpa e resiliente. Nesse contexto, o dimensionamento rigoroso, fundamentado em coeficientes de segurança precisos, torna-se vital. Em configurações Off-Grid, a geração fotovoltaica atua como fonte exclusiva; logo, qualquer falha de cálculo compromete diretamente a habitabilidade e a continuidade operacional de equipamentos essenciais.

Por outro lado, o sistema On-Grid consolida-se como a escolha predominante para residências e grandes corporações, como Petrobras, Mercado Livre e o Estádio do Maracanã, onde o objetivo transcende a redução tarifária, alcançando metas globais de descarbonização e ESG (Governança Ambiental, Social e Corporativa).

Em suma, em 2026, a energia solar reafirma-se como a solução mais assertiva para o equilíbrio entre benefício financeiro e sustentabilidade. Seja pela autonomia estratégica do

sistema isolado, com seu investimento de R\$ 21.216,00, ou pela eficiência econômica do sistema conectado de R\$ 4.197,90, a escolha de cada modelo deve ser pautada por uma análise técnica que pondere a demanda energética, a disponibilidade de rede e o compromisso inegociável com a preservação ambiental planetária.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. [s.l: s.n.].

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL BRAZILIAN ENERGY BALANCE. [s.l: s.n.].

CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Cepel.br.

GOETZE, Felipe. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: estudo de caso**. Porto Alegre, 2017. Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre 2017.

KIT SOLAR 5,4 kWp - HOYMILES MI-1500 - 12 PAINÉIS JA 450W - Gera 720 kWh/mês.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA MME. Empresa de Pesquisa Energética EPE. BEN 2025 | Relatório Síntese

NeoSolar Loja.

SOLARGIS. Global Solar Atlas.