

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU**

**JOSÉ SÉRGIO SPERNEGA COTA
PROF. DR. RENATO DE CAMPOS (ORIENTADOR)**

**PANORAMA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E ANÁLISE ECONÔMICA DE
MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO ESTADO DE SÃO PAULO**

BAURU – SP

2021

JOSÉ SÉRGIO SPERNEGA COTA

**PANORAMA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E ANÁLISE ECONÔMICA DE
MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso à
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia,
campus de Bauru para o curso de
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Renato de Campos.

Bauru - SP

2021

RESUMO

Atualmente, em geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos, o estado de São Paulo possui 754,2MW de potência instalada em geração distribuída e 373,1MW em geração centralizada. O potencial de capacidade estimado para o estado é de 9.100MW, ou seja, apenas 12% do potencial solar no estado de São Paulo é explorado. Neste trabalho foi realizado um estudo acerca do panorama da energia elétrica no Brasil focado no estado de São Paulo, através de uma revisão sistemática da literatura e coleta e análise de dados governamentais e órgãos responsáveis pela fiscalização da geração e distribuição de energia elétrica. Também foi realizada uma análise de viabilidade econômica pelos métodos do Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback Descontado em dois cenários distintos de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, sendo um para uma indústria com alto consumo elétrico e outro para uma residência com baixo consumo. Concluiu-se que há viabilidade econômica na implantação de um sistema de geração distribuída, com um retorno do investimento em cinco anos, para os dois casos, além de uma taxa interna de retorno maior que a taxa mínima de atratividade considerada. Concluiu-se também que, devido ao grande potencial solar disponível, um mercado nacional de equipamentos fotovoltaicos e maiores incentivos fiscais devem ser considerados para, cada vez mais, explorar de modo sustentável o mercado fotovoltaico e o potencial energético do estado de São Paulo.

Palavras-chave: energia solar; sistema fotovoltaico; geração distribuída.

ABSTRACT

Currently, in electricity generation by photovoltaic systems, the state of São Paulo has 754,2 MW of installed power in distributed generation and 373,1 MW in centralized generation. The estimated capacity potential for the state is 9.100 MW, in other words, about just 12% of the solar potential in the state of São Paulo is explored. In this research, was made a study about the panorama of electric energy in Brazil focused on the state of São Paulo, through a systematic review of the literature and data collection and analysis of the government and agencies responsible for overseeing the generation and distribution of electric energy. An economic viability analysis was also carried out using the methods of Net Present Value, Internal Rate of Return and Discounted Payback in two different scenarios for the implementation of a photovoltaic system connected to the grid, one for an industry with high electrical consumption and the other for a residence with low consumption. It was concluded that there is an economic feasibility in the implementation of a distributed generation system, with a return on investment in five Years, for both cases. It was also concluded that, due to the large solar potential available, a national market for photovoltaic equipment and greater tax incentives should be considered to increase the photovoltaic market and explore the solar potential of the state of São Paulo, in a sustainable way.

Keywords: solar energy; photovoltaic system; distributed generation.

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Oferta Interna de Energia Solar por Fonte.....	20
Gráfico 2 -	Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.....	23
Gráfico 3 -	Potência Instalada em Geração Centralizada (MW).....	24
Gráfico 4 -	Potência Instalada em Geração Distribuída (MW).....	24
Tabela 1 -	Geração de Eletricidade por Fonte por Região em GWh.....	25
Tabela 2 -	Geração de Eletricidade por Fonte por Estado do Sudeste em GWh.....	25
Tabela 3 -	Principais Usinas Fotovoltaicas do Estado de São Paulo.....	27
Tabela 4 -	Histórico de consumo da Empresa X.....	32
Tabela 5 -	Comparativo de orçamentos para sistema fotovoltaico de 473,1 kWp.....	32
Tabela 6 -	Comparação de custos, fluxo de caixa econômico e Payback da implantação de um SFCR para a Empresa X.....	33
Tabela 7 -	Histórico de consumo da Residência Y do ano de 2020.....	34
Tabela 8 -	Comparativo de orçamentos para sistema fotovoltaico de 4,4 kWp.....	35
Tabela 9 -	Comparação de custos, fluxo de caixa econômico e Payback da implantação de um SFCR para a Residência Y.....	35

LISTA DE MAPAS E FIGURAS

MAPA 1 -	Potencial de Geração Solar Fotovoltaico no Brasil (kWh/kWp).....	22
MAPA 2 -	Incidência Solar Global no Estado de São Paulo.....	26
FIGURA 1 -	Usina de Ribeirão do Inferno, Minas Gerais.....	10
FIGURA 2 -	Tipos de Radiação Solar.....	12
FIGURA 3 -	Representação Esquemática dos Componentes de um Módulo Fotovoltaico.....	14
FIGURA 4 -	Esquematização de um sistema <i>OFF-GRID</i>	16
FIGURA 5 -	Esquematização de um sistema <i>ON-GRID</i>	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APE – Autoprodutor de Energia

EVA – Etileno Acetato de Vinilo

FV – Fotovoltaico

GC – Geração Centralizada

GD – Geração Distribuída

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SIN – Sistema Interligado Nacional

Sumário

Lista de Tabelas e Gráficos	6
Lista de Mapas e Figuras	7
Lista de Abreviaturas e Siglas	8
1. Introdução.....	10
2. Revisão Bibliográfica.....	12
2.1. Radiação Solar.....	12
2.2. Célula Fotovoltaica.....	13
2.3. Módulo Fotovoltaico.....	14
2.4. Sistemas Fotovoltaicos.....	15
2.4.1. Sistema de Geração Centralizada.....	15
2.4.2. Sistema de Geração Distribuída.....	15
2.4.2.1. Regulamentação Brasileira: Geração Distribuída.....	17
3. Método de Pesquisa.....	19
4. Desenvolvimento.....	20
4.1. Panorama da Matriz Elétrica Brasileira.....	20
4.2. Panorama da Energia Fotovoltaica no Brasil.....	21
4.3. Panorama da Matriz Elétrica do Estado de São Paulo.....	25
4.4. Panorama da Energia Fotovoltaica no Estado de São Paulo.....	26
4.5. Análise Econômica da Geração Distribuída.....	28
4.5.1. Tarifação.....	28
4.5.2. Análise de Viabilidade Econômica da Implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.....	31
4.5.2.1. Primeiro Cenário – Minigeração Distribuída.....	31
4.5.2.2. Segundo Cenário – Microgeração Distribuída.....	34
5. Resultados.....	36
6. Conclusão.....	36
Referências Bibliográficas.....	38

1. Introdução

Em meados do século XIX a exploração de energia elétrica no Brasil era inexpressiva, sendo predominantemente produções autossuficientes em pequena escala para abastecer, principalmente, as atividades agrárias e indústrias. A primeira usina hidrelétrica, Usina de Ribeirão do Inferno (Figura 1), inaugurou suas operações no ano de 1883 na cidade de Diamantina em Minas Gerais, possuindo uma linha de transmissão de 2km de extensão, considerada a maior do mundo na época. A referida usina foi um marco na exploração e expansão do potencial elétrico brasileiro, abrindo portas para investimentos, majoritariamente privados, em outras usinas de energia e para o crescimento econômico do país (MALAGUTI, 2009).

Figura 1 – Usina de Ribeirão do Inferno, Minas Gerais.



Fonte: Site Conheça Minas, 2020.

Apenas na década de 1930, no governo de Getúlio Vargas, devido ao seu plano de governo que visava a industrialização do Brasil, começou-se a crescer os investimentos públicos no setor energético a fim de suprir a expansão industrial. Além das hidrelétricas esses investimentos também foram destinados em grande parte ao petróleo. No governo de Jânio Quadros, em 1961, foi inaugurada a Eletrobrás, empresa estatal com o intuito de expandir a oferta de energia elétrica no país através de estudos, projetos e construções de usinas, subestações e linhas de transmissão (DOS REIS, 2021).

Com uma demanda crescente de consumo do petróleo, na década de 1970, o mundo vivenciou o que foi chamado de grande crise do petróleo, motivada por conflitos bélicos aumentaram-se os embargos no fornecimento de petróleo aumentando seu preço e diminuindo sua oferta, o que gerou uma crise não só energética, mas como econômica. Esse cenário fomentou investimentos em fontes alternativas de energia e abriu fortemente o mercado para a iniciativa privada no Brasil (CORRÊA, 2016).

No período pós crise do petróleo até o início do século XXI o setor energético brasileiro se desenvolveu baseado principalmente nas hidrelétricas, porém devido ao grande crescimento econômico e irregularidade pluvial o país passou por uma crise energética nos anos de 2000/2001, conhecida como “apagão”. A partir dessa crise, o Brasil passou a procurar e investir mais em outras fontes renováveis de energia, como a biomassa, a eólica e a fotovoltaica (MACEDO, 2014).

Motivado pela necessidade de fontes de energia elétrica renováveis com menor impacto ao meio ambiente e pelo crescente desenvolvimento do mercado de sistemas de geração solar fotovoltaica no Brasil, o objetivo desse trabalho é fazer um levantamento e análise de dados do panorama de energia elétrica no Brasil com foco no estado de São Paulo e realizar uma análise da viabilidade econômica, por diferentes métodos, da implantação de um sistema fotovoltaico (FV) conectado à rede da distribuidora (MALAGUTI, 2009).

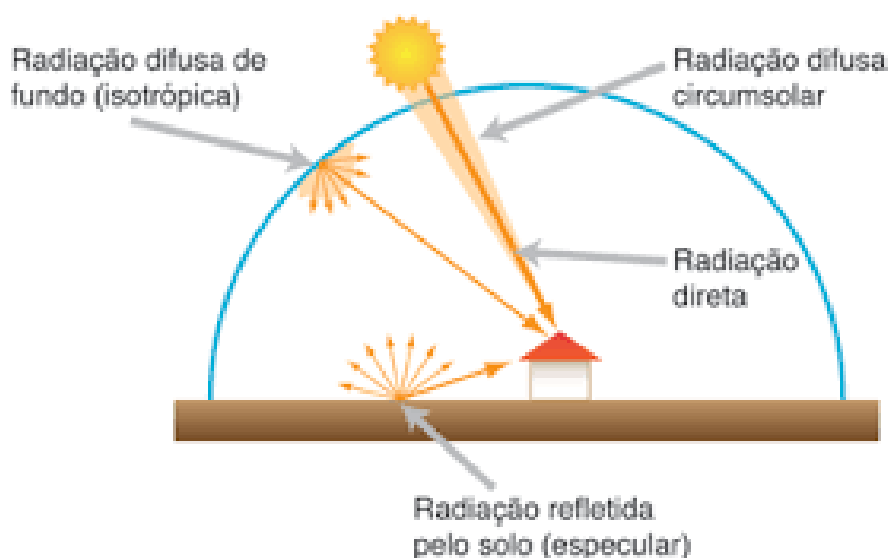
2. Revisão Bibliográfica

2.1. Radiação Solar

Radiação pode ser definida como a energia eletromagnética que se propaga em meio não material. Essa energia é oriunda de variações temporais no campo eletromagnético e possui características ondulatórias, como comprimento de onda e frequência de oscilação, sendo a distância entre as duas cristas consecutivas e o tempo de passagem de número de cristas por um ponto de referência, respectivamente. O comprimento de onda é geralmente expresso em centímetros, e a frequência em Hertz (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A maior parte da radiação emitida pelo Sol situa-se na faixa de comprimento de onda entre 0,15 e 4,0 μ sendo que a maioria da radiação que atinge a superfície do Planeta Terra está na faixa do infravermelho e na visível. A radiação solar pode ser dividida em três principais tipos (Figura 2): radiação direta; radiação difusa; e radiação de Albedo (MAGARREIRO, 2013). Basicamente, a radiação direta é a radiação que vem diretamente do Sol, a radiação difusa é a radiação que sofre desvios pelos gases da atmosfera e a radiação de Albedo é a radiação que é refletida em superfícies sólidas.

Figura 2 – Tipos de Radiação Solar.



Fonte: MAGARREIRO, et al., 2013

A fim de se mensurar a radiação utiliza-se as seguintes grandezas: fluxo de radiação (Φ_e); irradiância (E_e); e a emitância (M_e). O fluxo de radiação é a quantidade de energia transmitida por unidade de tempo, a irradiância é o fluxo incidente por unidade de área e a emitância é o fluxo emitido por unidade de área. Sendo suas unidades de medida, segundo o Sistema Internacional de Unidades, o Watts (W) para o fluxo e o Watts por metro quadrado (W/m^2) para a irradiância e emitância (VAREJÃO-SILVA, 2006).

2.2. Célula Fotovoltaica

O físico francês Edmond Becquerel, em 1839, observou em experimentos com células eletroquímicas, que ao serem submetidas à luz produziam corrente elétrica, descobrindo o efeito fotovoltaico. Quatro décadas depois, em 1880, a partir dos estudos do britânico Willoughby Smith que descobriu a fotocondutividade no elemento selenium, Charles Fritts inventou a primeira célula fotovoltaica feita a partir de selenium, porém com baixa eficiência. Em 1954, nos EUA foi publicado o primeiro artigo científico sobre células fotovoltaicas ("*A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power*"), sendo considerada como base para os estudos e desenvolvimento de novas tecnologias fotovoltaicas ao longo dos anos (BOSIO, 2020).

Basicamente, uma célula fotovoltaica é um sistema composto por um material semicondutor que na presença de luz gera uma diferença de potencial, sendo a mais usual a célula de silício com junção do tipo p-n. O silício em forma pura não possui elétrons na sua camada de valência, portanto se faz necessário o processo de dopagem para a geração de cargas positivas (silício tipo P) e negativas (silício tipo N). Com a incidência de luz na célula os fótons absorvidos se chocam com os elétrons da estrutura fornecendo energia e criando uma região interna (camada de depleção) com um campo elétrico intenso capaz de criar um fluxo de elétrons do lado P para a camada N, gerando uma diferença de potencial de entre os terminais. Esse processo é chamado de efeito fotovoltaico (LIMA, 2019).

2.3. Módulo Fotovoltaico

A potência máxima de uma célula fotovoltaica típica é relativamente baixa, por volta de 3Wp, não sendo suficiente para aplicações práticas. Portanto se faz necessário um arranjo em série-paralelo com o intuito de alcançar uma potência viável para diferentes usos, em que no mínimo é necessário para alimentar uma bateria de 12V, portanto o arranjo de células num módulo é constituído por volta de 33 a 36 células. Os módulos fotovoltaicos representam essas configurações de células interconectadas, em que o polo negativo (parte frontal) de uma célula é soldado ao polo positivo (parte posterior) da célula subsequente (BENEDITO, 2009).

As células fotovoltaicas por si só, assim como os módulos, são frágeis e suscetíveis a condições ambientais adversas e impactos mecânicos que podem danificar o sistema, portanto se faz necessário uma proteção contra esses agentes externos. Para esse fim, os módulos são constituídos por uma moldura metálica, geralmente de alumínio anodizado, que confere uma rigidez mecânica, um vidro temperado ou polímero transparente que permite a entrada de luz e protege as células contra impactos mecânicos, uma película de etileno acetato de vinilo (EVA) que envolve as células e garante o isolamento elétrico entre as células, e um isolante elétrico (*backsheet*) que protege a parte posterior do módulo evitando a entrada de gases e líquidos (CARNEIRO, 2010). A Figura 3 mostra uma representação esquemática dos componentes de um módulo fotovoltaico.

Figura 3 – Representação esquemática dos componentes de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Site Portal Solar.

2.4. Sistemas Fotovoltaicos

2.4.1. Sistema de Geração Centralizada

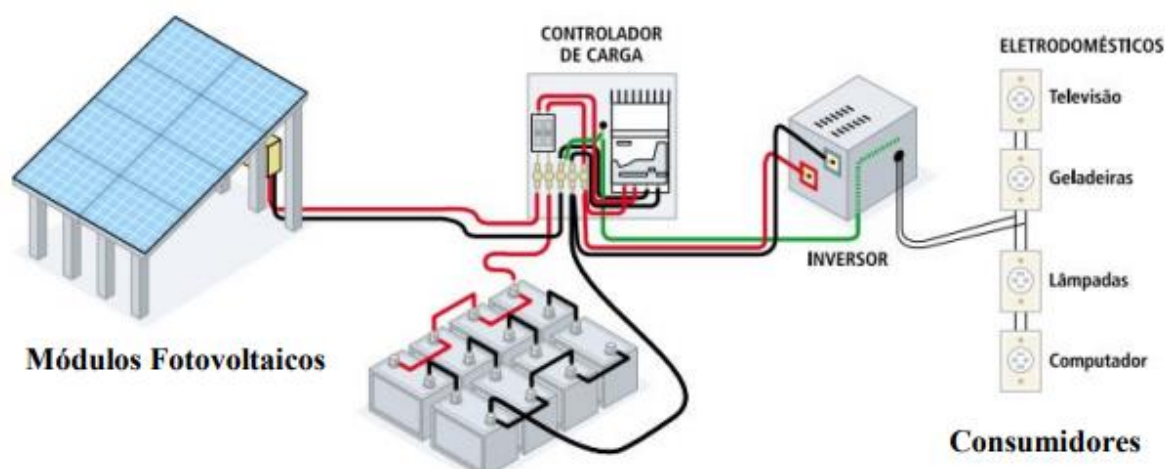
A geração centralizada é um sistema em que a produção de energia é feita num determinado local a fim de fornecer para uma ou mais unidades consumidoras distantes. No âmbito da energia solar são sistemas conhecidos como usinas ou parques de energia solar (PEREIRA, 2019).

2.4.2. Sistema de Geração Distribuída

Geração distribuída é a produção de energia por qualquer fonte e em qualquer escala onde o local de geração fica próximo à unidade de consumo (IEA, 2002). Os sistemas fotovoltaicos distribuídos podem ser classificados em três categorias: sistemas isolados (off-grid); sistemas conectados à rede (on-grid); e sistemas híbridos.

Sistemas fotovoltaicos isolados, também conhecidos como sistemas *off-grid*, ou até mesmo sistemas autônomos, são compostos por um arranjo de painéis solares ligados a um controlador de carga que por sua vez é conectado a um ou mais inversores e um banco de baterias, como representado pela figura 6. Esse tipo de sistema é conectado diretamente ao local de consumo, em que a energia gerada é utilizada instantaneamente para o abastecimento dos equipamentos elétricos e o excesso de energia é armazenado no banco de baterias e ficam disponíveis para uso posterior. O sistema autônomo independe de redes elétricas convencionais, por isso geralmente é aplicado em locais com restrições técnicas e/ou ambientais, como áreas rurais, na iluminação e sinalização pública e de estradas, entre outras aplicações. A principal vantagem desse tipo de sistema é a independência de concessionárias elétricas, conseqüentemente de suas tarifações e potenciais falhas. Entretanto a principal desvantagem dos sistemas *off-grid* é o elevado custo de aquisição e manutenção do banco de baterias. A Figura 4 mostra uma esquematização de um sistema *OFF-GRID* (PINHO, 2014).

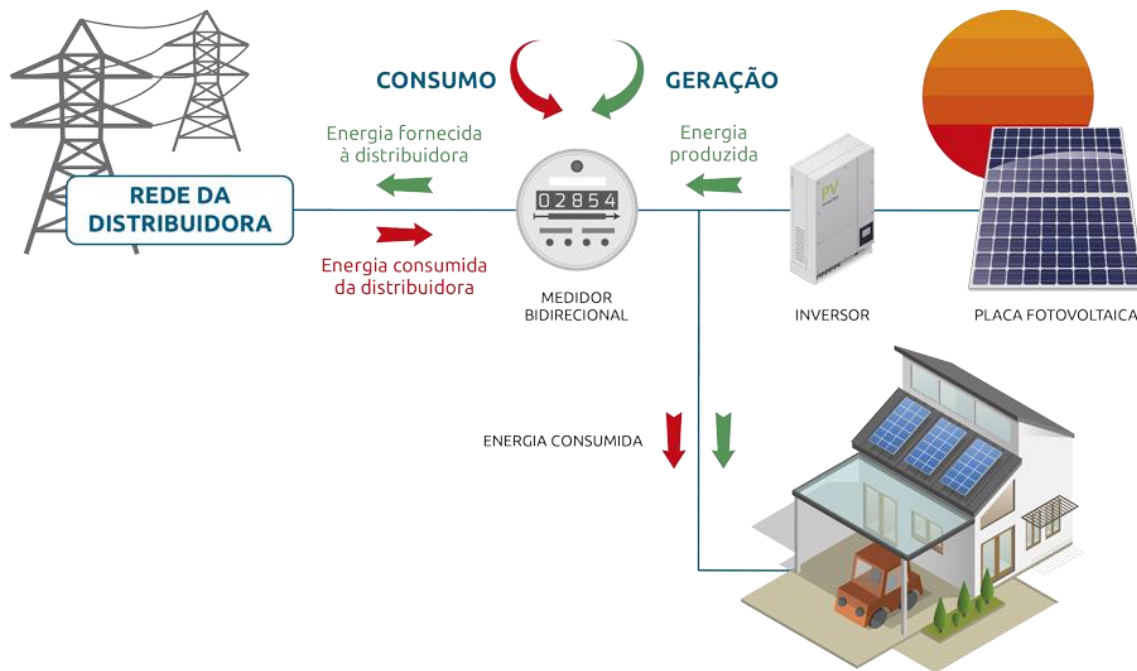
Figura 4 – Esquematisação de um sistema *OFF-GRID*.



Fonte: PINHO, 2014.

Sistemas conectados à rede, também chamados de sistemas *on-grid*, esquematizado na Figura 5, são compostos por um arranjo de painéis solares conectados a um ou mais inversores de corrente. Do(s) inversor(es), a energia para uso instantâneo é distribuída ao local de consumo e o excedente é direcionado à rede de distribuição da concessionária de energia, em que este excedente é controlado por um medidor bidirecional. Este tipo de sistema é o mais comum no Brasil. Tem como vantagem não precisar de um banco de baterias o que diminui o custo do projeto, e a existência do sistema de compensação de crédito com a concessionária elétrica definido pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, em que o excedente de energia fica armazenado como crédito de energia na rede da distribuidora por até 5 anos. A principal desvantagem desse tipo de sistema é ser dependente da concessionária em que o sistema está conectado, pois numa eventual falta de energia da rede elétrica, o sistema fotovoltaico é interrompido por medidas de segurança.

Figura 5 – Esquematização de um sistema *ON-GRID*.



Fonte: Site Invocare Solar.

Os sistemas híbridos são os sistemas fotovoltaicos que possuem as características dos dois sistemas citados a cima, *on-grid* e *off-grid*. Ou seja, são arranjos de painéis solares com seus inversores e controladores de carga conectados tanto à rede de distribuição da concessionária quanto à um banco de baterias. Esse sistema tende a minimizar os problemas que os sistemas autônomos e conectados à rede possuem, pois não se faz necessário um banco de baterias muito grande, reduzindo o custo do investimento, e também se protege contra uma eventual falta de energia pela distribuidora.

2.4.2.1. Regulamentação Brasileira: Geração Distribuída

O grande crescimento da demanda energética e do uso de fontes renováveis para geração de energia no Brasil despertou a necessidade de uma regulamentação a fim de se definir padrões que garantissem a qualidade e a segurança no âmbito de geração e distribuição de energia elétrica. Hoje em dia, o órgão responsável por regular e fiscalizar o sistema elétrico brasileiro é a ANEEL, uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada em 26 de dezembro de 1996 sob a Lei nº

9.427, que teve como suas atribuições principais: a regulação da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; fiscalização das concessões, permissões e serviços; implementação de políticas e diretrizes do governo em relação a exploração de energia; estabelecimento de tarifas; obstrução de divergências administrativas entre agentes e consumidores; e promoção das atividades de outorga de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica.

No âmbito da energia solar fotovoltaica, em 17 de abril de 2012 a Resolução Normativa nº 482 da ANEEL estabeleceu as “condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica”. Em que se define a geração distribuída como uma central geradora de energia elétrica que utilize cogeração qualificada de fontes renováveis conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, sendo a microgeração distribuída instalações com potência menor ou igual a 75 kWp e minigeração distribuída com potência superior a 75 kWp e inferior ou igual a 5 MWp. Definiu-se também: o sistema de compensação de energia elétrica, em que o excedente de energia elétrica injetada na rede pela unidade consumidora pode ser compensado posteriormente; sistema de melhoria e reforço por meio de instalações, substituições ou adequações da rede elétrica; e empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto que são categorias que permitem o compartilhamento de energia elétrica oriunda de uma micro ou minigeração a mais de uma unidade consumidora. Além das definições citadas antes, a REN 48/2012 da ANEEL propõe uma redução tarifária que varia entre 25% e 30% em relação as tarifas de consumo de energia da distribuidora, uma vez que o micro e minigerador tem o custo de implantação do sistema de geração de energia elétrica (ANEEL, 2012).

3. Método de Pesquisa

A partir da delimitação do tema e do objetivo do trabalho, foi realizado uma busca da literatura nas bases de dados Scielo, Scopus, Google Scholar, Portal Capes e *Web Of Science*, através das palavras-chaves: energia solar; *solar energy*; energia fotovoltaica; *photovoltaic energy*; sistema fotovoltaico; *photovoltaic system*; geração distribuída; e geração centralizada. Dos artigos selecionados foi possível estabelecer critérios de busca mais refinados a fim de obter o conhecimento necessário para formular a Revisão Bibliográfica, para a qual foi realizada uma nova busca de literatura nas mesmas bases de dados com as seguintes palavras-chave: radiação solar; *solar radiation*; célula fotovoltaica; *photovoltaic cell*; painéis fotovoltaicos; e *photovoltaic panels*. Após a revisão de literatura, foi efetuada uma busca de dados nos sites oficiais do governo federal, do governo do estado de São Paulo e de órgãos responsáveis pela geração e distribuição de energia elétrica no Brasil, com o intuito de coletar e analisar dados atualizados referente ao panorama da geração, distribuição e consumo de energia elétrica no Brasil com foco no estado de São Paulo e na energia fotovoltaica.

Por fim, foi realizada uma análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede em dois cenários distintos. O primeiro cenário considerou uma indústria situada no estado de São Paulo com um consumo energético elevado, e o segundo cenário considerou uma residência também situada no estado de São Paulo com um consumo de energia relativamente baixo. Em ambos os casos, a unidade consumidora em questão disponibilizou o histórico de consumo de energia do ano de 2020. A partir do histórico de consumo foi determinado um consumo médio anual que foi utilizado para a realização de orçamentos em empresas do estado de São Paulo, dos orçamentos, selecionou-se o de menor valor para os dois casos. Dados os custos em energia elétrica antes da implantação de um sistema FV e o custo de implantação do sistema FV, realizou-se a análise de viabilidade econômica considerando três métodos: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback Descontado.

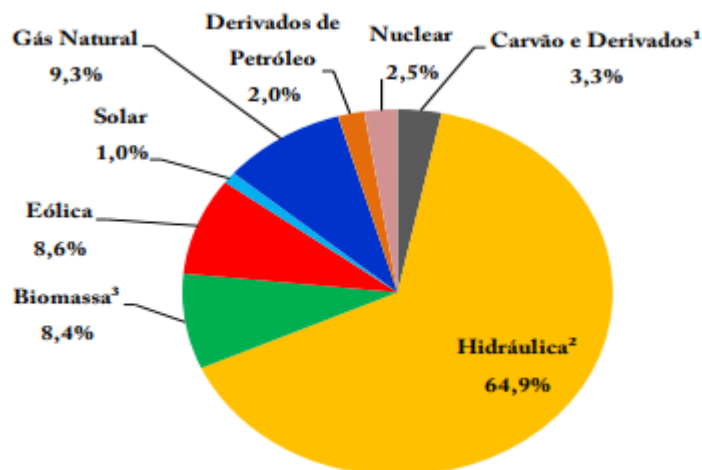
4. Desenvolvimento

4.1. Panorama da Matriz Elétrica do Brasil

O Brasil possui uma área de aproximadamente 8.512.000 km², possuindo uma área de dimensões continentais. O Brasil possui características relevantes em relação à geração de energia por fontes renováveis. É um dos países com maior produção e disponibilidade hídrica, alcançando em torno de 19% dos recursos hídricos disponíveis no mundo, possui condições pluviométricas favoráveis e também um grande potencial de incidência de radiação solar (EMBRAPA, 2001).

Segundo último Balanço Energético Nacional, que teve como base o ano de 2019, a geração de energia elétrica no Brasil foi de 626,3TWh, sendo a geração hidrelétrica responsável pela grande maioria da produção, correspondente a 64,9%. O gráfico abaixo ilustra a oferta interna de energia elétrica por fonte.

Gráfico 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.



Fonte: EPE, 2020.

Dos 626,3TWh gerados, 83,7% são de centrais elétricas de serviço público, 25TWh são de importação líquida e 102,4TWh oriundos de autoprodução (APE) sendo que 56%, aproximadamente, da energia de autoprodução não são injetadas na rede. Em relação ao ano de 2018, o Brasil teve um aumento de 2,3% na geração de energia elétrica. O consumo total no ano em questão foi de 545,6TWh, em que os setores

industrial e residencial representam 62%, sendo 35,9% e 26,1% do consumo final, respectivamente (EPE, 2020).

Apesar do Brasil ter um grande potencial em relação à geração de energia por fontes renováveis, principalmente a hidráulica, o país já passou por uma crise energética no início do século XXI devido à escassez de recursos e a alta demanda de energia. Na presente data o Brasil se encontra novamente passando por essa situação, em que o regime irregular de chuvas afetou negativamente o abastecimento dos principais reservatórios que são responsáveis por alimentar as hidrelétricas, forçando o governo a acionar termoelétricas para suprir a demanda de energia do território nacional (CANEPPELE, 2021).

Diante as crises energéticas já vivenciadas e a dificuldade de se implementar novos grandes centros geradores hidrelétricos e termelétricos, devido ao alto custo e questões ambientais, governo e empresas vem buscando cada vez mais energia por fontes alternativas, principalmente a eólica e a solar.

A geração de energia eólica e fotovoltaica, hoje representam 8,6% e 1,0% da matriz brasileira, respectivamente. São números praticamente inexpressivos diante do grande potencial que o país dispõe. Segundo dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001) o Brasil tem um potencial de 272,2TWh por ano, ou seja, apenas 19% do potencial eólico do Brasil é explorado atualmente. Em relação à energia solar, de acordo com o Plano Nacional de Energia 2050, considerando apenas as melhores áreas disponíveis seria possível a instalação de 307GWp o que em um ano tem potencial de geração de aproximadamente 2.698TWh, hoje são gerados apenas 62,63TWh, ou seja, 2% do potencial (MME, 2050).

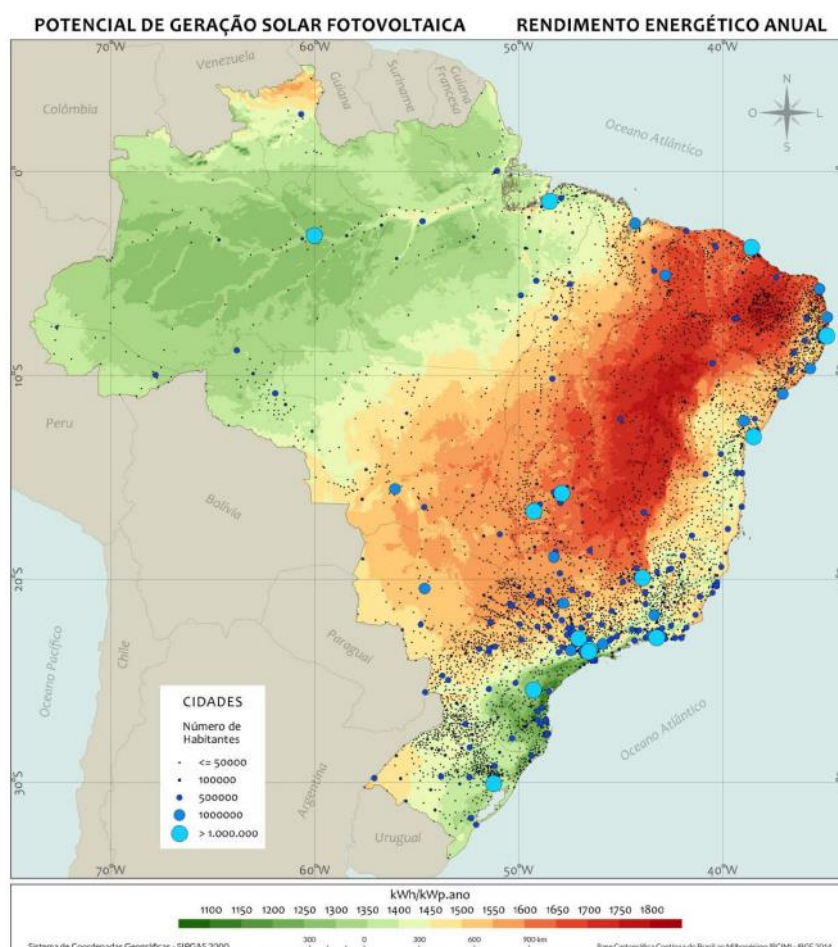
4.2. Panorama da Energia Fotovoltaica no Brasil

A energia solar é hoje a fonte que mais cresce em capacidade instalada no mundo. Devido à procura cada vez maior por fontes alternativas e renováveis, ao desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias, ao decrescente custo e ao grande potencial de recursos disponíveis, a utilização de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica expandiu em 20% no último ano (IRENA, 2020).

O Brasil também vem seguindo essa tendência mundial. É um dos países com maior incidência de radiação solar, em que mesmo nos pontos menos ensolarados é possível gerar mais energia do que em países europeus que estão mais avançados em relação à geração de energia solar fotovoltaica, apesar do Brasil ter um potencial elevado para o desenvolvimento desse setor. O Mapa 1, mostra o rendimento anual medido em kWh de energia gerada para cada kWp de potência instalada.

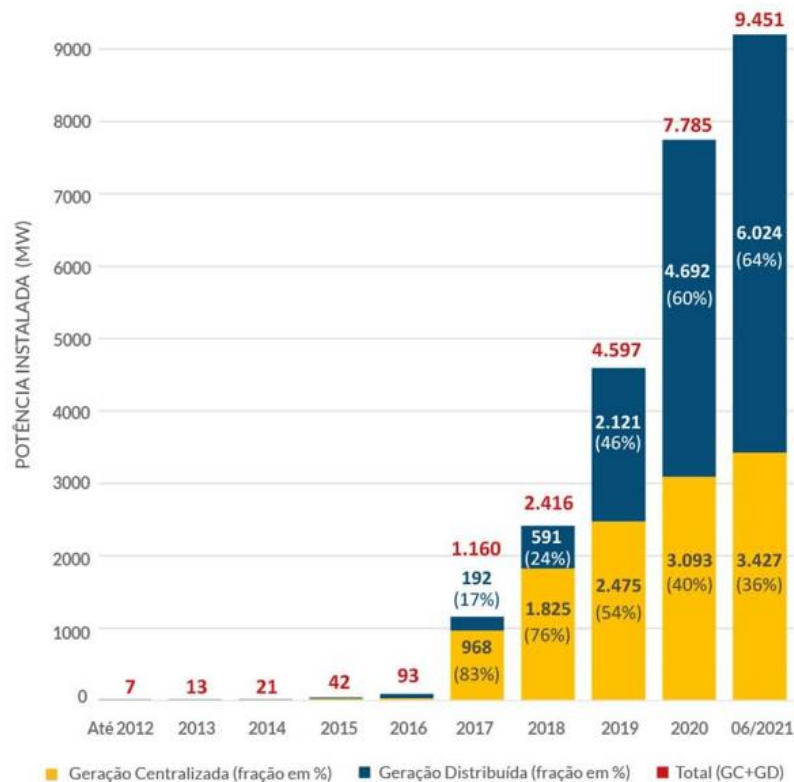
Apesar do grande potencial disponível no Brasil, e como já citado no capítulo anterior, apenas 1%, aproximadamente, da oferta interna de energia elétrica do Brasil é oriunda de energia solar. Mesmo ainda inexpressivo diante de todo potencial disponível, a geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos teve um grande crescimento na última década, tanto em geração distribuída quanto centralizada. O Gráfico 2, ilustra essa evolução (ABSOLAR, 2021).

Mapa 1 – Potencial de Geração Solar Fotovoltaica no Brasil (kWh/kWp).



Fonte: INPE, 2017.

Gráfico 2 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ABSOLAR, 2021.

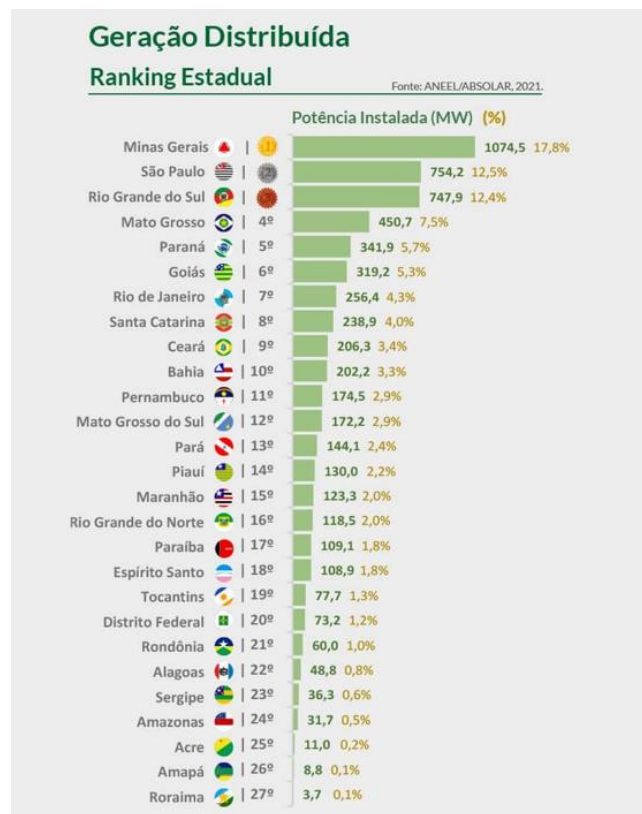
Outro dado relevante ao panorama da energia solar no Brasil é referente às gerações centralizadas e distribuídas. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) também disponibilizou gráficos que mostram a potência instalada em cada estado do país de sistemas de geração solar centralizados e distribuídos, ilustrados no Gráficos 3 e Gráfico 4, respectivamente. Nota-se uma predominância no estado de Minas Gerais tanto na geração centralizada como na distribuída, com aproximadamente 33% e 17,8%, respectivamente. (ABSOLAR, 2021)

Gráfico 3 – Potência Instalada em Geração Centralizada (MW).



Fonte: ABSOLAR, 2021.

Gráfico 4 – Potência Instalada em Geração Distribuída (MW).



Fonte: ABSOLAR, 2021.

4.3. Panorama da Matriz Elétrica do estado de São Paulo

O Estado de São Paulo, dentre as 27 unidades federativas, é o estado mais rico do Brasil. Com uma população de 44.269.710 habitantes e 645 municípios, o estado é responsável por 31,5% do PIB brasileiro.

Considerando as principais fontes de geração de energia em uso no Brasil, pelo último Balanço Energético Nacional que tem como base o ano de 2019, a geração de energia é distribuída entre as regiões de acordo com a Tabela 1 (EPE, 2020).

TABELA 1 – Geração de Eletricidade por Fonte por Região em GWh.

	TOTAL	HIDRO	EÓLICA	SOLAR	NUCLEAR	TERMO
BRASIL	626.328	397.877	55.986	6.655	16.129	149.682
NORTE	121.066	105.889		55		15.122
NORDESTE	108.119	23.614	50.072	3.578		30.854
SUDESTE	182.008	90.399	61	2.295	16.129	73.123
SUL	136.332	114.465	5.853	493		15.521
CENTRO OESTE	78.801	63.510		228		15.062

Fonte: EPE, 2020.

Pela tabela nota-se que a região brasileira que tem maior impacto na geração de energia é a Sudeste, responsável por 22% da geração de energia em território nacional. Sendo que a maioria da produção de energia é oriunda de hidrelétricas. Dentro da região Sudeste tem-se o seguinte cenário (Tabela 2), em que o estado de São Paulo se destaca na geração de energia, considerando todas as fontes, especialmente a hidrelétrica (EPE, 2020).

TABELA 2 - Geração de Eletricidade por Fonte por Estado do Sudeste em GWh.

REGIÃO	TOTAL	HIDRO	EÓLICA	SOLAR	NUCLEAR	TERMO
SUDESTE	182.008	90.399	61	2.295	16.129	73.123
MINAS GERAIS	53.108	42.242		1.573		9.293
ESPÍRITO SANTO	8.457	1.311		28		7.119
RIO DE JANEIRO	51.725	5.666	61	65	16.129	29.804
SÃO PAULO	68.718	41.180		629		26.908

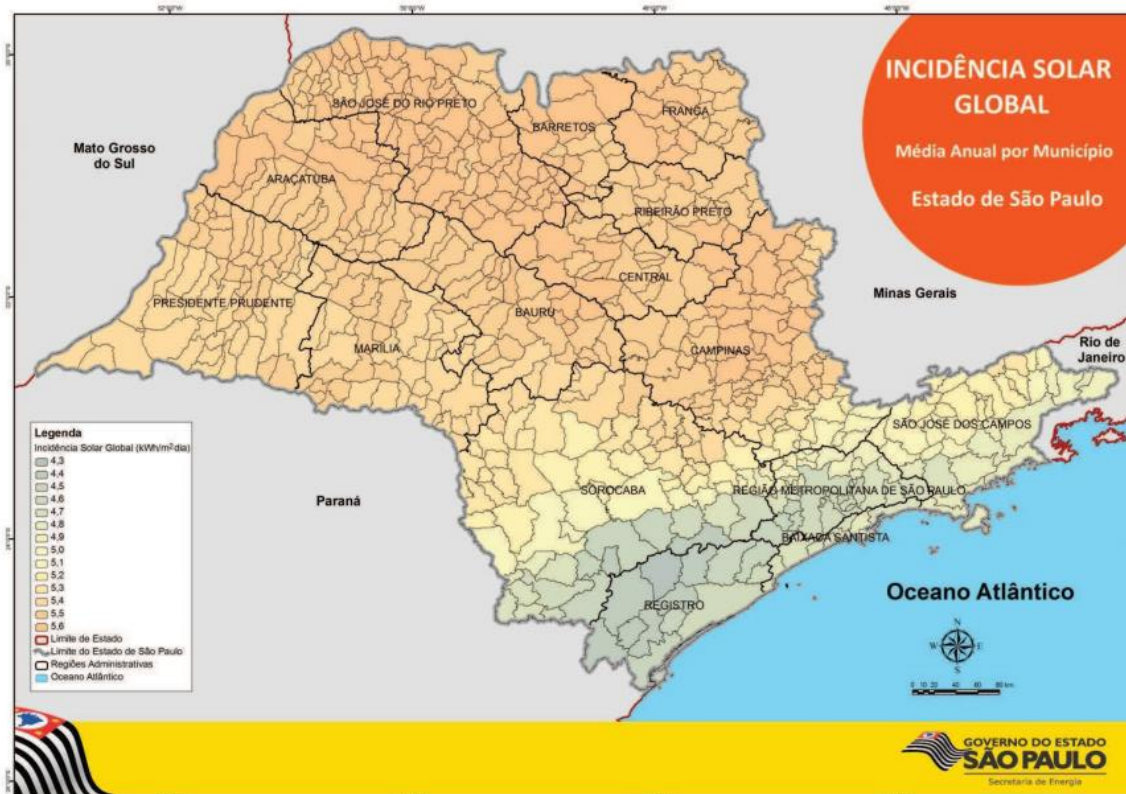
Fonte: EPE, 2020.

Segundo dados da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do estado de São Paulo, atualmente o estado possui por volta de 18,6 milhões de unidades consumidoras atingindo um consumo anual de 145.000 GWh, sendo o setor industrial o principal consumidor com consumo de aproximadamente 52.200 GWh. Mesmo o estado de São Paulo sendo um dos estados que mais gera energia, devido ao seu alto consumo se faz necessário a importação de cerca de 85.000 GWh por ano para abastecer toda a demanda (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

4.4. Panorama da Energia Fotovoltaica no Estado de São Paulo

A Subsecretaria de Energias Renováveis do Governo do Estado de São Paulo realizou um levantamento do potencial de energia solar do estado. A partir da base de dados do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017), determinou-se o potencial de irradiação solar no estado. O Mapa 2 mostra a média anual da incidência solar global no estado de São Paulo.

Mapa 2 – Incidência Solar Global no Estado de São Paulo.



Fonte: INPE, 2017.

Considerando a maior viabilidade técnica e econômica, que corresponde a apenas 10% da área analisada com um faixa de radiação de 5,61 a 5,70 KWh/m²/dia, o estudo concluiu que o estado de São Paulo tem um potencial de 9.100 MWp, ou seja, um potencial de geração de mais de 12 TWh/ano em uma área disponível de 732km² (0,3% do território paulista) (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013).

Conforme o último relatório da ANEEL/ABSOLAR de julho de 2021, o estado de São Paulo possui de potência instalada 754,2MW em geração distribuída e 373,1MW em geração centralizada, equivalente a aproximadamente 12,4% do potencial calculado pela Subsecretaria de Energias Renováveis do Governo do Estado de São Paulo em 2013. A Tabela 3 mostra as principais usinas fotovoltaicas do estado de São Paulo com suas respectivas potências e cidades onde são estabelecidas (ABSOLAR, 2021).

TABELA 3 – Principais usinas fotovoltaicas do Estado de São Paulo.

USINA	POTÊNCIA FISCALIZADA (KW)	MUNICÍPIO
BOA HORA 1	23040	OUROESTE
BOA HORA 2	23040	OUROESTE
BOA HORA 3	23040	OUROESTE
DRACENA 1	27000	DRACENA
DRACENA 2	27000	DRACENA
DRACENA 4	27000	DRACENA
GLOBO BRASIL	117	VALINHOS
GUAIMBÉ 1	30000	GUAIMBÉ
GUAIMBÉ 2	30000	GUAIMBÉ
GUAIMBÉ 3	30000	GUAIMBÉ
GUAIMBÉ 4	30000	GUAIMBÉ
GUAIMBÉ 5	30000	GUAIMBÉ
IEE	12,26	SÃO PAULO
IMT SISTEMA HÍBRIDO PARTE 2	0,26	BOITUVA
LEDA RODRIGUES BUSSE	10,05	IGARAÇU DO TIETÊ
NGK 1	60	MOGI DAS CRUZES
PV BETA TEST SITE	1,7	BARUERI

RESID. EDUARDO B. G.	18,72	SÃO PAULO
SOLARIS	1,04	LEME
TANQUINHO	1082	CAMPINAS
UFV IEE/ESTACIONAMENTO	3	SÃO PAULO

Fonte: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019.

Mesmo ainda sendo uma parcela baixa, tanto em relação ao potencial quanto em relação às demais fontes de energia elétrica, a geração de energia elétrica solar fotovoltaica teve um crescimento expressivo na última década. Em 2011, o estado de São Paulo possuía uma capacidade instalada de por volta de 207MW em equipamentos solares, ou seja, de 2011 até o presente momento o uso de energia solar teve um aumento superior a 500%. A Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo tem como uma das suas principais linhas de atuação o desenvolvimento de uma “sólida base tecnológica e de toda a cadeia produtiva da indústria solar”, para isso adota medidas de incentivo tarifário e de adesão ao setor (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

4.5. Análise Econômica de Geração Distribuída

Considerando o crescente desenvolvimento da geração distribuída de energia solar fotovoltaica, faz-se necessário uma análise econômica em que serão analisados os custos de implantação e manutenção de um sistema fotovoltaico conectado a rede da concessionária de energia em comparação com os custos de um consumidor cativo, ou seja, o consumidor que compra energia diretamente da distribuidora.

4.5.1. Tarifação

Primeiramente, faz-se necessário a compreensão do como é tarifada a energia elétrica no estado de São Paulo. A distribuidora de energia considera três fatores para a definição da tarifa: custo de energia gerada; custo de transmissão e distribuição; e encargos setoriais e tributos. O valor da energia adquirida pelas distribuidoras a partir

de 2004 passou a ser determinado por leilões públicos, além das variações do custo de geração de energia decorrente da livre concorrência. Os custos de transmissão da geradora para a distribuidora e de distribuição da distribuidora para o consumidor final são tarifados pela ANEEL, uma vez que não há competição com ganhos econômicos nesse setor. Já os encargos setoriais e tributos são tarifas determinadas por lei embutidos nos custos de geração, transmissão e distribuição, além do PIS/COFINS, ICMS e Tarifa de Iluminação Pública. Os custos da distribuidora são classificados em Parcela A e Parcela B, sendo a primeira referente a compra de energia, transmissão e encargos setoriais que corresponde a 53,5% do valor final, e a segunda referente à distribuição da energia, correspondente a 17% do valor final, os 29,5% restantes são dos tributos fiscais. Anualmente o valor da energia paga pelo consumidor é reajustada com o objetivo de restabelecer o poder de compra das concessionárias, para isso são consideradas as variações de custos da Parcela A e a Parcela B é corrigida pelo índice inflacionário. Além disso, a cada quatro anos ocorre a Revisão Tarifária Periódica, em que os custos operacionais, a cota de depreciação e a remuneração do investimento são considerados para a redefinição dos valores da Parcela B (ANEEL, 2016).

Todos esses custos citados a cima são rateados para o consumidor final proporcionalmente ao seu consumo, além disso, a tarifa para os consumidores cativos que pertencem ao Sistema Integrado Nacional (SIN) também está sujeita ao Sistema de Bandeiras Tarifárias, que indicam variação no valor dependendo das condições de geração de eletricidade. Existem quatro categorias de bandeiras tarifárias:

- Bandeira Verde: condições favoráveis, não há acréscimo na tarifa;
- Bandeira Amarela: condições menos favoráveis, acréscimo de R\$0,01874 por kWh;
- Bandeira Vermelha - Patamar 1: condições pouco favoráveis, acréscimo de R\$0,03971 por kWh;
- Bandeira Vermelha – Patamar 2: piores condições, acréscimo de R\$0,09492 por kWh.

Outro fator que diferencia na tarifação do consumidor cativo é o grupo tarifário a que ele pertence. A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL divide os consumidores em dois grupos principais com seus subgrupos, são eles:

- Grupo A: Unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas por sistema subterrâneo em tensão secundária.
 - Subgrupo A1: tensão superior a 230 kV;
 - Subgrupo A2: tensão entre 88 kV e 138 kV;
 - Subgrupo A3: tensão igual a 69 kV;
 - Subgrupo A3a: tensão entre 30 kV e 44 kV;
 - Subgrupo A4: tensão entre 2,3 kV e 25 kV;
 - Subgrupo AS: tensão inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo.
- Grupo B: Unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV.
 - Subgrupo B1: residencial;
 - Subgrupo B2: rural;
 - Subgrupo B3: demais classes;
 - Subgrupo B4: iluminação pública.

O horário de consumo de energia elétrica também é um influenciador no custo final. Cada distribuidora, no seu processo de Revisão Tarifária Periódica, define os Postos Tarifários, em que em certos horários do dia há diferença na tarifação do consumo de energia, sendo eles os horários de ponta, fora ponta e intermediário. Pela REN 414/2010 a ANEEL, as unidades do Grupo A são sujeitas aos horários de ponta e fora ponta, e as unidades do Grupo B aos horários ponta, fora ponta e intermediários. No estado de São Paulo, o horário de ponta corresponde ao período das 17h30 às 20h30 dos dias úteis, o intermediário das 16h30 às 17h30 e de 20h30 às 21h30 e o horário fora de ponta são os demais períodos. (ANEEL, 2016)

Em relação aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, a tarifação é bem mais simples. Pelo fato do consumidor ser responsável por arcar com as despesas da instalação e manutenção do sistema de micro ou minigeração distribuída, não há tarifação em cima do consumo de energia da unidade consumidora. Entretanto, para os consumidores do Grupo B, há a cobrança por parte da distribuidora do custo de disponibilidade, uma vez que há uso da rede elétrica da concessionária, pois, energia

gerada é injetada na rede. Nesse caso é cobrado o valor em reais equivalente ao padrão de entrada da unidade de consumo, 30kWh para monofásico, 50kWh para bifásico e 100kWh para trifásico. Para as unidades consumidoras do Grupo A, a parcela de energia pode ser zerada caso a quantidade de energia injetada seja superior à demanda contratada, que é a potência mínima que a distribuidora precisa disponibilizar para o consumidor (ANEEL, 2012).

4.5.2. Análise de Viabilidade Econômica da Implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR)

Nesta seção será feita uma análise de viabilidade econômica pelos métodos do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* Descontado para dois cenários. Para tal, com o auxílio uma planilha automatizada no software Excel fez-se possível determina-se o fluxo de caixa ao longo de 10 anos e os resultados para os métodos citados.

O objetivo é identificar se é viável financeiramente a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em substituição do consumo cativo de energia por um período de 10 anos, correspondente à vida útil média de um inversor de corrente fotovoltaico.

Para essa análise, foi considerado um reajuste anual na tarifa de energia de 7,5% no valor total, valor o qual foi estipulado a partir da média do histórico de tarifação das concessionárias do estado, e uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 5,5%, referente à taxa SELIC. Além disso, considera-se também que as unidades consumidoras possuem estrutura em telhado suficiente e instalações elétricas dentro do padrão para suportar o sistema fotovoltaico.

4.5.2.1. Primeiro Cenário – Minigeração Distribuída

O primeiro cenário considera uma indústria metalúrgica real situada no estado de São Paulo, denominada nesse trabalho como Empresa X, que disponibilizou uma fatura de energia elétrica do ano de 2020. Essa empresa pertence ao Subgrupo A4

sob tarifação da Bandeira Verde. A partir das informações contidas nessa fatura foi possível desenvolver a Tabela 4, que se refere ao histórico de consumo detalhado da empresa no ano em questão, e determinar o custo médio do kWh igual a R\$ 0,65.

Tabela 4 – Histórico de consumo da Empresa X.

HISTÓRICO DE CONSUMO ANUAL - EMPRESA X								
2020	CONSUMO FORA PONTA (kWh)	VALOR CONSUMO FORA PONTA	CONSUMO PONTA (kWh)	VALOR CONSUMO PONTA	TOTAL (kWh)	DEMANDA CONTRATADA (kW)	VALOR DA DEMANDA CONTRATADA	VALOR TOTAL
MÊS 1	47.894	R\$ 21.570,73	761	R\$ 1.216,53	48.655	450	R\$ 5.181,21	R\$ 31.596,80
MÊS 2	52.674	R\$ 23.723,67	780	R\$ 1.246,90	53.454	450	R\$ 5.181,21	R\$ 34.713,08
MÊS 3	42.358	R\$ 19.077,48	696	R\$ 1.112,62	43.054	450	R\$ 5.181,21	R\$ 27.959,31
MÊS 4	43.216	R\$ 19.463,91	853	R\$ 1.363,60	44.069	450	R\$ 5.181,21	R\$ 28.618,45
MÊS 5	44.741	R\$ 20.150,75	1.015	R\$ 1.622,57	45.756	450	R\$ 5.181,21	R\$ 29.713,99
MÊS 6	45.633	R\$ 20.552,50	1.239	R\$ 1.980,66	46.872	450	R\$ 5.181,21	R\$ 30.438,72
MÊS 7	48.523	R\$ 21.854,11	1.564	R\$ 2.500,20	50.087	450	R\$ 5.181,21	R\$ 32.526,55
MÊS 8	47.639	R\$ 21.455,97	1.369	R\$ 2.188,48	49.008	450	R\$ 5.181,21	R\$ 31.825,84
MÊS 9	54.123	R\$ 24.376,28	1.563	R\$ 2.498,60	55.686	450	R\$ 5.181,21	R\$ 36.162,54
MÊS 10	71.298	R\$ 32.111,67	6.532	R\$ 10.442,02	77.830	450	R\$ 5.181,21	R\$ 50.542,88
MÊS 11	75.401	R\$ 33.959,61	6.204	R\$ 9.917,68	81.605	450	R\$ 5.181,21	R\$ 52.994,37
MÊS 12	78.532	R\$ 35.369,77	6.332	R\$ 10.122,30	84.864	450	R\$ 5.181,21	R\$ 55.110,77
TOTAL	652.032	R\$ 293.666,44	28.908	R\$ 46.212,18	680.940	5.400	R\$ 62.174,52	R\$ 442.203,31
MÉDIA	54.336	R\$ 24.472,20	2.409	R\$ 3.851,02	56.745	450	R\$ 5.181,21	R\$ 36.850,28

Fonte: Dados da pesquisa.

Pela Tabela 4, o consumo médio da empresa foi de 680.940 kWh/ano, a partir dessa informação foram feitos três orçamentos em diferentes empresas do ramo de sistemas fotovoltaicos conectados à rede do estado de São Paulo, de acordo com a Tabela 5. Dentre os orçamentos, escolheu-se o da Empresa 1 por oferecer o menor valor.

Tabela 5 – Comparativo de orçamentos para sistema fotovoltaico de 473,1 kWp.

	Geração (kWh/mês)	Potência (KWp)	Quantidade de Placas	Potência Placas (Wp)	Valor	R\$/kWh
EMPRESA 1	681.264	473,10	1.392	340	R\$ 1.558.319,61	R\$ 2,29
EMPRESA 2	681.264	473,50	1.064	445	R\$ 1.662.743,09	R\$ 2,44
EMPRESA 3	685.306	477,40	1.178	405	R\$ 1.978.331,00	R\$ 2,89

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota-se que a potência do sistema fotovoltaico a ser instalada é de 473 kWp, aproximadamente, portanto faz-se necessário um aumento na demanda contratada

para 473 kW, sendo que a atual é de 450 kW. Nesse caso, considerando que o custo do kW para a demanda contratada é de R\$ 11,51 por kW, de acordo com a Tabela 4, o custo anual da empresa com demanda contratada seria de R\$ 65.352,30 no primeiro ano.

Para determinar o fluxo de caixa econômico desse cenário, considerou-se o investimento no sistema fotovoltaico como saída e a economia relativa em gastos de energia elétrica como entrada. Dessa forma definiu-se a seguinte tabela comparativa (Tabela 6).

Tabela 6 – Comparação de custos, fluxo de caixa econômico e Payback da implantação de um SFCR para a Empresa X.

ANO	SEM FOTOVOLTAICA		COM FOTOVOLTAICA			ECONOMIA RELATIVA	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	PAYBACK DESCONTADO
	CONSUMO (kWh)	CUSTO ANUAL	CUSTO INVESTIMENTO	DEMANDA CONTRATADA (473 kW)	CUSTO ANUAL				
0			-R\$ 1.558.319,61				-R\$ 1.558.319,61	-R\$ 1.558.319,61	-R\$ 1.558.319,61
1	680.940	-R\$ 442.202,98	R\$ -	-R\$ 65.352,33	-R\$ 65.352,33	R\$ 376.850,65	R\$ 376.850,65	R\$ 357.204,41	-R\$ 1.201.115,20
2	680.940	-R\$ 475.368,20	R\$ -	-R\$ 70.253,75	-R\$ 70.253,75	R\$ 405.114,45	R\$ 405.114,45	R\$ 363.976,06	-R\$ 837.139,14
3	680.940	-R\$ 511.020,82	R\$ -	-R\$ 75.522,78	-R\$ 75.522,78	R\$ 435.498,03	R\$ 435.498,03	R\$ 370.876,08	-R\$ 466.263,07
4	680.940	-R\$ 549.347,38	R\$ -	-R\$ 81.186,99	-R\$ 81.186,99	R\$ 468.160,39	R\$ 468.160,39	R\$ 377.906,90	-R\$ 88.356,16
5	680.940	-R\$ 590.548,43	R\$ -	-R\$ 87.276,02	-R\$ 87.276,02	R\$ 503.272,42	R\$ 503.272,42	R\$ 385.071,01	R\$ 296.714,85
6	680.940	-R\$ 634.839,57	R\$ -	-R\$ 93.821,72	-R\$ 93.821,72	R\$ 541.017,85	R\$ 541.017,85	R\$ 392.370,94	R\$ 689.085,79
7	680.940	-R\$ 682.452,53	R\$ -	-R\$ 100.858,35	-R\$ 100.858,35	R\$ 581.594,19	R\$ 581.594,19	R\$ 399.809,25	R\$ 1.088.895,04
8	680.940	-R\$ 733.636,47	R\$ -	-R\$ 108.422,72	-R\$ 108.422,72	R\$ 625.213,75	R\$ 625.213,75	R\$ 407.388,57	R\$ 1.496.283,61
9	680.940	-R\$ 788.659,21	R\$ -	-R\$ 116.554,43	-R\$ 116.554,43	R\$ 672.104,78	R\$ 672.104,78	R\$ 415.111,58	R\$ 1.911.395,19
10	680.940	-R\$ 847.808,65	R\$ -	-R\$ 125.296,01	-R\$ 125.296,01	R\$ 722.512,64	R\$ 722.512,64	R\$ 422.980,99	R\$ 2.334.376,19

Fonte: Dados da pesquisa.

Os custos anuais sem fotovoltaica, assim como o custo com demanda contratada com sistema fotovoltaico, apresentam um incremento de 7,5% ao ano referente ao reajuste anual da companhia elétrica. A Economia Relativa refere-se à diferença entre o gasto anual com fotovoltaico e sem fotovoltaico. O Fluxo de Caixa Descontado é o fluxo de caixa econômico ajustado ao Valor Presente pela taxa mínima de atratividade (TMA=5,5%). E por fim, o Payback Descontado é o valor do investimento descontado da economia anual acumulado.

Através dos algoritmos disponíveis no Excel, calculou-se o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno do investimento, as quais resultaram em R\$ 2.334.376,19 e 27%, respectivamente.

4.5.2.2. Segundo Cenário – Microgeração Distribuída

O segundo cenário considera uma residência real, que será denominada Residência Y nesse trabalho, pertencente ao Subgrupo B1 sob a tarifação da Bandeira Verde com padrão elétrico bifásico, que disponibilizou o seguinte histórico de consumo do ano de 2020 (Tabela 7).

Tabela 7 – Histórico de consumo da Residência Y do ano de 2020.

2020	CONSUMO (kWh)	VALOR
MÊS 1	532	R\$ 399,00
MÊS 2	489	R\$ 366,75
MÊS 3	496	R\$ 372,00
MÊS 4	513	R\$ 384,75
MÊS 5	520	R\$ 390,00
MÊS 6	539	R\$ 404,25
MÊS 7	530	R\$ 397,50
MÊS 8	536	R\$ 402,00
MÊS 9	542	R\$ 406,50
MÊS 10	541	R\$ 405,75
MÊS 11	548	R\$ 411,00
MÊS 12	537	R\$ 402,75
TOTAL	6323	R\$ 4.742,25
MÉDIA	527	R\$ 395,19

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir do histórico de consumo determinou-se o valor pago do kWh igual à R\$ 0,75. Vale ressaltar que a residência em questão possui um padrão de entrada elétrica bifásico, portanto tem um custo mínimo referente ao custo de disponibilidade de R\$ 450,00 no primeiro ano.

A partir do consumo médio de 6.323 kWh/ano fez-se três orçamentos em empresas distintas do estado de São Paulo, os quais são mostrados na Tabela 8. Dentre os orçamentos realizados escolheu-se o da Empresa 2 por oferecer o menor valor.

Tabela 8 – Comparativo de orçamentos para sistema fotovoltaico de 4,4 kWp.

	Geração (kWh/ano)	Potência (KWp)	Quantidade de Placas	Potência Placas (Wp)	Valor	R\$/kWh
EMPRESA 1	6.336	4,40	10	445	R\$ 21.761,40	R\$ 3,43
EMPRESA 2	6.336	4,40	13	340	R\$ 20.395,65	R\$ 3,22
EMPRESA 3	6.422	4,50	11	405	R\$ 26.196,69	R\$ 4,08

Fonte: Dados da pesquisa.

O fluxo de caixa econômico considera o valor do investimento como saída financeira e a economia relativa em energia elétrica como entrada. A Tabela 9 exibe os custos sem e com o sistema fotovoltaico, assim como o fluxo de caixa econômico e o Payback Descontado do Investimento, em que os custos sem o sistema FV são referentes ao custo de energia elétrica pagos à distribuidora com um incremento anual de 7,5%, os custos com o sistema FV referem-se ao investimento para implantação do sistema mais o custo de disponibilidade com incremento de 7,5% ao ano, a Economia Relativa é a diferença entre a economia com custo cativo de energia e o custo de disponibilidade, o Fluxo de Caixa Descontado é o valor presente pela TMA de 5% do fluxo de caixa econômico, e por fim o Payback Descontado é o valor do investimento descontado da economia anual acumulado.

Tabela 9 - Comparação de custos, fluxo de caixa econômico e Payback da implantação de um SFCR para a Residência Y.

ANO	SEM FOTOVOLTAICA		COM FOTOVOLTAICA			ECONOMIA RELATIVA	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	PAYBACK DESCONTADO
	CONSUMO (kWh)	CUSTO ANUAL	CUSTO INVESTIMENTO	CUSTO DE DISPONIBILIDADE (BIFÁSICO)	CUSTO ANUAL				
0			-R\$ 20.395,65				-R\$ 20.395,65	-R\$ 20.395,65	-R\$ 20.395,65
1	6.323	R\$ 4.742,25	R\$ -	-R\$ 450,00	-R\$ 450,00	R\$ 4.292,25	R\$ 4.292,25	R\$ 4.068,48	-R\$ 16.327,17
2	6.323	R\$ 5.097,92	R\$ -	-R\$ 483,75	-R\$ 483,75	R\$ 4.614,17	R\$ 4.614,17	R\$ 4.145,61	-R\$ 12.181,56
3	6.323	R\$ 5.480,26	R\$ -	-R\$ 520,03	-R\$ 520,03	R\$ 4.960,23	R\$ 4.960,23	R\$ 4.224,20	-R\$ 7.957,35
4	6.323	R\$ 5.891,28	R\$ -	-R\$ 559,03	-R\$ 559,03	R\$ 5.332,25	R\$ 5.332,25	R\$ 4.304,28	-R\$ 3.653,07
5	6.323	R\$ 6.333,13	R\$ -	-R\$ 600,96	-R\$ 600,96	R\$ 5.732,17	R\$ 5.732,17	R\$ 4.385,88	R\$ 732,80
6	6.323	R\$ 6.808,11	R\$ -	-R\$ 646,03	-R\$ 646,03	R\$ 6.162,08	R\$ 6.162,08	R\$ 4.469,02	R\$ 5.201,83
7	6.323	R\$ 7.318,72	R\$ -	-R\$ 694,49	-R\$ 694,49	R\$ 6.624,24	R\$ 6.624,24	R\$ 4.553,74	R\$ 9.755,57
8	6.323	R\$ 7.867,63	R\$ -	-R\$ 746,57	-R\$ 746,57	R\$ 7.121,05	R\$ 7.121,05	R\$ 4.640,07	R\$ 14.395,64
9	6.323	R\$ 8.457,70	R\$ -	-R\$ 802,57	-R\$ 802,57	R\$ 7.655,13	R\$ 7.655,13	R\$ 4.728,03	R\$ 19.123,67
10	6.323	R\$ 9.092,03	R\$ -	-R\$ 862,76	-R\$ 862,76	R\$ 8.229,27	R\$ 8.229,27	R\$ 4.817,66	R\$ 23.941,34

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados do VPL e da TIR para esse cenário, calculados através do algoritmo do Excel são, R\$ 23.941,34 e 23%, respectivamente.

5. Resultados

No primeiro cenário analisado, referente à uma indústria metalúrgica com consumo médio de 680.940 kWh/ano, o método do Valor Presente Líquido resultou em R\$ 2.334.376,19, um valor positivo que mostra que o investimento é viável e o investidor terá ganhos financeiros ao longo do prazo de 10 anos. Pelo método da Taxa Interna de Retorno o resultado foi de 27% ao ano, superior à Taxa Mínima de Atratividade abordada (5% a.a.), o que realça a viabilidade do investimento. E por fim, pelo método do Payback Descontado vê-se um retorno financeiro em cinco anos.

O segundo cenário analisado, que considerou uma residência com consumo médio de 6.323 kWh/ano, também teve resultados favoráveis. Pelo método VPL resultou em um valor positivo de R\$ 23.941,34 e pela TIR uma taxa de 23% ao ano, ambos os métodos salientam a viabilidade do investimento, e pelo método do Payback Descontado o retorno do investimento ocorre também em cinco anos.

6. Conclusão

Desde o começo da exploração de energia elétrica no Brasil, em meados do século XIX, o país teve a hidrelétrica como matriz energética principal. A princípio, a geração de energia elétrica era de caráter autossuficiente e de pequeno porte destinada a atender a demanda das atividades agrárias. Com o avanço das atividades industriais no Brasil e o crescimento econômico, houve grande investimento por parte do governo, principalmente, e do setor privado para o desenvolvimento de geração de energia elétrica em larga escala através da criação de grandes usinas hidro e termelétricas. Atualmente, o Brasil ainda tem como sua principal matriz energética as hidrelétricas, sendo responsáveis pela geração de quase 65% de toda a energia elétrica do país, justificado pela abundância de recursos hídricos e pluviométricos que o país possui.

Este trabalho verificou que além da grande disponibilidade de recursos hídricos, o Brasil também possui um elevado potencial de geração de energia solar fotovoltaica, o qual, apesar de ser umas das matrizes que mais cresce percentualmente, ainda é pouco explorado. O estado de São Paulo, região foco desse trabalho, possui um potencial solar de geração de energia de 12 TWh/ano, sendo que atualmente apenas 12,4% desse potencial é explorado.

A partir das pesquisas realizadas, nota-se que há no Brasil um bom incentivo à geração distribuída de energia solar fotovoltaica, com normas e tarifas que favorecem economicamente o consumidor, como por exemplo, o sistema de compensação de energia elétrica, o autoconsumo remoto e uma redução tarifária de até 30%.

Após as análises de viabilidade econômica para os dois cenários, concluiu-se que, devido à redução de gastos mensais com energia elétrica, ambos teriam um retorno do investimento no prazo de cinco anos, com uma taxa interna de retorno superior à taxa mínima de atratividade e um valor presente líquido positivo, ratificando a premissa que um investimento em um sistema fotovoltaico conectado à rede é economicamente viável.

Por fim, conclui-se que apesar do crescente desenvolvimento do setor de energia solar fotovoltaica, e de a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede no estado de São Paulo ser viável economicamente, ainda se faz necessário uma exploração maior do potencial solar, que pode ocorrer por mais incentivos fiscais ao consumidor e pelo desenvolvimento de um mercado nacional de equipamentos fotovoltaicos.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Tarifas Consumidores**. 2016. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: junho de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **REN 482/2012**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: 05 de junho de 2021.

AMARANTE, O. A. et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. MME/ELETOBRÁS/CEPEL. Brasília, 2001.

ASSIS, F. N., MENDEZ, M. E. **Relação Entre Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Global**. Pesq. agropec. bras., Brasília, 24(7):797-800, julho 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – ABSOLAR. **Infográficos ABSOLAR**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 14 de julho de 2021.

BENEDITO, R. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob Aspectos Técnicos, Econômico e Regulatório**. Programa de Pós Graduação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BOSIO, A. et al. **The History of Photovoltaic with Emphasis on CdTe Solar Cells and Modules**. Department of Mathematical, Physical and Computer Science, University of Parma. Parma, Itália, 2020.

CANEPPELE, F. L. **Escassez de água pode afetar geração de energia elétrica**. Jornal da USP, 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/escassez-de-agua-pode-afetar-geracao-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

CARNEIRO, J. **Módulos Fotovoltaicos: Características e Associações**. Escola de Ciências, Departamento de Física, Universidade do Minho, Guimarães, 2010.

CHAPIN, D.M. et al. ***A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power***. Bell Telephone Laboratories, Inc., Murray Hill, New Jersey, EUA, 1954.

CORRÊA, A., PEDROSA, O. **A Crise do Petróleo e os Desafios do Pré-Sal**. Caderno Opinião, FGV Energia. 2016.

DA SILVA, V. P. **Grande Empreendimentos Hidrelétricos e Efeitos Socioespaciais: A Usina Hidrelétrica de Miranda, no Município de Indianópolis – MG**. Revista Eletrônica Geoaraguaia. Barra do Garças – MT. V 5, n.1, p 70 – 85, Mato Grosso, 2015.

DOS REIS, A. K. C., et al. **Energia Fotovoltaica: Historicidade e Legislação Pertinente**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.6, p.65012-65032. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo 2001**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/555374/1/doc33.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balanco Energético Nacional (BEN) 2020: Ano base 2019**. Disponível em < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> >. Acesso em junho de 2021.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Energia do Governo do Estado de São Paulo. **Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial**. São Paulo, 2013. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2019/04/2.-atlas_energia_solar_estado_sao_paulo-1.pdf. Acesso em: 15 de julho de 2021.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **USINAS FOTOVOLTAICAS**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/>. Acesso em: junho de 2021.

IRENA (2020), **Renewable capacity statistics 2020**. International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi. Disponível em: <https://irena.org/>

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf. Acesso em: 14 de julho de 2021.

LIMA, A. A. et al. **Uma Revisão dos Princípios da Conversão Fotovoltaica de Energia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 42, e 20190191. Curitiba, Paraná, 2019.

LUQUE, A., HEGEDUS, S. et al. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. Inglaterra, 2002.

MAGARREIRO, Clarisse et al. **RADIAÇÃO E ENERGIA SOLAR**. Lisboa: Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2013. 57-59 p. Disponível em. Acesso em: 01 jun. 2021.

MALAGUTI, G. A. **Regulamentação do Setor Elétrico Brasileiro: da Formação da Indústria de Energia Elétrica aos Dias Atuais**. Faculdade de Economia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, dezembro de 2009.

MACEDO H; TEODORO K; MOURA V; SANTOS R. **A expansão da geração de energia elétrica, após a crise de 2001**. Disponível em: <<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/jice/5jice/paper/viewFile/6449/3222>>. Palmas, 2015. Acesso em: junho de 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Plano Nacional de Energia – 2050**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2021.

PEREIRA, N. X. **Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica No Brasil: Geração Distribuída Vs Geração Centralizada**. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, São Paulo, 2019.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco António. **Manual de Engenharia para sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, março de 2014.

PRUDENCIO, B. N., RAMPINELLI, G. A. **Monitoramento e Análise de Índice de Mérito de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede na Europa e no Brasil.** Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2020.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Versão Digital 2. Recife – PE, 2006. Disponível em [https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf](https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf). Acesso em: 24 de abril de 2021.