

---

# INSTALAÇÃO DE PLACAS SOLARES COMO FONTE DE SOLUÇÕES ENERGÉTICA EM CASAS UNIFAMILIARES DE RIBEIRINHOS NA AMAZÔNIA – ESTUDO DE CASO

## RESUMO

Atualmente, os países buscam várias maneiras para produção de energia elétrica, que degrade menos o meio ambiente e que seja de forma sustentável. No Brasil com a expansão da produção da energia fotovoltaica, devido a criação da Resolução Normativa nº 687 que trata da possibilidade de compensação de energia pelo usuário e a posição geográfica, toma-se como objetivo de estudo propor solução de instalação de placas solares como fonte de soluções energética em casas unifamiliares de ribeirinhos na Amazônia. Afim de complementar tais conhecimentos técnico atuante na área, que possibilitam avaliar a efetividade da aplicação de instalações fotovoltaicas. Conscientizar a importância e os benefícios do consumo eficiente, onde consumir somente o que necessitamos é fundamental para evitar desperdícios de energia e dinheiro. O estudo foi baseado em estudo de caso empírico em uma comunidade ribeirinha no baixo amazonas, onde coletou-se dados de consumo de energia elétrica por meio das contas da família. A classificação de consumo é residencial normal e o ponto de conexão com a rede é trifásico, de acordo com as especificações da concessionária. Tornando assim um ótimo plano de desenvolvimento de instalação na comunidade pois, o desempenho de consumo e custo é melhor do que o esperado inicialmente, trazendo a economia calculada.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Placas Solares, Soluções Energéticas.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A crise energética de repercussão mundial causada pelo embargo ao fornecimento de petróleo aos Estados Unidos e aos países europeus, imposto em 1973 pelas nações árabes, acelerou o processo de busca de fontes alternativas de energia. No Brasil, a maior parte da energia elétrica é de origem hidráulica, devido à existência de muitos rios que favorecem esse tipo de energia proveniente de grandes usinas hidrelétricas [1].

A título de ilustração é importante destacar que a energia primária de uma hidrelétrica consiste no potencial gravitacional da água contida numa represa elevada antes de se tornar energia elétrica. Nesse caso a energia primária deve ser convertida em energia cinética de rotação e finalmente distribuída basicamente por meio de linhas de transmissão pertencentes ao sistema interligado e/ou ainda através da geração térmica de pequeno, médio e grande porte [2].

Nesse sentido, segundo Brinkworth [3], da radiação solar que penetra na Terra e proporciona o aquecimento do ar do mar e do solo, deriva a energia necessária para manter o movimento da atmosfera e dos oceanos e para evaporação da água, que voltará em forma de chuva.

Da mesma forma, Frota & Schiffer [4], explicam que a radiação solar é uma energia eletromagnética de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera. Em vista desses conceitos, podemos afirmar que a complexidade de algumas regiões brasileiras, como é o caso da Amazônia, a resposta mais adequada poderá ser o uso de tecnologias renováveis adaptáveis às condições locais, pois além de minimizar custos que qualquer tecnologia de geração de energia elétrica apresenta, também evitará impactos ao meio ambiente, ao contrário do que

se constata com a energia advinda das hidrelétricas. Sobre tal afirmação, é sabido que tanto os governos internacionais, bem como o governo brasileiro estão se preocupando em promover estudos e avanços na pesquisa e desenvolvimento de alternativas energéticas baseadas em fontes renováveis, juntos com programas governamentais e sociais, preocupados principalmente com os graves problemas de impacto social proporcionados pela ausência de energia elétrica e com as crescentes agressões ambientais, cujos reflexos vêm causando profundas mudanças climáticas em todo o mundo.

Daí os sistemas renováveis, cuja fonte primária é do tipo solar fotovoltaica estão entre as opções mais consideradas atualmente, por isso os principais aspectos técnicos e econômicos de cada alternativa têm de ser levados em conta. A energia solar é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão [5].

Finalmente, em países tropicais, como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território e, em locais longe dos grandes centros de produção energética, sua utilização ajuda a diminuir a demanda de energia e consequentemente, a perda que de certo ocorreria na sua transmissão. Vivemos num mundo em constantes mudanças, e estas mudanças a cada dia acontecem com maior abrangência e com muita velocidade. A energia é indispensável para a sobrevivência e a qualidade de vida dos seres humanos e dos animais.

No nosso caso, estão associadas principalmente às condições de saúde, gênero, trabalho, habitação, educação e hábitos de consumo, que não se confundem ao conforto de uma mercadoria adquirida [6]. A fonte de energia que ora defendo, não

envolve àquelas disponíveis nas relações comerciais ofertadas pelas indústrias de energia; mas, sim, em alternativas inteligentes como a energia solar, que pode ser utilizada pela população fora das relações de mercado da indústria de energia, com aplicações específicas, simples e eficientes.

Embora, essas alternativas ainda não integrem o mercado de energia comercial formalmente regulado. Por tudo isso, é importante buscar soluções que possam trazer alternativas de energia do tipo renovável, que não degradam o meio ambiente e com enorme benefício na sua utilização.

Diante do exposto, o objetivo desse estudo é propor solução de instalação de placas solares como fonte de soluções energética em casas unifamiliares de ribeirinhos na Amazônia, como elemento indutor de desenvolvimento econômico, social e sustentável, além de criar alternativa de viabilizar um meio para eliminação da exclusão elétrica nos domicílios rurais situados em áreas remotas no Amazonas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Balanço energético brasileiro

De acordo com o Ministério de Minas e Energia [7], 42,4% da Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil é proveniente de fontes renováveis, contra apenas 13,2% na média mundial, conforme apresentado na Figura 1. As hidroelétricas e os produtos provenientes da cana-de-açúcar são as maiores fontes de energia renovável.

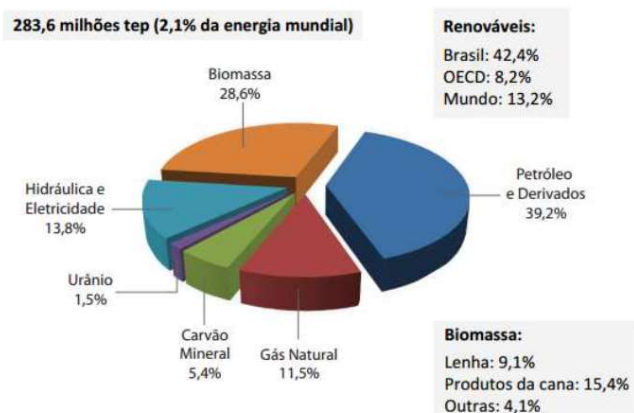


Figura 1 - Oferta interna de energia no Brasil - 2016. Fonte: [7]

O consumo de eletricidade no setor residencial, em 2005 no Brasil, segundo o Balanço Nacional de Energia 2015, BNE 2015, era consumido um total de 0,447 MWh/habitante. Já em 2014, esses valores chegaram a aproximadamente 0,654 MWh/habitante, apresentando um aumento de mais de 45%. Para o ano de 2030, acredita-se que esses valores alcancem um valor de 1,19 MWh/habitante. O que ainda é pouco se comparado com a média mundial [8].

Diante disso, a origem de energia elétrica brasileira consiste basicamente em hidroelétricas. Estas são responsáveis

pela geração de cerca de 70% de toda a energia elétrica brasileira, como pode-se observar na Figura 2.

Apenas no interior do Amazonas, são atendidos pelo sistema de distribuição em média e baixa tensão 389.005 (trezentos e oitenta e nove mil e cinco) consumidores. Entre os anos de 2004 e 2017, foram criados 20.537 km<sup>2</sup> (vinte mil, quinhentos e trinta e sete) redes de distribuição de energia no interior estado [9]. Essa expansão, em grande parte, se deu devido ao programa “Luz Para Todos”, o qual visa a universalização do serviço de acesso e uso de energia elétrica à população rural.

De 2010 a 2016, houve um crescimento de mais de 100 mil consumidores de energia em todo estado do Amazonas, embora não haja informações quanto ao aumento do corpo técnico de funcionários da concessionária local. Ressalta-se que uma vez que o foco do presente trabalho é realizado em uma rede de distribuição primária, não será aprofundado nenhum estudo em redes secundárias.

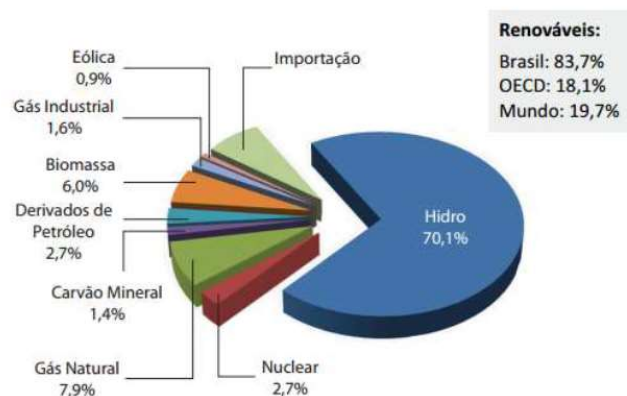


Figura 2 - Oferta interna de energia elétrica. Fonte: [7]

Contudo, mesmo que a oferta interna de energia elétrica esteja com aumento causando volatilidade no custo de energia elétrica e refletindo em um aumento de custos para o consumidor final e para as indústrias. O Brasil possui uma crescente demanda de energia, por ter passado recentemente por uma crise econômica o setor energético conseguiu se manter devido a estagnada no crescimento de demanda, porém o atual cenário ainda é considerado preocupante, recentemente, com a estabilização da economia e a volta em investimentos no setor industrial será necessário ampliar a capacidade instalada da matriz energética. De acordo com uma portaria divulgada no Diário Oficial da União pelo MME (2017), [10] eles “Reconhecem a necessidade de importação de energia elétrica da República Argentina e da República Oriental do Uruguai, de forma excepcional e temporária até 31 de dezembro de 2018, e de ampliar as possibilidades dessas importações”. Consequentemente isso acarreta uma dependência energética proveniente das Usinas Termoeletricas e dos países vizinhos para suportar a demanda de carga interna.

## 2.2 A Energia Elétrica no Estado do Amazonas

O Estado do Amazonas é o maior do Brasil a região possuigrande concentração de comunidades isoladas, sem acesso a energia elétrica. As comunidades da Região Norte se distribuem de forma dispersa, normalmente acompanhando a calha de rios que propiciamos habitantes possibilidade de locomoção e alimentação. Esta elevada dispersão e a baixa demanda por energia fazem com que o atendimento por extensão de rede se torne muito pouco atrativo, para as concessionárias de energia, e em muitos casos acaba por inviabilizar o atendimento, devido ao elevado custo da linha de transmissão para transportar a energia [11].

Somente o interior do Amazonas, possui, aproximadamente, quatrocentos mil consumidores de energia, residindo grande parte em áreas próximas à cobertura florestal [12]. Em casos de manutenções não-programadas, isto é, manutenções corretivas, o tempo de deslocamento da equipe técnica impacta negativamente no tempo de reparação da rede, uma vez que grande parte dos municípios não são interligados por rodovias.

Apenas no interior do Amazonas, são atendidos pelo sistema de distribuição em média e baixa tensão 389.005 (trezentos e oitenta e nove mil e cinco) consumidores [13]. Entre os anos de 2004 e 2017, foram criados 20.537 km<sup>2</sup> (vinte mil, quinhentos e trinta e sete) redes de distribuição de energia no interior estado. Essa expansão, em grande parte, se deu devido ao programa “Luz Para Todos”, o qual visa a universalização do serviço de acesso e uso de energia elétrica à população rural.

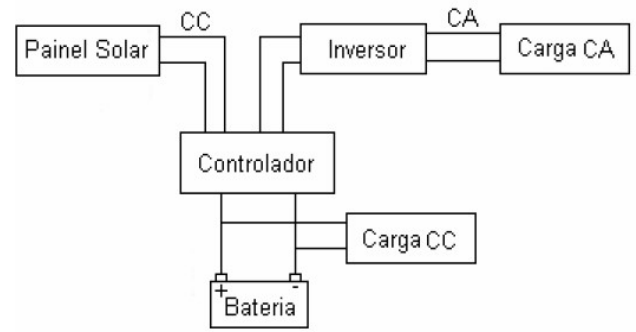
De 2010 a 2016, houve um crescimento de mais de 100 mil consumidores de energia em todo estado do Amazonas, embora não haja informações quanto ao aumento do corpo técnico de funcionários da concessionária local. Ressalta-se que uma vez que o foco do presente trabalho é realizado em uma rede de distribuição primária, não será aprofundado nenhum estudo em redes secundárias [14].

## 2.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em quatro categorias distintas: isolados, híbridos, conectados à rede e de bombeamento de água. O emprego de cada um dos sistemas depende diretamente da finalidade do uso final, da avaliação econômica, do nível de confiabilidade e de características específicas do projeto [15].

### 2.3.1 Sistemas isolados

Também conhecidos como autônomos, isto é, independentes da rede elétrica convencional, estes sistemas utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento é obtido através de baterias, as quais são associadas a um dispositivo de controle de carga e de descarga [16].

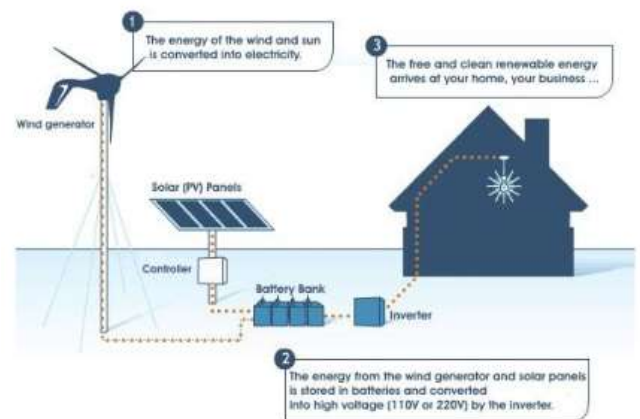


**Fluxograma 1 - Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico Isolado. Fonte: [16].**

O painel solar, através dos módulos fotovoltaicos, carrega as baterias durante os períodos de insolação. Estas baterias fornecem energia elétrica ao sistema. As cargas cc podem ser alimentadas diretamente pela bateria. O inversor será necessário para a alimentação das cargas de corrente alternada (ca). O controlador de carga é responsável pela vida útil da bateria, impedindo-a de carregar ou descarregar demasiadamente [17].

### 2.3.2 Sistemas híbridos

O sistema híbrido de energia fotovoltaica funciona com a aplicação dos dois sistemas. Embora não seja uma das alternativas mais comuns, esse sistema pode ser utilizado. Possui maior eficiência quando a energia estiver utilizando o sistema on-grid e um acúmulo de energia para casode eventualidade. A desvantagem seria demandar de vários equipamentos, no sistema off-gride no on-grid [18]. O custo seria bastante alto, porém em lugares que há uma dificuldade ou inexistência de uma fornecedora de energia, seria uma grande solução a longo prazo. Outra vantagem é que não necessariamente pode ser apenas com energia fotovoltaica, pode ser incluído outros tipos de geração de energia, como por exemplo, a energia eólica. A Figura 3 abaixo faz um demonstrativo de como funcionaria nosso sistema.



### Figura 3 - Sistema híbrido (energia eólica e fotovoltaica). Fonte: [19].

Os principais sistemas híbridos são: [20].

- Sistema eólico-diesel: constituído por um aerogerador associado a um sistema de geração diesel-elétrica. As unidades geradoras a diesel são os componentes principais, enquanto a sistema de geração eólica atua com o objetivo de economizar combustível. Esse tipo de sistema híbrido é considerado o precursor dos demais sistemas.

- Sistema fotovoltaico-diesel: utilizam-se as fontes de geração solar e diesel-elétrica para geração de eletricidade. Sua constituição é semelhante ao sistema eólico-diesel, porém possui a vantagem de ter menor custo de equipamentos.

- Sistema fotovoltaico-eólico-diesel: opera de maneira similar aos sistemas anteriores, porém tem a vantagem de utilizar duas fontes alternativas de produção de energia elétrica, reduzindo o consumo de óleo diesel.

- Sistema eólico-fotovoltaico: combina fontes eólica e fotovoltaica, sem empregar recursos não renováveis, diminuindo os impactos ambientais.

#### 2.4 Eletrificação Rural no Estado do Amazonas

Nas áreas rurais, em especial no interior do Estado do Amazonas, o desafio da eletrificação deve levar em conta certas características essenciais como: [21].

- Alta dispersão espacial, o que significa dificuldades quanto à logística, tempo e custo de transporte, acesso a serviços de comunicação e viabilidade dos projetos de eletrificação das concessionárias.

- Não integração à economia formal, dificultando a difusão de mercadorias e serviços intra e extra comunidade.

- Níveis baixos do indicador de Desenvolvimento Humano, onde se verifica a reduzida abrangência dos serviços públicos exemplo da falta de água tratada, saneamento, serviço de saúde, educação e abastecimento elétrico.

- A população rural de baixa renda do Brasil dispõe de pouco ou nenhum rendimento monetário, com nível de consumo de energia elétrica pouco expressivo, o que dificulta o retorno dos investimentos; fenômeno que ocorre de forma intensa nas áreas rurais do Estado.

- Elevado custo de manutenção para a concessionária, agravado pelas grandes distâncias a serem vencidas.

Quando se pensa a universalização da energia elétrica a partir da realidade dos ribeirinhos moradores do Amazonas há impactos nas suas condições de vida resultantes da operacionalização da política e implantação de programa de eletrificação rural como o “Luz para Todos”.

Programa Luz para Todos deve estar em consonância com as demais políticas da esfera federal e dos estados referentes à questão do desenvolvimento rural no âmbito econômico e social. Conforme o planejado, o segmento social rural teria a oportunidade de utilizar a energia elétrica como vetor de

desenvolvimento local no âmbito econômico, social e cultural. Com essa iniciativa, o governo esperava assegurar não só o suprimento de energia elétrica no campo, como também garantir a geração de renda através do aumento da produção agrícola, de modo a propiciar a inclusão social dos beneficiados e, assim, alavancar o desenvolvimento local [22].

O Programa Luz para Todos foi um forte impulsionador da eletrificação rural no estado. Da tabela 1, adaptada da ANEEL [23], verifica-se que no período de 2010 até agosto de 2015 a AME - Amazonas Distribuidora de Energia S/A, empresa integrante do grupo Eletrobras, responsável pela distribuição de energia elétrica em todo o estado do Amazonas eletrificou 69.187 UC's - Unidades Consumidoras.

| ANO               | NÚMERO DE LIGAÇÕES |
|-------------------|--------------------|
| 2010              | 19.763             |
| 2011              | 19.106             |
| 2012              | 10.029             |
| 2013              | 8.430              |
| 2014              | 8.245              |
| 2015 (até agosto) | 3.614              |
| <b>TOTAL</b>      | <b>69.187</b>      |

Tabela 1. Histórico de ligações na área rural. Fonte: [23]

Portanto, o número de UC's a serem eletrificadas no estado do Amazonas está oscilando entre 49.395 e 87.868. Registre-se que o parecer da ANEEL, constante da Nota Técnica No. 0003/2016 SRD/ANEEL, de 20/01/2016, foi de manter o ano de 2018 como o prazo final para a universalização na área de concessão da AME. Considerando a quantidade de 56.022 ligações informadas pelo MME e os custos por esta assumido para as ligações (R\$ 39.550,27 para sistemas de geração e R\$ 14.301,37 para rede convencional) o valor a ser investido para a universalização do serviço de energia elétrica no estado do Amazonas é da ordem de R\$ 1,17 bilhões [24].

#### 2.5 Aspectos econômicos das energias fotovoltaicas atuais

Os custos atuais da fotovoltaica e da energia térmica solar são quatro a cinco vezes maiores que os do carvão e do gás natural evita essas tecnologias de penetrar no mercado de utilidades em larga escala. Diante disso, muitas tecnologias solares são intermitentes ou geram energia apenas durante o dia. Deste modo, para uma larga escala, o custo do armazenamento de energia deve ser integrado ao LCOE. No entanto, avanços tecnológicos em eficiência e técnicas para diminuir os custos de manufatura continuam a reduzir os custos das tecnologias renováveis em direção à competitividade com as fontes de energia convencionais em geração de energia elétrica em larga escala [25].

Apesar das evoluções que essa tecnologia vem sofrendo recentemente, o seu custo é ainda elevado, o que dificulta a viabilidade dos projetos, face ao tempo de retorno do investimento ser bastante superior ao tempo de vida útil dos equipamentos envolvidos. Essa opção torna-se bastante atrativa quando vista como alternativa limpa e renovável de geração de energia para casos específicos e que não gere, ou pelo menos postergue, investimentos para ampliação da estrutura do setor elétrico [26].

Novak [27], cita que os aspectos econômicos envolvidos em sistemas solar podem ser os mais diversos. Um desses aspectos, é que a energia solar fotovoltaica é uma fonte de grande geração de empregos, onde são criados aproximadamente de 25 a 30 empregos diretos para cada megawatt instalado em um ano. Com a inserção da fonte solar em uma matriz, o sistema elétrico torna-se mais confiável, pois a matriz é diversificada, ficando menos dependente de uma só fonte e além de incluir uma fonte renovável na matriz. Existe um outro aspecto econômico muito importante, que é a postergação e ainda a redução de investimentos em sistemas de transmissão e distribuição de energia, pois a geração e o consumo ocorrem próximas, não sendo necessárias grandes linhas para conectá-las. O custo de manutenção e operação de sistemas solares também é relativamente baixo.

### 3 ESTUDO DE CASO

Este trabalho possui como objetivo um estudo de caso de implantação de instalação de placas solares como fonte de soluções energética em casas unifamiliares, que estará conectado a rede de distribuição de energia da Amazonas Energia, que fornece o excedente à rede elétrica da concessionária sempre que a demanda da planta for menor que a energia gerada. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico será utilizada a média de consumo de energia elétrica de uma residência ribeirinha do baixo Amazonas, onde vive uma família de classe média com de 2 (dois) moradores.

| Mês       | Consumo (kWh) |
|-----------|---------------|
| Agosto    | 236,0         |
| Setembro  | 244,0         |
| Outubro   | 255,0         |
| Novembro  | 248,0         |
| Dezembro  | 238,0         |
| Janeiro   | 196,0         |
| Fevereiro | 219,0         |
| Março     | 281,0         |
| Abril     | 229,0         |
| Maio      | 240,0         |
| Junho     | 276,0         |
| Julho     | 283,0         |
| Agosto    | 413,0         |
| Média     | 258,3         |

Tabela 2. Consumo Mensal. Fonte: Autor Próprio, 2021

Com os dados da insolação e com o potencial de geração dos painéis solares, é possível determinar a energia gerada pelos painéis, de tal forma analisar o consumo diário e a compensação de energia. Para tanto, é indispensável saber quanto de energia será

produzido, isso porque, no sistema conectado à rede, pode-se planejar um sistema que supre parcialmente a demanda.

Para isso, pode-se estimar a melhor localização para instalação dos painéis, dado que a residência já está construída, foi necessária uma análise para chegar ao posicionamento ideal dos painéis, o qual deverá apresentar inclinação de acordo com a latitude da residência. Posteriormente, determinou-se as características do painel utilizado, do inversor, onde será feita a previsão da energia produzida para análise do investimento e retorno.

#### 3.1 Dimensionamento do sistema Fotovoltaico

Para calcular a potência necessária ao sistema para suprir a necessidade energética da residência e com isto verificar as características dos equipamentos necessários, foi utilizada a equação.

$$Pot = \left( \frac{Eg}{HSP} \right) / Ef \quad (1)$$

Onde:

Pot = Potência instalada (Wp)

Eg = Energia gerada diária (Wh)

HSP = Horas de Sol Pico no plano inclinado (kWh/m<sup>2</sup>/dia)

Ef = Eficiência dos módulos Fotovoltaicos

Resultando em: Pot = (((350 x 1000) / 30) / 4,36) / 0,84 = 3185 Wp ou 3,18 kWp.

Para encontrar o valor de HSP é obtido através da irradiação solar global no plano inclinado, onde clacula-se por meio do *software* PV\*Sol® resultando em 4,36 horas, um pouco menor que a irradiação global horizontal que é de 4,41 horas.

#### 3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Para o cálculo do dimensionamento do gerador fotovoltaico, foi observado os modelos comercializados atualmente. Os critérios estabelecidos para a escolha do módulo foram: potência, eficiência e preço, onde o maior custo benefício foi obtido pelo modelo fabricado pela Yingli Solar. Certificados e garantia também são fatores decisivos na escolha. Os painéis fotovoltaicos da Yingli possuem o selo do INMETRO e PROCEL, além de certificados para as principais normas europeias e americanas. A garantia apresentada pelo fabricante é de 10 anos para defeitos de fabricação e 25 anos de produção mínima de energia.

Observa-se na Tabela 3 alguns modelos disponíveis no mercado brasileiro e as principais informações comerciais.

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

Tabela 3. Modelos de módulos fotovoltaicos comercializados no Brasil. Fonte: Autor Próprio, 2021

Os módulos fotovoltaicos escolhidos que irão compor os arranjos dos painéis deste estudo foram os da marca CanadianSolar, modelo Yingli Solar – YL275D-30b, com potência nominal de 275 fabricados em silício policristalino. As especificações mais importantes a serem abordadas neste tópico estão disponíveis no Quadro 01.

A placa solar escolhida seguiu os seguintes parâmetros.

| Parâmetros Estruturais:  |  |
|--|--|
| Tamanho  | 1.856 mm x 1.070 mm                      |
| Peso   | 56 Kg                                    |
| Células  | 54 cél. mono – cristalinas, 156 x 156 mm |
| Transparência (aprox.)   | 29 %                                     |
| Características Elétricas (tolerância: +/- 5%):<br>(STC: 1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1,5 e temp. da cél. de 25°C) |  |
| Potência Nominal (P <sub>máx</sub> )   | 219 Wp                                   |
| Corrente MPP (I <sub>mpp</sub> )   | 8,07 A                                   |
| Tensão MPP (V <sub>mpp</sub> )   | 27,21 V                                  |
| Corrente de curto circuito (I <sub>sc</sub> )  | 8,56 A                                   |
| Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )   | 34,34 V                                  |
| Eficiência (10 anos)   | 90 %                                     |
| Coeficientes de temperatura das células:   |  |
| Coeficiente de potência nominal  | -0,42 % / K                              |
| Coeficiente de corrente de curto circuito  | +0,05 % / K                              |
| Coeficiente de tensão de circuito aberto   | -0,33 % / K                              |

Tabela 4. Parâmetros do painel fotovoltaico. Fonte: [28]

### 3.3 Inversor Solar

Para o dimensionamento do inversor, foi utilizado o critério da potência, que, segundo a norma NBR 15149 [29], os inversores devem estar na faixa de potência de 80% -120% da potência nominal dos módulos fotovoltaicos, ou seja, para o nosso sistema a potência nominal é de 143,23 kW, o sistema foi dividido em 5 subistemas e observando as linhas de inversores comerciais do fabricante Fronius, foi selecionado, para cada um, o modelo Yingli Solar, que apresenta uma potência máxima de 275 Wp, além de ser recomendado para módulos de filmes finos.

Tomando como base a potência elétrica nominal do conjunto dos módulos FV e a do inversor, foi verificado, a princípio, que o arranjo de cinco inversores atende o sistema FV, distribuindo de forma balanceada 28,646 kW por inversor, porém, para definir a quantidade de inversores de forma correta, é necessário avaliar outros parâmetros como a tensão de circuito aberto e a corrente máxima permitida, que será avaliado posteriormente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após todos os cálculos e análises necessários para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, tem-se um projeto com potência mínima de 3,76 kWp capaz de suprir a demanda de energia dos moradores da residência onde este será instalado. Ao todo foram necessários 12 módulos fotovoltaicos que foram dispostos em duas fileiras em paralelo com 6 módulos ligados em série, cada. Além disso, é importante ressaltar a área necessária para disposição dos painéis, de 23,4 m<sup>2</sup>, que receberá o sistema já incluído no projeto arquitetônico do telhado. O esquema de como

ficará à disposição dos painéis na instalação pode ser observada na figura 4.

A energia que será produzida por cada módulo depende de fatores como a área e eficiência de cada um, além da incidência solar média do local. Módulos fotovoltaicos têm em média uma eficiência entre 6% e 20%.

Para se chegar no valor da capacidade de geração de energia, basta multiplicar esses valores, conforme equação:

$$E_M = A \cdot \eta \cdot E_s \quad (2)$$

$$E_M = 1,95 \cdot 0,1697 \cdot 5,42 \cong 1,79 \text{ kWh/dia}$$

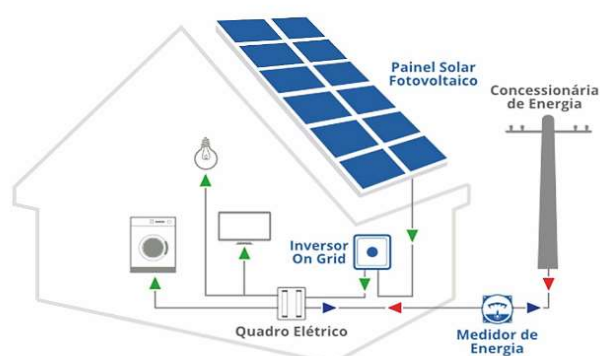


Figura 4. Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede (adaptado). Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2021

Com o resultado da equação (2) e o valor de potência nominal de cada módulo é possível estimar a produção anual do sistema e a potência total instalada, respectivamente. Para a geração anual, multiplica-se  $E_M$  por 365 (quantidade de dias no ano) e pela quantidade de módulos. Para estimar a capacidade do sistema, basta multiplicar a potência de cada módulo por 12 (quantidade de módulos instalados). Por fim, a partir do percentual de perdas do sistema calculado é possível obter resultados de geração de energia mais próximos da realidade, conforme quadro 2.

|   | Sem Perdas | Com Perdas |
|---|------------|------------|
| Energia Produzida por Um Módulo (kWh/dia) | 1,79       | 1,45       |
| Potência Instalada (kW)                   | 3,96       | 3,20       |
| Geração Anual (kWh)                       | 7.834,07   | 6.337,76   |

Tabela 5. Eficiência da geração de energia do sistema fotovoltaico. Fonte: Autor próprio, 2021

A capacidade de geração anual de energia do sistema fotovoltaico é, portanto, igual a 6.337,76 kWh, considerando-se as perdas.

Para determinar a viabilidade econômica do projeto é calculado tempo de retorno do investimento, onde são comparados os valores de investidos e a economia gerada ao longo do tempo. Como resultado verifica-se se o projeto apresenta lucro ao investidor e em quanto tempo esse lucro é obtido. No projeto

proposto são considerados os custos do inversor e dos módulos em comparação com a economia na fatura de energia elétrica junto à distribuidora. Também é estimado um custo de instalação do sistema como disjuntores, caixa de distribuição, cabos, entre outros.

A Tabela 3 apresenta esses valores.

| Descrição                                       | Valor (R\$) |
|---|-------------|
| Inversor EcoSolys ecoS-2000                     | 3.328,47    |
| 6 módulos fotovoltaicos Yingli Solar YL275D-30b | 3.392,64    |
| Custo estimado de instalação                    | 1.000,00    |
| TOTAL   | 7.721,11    |

**Tabela 6. Custos do projeto. Fonte: Autor Próprio, 2021**

De acordo com a relação de geração e consumo do sistema fotovoltaico, constatou-se que a energia solar gerada irá suprir 100% do consumo da residência. Dessa forma, o custo mensal de energia da residência será referente à tarifa de disponibilidade cobrada pela distribuidora de acordo com o tipo de conexão. A Tabela 7 apresenta o valor da tarifa de disponibilidade em kWh/mês e R\$/mês, considerando a tarifa de energia atual igual a R\$ 0,466536/kWh.

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

**Tabela 7. Valor de consumo mínimo em função do padrão de conexão. Fonte: Autor Próprio, 2021**

Constata-se então que a vida útil de um sistema fotovoltaico conectado à rede é estimada entre trinta e quarenta anos. O modelo de painel fotovoltaico escolhido no projeto tem garantia de vinte e cinco anos para produção de pelo menos 80% da potência nominal e o inversor tem garantia de três anos sendo o tempo de vida útil estimado em 10 anos, podendo chegar a 15 ou mais, dependendo das condições do ambiente.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste estudo possibilitou a compreensão das diferentes etapas do dimensionamento e implantação de um sistema fotovoltaico em uma residência no interior do Amazonas. Foi possível avaliar e identificar a influência dos diversos elementos existentes na composição de uma instalação fotovoltaica dando ênfase à análise econômico-financeira, que possibilita avaliar a implantação do sistema como um investimento.

Notou-se que para a implementação de um sistema fotovoltaico obter êxito em suas captações solares, deverão seguir cálculos de posicionamento dos painéis, dimensionamentos de projeto de acordo com a necessidade a fim de baratear os custos com os equipamentos necessários para o funcionamento do sistema.

Dessa forma, vemos que a cada dia o tempo de retorno dos investimentos com sistemas fotovoltaicos diminuem, pois, o custo, mesmo que de forma lenta, vem diminuindo e os incentivos governamentais para a utilização de energias renováveis estão crescendo, tornando o acesso mais fácil para implantação dos mesmos.

Ressalta-se que a universalização dos serviços de energia elétrica é um assunto complexo, o que abre espaço para futuros estudos que aprimorem a análise iniciada neste trabalho. Como temas para futuras pesquisas podem ser nomeados: a análise do impacto tarifário ocasionado pela remuneração dos investimentos e pelo aumento dos custos de operação e manutenção em determinadas regiões do Brasil com maiores demandas relativas de domicílios para universalizar; medidas para incentivar o atendimento nas áreas isoladas; metodologia de cálculo do limite de investimento da distribuidora para consumidores não abrangidos pela universalização; incorporação dos investimentos em universalização e da receita decorrente dos novos consumidores baixa renda nos procedimentos de revisão e de reajuste tarifário.

## 6 REFERÊNCIAS

- [1]. LEE-MEDDI, Jeocaz. **O mundo e a crise do petróleo de 1973.2009.** Disponível em: <<http://jeocaz.wordpress.com/2009/05/28/o-mundo-e-a-crise-do-petroleo-de-1973/>>. Acesso em: 10 de Nov 2020.
- [2]. RÜTHER, R. (2018). **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil.** Editora UFSC/LABSOLAR.
- [3]. BRINKWORTH, Don. **Manual de energia fotovoltaica.** Jan 2004. Disponível em: <<http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em: 15 de Nov 2020.
- [4]. FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2013. 243 p.
- [5]. TOLMASQUIM, Maurício T. et al. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil.** Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2014.
- [6]. PEREIRA, A. C.; **Geração de Energia para Condomínio Utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo** – Estudo de Caso em Edifício Residencial com Seis Pavimentos, 2018. 46f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.
- [7]. MATEUS, Anna Geddara de Cerqueira. **Análise de sistema híbrido solar-eólico de geração de energia on grid em assentamento rural.** Natal, 2019.

- [8]. SILVA, Aline Christina de Melo Ramos da. **Correlações de eficiência energética em função da potência de termelétricas a biomassa**. Monografia. Brasília, 2015.
- [9]. MME - **Diário Oficial da União, 20 de setembro de 2017- Portaria do Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/161272318/dou-secao-1-20-09-2017-pg-35?ref=goto>>. Acesso em: 15 de Nov 2020.
- [10]. VILLAÇA, Andrea Lopes. **A implantação de mini-redes de energia solar em comunidades isoladas do Amazonas**. Lavras, Minas Gerais. 2018.
- [11]. ELETROBRÁS AM ENERGIA. **Nota Técnica de Serviço 002/17 - Departamento de Serviços de Campo do Interior (DIS) – Manaus, 2017**
- [12]. ELETROBRÁS AM ENERGIA. **Parecer Técnico 005/18 - Departamento de Distribuição – Manaus, 2018**.
- [13]. CORRÊA, Ana Paula; BORGES, Juliana Paulina; NOGUEIRA, Luiz Roberto. **Rede de Distribuição Subterrânea de Energia Elétrica – Brasil, 2019**.
- [14]. FORTES, M.Z.; BARBOSA, M.V.; NASCIMENTO, R.C.; - **Revista Brasileira de Energia**, -Brasil, 2010.
- [15]. KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Bariori de Oliveira; ROBBIA, Ernesto João. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – São Paulo, 2010**.
- [16]. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica**. Resolução ANEEL N° 414, Brasil, 2010.
- [17]. ELETROPAULO. **Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição – instruções Gerais**. São Paulo: 2000. Disponível em: < <http://www.eletropaulo.com.br>>. Acesso em: 15 set. 2020.
- [18]. DURANTE, G. **Estudo de Migração de Consumidor Especial para o Mercado Livre de Energia Elétrica**. 2016. 56f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- [19]. VARELLA, Fabiana Karla de Oliveira Martins, et al. **Energia Solar fotovoltaica no Brasil: Incentivos Regulatórios**. Revista Brasileira de Energia. Vol 14, nº1. p. 9-22, 1ºsem. 2018.
- [20]. LIMA, Dênia Amélia Vilaça. **Análise energética de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico**. Monografia. Ouro Preto, 2017.
- [21]. BASTOS, Robson de. **Implantação e sustentabilidade do programa luz para todos no estado do Amazonas**. Dissertação. São Paulo, 2014.
- [22]. MME. **Ministério de Minas e Energia**. In: Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 20 dez 2020.
- [23]. ANEEL. **Nota Técnica nº0003/2016–SRD/ANEEL**. Proposta de abertura de Audiência Pública, com vistas a colher subsídios e informações adicionais para revisão do Plano de Universalização da área rural da Amazonas Distribuidora de Energia, Brasília: 2016. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2016/009/documento/nota\\_tecnica\\_0003\\_henrique\\_eletrobras\\_amazonas\\_energia.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2016/009/documento/nota_tecnica_0003_henrique_eletrobras_amazonas_energia.pdf)>. Acesso em: 20 dez 2020.
- [24]. ANEEL. **Resolução Normativa No. 488/2012**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012488.pdf>>. 2012
- [25]. S. GINLEY, D., CAHEN, D., **Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability**. 1 ed. New York, Cambridge University Press, 2012.
- [26]. PEREIRA, Nilson Leite. **Energia solar uma perspectiva de sustentabilidade e viabilidade econômica**. Cuiabá, 2016.
- [27]. NOVAK, Camila. **Proposta de avaliação do desempenho de plantas fotovoltaicas conectadas à rede elétrica em baixa tensão por um modelo multicriterial**. Campus Florianópolis departamento acadêmico de eletrotécnica curso de graduação de engenharia elétrica. 2018.
- [28]. MEREI, G., Moshövel, J., Magnor, D., Sauer, D. U. **"Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications"**. Applied Energy, vol 168, pp 171–178, 2016.
- [29]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR – 15149 - Sistemas de subdutos de polietileno para telecomunicações - Verificação da resistência à tração de subdutos corrugados**. Rio de Janeiro, 2004.