

UNIVERSIDADE TIRADENTES

ÍCARO DANTAS DE OLIVEIRA
JHUAN PABLO NEVES
SAUL RODRIGUES VIEIRA

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
RESIDENCIAL LOCALIZADO NO BAIRRO PONTO NOVO EM
ARACAJU/SE**

ARACAJU
2018

ÍCARO DANTAS DE OLIVEIRA
JHUAN PABLO NEVES
SAUL RODRIGUES VIEIRA

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
RESIDENCIAL LOCALIZADO NO BAIRRO PONTO NOVO EM
ARACAJU/SE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade
Tiradentes como um dos pré-
requisitos para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof^a DR^a. Nayára Bezerra Carvalho

ARACAJU
2018

ÍCARO DANTAS DE OLIVEIRA
JHUAN PABLO NEVES
SAUL RODRIGUES VIEIRA

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
RESIDENCIAL LOCALIZADO NO BAIRRO PONTO NOVO EM
ARACAJU/SE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade
Tiradentes como um dos pré-
requisitos para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____/____/____.

Banca examinadora:

Dr. Nayára Bezerra Carvalho
Universidade Tiradentes

Msc. Ingrid Cavalcanti Feitosa
Universidade Tiradentes

Msc. Renata Campos Escariz
Universidade Tiradentes

RESUMO

A sociedade vem passando por diversas crises energéticas, problemas de poluição e degradação do meio ambiente. Tendo em vista esse cenário, novos métodos de obtenção de energias vêm se sobressaindo, dentre eles a utilização de energias limpas, tendo como foco a energia fotovoltaica. O estudo permitiu analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico para abastecer a demanda de uma residência de padrão médio através do dimensionamento seguindo as normas da ANEEL 482 e ABNT 16274/2014, orçamento e payback simples e capitalizado. Os resultados demonstram que o projeto residencial utilizou o sistema ligado à rede ou ON-GRID, e de acordo com o consumo foi obtido um dimensionamento de 8 painéis fotovoltaicos de silício Policristalino, para atender a demanda total da casa, com um custo total instalado de R\$ 14.084,00 sendo obtido a partir desses dados um tempo de retorno de 8 anos.

Palavras-chave: Energia solar, Viabilidade econômica, Residência.

ABSTRACT

Society is going through several energy crises, pollution problems and environment degradation. This scenario leads to an emphasizing on new methods for obtaining electricity (and other types of energies), among them the use of clean energies like the photovoltaic energy. The study allowed us to analyze the economic viability of a photovoltaic system to supply the demand of a medium-standard residence in according to the design to the norms of "ANEEL" 482 and "ABNT" 16274/2014. Simple budget and capitalized payback. The results demonstrate that the residential project used the grid-connected system or ON-GRID, and according to the consumption was obtained a sizing of 8 monocrystalline silicon photovoltaic panels to meet the total demand of the house, with a total installed cost of R \$ 14,084.00. The ROI (return of investment) obtained from these data, was stipulated in a time of 8 years.

Keywords: Solar energy, Economic viability, residence.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Variabilidade de fotoperíodo para diferentes latitudes.	15
Figura 2: Irradiação média anual no Brasil.	16
Figura 3: (a) Primeira bateria solar da Bell em Americus, Geórgia; (b) Painel de silício policristalino.	17
Figura 4: Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em países no mundo conectados ou não à rede elétrica, em MW (1992–2007).	18
Figura 5: Primeira instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação urbana e ligada à rede elétrica no prédio da universidade federal de Santa Catarina.	21
Figura 6: Usina fotovoltaica de Pirapora (MG).	23
Figura 7: Célula fotovoltaica de silício cristalino.	25
Figura 8: Corte transversal de uma célula fotovoltaica.	26
Figura 9: Sistema isolado em mini rede.	28
Figura 10: Modelo geral do sistema fotovoltaico isolado.	28
Figura 11: Estádio arena Pernambuco e sua usina solar.	30
Figura 12: Placas solares do restaurante lampião em piranhas – AL.	31
Figura 13: Sistema fotovoltaico do tribunal do estado de Sergipe.	32
Figura 14: Mapa de ventos do Brasil.	33
Figura 15: Estrutura de bandas de energia dos materiais isolantes, semicondutores e condutores.	35
Figura 16: Módulos fotovoltaico 24 V, sistema autônomo.	37
Figura 17: Módulos associados em série.	38
Figura 18: Módulos associados em paralelo.	38
Figura 19: Sistema conectado à rede.	39

Figura 20: Tarifas residenciais x custo energia fotovoltaica sem bateria em (R\$/kWh).....	42
Figura 21: Custo da energia fotovoltaica com bateria e sem sensível a taxa de desconto.....	43
Figura 22: Condomínio Moradas das Mangueiras.....	50
Figura 23: Cobertura da residência onde será locada as placas solares.	51
Figura 24: Inversor Fronius Galvo 2.5-1 (2,5kW).	59
Figura 25: Suporte para 4 módulos solares.....	62
Figura 26: Stringbox.	63

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW).....	19
Tabela 2: Eg de alguns materiais semicondutores na banda proibida à temperatura 300 K.....	36
Tabela 3: Modalidade tarifária convencional – Baixa tensão.....	46
Tabela 4: Modalidade tarifária branca - Baixa tensão.....	47
Tabela 5: Consumo médio anual e custo médio anual da residência.....	52
Tabela 6: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia), Aracaju-SE.	54
Tabela 7: Consumo médio anual e custo médio anual da residência.....	58
Tabela 8: Especificações da placa CS6k-275P.	58
Tabela 9: Dados de entrada e saída do inversor.....	60
Tabela 10: Dados de entrada e saída do inversor.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABENS – Associação Brasileira de Energia Solar

Ah – Ampere/Hora

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

Ca – Corrente Alternada

CB – Solar Centro Brasileiro para Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica

Cc – Corrente Continua

CdTe – Telureto de Cádmiio

Ceal – Companhia Elétrica de Alagoas

Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Celesc – Centrais Elétricas de Santa Catarina

Cresesb – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de Silva Brito

CTA – Centro Tecnológico de Aeronáutica

CuInGaSe₂ – Disseleneto de cobre, Gálio e Índio

CuInSe₂ – Disseleneto de Cobre e Índio

Eg – Gap

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

eV – Elétron - Volt

GaAs – Arseneto de Galio

GD – Geração Distribuída

INT – Instituto Nacional de Tecnologia

kWh – Quilowatt - Hora

kWp – Quilowatt - Pico

kW – Quilowatt

MW – Megawatt

MCTI – Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovação

MWp – Megawatt - Pico

MME– Ministério de Minas e Energia

MPP – Ponto Máximo de Potência

Si – Silício

SFCR – Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Energia Solar Fotovoltaica	14
3.2. Energia Solar Fotovoltaica no Mundo e no Brasil	16
3.2.1. Breve histórico da energia solar no Brasil	19
3.3. Efeito Fotovoltaico.....	23
3.4. Sistemas Fotovoltaicos	27
3.4.1. Sistemas isolados.....	27
3.4.2. Sistemas interligados à rede	29
3.4.3. Sistemas híbridos	32
3.5. Célula Fotovoltaica.....	33
3.5.1. Princípio de funcionamento da célula voltaica.....	34
3.6. Módulos fotovoltaicos.....	36
3.7. Inversores	39
3.8. Comparação Entre a Geração de energia Elétrica Através de Módulos Solares Fotovoltaicos e Outras Fontes	41
3.9. Normas e Legislação.....	43
3.9.1. Tarifas e seguros.....	45
3.9.2. Projetos governamentais no Brasil	47

4. ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	49
4.1. Avaliação do espaço físico	50
4.2. Consumo de Energia da Unidade Residencial	52
4.3. Disponibilidade Solar na Cidade	52
4.4. Cálculo para Determinação da Potência Total e Quantidade de Painéis Necessários	55
4.5. Escolha do inversor:	59
4.6. Condutores	61
4.7. Suporte dos Módulos	61
4.8. Stringbox	62
4.9. Mão de Obra	63
5. VIABILIDADE ECONÔMICA	63
5.1. Valor do investimento	63
5.2. Payback	64
5.2.1. Payback simples	64
5.2.2. Payback capitalizado	65
5.3. Garantia e Vida Útil do Sistema	67
6. CONCLUSÃO	68
7. REFERÊNCIAS	69
ANEXO	73
ANEXO A – Datasheet Inversor – Fronius Galvo	73

1. INTRODUÇÃO

A questão energética vem há algum tempo sendo assunto de alta prioridade no contexto global, devido a sua escassez como também pela poluição ao meio ambiente. É nesse contexto que surgem as fontes renováveis como fornecedoras de energia, que vem sendo bastante utilizadas como substitutas dos combustíveis fósseis.

Entre as fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica é uma das mais abundantes em toda a superfície terrestre e é inesgotável na escala de tempo humano. Por esta razão é uma das alternativas mais promissoras para a composição de uma nova matriz energética mundial e seu aproveitamento tem se consolidado em muitos países. É esperado que até 2040 esta seja a fonte renovável de energia mais importante e significativa para o planeta (BRITO et al., 2011).

A utilização de recursos naturais para obtenção de energia no Brasil é bem elevada, no entanto a energia solar ainda é bem restrita, apenas 0,01% da matriz energética do país utiliza radiação solar. A falta de informação entre os consumidores brasileiros faz com que esse sistema caia em desuso no país, o que não deveria acontecer devido às condições altamente propícias a esse sistema, já que o país está localizado numa zona de alta intensidade de radiação solar (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

O presente trabalho visa analisar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência do condomínio morada das mangueiras localizado na cidade de Aracaju, com objetivo de fornecer energia elétrica para o funcionamento da residência através do dimensionamento do sistema fotovoltaico, projeto, orçamento e payback.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Dimensionar um sistema fotovoltaico que atenda uma demanda residencial de padrão médio localizada no condomínio Morada das Mangueiras, bairro Ponto Novo, em Aracaju/SE.

2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar o levantamento bibliográfico acerca do tema;
- Analisar as legislações e normas vigentes para implantação de um sistema fotovoltaico;
- Analisar a demanda energética da residência escolhida;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico On Grid;
- Desenvolver e orçar o projeto do sistema fotovoltaico;
- Avaliar a rentabilidade econômica do investimento através do método do payback.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Energia Solar Fotovoltaica

Energia fotovoltaica é a geração de energia elétrica através da utilização da energia proveniente das reações nucleares de fusão que acontecem no núcleo solar. Esse fenômeno foi observado primeiramente pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, sendo a célula fotovoltaica o dispositivo fundamental do sistema de conversão de energia. Essa célula é composta por um material semicondutor que tem a capacidade de absorver a energia que ao receber radiação solar excita os elétrons da placa, colocando-os em movimento gerando assim eletricidade (ZILLES *et al.*, 2012).

A atmosfera terrestre recebe $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia proveniente do sol ao longo do ano. Trata-se de um valor razoavelmente alto, pois corresponde à 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Por ser uma inesgotável fonte energética, o aproveitamento da energia gerada pelo Sol, a partir de sistemas de captação e conversão, atualmente é a forma mais promissora para sustentar toda a demanda mundial (PRADO *et al.*, 2004).

Segundo Pereira *et al.* (2017), o Sol é um astro de tamanho médio que possui uma energia de irradiação gerada a partir de reações de fusão nuclear dos átomos de hidrogênio (representa em torno de 75% da composição) para formação de Hélio (representa em torno de 25% da composição). Em sua superfície a temperatura efetiva alcança níveis próximos de 5778 K (5505 °C).

Conforme Pereira *et al.* (2017), o Brasil, por estar localizado próximo a linha do Equador, região tropical, possui uma maior incidência de radiação solar e, por consequência, uma maior frequência da mesma.

O país recebe radiação quase em todos os períodos do ano, fato que facilita bastante a utilização da tecnologia fotovoltaica para abastecimento elétrico. A Figura 1 (a seguir) mostra a frequência de radiação mensal que os locais próximos a linha do Equador recebem durante o ano inteiro.

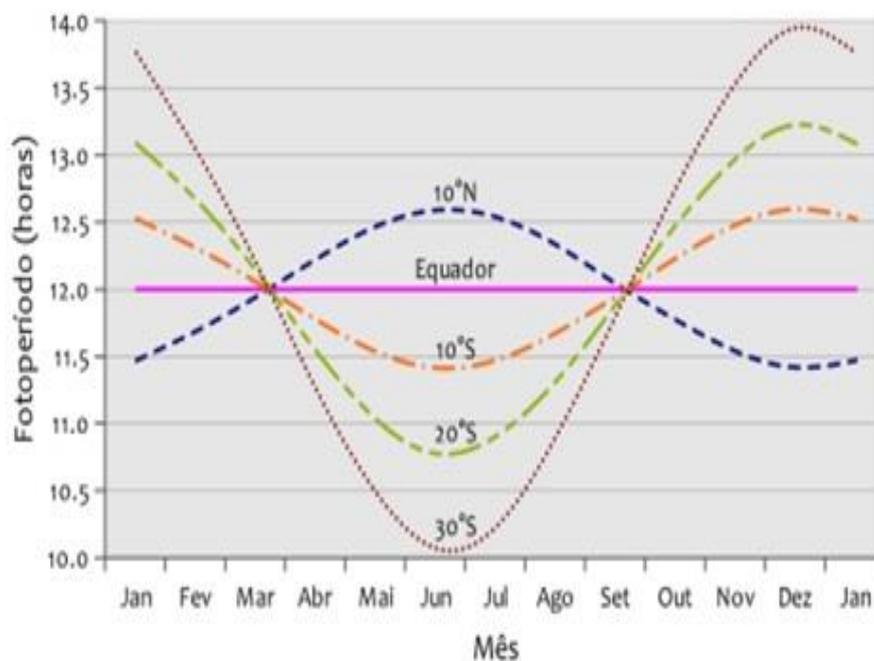


Figura 1: Variabilidade de fotoperíodo para diferentes latitudes.

Fonte: Pereira *et al.* (2017).

De acordo com a Figura 2 (abaixo), o Brasil possui um alto potencial para geração de energia solar. Contudo, de acordo com o MME (Ministério de Minas e Energia) no (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017) a geração por fontes alternativas correspondeu à apenas 4% da produção mundial no ano de 2014, índice muito baixo, quando comparado a países europeus como Alemanha, que deteve cerca de 10,2%.

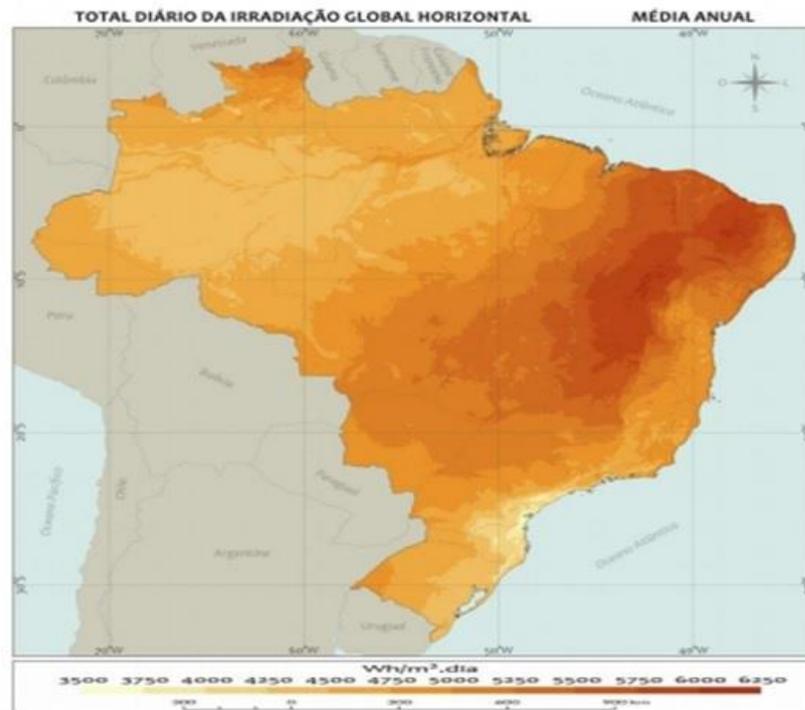


Figura 2: Irradiação média anual no Brasil.

Fonte: Pereira *et al.* (2017).

3.2. Energia Solar Fotovoltaica no Mundo e no Brasil

A utilização da energia proveniente do Sol está presente em meio a civilização desde o século VII a.C, uma vez que há relatos históricos que narram os humanos fazendo uso da radiação solar para ascender fogueiras através de materiais de vidro para focalizar a luz. Com o passar do tempo as técnicas para obtenção de energia do sol foram sendo aprimoradas até chegar nos dias atuais (SOUZA, 2016).

Um ano após a aparição da primeira célula solar, apresentada ao National Academy of Science, em Washington, no ano de 1954, a placa de silício surgiu como fonte de alimentação de uma rede telefônica em Americus, na Geórgia (DA SILVA *et al.*, 2004). As Figuras 3a e 3b mostram a evolução desde a primeira placa de silício até a placa utilizada atualmente.

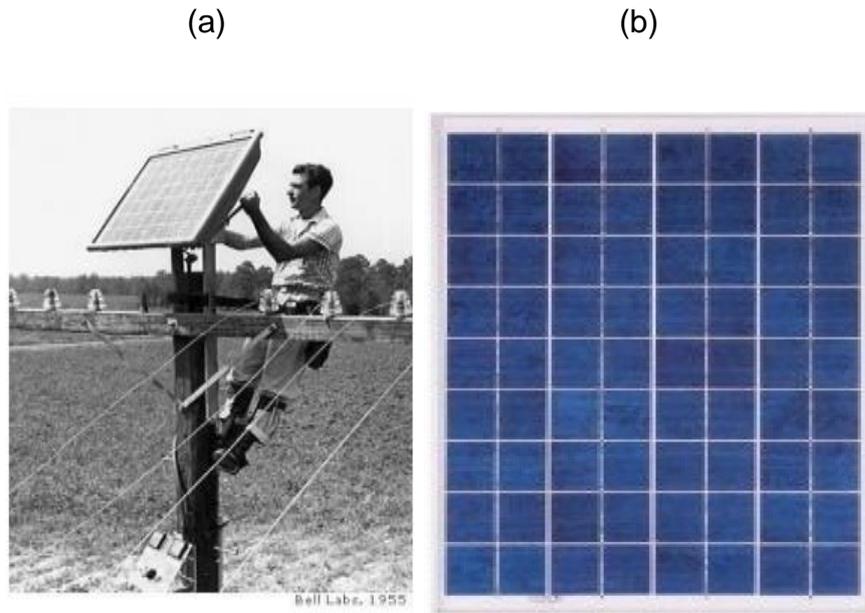


Figura 3: (a) Primeira bateria solar da Bell em Americus, Geórgia; (b) Painel de silício policristalino.

Fonte: (a) Universidade Técnica de Lisboa (2014); (b) : Stern (2017).

A crise do petróleo, em 1973, gerada a partir de brigas políticas entre países europeus e países árabes alavancou os interesses pela utilização e aplicação da energia solar de forma generalizada, porém o valor de investimento inicial ainda era muito alto devido aos estudos terem sido feitos para utilização espacial. Assim, o custo excessivo fez com que as empresas mudassem o seu foco de pesquisa e passassem a focar em desenvolver sistemas que fossem convenientes a utilização terrestre (PINHO e GALDINO, 2014).

Pinho e Galdino (2014) citam ainda que no ano de 1976 a indústria fotovoltaica já ultrapassava a marca de 1MWp/ano e, no que tange a tecnologia era liderada pelos os Estados Unidos. Posteriormente, países como Alemanha e China obtiveram políticas favoráveis no investimento da tecnologia fotovoltaica devido a assinatura do protocolo de Kyoto em 11 de dezembro de 1997.

Durante a década de 90, o mundo experimentou um grande crescimento dos sistemas fotovoltaicos: houve um salto de 110 MWp em 1993 para 7.841 MWp

em 2007 (Figura 4). Atualmente, 93% da capacidade instalada concentra-se na Alemanha, Japão, EUA e Espanha. (JANUZZI *et al.*, 2009).

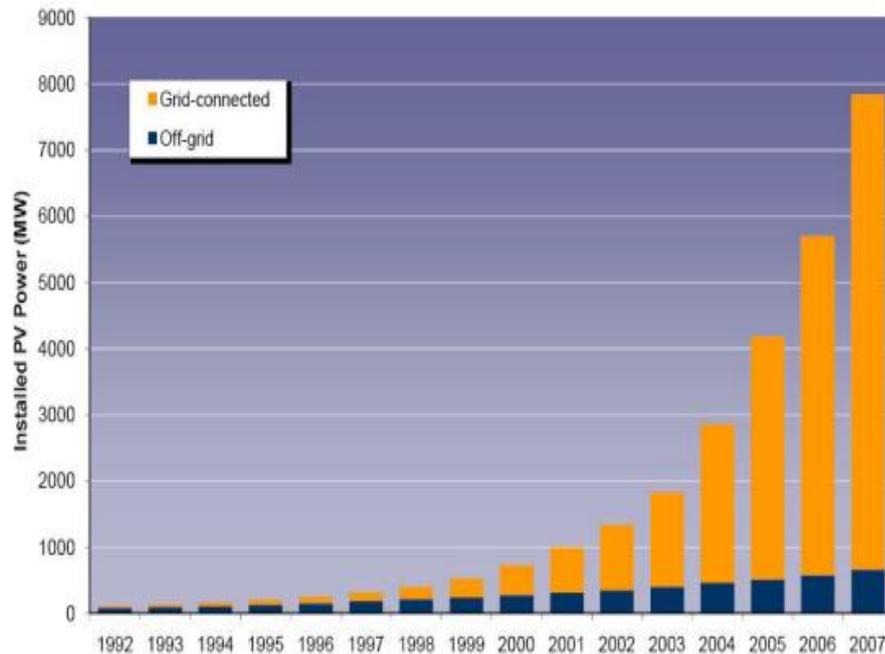


Figura 4: Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em países no mundo conectados ou não à rede elétrica, em MW (1992–2007).

Fonte: IEA – PVPS (2008), apud Januzzi *et al.* (2009)

Os avanços da indústria fotovoltaica e seu crescimento vertiginoso a partir da década de 90 devem-se a políticas públicas implementadas por vários países. Januzzi *et al.* (2009) ressalta que de acordo com a plataforma tecnológica fotovoltaica europeia (European Union, 2007), a energia gerada através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede deverá se tornar competitiva na Europa com a tarifa praticada para o consumidor entre 2010 e 2020 e com os custos médios de geração depois de 2030.

3.2.1. Breve histórico da energia solar no Brasil

O Brasil é um país que pela localização do seu território recebe uma grande quantidade de irradiação solar, contudo não é fornecido o devido incentivo a esse privilegio geográfico quando comparado aos países europeus. Ocorre que, nos últimos anos, o cenário de energia fotovoltaica brasileiro vem crescendo significativamente. (SOUZA, 2016).

Pode-se notar na Tabela 1 que a geração de energia elétrica através da energia solar ainda não possui valores tão significativos quando comparado a hidrelétricas e termelétricas. Mas, desde 2012 sua capacidade instalada vem aumentando a cada ano.

Tabela 1: Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW).

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ 2016/2015	Part. % (2016)
Usinas Hidrelétricas	79956	81132	84095	86366	91499	5,9	60,9
Usinas Termelétricas	32778	36528	37827	39564	41275	4,3	27,5
PCH	4101	4620	4790	4886	4941	1,1	3,3
CGH	236	266	308	398	484	21,9	0,3
Usinas Nucleares	2007	1990	1990	1990	1990	0	1,3
Usinas Eólicas	1894	2202	4888	7633	10124	32,6	6,7
Solar	2	5	15	21	24	11,3	0
Total	120975	126743	133913	140858	150338	6,7	100

Fonte: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA (2017).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos no Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e no Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA) foi iniciado nos anos 50. Na década de 70, por sua vez, o setor de energia fotovoltaica e seu desenvolvimento no Brasil já se comparava com os países mais desenvolvidos no mundo nesse setor. Entre o fim dos anos 70 e início dos anos 80 foram instituídas duas fábricas de módulos fotovoltaicos de silício cristalino, no entanto, com a falta de incentivo e interesse, as fábricas mudaram seu foco de pesquisa, reduzindo em uma larga escala sua produção e chegando posteriormente a sua extinção.

Em 17 de fevereiro de 1978, foi criada a primeira associação de energia solar do Brasil e possuía como objetivos: promover e divulgar estudos relacionados à energia solar no país. A primeira sede foi na cidade de João Pessoa (PB), no laboratório de energia solar da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), todavia a falta de interesse pela energia renovável no país culminou no fechamento da associação em meados dos anos 80 (ABENS, 2018).

Na década de 90, mais precisamente no final dos anos 90, o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica estava bastante defasado, principalmente em relação aos países como Alemanha, Japão e outros países europeus os quais possuíam um incentivo excessivo na área tecnológica e industrial, principalmente no uso da energia solar residencial.

Em 1994 foi criado o centro de referência para as energias solar e eólica Sergio de Salva Brito (Cresesb), criado a partir de um convênio entre o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) da Eletrobrás e o Ministério de Minas e Energia (MME), com o apoio do Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovação (MCTI), o qual

teve a função de difundir programas do governo federal em função do conhecimento técnico sobre as energias eólica e solar (PINHO e GALDINO, 2014).

Já em setembro de 1997 foi colocado em funcionamento no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Florianópolis a primeira instalação fotovoltaica integrada a uma edificação urbana e ligada à rede elétrica pública no Brasil. O sistema foi inicialmente dimensionado para atender uma demanda energética com uma família composta por 4 integrantes de uma residência típica do país. A instalação possuía uma potência de 2078 Wp e era composta por 68 módulos solares de vidro com dimensões de 0,60 x 100 cm² sobre uma área total de 40,8 m², e contava ainda com um sistema de inversores c.c - c.a (RUTHER, 2004).



Figura 5: Primeira instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação urbana e ligada à rede elétrica no prédio da Universidade Federal de Santa Catarina.

Fonte: RUTHER (2004).

Segundo o MME (Ministério de Minas e Energia, 2018) a partir dos anos 2000 o governo federal começou a instituir políticas de incentivo pela ampliação da

utilização da energia elétrica, como também mais especificamente a criação do centro brasileiro para desenvolvimento de energia solar fotovoltaica (CB-Solar). Contudo, o ritmo de crescimento continuou lento, devido ao custo para a geração e, principalmente, por não ser competitivo e atrativo o setor residencial.

Em sua tese, Moraes (2015), expõe que apesar de todo potencial solar que o país possui associado a algumas políticas de incentivo, a utilização da energia solar na matriz energética nacional ainda se encontra bastante restrita. Até o ano de 2014 o percentual de crescimento desse sistema era quase desprezível. O que ocorre no Brasil são pesquisas de implantação de projetos para atender áreas distantes das redes de transmissão e, pela primeira vez, no ano de 2013, a energia solar fotovoltaica participou do leilão para venda de eletricidade. Porém, não logrou sucesso devido à concorrência financeira com outras fontes.

Em 2017, mais de um milhão de painéis solares foram instalados na usina de Pirapora (MG), em um terreno equivalente a 1500 campos de futebol, tornando-se a maior usina de energia solar da América Latina. No início de setembro, parte do projeto operado pela francesa, EDF Energies Nouvelles (EDF EN), começou a operar. Espera-se que até no final de 2018 todo o conjunto esteja operando, com capacidade de 400 MW, o que poderia fornecer energia para 420.000 casas durante um ano (G1, 2017). A grande quantidade de painéis locados nesta usina pode ser visto na Figura 6 (a seguir).



Figura 6: Usina fotovoltaica de Pirapora (MG).
Fonte: G1 (2017).

Para o ano de 2018 é esperado que a utilização de energia solar duplique. A ANEEL divulgou um relatório que mostra a entrada garantida de 28 usinas, gerando um total de 781 Megawatts e fazendo com que o panorama da utilização da energia solar no Brasil cresça exageradamente, ao passo em que incentive, cada vez mais, a população a utilizar fontes de energias limpas (ANEEL, 2012).

3.3. Efeito Fotovoltaico

Como já mencionado, o efeito fotovoltaico foi a princípio descoberto pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839. A primeira máquina proveniente do estudo da física do estado sólido foi concebida em 1876, e somente no ano de 1965 foi iniciada a produção industrial. Inicialmente o setor de telecomunicação obteve interesse na busca por essa tecnologia, em segundo plano a denominada “corrida espacial” também alavancou esse processo, haja vista ser a energia fotovoltaica o

meio mais adequado para o sustento de equipamentos eletrônicos no espaço por longos períodos (PINHO e GALDINO, 2014).

Segundo Zilles *et al.* (2012), esse fenômeno ocorre em certos materiais semicondutores que possuem capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transferindo parte dessa energia para os elétrons, produzindo assim pares de portadores de carga. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas, e com isso são liberadas cargas elétricas.

Para escolha dos materiais com essa finalidade, são levados em consideração a equivalência de suas características de absorção solar, impactos ambientais causados na sua deposição e, principalmente, o custo de fabricação. Dentre os mais utilizados na indústria fotovoltaica estão: Silício (Si) monocristalino, policristalino e amorfo; arseneto de galio (GaAs); disseleneto de cobre e índio (CuInSe₂); disseleneto de cobre, gálio e índio (CuInGaSe₂); e telureto de cádmio (CdTe). O fato de a microeletrônica ter se aperfeiçoado progressivamente ao longo do século XX aliado à grande abundância de silício na natureza fez com que esse se tornasse o elemento mais utilizado para fabricação de células fotovoltaicas, Figura 7 (ZILLES *et al.*, 2012).

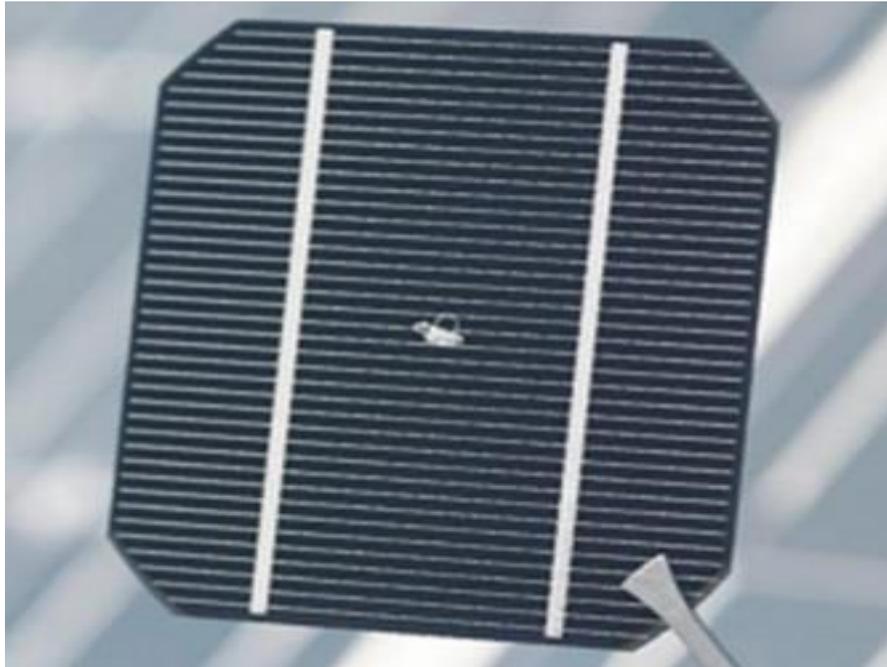


Figura 7: Célula fotovoltaica de silício cristalino.

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Os átomos do silício qualificam-se por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Assim, com pouca energia térmica, este elétron fica livre, indo para a banda de condução. Pode-se concluir, portanto, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n. Por outro lado, é introduzido átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna e ocorre com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p (CRESESB, 2008).

Ainda conforme CRESESB (2008), em se partindo de um silício puro, foram introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção p-n (Figura 8). O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os "buracos" que os capturam, fazendo com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n.

Se uma junção p-n for exposta a fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção. Esse deslocamento de cargas dá origem à uma diferença de potencial ao qual é chamado de Efeito Fotovoltaico. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas (PINHO E GALDINO, 2014)

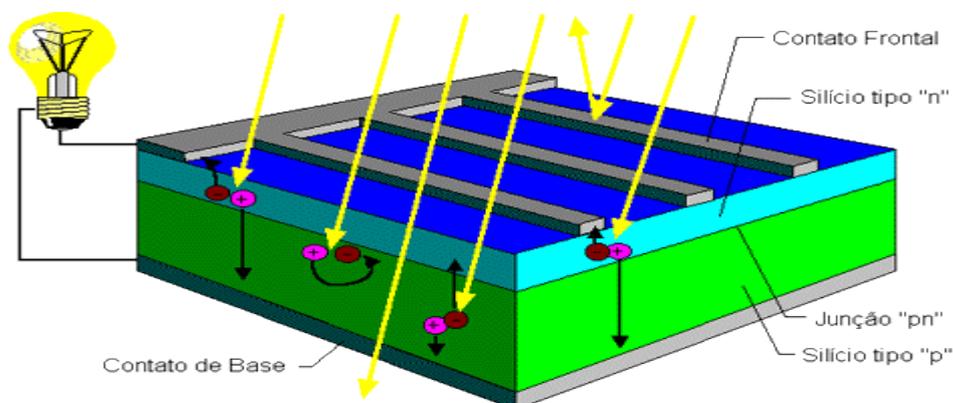


Figura 8: Corte transversal de uma célula fotovoltaica.

Fonte: CRESESB (2008).

3.4. Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são comumente divididos em dois tipos: ligados à rede ou ONGRID e isolados OFFGRID e, em um caso específico, ele pode funcionar combinando a energia solar com outro tipo de energia, no sistema denominado híbrido. A utilização destes, depende basicamente da disponibilidade de recursos da região. Cada tipo tem suas vantagens e desvantagens de acordo com a sua utilização e dados fornecidos em projeto (PINHO e GALDINO, 2014).

3.4.1. Sistemas isolados

Sistemas isolados são caracterizados por não estarem conectados à rede elétrica pública, necessitando assim de uma bateria para o armazenamento da energia gerada pelas placas. Na maioria dos casos este tipo de sistema é implantado em locais mais afastados, com um acesso remoto ou também em locais onde não haja a disponibilidade da rede pública. Esse sistema possui vantagens, pois o proprietário não vai necessitar pagar conta de energia, já que possui sua reserva de energia acumulada nas suas baterias e geralmente utilizados em casos específicos como bombeamento de água, postes de luz e eletrificação de cercas (DA SILVA, 2004).

Eles podem ser individuais ou em mini redes; nos individuais a energia é gerada e consumida exclusivamente por uma única unidade, já no outro caso toda energia gerada é distribuída por um conjunto de unidades que estão localizadas próximas umas das outras (PINHO e GALDINO, 2014). A Figura 9 exemplifica como funciona esse tipo de sistema em uma mini rede.



Figura 9: Sistema isolado em mini rede.

Fonte: Togawa (2017).

Ainda conforme Pinho e Galdino (2014), os sistemas isolados tiveram sua primeira regulamentação em 2004 a partir da resolução Nº 83/2004 da ANEEL. Em junho de 2012 foi publicada outra resolução, a Nº 492/2012, que substituiu a anterior e complementou toda a normatização necessária para a utilização do sistema isolado. A Figura 10 exibe de forma simples como funciona este sistema.

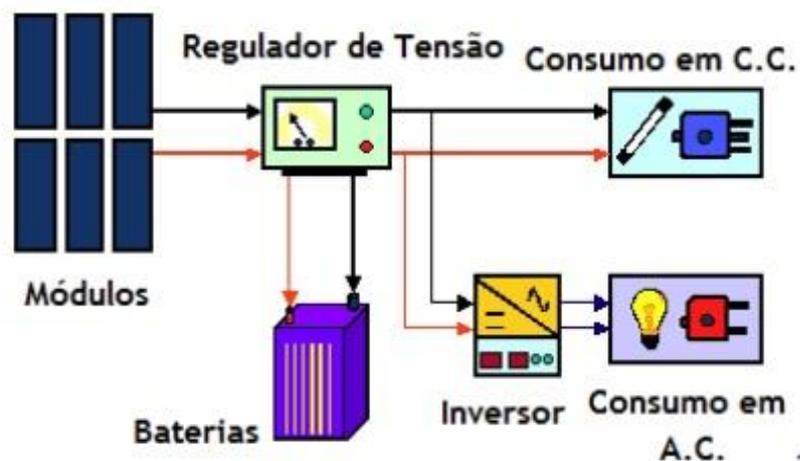


Figura 10: Modelo geral do sistema fotovoltaico isolado.

Fonte: Universidade Internacional de Andalucia (1997) apud Da Silva (2004).

3.4.2. Sistemas interligados à rede

Os sistemas interligados caracterizam-se por trabalhar comutando entre a energia gerada pelas placas fotovoltaicas e a energia da rede elétrica local. Toda essa carga excedente produzida pelos painéis solares passa por um contador reverso e fica armazenada na rede de distribuição, gerando assim um crédito entre a concessionária e a unidade detentora da produção solar (SOUZA, 2016).

Os sistemas conectados à rede (ON-GRID) vêm ganhando popularidade no mundo há um certo tempo, principalmente em países europeus, Japão e Estados Unidos. No Brasil também existe uma evolução nesse cenário, porém muito mais recente e em menor escala, principalmente no uso residencial as potências giram em torno de kWp e em empresas MWp (PINHO e GALDINO, 2014).

O estádio Governador Carlos Wilson Campos, conhecido como Arena de Pernambuco é um estádio de futebol construído em São Lourenço da Mata, município da região metropolitana de Recife. A usina solar da edificação não fica instalada no estádio, mas sim em uma área de 15mil m² anexa ao estádio e é responsável por cerca de 30% do consumo de energia do mesmo. São cerca de 3.652 painéis que geram 1 MWp de eletricidade, o suficiente para abastecer cerca de 6 mil habitantes. A produção excedente é injetada na rede da CELPE (GREENBRAS, 2018).



Figura 11: Estádio arena Pernambuco e sua usina solar.

Fonte: GREENBRAS (2018).

Inaugurado no mês de setembro de 2007, o restaurante Lampião, que fica localizado no município de Piranhas-AL, teve sua instalação auxiliada pelo grupo FAE - UFPE (Fontes Alternativas de Energia – Universidade Federal de Pernambuco) e financiamento por parte do MME (Ministério de Minas e Energia). O sistema dispõe de 12 placas dispostas dando formato a um Tucunaré sobre uma estrutura flutuante. A edificação possui 1,5 kWp de potência instalada que por meio de um inversor do tipo c.c – c.a de 1,1 kW de potência conectado ao quadro geral da edificação e a rede pública de energia elétrica do estado CEAL (Companhia elétrica de Alagoas) que recebe a sobra de energia produzida e não consumida pelo estabelecimento (ZILLES *et al.*, 2012). A disposição dos painéis solares do restaurante pode ser vista na Figura 12.



Figura 12: Placas solares do restaurante lampião em piranhas – AL.

Fonte: BARBOSA *et al.* (2008).

Em 2018 o Tribunal de Justiça de Sergipe (TJSE) instalou uma usina de energia Fotovoltaica, no fórum Dr. Martinho Garcez, no município de Campo do Brito localizado a 65 km da capital Aracaju. O prédio passa a ser o primeiro do TJSE e um dos primeiros do país a operar com fonte de energia renovável. O sistema foi instalado sobre o telhado do fórum que possui área de 1.051,67 m², os painéis solares têm capacidade de gerar energia suficiente para todo o consumo do prédio e ainda gerar um acúmulo para ser direcionado à rede da distribuidora de energia, que reverterá em descontos para o judiciário sergipano. Segundo o engenheiro eletricista do TJSE o consumo médio do prédio é de 2 mil quilowatts e a produção da usina gira em torno de 4 mil quilowatts. (Conselho Nacional de Justiça, 2018). As placas utilizadas para suprir todo o prédio podem ser vistas na Figura 13.



Figura 13: Sistema fotovoltaico do tribunal do estado de Sergipe.

Fonte: Conselho Nacional de Justiça (2018).

3.4.3. Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos são um pouco mais complexos do que os outros tipos, pois necessitam de um controle capaz de fazer a ligação entre os diversos tipos de geração de energia para um único circuito. A geração de energia pode combinar diversos tipos de geradores como eólicos, diesel, biomassa, química entre outras. Podendo ser ainda isolados ou ligados à rede local (BRAUN e SCHEIDT, 2012).

Atualmente na comunidade do Jalapão - TO, existe um sistema híbrido solar-eólico composto por três turbinas eólicas, 52 painéis solares com capacidade de 70 Wp, para o armazenamento de energia foi instalado um banco com 32 baterias estacionárias de 150 A/h cada, em corrente contínua opera em 48V e corrente alternada em 220 V. A energia está sendo aproveitada na oficina comunitária (SANTOS, 2011).

Esse tipo de sistema é uma alternativa para comunidades isoladas e que pode ser sustentável a partir da utilização de energia para o processo produtivo. No entanto, para que esses sistemas funcionem é preciso que atendam à certos requisitos de incidência solar, 4h/dia e incidência de vento de 6m/s, já que são localidades isoladas ou rurais (SANTOS, 2011). Além de ter grande incidência média anual como visto anteriormente na figura 2, a região Nordeste também dispõe de grandes intensidades de ventos, Figura 14, o que torna esta região bastante propícia para o uso do sistema solar híbrido.

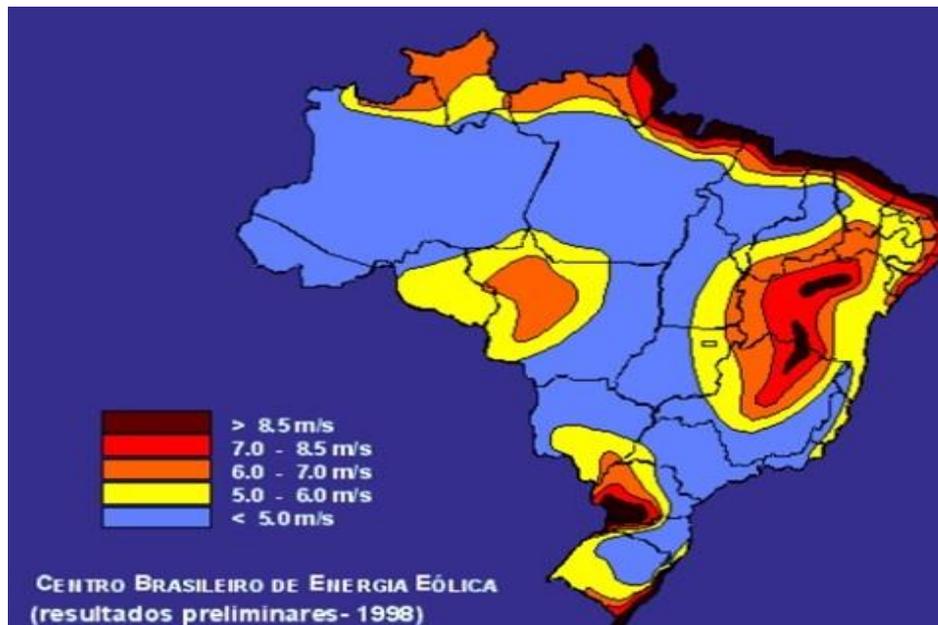


Figura 14: Mapa de ventos do Brasil.

Fonte: Tiba (2000).

3.5. Célula Fotovoltaica

Denomina-se célula fotovoltaica, qualquer equipamento que seja capaz de converter a energia da luz em energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico. Por conta de a luz solar ser a principal fonte de energia aproveitada para a geração da energia

elétrica, as células fotovoltaicas também são chamadas de células solares (FONASH, 2018).

A energia gerada pela célula solar é considerada limpa e em todo o seu processo nenhum resíduo é originado, esta característica faz com que esse tipo de energia seja bastante estudado em diversos institutos de pesquisa ao redor do mundo. O potencial energético também não deixa a desejar, pois a superfície terrestre recebe até 1000 watts de radiação solar, o que é considerado um elevado potencial energético (CCBS ENERGIA, 2018).

3.5.1. Princípio de funcionamento da célula voltaica

As células fotovoltaicas são constituídas por materiais semicondutores, que possuem a característica de formar bandas de energia. Essas, por sua vez, permitem que os elétrons mudem de uma banda para outra e é denominada de gap (E_g), que é normalmente representada em elétron-volt (eV) e depende do material utilizado. Na Figura 15 (abaixo), podemos observar a representação de cada tipo de material de acordo com suas bandas de energia (Zilles *et al.*, 2012).

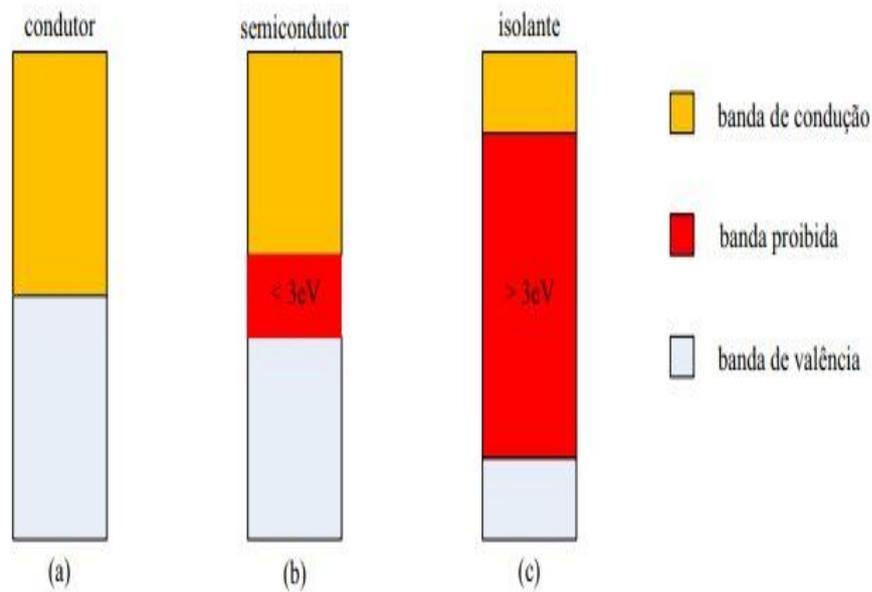


Figura 15: Estrutura de bandas de energia dos materiais isolantes, semicondutores e condutores.

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Existe uma banda totalmente preenchida por elétrons, chamada banda de valência e uma outra sem elétrons, chamada de banda de condução na temperatura zero absoluto (0 K). Ou seja, quando a temperatura chega em 0 K, o semicondutor assume a característica de um isolante. A partir do momento em que se eleva a temperatura, ocorre o ganho de energia por parte de alguns elétrons, fazendo com que consigam atravessar a banda proibida e alcançar a banda de condução. Para matérias do tipo semicondutor, a energia necessária para que os elétrons superem a banda proibida e cheguem na zona de condução pode chegar até 3 eV, enquanto que nos materiais isolantes necessita-se de uma energia superior a 3 eV. A Tabela 2 mostra o E_g de alguns materiais semicondutores à temperatura de 300 K (PINHO e GALDINO, 2014).

Tabela 2: Eg de alguns materiais semicondutores na banda proibida à temperatura 300 K.

Material	Grupo	Eg(eV)	Material	Grupo	Eg(eV)
Si	elemento	1,12	GaP	III-V	2,26
Ge	elemento	0,66	CdS	II-IV	2,42
GaAs	III-V	1,43	PbS	II-IV	0,35
InSb	III-V	0,18	PbTe	II-IV	0,3
InP	III-V	1,35	CdTe	II-IV	1,45

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

3.6. Módulos fotovoltaicos

Segundo a NBR 10899/ (ABNT, 2013), um módulo se caracteriza por um conjunto de células solares ambientalmente protegidas, com intuito de gerar energia elétrica em corrente contínua.

Conforme a NBR 12300/ (ABNT, 1991), os módulos recebem algumas classificações de acordo com o propósito do projeto. Classe A: módulos apropriados para as mais severas condições ambientais em diferentes partes do mundo; Classe B, apropriados para ação prolongada em climas normais, para todo clima do mundo, exceto para temperaturas extremas e Classe C, apropriado para ação prolongada em climas moderados.

Prado *et al.* (2004), afirma que o módulo fotovoltaico é a unidade fundamental de todo sistema. Sendo o mesmo composto por células agrupadas e conectadas para produzir tensão e corrente suficiente para a produção de energia elétrica. É fundamental a utilização de agrupamentos em módulos, visto que uma única célula produz uma pequena quantidade de energia, girando em torno de 0,4 Volts no valor máximo da sua potência. O arranjo pode ser feito em série ou em

paralelo, a depender da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada (PRADO *et al.*, 2004). A figura 16 exibe um arranjo de 18 painéis solares para conseguir suprir a demanda necessária.



Figura 16: Módulos fotovoltaico 24 V, sistema autônomo.

Fonte: Souza (2016).

Na associação em série, Figura 17, o terminal positivo de um módulo é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo. Para dispositivos iguais e detentores da mesma irradiação, quando forem ligados em série suas tensões são somadas sem que seja afetada a corrente elétrica do sistema (PINHO e GALDINO, 2014).

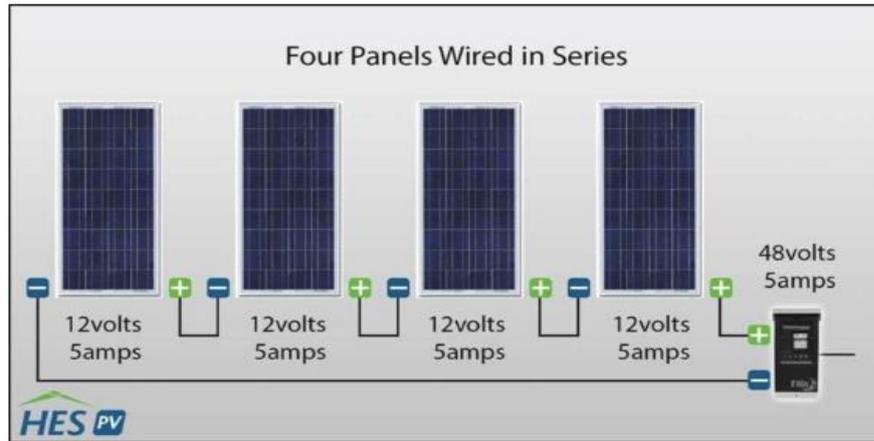


Figura 17: Módulos associados em série.

Fonte: Stern (2017).

Na associação em paralelo, como mostra a Figura 18, os terminais positivos dos módulos são interligados entre si, da mesma forma ocorre com os terminais negativos. Deste modo para dispositivos conectados em paralelo as correntes elétricas são somadas e suas correntes permanecem inalteradas. Neste caso esse tipo de associação deve ser usado quando se deseja uma corrente maior (PINHO e GALDINO, 2014).

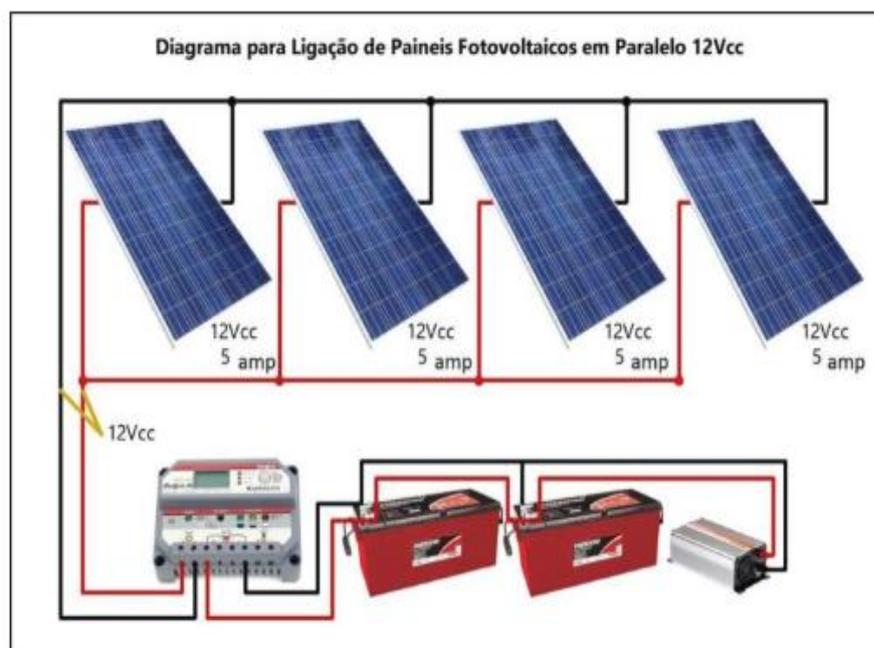


Figura 18: Módulos associados em paralelo.

Fonte: Stern (2017).

3.7. Inversores

Os módulos solares geram energia na forma de corrente contínua (CC), sendo assim, é necessário a utilização de um conversor, cuja função é transformar a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) 127V/220V. Como pode ser visto na Figura 18, para que se obtenha as características necessárias (frequência, comprimento de onda, harmonia, etc.) para estar satisfazendo as condições de uso da rede pública e possibilitar a conexão com a rede (RUTHER, 2004). A Figura 19 exhibe um inversor sendo utilizado em um sistema ON Grid.



Figura 19: Sistema conectado à rede.

Fonte: Stern (2017).

Para os sistemas com até 5 kWp (Kilo watt pico) os inversores são em sua maioria monofásicos, já para sistemas com maiores potências geralmente trifásicos. Podem ser tanto sistemas monofásicos agrupados formando um sistema trifásico

como grandes inversores já contendo 3 fases. Para fornecer o máximo de energia à rede, o aparelho opera sempre no seu ponto máximo de potência do arranjo fotovoltaico (MPP) (SOUZA, 2016).

Ainda segundo Souza (2016), além da função de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) o inversor tem as seguintes funções:

- De ajustar-se ao ponto máximo de potência (MPP) do arranjo;
- Guardar/transmitir os dados enquanto estiver funcionando, através de displays, cartões de memória, transmissão direta para computador;
- Possuir dispositivos de segurança, como por exemplo: proteção contra curtos-circuitos (c.c/c.a), proteção contra sobrecargas e tensões, proteção contra inversão de polaridade.

A escolha do inversor CC/CA uma das partes mais importantes de todo o sistema, geralmente considerado como o coração do sistema fotovoltaico. A seleção de um inversor de boa qualidade deve assegurar para o usuário um bom desempenho no quesito produtividade, qualidade e segurança do sistema, ao selecionar o inversor mais adequado ao seu respectivo gerador devem ser levados em consideração características tais como flexibilidade de instalação, durabilidade, segurança, níveis de tensão e corrente como também eficiência de conversão (ZILLES *et al.*, 2012).

Os inversores podem ser comutados/chaveados pela rede elétrica, onde o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede. Esse sistema é geralmente utilizado para altas demandas potencias, ou ainda, auto comutados onde o sistema é adicionado de um circuito eletrônico que faz o controle e sincronia entre o sinal do inversor e o sinal da rede, esse sistema é mais adequado para sistemas autônomos e ligados à rede elétrica, já que a frequência da potência injetada no inversor deve ser igual à da concessionária (RUTHER, 2004).

3.8. Comparação Entre a Geração de energia Elétrica Através de Módulos Solares Fotovoltaicos e Outras Fontes

As fontes de energia podem ser classificadas em: fósseis (petróleo, carvão e gás natural), nucleares e solares. As energias renováveis apresentam o custo final mais elevado do que o sistema convencional centralizado de fornecimento elétrico, porém o que tem maior impacto entre elas com relação aos custos é a simplicidade de como a energia é gerada, promovendo uma consequente redução dos custos contabilizando todos os processos (SHAYANI *et al.*, 2006).

Ainda segundo Shayani *et al.* (2006), os recursos fósseis necessitam ser extraídos dos locais onde estão concentrados, sendo transportados para as refinarias onde são preparados para a queima, movidos novamente para as usinas e após a geração de eletricidade devem ser transmitidos através de linhas de alta tensão para o consumidor e os resíduos eliminados. São utilizadas células solares responsáveis pela geração de energia e um inversor para transformar a tensão e frequência para os valores nominais dos aparelhos, obtendo assim um processo mais simples, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com pouca necessidade de manutenção. Ocorre que, os custos envolvendo todas estas etapas necessárias para a geração de energia devem ser computados no momento em que se compara a energia solar com as outras fontes. Devido a praticidade, esta forma renovável de obter eletricidade possui vantagens econômicas.

Para avaliar o investimento do sistema fotovoltaico comparou-se o custo da energia elétrica gerada com as tarifas de energia elétrica, que na maioria dos estados adota alíquota de 0% para residências com baixo consumo de energia elétrica,

aumentando progressivamente até as faixas de consumo mais elevado, em torno de 500 kWh/mês, onde são estabelecidas alíquotas entre 25% e 30%. Para comparar, foram utilizadas as alíquotas de ICMS relacionadas a três faixas de consumo: mínima, a 81 kWh/mês e máxima; obtendo três tarifas residências (finais) para cada distribuidora (SHAYANI *et al.*, 2006).

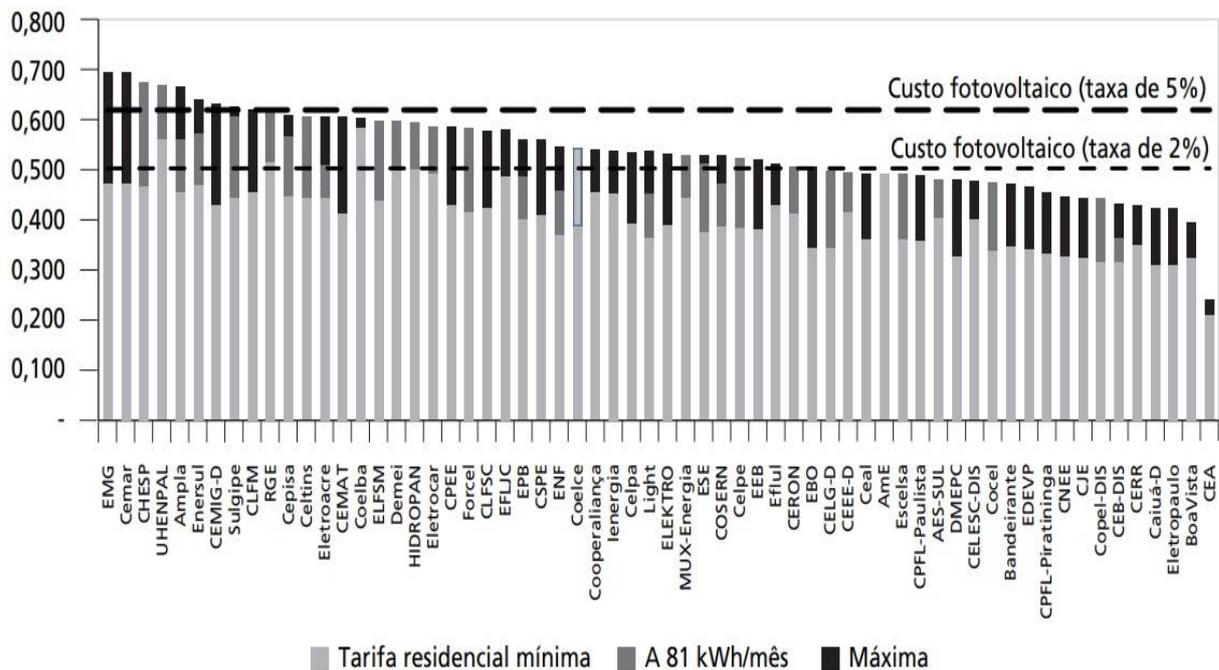


Figura 20: Tarifas residenciais x custo energia fotovoltaica sem bateria em (R\$/kWh).
Fonte: Agência nacional de energia elétrica (ANEEL, 2012).

De acordo com o gráfico da Figura 20, se a radiação solar tivesse máximo aproveitamento energético, a energia fotovoltaica seria competitiva com algumas distribuidoras, considerando as tarifas com alíquotas máximas de ICMS. Mesmo na faixa de consumo de 81 kWh/ mês, existem casos que a tarifa da distribuidora supera o custo da energia fotovoltaica, em especial a taxa de desconto de 2% a.a. Porém o sistema com baterias, em nenhuma distribuidora o sistema fotovoltaico seria competitivo. O custo da energia fotovoltaica com baterias seria, em geral, mais de

duas vezes superior às tarifas praticadas, como mostra a figura 21 (CABELLO, POMPERMAYER, 2013).

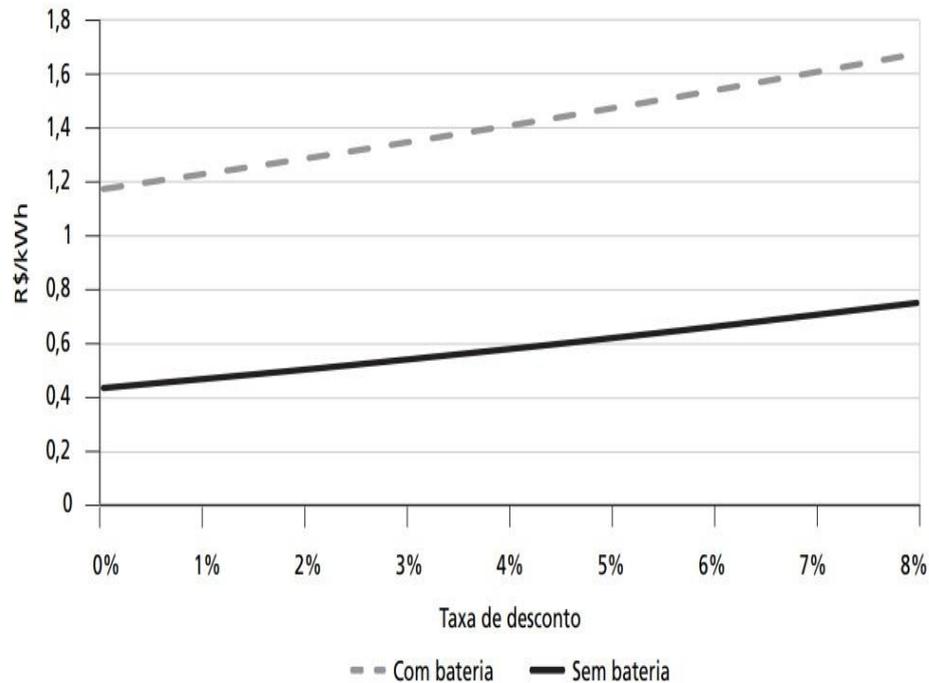


Figura 21: Custo da energia fotovoltaica com bateria e sem sensível a taxa de desconto.

Fonte: Cabello, Pompermayer (2013).

3.9. Normas e Legislação

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, se trata da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade.

Os incentivos à geração distribuída é justificada pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico, entre eles: o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo

impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética, tem o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração; compatibilizar o Sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento (Resolução Normativa nº 414/2010); aumentar o público alvo; e melhorar as informações na fatura, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012. Segundo as novas regras, que começaram a valer em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Se a energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida, o consumidor obtém créditos que podem ser utilizados nas futuras faturas. Perante as novas regras, foi estendido o prazo de validade dos créditos, que passaram de 36 para 60 meses, podendo ser utilizado pelo titular em outros locais, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”, outra alteração da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras), nessa configuração, a energia é repartida entre os próprios condôminos, dependendo do acordo feito entre os mesmos (ANEEL, 2016).

Foi criada pela ANEEL uma configuração, denominada de "geração compartilhada", possibilitando a união de diversos interessados em um consórcio,

para que instalem um micro ou minigeração distribuída, utilizando assim a energia gerada para abatimento nas faturas.

Segundo a ANEEL com relação aos procedimentos necessários para estabelecer conexão de um micro ou minigeração distribuída a rede da distribuidora, foi estabelecido regras simplificando o processo. Foi gerado formulários padrões para realização da solicitação de acesso e o prazo total para conexão foi reduzido de 82 para 34 dias, para usinas de até 75 kW, entrou em vigor a partir de janeiro de 2017 tal solicitação.

3.9.1. Tarifas e seguros

As tarifas são divididas em monômias, de baixa tensão que corresponde a tarifa de fornecimento de energia elétrica, composta por preços aplicáveis somente ao consumo ativo de energia elétrica e a binômia que corresponde a estrutura tarifária composta por preços aplicáveis a energia ativa e à demanda faturável como podem ser vistas nas Tabelas 3 e 4 (ENERGISA, 2018).

Tabela 3: Modalidade tarifária convencional – Baixa tensão.

Tarifa	Classes	Consumo (R\$/KWH)
B1	Residencial sem benefício	0,5143
	Residencial BR - Consumo até 30 KWH	0,17332
	Residencial BR - Consumo de 31 a 100 KWH	0,29714
	Residencial BR - Consumo de 101 a 220 KWH	0,44571
	Residencial BR - Consumo acima de 220 KWH	0,49524
B2	Rural	0,36001
	Rural irrigação	0,0972
	Cooperativa de eletrif. Rural	0,36001
	Serviço de irrigação	0,30858
B3	Comercial, serviços e outros	0,5143
	Industrial	0,5143
	Poderes públicos	0,5143
	Serviço público	0,43715
B4	Iluminação pública	-
	B4A - Rede de distribuição	0,28287
	B4B - Bulbo da lâmpada	0,30858

Fonte: Energisa (2018).

A Tabelas 3 e 4 referem-se as modalidades tarifarias utilizada pela Energisa para separar os padrões de utilização da rede de acordo com o uso

Tabela 4: Modalidade tarifária branca - Baixa tensão.

Grupo	Classes	TUSD + TE (R\$/kWh)			TUSD (R\$/kWh)			TE (R\$/kWh)		
		Ponta	Interm.	Fora ponta	Ponta	Interm.	Fora ponta	Ponta	Interm.	Fora ponta
B1	Residencial	1,07697	0,673	0,416	0,698	0,441	0,184	0,379	0,233	0,233
B2	Cooperativa de eletrif. rural	0,75389	0,471	0,292	0,488	0,309	0,129	0,265	0,163	0,163
	Rural	0,75389	0,471	0,292	0,488	0,309	0,129	0,265	0,163	0,163
	Rural irrigação Serviço público de irrigação	0,75389	0,471	0,079	0,488	0,309	0,035	0,265	0,163	0,044
B3	Comercial serviços e outros	0,64618	0,404	0,25	0,419	0,265	0,11	0,228	0,14	0,14
	Industrial	1,1305	0,705	0,427	0,751	0,473	0,195	0,379	0,233	0,233
	Poderes públicos	1,1305	0,705	0,427	0,751	0,473	0,195	0,379	0,233	0,233
	Serviço público	0,96092	0,6	0,363	0,639	0,402	0,165	0,322	0,198	0,198

Fonte: Energisa (2018).

3.9.2. Projetos governamentais no Brasil

No Brasil ainda não se tem um grande número de projetos de relevância implantados de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), com poucas instalações voltadas para efetiva geração de energia. A título de exemplo temos: a Universidade Federal de Santa Catarina que implantou o sistema fotovoltaico do LABSOLAR em operação desde setembro de 1997, o sistema fotovoltaico da CELESC em Florianópolis, instalado em dezembro de 2003, o sistema fotovoltaico do laboratório de energia solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul instalado em 2004 e o sistema fotovoltaico do laboratório de sistemas fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, instalado em 2004, dentre

outros. A implantação de grandes usinas fotovoltaicas é uma grande tendência, justamente pelos avanços tecnológicos recentes que tem tornado cada vez mais eficiente as células cada vez maiores e, aliado a isto, também a redução dos custos de fabricação devido à forte concorrência no mercado internacional (TIEPOLO *et al.*, 2012).

O Ministério de Integração Nacional lançou em abril de 2018 a principal iniciativa para difundir a microgeração de energia solar no Brasil até o momento. O projeto oferece cerca de R\$ 3,2 bilhões para financiar a instalação de placas fotovoltaicas em residências e estabelecimentos comerciais nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país. Com essa grande verba de incentivo, espera-se que cresça o número de pessoas que geram a própria energia, reduzindo em até 90% as despesas com energia elétrica. A iniciativa do governo federal é extremamente estratégica e relevante para o setor, tendo em vista que o crédito dado seria fundamental para a difusão e avanços tecnológicos do setor no país (POZZOBORN, 2018).

4. ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento segue os padrões e normatizações da ANEEL N° 482, como também a NBR 16274/ (ABNT, 2014), tendo como material de auxílio o “Manual da Energia Solar” da empresa Fotaic. O projeto teve como objetivo suprir toda a demanda energética requerida por uma residência situada no condomínio Morada das Mangueiras. O dimensionamento foi separado em etapas, tendo início com a avaliação do espaço físico, consumo de energia e demanda, disponibilidade solar, escolha dos painéis e quantidades necessárias, potência do inversor, condutores, stringbox e materiais auxiliares na instalação dos painéis na residência. Todos equipamentos e materiais extras exigidos para instalação total do sistema solar, foram escolhidos visando o menor custo possível dentro dos padrões de qualidades exigidos pela ANEEL, assim como a certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), que realizou a implementação da Portaria N° 357 em 2014, com objetivo de estabelecer regras para os equipamentos de energia fotovoltaica.

A Fotaic é uma empresa do ramo da energia fotovoltaica, tendo sua sede na cidade de Fatima no estado de Fortaleza, porém com seu ramo de atuação em todo o Brasil. A empresa fornece manuais de dimensionamento, projetos como também executa a instalação do sistema.

4.1. Avaliação do espaço físico

O condomínio Morada das Mangueiras está localizado na Avenida Augusto Franco, 3500, bairro Ponto Novo em Aracaju. Toda usina solar será locada no telhado da casa 236. A residência possui uma área construída de 150m² e cobertura com 4 águas. Para decidir onde as placas seriam locadas, foi utilizada uma bússola a fim de encontrar qual das quedas tinha a direção mais próxima do Norte, pois é a direção de maior incidência solar durante o dia. As Figuras 22 e 23 informam a localização e cobertura da residência respectivamente.



Figura 22: Condomínio Moradas das Mangueiras
Fonte: Google Maps (2018).

Foi realizado o levantamento e executada a planta de cobertura da residência, para uma melhor precisar no momento de locar os painéis solares.

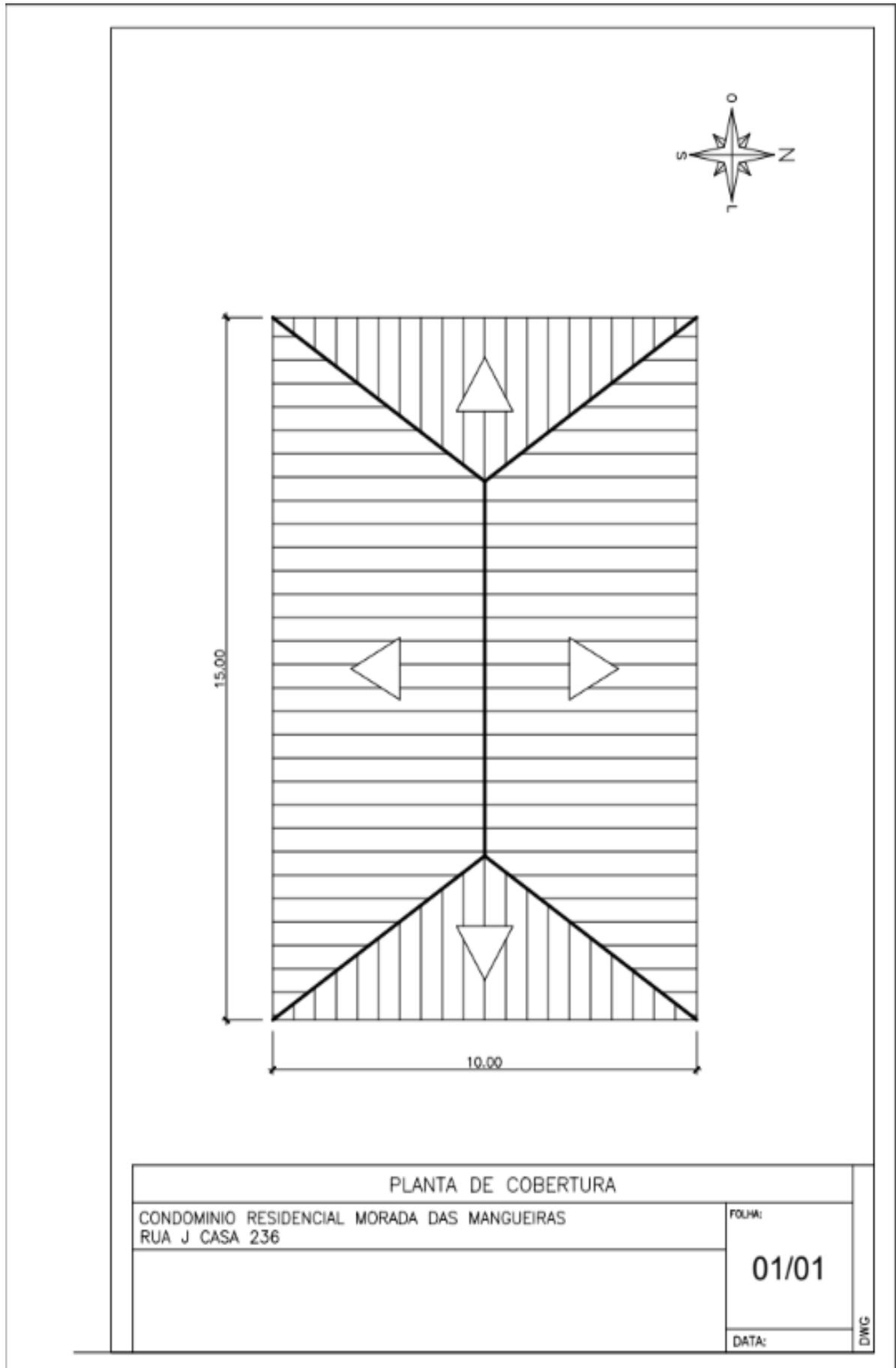


Figura 23: Cobertura da residência onde será locada as placas solares.

4.2. Consumo de Energia da Unidade Residencial

O termo energia utilizado nas contas de energia é fornecido através da unidade kilowatt*hora (kWh), onde se tem uma unidade de potência multiplicada pelo tempo.

Para o dimensionamento do sistema solar é preciso inicialmente identificar o consumo de energia da residência, este é determinado pela média do consumo anual. Com acesso as doze últimas contas de energia, foi feita uma média aritmética dos consumos mensais para a determinação do consumo médio anual, que foi de 334,83 kWh, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Consumo médio anual e custo médio anual da residência.

Mês	Valor (R\$)	Consumo (kWh)
Out/17	211,59	279
Nov/17	245,49	314
Dez/17	222,74	304
Jan/18	228,66	314
Fev/18	258,46	356
Mar/18	228,32	327
Abr/18	220,29	306
Mai/18	287,85	359
Jun/18	287,72	347
Jul/18	292,30	337
Ago/18	317,96	366
Set/18	283,52	338
Média	251,88	334,83

4.3. Disponibilidade Solar na Cidade

Para obter o valor de horas de sol por dia na cidade de Aracaju, foi necessário utilizar a ferramenta SunData, disponibilizada pela CRESESB, à fim de

oferecer a irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. O critério adotado foi de utilizar a média anual de irradiação e a inclinação igual a latitude, pois a disponibilidade solar varia a cada mês e a inclinação das placas aproveita melhor a disponibilidade solar quando está inclinada no ângulo da latitude local. O painel ficará inclinado a 10,9 graus (latitude). O valor de irradiação é:

$$I_r = 5,52kWh/m^2$$

O número de horas diárias de sol considerada neste projeto pode ser obtido através da irradiação padrão de $1kW/m^2$ e do valor de I_r :

$$N_{hsol} = \frac{5,52}{1} = 5,52h$$

Vale ressaltar que esse valor não quer dizer que diariamente tem-se apenas 5,52h de sol no dia, mas o que as placas irão gerar em potencial nominal, o que ocorre entre 11h e 13h em dias ensolarados, pois as fabricantes de painéis solares usam $1kW/m^2$ como irradiação padrão.

Tabela 6: Irradiação solar diária média mensal (kwh/m².dia), Aracaju-SE.

Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	6,28	6,38	6,08	5,09	4,43	4,07	4,19	4,83	5,59	6,07	6,36	6,58	5,50	2,52
Ângulo igual a latitude	11° N	5,88	6,16	6,10	5,32	4,80	4,48	4,58	4,83	5,59	6,07	6,36	6,58	5,52	2,52
Maior média anual	7° N	6,04	6,26	6,11	5,25	4,68	4,35	4,45	5,03	5,68	6,00	6,15	6,30	5,53	1,95
Maior mínimo mensal	30° N	4,90	5,41	5,74	5,38	5,12	4,90	4,96	5,31	5,53	5,33	5,06	4,98	5,22	0,84

Fonte: CRESESB (2018).

4.4. Cálculo para Determinação da Potência Total e Quantidade de Painéis Necessários

Primeiramente deve-se levar em consideração o tipo de rede da residência, pois a resolução da ANEEL nº414 estabelece os seguintes valores mínimos de entrega da energia, conforme padrão de conexão com a rede:

- 30 kWh, se padrão monofásico;
- 50 kWh, se padrão bifásico;
- 100 kWh, se padrão trifásico.

Para encontrar o consumo total que será necessário gerar deve-se diminuir do consumo médio mensal os 50 kWh que serão obrigatoriamente cobrados devido ao padrão da rede da casa, bifásico:

$$\begin{aligned} \text{consumo médio} - 50 \\ 335 - 50 &= \frac{285kWh}{\text{mês}} \\ \frac{285kWh}{30 \text{ dias}} &= \frac{9,5kWh}{\text{dia}} = \text{energia}_{\text{geração}} \end{aligned}$$

Como mostrado anteriormente a energia é fornecido como:

$$\text{energia} = \text{potência} \times \text{tempo}$$

Para dimensionar a quantidade de painéis solares podemos reescrever como:

$$\text{energia}_{\text{geração}} = \text{potencia total}_{\text{painéis}} \times \text{tempo}_{\text{exposição}}$$

Por conta de o sistema de energia solar não ser livre de perdas energéticas, um novo termo é adicionado para levar em consideração o rendimento do sistema:

$$potência\ total_{painéis} = \frac{energia_{geração}}{tempo_{exposição} \times \eta_{rendimento}}$$

Fatores que influenciam no rendimento (η):

- Perdas por temperatura [7,0% - 18,0%]. Esse tipo de perda ocorre nos painéis devido ao aquecimento por estarem expostas a radiação solar. Apesar de Aracaju ser uma cidade quente, a perda considerada foi de **12%** por conta de ser um município litorâneo e bastante ventilado;
- Incompatibilidade elétrica [1,0% - 2,0%]. Ocorre quando as placas estão conectadas em série ou em paralelo. Devido ao fator de evolução tecnológica das placas solares atuais, a perda utilizada foi de **1,5%**;
- Acúmulo de sujeira [1,0% - 8,0%]. Devido ao acúmulo de poeira, folhas, falta de limpeza, etc. Em razão do sistema ser em uma residência, a limpeza será mais fácil e mais frequente, o que permitiu a utilização de uma perda mais baixa, **2,5%**;
- Cabeamento CC [0,5% - 1%];
- Cabeamento CA [0,5% - 1%]. O efeito joule causa as perdas de energias tanto no cabeamento CC quanto no CA. As perdas previstas nos cabos foram de **1%** para cada tipo. Os cabos não serão tão grandes por se tratar de uma residência, portanto a perda nesse quesito é pequena;
- Inversor [2,5% - 5,0%]. A perda ocorre durante o processo de inversão de corrente contínua para corrente alternada. Para este caso foi arbitrado uma perda de **3,5%**, um valor bem conservador, pois os datasheet dos inversores

informam que para uma potência de saída acima de 50%, geralmente a eficiência é acima de 96%.

Para definirmos o valor do rendimento global é preciso subtrair cada termo por 100% e em seguida multiplicar todos os resultados pelos fatores de perda:

$$(100\% - 12\%) = (0,880)$$

$$(100\% - 1,5\%) = (0,985)$$

$$(100\% - 2,5\%) = (0,975)$$

$$(100\% - 1,0\%) = (0,990)$$

$$(100\% - 1,0\%) = (0,990)$$

$$(100\% - 3,5\%) = (0,965)$$

$$0,880 * 0,985 * 0,975 * 0,990 * 0,990 * 0,965 = 0,80$$

O rendimento global (η) foi de 80%.

Cálculo da potência total dos painéis:

$$Potência\ Total_{painéis} = \frac{\frac{9,5kWh}{dia}}{\frac{5,52h}{dia} \times 0,8} = 2,15kWp$$

Tem-se então que 2,16kWp será a potência máxima que as placas fotovoltaicas poderão fornecer para o inversor.

Segundo o manual da Fotaic, em um sistema solar residencial a potência das placas solares costuma variar entre 260W a 350W, foi feita uma comparação de cinco tipos de placas na empresa Minha Casa Solar com o objetivo de escolher a placa com melhor custo benefício. A placa escolhida foi a Canadian Solar CS6k de 275W de potência.

$$Qtd_{painéis} = \frac{Potência\ Total_{painéis}}{P_{painél}}$$

$$Qtd_{painéis} = \frac{2,15k}{275}$$

$$Qtd_{\text{painéis}} = 7,82 = 8 \text{ painéis}$$

Como o valor da quantidade de painéis não foi inteiro, foi preciso recalcular a quantidade de potência gerada para 8 painéis:

$$275 * 8 = 2200W \text{ ou } 2,2kW$$

Tabela 7: Modelos de painéis solares orçamentados..

Marca	Modelo	Material	Potência(W)	Preço uni.	Quantidade	Preço Total
Globo Brasil	GBR-260P	Policristalino	260	799	9	7191
Canadian solar	CS6K-270P	Policristalino	270	619	8	4952
Canadian solar	CS6K-275P	Policristalino	275	599	8	4792
Canadian solar	CS6K-280P	Policristalino	280	609	8	4872
Risen solar	RSM72-6-300P	Policristalino	330	689	7	4823

Fonte: Minha casa solar (2018).

Tabela 8: Especificações da placa CS6k-275P.

Potência máxima (Pmax)	275Wp
Número de células	60
Eficiência do módulo	16,8%
Tensão em circuito aberto (Voc.)	38V
Tensão de pico (Vmpp)	31V
Corrente de curto circuito (Isc)	9,45A
Corrente de pico (Impp)	8,88A
Voltagem máxima do sistema	1000V
Dimensão painel (cm)	165x99,2x4
Peso	18,2kg

Fonte: Minha casa solar (2018).

Os módulos Canadian Solar possuem 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação.

4.5. Escolha do inversor:

O inversor foi escolhido na empresa Neosolar. Para o critério de escolha, foi necessário o cuidado para que não ocorresse o subdimensionamento ou superdimensionamento, devendo a potência indicada no inversor estar na faixa de $\pm 20\%$ da potência gerada pelas placas solares. O sistema dimensionado permite valores de potência que atendam a faixa de 1,76kWp à 2,64kWp. Buscando atender os requisitos com menor custo possível foi escolhido o inversor Fronius Galvo 2.5-1. Este inversor é voltado para sistemas fotovoltaicos residenciais, contendo sistema de monitoramento integrado, o qual permite controle externo por meio de interfaces de comunicação, obtendo informações detalhadas em tempo real do funcionamento e da geração do sistema.



Figura 24: Inversor Fronius Galvo 2.5-1 (2,5kW).
Fonte: Neosolar (2018).

Este modelo possui a potência de 2,5kW e o preço na empresa Neosolar foi de em R\$ 5290,00.

Tabela 9: Dados de entrada e saída do inversor.

Dados de entrada	
Potência CC máxima para $\cos \varphi=1$	2,650 W
Máx. corrente de entrada	16.6 A
Máx. tensão de entrada	24.8 A
Faixa de tensão MPP	120V
Min. tensão de entrada	120V
Feed em tensão inicial	260V
Tensão nominal de entrada	420V
Max. tensão de entrada (UDCmáx.)	120 - 335 V
Número de ligações CC	3
Dados de saída	
Saída Nominal	2,500 W
Potência de saída máx.	2,500 VA
Corrente de saída máx.	12.1 A
Grid de conexão	1~NPE 230 V
Tensão de saída min.	180 V
Tensão de saída máx.	270 V
Frequência	50 Hz / 60 Hz
Faixa de frequência	45 - 65 Hz
Fator de distorção	< 4 %
Fator de Potência	0.85 - 1 ind. / cap.

Fonte: Neosolar (2018).

De acordo com a Tabela 9, a tensão de operação à plena carga do painel solar é de 31V. A faixa de valores admissíveis para geração observadas na tabela 8 para o inversor é 120V – 335V, assim serão ligados os 8 painéis em série totalizando uma tensão de:

$$V_{in} = 8 * 31 = 248V$$

Como $120V < 248V < 335V$, a tensão de plena carga está adequada para este inversor.

A tensão de circuito aberto do painel (38V) é maior que a plena carga e também deve ser menor que a máxima permitida de entrada do inversor (420V), logo verifica-se:

$$V_{m\acute{a}xima} = 8 * 38 = 304V$$

Como $304 < 420$, este critério também foi atendido.

A corrente máxima de entrada do inversor é de 16,6A e a corrente de plena carga dos painéis é de 8,88A. Como os painéis estarão em série, a corrente de entrada do inversor também será 8,88A. Como $8,88A < 16,6A$, este critério também foi respeitado.

4.6. Condutores

De acordo com o datasheet do inversor, pode-se usar tanto para os condutores de entrada como para os condutores de saída as seções AWG14 até AWG6 para cobre ou AGW6 para alumínio. Os condutores custam em torno de R\$ 30,00 cada, e podem ser facilmente encontrados nas lojas de eletricidade em Aracaju.

4.7. Suporte dos Módulos

O suporte foi escolhido na empresa Minha Casa Solar, o preço acessível e a capacidade de locação de 4 módulos em cada suporte facilitaram a escolha, pois o

dimensionamento do sistema sugeriu 8 placas solares. Todos os acessórios necessários para a fixação são inclusos e custo foi de R\$ 586,00 por suporte.



Figura 25: Suporte para 4 módulos solares.
Fonte: Minha casa solar (2018).

4.8. Stringbox

A stringbox será a interface entre os painéis e o inversor, para a proteção dos painéis no lado DC do inversor. O quadro escolhido foi da empresa Neosolar da marca ABB, este suporta a entrada para uma string, o que já é suficiente para este projeto. O produto custou, R\$ 1290,00 , e contém:

- 1 par de porta-fusível com 1 par de fusíveis 10A já instalado;
- 1 chave seccionada corrente contínua 16 a 660V
- 1 DPS corrente continua para os polos positivos e negativos
- 5 prensa-cabos já instalados na caixa para passagem de cabos (entrada, saída e terra)
- Caixa IP40 (instalação interna)
- Equipamentos Montados em trilho DIN



Figura 26: Stringbox.
Fonte: Minha casa solar (2018).

4.9. Mão de Obra

A mão de obra para instalação foi orçada na empresa Gotec Solar Engenharia, localizada na Rua Frei Paulo em Aracaju. O valor é cobrado por quantidade de módulos instalados, na ocasião o custo ficou em R\$ 160,00 para cada módulo, totalizando R\$ 1280,00.

5. VIABILIDADE ECONÔMICA

5.1. Valor do investimento

Para definir a viabilidade econômica do projeto, primeiramente foi separado na Tabela 10, todos os gastos necessários para a execução. Na aba de estruturas, foi considerado todos os acessórios necessários para a fixação das placas no telhado, além disso somou-se os condutores de entrada e saída, cabeamento de corrente alternada e cabeamento de corrente contínua.

Tabela 10: Custo total para implementação do sistema fotovoltaico.

Planilha de custos projeto fotovoltaico	
Itens	Preço (R\$)
Inversor Galvo 2.5-1	5290
Stringbox	1290
8 Painéis 275W	4792
Mão de obra	1280
Estruturas	1432
Total	14084

5.2. Payback

O payback é uma metodologia ou estratégia utilizada para calcular o período de retorno de investimento de um projeto, sendo ele simples ou capitalizado.

5.2.1. Payback simples

Considerando o preço médio de 0,68545 R\$/ kWh encontrado na tarifa de energia da residência e a geração média de 285,00 kWh, o valor médio mensal da fatura que será gerado pelo sistema implementado é:

$$\Delta E = 285kWh * \frac{0,68545}{kWh} = \frac{R\$ 195,33}{mes}$$

Assim o tempo de retorno simples é:

$$T_{rs} = \frac{14084,00}{195,33} = 72 \text{ meses} = 6 \text{ anos}$$

O tempo de retorno simples utiliza somente o valor inicial do investimento e a redução na conta de energia, sendo assim, um método que não aproxima seu resultado da realidade. A importância desta análise está em sua praticidade e rapidez em avaliar projetos que terão um investimento não tão alto.

5.2.2. Payback capitalizado

O tempo de retorno capitalizado será calculado utilizando as expressões:

$$i_L = \left[\left(1 + \frac{i}{100}\right) / \left(1 + \left(\frac{i_e}{100}\right)\right) \right] - 1$$

Onde:

- i_L = taxa de juros líquida
- i_e = aumento mensal de energia

A taxa líquida calculada considerando a taxa anual de juros de 10% a.a e um aumento da tarifa de energia de 3% a.a:

$$i_L = \frac{1 + 0,10}{1 + 0,003} - 1 = 0,06796 = 6,79\% \text{ a. a}$$

Assim o tempo de retorno capitalizado fica:

$$T_{rc} = \frac{\left[\frac{\text{Log}(195,33 \cdot 12)}{(195,33 \cdot 12)} - (14084 \cdot 0,06796) \right]}{\text{Log}1 + 0,06796} = 8 \text{ anos}$$

A taxa de retorno capitalizada é calculada utilizando índices de rendimento e índices de aumento de tarifa de energia, nesse caso foi adotado um índice de

rendimento de capital de 10% ao ano e de aumento na tarifa energética de 3% ao ano, os valores foram aplicados na equação do T_{rc} e foi obtido um tempo de retorno de 8 anos, tempo maior que no método simples, devido ao método de cálculo possuir variáveis que mais se adequam ao objetivo e a realidade em questão.*-/9

Levando em conta os resultados obtidos, o tempo de retorno do trabalho apresenta vantagens quando comparado a outros dimensionamentos, como por exemplo o trabalho de Marchioro *et al*, que dimensiona um sistema para uma residência no estado do Rio Grande do Sul e obteve um resultado de tempo de retorno de 13 anos para seu próprio método.

Em seu trabalho, Marchioro *et al*. (2018) dimensionou um sistema solar fotovoltaico residencial a partir de uma demanda média de 450kWh, utilizou 12 painéis solares, gerando um custo total de R\$ 26.327,88 dentre todos os gastos. devido a quantidade de insolação da região foram utilizadas placas de 325W e ainda assim determinados meses foi necessário a utilização da energia elétrica da concessionária.

Realizado um comparativo proporcional entre os dois métodos utilizados verificou-se que:

$$\Delta E = 450kWh * \frac{0,67}{kWh} = \frac{301,50R\$}{mes}$$

$$T_{rc} = \frac{\left[\frac{\log(301,50*12)}{(301,50*12)} - (26327 * 0,06796) \right]}{\log 1 + 0,06796}$$

Sendo:

- 450kWh a demanda da residência em questão;
- 301,50R\$ o valor mensal da fatura;
- 0,67 a tarifa para o estado do Rio Grande do Sul no ano de 2018;
- 26.327,88 o investimento inicial para o projeto;

O tempo de retorno capitalizado para o trabalho citado acima é de 11 anos, sendo assim foi utilizado por Marchioro *et al.* (2018) um método não tão eficiente no quesito tempo de retorno, já que existem outras maneiras de alcançar um tempo de resposta mais rápido.

O menor tempo de retorno é uma característica fundamental na escolha do dimensionamento devido a sua atratividade com o cliente, todos querem que seu investimento retorne o mais rápido possível. Outro ponto observado é a diferença entre regiões, a região nordeste tem uma grande vantagem no quesito insolação, pois recebe uma maior quantidade de radiação solar, trazendo vantagens para todo o sistema.

5.3. Garantia e Vida Útil do Sistema

De acordo com os dados do fabricante do inversor, a garantia contra defeitos de fabricação do aparelho é de 5 anos e o tempo estimado de vida útil fica entre 10 e 15 anos. O fabricante do painel solar oferece uma garantia de 10 anos contra defeito de fabricação e estima que em 25 anos de uso as placas percam 20% da potência máxima.

6. CONCLUSÃO

O estudo teve como intuito avaliar a viabilidade econômica e o payback de um sistema de energia fotovoltaico com objetivo de atender a demanda de uma residência de padrão médio, onde mostrou-se ser viável de acordo com o dimensionamento, orçamento e payback, o qual possibilitou o retorno de todo o capital investido em um período de 8 anos.

Com o orçamento das placas de acordo com o dimensionamento foi obtido um valor total de R\$ 14.084,00, referente ao sistema completamente instalado em funcionamento. Em primeira instância foi calculado o tempo de retorno simples, ou seja, sem levar em conta juros, tomando por base apenas o valor total bruto e a redução na conta de energia, já no segundo caso foi encontrado o tempo de retorno capitalizado, onde se levou em consideração o aumento da tarifa de energia ao decorrer dos anos.

Embora possua um tempo de retorno relativamente alto, o estudo da utilização do sistema fotovoltaico é de total importância devido à toda crise ambiental que o mundo está passando, evitando a liberação de dióxido de carbono (CO₂) no meio ambiente e buscando fontes de energias limpas e renováveis.

O Brasil é um país que possui benefício climático para esse tipo de sistema como também um dos maiores produtores de silício, principal matéria prima para produção das placas solares, logo é de extrema importância a criação de projetos de investimentos e estudos para que esse sistema se torne cada vez mais viável entre a população.

7. REFERÊNCIAS

ABENS. **Associação Brasileira de Energia Solar**, 2018. Disponível em:<<http://www.abens.org.br/historico-abens.php>>. Acesso em 15/09/2018.

ANEEL. **Agência Nacional Energia Elétrica**. Resolução Normativa 482/2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 10/09/2018.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA [do] EPE. Brasília, 2017, Anual.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899: Energia solar fotovoltaica – terminologia**. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899: Qualificação dos módulos fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. 1991.

BARBOSA, F. A.; GRACA, D. S.; GUIMARAES, P. H. S.; SILVA JUNIOR, F. V., **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**, 2008.

BRAUN, A.; SCHEIDT, P. **América do sol**, 2012. Disponível em: <http://americadosol.org/energia_fotovoltaica/>. Acesso em 17/08/2018.

BRITO, M. A. G., **Research on photovoltaics: review, trends and perspectives**. In: Brazilian Power Electronics Conference (COBEP). p. 531-537, 2011.

CABELLO, A.; F.; POMPERMAYER, F.; M. **Energia Fotovoltaica ligada à rede elétrica: Atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico**, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/963/1/TD_1812.pdf>. Acesso em 10/09/2018.

CCBS Energia. **Células voltaicas**, 2018. Disponível em: <https://www.ccbs-energia.pt/formacao-tecnica/solar-fotovoltaico/celulas-fotovoltaicas>. Acesso em 17/08/2018.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. **Sustentabilidade: Sergipe instala 1º fórum abastecido por energia solar**. Disponível em:<<http://cnj.jus.br/noticias/judiciario/86959-sustentabilidade-sergipe-instala-1-forum-abastecido-por-energia-solar>>. Acesso em: 27/09/2018.

CRESESB. **Centro de referência para energias solar e eólica Sérgio de Salvo Brito**. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em 17/09/2018.

DA SILVA, P.; M.; M.; F. **Breve história da energia solar**, 2004. Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em: 04/09/2018.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L.; **Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável**, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/19195/pdf>

ENERGISA, **Tipos de tarifas**, 2018. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em 10/09/2018.

FONASH, S.; J. **Solar cell**, 2018. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/solar-cell>. Acesso em 01/09/2018.

GREENBRAS. **Energia limpa para todos**. Energia Solar nos estádios de futebol no Brasil. Disponível em: <<http://greenbras.com/energia-solar/energia-fotovoltaica-no-brasil/a-energia-solar-nos-estadios-brasileiros/>>. Acesso em: 06/09/2018.

G1. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/usina-de-energia-solar-de-pirapora-inicia-producao-conheca.ghtml>. Acesso em 30/09/2018.

JANNUZI, G. M.; VARELLA, F. K. O. M.; GOMES, R. D. M.; **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação**, 2009.

MME. **Ministério de Minas e Energia**, 2018. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/luz-para-todos-completa-12-anos-com-15-6-milhoes-de-brasileiros-beneficiados. Acesso em 29/08/2018.

MORAIS, L. C. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Bauru. p. 136. 2015.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 2017.

PINHO, J.; T.; GALDINO, M.; A. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**, 2014. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>>. Acesso em 23/08/2018.

POZZOBON, B. Gazeta do povo, Governo tem bilhões para geração caseira de energia, mas exclui Sul e Sudeste 2018, Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/politica/republica/governo-tem-bilhoes-para-geracao-caseira-de-energia-mas-exclui-sul-e-sudeste-81ykfup49j9cykou01de5hnlb/>

PRADO, F. A. A.; FERREIRA, M. J. G.; SANTOS, J. J.; MARZULO, J. P.; SILVA, L. S.; CARMO, L. S.; PEREIRA, O. L. S.; REIS, T. V. M., CRAVEIRO, P. M. A.; BALDINI, R.; BENINCA, S. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**, 2004. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual de Engenharia FV 2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf)>. Acesso em 27/08/2018.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**, 2004.

SANTOS, F. F. **Utilização de energia fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia**. Porto, 2011. (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

SHAYANI, R. A.; DE OIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I.M. T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5.,2006, Brasília. Anais... Brasília: Universidade de Brasília, 2006, p. 1-16.

SOUZA, R.; D. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**: Livro digital de introdução aos sistemas solares. Ribeirão Preto: [s.n.], 2016. 114 p. Disponível em:<<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em 04/09/2018.

STERN, E. **KrinatSolar, Ligações Série e Paralelo entre módulos**, 2017. Disponível em:<<https://krinatsolar.com.br/ligacoes-serie-e-paralelo-entre-os-modulos/>>. Acesso em: 05/09/2018.

TIBA, C. **Atlas Solarimetrico do Brasil**, 2000. Disponível em:<[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas Solarimetrico do Brasil 2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf)>. Acesso em 14/08/2018.

TIEPOLO, G. M.; CASTAGNA, A. G.; CANGIOLIERI JUNIOR, O.; BETINI, R. C. **Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 7., 2012. Curitiba. Anais... Energia para o século XXI: Sociedade e desenvolvimento, 2012, p. 2-15.

TOGAWA, V. **Energia solar fotovoltaica**, 2017. Disponível em:<<http://togawaengenharia.com.br/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 24/08/2018

TRIBUNAL DE JUSTICA DO ESTADO DE SERGIPE. Disponível em: <<http://cnj.jus.br/noticias/judiciario/86959-sustentabilidade-sergipe-instala-1-forum-abastecido-por-energia-solar>>. Acesso em: 08/09/2018.

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. **Breve história da energia solar**, 2004. Disponível em:< <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em 10/09/2018.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEXO

ANEXO A – Datasheet Inversor – Fronius Galvo

/ Carregadores de Bateria / Tecnologia de Soldagem / Energia Solar

Fronius

SHIFTING THE LIMITS

FRONIUS GALVO

/ O inversor à prova do futuro para os sistemas de pequeno porte e de auto-consumo.

/ Processo de
substituição da
placa PC/ Sistema de
Monitoramento/ HF transformador
de potência

/ Injeção WLAN

/ Dado de
conexão de
abertura/ Smart Grid
Ready

/ Com categorias que vão de energia 1,5-3,1 kW, o Fronius Galvo é otimizado para sistemas de auto-consumo. O relé integrado de gestão de energia permite uma maximização do auto-consumo. Uma série de outros recursos inteligentes tornam o Fronius Galvo um dos inversores mais à prova de futuro da sua classe: por exemplo, o registro de dados integrado, a simples conexão à internet por WLAN, ou a tecnologia plug-in card para adaptação funções adicionais.

DADOS TÉCNICOS FRONIUS GALVO

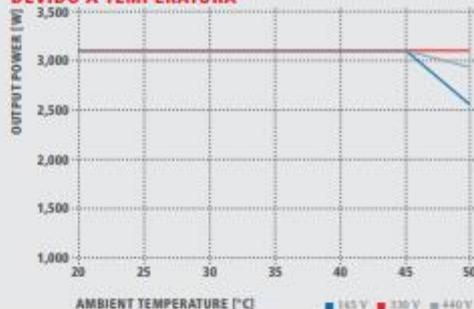
DADOS DE ENTRADA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ^{*)}	GALVO 3.1-1
Potência CC máxima para ens q=1	1,600 W	2,140 W	2,650 W	3,160 W	3,310 W
Máx. corrente de entrada	13,3 A	17,8 A	16,6 A	19 A	20,7 A
Máx. tensão de entrada	20,0 V	26,8 V	24,8 V	29,6 V	31,0 V
Tensão de tensão MPP	120 V			165 V	
Mín. tensão de entrada	120 V			165 V	
Perda em tensão inicial	260 V			330 V	
Tensão nominal de entrada	420 V			550 V	
Máx. tensão de entrada (UDC max)	120 - 535 V			165 - 440 V	
Número de ligações CC			3		
DADOS DE SAÍDA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ^{*)}	GALVO 3.1-1
Saída Nominal	1,500 W	2,000 W	2,500 W	3,000 W	3,100 W
Potência de saída máx	1,500 VA	2,000 VA	2,500 VA	3,000 VA	3,100 VA
Corrente de saída máx.	7,2 A	9,7 A	12,1 A	14,5 A	15,0 A
Tensão de tensão			1-100% 230 V		
Tensão de saída mín.			180 V		
Tensão de saída máx.			270 V		
Frequência			50 Hz / 60 Hz		
Faixa de frequência			48 - 65 Hz		
Fator de distorção			< 4 %		
Fator de Potência			0,95 - 1 ind. / exp.		
DADOS GERAIS	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ^{*)}	GALVO 3.1-1
Dimensões (altura x largura x profundidade)			445 x 431 x 204 mm		
Peso			16,8 kg		
Grado de Proteção			IP 55		
Classe de Proteção			3		
Categoria de sobretensão (DC / AC)			2 / 3		
Consumo Nominal			< 1 W		
Conexão certificada			Transformador HF		
Resfriamento			Resfriamento de ar controlado		
Instalação			Montagem interna e externa		
Faixa de temperatura ambiente			-25 - +50 °C		
Umidade relativa permitida			0 a 100 %		
Tecnologia de conexão de cabo			Parafuso terminal de conexão 2,5 mm ² - 16 milímetros		
Principais tecnologia de conexão			Parafuso terminal de conexão 2,5 mm ² - 16 milímetros		
Certificação and compliance with standards			DVE ORIGIN E 8001-4-712, AS 4777-2, AS 4777-3, AS 1100, DIN V VDE 0126-3-1/A1, VDE AR N 4103, IEC 62109-1-2, IEC 62116, IEC 61727, CER 06-190, CEI 0-21, EN 50438, GSE, G39, AENI, NBR 16144		

* disponível para os países onde as instalações 3 kW aplicam. Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores no seu país pode ser encontrada em www.fronius.com.br

FRONIUS GALVO 3.1-1 CURVA DE EFICIÊNCIA



REDUÇÃO DA POTÊNCIA DO FRONIUS GALVO 3.1-1 DEVIDO À TEMPERATURA



DADOS TÉCNICOS FRONIUS GALVO

EFICIÊNCIA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Max. eficiência	95,9 %	96,0 %	96,1 %	96,1 %	96,1 %
Eficiência típica (η _{typ})	94,5 %	94,8 %	95,2 %	95,4 %	95,4 %
η at 5 % P _{ac,r} ²⁾	84,5 / 86,0 / 86,0 %	84,2 / 86,1 / 85,9 %	88,6 / 89,6 / 89,4 %	88,2 / 89,2 / 89,1 %	88,4 / 89,4 / 89,4 %
η at 10 % P _{ac,r} ²⁾	87,5 / 88,7 / 88,6 %	89,6 / 91,4 / 91,3 %	91,2 / 92,3 / 91,4 %	91,8 / 93,1 / 92,3 %	91,9 / 93,1 / 92,3 %
η at 20 % P _{ac,r} ²⁾	91,3 / 93,3 / 93,1 %	92,6 / 94,3 / 93,9 %	94,0 / 94,8 / 94,5 %	94,4 / 95,0 / 94,9 %	94,5 / 95,0 / 95,0 %
η at 25 % P _{ac,r} ²⁾	92,4 / 94,1 / 93,9 %	93,1 / 94,9 / 94,5 %	94,5 / 95,1 / 95,0 %	94,8 / 95,3 / 95,3 %	94,8 / 95,3 / 95,4 %
η at 30 % P _{ac,r} ²⁾	93,0 / 94,6 / 94,3 %	93,6 / 95,2 / 94,9 %	94,8 / 95,5 / 95,5 %	94,8 / 95,7 / 95,6 %	94,9 / 95,8 / 95,6 %
η at 35 % P _{ac,r} ²⁾	93,9 / 95,5 / 95,2 %	94,3 / 95,8 / 95,2 %	95,0 / 95,7 / 95,2 %	95,0 / 96,0 / 95,5 %	95,0 / 96,1 / 95,6 %
η at 75 % P _{ac,r} ²⁾	94,2 / 95,6 / 95,4 %	94,0 / 95,9 / 95,8 %	94,8 / 95,9 / 95,6 %	94,6 / 95,8 / 95,6 %	94,5 / 95,6 / 95,6 %
η at 100 % P _{ac,r} ²⁾	94,0 / 95,9 / 95,8 %	93,5 / 95,4 / 95,5 %	94,8 / 95,7 / 95,5 %	93,9 / 95,4 / 95,3 %	93,7 / 95,2 / 95,3 %
MPP adaptation efficiency			> 99,9 %		
DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Medição de isolamento CC		Alerta / interrupção da luz solar (depende da configuração de cada país) com I _{lim} + 600 kV			
Compartimento de sobrecarga		Monitorização do ponto de operação, limitação da produção			
Disjuntor CC		Integrado			
INTERFACES	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
WLAN / Ethernet LAN		Fronius Solar web / Fronius Solar web, Fronius Modbus TCP, S04M			
8 inputs or 4 digital inputs/output		Interface com o sistema de armazenamento			
USB (A socket) ³⁾		Para entradas USB			
2x RS422 (RTS socket) ³⁾		Fronius Solar Net - protocolo de interface			
Signalling output ³⁾		Gerenciamento de energia (baseia de relé livre de potencial)			
Data logger and Webserver		Integrado			

¹⁾ Disponível para os países onde as normativas 3 kW aplicam ²⁾ E a U_{app,inv} / U_{dc} / U_{app,inv} ³⁾ também disponível na versão simples. Mais informações sobre a disponibilidade dos acessórios no seu país pode ser encontrada em www.fronius.com.br

/ Carregadores de Bateria / Tecnologia de Soldagem / Energia Solar

NÓS TEMOS TRÊS DIVISÕES E UM OBJETIVO: SUPERAR LIMITES.

/ Seja em Carregadores de Bateria, Tecnologia de Soldagem ou na Energia Solar - a nossa missão é claramente definida: ser líder em tecnologia e qualidade. Com mais de 3.000 funcionários em todo o mundo, nós superamos os limites do que é possível, como prova disso temos 737 patentes ativas. Enquanto os outros se desenvolvem lentamente, nós ultrapassamos barreiras. Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite www.fronius.com



Home Office AM
+55 92 8249-1415

Fronius do Brasil Comércio
Indústria e Serviços Ltda

Filial RS
R. Inspetor Valdemar F. Arruda,
309, Cinquentenário
Caxias do Sul
CEP 95012-640 - RS

Filial SP Interior
R. Padre Francisco Van
Der Maas, 12-25
Jd. Contorno - Barueri
CEP 17047-020

Filial MG
Rua L1, 213
Arvoredo
Contagem - MG
CEP: 323113-188
Tel +55 31 3472-6000

Filial PR/SC
Rua John Lennon, 225
Alfonso Pena, São José
dos Pinhais - PR
CEP: 83050-380
Tel +55 41 3283-6217

Escritório central
Av. Dr. Ulysses Guimarães, 3389
Vila Nogueira, Diadema, SP
CEP: 09990-080
Telefone +55 11 3563-3800
Fax +55 11 3563-3777
ventas.solar@fronius.com
www.fronius.com.br