



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Bruno Campos dos Santos

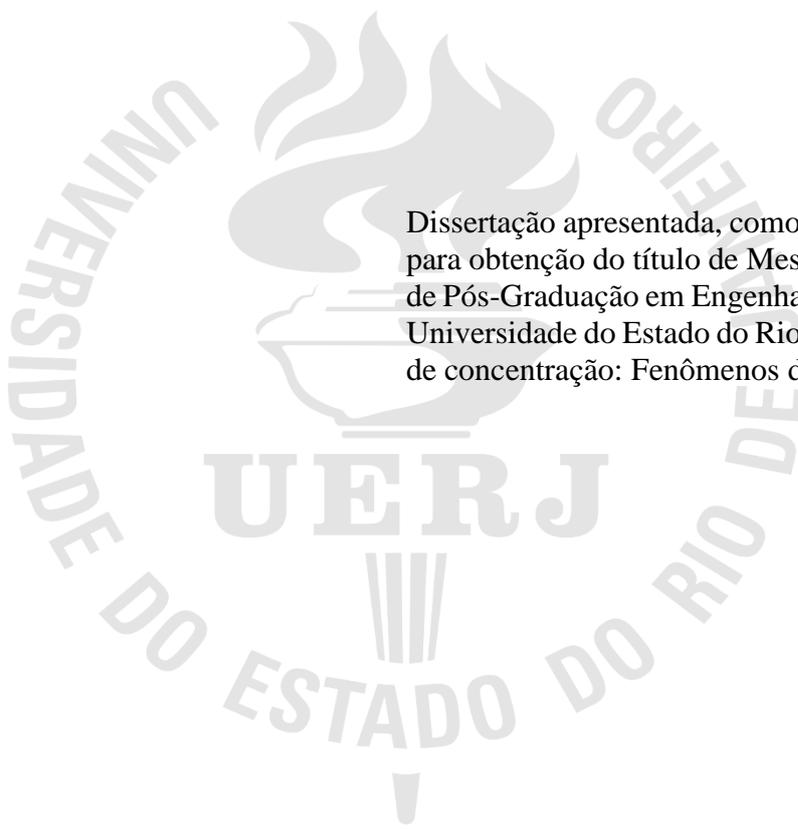
**Mecanismos de Incentivo a geração distribuída de energia fotovoltaica
aplicados ao Estado do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2021

Bruno Campos dos Santos

**Mecanismos de Incentivo a geração distribuída de energia fotovoltaica aplicados ao
Estado do Rio de Janeiro**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos dos Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho

Coorientador: Prof. Dr. Julio Nichioka

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S237 Santos, Bruno Campos dos.
Mecanismos de incentivo a geração distribuída de energia
fotovoltaica aplicados ao Estado do Rio de Janeiro / Bruno Campos dos
Santos. – 2021.
108f.

Orientador: Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho.
Coorientador: Julio Nichioka.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Geração de energia fotovoltaica -
Teses. 3. Energia elétrica - Distribuição - Teses. 4. Energia solar –
Teses. I. Costa Filho, Manoel Antônio da Fonseca. II. Nichioka, Julio.
III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de
Engenharia. IV. Título.

CDU 620.92

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese,
desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

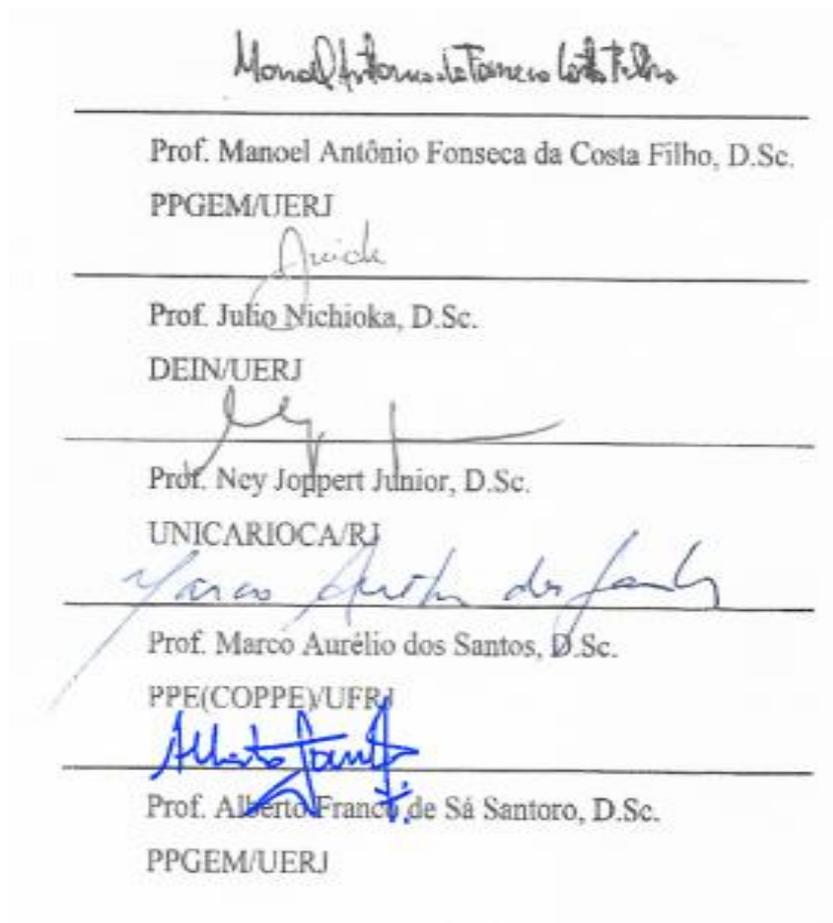
Bruno Campos dos Santos

**Mecanismos de Incentivo a geração distribuída de energia fotovoltaica aplicados ao
Estado do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos dos Transportes.

Aprovado em: 25 de fevereiro de 2021.

Banca Examinadora:



Rio de Janeiro

2021

DEDICATÓRIA

Agradeço primeiramente a Deus.

Aos meus pais Adalberto e Célia, dos quais recebi proteção, informação, afeto, incentivo e suporte para o meu caminhar, sem os quais nada disso seria possível.

A minha irmã, Mariana pelo companheirismo e que acredite em seus sonhos e tenha entusiasmo e coragem para transformá-los em realidade.

A Cristiana, minha namorada, que me incentiva e apoia para continuar evoluindo sempre!

AGRADECIMENTOS

Aos professores e professoras do departamento de Engenharia Mecânica e especialmente aos professores Manoel Antônio e Julio Nichioka que transformaram nossos encontros em momentos de aprendizado e reflexão.

Aos professores Julio Nichioka e Ney Joppert pelo incentivo ao ingresso no Programa de Engenharia Mecânica.

A FAPERJ pelo apoio financeiro.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Pois é Deus quem produz em vós tanto o querer como o realizar,
de acordo com Sua boa vontade.

Filipenses, 2:13

RESUMO

SANTOS, B.C. *Mecanismos de Incentivo a geração distribuída de energia fotovoltaica aplicadas ao Estado do Rio de Janeiro*. 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

A presente dissertação teve como objetivo geral formular uma proposta de programa de incentivo à geração distribuída de energia fotovoltaica, utilizando uma hidrelétrica e termelétrica como referência para comparação com o modelo de uma Usina Solar situada na cidade do Rio de Janeiro, no Estado do Rio de Janeiro. A metodologia utilizada nesta dissertação encontrou-se alicerçada, prioritariamente, nos pilares de identificação de países com melhores práticas na área de produção de energia renovável, em específico a fotovoltaica, e seus mecanismos de incentivo (*Benchmarking*). Prospecção de dados oficiais: Irradiação solar e financeiros, que culminaram na elaboração de cenários de geração e distribuição de energia fotovoltaica. Estes, utilizados para análise de viabilidade econômica face a geração centralizada via usina termelétrica Mauá 3 e usina hidrelétrica Foz do Chapecó. Portanto, o resultado obtido pelas análises realizadas demonstra que a adoção de programas que incentivem a geração de energia fotovoltaica em residências, é menos custoso para o governo, do que a construção de novas usinas termelétricas.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica; Mecanismos de incentivo; Geração distribuída; Energia Solar.

ABSTRACT

SANTOS, B.C. *Incentive mechanisms for distributed generation of photovoltaic energy applied to the State of Rio de Janeiro*. 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The present work aimed to propose an incentive program to distributed photovoltaic energy generation, using the hydropower and the thermopower plants as references in comparison with a solar energy plant, located in Rio de Janeiro city, in the state of Rio de Janeiro. The methodology used is based, primarily, in the identification of countries with best practices in production of renewable energy, specifically photovoltaic, and its incentive mechanisms (Benchmarking). Official data prospection: solar irradiation and financial, that culminated in the elaboration of production and distribution of photovoltaic solar energy scenarios. These data were used to economic feasibility appraisal in relation to the Mauá 3 thermopower plant and Foz do Chapecó hydropower plant. Therefore, the results obtained by the performed analyzes show that applying programs that encourages generation of photovoltaic energy in residences, is cheaper for the government than the construction of new thermopower plant.

Keywords: Photovoltaic energy; Incentive mechanisms; Distributed generation; Solar energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade de Geração de Energias Renováveis no Mundo, BRICS, EU-28 e 6 Países com Maior Geração, 2016.	24
Figura 2- Número de países que adotam políticas de promoção a Energias renováveis, 2016.	26
Figura 3 - Capacidade Fotovoltaica e adições, 10 países líderes, 2020.....	32
Figura 4 - Evolução na capacidade instalada de Energia Solar.....	34
Figura 5 – Parcela cumulativa de patentes de energia renovável em 2017.	35
Figura 6 - Evolução na capacidade instalada de energia solar no Japão.	37
Figura 7 - Matriz Energética Brasileira, 2019.	39
Figura 8 - Matriz Energética Mundial, 2019.	39
Figura 9 - Matriz Elétrica Brasileira, 2019.....	40
Figura 10 - Matriz Elétrica Mundial, 2019.....	42
Figura 11 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte, 2019.....	44
Figura 12- Simulação da demanda de energia familiar- Parte 1.....	59
Figura 13 - Simulação da demanda de energia familiar- Parte 2.....	60
Figura 14 - Simulação da demanda de energia familiar- Parte 3.....	61
Figura 15 - Componentes da Irradiância Solar.....	68
Figura 16 - Irradiância ao longo do dia.....	69
Figura 17 - Irradiação Global Solar no Estado do Rio de Janeiro.....	72
Figura 18 - Mapa Solar RJ - Bairro de Campo Grande.....	73
Figura 19- Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 1).....	75
Figura 20 - Simulação PV F-Chart – Produção de Energia de um módulo fotovoltaico do Campus de São Cristóvão da UERJ.....	80
Figura 21 - Comparação do Potencial de Geração Fotovoltaica entre o Mapa Solar Rio e o Método PV-f-Chart.....	81
Figura 22 - Comparação direta de custos da Usina Solar para mesma capacidade produtiva da usina UHE Foz do Chapecó.....	89
Figura 23 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 2).....	102
Figura 24 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 3).....	103
Figura 25 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 4).....	104
Figura 26 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 5).....	105

Figura 27 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 6)	106
Figura 28 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 7)	107
Figura 29 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 8)	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Investimentos do Programa LPT por Estados da Federação	51
Tabela 2 – Perdas na geração fotovoltaica	62
Tabela 3 - Painei Canadian Solar CS6U-315P	78
Tabela 4 - Tabela de Quantidade de Bens e Serviços, 2021.....	82
Tabela 5 - Tabela de Quantidade de Bens e Serviços II, 2021.....	83
Tabela 6 - EVTE Horizonte de 25 anos (Cenário 0)	84
Tabela 7 – EVTE Horizonte de 25 anos	85
Tabela 8 – EVTE Horizonte de 25 anos (Cenário 1 - Governo custeia 50%).....	86
Tabela 9 - Tabela de Dimensionamento de Custo, 2021.....	87
Tabela 10 - Comparação direta de custos e cenários, 2021.....	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABDIB – Associação Brasileira da Infraestrutura e Indústrias de Base

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

AM – *Air Mass*

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANRE – Agência de Recursos Naturais e Energia do Japão

BEN – Balanço Energético Nacional

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BRICS - Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CDE – Conta de Desenvolvimento Energético

CSP - *Concentrated Solar Power*

DOU – Diário Oficial da União

EIA - Administração de Informações sobre Energia dos EUA

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EU 28 – União Europeia

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

FIT - *Feed-in tariff*

FV – Fotovoltaica

G – Irradiância Global Horizontal

G0 – Irradiância Extraterrestre

Gdif – Irradiância Difusa Horizontal

Gdir – Irradiância Direta Horizontal

GEE – Gases de Efeito Estufa

Gi – Irradiância no plano inclinado

Gn – Irradiância direta normal

GNL – Gás Natural Líquido

GW – Gigawatts

ICTs – Instituições Científicas Tecnológicas

IEA – Agência Internacional de Energia

IPI – Imposto sobre os Produtos Industrializados

IPP – Instituto Pereira Passos

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

ICMS – Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços

ISS – Imposto sobre serviços

IRENA – Agência Internacional para as Energias Renováveis

LIDAR – *Light Detection and Ranging*

LPT – Programa Luz Para Todos

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDB – Movimento Democrático Brasileiro

MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

MDS – Modelo Digital da Superfície

MDT – Modelo Digital do Terreno

MMA – Ministério de Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

METI – Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão

MIGDI – Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica

MW – Megawatts

NEA – Administração Nacional de Energia

NESSA – Núcleo de Estudos Socioambientais

NREL – Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos

ONU – Organização das Nações Unidas

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PADIS – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores

PIS-COFINS – Programa de Integração Social - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

PROESCO – Programa de Apoio a Empresas de Serviços de Conservação de Energia

PT – Partido dos Trabalhadores

RPS – *Renewable Portfolio Standard*

SAS – Sistemas de Aquecimento Solar

SEDEIS – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços do Rio de Janeiro

SIGFI – Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente

SIN – Sistema Interligado Nacional

SINICON – Sindicato Nacional da Indústria da Construção Pesada

UAT – Transmissão em Ultra-Alta Tensão

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
Contextualização	16
Cenário Mundial	17
Objetivo	18
Hipótese	19
Justificativa e relevância	19
Organização	20
1. Revisão da Literatura: <i>BENCHMARKING</i>: POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	21
1.1 Conceitos de Energia Solar	21
1.2 Cenário Mundial	23
1.3 Mecanismos de promoção da energia solar fotovoltaica	26
1.3.1 <i>Feed-In Tariff</i>	26
1.3.2 <i>Net Metering</i>	27
1.3.3 <u>Leilões</u>	28
1.3.4 <u>Cotas com comercialização de certificados</u>	29
1.3.5 <u>Rebate</u>	30
1.4 Países líderes na geração de energias renováveis	31
1.4.1 <u>China</u>	32
1.4.2 <u>Japão</u>	35
1.4.3 <u>Alemanha</u>	37
1.5 Geração de energia elétrica no Brasil	38
1.6 Custo de construção de uma usina hidrelétrica	44
1.6.1 <u>Custo de construção e manutenção de linhas de transmissão para interligar usinas hidrelétricas de grande porte no norte do País a grandes centros consumidores de energia</u>	46
1.6.2 <u>Custo de construção e manutenção de linhas de transmissão</u>	47
1.7 Legislação e principais incentivos à energia solar no Brasil	49
1.7.1 <u>Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO)</u>	49
1.7.2 <u>Programa Luz Para Todos (LPT)</u>	50

1.7.3 <u>Fundo do Clima e Inova Energia</u>	52
1.7.4 <u>Venda Direta a Consumidores e Sistemas de Compensação de Energia Elétrica Para Microgeração e Minigeração Distribuídas.</u>	54
1.7.5 <u>Debêntures Incentivadas e Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS).</u>	56
2. METODOLOGIA	58
2.1 Delineamento do estudo	59
3. POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	65
3.1 Potencial Solar no Estado do Rio de Janeiro	66
3.1.1 <u>Radiação Solar em Função da Massa de Ar, Tipos de Radiação Solar, Irradiância e Insolação</u>	66
3.1.2 <u>Levantamento de Irradiação Solar utilizando o Mapa Solar do Rio de Janeiro (MAPA SOLAR RIO)</u>	69
3.1.3 <u>O Bairro de Campo Grande – RJ.</u>	74
3.1.4 <u>Seleção de uma amostra representativa de telhados para instalação da usina fotovoltaica</u>	74
4. RESULTADOS	76
4.1 Comparação entre o Mapa Solar Rio e um método simplificado de cálculo da produção fotovoltaica de energia elétrica	76
4.2 Comparação entre o Mapa Solar Rio e o método PV-f-Chart	79
4.3 Usina Solar: Custos de implementação	81
4.4 EVTE para uma instalação de kit de painéis fotovoltaicos de 700 kWh/mês	83
4.5 Comparação em termos de viabilidade econômica entre modelos de produção de energia: Hidrelétrica e Solar.	87
4.6 Implementação dos mecanismos de Incentivo a Geração e Distribuição de Energia Fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro.	89
5 CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS	93
ANEXO A - Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande – RJ	102

INTRODUÇÃO

Contextualização

É notório que a humanidade experimentou nos últimos séculos uma crescente utilização e dependência da energia elétrica e de combustíveis fósseis, que impulsionaram diversos segmentos da indústria, fornecendo os pilares que moldaram as revoluções industriais, devido à necessidade de produção, a demanda por produtos, máquinas e equipamentos.

A utilização de combustíveis fósseis forneceu o sustentáculo no qual as economias mundiais estão alicerçadas, os cenários econômicos de diversos países são projetados com base em indicadores que, usualmente, apropriam-se das informações de previsão de produção de petróleo para o ano corrente, tendo como resultado ao final do ano impacto direto na balança comercial de um país, tal qual, na macroeconomia por possuir influência no resultado em quatro dos cinco mercados que compõem a estrutura macroeconômica, são eles: mercado de divisas, mercado de bens e serviços, mercado do trabalho e mercado de títulos (BENDER, 2015).

Nessa perspectiva é possível mensurar a dependência por petróleo dos indivíduos em todos os lugares do planeta, pois mesmo nos países que não são produtores de petróleo são sabidos os efeitos na flutuação do seu preço no mercado internacional, devido ao fato de possuir necessidade de consumo por parte de seus agentes econômicos, compreendidos numa parcela dividida entre empresas e famílias. Pela mesma razão, a sujeição dos agentes econômicos às fontes não renováveis de energia produz um ciclo vicioso na economia mundial que expressa uma baixa tendência a mudança para fontes renováveis de energia.

Efetivamente, o mundo como é conhecido hoje, no qual a utilização de fontes renováveis para geração de energia ocorre em baixa escala, irá mudar, pois tais fontes se regeneram espontaneamente, e seu uso é motivado, prioritariamente, devido ao rápido esgotamento de combustíveis fósseis e, como abordado nos parágrafos anteriores, o aumento do consumo de combustíveis e a contaminação do meio ambiente são alguns motivos que levam a humanidade a buscar opções de energia mais abundantes e menos poluentes.

Chamadas de energias alternativas ou renováveis, são exemplos: a energia solar, eólica, hidráulica, de biomassa, geotérmica e energia dos oceanos. Energia solar é uma fonte de energia limpa e barata. Sua utilização traz menos danos para o meio ambiente e representa uma opção bastante viável. Os coletores ou painéis solares já são usados amplamente, respectivamente,

para o aquecimento de água e a obtenção de eletricidade em residências e indústrias de diversos países.

Não significa que o sistema capitalista de relações comerciais seja o único alçó para o impedimento do avanço na mudança de paradigma, que levará a uma nova era na forma de produção, distribuição e consumo de energia elétrica.

Durante várias décadas as atividades industriais, com raras exceções, mantiveram-se pouco receptivas às partes interessadas e à sociedade em geral. Atualmente as organizações deparam-se com a imprescindibilidade de demonstrar o compromisso com a questão ambiental. Tal compromisso somado à crescente necessidade energética apresenta-se como porta de entrada para inserção de novas tecnologias e ampliação em larga escala da geração, produção e distribuição de energia produzida através de fontes renováveis.

Cenário Mundial

Na metade do século XX, cinco anos após a criação das Nações Unidas, a população mundial era estimada em cerca de 2,6 bilhões de pessoas. De acordo com estimativas da ONU, a população mundial chegou a 5 bilhões em 11 de julho de 1987, e atingiu a marca de 6 bilhões de pessoas em 12 de outubro de 1999. Agora, 21 anos depois, ela é estimada em aproximadamente 7,59 bilhões.

Para a Organização das Nações Unidas, esta expansão rápida e contínua da pegada ecológica num planeta que parece cada vez menor tem sérias implicações em quase todos os aspectos da vida. Questões estas, relacionadas à migração em massa e urbanização, à demanda por habitação, ao abastecimento inadequado de alimentos, à saúde e ao envelhecimento, ao acesso à água potável, à crescente demanda mundial por energia, entre outras.

Sobretudo, a energia elétrica sofreu um expressivo aumento em sua capacidade produtiva ao longo do último século para atender a explosão no crescimento populacional e as novas necessidades das famílias, consequências de inúmeras inovações tecnológicas que propiciaram o aumento da produção industrial.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2020), no Anuário estatístico de energia elétrica de 2019 referente ao ano base de 2018, o Brasil no tocante ao consumo por classes, observou-se na classe residencial uma expansão de 4,4% se comparado ao mesmo período do ano de 2017. Outrossim, as três classes somadas: Comércio, Indústrias e famílias participaram com 83,4% do total de energia elétrica consumida da rede de distribuição no ano

de 2018, correspondendo a 395,8 TWh. Quanto à geração total de energia elétrica, no ano de 2018, foram produzidos no Brasil 601,4 TWh.

O crescimento no consumo de energia pelas famílias, mesmo em meio a um período de crise econômica e instabilidade política, revela uma tendência mundial voltada ao aumento do padrão de vida dos indivíduos e, por conseguinte, o desejo de consumir mais. Ou seja, adquirir mais itens domésticos para elevar o conforto familiar. Fato esse que está diretamente associado à ascensão social das famílias que no Brasil assim como em outros grandes países em desenvolvimento, tais como: China e Índia, elevam a demanda por energia da população.

Objetivo

Este trabalho teve como objetivo elaborar um mecanismo de incentivo à geração distribuída de energia fotovoltaica, utilizando as hidrelétricas e termelétricas como referência para comparação com a proposta de uma Usina Solar situada na cidade do Rio de Janeiro, no Estado do Rio de Janeiro.

Para tal foram definidas as seguintes ações:

- Caracterizar o cenário mundial;
- Caracterizar as tendências em políticas públicas de incentivo a geração de energia renovável no mundo;
- Estudar a legislação em vigor e a sistematização dos assuntos ambientais relacionados ao incentivo a energias renováveis no Brasil;
- Levantar os custos de construção e operação de usinas hidrelétrica e termelétrica;
- Levantar o potencial de geração fotovoltaica no bairro de Campo Grande, situado no município do Rio de Janeiro;
- Discriminar os custos atrelados a implantação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica no bairro selecionado, na forma de geração distribuída.
- Realizar um estudo comparativo entre a viabilidade da construção da usina solar no bairro selecionado e a construção de uma usina hidrelétrica e termelétrica;
- Propor mecanismos de incentivo à construção de uma usina solar no bairro selecionado.

Hipótese

A integração das partes envolvidas é vital para aumento percentual do uso de energias renováveis. Especificamente: governo, parlamento, empresas e famílias que, com o auxílio de políticas públicas de incentivo a geração de energia fotovoltaica, alterem a forma de investimento na matriz energética nacional.

Sendo assim, prioriza-se a instalação de módulos fotovoltaicos conectados à rede elétrica em quantidade que se compare a construção de usinas solares em grandes cidades. No sentido de alteração de parte da cadeia de geração, distribuição e comercialização de energia da cidade do Rio de Janeiro, contribui para aumentar o percentual de consumo de energias renováveis, além de servir como modelo de sustentabilidade para outras cidades do país.

Justificativa e Relevância

As bases de interesses entre os envolvidos no processo de geração, transmissão e distribuição de energia não se encontram totalmente alinhadas com a questão sustentável e os procedimentos adotados para inserção de formas renováveis e sustentáveis de produção de energia, possuem menor relevância que o esperado no avanço percentual de tais tecnologias na matriz energética nacional.

É preciso desenvolver um modelo sustentável que viabilize a inserção de energias renováveis, com as seguintes consequências:

- Uso mais eficiente e eficaz de energia;
- Distribuição de renda, através da produção de energia por parte de moradores do bairro de Campo Grande, RJ ;
- Redução nas perdas de transmissão de energia;
- Com impacto ambiental menor em relação a outras fontes;
- Aumento na segurança energética do País, através da diversificação na matriz energética;
- Redução no custo da tarifa de energia, impactando positivamente os indicadores de inflação;
- Geração de energia elétrica em fase com o crescimento do consumo devido à disseminação de aparelhos condicionadores de ar;

- Menor movimento migratório devido a não construção de grandes empreendimentos.

Portanto, os aspectos positivos e que motivam esse estudo, tem o potencial para melhorar a qualidade de vida dos habitantes nas regiões em que serão instaladas as usinas solares. Diante do exposto, é crucial e faz-se muito relevante o estudo em questão para subsidiar o governo em suas tomadas de decisão relacionadas a políticas de incentivo à geração de energia fotovoltaica e tais mecanismos de subsídio.

Organização

Os tópicos abordados nessa dissertação são apresentados na seguinte sequência:

- Capítulo 1 – Introdução
- Capítulo 2 – Revisão da Literatura: Benchmarking: Políticas públicas de incentivo a geração de energia fotovoltaica e práticas adotadas pelo Brasil.
- Capítulo 3 – Potencial para geração de energia solar no Rio de Janeiro.
- Capítulo 4 – Metodologia.
- Capítulo 5 – Resultados.
- Capítulo 6 – Conclusão, baseada nas avaliações práticas realizadas e no modelo proposto.
- Bibliografia - Relação das fontes consultadas para constituição da pesquisa.
- Anexos

CAPÍTULO 1

REVISÃO DA LITERATURA: *BENCHMARKING*: POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.

Este capítulo tem como objetivo reunir os dados da literatura sobre as políticas de incentivo a geração e distribuição de energia solar nos países líderes na produção desse tipo de energia limpa, na qual destacam-se três países: China, Alemanha e Japão. Assim como foram tratadas a legislação e sistematização dos assuntos referentes aos incentivos que servirão de base para as discussões nos capítulos posteriores.

1.1 Conceitos de Energia Solar

É de conhecimento geral, fato retratado em diversos livros básicos de energia solar que a energia do sol é transmitida para o nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequência e comprimento de onda diferentes. A energia que uma onda pode transmitir está associada à sua frequência. Quanto maior a frequência, maior a energia transmitida. A energia solar incidente sempre gera aquecimento, a menos que seja completamente refletida. O painel fotovoltaico também se aquece, só uma parcela da energia incidente é convertida em eletricidade (cerca de 15%).

Portanto, a radiação solar pode ser usada como fonte de energia térmica, para aquecimento de ambientes e de fluidos e para geração de potência mecânica ou elétrica. Assim, convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre materiais, também

conhecidos por efeito: termoelétrico e fotovoltaico, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2018).

De acordo com Vallêra e Brito (2006), o efeito fotovoltaico, que é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para produção de eletricidade, consiste na transformação da radiação eletromagnética do sol em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial, ou uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por um conjunto de materiais semicondutores. A referida célula, quando conectada a dois eletrodos, apresenta tensão elétrica sobre eles, formando um caminho elétrico que ligará os dois eletrodos e devido a isso surgirá uma corrente elétrica.

De maneira semelhante, a radiação solar incide sobre materiais semicondutores e é transformada diretamente em corrente contínua, para transformá-la em corrente alternada, são utilizados aparelhos chamados inversores. Os painéis fotovoltaicos são formados por um conjunto de células de mesmo nome e podem ser interconectados de forma a permitir a montagem de arranjos modulares que, em conjunto, podem aumentar a capacidade de geração de energia elétrica (SILVA, 2015).

No que tange aos principais materiais necessários a produção de células fotovoltaicas, o Brasil possui jazidas de quartzo de alta pureza, mas não desenvolveu a tecnologia necessária para obter silício com grau solar de pureza. Por sua vez, o silício cristalino é obtido a partir do quartzo, que deve ser purificado até o grau solar, que exige 99,9999% de pureza (CARVALHO, MESQUITA, ROCIO, 2014).

Outra forma de geração de energia é a captação do calor solar, que consiste na transformação da energia eletromagnética em energia térmica pelos corpos e materiais que recebem sua radiação. Quando as ondas eletromagnéticas incidem sobre um corpo que tem a capacidade de absorver radiação, a energia eletromagnética é transformada em energia cinética e transmitida para as moléculas e átomos que compõem esse corpo (COMETTA, 1978).

O aproveitamento térmico utiliza coletores para o aquecimento de água ou concentradores solares para atividades que requerem temperaturas elevadas, tais como secagem de grãos e produção de vapor. Nesse caso, a radiação solar é captada por coletores, transformada em calor e utilizada para aquecimento. São os chamados sistemas de aquecimento solar (SAS).

Para Silva (2015), a outra forma de geração de energia elétrica a partir da fonte solar, a heliotermia ou *concentrated solar Power* (CSP), consiste basicamente na geração de eletricidade por meio da conversão da energia solar em energia térmica, posteriormente em energia mecânica e, finalmente, em energia elétrica. Para tanto, a radiação solar incidente sobre determinada área é refletida e concentrada sobre um receptor, onde um fluido circulante é

aquecido. Geralmente por meio de uma turbina a vapor, o calor absorvido pelo fluido é, então, transformado em energia mecânica que, por sua vez, a partir de um gerador acoplado à turbina, é transformado em energia elétrica. Em seus estágios finais, a CSP utiliza as tecnologias empregadas nas centrais termelétricas. Aplica-se apenas à produção em grande escala, o que não envolve o uso em residências.

1.2 Cenário mundial

É notório que o mundo experimenta uma ascendente expansão na capacidade de geração de energia com o emprego de fontes renováveis. E também uma crescente necessidade da utilização de fontes limpas de energia para proteger o meio ambiente do uso desenfreado de combustíveis fósseis que causam danos significativos a diversos ecossistemas ao redor do mundo, além de ajudar a contribuir com o aumento na temperatura global.

Essa ideia pode ser percebida através da grande parcela que as fontes renováveis representam, sobre a capacidade de geração de energia instalada na Europa, em 2017, sendo da ordem de 85%, considerando-se todas as tecnologias existentes, (EEA,2018).

Dentre tantos aspectos que comprovam essa argumentação, que são apresentados nesta dissertação, alguns países merecem destaque no cenário mundial, quando considerada a capacidade de geração de energia com a utilização de fontes renováveis (excluindo geração hidrelétrica), são eles: China, Japão e Alemanha.

A China merece um maior enfoque, porque se tornou o principal gerador de energia fotovoltaica no mundo. Evidenciar os mecanismos de promoção na inserção de fontes renováveis, especialmente, a Energia Solar que foram empregados pelos países supracitados é o assunto alvo desta seção.

Nesse sentido, de acordo com *Renawables 2016 Global Status Report* (REN21, 2016), não apenas a China, mas o mundo, também vivenciou, no ano de 2015, o maior aumento historiado na capacidade de geração por meio de fontes renováveis, embora perdurem os desafios, principalmente no setor de produção e distribuição de energia.

Evidentemente que a geração e distribuição de energia solar também provou um grande acréscimo, acompanhando o expressivo crescimento que as fontes de energias renováveis experimentaram na última década.

A figura 1 confirma a argumentação do grande aumento na capacidade mundial de produção de energia por fontes renováveis (excluindo a geração hidrelétrica), e vai além, pois

quantifica e enumera como os principais produtores: o BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), EU 28 e *Top 6* do mundo.

Também, é possível depreender da figura 1, que a energia solar segue o impressionante avanço em relação às demais fontes renováveis.

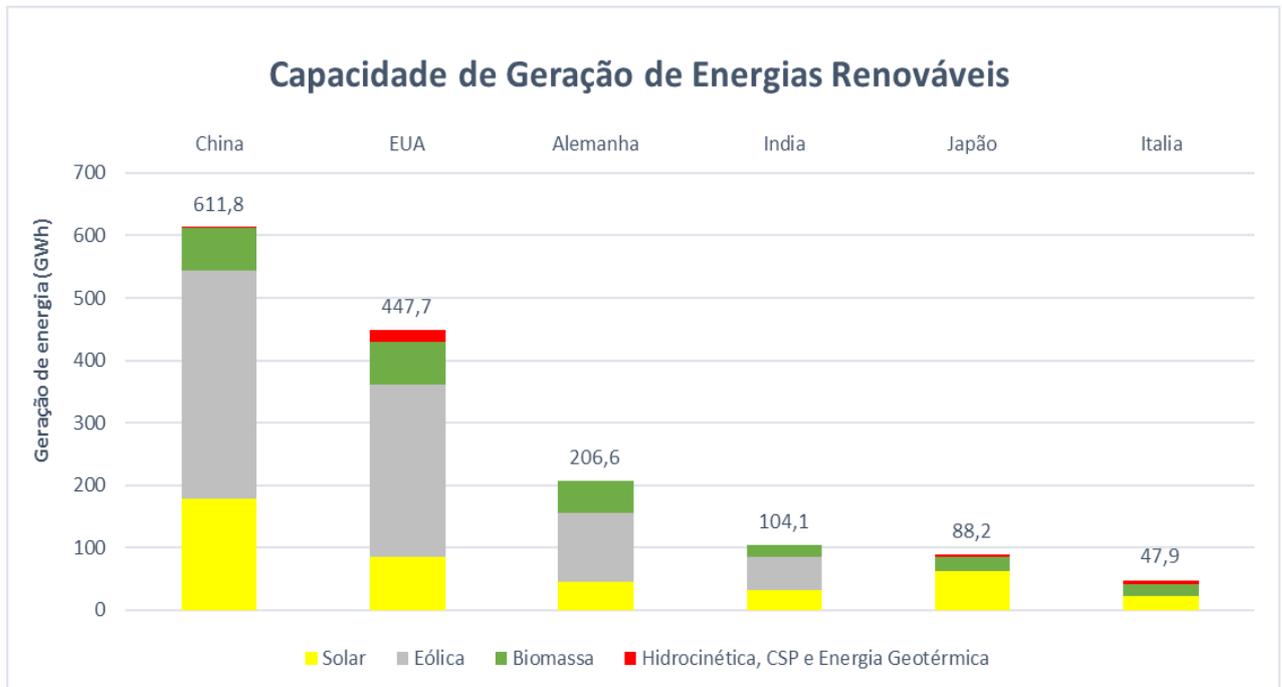


Figura 1 - Capacidade de Geração de Energias Renováveis no Mundo, BRICS, EU-28 e 6 Países com Maior Geração, 2016.

Em um cenário moderado, conforme Agência Internacional de Energia (IEA), a energia solar pode vir a responder por cerca de 11% da oferta mundial de energia elétrica em 2050, algo próximo de 5.000 TWh. A área coberta pelas instalações seria de 8 mil km² (300 W/m²), equivalente a um quadrado de 90 km de lado.

Para atingir esse patamar de capacidade instalada, são necessários incentivos financeiros para financiar ou subsidiar os avanços tecnológicos e a instalação de usinas fotovoltaicas.

De acordo com Crago & Chernyakhovskiy (2016), o interesse em energias renováveis vem aumentando ao longo dos anos, a mitigação de problemas climáticos e a diversificação das fontes de suprimentos de energia se apresentam como fatores motivadores.

Ferreira et al. (2017), preconiza que o aumento da demanda e consumo de energia resulta do progresso tecnológico e do avanço no desenvolvimento humano, que se apresenta como o

principal fator gerador de mudanças climáticas e ambientais. Ratifica a necessidade de investimentos em energias “limpas”, ou seja, as energias renováveis.

Para Lopez et al. (2012), pequenos produtores de energia fotovoltaica, normalmente, pessoas que possuem painéis solares em suas residências, dispõem de potencial técnico para atender até 20% da demanda total dos Estados Unidos. Hoje também são encontradas muitas unidades empresariais que fazem uso de painéis fotovoltaicos.

O governo federal dos Estados Unidos no ano de 2013 gastou 5,3 bilhões em investimentos no desenvolvimento da energia solar, representando um aumento na ordem de cinco vezes mais, do que se comparado com os investimentos realizados na última década (EIA, 2015). Esse exemplo constata que a intervenção dos governos tem um papel fundamental na expansão da capacidade de geração de energia por fonte solar. Esta dissertação traz como justificativa a necessidade de amplos estudos sobre mecanismos de incentivo a fontes renováveis, que obtiveram sucesso num grande número de países, resultando numa ampla utilização de fontes renováveis, em especial, a geração solar de energia. E, também, para melhor compreender as dificuldades e barreiras à implementação dessas políticas.

A motivação desta dissertação pode ser expressa, em fornecer ao Brasil, os melhores e mais funcionais mecanismos de incentivo para geração fotovoltaica validada pelos países líderes na produção de energia limpa no mundo, que valham de base para adaptação às peculiaridades do sistema brasileiro de energia e políticas de incentivo por parte do governo federal brasileiro.

O objetivo geral deste capítulo é descrever qual é o estado da arte, quando se trata de mecanismos de incentivo a geração de energia solar, que são comuns aos países líderes na produção de energia fotovoltaica (top 3), além da compreensão de outras estratégias para disseminação desse tipo de geração de energia.

A China, que é a líder mundial na geração de energia fotovoltaica, apresenta bom exemplo de boas práticas nas políticas de incentivo a geração de energia limpa por fontes de captação solar e sua forma de estruturação, que foram empregadas pela República Popular da China.

1.3 Mecanismos de promoção da energia solar fotovoltaica

Nesta seção são abordados os principais mecanismos de promoção de fontes renováveis: Tarifa Renovável Avançada ou Pagamento de Energias Renováveis (*Feed-In Tariff*), Sistema de Compensação de Energia (*Net metering*), Leilões, Cotas com Comercialização de Certificados e *Rebate*.

A figura 2 demonstra a contabilização do número de países que adotaram os mecanismos de incentivo a fontes renováveis: *Feed-In Tariff*, *Net metering*, Leilões, Cotas com Comercialização de Certificados, e a sua evolução ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012. Na qual, todos os mecanismos apresentaram significativos aumentos na contagem das nações que aderiram tais ferramentas de promoção a fontes renováveis de energia.

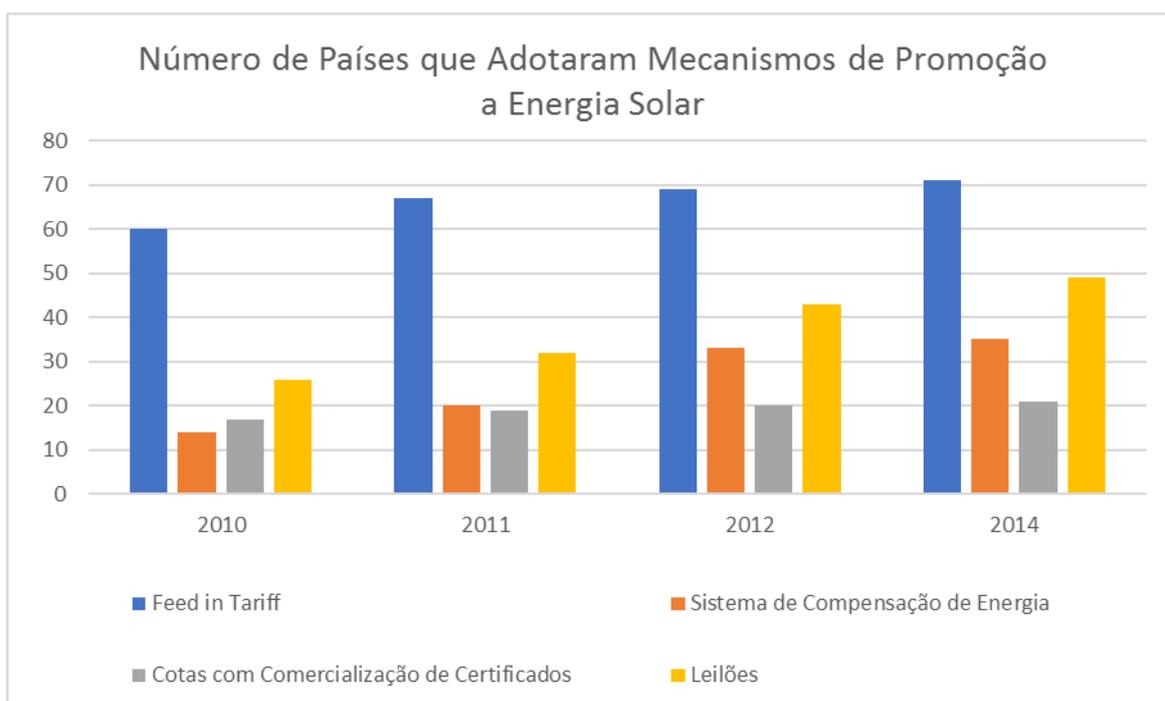


Figura 2- Número de países que adotam políticas de promoção a Energias renováveis, 2016.
Fonte: Adaptado de IEA/IRENA, 2017.

1.3.1 *Feed-In Tariff*

Para o apoio à eletricidade proveniente de fontes renováveis de energia concebido pela Comissão Europeia (2008), *Feed-in tariffs* (FIT) é a política mais utilizada dentre os países membros da União Europeia, contabilizando 18 países que escolheram essa medida e, no mundo, sua abrangência também é grande.

Segundo Mendonça (2007), *Feed-in Tariffs* (FIT), pode ser expressado por colocar uma obrigação legal sobre os serviços públicos para comprar eletricidade de produtores de energia renovável a uma taxa fixa. As tarifas são estabelecidas para cada tecnologia viável, para ter seus custos de geração diferentes. Os pagamentos, normalmente, são garantidos por longos períodos, geralmente 20 anos como Alemanha adotou.

Para Costa e Trujillo-Baute (2015), o FIT é o instrumento com maior penetração no cenário mundial, *Sui generis*, usado para promover fontes de energias renováveis na Europa, na qual, os custos destinados para promoção dessa política, normalmente, são arcados pelos consumidores finais.

Couture e Gagnon (2010) preconizam que a política de *Feed-in Tariff* aplicada a energias renováveis, oferece a garantia de preços fixos por períodos determinados, que normalmente, costumam ser representados por contratos de longo prazo, a fim de viabilizar a inserção de tecnologias que usam fontes renováveis.

Pablo-Romero et al (2017), corrobora, que as afirmações de preço mínimo garantido pelos governos nacionais por cada kW gerado, injetado na rede ou usado para consumo próprio, ilustra o principal objetivo político do FIT.

A argumentação de Aquila (2016) ratifica as diferentes visões que compartilham da premissa, de que as estratégias de longo prazo têm maior relevância e acabam sendo fundamentais na construção de um novo modelo de produção e consumo de energia. Entre essas estratégias, pode ser destacado que um dos mecanismos mais conhecidos e utilizados para promover as energias renováveis a longo prazo é o *Feed-in Tariff*.

1.3.2 Net Metering

Para Thakur e Chakraborty (2016), *Net Metering* é uma iniciativa política em que os consumidores são compensados pela quantidade de energia verde que é alimentada de volta a rede elétrica, para incentivar o uso de fontes de energia renováveis. Para consumidores com menor requisito de energia, a opção de medição líquida individual não é financeiramente viável. Este mecanismo desloca as quantidades consumidas pelo consumidor da rede e, portanto, proporciona uma conta de eletricidade reduzida com o uso de energia “limpa”.

De acordo com Koumparou et al. (2017), *Net Metering*, não é um novo esquema, mas já ocorreu desde meados dos anos 90 nos Estados Unidos. O sucesso do esquema foi significativo, especialmente em regiões com alto potencial solar e altas taxas de fornecimento de energia elétrica. No entanto, recentemente começou a causar inúmeras preocupações a

empresas de serviços públicos e decisões políticas, porque apesar da sua aparente simplicidade, várias variações de medição de rede foram introduzidas ou propostas, causando uma grande dúvida sobre o uso desse mecanismo.

Segundo Comello e Reichelstein (2017), o uso da política de *Net Metering* fornece um subsídio que pode ser empregado para difundir a energia solar e que é custeado pela população, ou seja, os consumidores finais de todo o sistema elétrico da região ou país arcam com o financiamento dessa política.

Sob a ótica de Geffert e Strunk (2017), *Net Metering* é uma política de cobrança que se aplica a clientes, que também produzem parte da energia que consomem, ou seja, o ato de produção de energia está situado antes do medidor de energia, como casas ou pequenas empresas com painéis solares em seus telhados, pequenas turbinas eólicas ou outras formas de auto geração.

Tan e Chow (2016) afirmam que o uso do *Net Metering* implica numa dedução algébrica, para verificar a diferença entre consumo e produção de energia com uso de células fotovoltaicas ou outras fontes renováveis. Essa política proporciona ao consumidor a quantia real de energia que ele produziu através do seu sistema de micro geração.

Segundo Poullikkas (2013), existem alguns benefícios advindos do uso da política de *Net Metering*, são eles: a fácil administração da energia produzida por sistemas fotovoltaicos de geração, redução no custo da conta de luz, o uso eficiente de energia. Modalidade vigente no Brasil desde 2012, segundo Resolução Normativa nº 482/2012, ANEEL (2012).

1.3.3 Leilões

Kreiss, Ehrhart e Haufe (2017), definem Leilões, como sendo uma ferramenta fundamental na promoção de energias renováveis, porém, eles envolvem diversos riscos para o licitante e também para o leiloeiro. Sendo o principal risco do leiloeiro, quando se trata de uma expansão ou confirmação de leilões para energias renováveis, o risco de não realização que ocorre quando os vencedores do leilão não realizam seus projetos. Onde os principais motivos são as incertezas relacionadas ao projeto e seus custos. Normalmente, o leiloeiro requer depósitos de segurança para minimizar a possibilidade de desistência dos vencedores do leilão.

Governos em todo o mundo estão aumentando o uso de leilões como meio de adquirir energia renovável, devido ao seu potencial e por viabilizar uma economia nos gastos de construção de plantas (IRENA, 2017).

Em leilões, um adquirente de energia renovável (Governo ou setor público), anuncia o interesse em comprar uma quantia fixa de eletricidade a partir de fontes renováveis. Os vendedores de energia renovável (Grandes empresas geradoras de energia, médias empresas de geração), desenvolvem projetos que atendem critérios técnicos e financeiros específicos, então enviam os lances de menor preço para aquisição de energia renovável, que como o usual, seleciona os vencedores com base nas menores propostas (SHRIMALI, KONDA e FAROOQUEE, 2016).

O mundo experimenta um grande avanço no número de países que utilizam leilões como mecanismo de incentivo a instalação de fontes renováveis de energia. Segundo IRENA (2017), em 2005 apenas 6 países adotavam esse mecanismo que se transformou completamente na última década, pois até novembro de 2016 o número de países que legitimaram esse mecanismo foi 67, contabilizando um aumento de pelo menos 11 vezes o número original de nações a abraçar esse meio de promoção de fontes renováveis de energia.

Pablo Del Río (2017) afirma que nos últimos anos os leilões têm adquirido mais espaço no cenário mundial, quando se trata de mecanismos de promoção a fontes renováveis, considerados como uma alternativa útil a outras formas de apoio para fixar a remuneração por energia limpa em todo o mundo.

1.3.4 Cotas com comercialização de certificados

Para Darmaniet al. (2016), a redução na emissão de gases nocivos, e também, a utilização de energia verde, ou seja, energia produzida com o uso de fontes renováveis, são necessárias para evitar o uso de combustíveis fósseis e fortes motivações para o uso de certificados verdes. Nesse intuito, para promover a instalação de fontes renováveis de geração de energia, foram criados os certificados verdes. Que tem como objetivo reduzir a importação de recursos energéticos primários e estimular o desenvolvimento local e sustentável, criar empregos, reduzir a poluição, através da redução de emissão de gases nocivos ao ambiente. (PAVALOIA; GEORGESCU, 2015)

De acordo com Pineda e Bock (2016), cotas obrigatórias de comercialização de energia, é um mecanismo eficaz que contribui para redução nas emissões de carbono e incentiva a geração de energia com a utilização de fontes renováveis. Esse mecanismo funciona, de modo que as empresas devem comprar parte da energia utilizada por elas de fontes de geração renovável de energia, porém a empresa não possui capacidade de saber a origem da geração de

energia que consome, nesse momento, os certificados verdes, também conhecidos por cotas de comercialização de energia, entram em cena. Porque são comercializados por empresas geradoras de energia que empregam fontes renováveis para geração energética (LIND; ROSEMBERG, 2014).

Sob a perspectiva de Wedizk, Siewierski e Szypowski (2017), o certificado verde é um documento que comprova que a geração de energia foi realizada através de fontes renováveis. Ciarreta, Espinosa e Pizarro-Irizar (2017) acreditam que um elemento importante para implementação de certificados verdes nos mercados de energia é induzir a demanda por certificados. Normalmente, essa demanda é gerada por regulações que atuam como medidas obrigatórias para compra de certificados.

Sob um outro viés, os fabricantes de produtos industrializados enfrentam diversos obstáculos ao comercializar seus produtos e, portanto, precisam ser capazes de atrair os desejos motivacionais dos consumidores para influenciar a decisão de compra, segundo Wang et al. (2016). Nesse ambiente, que o certificado verde tem seu valor de comercialização impulsionado, baseado nos desejos de marketing promocionais dos fabricantes de produtos industrializados.

1.3.5 *Rebate*

Em Gainesville, estado da Florida, a empresa *Gainesville Regional Utilities* (GRU) fornece o programa de incentivo à utilização sistema solar fotovoltaico. Os clientes podem se inscrever no programa de desconto (*Rebate*) do sistema elétrico da GRU. Os participantes serão reembolsados em uma taxa por watt com base na quantidade de luz solar direta ou difusa disponível com base na localização do sistema fotovoltaico, de acordo com Yang et al. (2015).

Segundo Reeves e Rai (2018) o programa de descontos (*Rebate*) da Califórnia de incentivo a geração solar (CSI) desembolsou mais de dois bilhões de dólares em incentivos para instalar energia solar fotovoltaica (PV) e obteve grande adesão por parte dos consumidores.

De acordo com Xu e Ma (2020), o regulamento de redução de impostos (*Rebate*) executado nos Estados Unidos, proporcionará um reembolso às famílias, em termos de custo de investimento, que é o custo de instalação do painel fotovoltaico. A taxa de desconto de impostos (TR) é uma escolha difícil para o governo, uma vez que uma taxa de reembolso alta pode de fato estimular o entusiasmo do mercado, mas também um enorme fardo. Porém, o

Rebate se mostra muito eficiente ao reduzir as incertezas provenientes da variabilidade no preço da energia ao longo do tempo. (BABICH et al., 2019)

O governo australiano executou um programa que concedeu descontos a moradores e proprietários de edifícios de uso comunitário que adquiriram sistemas de energia FV, entre janeiro de 2000 e junho de 2009. Originalmente chamado de Programa de Desconto (*Rebate*) fotovoltaico (PVRP), foi rebatizado de Plano Solar de Casas e Comunidades (SHCP) após uma mudança no governo em novembro de 2007. Como programas semelhantes em outros países, os objetivos oficiais do PVRP SHCP eram promover a inserção de energia renovável, reduzir as emissões de gases de efeito estufa, ajudar no desenvolvimento da indústria fotovoltaica australiana e aumentar a consciência pública e aceitação de energia renovável. (MACINTOSH e WILKINSON, 2011)

Da mesma maneira, para Chang et al.(2019) o governo chinês implementou subsídios governamentais (*Rebate*) e políticas de redução de impostos para motivar a rápida expansão das indústrias de energia renovável com preocupações crescentes sobre a adaptação à mudança climática global e correção da segurança energética; os efeitos benéficos dessas políticas fiscais indicam valor teórico e implicações práticas.

1.4 Países líderes na geração de energias renováveis

Os países líderes na geração de energia fotovoltaica são: China, Japão, Alemanha, Estados Unidos e Itália. Esses países adotaram diferentes estratégias, ou seja, diferentes políticas de incentivo a geração de energia solar, porém como expressa a figura 3, eles mantêm o contínuo crescimento na capacidade de geração de energia fotovoltaica.

Essa perspectiva pode ser confirmada, quando observada a capacidade acrescida na geração de energia no ano de 2019 que, minimamente, estabelece uma forte relação de como o desenvolvimento de políticas públicas como mecanismos de incentivo a geração solar de energia, podem sustentar o contínuo crescimento no volume de instalações de tecnologias de aproveitamento da energia solar.

A figura 3 apresenta os 10 maiores produtores de energia solar no mundo, contudo, o objetivo desta seção é apresentar as políticas de incentivo a geração fotovoltaica dos três maiores produtores de energia solar fotovoltaica.

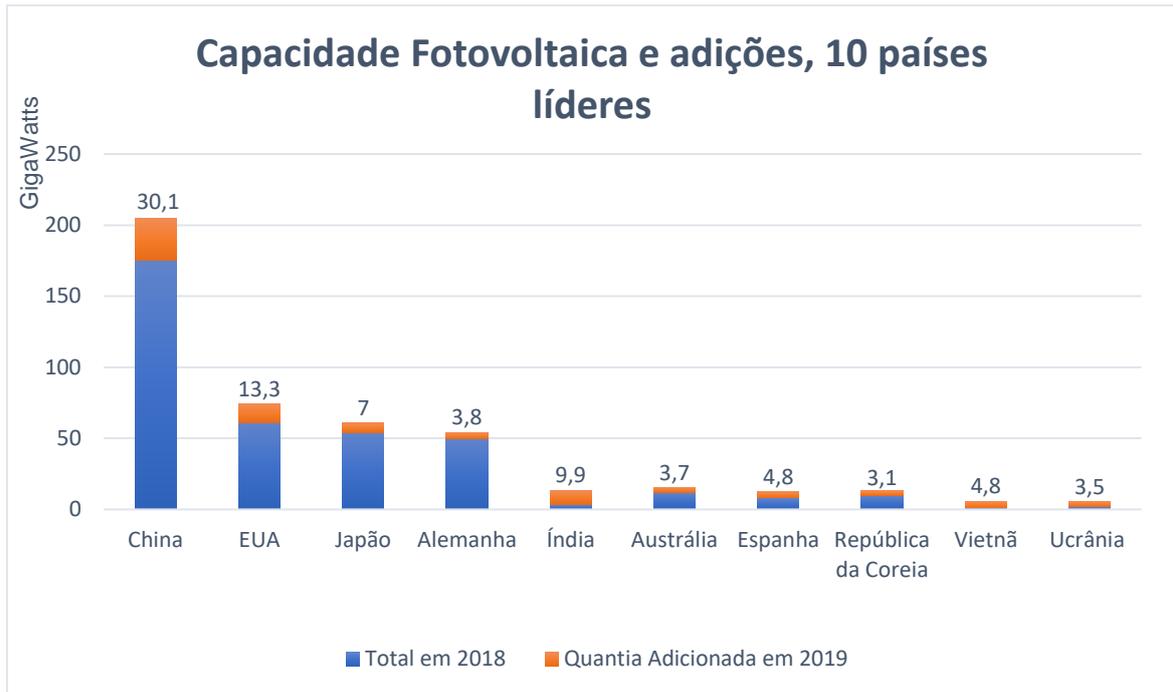


Figura 3 - Capacidade Fotovoltaica e adições, 10 países líderes, 2020.
 Fonte: Adaptado de IEA/IRENA, 2021.

1.4.1 China

De acordo com Sahu (2015), em 2007 o governo chinês estabeleceu um plano de desenvolvimento de médio e longo prazo para energia renovável na China, que prevê que o consumo a partir de fontes renováveis aumentaria em 15% até 2020. A criação dessa meta ajuda o governo federal e provinciano a realizar planos integrados de energias renováveis. Devido ao tamanho da economia da China e alta produção de gás carbônico, as decisões políticas na República Popular da China terão um efeito significativo sobre as mudanças climáticas, opinião de Qi et al.(2016).

Para o Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos (NREL, 2017), as políticas de promoção ao desenvolvimento de fontes renováveis de geração de energia na China, estão divididas em três categorias. De maneira semelhante ao que é adotado pelo governo dos Estados Unidos, o governo federal chinês estabelece os dois primeiros níveis de

políticas públicas. Enquanto, os governos locais determinam o terceiro nível de política a ser adotada.

O primeiro nível é responsável por fornecer diretrizes e orientações gerais, e integrar as ações do governo central e as províncias.

O segundo nível é constituído por: especificar metas, objetivos, planos de desenvolvimento, e foco em disponibilização de energia elétrica em áreas rurais com o uso de fontes renováveis de geração. Esse estágio de implementação de políticas públicas, diligenciam em padronizar as direções, pontos focais e objetivos de desenvolvimento de energias sustentáveis sob diferentes pontos de vista, por envolver vários agentes tomadores de decisão.

O terceiro nível é representado por incentivos práticos e específicos e diretrizes gerenciais. Estes descrevem medidas de apoio específicas para desenvolver e usar energia renovável. Essas políticas governamentais de terceiro nível fornecem suporte crucial para ajudar a desenvolver energia renovável em seus estágios iniciais de crescimento. Desde meados da década de 1990, muitas províncias e regiões autônomas da China adotaram políticas para o desenvolvimento de energia renovável, incluindo subsídios e redução de impostos.

Para promover a sustentabilidade do desenvolvimento da indústria fotovoltaica, a NEA, Administração Nacional de Energia da China, introduziu um novo mecanismo de gerenciamento de escala PV e cota competitiva, atuando no primeiro nível de abrangência, o licitante com preços mais baixos e que atender a outros indicadores, receberá o direito de construir uma usina de energia fotovoltaica, (ZHANG, 2017).

Esta medida estimula a construção de grandes plantas de geração fotovoltaica, a fim de promover o desenvolvimento da indústria de energia solar fotovoltaica de forma sustentável, a Administração Nacional de Energia (NEA, 2017). A medida fornece diretrizes sobre gerenciamento de implantação e introduz um novo mecanismo competitivo (Leilões com cotas) para aquisição de grandes projetos de energia solar fotovoltaica (IEA; IRENA, 2017).

Portanto, a China faz o uso de duas políticas básicas para promoção de energias renováveis, são elas: *Feed-in Tariff*, com intuito de oferecer subsídios e garantias ao gerador de energia renovável, e os Leilões de energia com cotas, que garantem que uma parcela da energia leiloadada será destinada a construção de plantas de geração renováveis. Isto possui um desdobramento direto para o incentivo de produção de energia fotovoltaica, valendo-se da aplicação de subsídios diretos e de cotas específicas para geração de energia solar, (IEA, 2021).

O resultado da inserção de políticas de incentivo a geração fotovoltaica pode ser evidenciado, facilmente, sob dois aspectos, a visualização da evolução da capacidade instalada na geração de energia solar, e também se traduz na evolução do número de patentes tecnológicas

em energia solar, que expôs um crescimento fantástico ao longo dos últimos 18 anos. A figura 4 demonstra a evolução, desde o ano de 2000 até 2018, sobre a contabilização da capacidade de geração de energia fotovoltaica instalada. Apresentando um extraordinário crescimento na capacidade instalada de geração de energia solar, justificando o porquê a China tornou-se a casa da energia solar.

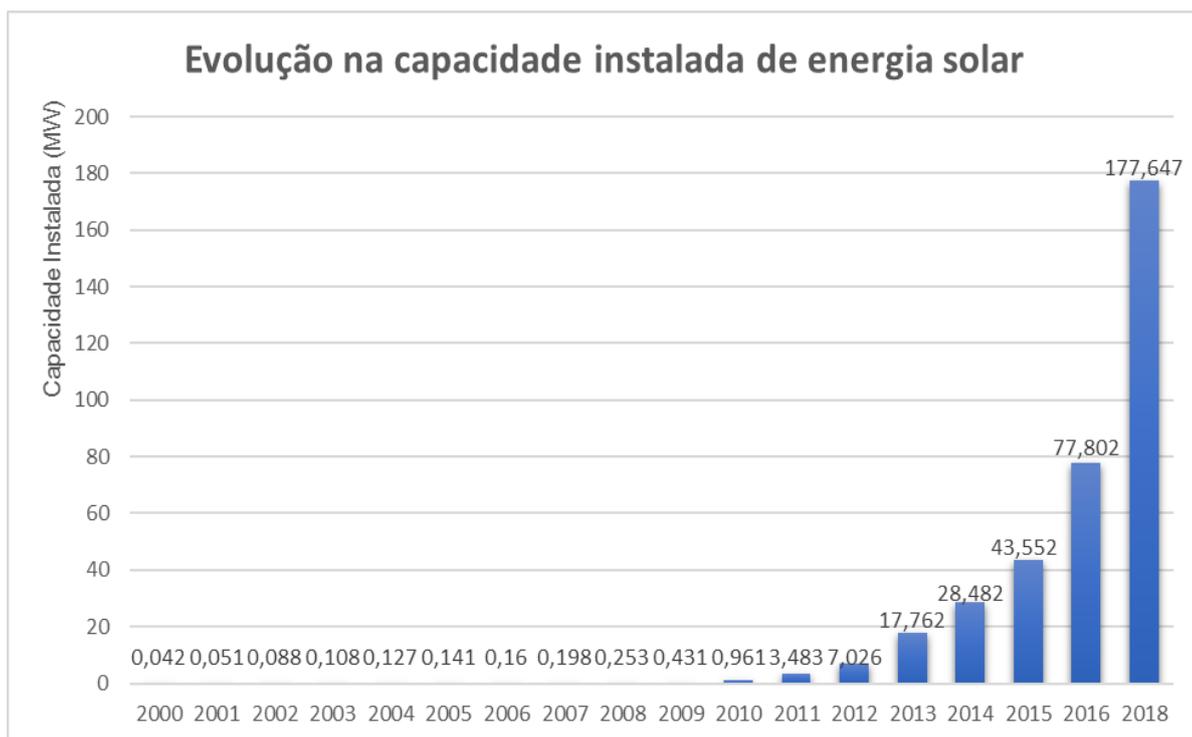


Figura 4 - Evolução na capacidade instalada de Energia Solar
Fonte: Adaptado de IEA/IRENA, 2019.

A figura 5 expressa a parcela cumulativa de patentes de energia renovável que traduz o somatório de tipos de patentes em energia fotovoltaica e outras fontes de geração de energia renovável. O estudo em questão aborda todos os tipos de produção de energia fotovoltaica, expressando apenas como um único conceito para fins de políticas de incentivo a geração e distribuição.

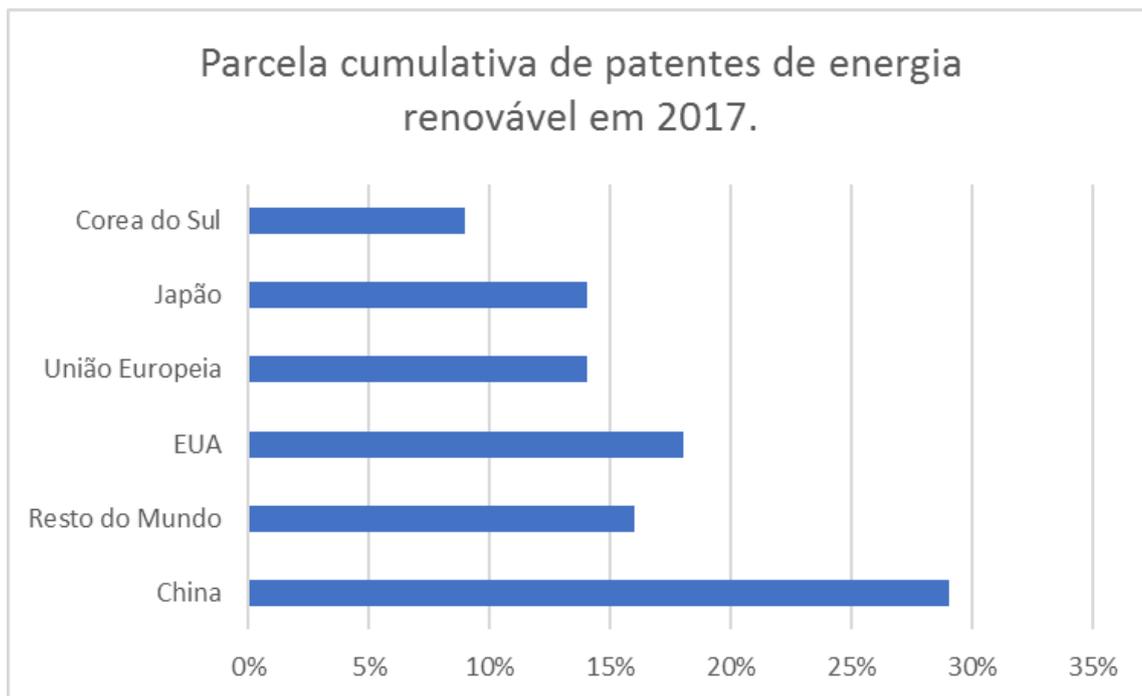


Figura 5 – Parcela cumulativa de patentes de energia renovável em 2017.
Fonte: Adaptado de IEA/IRENA, 2018.

1.4.2 Japão

Para o Japão, que depende muito da importação de recursos energéticos de outros países, o reforço da segurança energética é considerado um desafio importante. No mercado global de energia, o Japão é um dos grandes consumidores e importadores de energia, ficando em quinto lugar no consumo primário de energia, o terceiro na importação e consumo de petróleo e primeiro nas importações de gás natural líquido (GNL), de acordo com Komiyama e Fujii (2014).

O novo Plano Estratégico de Energia do Japão, a primeira política energética nacional após o Fukushima, foi oficialmente aprovado em abril de 2014 (METI, 2014). O plano discute a visão provável do *mix* de energia desejada até 2030 e propõe o *mix* de geração de energia ideal para satisfazer a exigência de energia e equilíbrio em termos de três aspectos: segurança energética, preservação do meio ambiente e eficiência econômica (METI, 2015).

O Japão adota, frequentemente, o mecanismo de *Feed-in Tariff*, aliado a prêmios por geração de energia limpa, segundo a *Agency for Natural Resources and Energy* (ANRE, 2017). O governo japonês, através do *Ministry of Economy, Trade and Industry* (METI), implementou

em julho de 2012 o esquema *Feed-in Tariff*, substituindo o mecanismo *Renewable Portfolio Standards* (RPS), e revisando o padrão utilizado para compra de energia fotovoltaica.

As empresas de energia elétrica são obrigadas a comprar eletricidade gerada a partir de fontes de energia renováveis em um contrato de período fixo a um preço fixo. O custo de compra é pago pelos usuários de eletricidade sob a forma de uma sobretaxa igual à escala nacional. E as empresas de energia elétrica pagam uma parte do custo (o valor igual ao custo de geração que eles poderiam evitar pagando comprando eletricidade renovável dos produtores). O preço de compra é reexaminado e publicado em cada ano, (METI, 2016).

Tanaka (2013) reitera que após o incidente de Fukushima o Japão mudou drasticamente as suas políticas energéticas, enfatizando a segurança energética e seu compromisso com a instalação de fontes renováveis, além do aumento na importação de gás natural líquido.

A produção de energia fotovoltaica no Japão sofreu um expressivo aumento a partir de 2012, impulsionado pela entrada de políticas específicas para promoção de fontes renováveis, fato esse que pode ser visualizado na figura 6, que apresenta a evolução na capacidade instalada a partir de fontes renováveis com início no ano de 2000 até o ano de 2015.

A capacidade instalada de energia fotovoltaica no Japão cresceu substancialmente, transcendendo o uso de políticas de incentivo a geração fotovoltaica, o porquê de tal fato pode ser compreendido pela geografia do país e escassez de grandes rios para produção hidrelétrica de energia, além do risco inerente à produção de energia elétrica proveniente de uma fonte nuclear.

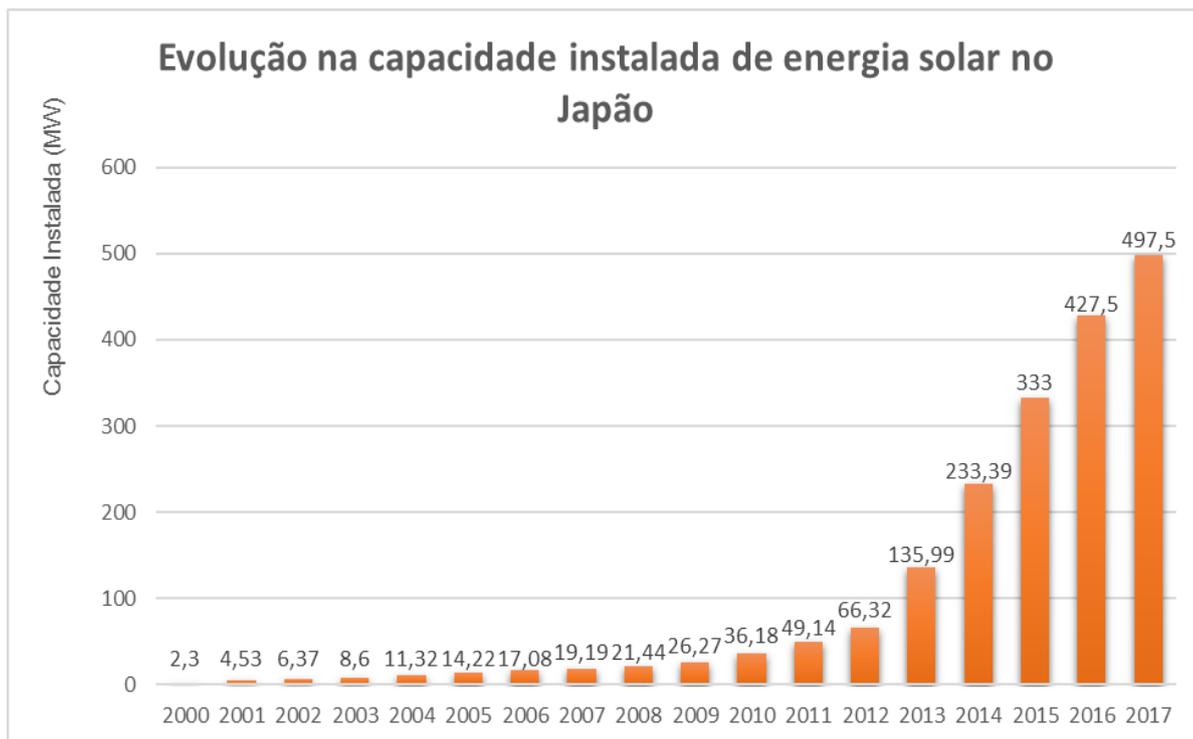


Figura 6 - Evolução na capacidade instalada de energia solar no Japão.
Fonte: Adaptado de IEA/IRENA, 2019.

1.4.3 Alemanha

A Alemanha foi a líder e precursora na implementação de fontes renováveis de energia na sua matriz energética (CHAPMAN ; ITAOKA, 2017).

Motivada por possíveis mudanças climáticas relacionadas a liberação de gases de efeito estufa na atmosfera, ela assinou o Protocolo de Kyoto, aceitando reduzir em 21% a liberação de gases nocivos a camada atmosférica se comparado com o ano de 1990. Uma das soluções adotadas foi o aumento no uso da energia nuclear, porém, após o incidente de Fukushima, as energias renováveis ganharam mais força no cenário energético alemão, devido à menor probabilidade de grandes incidentes, segundo Laes e Gorissen (2014).

As energias provenientes de fontes limpas de geração experimentaram um crescimento rápido, passando de 3,1% da matriz energética alemã em 1990 para 30% da matriz em 2015 (CHAPMAN; ITAOKA, 2017).

Alemanha utiliza como ferramentas de promoção a energias renováveis: *Feed-in Tariff* e Leilões com cotas para energias renováveis. Com isso, surgem questionamentos a respeito dos custos de implementação dessas políticas de promoção a energias renováveis, que induzem

a errônea conclusão de que o suporte a tais energias custariam caro ao governo alemão. Para Pegels e Lutkenhorst (2014), tal afirmação não condiz com a realidade dos fatos, pois o total do custo do subsídio destinado a política de *Feed-in Tariff* não é maior do que o custo do subsídio destinado a energia elétrica gerada através do uso de carvão e fonte nuclear de geração de energia.

O principal projeto nacional de transição energética (*Energiewende*), o qual prioriza as fontes de energias renováveis, que foi realizado na Alemanha, um dos países mais ambiciosos quando o assunto é a transição de fontes não renováveis de energia para fontes renováveis de energia (PEGELS; LUTKENHORST, 2014), tem como base o mecanismo *Feed-in Tariff* (FIT) atuando como o elemento central do pacote de políticas na Alemanha e, como tal, merece destaque. A comunidade de políticas energéticas pontua que existe um acordo generalizado de que o mecanismo FIT em geral, e sua aplicação na Alemanha em particular, provou ser um instrumento de política extremamente eficaz para impulsionar as energias renováveis no mercado nacional de energia (HAAS et al., 2011; HELD et al., 2006; MATSCHOSS, 2013).

1.5 Geração de energia elétrica no Brasil

O Brasil, uma grande nação, observada sob a ótica de sua matriz energética, apresenta a distribuição de plantas geradoras de energia elétrica instaladas em regiões remotas do país e muito distantes dos grandes centros consumidores de energia, que estão localizados majoritariamente no sudeste do país e regiões costeiras nas quais a densidade demográfica é mais alta se comparado com outras regiões do país.

A energia proveniente de plantas de geração termelétrica, normalmente é utilizada para gerar energia em períodos nos quais os níveis de água nos reservatórios de usinas hidrelétricas encontram-se muito abaixo do limite mínimo pré-estabelecido com base na série histórica, períodos também conhecidos por estiagem, os quais caracterizam-se pelo baixo volume de chuvas nas regiões próximas aos reservatórios de usinas hidrelétricas.

De acordo com Ministério de Minas e Energia (2019) a matriz energética brasileira apresentada na figura 7, aponta a distribuição de capacidade de geração de energia por tipo de fonte geradora de energia.

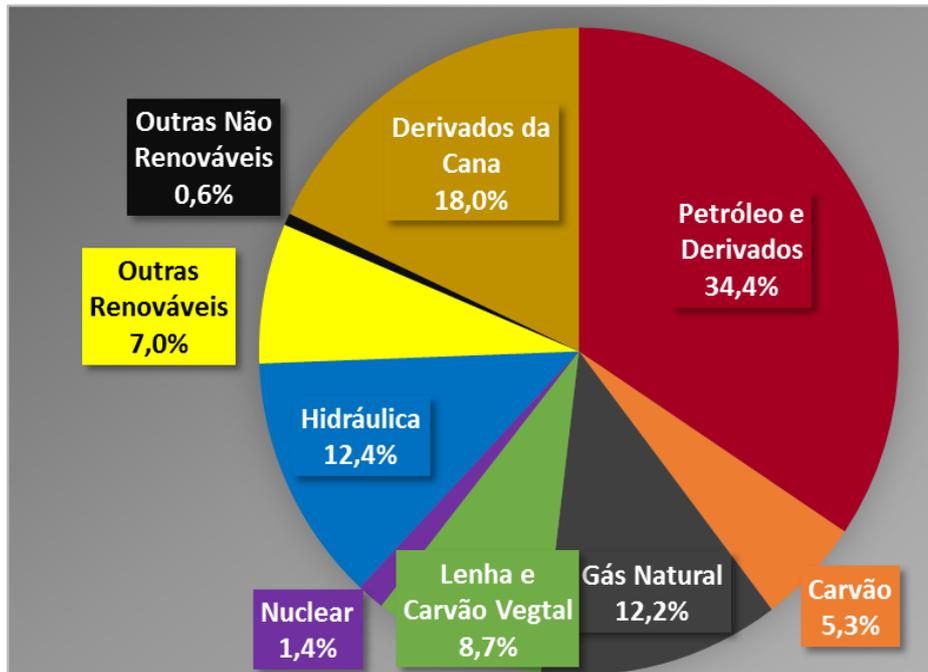


Figura 7 - Matriz Energética Brasileira, 2019.
 Fonte: Adaptado de BEN, 2020.

Ao analisar a matriz elétrica brasileira, percebe-se que grande parte da geração de energia é fruto da geração hidrelétrica, questão explicitada também na figura 9 – Matriz Elétrica Brasileira de 2019, fator que apresenta muitos pontos positivos e também algumas ressalvas.

Apenas para fins de comparação com a matriz energética brasileira, a figura 8 – Matriz Energética Mundial, 2019, apresenta a caracterização da composição das fontes energéticas que sustentam o consumo energético mundial, representado a seguir:

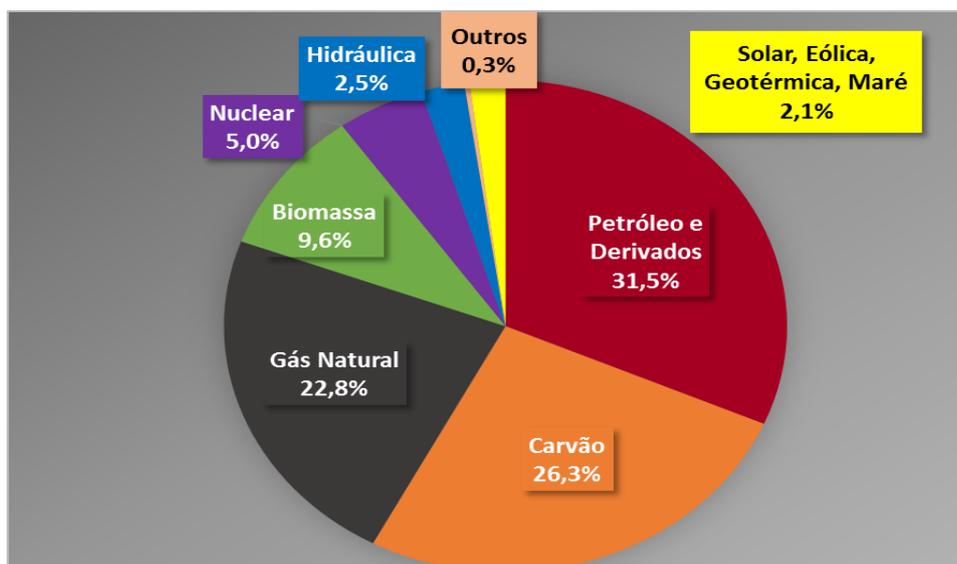


Figura 8 - Matriz Energética Mundial, 2019.
 Fonte: Adaptado de IEA/IRENA, 2020.

Basilarmente, temos grande participação do carvão na matriz elétrica mundial, totalizando 36,7% do total de energia produzida, sendo seguido pelo gás natural com 23,2% de representatividade, e também merece destaque a participação da energia nuclear com 10,1% da fatia mundial de produção elétrica. Por último, mas não menos importante e tema de interesse do presente trabalho, a energia solar, eólica, geotérmica contabilizam juntas 9,0% da quantidade de energia renovável gerada e distribuída no mundo.

Observa-se grande dominância no uso de combustíveis fósseis, representados aqui pelo petróleo e seus derivados, carvão mineral e gás natural. A predominância no uso desses combustíveis usados como fonte de energia, exemplifica como o meio ambiente é diretamente impactado com a utilização dessas fontes para suprir a demanda energética mundial.

Na contra mão do cenário mundial, o Brasil de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2019), hoje, possui aproximadamente 44% da matriz energética brasileira relacionada a fontes limpas. Em 2027, pode chegar a 48%. Essas características da nossa matriz são motivos de orgulho. Poucos países do mundo estão em condições como o Brasil (ABDIB, 2019).

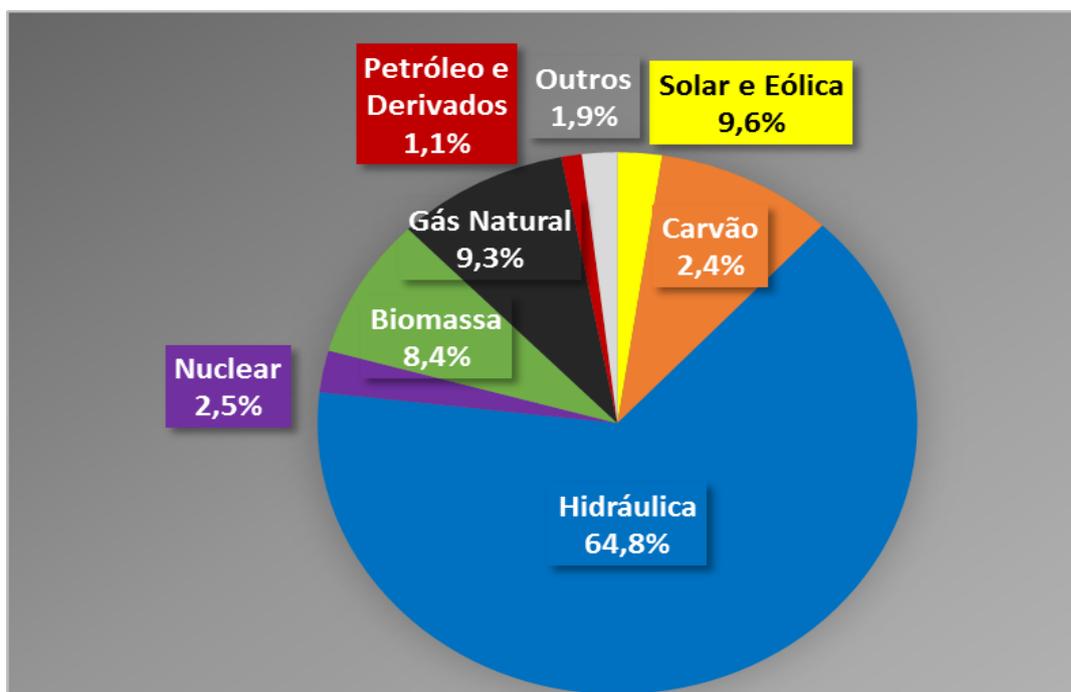


Figura 9 - Matriz Elétrica Brasileira, 2019.
Fonte: Adaptado de BEN, 2020.

A matriz elétrica nacional apresenta grandes diferenças se comparada com a matriz elétrica mundial, pois a predominância no sistema elétrico brasileiro é o uso de fontes renováveis de energia, ancoradas no grande uso de água como recurso vital para produção de

energia, com a utilização de hidrelétricas. Assim como aponta a figura 9, o qual enumera o percentual de participação de hidrelétricas no sistema nacional de energia, totalizando 64,8% do total de energia elétrica produzida no país, contando com 8,4% de biomassa e também 9,6% de energia solar e eólica somadas.

É possível usar o cenário mundial como uma fonte de contraposição, o qual demonstra algumas virtudes do sistema brasileiro de energia, assim como alguns pontos de atenção no que se refere ao uso de fontes renováveis de energia, que não sejam frutos da utilização de hidrelétricas.

No que tange aos benefícios, que podem ser exemplificados pelo baixo custo de produção de energia, além de apresentar uma pequena parcela na responsabilidade pela produção de gases de efeito estufa. Porém, esse tipo de produção de energia é extremamente dependente de um período de chuvas ao longo do ano que irá propiciar no mínimo a manutenção dos níveis nos reservatórios de maneira satisfatória, tomando-se tal fato como premissa pode-se inferir a volatilidade dos volumes dos reservatórios de acordo com as estações do ano, alternando períodos de chuvas e estiagem.

Tais argumentos demonstram a dificuldade na previsibilidade e controle dos níveis dos reservatórios de água utilizados para geração de energia por hidrelétricas, tornando assim a capacidade de geração de energia incerta ao longo do ano, ou seja, para gerir a cadeia de abastecimento energético nacional, faz-se necessário recorrer a outras fontes de energia para suprir a demanda energética da população brasileira em períodos de poucas chuvas e estiagem próxima aos reservatórios.

Diante do exposto nos parágrafos anteriores, a crise hídrica e energética ocorrida no Brasil em 2001, exemplifica como a dependência de uma única fonte geradora de energia coloca em vulnerabilidade a gestão do sistema nacional de energia. Além de impulsionar o preço da tarifa de energia cobrada ao consumidor final, a fim de inibir o consumo e também para custear fontes mais custosas de geração de energia, tal como a termelétrica. Em face da crise, o governo brasileiro buscou por opções em termos de produção de energia e também fortaleceu o operador nacional de energia.

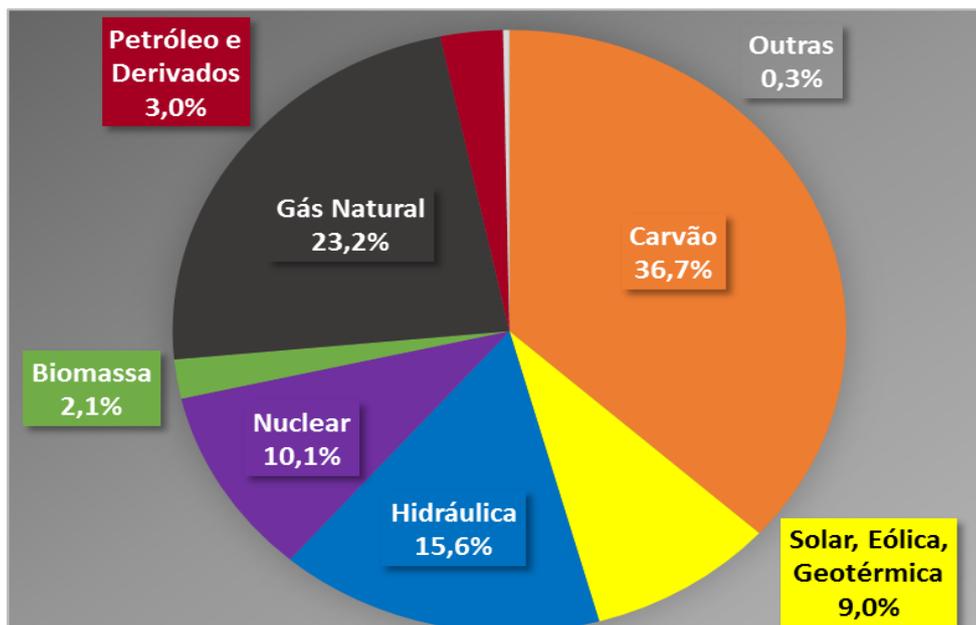


Figura 10 - Matriz Elétrica Mundial, 2019.
Fonte: Adaptado de IEA, 2020.

Esse é um fator que expressa uma mudança de paradigma, no cenário mundial de geração e distribuição de energia motivado pelos impactos ambientais causados pelo massivo uso de combustíveis fósseis, além de vislumbrarmos o fim da era do petróleo, dada a crescente demanda por energia versus o alto custo de prospecção, extração e refino do petróleo. Inclusive, o elevado índice de emissão de gases de efeito estufa também depõe contra os combustíveis fósseis como fonte de energia, em contrapartida as fontes renováveis de produção de energia, especificamente a fotovoltaica, possui uma pequena dispersão de gases de efeito estufa (GEE) para o meio ambiente se considerada toda sua cadeia de produção, desde a confecção, instalação e geração de energia e tempo de vida útil de painéis solares (GOLDEMBERG; LUCON, 2011).

Ainda segundo o Ministério de Minas e Energia (2019), algumas áreas merecem destaque: quanto à modernização do setor elétrico, por exemplo, são visadas a expansão do sistema, formação de preços, abertura do mercado, alocação de custos e riscos e inserção de novas tecnologias. No setor de petróleo, gás natural e biocombustíveis, há previsão de que, até 2040, o Brasil represente 23% do aumento da produção mundial de petróleo, ficando entre os cinco maiores produtores do mundo e dobrando a disponibilidade de gás natural no território brasileiro.

Em vista disso, os argumentos apresentados nos parágrafos anteriores, tal como a menção sobre o crescimento percentual previsto para os próximos oito anos da participação de fontes limpas de energia na matriz energética brasileira, não é reflexo das ações adotadas pela

federação, que visa fortalecer a exploração de combustíveis fósseis e, por conseguinte o seu consumo, como mencionado anteriormente pelo próprio governo.

Consequentemente, a não realização por parte do governo federal do Brasil de proposições de políticas públicas de incentivo a geração de energia por meio de fontes renováveis de energia, mais especificamente, energia fotovoltaica, apresenta-se como um fator que impulsionou o autor do presente trabalho a pesquisar sobre o tema, a fim de prover subsídios teóricos e as melhores práticas adotadas ao redor do mundo no que tange a proposição de políticas públicas de incentivo a geração e distribuição de energia fotovoltaica.

Outrossim, a capacidade instalada de geração de energia elétrica quando somados todos os tipos de fontes de geração energética é de 164 GW, interligadas por linhas de transmissão de 145,5 mil km, projetadas para atender 83,9 milhões de unidades consumidoras, empresas, residências e comércios (MME, 2019).

Para corroborar tal intento é preciso entender primeiro a composição da oferta interna de energia elétrica, sob a ótica de energias renováveis, representada pela figura 11- Oferta interna de energia por fonte. A qual versa entre oito diferentes fontes de energia, as quais estão dispostas, majoritariamente, por fontes renováveis de energia, contabilizando um percentual de 82,9% quando somadas as fontes: Hidráulica, Biomassa, Eólica e Solar. Vale salientar que esse expressivo resultado é proveniente da grande parcela que a fonte hidráulica representa para o Brasil, contabilizando 64,9% de toda oferta interna de energia. E no momento em que é retirada a parcela hidráulica desse valor o resultado cai para 18,0% da oferta de energia, e o valor ainda menor de 1,0% é o percentual de participação da energia solar.

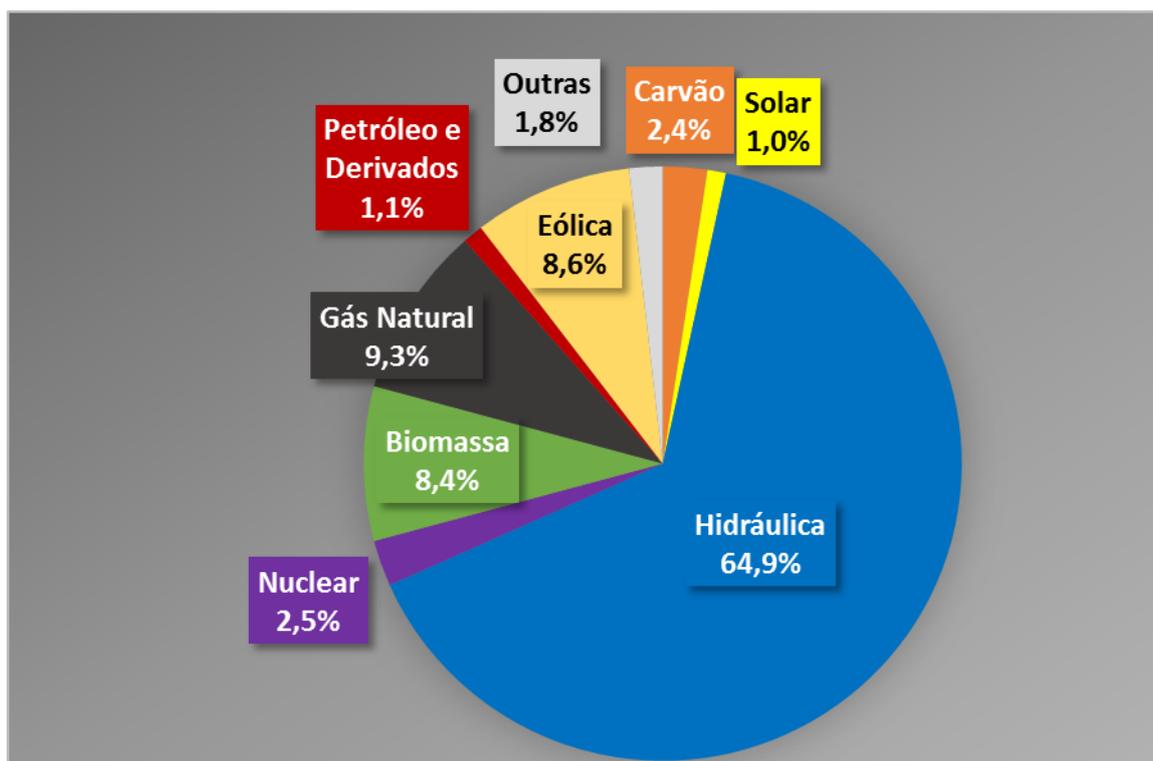


Figura 11 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte, 2019.
 Fonte: Adaptado de BEN, 2020.

1.6 Custo de construção de uma usina hidrelétrica

Amazônia é a maior floresta tropical do mundo que ainda existe e oferece, como serviços ambientais, manutenção da biodiversidade, armazenamento de carbono e ciclo de conservação da água de acordo com Fearnside (2005). No Brasil, suas bacias hidrográficas são fontes de grande potencial de geração de energia ainda não utilizada por hidrelétricas, conforme avaliação da EPE (2018).

Para Moretto et al. (2012), que considera que grandes projetos de engenharia também são opções para a geração de desenvolvimento econômico nos países em desenvolvimento, vale ressaltar a recente construção da Barragem de Belo Monte como um projeto emblemático no Brasil, bem como marcado por vários conflitos, segundo Fleury (2013). A construção da barragem de Belo Monte, com 4.371,78 MW de energia constante, representa um aumento de cerca de 5% na quantidade total de energia em operação no país de acordo com o Núcleo de Estudos Socioambientais (NESSA, 2010).

Já a geração de energia e custo com a usina Foz do Chapecó, que possui capacidade energética equivalente a 25% de todo o consumo de energia do Estado de Santa Catarina ou a

18% do consumo do Rio Grande do Sul, o empreendimento é da ordem R\$ 4 bilhões de acordo com Furnas (2021). Além de apresentar um custo de operação anual de R\$ 23.726.208,96.

A Hidrelétrica de Belo Monte, no Pará, foi orçada em R\$ 16 bilhões, leiloada por R\$ 19 bilhões e inicialmente financiada por R\$ 28 bilhões. Em 2013, quase dois anos depois do início das obras, o valor não parou de subir. Superou o montante de R\$ 30 bilhões e aumentou ainda mais com as dificuldades para levar a construção adiante. (FURNAS, 2021).

De acordo com Estadão (2013), com a sequência de paralisações provocadas por índios e trabalhadores, estimou-se que a obra já apresentada com um ano de atraso, na época, continuou nesse ritmo e, além dos investimentos que aumentaram, a concessionária perdeu mais de R\$ 4 bilhões em receita. De semelhante modo, a instabilidade nos números poderá afetar diretamente a rentabilidade dos acionistas, que em 2010 estava calculada em 10,5%. Enquanto isso, em 2013, as planilhas dos analistas de bancos de investimentos apontaram um retorno real de 6,5% ao ano.

Segundo a Norte Energia, concessionária responsável pela construção da usina hidrelétrica de Belo Monte, os valores gastos em sua construção foram corrigidos para R\$ 28,9 bilhões.

Leiloada em abril de 2010, a usina foi arrematada por um grupo de empresas reunidas pelo governo para que a disputa tivesse concorrência. Desde então, o projeto foi pressionado por uma série de fatores em áreas distintas. A montagem eletromecânica dos equipamentos, por exemplo, após anos não foi contratada, e um dos motivos seria a elevação dos preços dos serviços, de R\$ 1 bilhão para cerca de R\$ 1,6 bilhão. Custos ambientais e gastos administrativos também ficariam bem acima das previsões iniciais.

Junta-se a essa lista as despesas indiretas com mão de obra, como cesta básica e tempo para visitar a família pois, de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria da Construção Pesada (Sinicon, 2013), em apenas um ano e meio, o valor da cesta básica dos trabalhadores de Belo Monte subiu 110%, no intervalo de um ano, e o interstício entre as visitas das famílias, pagas pela empresa, recuou de 180 dias para 90 dias.

No entanto, ao analisar um breve panorama de custos de usinas hidrelétricas construídas no norte do País, é salutar analisar que quando a usina hidrelétrica de Jirau com capacidade instalada de produção de 3300 MW em Rondônia foi leiloada em 2008, o investimento planejado para a construção do projeto foi de R \$ 8,7 bilhões (ANEEL, 2008). O custo real em 2016 foi de 16,6 bilhões de acordo com Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016), em termos percentuais, a extrapolação foi de 91% se comparado com o valor inicial.

Da mesma maneira, a usina de Santo Antônio com capacidade instalada de produção de 3568 MW, também localizado no rio Madeira, estado de Rondônia, destinada a custar R\$ 12,2 bilhões a empreendedores, concluiu as obras no valor de R \$ 20,0 bilhões (CBIC, 2016) - 64% a mais do que o orçamento inicial.

Por fim, o valor final do custo de construção da usina de Belo Monte, com capacidade instalada de 11.233 MW, a maior potência instalada no país nos últimos anos para um único projeto, foi inicialmente estimada em R\$ 19 bilhões. Em 2016, os custos estimados da planta foram de R\$ 32,9 bilhões (CBIC, 2016), o que representa um dispêndio adicional de 70% a partir de abril de 2017, apesar de grandes dificuldades encontradas no percurso de construção da usina. No entanto, como o rio Xingu possui uma vazão bastante reduzida na estação seca, a usina produz apenas uma média de 4.462 MW ao longo desse período do ano, o que representa uma utilização, fator de capacidade, de apenas 39% da capacidade total instalada no período de estiagem.

1.6.1 Custo de construção e manutenção de linhas de transmissão para interligar usinas hidrelétricas de grande porte no norte do País a grandes centros consumidores de energia.

Existem vários componentes que são relevantes para determinar o custo de construção de linhas de transmissão. No entanto, para realizar a análise que também depende do conhecimento, experiência e intuição de especialistas, bem como de suas considerações e para maior compreensão, são considerados os fatores espaciais, que influenciam a avaliação da atratividade, refletidos em duas perspectivas: técnico-econômica e socioambiental. De acordo com Alves (2014), os critérios técnicos-econômicos mais comuns aplicados são: Declive do solo, Características do solo, Tipo de solo, Distância dos corpos d'água, Tipo de vegetação, Distância das estradas, Distância das linhas de transmissão preexistentes.

Analogamente, os critérios socioambientais mais utilizados como determinação do impacto ambiental e social relativo a construção de linhas de transmissão de energia, são: Proximidade com áreas habitadas, Áreas de preservação ambiental, Áreas tombadas pelo patrimônio cultural, Áreas já construídas. Vale salientar, que algumas informações não estão disponíveis em fontes públicas.

É possível observar que cada critério principal é composto por vários subcritérios. O critério técnico-econômico está relacionado a aspectos espaciais que podem prejudicar a construção das linhas ou podem incluir custos excessivos para os serviços de manutenção e operação. O critério socioambiental está relacionado a áreas que apresentam algumas restrições ao uso da terra devido à ocupação por comunidades especiais, como por exemplo, terras indígenas, ou a qualquer atividade que imponha limitações relacionadas a considerações de segurança, tais como: aeroportos, áreas de mineração, etc.

Geralmente, a avaliação dos custos gerais depende dos custos estimados para cada subcritério. Por exemplo, à medida que a inclinação muda, os custos de construção também mudam para um novo intervalo, de modo que cada intervalo de declives define os intervalos de custo.

A ideia fundamental é identificar os mapas aos quais cada vértice pertence e, em seguida, formar o custo do vértice. Feito isso, o custo da aresta é definido pela média de dois vértices que a limitam, multiplicado pelo comprimento da aresta da base. O custo médio de construção de linhas de transmissão é de R\$ 750/m. Tal valor pode variar de acordo com flutuações cambiais (ELETROBRÁS, 2005).

1.6.2 Custo de construção e manutenção de linhas de transmissão

Devido à impossibilidade de coletar informações oficiais discricionárias a respeito do custo de construção das linhas de transmissão que interligam a usina de Belo Monte com centros consumidores de energia e linhas de transmissão de energia preexistentes, o presente trabalho, adotou a metodologia de contabilizar o somatório referente à extensão de todas as linhas de transmissão construídas para distribuir a energia produzida pela usina hidrelétrica de Belo Monte, a fim de obter o custo total referente à construção de linhas de transmissão ligadas diretamente a usina de Belo Monte.

Tais linhas de transmissão são: Belo Monte / Xingu 1, com tensão de 500 kV e extensão de 17 km; Belo Monte / Xingu 2, com tensão de 500 kV e extensão de 17 km; Belo Monte / Xingu 3, com tensão de 500 kV e extensão de 17 km; Xingu / Jurupari 1, com tensão de 500 kV e extensão de 244 km; Xingu / Jurupari 2, com tensão de 500 kV e extensão de 244 km. Que totalizam 539 km de extensão de linhas de transmissão.

Em consonância com relatório do programa para orçamentos de linhas de transmissão (2005), o presente trabalho realizou a simulação do custo de construção de linhas de transmissão, devido a escassez de informações oficiais que constem os custos referentes a construção de linhas de transmissão que interligam a usina de Belo monte. A simulação é de fato muito precisa no que tange a estimativa de custos, quando considerados os seguintes fatores como dados de entrada: Tipo de corrente (Alternada), Classe de tensão (500 kV), Tipo de circuito (Circuito simples), Estrutura (Autoportante), Fundações (Concreto), Cabo Condutor (CAA 954 MCM RAIL), Cabo para-raios convencional (Aço 9,15 mm/3/8”), Configuração da cadeia de isoladores (IVI).

Para além das informações de entrada, tomou-se a distância de 539 km, valor resultante do somatório do comprimento, como referência para simulação do custo das linhas de transmissão construídas para atender a usina de Belo Monte, e também se observou a necessidade de considerar a aquisição de terrenos de servidão e limpeza dos mesmos, ou seja, locais nos quais serão instaladas as linhas de transmissão e caminhos pelos quais as linhas aéreas passarão que usualmente obedecem o dimensionamento de 60.000 m²/km, sob o custo de R\$ 0,18/m²de terreno de servidão e limpeza, contabilizando o custo total de R\$ 5.821.200,00.

De mesmo modo, a aquisição de estruturas para construção de toda extensão de linhas de transmissão, possui um custo total de R\$ 66.641.960,00. Já a aquisição de cabo condutor contabilizou um somatório de R\$ 115.182,00. Semelhantemente, o custo de aquisição de cabo para-raios convencional, totalizou uma quantia de R\$ 3.193.790,60. De maneira análoga, a aquisição de isoladores apresentou um valor total de R\$ 8.286.332,67. Igualmente, o valor referente ao gasto total com a aquisição de ferragens e acessórios é de R\$ 12.942.683,60. De maneira idêntica, o custo referente a aquisição de aterramento é de R\$ 377.300,00.

Tal qual, é o custo de aquisição de materiais que contabilizou R\$ 206.624.211,00. Ao realizar o somatório do custo total das fases de: Inspeção, Transporte e Seguro, Almoxarifado, Materiais e Despesas, Execução de fundações, Montagem de Estruturas, Instalação de Cabo Condutor, Instalação de Cabo para-raios Convencional, Instalação de Aterramento, Acessos, Construção, Topografia, Geologia e Sondagem, Outros Custos Técnicos, Estudo e Projeto Básico, Projeto Executivo, Engenharia, Custos Ambientais, Administração Local, Administração Central e Custos Eventuais, tais aspectos referentes a parcelas de custos citados acima, formam um custo total de R\$ 760.398.243,99.

Portanto, o valor final é descrito como resultado do somatório de todas as partes integrantes do processo de construção de linhas de transmissão e contabiliza a quantia de R\$

1.064.400.902,87. Tal cifra que gira em torno de um pouco mais de 1 bilhão de reais, permite uma melhor visualização de custos se considerado um cenário ideal, livre de interferências impostas pela corrupção (ELETROBRÁS, 2005).

Pode-se obter por comparação do dimensionamento das linhas de transmissão o valor aproximado das linhas de transmissão da usina Foz do Chapecó de que giram em torno de R\$ 592.430.929,24.

1.7 Legislação e principais incentivos à energia solar no Brasil

No Brasil, a fonte solar também tem sido alvo de estímulos, mesmo que poucos e não tão eficazes. Sob a justificativa de o País dispor de alternativas de energia limpa mais baratas, os incentivos não são da mesma escala daqueles verificados em outros países, líderes em produção de energia solar. De acordo com a EPE (2018), o aumento dos esforços e apoios a fontes alternativas como forma de reduzir as emissões de CO₂ e diversificar a matriz energética, são resultados de matrizes majoritariamente dependentes de combustíveis fósseis, fator que motiva os países europeus, dos Estados Unidos, da China, do Japão e da Austrália. Este subcapítulo está organizado de maneira a apresentar os esforços e mecanismos utilizados para incentivar a geração de energia elétrica proveniente de fonte solar no Brasil.

1.7.1 Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO)

De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES,2020), listado entre um dos maiores bancos de desenvolvimento do mundo e, hoje, o principal instrumento do governo federal para o financiamento a longo prazo em todos os segmentos da economia brasileira, este instrumento público opera o Programa de Apoio a Empresas de Serviços de Conservação de Energia (PROESCO), que tem como linha de atuação o apoio a projetos de eficiência energética.

Outrossim, a ação focal do PROESCO de acordo com a ABESCO (2020), destina-se a intervenções que comprovadamente contribuam para economia de energia. Dentre os pontos

focais de ação possíveis, destacam-se: Iluminação, Motores, Otimização de processos, Ar comprimido, Bombeamento, Ar Condicionado e Ventilação, Refrigeração e Resfriamento, Produção e Distribuição de vapor, Aquecimento, Automação e Controle, Distribuição de energia e Gerenciamento energético.

Em linhas gerais, o BNDES é responsável por financiar ações que atestem uma contribuição para economia de energia, produza um aumento de eficiência global do sistema energético ou promova a substituição de combustíveis de origem fóssil por fontes renováveis de energia. Por exemplo, hidrelétricas, geração a partir de biomassa, energia eólica, energia solar, pequenas centrais hidrelétricas e outras fontes alternativas podem obter financiamento, com taxa de juros abaixo das praticadas pelo mercado e prazo de amortização de até 20 anos.

1.7.2 Programa Luz Para Todos (LPT)

O programa luz para todos (LPT) é responsável por instalar painéis solares em comunidades de todo o País, de acordo com as características de cada comunidade, que não tenham acesso a energia elétrica, inclusive no sistema isolado que compreende regiões não conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), locais nos quais não vigora o acionamento centralizado das diversas usinas geradoras de energia elétrica.

O Ministério de Minas e Energia (MME, 2019), sinalizou no final do ano de 2019 a continuidade das obras do Programa Luz Para Todos (LPT) em 11 estados em 2020. A meta é realizar 95.052 ligações com investimentos de mais de R\$ 1,1 bilhão para levar energia elétrica para moradores no meio rural ainda sem acesso a este serviço público.

Os Estados com maior número de pessoas sem atendimento elétrico receberão a maior parte dos recursos. Conforme apresentado na tabela 1.

UF	META	VALOR EM R\$
Acre	2.000	32.396.441,00
Amazonas	8.328	59.060.416,00
Amapá	7.850	71.629.752,00
Bahia	31.861	445.018.795,00
Goiás	2.200	31.910.444,00
Maranhão	8.162	171.997.323,00
Mato Grosso	3.657	45.513.326,00
Pará	16.541	105.418.758,00
Piauí	6.543	106.479.832,00
Rondônia	3.881	50.697.750,00
Roraima	4.029	18.220.666,00
VALOR TOTAL	95.052	1.138.343.503,00

Tabela 1 - Investimentos do Programa LPT por Estados da Federação
Fonte: MME, Disponível em www.mme.gov.br

O LPT atua no desenvolvimento econômico e social, contribuindo para a redução da pobreza e da fome nas comunidades atendidas. Em 15 anos de existência do LPT, mais de 16 milhões de brasileiros foram beneficiados com 3,5 milhões de ligações realizadas. Apenas em 2018, foram realizadas mais de 53 mil novas ligações, beneficiando mais de 212 mil pessoas.

Anterior a esse programa, no governo do Fernando Henrique Cardoso, existia o Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo, instituído através de decreto de 2 de dezembro de 1999. Seu objetivo era o de promover a melhoria das condições sócio-econômicas das áreas rurais do País. (BRASIL, 1999). Na época da sua implementação, mais de 625 mil pessoas se cadastraram no programa, porém muitos assumiram dívidas contratuais referentes, por exemplo, a fios e equipamentos elétricos, o que os impedia de migrar para o programa posteriormente redenominado Luz para Todos, visto que o contrato do Luz no Campo estabelecia o pagamento da taxa de instalação até o ano de 2013 (BRASIL, 2008).

Atualmente, 15 estados já foram universalizados, ou seja, atingiram a meta total de atendimento. São: Alagoas (AL), Ceará (CE), Espírito Santo (ES), Minas Gerais (MG), Mato Grosso do Sul (MS), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Paraná (PR), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Norte (RN), Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), Sergipe (SE), São Paulo

(SP) e Tocantins (TO). A meta do Programa é concluir a universalização do País até 2022, atendendo a toda a demanda passível de ligação com extensão de rede (MME, 2020).

A Resolução Normativa nº 488, de 15 de maio de 2012, da Aneel, estabelece as condições para revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural e a Resolução Normativa nº 493, de 5 de junho de 2012, da Aneel, estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) ou (SIGFI) Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SILVA, 2015).

1.7.3 Fundo do Clima e Inova Energia

O fundo do clima, criado pela Lei nº 12.114, de 09 de dezembro de 2009, regulamentada pelo decreto nº 7.343, de 26 de outubro de 2010 e vinculado ao Ministério de Meio Ambiente (MMA), disponibiliza recursos, inclusive não reembolsáveis, para financiar projetos, estudos e empreendimentos que visem a redução dos impactos da mudança do clima e a adaptação a seus efeitos, fato que inclui projetos voltados a geração e distribuição de energia solar (SILVA, 2015).

O fundo do clima é um subprograma de energias renováveis operado pelo BNDES, que fornece apoio a investimentos em geração e distribuição local de energia renovável, no desenvolvimento tecnológico e na cadeia produtiva do setor de energias renováveis. No qual, pessoas jurídicas de direito privado com sede e administração no País e pessoas jurídicas de direito público, à exceção da União, podem solicitar apoio financeiro.

Este possibilita financiamentos a projetos de: Desenvolvimento tecnológico de energia solar, eólica, hidráulica, biomassa e dos oceanos, e da cadeia produtiva para a difusão do uso de energia solar e dos oceanos; Projetos de geração de energia elétrica ou conversão energética a partir do uso de biomassa, incluindo a produção e utilização de biogás para fins energéticos; Projetos de geração de energia elétrica a partir da energia eólica ou hidráulica, esta até 1 MW, ambas apenas em sistemas isolados; Projetos de geração de energia elétrica a partir da energia solar, incluindo geração distribuída, e dos oceanos.

Segundo o BNDES (2020), o Inova Energia é o plano de ação conjunta, iniciativa que destina-se à coordenação das ações de fomento à inovação e ao aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pelo BNDES, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) com as seguintes

finalidades: Apoiar o desenvolvimento e a difusão de dispositivos eletrônicos, microeletrônicos, sistemas, soluções integradas e padrões para implementação de redes elétricas inteligentes (*smart grids*) no Brasil; Apoiar as empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas das seguintes energias renováveis alternativas: solar fotovoltaica, termossolar e eólica para geração de energia elétrica; Apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento de integradores e adensamento da cadeia de componentes na produção de veículos elétricos e híbridos a etanol, e melhoria de eficiência energética de veículos automotores no País; e aumentar a coordenação das ações de fomento e aprimorar a integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis.

Os participantes elegíveis ao processo de seleção do Inova Energia são empresas brasileiras, nas categorias Empresas Líderes ou Empresas Parceiras, e Instituições Científicas Tecnológicas (ICTs) brasileiras que tenham interesse em empreender atividades de inovação aderentes às linhas temáticas, bem como em produzir e comercializar os produtos e serviços resultantes dessa atividade. O fomento e a seleção de planos de negócio no âmbito do Inova Energia se destinarão a cadeias produtivas ligadas às três linhas temáticas.

Primeira linha temática, Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*) e Transmissão em Ultra-Alta Tensão (UAT), que mais especificamente aborda: Implementação de projetos-piloto de Redes Inteligentes de Energia Elétrica (*Smart Grids*) com desenvolvimento tecnológico realizado no Brasil; Desenvolvimento de *software* e soluções para interface com usuários, gestão, controle, segurança e/ou tarifação aplicadas a *Smart Grids*; Desenvolvimento de dispositivos eletrônicos para *Smart Grids*: medidores digitais, atuadores, inversores, dispositivos de comunicação, sensores, eletrodomésticos inteligentes e iluminação LED, OLED, LEP ou de outros materiais; Desenvolvimento e implementação de projetos-piloto de sistemas de recarga/abastecimento elétrico ou de hidrogênio para veículos automotores com tração elétrica; Desenvolvimento de tecnologias e apoio a aplicações pioneiras de sistemas de transmissão em ultra-alta tensão.

Segunda linha temática, Geração de Energia através de Fontes Alternativas, que mais especificamente aborda soluções para cadeia fotovoltaica: Desenvolvimento de tecnologias para produção de silício purificado em grau solar, *wafers* de silício e células fotovoltaicas do mesmo material; Desenvolvimento de tecnologias para produção de células fotovoltaicas de filmes finos, OLED ou de outros materiais; Desenvolvimento de tecnologias e soluções para produção de inversores e equipamentos aplicados a sistemas fotovoltaicos. Também apresenta soluções para cadeia heliotérmica: Desenvolvimento de tecnologias para aproveitamento energético termossolar para fins de geração elétrica.

1.7.4 Venda Direta a Consumidores e Sistemas de Compensação de Energia Elétrica Para Microgeração e Minigeração Distribuídas.

O mercado livre de energia, também conhecido por venda direta a consumidores, foi criado durante o governo de Fernando Henrique Cardoso, em 1995, com a Lei 9.074. Ao criar esse mercado, o objetivo do governo foi estimular a livre concorrência, criando maior competitividade entre as empresas brasileiras e proporcionando a redução dos custos com energia elétrica. No qual, o consumidor pode escolher o seu fornecedor de energia elétrica em toda a extensão do Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme sua conveniência, bem como o melhor preço, ofertado pelos geradores ou agentes comercializadores.

A venda direta a consumidores surgiu para estimular a livre concorrência e, assim, reduzir os custos com energia elétrica. O consumidor livre pode escolher seu fornecedor de energia, que pode ser um Gerador ou um agente comercializador. O consumidor livre também pode traçar suas próprias estratégias e negociar livremente as condições comerciais de contratação da sua energia. Tem a possibilidade de escolher preço, prazo e indexação. Além de ter flexibilidade quanto ao montante de consumo e tipo de fonte geradora.

De modo contrário, em contraste com o modelo de venda direta a consumidores, no mercado cativo, os consumidores só podem comprar energia elétrica de uma concessionária ou de uma permissionária que tem a concessão para fazer o serviço de distribuição. O consumidor cativo não tem a possibilidade de negociar preço, ficando sujeito às tarifas de fornecimento estabelecidas pela ANEEL. Compram energia elétrica de distribuidoras que adquiriram essa energia através de leilões, portanto precisam repassar esses custos ao consumidor.

Outrossim, apresentam-se a mini e microgeração distribuídas, de acordo com a ANEEL (2018), 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. Trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade.

Com 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, cujo objetivo era estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia

elétrica. Nesse ínterim, os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, estão 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 (ANEEL, 2018).

A definição de microgeração distribuída, é dada pela 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. No instante no qual a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. O prazo de validade dos créditos é de 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos corresponde ao *Net Metering*.

Inclusive a ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, que possibilita que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

Porém, primeiro é de suma importância entender que a geração distribuída compõe o planejamento da geração de energia elétrica do Brasil, seja por meio da fonte solar, eólica ou biomassa. O Plano Decenal de Energia 2029 (PDE 2029 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), prevê, para o ano de 2029, 21,0 TWh de energia elétrica produzidos por sistemas fotovoltaicos nas classes residenciais e comerciais, sob a forma da geração distribuída. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), na sua Resolução 482 de 2012, fomentou este tipo de geração de energia elétrica, quando regulamentou a possibilidade de pessoas físicas ou jurídicas produzirem sua própria energia, inserindo na rede de distribuição elétrica o excedente produzido, contabilizando crédito nas suas futuras contas de energia.

1.7.5 Debêntures Incentivadas e Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS).

O governo federal criou em 2011 um mecanismo para tentar atrair investidores privados (pessoas jurídicas ou pessoas físicas) para ajudá-lo nessa tarefa e, neste intuito, foi criada a lei Nº 12.431 de 24 de junho de 2011, que dispõe sobre a incidência do imposto sobre a renda nas operações, fato esse que dava isenção de imposto de renda para investimentos em determinados títulos privados, com a condição de que tais títulos tivessem como objetivo captar recursos para financiamento de obras de infraestrutura. Os títulos mais utilizados para esse fim ficaram conhecidos como *debêntures* de infraestrutura ou, mais popularmente, *debêntures* incentivadas.

As *debêntures* incentivadas de infraestrutura foram concebidas para tornar mais fácil para as empresas a captação de financiamento junto ao mercado de capitais. Diferentes de um papel comum, elas permitem a isenção do imposto de renda a pessoas físicas e estrangeiros que as comprarem. Empreendedores dos setores de logística e transporte, mobilidade urbana, energia e saneamento podem fazer uso do mecanismo. Os papéis também podem ser vendidos no mercado secundário, a parte do mercado financeiro dedicada à compra e venda de valores lançados antes em uma primeira oferta (ABSOLAR, 2018).

Debênture é um dos mecanismos que mais se ajustam ao setor elétrico, mais especificamente ao de energia solar, também pelo fato de que os papéis incentivados são um ótimo mecanismo para complementar a dívida de longo prazo dos projetos, ajudando na estruturação de capital deles. Ainda, a customização dos fluxos de repagamentos das *debêntures*, aliada a prazos mais longos autorizados pelos investidores, permitem uma maior alavancagem do projeto, tendo como resultado uma menor tarifa de energia.

As empresas de energias renováveis estão vendo as *debêntures* como uma alternativa aos financiamentos e apresenta-se mais flexível para projetos. Outro aspecto importante a ser ressaltado é que os papéis incentivados também permitem financiar equipamentos importados. Fato esse que não pode ocorrer caso o financiamento seja proveniente do BNDES, por expressar a condição de fazer uso do conteúdo local.

Paralelamente, o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS), segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (2020), visa fornecer um conjunto de incentivos fiscais federais estabelecidos com o objetivo de contribuir para a atração de investimentos e ampliação dos já existentes nas

áreas de semicondutores e *displays* (mostradores de informação), além de insumos estratégicos para a cadeia produtiva.

O Programa possibilita às empresas interessadas a desoneração de determinados impostos e contribuições federais incidentes na implantação industrial, na produção e comercialização dos equipamentos beneficiados. Em contrapartida, as empresas estão obrigadas a realizarem anualmente investimentos mínimos em atividades de P&D. São concedidas reduções a 0% de alíquotas do II, do IPI, do PIS-COFINS e do PIS-COFINS-Importação para máquinas, equipamentos, insumos e *softwares* específicos destinados à produção daqueles produtos, conforme regulamento (MDIC, 2020).

Ainda, de acordo com o Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2020), o PADIS foi instituído pela lei nº 11.484 de 31 de maio de 2007 e regulamentada pelo decreto nº 6.233 de 11 de outubro de 2007, no que tange ao PADIS, definindo a lista de produtos elencados: máquinas, equipamentos, insumos, *softwares* beneficiados com os incentivos fiscais.

Salienta-se ainda que, a empresa precisa ser exclusivamente dedicada à produção de bens incentivados pelo referido programa, ou seja, a empresa deve possuir cadastro nacional de pessoa jurídica (CNPJ), exclusivo para o PADIS.

Ainda, deve obedecer a outros critérios, tais como: Submissão prévia de projeto de P&D e produção ao MCTI e ao MDIC, segundo roteiro específico; Habilitação junto à Receita Federal após a aprovação do projeto; Investimento mínimo anual em P&D de 5%, sempre tendo como base de cálculo o faturamento líquido no mercado interno; Realização no Brasil das etapas produtivas previstas na legislação para células solares, a etapa de difusão ou processamento físico-químico, para os painéis solares, observar a Portaria Interministerial MCTI/MDIC nº 1.045 de 03 de outubro de 2014, que estabelece as etapas produtivas que correspondem ao corte, encapsulamento e teste para a produção de painéis solares (células solares montadas em módulos ou painéis) com os incentivos do PADIS.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA.

A metodologia utilizada neste trabalho encontra-se alicerçada nos pilares descritos a seguir:

- Revisão da literatura e da legislação existente;
- Identificação de países com melhores práticas na área de produção de energia renovável e seus mecanismos de incentivo (Benchmarking);
- Prospecção de dados oficiais: Geográficos, irradiação solar, custos de implantação e operação, capacidade instalada e fator de capacidade, de usinas hidrelétricas e termelétricas;
- Escolha do estudo de caso;
- Utilização do Mapa Solar Rio para levantamento do potencial de geração fotovoltaica.
- Comparação entre resultados gerados pelo Mapa Solar Rio e por outros meios;
- Análise de viabilidade econômica face a geração centralizada via usina hidrelétrica e Termelétrica;
- Análises de sensibilidade;
- Propostas de mecanismos de incentivo para a implantação da geração distribuída fotovoltaica na cidade do Rio de Janeiro.

2.1 Delineamento do estudo

O estudo seguiu os seguintes passos:

- Foi adotada a composição familiar de quatro pessoas por residência e utilizado o valor médio da conta de energia elétrica obtido através de simulação realizada no site da Light (em dezembro de 2020), utilizou-se lista de aparelhos de acordo com as figuras 12, 13 e 14, que serviram de base para o cálculo do consumo médio anual, assim como o gasto médio anual para todos os consumidores residenciais da distribuidora Light, residentes do bairro de Campo Grande.



RELATÓRIO GERAL

Quant.	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/Mês	Consumo/Total
1	Condicionador de Ar	3 horas/dia	90.00	R\$ 81,78	25,73%
1	Condicionador de Ar	2 horas/dia	60.00	R\$ 54,52	17,16%
1	Chuveiro Elétrico	20 minutos/dia	45.00	R\$ 40,89	12,87%
1	Geladeira	24 horas/dia	39.60	R\$ 35,98	11,32%
1	Televisão	3 horas/dia	16.20	R\$ 14,72	4,63%
1	Televisão	3 horas/dia	16.20	R\$ 14,72	4,63%
1	Máquina de Lavar	1 horas/dia	15.00	R\$ 13,63	4,29%
1	Ventilador	6 horas/dia	12.96	R\$ 11,78	3,71%
1	Bomba de água	1 hora/dia	12.00	R\$ 11,16	3,52%

Figura 12- Simulação da demanda de energia familiar- Parte 1

Fonte: Light, Disponível em <http://www.light.com.br/para-residencias/Simuladores/consumo.aspx>

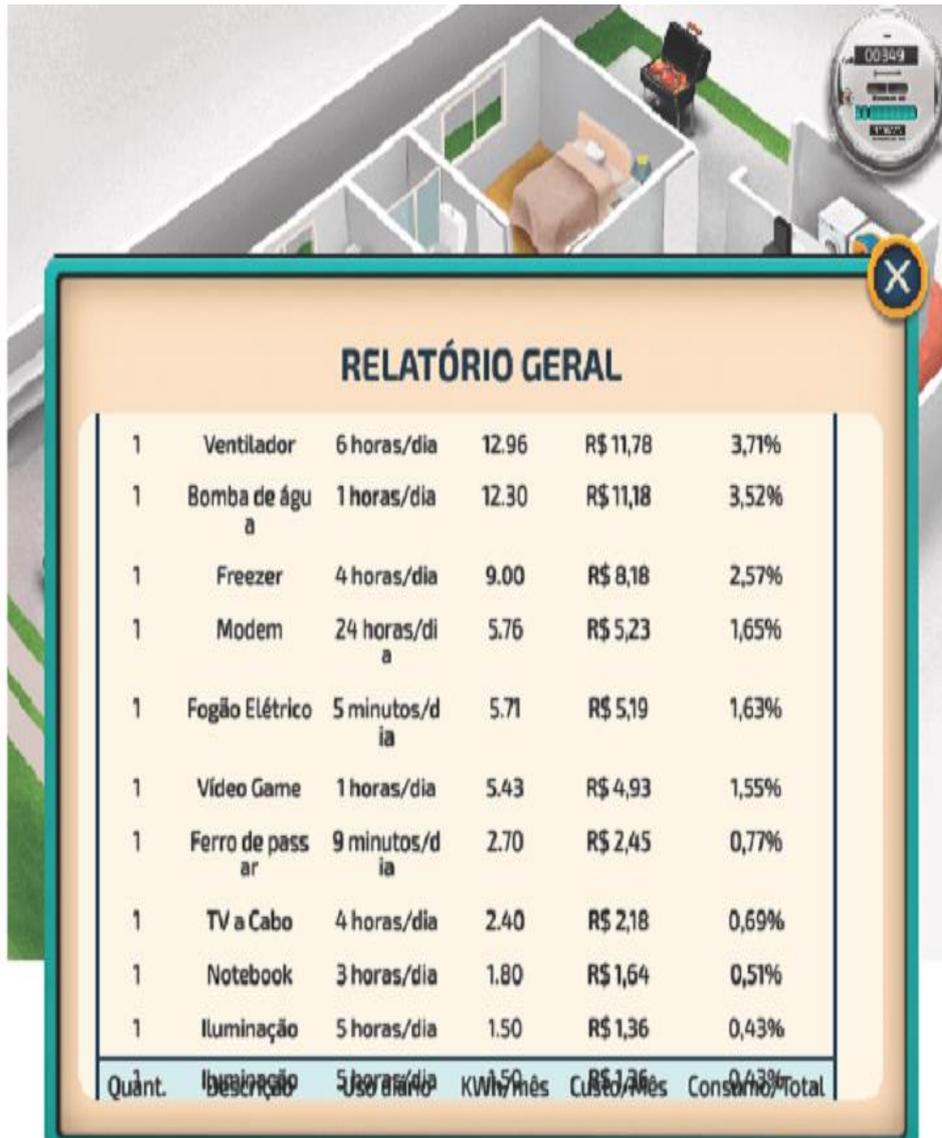


Figura 13 - Simulação da demanda de energia familiar- Parte 2

Fonte: Light, Disponível em <http://www.light.com.br/para-residencias/Simuladores/consumo.aspx>

1	Notebook	3 horas/dia	1.80	R\$ 1,64	0,51%
1	Iluminação	5 horas/dia	1.50	R\$ 1,36	0,43%
1	Iluminação	5 horas/dia	1.50	R\$ 1,36	0,43%
1	Iluminação	5 horas/dia	1.50	R\$ 1,36	0,43%
1	Iluminação	5 horas/dia	1.50	R\$ 1,36	0,43%
1	Luminária	5 horas/dia	1.50	R\$ 1,36	0,43%
1	Forno Elétrico	5 minutos/dia	1.25	R\$ 1,14	0,36%
1	Iluminação	2 horas/dia	0.60	R\$ 0,55	0,17%
1	Iluminação	1 horas/dia	0.30	R\$ 0,27	0,09%
1	Iluminação	5 minutos/dia	0.02	R\$ 0,02	0,01%
TOTAL			349.74	R\$ 317,80	100,00%

Figura 14 - Simulação da demanda de energia familiar- Parte 3

Fonte: Light, Disponível em <http://www.light.com.br/para-residencias/Simuladores/consumo.aspx>

- Para o cálculo da energia que será injetada na rede elétrica, a partir da geração total esperada de energia com perdas (GTP), será adotado o consumo médio obtido através da simulação informada acima. Serão calculadas a geração de energia de acordo com cada dimensionamento de instalação (Cenário 1 e Cenário 2) e a geração esperada, onde se considerará as perdas do sistema.

Para a geração total esperada com perdas, será utilizada a equação 1 (BIAGIO,2016) abaixo:

$$GTP = \sum_{t=0}^n I_o \cdot A \cdot \eta \cdot (1 - p),$$

n – Número de dias no mês;

I_o – Radiação média diária do mês em questão (kWh/m².dia);

A – Área total de painéis fotovoltaicos;

η – Eficiência do painel;

p – Perda percentual do sistema;

Equação 1- GTP

Fonte: (BIAGIO,2016)

- Prospecção dos dados de área e potenciais de geração fotovoltaica nos solstícios de inverno e verão de 400 telhados residenciais do bairro de Campo Grande utilizando o Mapa Solar Rio. E cálculo dos valores médios do potencial de geração e da área útil de telhado.
- A metodologia adotada se refere a instalação de *kit* de geração fotovoltaica de acordo com o dimensionamento, no intento de máxima geração de energia, e também, de pelo menos o dobro da demanda mensal familiar adotada, considerando setenta e cinco por cento de área útil de telhado nas residências para ambos os casos. O *kit* de instalação para produção de energia consiste em: Pacote completo de instalação (mão de obra, instalação técnica e homologação do projeto), painéis e equipamentos.
- Levantamento de preços de *kits* completos para instalação de painéis Fotovoltaicos, para duas capacidades produtivas: 700 kWh/mês e 2100 kWh/mês. (Valores de Varejo e *Kits* com registro no Inmetro, cotação realizada em 07/01/2021. Valor do Dólar comercial neste dia \$ 1,00 = R\$ 5,39)
- A partir da soma dos valores informados na tabela 2, onde se consideram todas as possíveis perdas do sistema, estima-se uma perda total de 18,0% e, portanto, uma eficiência do sistema de 82,0%, da eficiência constante do catálogo do painel fotovoltaico. Com esses valores, estima-se a geração fotovoltaica esperada com perdas, o que proporciona valores mais próximos do real.

Perda	Valor Considerado	Varição mínima e máxima da Perda
Desvio no rendimento nominal do módulo (dados de placa) e da radiação de 1000W/m²	2,5 %	- 5% à 10%
Temperatura no Módulo	3,5%	-3% à 6%
Perdas nos condutores no lado DC	2 %	1% à 3%
Perdas nos condutores no lado CA	1 %	0,7% à 2%
Eficiência do Inversor na conversão	1,5 %	1% à 15%
Mismatch no MPPT	2 %	1,5% à 3%
Sombreamento	0 %	0% à 100%
Diodos e conexões	0,5 %	0,3% à
Transformadores (como os de isolamento no inversor, por exemplo)	2 %	2% à 4%
Sistema <i>Solar-Tracking</i>	0 %	0% à 2%
Degradação na incidência solar inicial	1 %	1% à 10%
Indisponibilidade do sistema	0 %	0% à 0,5%
Sujeira nos módulos	2 %	2% à 25%
Total de Perdas	18%	

Tabela 2 – Perdas na geração fotovoltaica
Fonte: (Miranda, 2014)

- Levantamento da capacidade produtiva da usina hidrelétrica Foz do Chapecó e seus custos de construção e operação num horizonte de 25 anos.
- Levantamento da capacidade produtiva da usina termelétrica Mauá 3 e seu custo de construção e operação num horizonte 25 anos.
- Com o objetivo de verificar a hipótese de implementação em larga escala da instalação de painéis solares em residências versus a capacidade de geração de uma hidrelétrica e uma termelétrica, foram construídos os cenários 1 e 2.
- Cenário 0 – No qual o consumidor residencial do bairro de Campo Grande instala um sistema fotovoltaico com a capacidade exata para atender ao seu consumo mensal de 350 kWh, numa situação hipotética em que os excedentes injetados na rede elétrica serão consumidos nos meses em que o consumo ultrapassar a produção, resultando em um saldo anual nulo.
- Cenário 1 – O governo subsidiará parcialmente, em cinquenta por cento, o custeio de aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos em 543 mil residências no bairro de Campo Grande e adjacências, município do Rio de Janeiro, no qual será adotada a métrica de dobro de geração fotovoltaica necessária para suprir a demanda familiar, para injetar o excedente na rede, afim de recuperar o investimento realizado pelas famílias. Tendo por premissa a utilização da área média de telhado das 400 moradias que serviram de amostra para o estudo, e número fixo de 20 painéis e também considerando a produção média já com perdas descontadas e eficiência dos painéis.
- Cenário 2 – O governo subsidiará integralmente o custeio de aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos em aproximadamente 217 mil residências no bairro de Campo Grande e adjacências, município do Rio de Janeiro, no qual será adotada a métrica de máxima geração fotovoltaica. Que consiste na utilização de setenta e cinco por cento de área útil de telhado, tendo por premissa a utilização da área média de telhado de 400 moradias que serviram de amostra para o estudo, e também considerando a produção média já com perdas descontadas e eficiência dos painéis.
- Comparativo de geração de energia e custo com a usina Foz do Chapecó, que possui uma potência instalada de 855 MW. E opera com geração média mensal de aproximadamente: 379.550 MWh. A construção empreendimento é da ordem R\$ 4 bilhões de acordo com Furnas (2021). Já o custo total do empreendimento contabilizando o custo operacional num horizonte de 25 anos e o custo de construção estimado de linhas de transmissão é de R\$ 5.154.372.453,24.

- Também, comparativo com a usina Termelétrica Mauá 3 a primeira da região norte do país a operar em ciclo combinado (gás e vapor) e com capacidade instalada de 583 MW. E opera com geração média mensal de aproximadamente: 377.784 MWh. O empreendimento é da ordem R\$ 1,1 bilhão. E será utilizado também o custo operacional somado ao rateio de custo totais da empresa. Além de fornecer o resultado num horizonte de 25 anos, prazo de operação vide leilão de compra de energia. E adotar a correção de 7,06 %, construído a partir do IPCA atual somado a um fator de 3,79 % , para projeção num horizonte de 25 anos de acordo com o Tesouro Direto (2021). Que contabiliza o valor de R\$ 10.961.597.894,17.

CAPÍTULO 3

POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

O objetivo deste capítulo é identificar e entender o potencial de geração de energia solar no bairro de Campo Grande e adjacências e as melhores práticas a serem implantadas pelo Estado e organizações que lidam com a produção de energia fotovoltaica. Isso é feito através da simulação de instalação de uma usina solar projetada nos telhados de um bairro residencial no município do Rio de Janeiro. Estas melhores práticas servirão como “*benchmarking*”, para comparação com o resultado do estudo de caso sobre o custo de construção e operação de uma usina hidrelétrica e uma usina termelétrica, e serão a base para a construção do modelo a ser proposto, integrando as melhores formas de subsidiar e incentivar a instalação de painéis solares nas residências de um bairro da zona oeste do município do Rio de Janeiro.

3.1 Potencial solar no Estado do Rio de Janeiro

Ao retornar ao foco desta dissertação, a captação de radiação solar através de placas fotovoltaicas é influenciada por alguns fatores, tais como: massa do ar, tipos de radiação, irradiância, insolação temperatura ambiente, velocidade do vento sobre as superfícies dos painéis.

Não apenas os fatores supracitados, como também, a distribuição de energia do espectro de radiação solar depende da localização geográfica, do dia do ano, da hora do dia, das condições climáticas, da composição da atmosfera, da altitude.

Para avaliar o potencial da energia solar fotovoltaica no bairro de Campo Grande situado no município do Rio de Janeiro e para simular o projeto de uma usina fotovoltaica, faz-se necessário caracterizar a radiação solar que chega ao sítio de análise e suas principais

interferências, na busca pela maior produção média de energia de acordo com a área de telhado disponível.

3.1.1 Radiação Solar em Função da Massa de Ar, Tipos de Radiação Solar, Irradiância e Insolação

O perfil característico médio da radiação solar em uma determinada localidade varia em função da massa de ar. Ao cruzar a atmosfera a radiação sofre efeitos diferentes para cada região do planeta. A distribuição espectral AM 1,5 (*Air Mass*), corresponde ao comportamento médio da radiação solar ao longo de um ano. (VIANELLO e ALVES, 1991) É dado pela equação:

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} (1)$$

Em que θ_z é o ângulo zenital do sol, também pode ser dito, como ângulo de inclinação do sol em relação à linha do zênite, segundo Vianello e Alves, (1991).

E sua respectiva distribuição espectral de energia do hemisfério norte, tornou-se padrão para o estudo e análise dos sistemas fotovoltaicos, pois a tecnologia fotovoltaica teve origem e evolução em países da Europa e Estados Unidos da América. A massa de ar AM 1,5 é usada como referência mundial, assim como radiação de 1000 W/m^2 e temperatura da célula de 25° C , utilizados em quase todos os catálogos de fabricantes de módulos e células fotovoltaicas (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a transferência de radiação solar é o mecanismo pelo qual o sistema Terra-Atmosfera interage e atenua a intensidade da radiação solar ao longo de seu percurso até incidir na superfície terrestre. A energia proveniente do Sol é emitida na forma de radiação eletromagnética e quando parte dessa energia é interceptada pela atmosfera, os diferentes comprimentos de onda da radiação interagem de forma distinta com os constituintes atmosféricos, sofrendo processos de absorção e espalhamento.

Analogamente, a radiação que atinge uma superfície horizontal do solo é composta por raios solares que chegam de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos por gases atmosféricos e aerossóis. A fração seca da atmosfera, sem vapor d'água, é formada por 99% de Nitrogênio (N_2) e Oxigênio (O_2) e 1% de Argônio (Ar) e outros gases. Os demais

constituintes gasosos da atmosfera são os chamados gases-traço (CO_2 , O_3 , entre outros), que apesar de sua baixa concentração possuem papel importante nos processos radiativos (WALLACE e HOBBS, 2006).

Inclusive, as nuvens são o principal fator modulador da radiação solar que incide na superfície em razão de suas propriedades óticas que produzem um espalhamento eficiente da radiação solar. O espalhamento da radiação solar por nuvens depende de sua espessura ótica, da distribuição de tamanhos das gotículas, do conteúdo e do estado físico da água (PALTRIDGE e PLATT, 1976).

Precipualemente, a irradiância solar, dada pela unidade (W/m^2), que incide em uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa. A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. A componente difusa engloba a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera. A terminologia adotada pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) é a seguinte:

Irradiância extraterrestre (G_0): é a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano imaginário situado no topo da atmosfera, disposto perpendicularmente aos raios solares. É também conhecido como irradiância no topo da atmosfera ou GTOA.

Irradiância direta normal (G_n): também conhecida como DNI, é a taxa de energia por unidade de área proveniente diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície.

Irradiância difusa horizontal (G_{dif}): é a taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.).

Irradiância direta horizontal (G_{dir}): é a taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal. Pode ser determinada como o produto entre a irradiância direta normal (DNI) e o cosseno do ângulo zenital solar.

Irradiância global horizontal (G): é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. A irradiância global é dada pela soma $G = G_{dif} + G_{dir}$ ou $G = G_{dif} + G_n \cdot \cos(\theta_z)$ onde θ_z é o ângulo zenital.

Irradiância no plano inclinado (G_i): é a taxa de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da Terra.

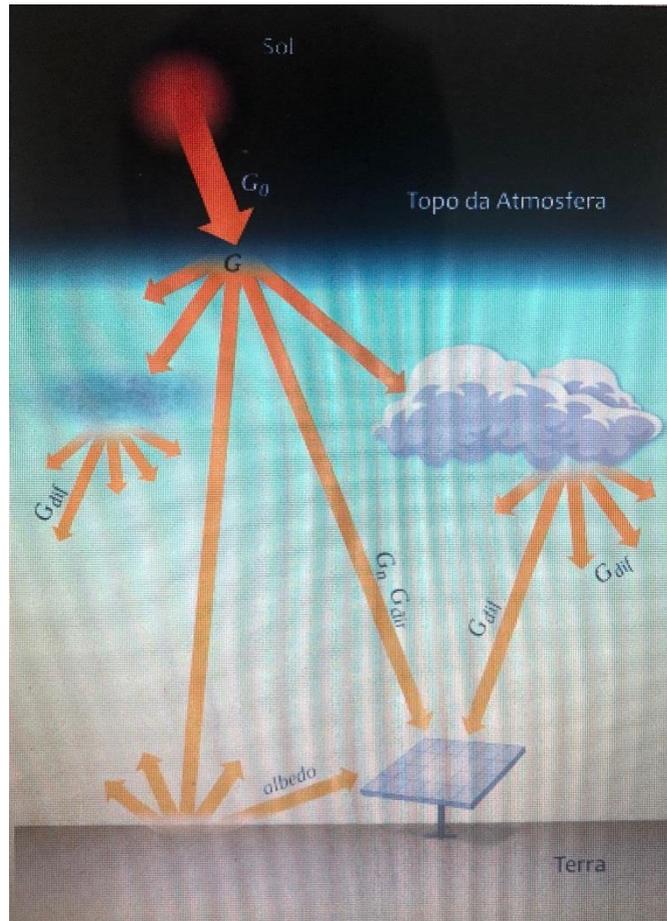


Figura 15 - Componentes da Irradiância Solar
 Fonte: Adaptada do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017)

Duffie e Beckman (2013) preconizam que a integral da irradiância no tempo é definida como irradiação solar, dada pela unidade (Wh/m^2), ou energia radiante incidente acumulada em um intervalo de tempo. No caso da integral ao longo de um dia, a simbologia adotada é H_0 , H_n , H_{dif} , H_{dir} , H e H_i , respectivamente.

Visto que, na superfície terrestre a irradiância da luminescência solar global gira em torno de 1000 W/m^2 , valor esse adotado como padrão na indústria fotovoltaica para avaliação e especificações de módulos e células fotovoltaicas. Este valor ocorre em torno do meio dia, na região tropical passa de 1100 W/m^2 .

Do mesmo modo que a massa de ar (AM 1,5), a irradiância de 1000 W/m^2 é utilizada por quase todos os catálogos de fabricantes de dispositivos fotovoltaicos (VILLALVA, 2012).

Não obstante, pesquisas realizadas no território brasileiro apontam valores da massa de ar unitária (AM 1,0), no meio dia solar, momento do dia em que o Sol está na posição mais elevada de modo que a radiação solar percorre a menor espessura de atmosfera, como demonstrado pela figura 16, em condições de céu claro (RÜTHER et al., 2017).

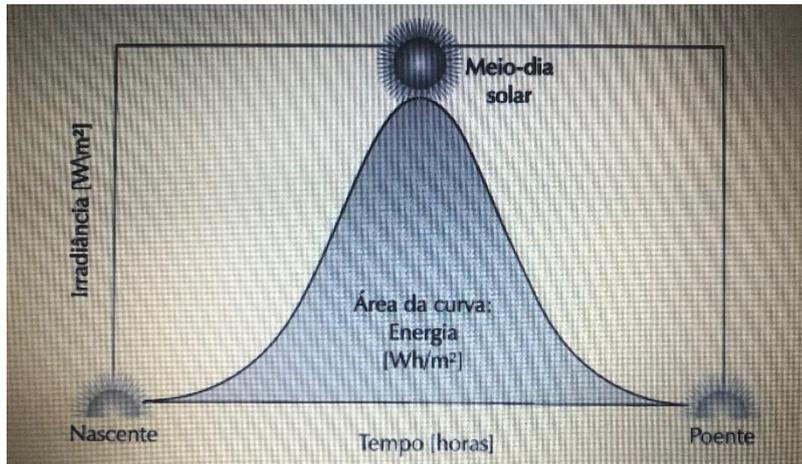


Figura 16 - Irradiância ao longo do dia
Fonte: Adaptado de (VILLALVA, 2012).

Ademais, a grandeza denominada por insolação é utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana ao longo de um determinado intervalo de tempo, dada pela unidade Wh/m^2 . A referida grandeza é uma medida extremamente útil para realizar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

3.1.2 Levantamento de Irradiação Solar utilizando o Mapa Solar do Rio de Janeiro (MAPA SOLAR RIO).

O presente trabalho apresenta neste subcapítulo o modelo matemático utilizado para cálculo da irradiação no Mapa Solar do Rio de Janeiro.

Ao considerar a geração de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica, o principal aspecto para mensurar o potencial de geração é a incidência solar no local onde o sistema será instalado, no qual a incidência está sujeita a diversos fatores, que podem afetar a geração de energia tanto de forma positiva como negativa. O sombreamento do local candidato a receber um sistema fotovoltaico é um dos fatores que devem ser considerados na avaliação para a sua instalação.

Os atlas solarimétricos disponíveis fornecem-nos uma avaliação do potencial de irradiação de uma determinada região sem considerar possíveis interferências de construções e da própria natureza que podem provocar, por exemplo, um sombreamento, inviabilizando a instalação de um sistema fotovoltaico tanto no seu aspecto técnico como no aspecto econômico.

Neste contexto, a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços do Rio de Janeiro (SEDEIS), o Instituto Pereira Passos (IPP), a EPE e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por intermédio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ*, conceberam e produziram o Mapa Solar do Rio de Janeiro, que tem como objetivo apresentar ao usuário informações relativas à irradiação solar em telhados da cidade do Rio de Janeiro (MAPA SOLAR RIO, 2020).

O Mapa Solar do Rio de Janeiro foi produzido usando ferramentas de geoprocessamento que calculam a irradiação global incidente para os telhados das edificações da cidade do Rio de Janeiro considerando o sombreamento que edificações e demais obstáculos provocam em seu entorno. O cálculo foi feito para duas datas específicas, 22 de dezembro (solstício de verão) e 20 de junho (solstício de inverno) de 2015, datas que, a princípio, registram a mais alta e mais baixa irradiação solar durante o ano, respectivamente (MAPA SOLAR RIO, 2020).

O principal dado de entrada do algoritmo é o modelo digital da superfície (MDS). Um MDS é uma matriz espacial também chamada de *raster*, onde cada célula (*pixel*) da matriz contém o valor de elevação do local geográfico do *pixel*. Diferente do modelo digital do terreno (MDT), que só inclui a altitude do terreno, um MDS também inclui a altura das edificações ou, dependendo da fonte de dados, até das árvores e demais obstáculos que não são parte do relevo.

De acordo com EPE (2018), um modelo digital de superfície pode ser elaborado, basicamente, utilizando dois métodos: por meio da junção de um MDT e dados vetoriais das edificações que incluem a informação da altura delas ou através de um perfilamento a laser. Por meio de um MDT e dados vetoriais das edificações: neste método, é necessária, além do MDT, uma base de dados que contenha a geometria e a altura de cada edificação.

Essa base de dados muitas vezes é produzida por meio de um perfilamento a *laser* ou por meio de outros processos de geração de dados espaciais, como a digitalização da geometria das edificações baseadas em imagens de satélite ou ortofotos (representação fotográfica de uma região da superfície terrestre, no qual todos os elementos apresentam a mesma escala, visão ortogonal, livre de erros e deformações), bem como a avaliação da altura das edificações por meio de pesquisa de campo ou por meio de outras fontes de dados, p.ex. de cadastros de IPTU, bases de dados urbanísticos etc. As duas bases de dados geográficas (MDT e dados vetoriais das edificações) são reunidas no sentido de criar o MDS. Esse foi o método aplicado para a geração do MDS utilizado no Mapa Solar Rio (2020).

Perfilamento a *laser*: neste método, por meio da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LIDAR), um equipamento laser é acoplado a um avião que realiza vôos sobre toda a área onde se realizará a avaliação das alturas das edificações e de outros obstáculos significativos,

considerando um intervalo espacial previamente definido. O resultado é uma camada de pontos com a altura da superfície de cada um deles. Esses dados são convertidos para servir de insumo para o algoritmo da simulação de irradiação solar.

O perfilamento por meio da tecnologia LIDAR é o que produz resultados mais acurados, sendo esta tecnologia indicada para a realização de simulações de irradiação solar. Bases de dados produzidas com esta tecnologia possibilitam calcular o sombreamento em mais detalhe incorporando também a inclinação de telhados, entretanto necessita um maior aporte de recursos financeiros para sua produção, visto a utilização de aeronave e equipamentos de aerofotogrametria específicos (EPE, 2018).

Na avaliação dos telhados da cidade do Rio de Janeiro, foram utilizadas as bases de dados disponíveis no Instituto Pereira Passos (IPP). As camadas usadas foram extraídas de um MDT que foi calculado à base de diferentes fontes de dados como isolinhas de altura e dados vetoriais das edificações que foram atualizadas usando ortofotos.

O Cálculo da Irradiação no que condiz as ferramentas de geoprocessamento que simulam a irradiação solar calculam a insolação sobre uma paisagem ou para locais específicos, com base em métodos do algoritmo do campo de visão (*viewshed*) hemisférico. A quantidade total de radiação calculada para um local ou área particular é dada como radiação global, que é a soma das componentes direta e difusa.

O cálculo da irradiação direta, difusa, e global é repetido para cada localização na superfície topográfica (*pixel* ou célula do *raster* MDS), produzindo mapas de irradiação para toda área geográfica. Além da definição dos parâmetros de tempo (dia, intervalo da simulação, ângulos de zênite e de azimute, latitude, etc.), os parâmetros mais importantes como insumo do algoritmo são:

- A taxa da irradiação difusa: que varia entre 0,2 (céu muito claro) e 0,7 (céu coberto) e define proporção da irradiação difusa na irradiação global;
- A transmissividade: taxa da irradiação solar que realmente chega à superfície e não é filtrada pela atmosfera. Por exemplo, o valor de 0,5 corresponde a um dia normal claro sem nuvens.

A transmissividade tende a diminuir em função do aumento da taxa da irradiação difusa. Com os parâmetros de irradiação difusa e de transmissividade, além de outros parâmetros a serem definidos dependendo do modelo utilizado, o modelo calcula a irradiação considerando um MDS.

A figura 17 apresenta a irradiação global no estado do Rio de Janeiro que auxilia na percepção de melhores regiões para instalação sistemas fotovoltaicos.

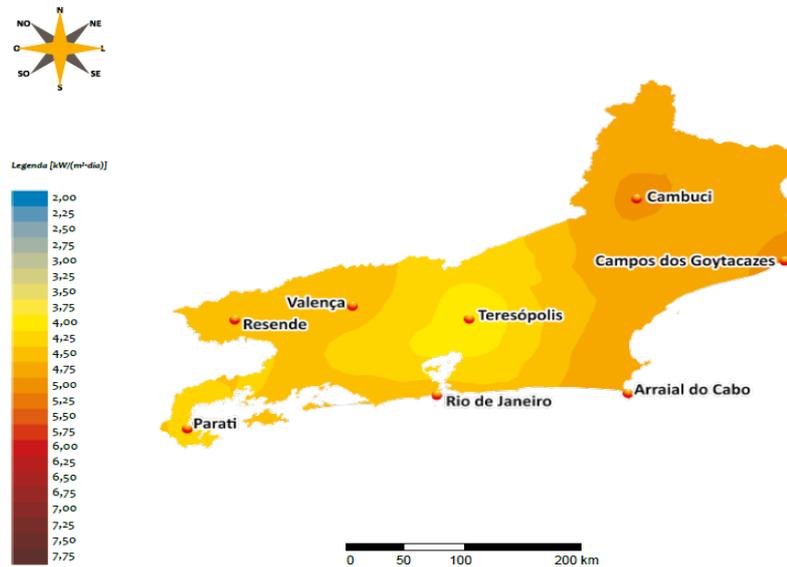


Figura 17 - Irradiação Global Solar no Estado do Rio de Janeiro.
Fonte: Adaptado de Atlas Rio Solar (2016).

Difícilmente valores de irradiação difusa e de transmissividade medidos em campo estão disponíveis, desta forma, utilizou-se hipóteses das condições da atmosfera no tempo da simulação ou calibração desses parâmetros do modelo por meio de dados de irradiação solar medidos em campo. No caso do Mapa Solar do Rio de Janeiro, para a calibração desses dois parâmetros do modelo foi usada a estação climatológica do Aeroporto Santos Dumont, que registra dados solarimétricos, anemométricos e climatológicos, foram usados dados de 1973 a 2002.

Para definir a melhor combinação destes dois parâmetros usados no modelo, calculou-se a irradiação para o Aeroporto Santos Dumont usando uma variedade de combinações desses parâmetros e comparou-se cada resultado de irradiação calculada com o valor de referência da estação do aeroporto. Desta forma foi possível identificar qual combinação de parâmetros possibilitou ao modelo apresentar um resultado de irradiação mais próximo do valor medido pela estação de referência. Esta combinação foi então utilizada para calcular a irradiação em todo o município do Rio de Janeiro, já considerando o MDS (MAPA SOLAR RIO, 2020).

Outros mapas de irradiação solar, semelhantes a este, poderão ser produzidos para demais municípios, desde que estejam disponíveis as seguintes informações e recursos:

Informações sobre a localização das edificações, suas alturas, geometrias etc. Estas informações poderão ser obtidas a partir de mapas digitais de superfície, mapas digitais de terreno, perfilhamento laser, base de dados de cadastros de imóveis ou a combinação destas. O modelo para cálculo de irradiação solar trabalha considerando as características das edificações de forma a ser possível calcular possíveis sombreamentos.

Ressalta-se que quanto maior o detalhamento e acurácia das características das edificações, maior o custo da obtenção destas informações, entretanto, melhor o resultado do cálculo do potencial de irradiação, fator demonstrado pela figura 18.

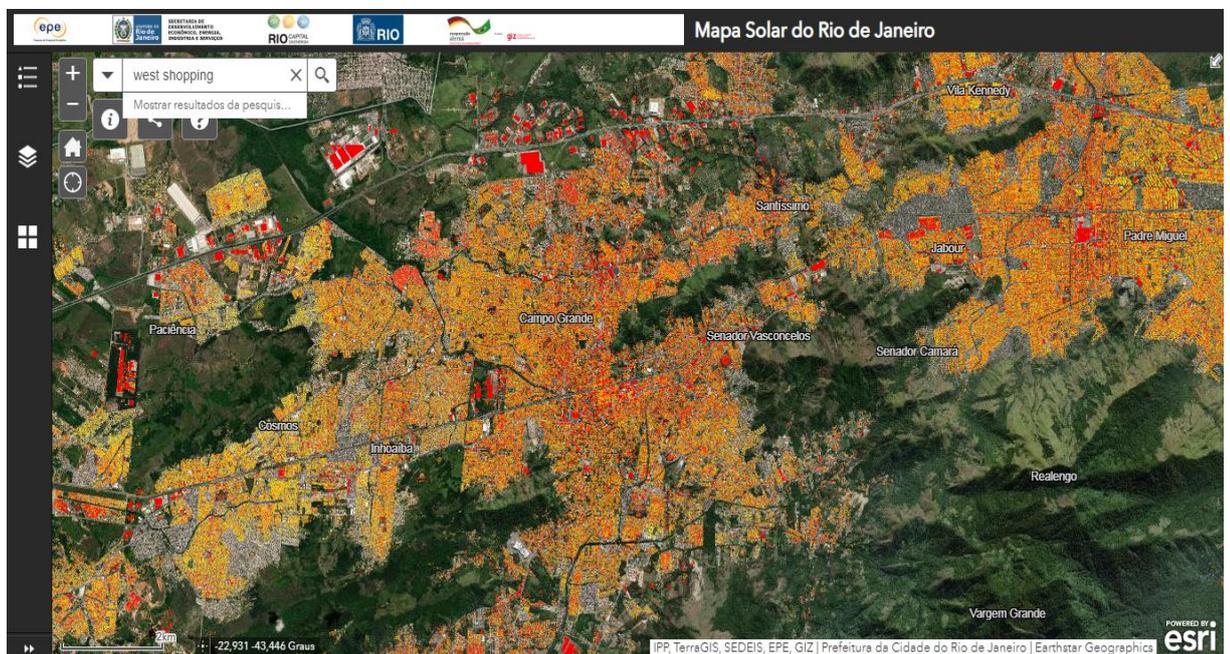


Figura 18 - Mapa Solar RJ - Bairro de Campo Grande.
Fonte: Adaptado do Mapa Solar do Rio de Janeiro (2020).

3.1.3 O Bairro de Campo Grande – RJ.

Visto a metodologia utilizada pelo Mapa Solar Rio, é necessário descrever o bairro alvo do estudo em questão. O bairro de Campo Grande, situado no município do Rio de Janeiro cobre uma área de 11.912,53 hectares ou 119,13 km², sendo o segundo bairro mais extenso do município do Rio de Janeiro (atrás somente de Guaratiba com seus 139 km quadrados), onde residem 328.370 habitantes em mais de 120.049 domicílios, segundo o Censo (2010). Faz limite com outros dez bairros da zona oeste: Paciência, Cosmos e Inhoaíba ficam à oeste; Guaratiba, Vargem Grande e Jacarepaguá ao sul; Senador Camará, Senador Vasconcelos, Santíssimo e Bangu ao leste, e mais o município de Nova Iguaçu, na Baixada Fluminense, ao norte.

No que tange ao aspecto habitacional, o tecido urbano de Campo Grande é regular e descontínuo, a ocupação sendo resultante de loteamentos isolados de grandes áreas. Na verdade, Campo Grande, por dispor de vasta rede de serviços e um comércio que foi se expandindo e se diversificando, cresceu extraordinariamente. Os mais altos níveis de presença de imóveis próprios encontram-se em Campo Grande. O predomínio é de casas com dois quartos, com área construída de 60 metros quadrados.

3.1.4 Seleção de uma amostra representativa de telhados para instalação da usina fotovoltaica.

O presente trabalho realizou a medição, em telhados de domicílios do bairro de Campo Grande situado no município do Rio de Janeiro, de irradiação solar para o dia de maior irradiância solar e também para o dia de menor irradiância solar, utilizando o Mapa Solar Rio, e retirou-se de maneira aleatória 400 amostras, ou seja, dados referentes a irradiância observada no solstício de verão e solstício de inverno, além da área total de telhado de cada residência computada como amostra e também o potencial médio de geração fotovoltaica por residência.

A Figura 19, que apresenta a primeira parte dos dados levantados, as outras partes encontram-se no anexo A.

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m ²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m ²)	Área Total de Telhado (m ²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m ²)
1	Rua Biquinhas 102	0,86	0,45	171,69	0,66
2	Rua Campo Alegre 341	0,85	0,43	325,38	0,64
3	Rua Seis 45	0,83	0,45	141,79	0,45
4	Rua João Teles 65	0,83	0,37	199,61	0,83
5	Rua Tiaraju 175	0,84	0,36	193,78	0,84
6	Rua Antero de Souza 19	0,76	0,4	83,7	0,40
7	Rua Ponche Verde 321	0,63	0,27	104,38	0,45
8	Avenida Albardão 312	0,82	0,44	100,89	0,44
9	Rua Iracy Doyle 204	0,82	0,46	152,2	0,82
10	Rua Moniz Gordilho 565	0,81	0,44	141,53	0,81
11	Avenida Cesário de Melo 0	0,8	0,49	230,69	0,65
12	Rua Cinquenta e cinco 5	0,74	0,46	197,17	0,74
13	Rua Afranio Peixoto 0	0,78	0,27	149,2	0,78
14	Rua São Jacinto 33	0,77	0,38	107,22	0,58
15	Rua Nilton de Almeida Costa 530	0,81	0,39	105,31	0,39
16	Rua Nova Lídice 11	0,82	0,4	39,36	0,40
17	Rua Professor Julio Raposo 43	0,79	0,42	90,76	0,79
18	Rua Chapada 31	0,81	0,41	114,43	0,81
19	Estrada Santa Maria 399	0,76	0,33	150,54	0,33
20	Estrada do Campinho 1.685	0,8	0,40	154,12	0,80
21	Rua Heitor da Motta Ferreira 96	0,73	0,42	78,11	0,42
22	Rua Ceará Mirim 0	0,85	0,32	71,96	0,85
23	Rua Vitor Alves 138	0,85	0,44	164,52	0,44
24	Rua Mario Barbosa 170	0,86	0,43	250,77	0,65
25	Rua Macedo Coimbra 538	0,81	0,43	205,19	0,62
26	Rua Coronel Floriano Pacheco 195	0,78	0,26	155,16	0,52
27	Rua Julia Cury Vitari 0	0,73	0,41	93,8	0,41
28	Rua Macarau 0	0,82	0,43	235,87	0,82
29	Rua Santa Juliana 95	0,85	0,36	116,45	0,36
30	Rua Soldado Gerhardt Holtz 121	0,8	0,19	151,89	0,80
31	Rua Laplace 152	0,82	0,41	146,56	0,41
32	Rua Tiaraju 164	0,73	0,39	414,19	0,56
33	Rua Pontes Leme 374	0,8	0,40	278,32	0,80
34	Rua Coronel Floriano Pacheco 9	0,75	0,39	136,83	0,75
35	Rua Mariana Barreto 77	0,81	0,43	84,53	0,62
36	Rua Pindaro Galvão 25	0,58	0,25	32,54	0,42
37	Rua Álvaro Lins 160	0,78	0,39	139,72	0,59
38	Rua Clementina 35	0,72	0,4	76,85	0,40
39	Rua Gilberto Jose Peixoto 150	0,58	0,21	101,65	0,40
40	Rua Soldado Emezito Chagas 48	0,79	0,41	159	0,41
41	Rua Fontanilhas 75	0,85	0,44	112,63	0,85
42	Rua Projetada A 13	0,79	0,37	142,01	0,79
43	Rua Jornalista Queiroz Juca 28	0,71	0,31	10,97	0,71
44	Estrada da Posse 3.883	0,82	0,41	173,18	0,82
45	Rua Amora Maciel 176	0,80	0,42	177,68	0,42
46	Rua Vale dos Rios 248	0,89	0,35	31,83	0,89
47	Rua Dom Silvério 30	0,74	0,4	172,37	0,40
48	Rua Moranga 1.164	0,81	0,4	199,84	0,40
49	Rua São Magno 50	0,79	0,37	127,62	0,58
50	Rua Riacho Grande 14	0,8	0,37	74,49	0,59

Figura 19- Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 1)
Fonte: Elaboração Própria.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS.

O objetivo deste capítulo é analisar e discutir a respeito da diferença dos custos de construção e operação de usinas hidrelétrica e termelétrica *versus* o custo de construção e operação de uma usina solar instalada em telhados residenciais no bairro de Campo Grande, município do Rio de Janeiro, além de comparar o Mapa Solar Rio e um método simplificado de cálculo da produção fotovoltaica de energia elétrica, também será apresentada a comparação do método PV-F-Chart com o Mapa Solar Rio. Por fim, como resultado da presente dissertação de mestrado, apresentar a sugestão de mecanismos incentivo a geração de energia fotovoltaica para o Estado do Rio de Janeiro.

4.1 Comparação entre o Mapa Solar Rio e um método simplificado de cálculo da produção fotovoltaica de energia elétrica.

Este método de cálculo foi desenvolvido pelo Prof. Manoel Antonio da Fonseca Costa Filho, baseado nos fundamentos do método PV-f-Chart, na falta dos valores do coeficiente global de transferência de calor do painel para o ambiente e do produto da transmitância da cobertura pela absorvância do painel. O autor efetuou os cálculos abaixo em um exercício online participando como convidado, em aula remota do Curso de Especialização em Engenharia Energética da UERJ.

Os dados de irradiação solar diária média mensal obtidos do *Sundata* para a inclinação dos painéis em 23° e azimute 0°N para a cidade do Rio de Janeiro foram transformados em dados horários médios mensais através da equação 2 constante em Duffie & Beckman (2013).

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s}$$

Equação 2 - fração da radiação solar incidente na hora i

Fonte: (DUFFIE e BECKMAN, 2013)

Onde:

r_t = fração da radiação solar incidente na hora i em relação a radiação solar incidente no dia todo;

w = ângulo solar horário em graus para a hora em questão (i.e., no ponto médio da hora para a qual o cálculo é feito);

w_s = ângulo horário do pôr do sol;

Os valores de a e b foram determinados pelas equações 3 e 4, respectivamente.

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 60)$$

Equação 3 – Coeficiente a

Fonte: (DUFFIE e BECKMAN, 2013)

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(\omega_s - 60)$$

Equação 4 – Coeficiente b

Fonte: (DUFFIE e BECKMAN, 2013)

Os valores horários médios mensais da temperatura ambiente foram obtidos de Silva (2019), que os calculou a partir dos dados horários da Estação Meteorológica de São Cristóvão do sistema Alerta Rio, considerando os anos de 2008 a 2018.

O painel Canadian Solar CS6U-315P foi selecionado para aquele estudo de caso, cujos dados utilizados, reproduzidos do catálogo do fabricante, são apresentados na Tabela 3.

Fabricante	Canadian Solar
Modelo	CS6U-315P
Potência Máxima (STC*)	315 W
Eficiência (STC*)	16,20%
Temperatura da Célula (NOCT**)	45°C
Coeficiente Térmico da Potência Máxima	-0,41%/°C
Área do painel	1,94 m ²
*Standard Testing Conditions – Condições Padrão de Ensaio	
**Normal Operation Cell Temperature = Temperatura da Célula em Operação Normal	

Tabela 3 - Painel Canadian Solar CS6U-315P
Fonte: www.Solardesigntool.com

A temperatura horária média mensal da célula fotovoltaica foi calculada pela equação 5 constante de Kamuyu et al. (2018).

$$T_{célula} = T_{NOCT} + (T_{amb} - T_{ambNOCT}) \times (G/G_{NOCT})$$

Equação 5 – Temperatura horária média mensal
Fonte: (KAMUYU et al, 2018)

Onde:

$T_{célula}$ = temperatura da célula fotovoltaica;

T_{NOCT} = Temperatura de Operação Normal da Célula, parâmetro determinado em ensaio padronizado em °C;

T_{amb_NOCT} = Temperatura ambiente do ensaio para determinação de T_{NOCT} , seu valor é 20° C;

G = irradiação solar incidente em W/m²;

G_{NOCT} = irradiação solar do ensaio para determinação de T_{NOCT} , seu valor é 800 W/m²;

A eficiência horária média mensal do painel fotovoltaico foi calculada pela equação 6.

$$E_{\eta} = E_{\eta_{STC}} + (T_{célula} - T_{STC}) \times k_{MP} \times E_{\eta_{STC}}$$

Equação 6 – Eficiência horária média mensal
Fonte: (KAMUYU et al, 2018)

Onde:

E_{η} = eficiência do painel fotovoltaico;

E_{η_STC} = eficiência nas Condições Padrão de Ensaio (STC);

T_{STC} = temperatura da célula nas Condições Padrão de Ensaio (STC);

k_{MP} = coeficiente térmico da máxima potência.

A produção horária média mensal de energia elétrica foi determinada multiplicando os valores horários da irradiação solar incidente pelos correspondentes da eficiência do painel fotovoltaico. A produção mensal de energia elétrica foi determinada pela soma dos valores horários do mês em tela. A produção anual foi determinada de forma similar.

O valor encontrado para a produção de energia elétrica mensal média anual em 41,33 kWh ficou próximo do valor da produção média mensal de 39,39 kWh constante da tabela do Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Consultando o Mapa Solar Rio, encontrou-se uma opção de área de 5.000 m² de telhado para instalação de painéis fotovoltaicos na Policlínica Piquet Carneiro, cujo endereço é Av. Mal Rondon, 381, bairro de São Francisco Xavier no município do Rio de Janeiro. Foi considerado um fator de aproveitamento de área de 0,75, resultando em 3.750 m² de telhado, cabendo 1.932 painéis, com a produção média mensal de 39,39 kWh por painel, a produção mensal de energia elétrica alcançou 76.101,48 kWh. Este valor ficou próximo do potencial de geração fotovoltaica informado no Mapa Solar Rio em uma das opções apresentadas para aquele endereço.

4.2 Comparação entre o Mapa Solar Rio e o método PV-f-Chart.

A figura 17, reproduzida de Silva (2019), apresenta a simulação da produção de energia através do método PV-f-Chart, utilizando os dados de entrada de irradiação solar e temperatura que foram extraídos da base de dados de sites governamentais, como o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL, 2019) e o Alerta Rio, respectivamente. Os dados de irradiação solar provêm do programa *Sundata*, onde é calculada a média diária mensal de acordo com Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2a Edição.

Já os dados de temperatura são provenientes do sistema Alerta Rio que é o sistema de monitoramento climático da cidade do Rio de Janeiro. A temperatura média horária mensal foi calculada de acordo com a base de dados de temperaturas entre os anos 2008 e 2018 (SILVA,

2019). Aquela simulação de produção de energia fotovoltaica foi feita por Silva (2019) para a instalação do Campus de São Cristóvão da UERJ situado na Rua Fonseca Teles, 121, no município do Rio de Janeiro. A figura 20 apresenta os resultados da simulação para um dos quinze painéis, todos idênticos fabricados pela BP Solar, modelo BP MSX-120.

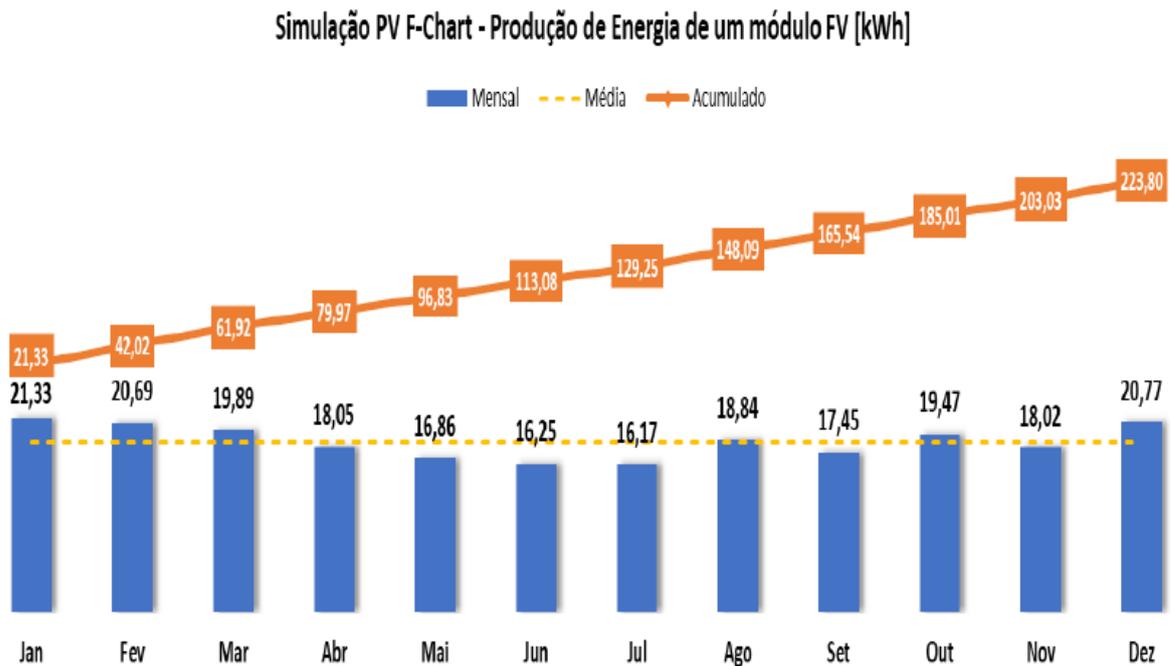


Figura 20 - Simulação PV F-Chart – Produção de Energia de um módulo fotovoltaico do Campus de São Cristóvão da UERJ
 Fonte: SILVA (2019)

A figura 21 apresenta a comparação entre os recursos de previsão de produção de energia solar fotovoltaica, Mapa Solar do Rio levantada pelo autor *versus* Método PV-f-Chart calculada por Silva (2019).

Com base nos resultados apresentados na figura 21, observou-se um percentual de erro entre as previsões de 1,87%. Fato esse, que representa grande aceitabilidade para ambos os recursos de previsão de produção de energia solar fotovoltaica.

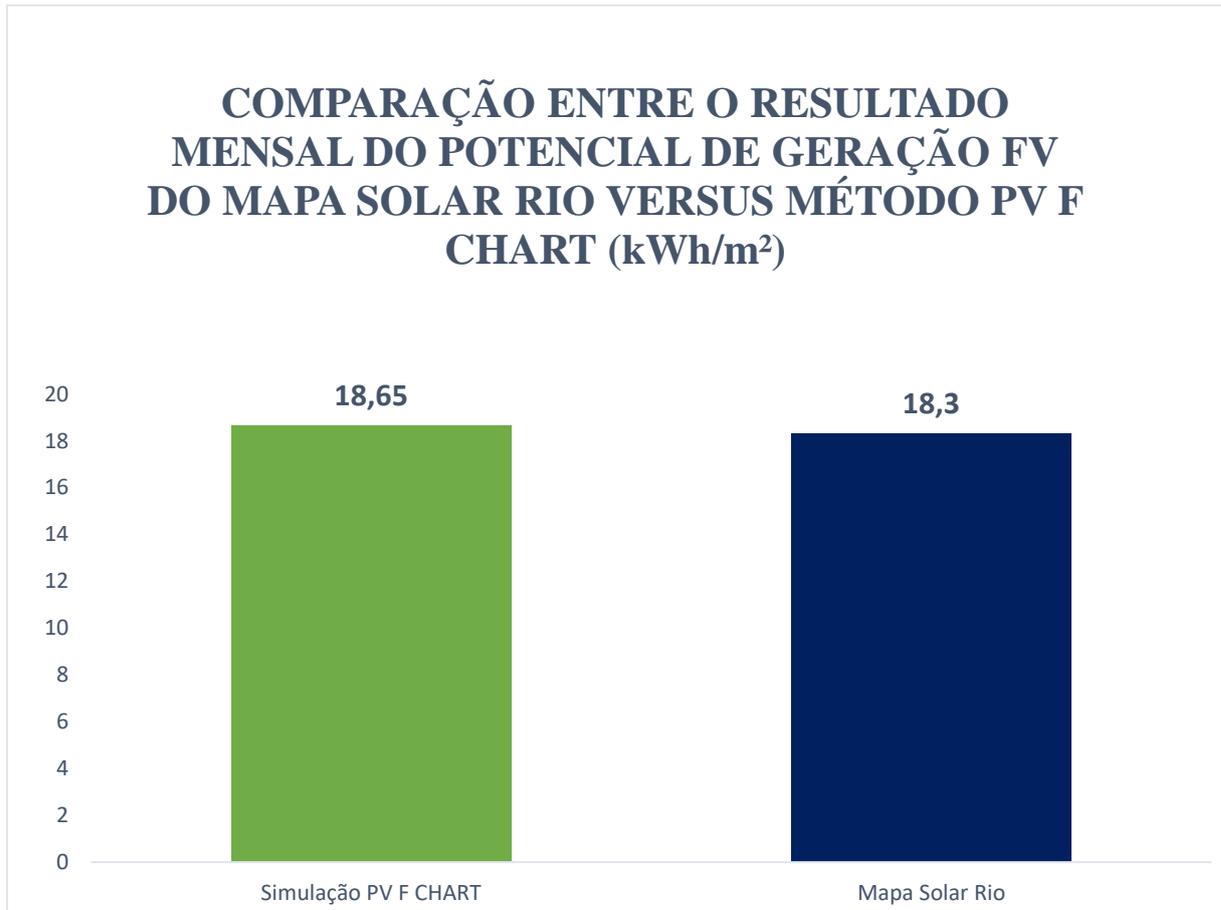


Figura 21 - Comparação do Potencial de Geração Fotovoltaica entre o Mapa Solar Rio e o Método PV-f-Chart

Fonte: Elaboração Própria.

4.3 Usina Solar: Custos de implementação.

A sistemática do cálculo orçamentário para a construção de custos referentes ao projeto de uma usina solar localizada num bairro do município do Rio de Janeiro origina-se nos tipos de estrutura orçamentária, tomando como base dois conjuntos distintos de informações: Tabela de Quantidades e Tabela de Custos Unitários.

A Tabela de Quantidades de Bens e Serviços abrange todos os itens orçamentários caracterizando os diferentes itens necessários para instalação e funcionamento de painéis fotovoltaicos. Essas quantidades foram determinadas pelo dimensionamento proposto referente a capacidade máxima instalada de produção de energia elétrica. Paralelamente, com um grau equivalente de informações, a Tabela de Dimensionamento de Custo para Construção de Usina Solar permite um controle maior, além da revisão periódica de preços visando atender às

necessidades de atualização orçamentária para possíveis projetos de construção de usinas solares.

Cada composição orçamentária é calculada por pacote de custo, ou seja, o custo referente ao *kit* de instalação de painéis fotovoltaicos, que consiste em todos os elementos necessários para instalação e utilização de módulos fotovoltaicos, segundo instruções simples, que envolvem operações algébricas elementares. Para cada *kit* são utilizadas quantidades e custos unitários, levando em conta valores médios de mercado, considerando três empresas do varejo fornecedoras para cada *kit* de instalação e serviço em função de interpretação dos dados de entrada e obtidos os custos totais correspondentes. Esses, agrupados conforme sua classificação, totalizaram os custos diretos, indiretos e o total para o projeto em questão. De acordo com a tabela 4.

Opção 1 - Tabela de Quantidades de Bens e Serviços			
Quantidades	Kit Completo para Montar Uma Mini Usina Solar - 700 kWh/mês	Empresa	Valor do Kit de Instalação
1	Micro Inversor Hoymiles MI-1200 220v Bifásico/ Mono-fásico	A	R\$ 24.325,26
20	Painéis Talesun 330W Policristalino	B	R\$ 26.648,46
6	Cabos AC com 15 metros	C	R\$ 25.676,66
2	String Box Ac20A (Com Wattímetro 2 Dps e 2 Disjuntores)		
2	AC Fêmea		
1	End Cap		
1	Estrutura de instalação de acordo com telhado		
		Valor Médio	R\$ 25.550,13
Serviços	Custo de Instalação	Empresa	Valor da Instalação
1	Custo de instalação do Kit Completo para montar mini Usina Solar	A	R\$ 3.450,00
		B	R\$ 3.050,00
		C	R\$ 4.395,60
		Valor Médio	R\$ 3.631,87
Cotação realizada em 07/01/2021. Valor do Dolar comercial neste dia \$ 1,00 = R\$ 5,39			
Custo total de compra e instalação para montar uma mini Usina Solar		Valor Total	R\$ 29.181,99

Tabela 4 - Tabela de Quantidade de Bens e Serviços, 2021.

Fonte: Elaboração Própria.

Da mesma forma, como apresentado na tabela 4, a decomposição do custo para aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos é apresentada na tabela 5, porém com o triplo da capacidade produtiva mensal e custo.

Opção 2 - Tabela de Quantidades de Bens e Serviços			
Quantidades	Kit Completo para Montar uma Mini Usina Solar - 2100 kWh/mês	Empresa	Valor do Kit de Instalação
3	Micro Inversor Hoymiles MI-1200 220v Bifásico/ Monofásico	A	R\$ 72.975,78
60	Painéis Talesun 330W Policristalino	B	R\$ 79.945,38
18	Cabos AC com 15 metros	C	R\$ 77.029,98
6	String Box Ac20A (Com Wattímetro 2 Dps e 2 Disjuntores)		
6	AC Fêmea		
1	End Cap		
1	Estrutura de instalação de acordo com telhado		
		Valor Médio	R\$ 76.650,38
Serviços	Custo de Instalação	Empresa	Valor da Instalação
1	Custo de instalação do Kit Completo para montar mini Usina Solar	A	R\$ 13.907,19
		B	R\$ 14.822,80
		C	R\$ 13.186,80
		Valor Médio	R\$ 13.972,26
Cotação realizada em 07/01/2021. Valor do Dolar comercial neste dia \$ 1,00 = R\$ 5,39			
Custo total de compra e instalação para montar uma mini Usina Solar		Valor Total	R\$ 90.622,64

Tabela 5 - Tabela de Quantidade de Bens e Serviços II, 2021.
Fonte: Elaboração Própria.

4.4 EVTE para uma instalação de kit de painéis fotovoltaicos de 700 kWh/mês.

Foi realizado o Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) num horizonte de 25 anos para verificar o valor presente líquido, taxa de atratividade e taxa interna de retorno sobre o investimento familiar na aquisição do sistema fotovoltaico, considerando três cenários, no qual o sistema entra em operação seis meses após o instante inicial, considerando uma taxa de depreciação anual de 1% e sob a taxa de acréscimo de receita anual de 5,6129%. Considerando também a tarifa da *Light* sob um custo de R\$ 510,00 por MWh sem impostos para a energia injetada na rede. Já o consumo familiar que representa aproximadamente 350 kWh/mês, nos quais incide a tarifa da *Light* com impostos. Todo excedente obtido na produção de energia é injetado na rede.

O cenário 0 descrito na tabela 6 informa o EVTE num horizonte de 25 anos no qual a família arcará com todo custo do sistema fotovoltaico completo e instalação. No intuito de explicitar as condições existentes e comumente utilizadas, uma família do bairro analisado, faz

aquisição do sistema fotovoltaico com produção média mensal de 350 kWh, valor exato do consumo familiar. Numa situação hipotética em que os excedentes injetados na rede elétrica serão consumidos nos meses em que o consumo ultrapassar a produção, resultando em um saldo anual nulo.

EVTE - 25 anos (Cenário 0 - Toda energia é consumida)		
FLUXO DE CAIXA		
Ano	Fluxo de caixa	Saldo simples acumulado
0	-14.591,00	-14.591,00
1	1.218,36	-13.372,63
2	2.573,50	-10.799,13
3	2.717,95	-8.081,19
4	2.870,50	-5.210,69
5	3.031,62	-2.179,07
6	3.201,78	1.022,72
7	3.381,50	4.404,21
8	3.571,30	7.975,51
9	3.771,75	11.747,27
10	3.983,46	15.730,72
11	4.207,05	19.937,77
12	4.443,18	24.380,95
13	4.692,58	29.073,53
14	4.955,97	34.029,50
15	5.234,14	39.263,64
16	5.527,93	44.791,58
17	5.838,21	50.629,79
18	6.165,90	56.795,69
19	6.511,99	63.307,68
20	6.877,51	70.185,19
21	7.263,53	77.448,72
22	7.671,23	85.119,95
23	8.101,81	93.221,76
24	8.556,56	101.778,32
25	9.036,83	110.815,16
Taxa mínima de atratividade =		15%
Valor Presente líquido =		R\$ 6.277,65
Taxa Interna de Retorno =		20,67%

Tabela 6 - EVTE Horizonte de 25 anos (Cenário 0)
Fonte: Elaboração Própria.

A tabela 7 apresenta o sistema completo com produção média mensal de 700 kWh. Com excedente da produção sendo injetado na rede.

EVTE - 25 anos		
FLUXO DE CAIXA		
Ano	Fluxo de caixa	Saldo simples acumulado
0	-29.181,99	-29.181,99
1	2.436,73	-26.745,26
2	5.146,99	-21.598,27
3	5.435,89	-16.162,38
4	5.741,00	-10.421,37
5	6.063,24	-4.358,13
6	6.403,57	2.045,43
7	6.762,99	8.808,43
8	7.142,60	15.951,03
9	7.543,50	23.494,53
10	7.966,92	31.461,45
11	8.414,09	39.875,54
12	8.886,37	48.761,91
13	9.385,15	58.147,06
14	9.911,94	68.059,00
15	10.468,29	78.527,29
16	11.055,86	89.583,15
17	11.676,42	101.259,57
18	12.331,81	113.591,38
19	13.023,98	126.615,36
20	13.755,01	140.370,37
21	14.527,07	154.897,44
22	15.342,46	170.239,90
23	16.203,62	186.443,53
24	17.113,12	203.556,64
25	18.073,67	221.630,31
Taxa mínima de atratividade =		15%
Valor Presente líquido =		R\$ 12.555,30
Taxa Interna de Retorno =		20,67%

Tabela 7 – EVTE Horizonte de 25 anos

Fonte: Elaboração Própria.

Os dados de entrada para os cálculos são os valores médios de área de telhado, considerando área útil de telhado de 75%, valores de irradiação solar média obtidos no Mapa

Solar Rio, cotação de preços para aquisição de *kit* fotovoltaicos, valores do custo de energia no site da Light e taxas de mercado de investimentos, considerando o Índice de Preços ao Consumidor (IPCA) para aumento projetado no custo da energia elétrica.

De maneira semelhante, a tabela 8 informa o EVTE num horizonte de 25 anos para o cenário no qual o governo arcará com 50% do custo do sistema fotovoltaico completo e instalação. O valor de 50% de subsídio foi adotado, no intuito de propiciar que uma família do bairro analisado, possa arcar com metade dos custos de compra do sistema fotovoltaico e instalação num prazo de 12 meses sem juros, prazo oferecido pelo mercado varejista.

EVTE - 25 anos (Cenário 1 - Governo custeia 50%)		
FLUXO DE CAIXA		
Ano	Fluxo de caixa	Saldo simples acumulado
0	-14.591,00	-14.591,00
1	2.436,73	-12.154,27
2	5.146,99	-7.007,27
3	5.435,89	-1.571,38
4	5.741,00	4.169,62
5	6.063,24	10.232,86
6	6.403,57	16.636,43
7	6.762,99	23.399,42
8	7.142,60	30.542,02
9	7.543,50	38.085,53
10	7.966,92	46.052,44
11	8.414,09	54.466,54
12	8.886,37	63.352,90
13	9.385,15	72.738,06
14	9.911,94	82.650,00
15	10.468,29	93.118,28
16	11.055,86	104.174,15
17	11.676,42	115.850,57
18	12.331,81	128.182,37
19	13.023,98	141.206,36
20	13.755,01	154.961,37
21	14.527,07	169.488,44
22	15.342,46	184.830,90
23	16.203,62	201.034,52
24	17.113,12	218.147,64
25	18.073,67	236.221,31
Taxa mínima de atratividade =		15%
Valor Presente líquido =		R\$ 25.243,12
Taxa Interna de Retorno =		35,28%

Tabela 8 – EVTE Horizonte de 25 anos (Cenário 1 - Governo custeia 50%)
Fonte: Elaboração Própria.

Gobbo e Silva (2017) realizaram um EVTE semelhante, intitulado de orçamento 2, no qual o valor do pacote completo de instalação fotovoltaica apresenta um custo de R\$ 29.674,21 com uma produção média anual de aproximadamente 547,4 kWh/mês. O *payback* para esse orçamento é garantido no sexto ano após a instalação do sistema fotovoltaico, tendo adotado uma tarifa da *Light* de R\$ 890,00/MW. Já o VPL é da ordem de R\$ 41.426,22 sob uma taxa mínima de atratividade de 11,25%, num horizonte de 25 anos.

Tais dados corroboram com as cotações de preços de sistemas fotovoltaicos realizadas nesta dissertação, apresentando apenas, poucas diferenças relacionadas a taxa mínima de atratividade e tarifa da *Light* escolhidas por Gobbo e Silva (2017), que possuem impacto direto e significativo sobre o valor do VPL.

Tal diferença sobre o valor do VPL apresentado por Gobbo e Silva (2017) em comparação com a tabela 8, é resultado da utilização de aproximadamente R\$ 510,00/MW para tarifa da *Light* (sem impostos) para energia injetada na rede e a tarifa de R\$ 755,55/MW (inclui impostos) para energia consumida pela residência. E também, pela adoção da taxa de atratividade de 15 %, nesta dissertação.

4.5 Comparação em termos de viabilidade econômica entre modelos de produção de energia: Hidrelétrica, Termelétrica e Solar.

Precipuaente, a comparação em termos de viabilidade econômica entre os modelos de produção de energia: Hidrelétrica, Termelétrica e Solar, demanda da solidificação dos possíveis cenários de inserção da fonte fotovoltaica como apresentado na tabela 9. Que demonstra os possíveis resultados produtivos com base no número de residências contempladas pelo programa de incentivo a geração distribuída de energia fotovoltaica, e também com relação ao dimensionamento da capacidade produtiva de energia.

Tabela de Dimensionamento de Custo para Construção Usina Solar num Bairro Residencial (Amostra 400 Residências)			
Domicílios	Cenários	MW	Valor do Kit e Instalação
400	Kit Completo para Montar Usina Solar - 700 kWh/mês	280,00	R\$ 11.672.797,33
400	Kit Completo para Montar Usina Solar - 2100 kWh/mês	840,00	R\$ 36.249.057,33
Valor Médio		560,00	R\$ 23.960.927,33

Tabela 9 - Tabela de Dimensionamento de Custo, 2021.
Fonte: Elaboração Própria.

De forma semelhante, no intuito de realizar a comparação em termos de viabilidade econômica entre os modelos de produção de energia: Hidrelétrica, Termelétrica e Solar, obteve-se a tabela 10, que exemplifica a comparação entre os modelos de produção de energia, tendo por premissa a adoção da mesma capacidade produtiva para as diferentes tecnologias.

Que demonstrou que para o cenário1, a adoção da fonte fotovoltaica para geração de energia distribuída, é economicamente mais vantajosa do que a utilização de fontes termelétrica de geração de energia. No qual o governo irá custear 50% do valor de implementação do programa.

Comparação Direta de Custos da Usina Solar para Mesma Capacidade Produtiva de Foz do Chapecó			
Domicílios	Cenários	MWh/mês	Valor do Kit e Instalação
543 mil	Kit Completo para Montar Usina Solar - 700 kWh/mês (Governo custeia 50%)	380.100,00	R\$ 7.922.911.190,00
217,5 mil	Kit Completo para Montar Usina Solar - 2100 kWh/mês	380.625,00	R\$ 19.710.424.925,00
Valor Médio		380.362,50	R\$ 13.816.668.057,50
<i>Versus</i>			
Custo de construção total da Usina Hidrelétrica de Foz do Chapecó e Custo de Operação e implementação UTE Mauá 3			
Usina Termelétrica Mauá 3 (UTE Mauá 3)		377.784,00	R\$ 10.961.597.894,17
Usina Hidrelétrica de Foz do Chapecó		379.549,11	R\$ 5.154.372.453,24

Tabela 10 - Comparação direta de custos e cenários, 2021.

Fonte: Elaboração Própria.

Analogamente, a figura 22, demonstrou graficamente que a adoção da fonte fotovoltaica para geração de energia distribuída se mostrou, economicamente menos custosa do que a utilização da fonte termelétrica de geração de energia com um custo de operação num horizonte de 25 anos. Adotou-se o mesmo cenário produtivo para diferentes tecnologias e também se contabilizou, o custo referente a linhas de transmissão ligadas diretamente a usina hidrelétrica de Foz do Chapecó, conforme apresentado na seção 4.2.

Destaca-se na coluna verde do “Kit completo para montar Usina Solar – 2100 kWh/mês”, na figura 22, que o valor da produção de energia é o resultado da produção total menos a quantia consumida pelas famílias.

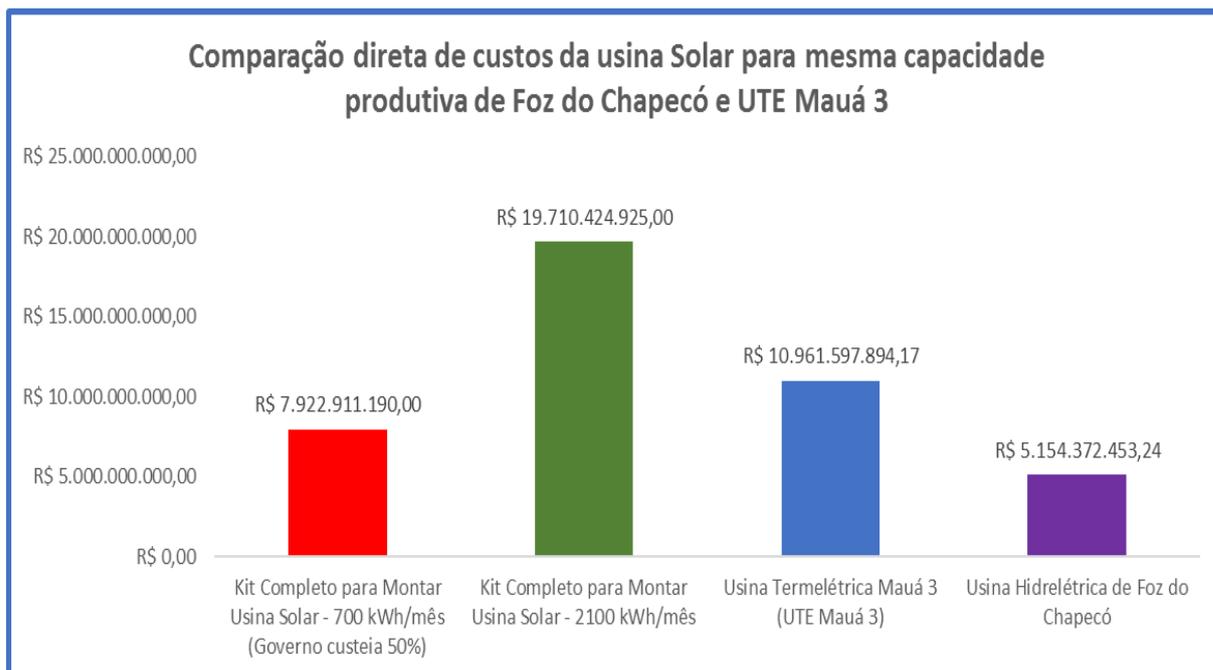


Figura 22 - Comparação direta de custos da Usina Solar para mesma capacidade produtiva da usina UHE Foz do Chapecó
Fonte: Elaboração Própria.

4.6 Implementação dos mecanismos de Incentivo a Geração e Distribuição de Energia Fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro.

Ao considerar o presente trabalho como arcabouço teórico, para implementação de mecanismos de incentivo a geração e distribuição de energia fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro. Fez-se necessário propor a adoção de mecanismos difundidos e reconhecidos mundialmente, que se enquadrem a realidade brasileira, em específico, a realidade do Estado do Rio de Janeiro. Afim de atender a tal intento, este trabalho elencou a utilização de três mecanismos em conjunto, são eles: *Feed-in Tariff*, *Net Metering* e incentivos fiscais para implementação da tecnologia de produção de energia limpa. Com o propósito de subsidiar pessoas físicas na aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos.

Outrossim, conforme apresentado no capítulo 1, os mecanismos e legislações vigentes no país não atendem pessoas físicas, de maneira a garantir o retorno do investimento na aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos.

Ao considerar a afirmação contida no parágrafo anterior, é possível inferir que medidas ou mecanismos que devem ser adotados, afim de estimular a ampla adesão por pessoas físicas

de micro e mini geração distribuída de energia fotovoltaica, necessariamente, precisam estar alicerçados na diminuição do tempo necessário para alcançar o retorno financeiro do investimento, *payback*.

Além disso, a seção 5.5, demonstrou que o custo de implementação do programa de incentivo a aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos para milhares de residências é financeiramente viável, quando comparado ao custo de construção e operação de uma usina termelétrica, se for adotado o cenário 1, para tanto foi considerada a mesma capacidade produtiva de energia para ambos.

Dessa maneira, para a melhor implementação de mecanismos de promoção a geração e distribuição de energia fotovoltaica, é recomendada a criação de um programa de incentivo a aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos, que atue de maneira similar aos mecanismos: *Feed-in Tariff*, *Net Metering* e incentivos fiscais para implementação da tecnologia de produção de energia limpa. O presente estudo recomenda utilizar o princípio e regramentos dos mecanismos supracitados, além de garantir 50% de participação do governo no custo de aquisição do sistema fotovoltaico e os componentes necessários para instalação (*rebate*). Além de viabilizar a compra por meio do mercado varejista que normalmente, concede prazo de 12 meses sem juros com o objetivo de viabilizar a instalação de painéis fotovoltaicos em residências. Fator que também pode ser estendido para aquisição dos painéis fotovoltaicos e itens necessários à instalação.

No caso do Estudo de viabilidade técnico econômica realizado neste trabalho, demonstrou que o retorno completo do investimento realizado pelas famílias acontece no 6º ano de implementação do sistema. O cenário 0 é a demonstração da situação atual sem a introdução de mecanismos que propiciem a difusão do uso de sistemas fotovoltaicos. E no caso do cenário 1, o qual o governo irá subsidiar a metade do custo do sistema, o retorno completo é esperado no 4º ano de utilização.

Portanto, o governo poderá fornecer cartões de compra, aos consumidores interessados em adquirir, os *kits* de instalação de painéis fotovoltaicos, os quais irão permitir uma maior competitividade entre as empresas do varejo, no que tange ao preço dos *kits* de instalação de painéis fotovoltaicos, e também evitar o mau uso de recursos públicos.

Ressalta-se, que o presente estudo orienta a inserção do programa por fases e regiões, afim de não aumentar demasiadamente a procura por *kit* de instalação de painéis fotovoltaicos, fator esse que resultaria na elevação de seus preços, devido aos fatores de oferta e procura.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO.

O presente trabalho começou por delinear as quatro principais políticas de promoção a energias renováveis para facilitar a compreensão de como funcionam os mecanismos de incentivo a energias limpas. Em especial, a energia solar, afim de atender os objetivos dessa dissertação apresentou-se o estado da arte, referente aos países líderes na geração de energia solar.

De semelhante modo, o trabalho indica que a utilização de mecanismos de incentivo a geração fotovoltaica, atua de forma a acelerar o desenvolvimento de tecnologias e propicia um grande aumento na capacidade instalada de geração fotovoltaica.

E o mecanismo mais usado para promoção de fontes renováveis é o *Feed-in Tariff*, seguido pelos Leilões com cotas para energias renováveis, e também, são as ferramentas mais usadas pelos três países líderes na produção de energia fotovoltaica.

Portanto, nesse sentido, a China demonstrou aliar o mecanismo de FIT a Leilões com cotas para energias renováveis, para promover o crescimento de fontes renováveis no país, além de conseguir atender a demanda por energia nas diversas regiões do país, com o uso da energia fotovoltaica.

A mensagem de boas práticas obtida, quando se trata de fontes renováveis de energia, que os países líderes na produção e distribuição de energia fotovoltaica expressam é: o uso em paralelo de mais de uma política de incentivo a geração de energia limpa.

A adaptação e utilização dessas políticas no cenário brasileiro demanda uma mudança no modelo energético nacional, que é prioritariamente baseado no uso de usinas hidrelétricas, que também é uma fonte renovável de energia, porém pode enfrentar momentos de escassez como ocorrido na crise hídrica no ano de 2014, no qual a região sudeste foi a mais afetada.

Forçando o Operador Nacional do Sistema de energia (ONS) a utilizar a energia termelétrica que é menos vantajosa do que a energia solar como demonstrado neste trabalho.

Diante do exposto, a criação de usinas solares em grandes cidades emerge como resposta de longo prazo para produção de energia limpa, sem impactar negativamente o meio ambiente.

O cenário brasileiro delineado por proporções continentais requer uma setorização no uso de fontes renováveis de energia de acordo com a oferta do recurso energético, temos como exemplos: vento, radiação solar, biocombustíveis entre outros. E políticas que incentivem a produção desses vários tipos de energia, devem ser baseadas prioritariamente nos modelos: *Feed-in Tariff*, *Net Metering*, *rebate* e leilões com cotas para energias renováveis que proporcionam maior segurança ao produtor de energia limpa, mediante taxas fixas, ou seja, preços fixos e garantia de compra de energia por décadas, fator que inspira maior segurança no investimento na produção e distribuição de energias renováveis, além de prioridade no despacho de energia para regiões perto do centro produtor, evitando o despacho de energia para regiões muito distantes de grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, acarretando no menor custo de transmissão de energia e manutenção de linhas de transmissão.

Fator também corroborado pela comparação de custos apresentada no capítulo 5, que exemplifica a vantagem monetária ao investir na produção de energia fotovoltaica distribuída *versus* a produção e operação por fonte termelétrica. Além de destacar, a não utilização do mecanismo de incentivo *feed-in tariff* e por parte do governo brasileiro e também a inexistência de regulação para a venda de energia injetada na rede.

Outro ponto que merece destaque é a retenção pelo Estado do Rio de Janeiro de ICMS (Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços) que incidirá sobre a parcela da energia gerada pelo consumidor e injetada na rede. Além, do município do Rio de Janeiro recolher o ISS (Imposto sobre serviços), relativo ao projeto, registro e instalação de sistemas fotovoltaicos. Fator que trará recursos importantes para o estado e município do Rio de Janeiro e conseqüentemente irá gerar empregos no setor instalação de sistemas fotovoltaicos.

Portanto, diante do estudo realizado pelo presente trabalho é possível afirmar que o investimento na geração e distribuição de energia proveniente de fontes renováveis de energia, especificamente, a fonte fotovoltaica é viável financeiramente. A política de promoção para referida fonte de energia, demonstrou grande aplicabilidade para o cenário brasileiro ao propor a adoção de três mecanismos simultaneamente: *Feed-in Tariff*, *Net Metering* e *Rebate* para implementação da tecnologia de produção de energia limpa que resultam num investimento por parte do governo de R\$ 7.922.911.190,00.

REFERÊNCIAS

ABES (Atlas brasileiro de energias solar), 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html> Acesso em 29 de fevereiro de 2020.

ABESCO (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia) Disponível em <http://www.abesco.com.br/pt/a-proesco/>. Acesso em 23 de fevereiro de 2020.

ABDIB (Associação Brasileira da Infraestrutura e Indústrias de Base) Disponível em <https://www.abdib.org.br/>. Acesso em 25 de fevereiro de 2020.

ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) Disponível em <http://www.absolar.org.br/>. Acesso em 24 de fevereiro de 2020.

Alves GB; et al. Spatial criteria modeling: report on project APQ03072-11, GT480 “development of models, methods, and computational system for the management of process of analyzing investment alternatives in electric power transmission”. Belo Horizonte: ASOTECH; 2014.

ANEEL, 2008. Consórcio Energia Sustentável do Brasil vence leilão de Jirau. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias_area/arquivo.cfm?Tipo=PDF&idNoticia=2558&idAreaNoticia=347> Acesso em 12 de fevereiro de 2019.

ANRE (Agency for Natural Resources and Energy), 2017. Status of Renewable Sources. Disponível em: <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/>. Acesso em 16/08/2017.

Aquila. G; et al. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v 1, 2017.

Babich, Volodymyr; Lobel, Ruben; Yucel, Safak. Promoting Solar Panel Investments: Feed-in-Tari versus Tax-Rebate Policies. 2019.

Balanco Energético Nacional, 2020. Relatório Final. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em 09 Outubro de 2020.

Bender Filho, Reisoli. Conta petróleo e a balança comercial brasileira: Uma análise do período recente. *Novos estudos - CEBRAP*, São Paulo, n. 101, pág. 79-95, março de 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002015000100079&lng=en&nrm=iso>. acesso em 07 out. 2020.

BIAGIO, 2016. “Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede”. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010504.pdf>>. Acesso em 15 Janeiro de 2021.

Bloomberg. Country Profiles: Capacity and Generation. Compare Feed-in Tariffs. Bloomberg New Energy FinanceDatabase, v 1, 2016.

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atuacao/Infraestrutura/Energia_Eletrica/Leilao_Energia/energia_solar.> Acesso em 22 de janeiro de 2020.

BRASIL, 2008. Comissão discute Luz para Todos e Luz no Campo. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/120796-COMISSAO-DISCUTE-LUZ-PARA-TODOS-E-LUZ-NO-CAMPO>> . Acesso em 20 de julho de 2020.

BRASIL. Decreto de 2 de dezembro de 1999. Institui o Programa Nacional de Eletrificação Rural "Luz no Campo", e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/antecedentes/1999/Dnn8715.htm>. Acesso em 20 de julho de 2020.

Camilo, H. F. et al. Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, n. Setembro, 2017.

Carvalho, P.S.L, Mesquita, P.P.D.M, Rocio, M.A.M., 2014. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira?. *Rio de Janeiro*, n.40, p. 205-233.

Catálogo do fabricante do painel Canadian Solar CS6U-315P, 2021. Disponível em <<http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Canadian-Solar/3456/CS6U-315P/specification-data-sheet.html>> Acesso em 27 de Janeiro de 2021.

CBIC, 2016. PAC - Avaliação do potencial de impacto econômico. Disponível em: <https://cbic.org.br>> Acesso em 23 de Março de 2020.

CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) Disponível em: <http://www.cepel.br/pt_br/>. Acesso em: 23 de agosto de 2019.

Ciarreta, A.; Espinosa, M.; Pizarro-Irizar, C. Optimal regulation of renewable energy: A comparison of Feed-in Tariffs and Tradable Green Certificates in the Spanish electricity system. *Energy Economics*, In press, v 1, 2017.

Chapman, A.J.; Itaoka, K. Energy transition to a future low-carbon energy society in Japan's liberalizing electricity market: Precedents, policies and factors of successful transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, In press, v 1, 2017.

Comello, S; Reilchelstein, S. Cost competitiveness of residential solar PV: The impact of net metering restrictions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.

Cometta, Emilio. Energia Solar: utilização e empregos práticos. Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada, 1978.

Costa, M; Trujillo-Baute, E. Retail Price Effects of Feed-in Tariff Regulation. *Energy Economics*, v 5, 2015.

Couture, T. E ;Gagnon, Y. An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy Policy*, v 38, 2010.

Crago, C ;Chernyakhovskiy, I. Are policy incentives for solar power effective? Evidence from residential installations in the Northeast. *Journal of Environmental Economics and Management*, v 81, 2017.

Darmani, A.; Rickne, A.; Antonio Hidalgo, A.; Arvidsson, N. When outcomes are the reflection of the analysis criteria: A review of the tradable green certificate assessments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v 62, 2016.

Duffie, J. A., Beckman, W. A. *Solar engineering of thermal processes*. 3. Ed. New York: John Wiley & Sons, 2013.

EEA (European Energy Agency). *Renewable energy in Europe — 2018; Recent growth and knock-on effects*. EEA Report No 20/2018. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2018>>. Acesso em 25/03/2021. ISSN 1977-8449

ELETROBRÁS, Relatório Final do Programa Para Orçamentos de Linhas de Transmissão – OLT, junho/2005.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018). *Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017*. Rio de Janeiro, 2018.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020). *Balanço Energético Nacional 2020: Ano Base 2019*. Rio de Janeiro, 2020.

EU Commission. *The support of electricity from renewable energy sources*. Commission staff working document, SEC, 2008.

Estadão. 2013. Belo Monte. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/>. Acesso em 18 de fevereiro de 2020.

Fearnside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation biology*, 19(3): 680-688.

Ferreira, A. et al. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v 81, 2017.

Fleury, L. C., & Almeida, J. (2013). A construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte: conflito ambiental e o dilema do desenvolvimento. *Ambiente & Sociedade*, 16(4): 141-156.

FURNAS (Eletrobras Furnas), 2021. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/>. Acesso em 15 de fevereiro de 2021.

Geffert, W.; Strunk, K. Beyond net metering: A model for pricing services provided by and to distributed generation owners. *The Electricity Journal*, v 30, 2017.

Gobbo, Emilia Ribeiro.; Silva, Maria Antonia Tavares Fernandes da. 2017. “Viabilidade econômica da energia fotovoltaica residencial no Brasil”. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010504.pdf>. Acesso em 16 Janeiro 2021.

Goldemberg, J.; Lucon, O. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. São Paulo, 2011.

Haas, R., Panzer, C., Resch, G., Ragwitz, M., Reece, G., Held, A., 2011. A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* v 15, 2011.

Haberl, J.; Cho, S. Literature review of uncertainty of analysis methods (pv f-chartprogram), report to the texas commission on environmental quality. energy systemslaboratory, texasa&m university. 10 2004.

Held, A ; Haas, R ; Ragwitz, M. On the success of policy strategies for the promotion of electricity from renewable energy sources in the EU. *Energy Environ.* v 17, 2006.

IEA (Agência Internacional de Energia). Countries non members. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/nonmembercountries/chinapeoplesrepublicof/> Acesso em 24 de Agosto de 2017.

IEA (Agência Internacional de Energia). Fuels and Technologies Renewables. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables/> Acesso em 24 de Março de 2021.

IEA and IRENA. Joint Polices and Measures Database. Disponível em: <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/> Acesso em 10 de Agosto de 2017.

IEA and IRENA. Joint Polices and Measures Database. Disponível em: <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/> Acesso em 13 de Janeiro de 2018.

IEA and IRENA. Joint Polices and Measures Database. Disponível em: <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/> Acesso em 22 de Junho de 2019.

IEA and IRENA. Joint Polices and Measures Database. Disponível em: [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20energy%20supply%20\(TES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20energy%20supply%20(TES)%20by%20source) /> Acesso em 21 de Setembro de 2020.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2021. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/Modulo_Fotovoltaico.asp Acesso em 31 de Janeiro de 2021.

IRENA, REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2017.

IRENA, Reaching zero with renewables: Eliminating CO₂ emissions from industry and transport in line with the 1.5 °C climate goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2020.

K. Chang et al., Green fiscal policy and firms' investment efficiency: New insights into firm-level panel data from the renewable energy industry in China, Renewable Energy, Hangzhou, 2019.

Kamuyu, W. C. L., Lim, J. R., Won, C. S., Ahn, H. K. Prediction model of photovoltaic module temperature for power performance of floating PVs. MPDI Journal, Energies 2018.

Komiyama, R.; Fujii, Y. Assessment of massive integration of photovoltaic system considering rechargeable battery in Japan with high time-resolution optimal power generation mix model. Energy Policy, v 66, 2014.

Koumparou. I ; et al. Configuring residential PV net-metering policies – A focus on the Mediterranean region. Renewable Energy, v 113, 2017.

Kreiss, J. ; Ehrhart, K. ; Haufe, M. Appropriate design of auctions for renewable energy support – Prequalifications and penalties. Energy Policy, v 101, 2017.

Laes, E.; Gorissen, L.; Nevens, F. A comparison of energy transition governance in Germany, The Netherlands and the United Kingdom. Sustainability, v 1, 2014.

Leturcq, G. Human and Social Consequences, in: Dams in Brazil: Social and Demographical Impacts. Springer International Publishing, Cham, v 1, 2019.

Lind, A.; Rosenberg, E. How do Various Risk Factors Influence the Green Certificate Market of Norway and Sweden. Energy Procedia, v 58, 2014.

Lopez, A.; Roberts, D.; Heimiller, N.; Blair, P. "U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis." 1^o Edição. LONDON: EARTHSCAN, 2012.

Macintosh, A., & Wilkinson, D. Searching for public benefits in solar subsidies: A case study on the Australian government's residential photovoltaic rebate program. Energy Policy, 39(6), Canberra, 2011.

Mapa Solar Rio. 2020. Disponível em: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=029ccb875ca24c209a8572e70a4b6b19>. Acesso em 29 de Janeiro de 2010.

Matschoss, P . The German energy transition. Status, challenges and the Finnish perspective. FIIA Briefing Paper, v 128, 2013. Disponível em: <<http://www.fii.fi/en/publication/338/#.Uq-AFPRDu9U>>. Acesso em 10 de Setembro de 2017.

Mendonça .M. Feed-in Tariffs: Accelerating the Deployment of Renewable Energy. 1^o Edição. LONDON: EARTHSCAN, 2012.

MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações), 2020. Disponível em: < <https://www.mctic.gov.br/> >. Acesso em 24 de Fevereiro de 2020.

MDIC (Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços), 2020. Disponível em: < <https://www.mdic.gov.br/> >. Acesso em 24 de Fevereiro de 2020.

MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2020. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/> >. Acesso em 24 de Fevereiro de 2020.

MME (Ministério de Minas e Energia), 2019. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/> >. Acesso em 20 de Julho de 2020.

MME (Ministério de Minas e Energia), 2020. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/> >. Acesso em 24 de Fevereiro de 2020.

METI (Ministry of Economy, Trade and Industry), 2014. Endorsement Status of Renewable Energy. Disponível em: <<http://www.meti.go.jp/press/2013/03/20140320004/20140320004-3.pdf>>. Acesso em 18 de Agosto de 2017.

METI (Ministry of Economy, Trade and Industry), 2015. Current Status of Renewable Energy Installation and the Review on Feed-in-Tariff System, in Japanese. <http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/020_01_00.pdf>. Acesso em 19 de Agosto de 2017.

METI (Ministry of Economy, Trade and Industry), 2016. Report of Institutional Reform Subcommittee for Renewable Energy Promotion, in Japanese. <http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/kihonseisaku/saisei_kanou/pdf/report_01_01.pdf>. Acesso em 19 de Agosto de 2017.

Moretto, E. M., Gomes, C. S., Roquetti, D. R., Jordao, C. O. (2012). Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. *Ambiente & Sociedade*, 15(3): 141-164.

NEA (National energy administration), 2017. Report of Renewable Policies. Disponível em: <http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201601/t20160114_2096.htm> Acesso em 05 de Setembro de 2017.

NOTA DE ESCLARECIMENTO - REPORTAGEM EL PAÍS PUBLICADA EM 08/11/2019. Norte Energia S.A. Disponível em: <<https://www.norteenergiasa.com.br/pt-br/imprensa/releases/nota-de-esclarecimento-reportagem-el-pais-publicada-em-08-11-2019-100692>>. Acesso em 12 de setembro de 2020.

Núcleo de Estudos Socioambientais - NESA. (2010). Projeto Básico de Engenharia. Disponível em: <http://www.idesp.pa.gov.br/index.php/observatorio-belomonte?showall=&start=4#outros-documentos>> Acesso em 26 de Setembro de 2017.

NREL (National Renewable Energy Laboratory) Disponível em <<https://www.nrel.gov/>> Acesso em 28 de Agosto de 2017.

ONU (Organização das Nações Unidas) Disponível em < <https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>> Acesso em 19 de Janeiro de 2019.

Pablo Del Río. Designing auctions for renewable electricity support. Best practices from around the world. *Energy for Sustainable Development*, v 41, 2017.

Pablo-Romero. M; et al. An overview of feed-in tariffs, premiums and tenders to promote electricity from biogas in the EU-28. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v 73, 2017.

Paltridge, G. W., Platt, C. M. R. Radiative processes in meteorology and climatology. 6th ed. Amsterdam: Elsevier, 1976.

Pavaloaia, L.; Georgescu, L.; Georgescu, M. The System of Green Certificates - Promoter of Energy from Renewable Resources. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, v 188, 2015.

Pegels, A.; Lütkenhorst, W. Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV. *Energy Policy*, v 74, 2014.

Pinho, T.; Galdino, M. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPEL – CRESESB. Edição Revisada e Atualizada, Rio de Janeiro, 2014.

Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

Pineda, S.; Bock, A. Renewable-based generation expansion under a green certificate market. *Renewable Energy*, v 91, 2016.

Poullikkas, A. A comparative assessment of net metering and feed in tariff schemes for residential PV systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v 3, 2013.

PSS (Purchasing Scheme for Solar PV Electricity). Disponível em <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/> Acesso em 17 de Setembro de 2017.

Qi, T.; et al. An analysis of China's climate policy using the China-in-Global Energy Model. *Economic Modelling*, v 52, 2016.

Randell, H. Forced migration and changing livelihoods in the Brazilian Amazon. *Rural Sociol.* v 82, 2016. Disponível em <<https://doi.org/10.1111/ruso.12144>> Acesso em 04 de Maio de 2020.

REN21. Renewables 2016 Global Status Report, 2016. Disponível em <http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf> Acesso em 23 de Julho de 2017.

REN21. Renewables Global Futures Report: Great debates Towards 100% Renewable energy, 2017. Disponível em <<http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/03/GFR-Full-Report-2017.pdf>> Acesso em 10 de Agosto de 2017.

Reeves, D. C., & Rai, V. Strike while the rebate is hot: Savvy consumers and strategic technology adoption timing. *Energy Policy*, 121, 2018.

RPS (Renewable Portfolio Standards), 2017. Report Energy Policy. Disponível em

<<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/toplink-english.html>> Acesso em 14 de Agosto de 2017.

Rüther, R., Nascimento, L. R., Campos, R. A. Extreme overirradiance events in Brazil: consequences on PV power plant output performance, submitted to Solar Energy, 2017.

Shrimali, G.; Konda, C. ;Farooque, A. Designing renewable energy auctions for India: Managing risks to maximize deployment and cost-effectiveness. Renewable Energy, v 97, 2016.

Sahu, B. A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v 43, 2015.

SILVA, C. G. S. Avaliação do uso do método PVF Chart na cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

SILVA, R. M. Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 23 de fevereiro de 2020.

SINICON (Sindicato Nacional da Indústria de Construção Pesada - Infraestrutura). 2013. Disponível em <https://www.sinicon.org.br/>. Acesso em 25 de fevereiro de 2020.

SUNDATA. 2018. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&lang=en>> Acesso em 23 de Agosto de 2018.

Tan. R; Chow. T.L. A comparative study of Feed-in Tariff and Net Metering for UCSI University North Wing Campus with 100kW solar Photovoltaic System. Energy Procedia, v 100, 2016.

Tanaka, N. Big Bang in Japan's energy policy. Energy Strategy Reviews, v 1, 243 p - 246 p, 2013.

The German Energiewende, Disponível em <<https://book.energytransition.org/>> Acesso em 22 de Agosto de 2017.

U.S. Energy Information Administration. 2015a. "Direct Federal Financial Interventions and Subsidies in Energy in Fiscal Year 2013." Disponível em <<https://www.eia.gov/analysis/requests/subsidy/>> Acesso em 03 de Agosto de 2017.

Vallêra, A. M; Brito, M. C., 2006. Meio século de história Fotovoltaica. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf> > Acesso em 10 de Dezembro de 2017.

Vianello, R. L. e Alves, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária, 1991.

Villalva, M. G.; Gazoli, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 1ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2012.

Xu, T., & Ma, J. Feed-in tariff or tax-rebate regulation? Dynamic decision model for the solar photovoltaic supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, y, Tianjin, 2020.

Wallace, J. M. ; Hobbs, P. V. *Atmospheric science: an introductory survey*. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2006.

Wang, Y.; et al. Green information, green certification and consumer perceptions of remanufactured automobile parts. *Resources, Conservation and Recycling*, v 1 2016.

Wędzik, A.; Siewierski, T.; Szypowski, M. Green certificates market in Poland – The sources of crisis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v 75, 2017.

D. Yang, H. Latchman, D. Tingling, and A. A. Amarsingh, “Design and Return on Investment Analysis of Residential Solar Photovoltaic Systems,” *IEEE Potentials*, vol. 34, 2015.

Zhang, X.; Bai, X . Incentive policies from 2006 to 2016 and new energy vehicle adoption in 2010–2020 in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v 70, 2017.

ANEXO A

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m ²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m ²)	Área Total de Telhado (m ²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m ²)
51	Rua Juatama 90	0,9	0,47	157,77	0,69
52	Rua Ibatiguara 207	0,81	0,46	119,42	0,64
53	Rua Professor Carlos Boisson 415	0,81	0,34	95,62	0,58
54	Rua A - PAL 35811 3	0,61	0,31	84,54	0,46
55	Rua Maestro Joaquim Maegele 25,	0,85	0,31	167	0,58
56	Rua Rafia 0	0,74	0,19	125,27	0,47
57	Rua Porto Amazonas 360	0,86	0,45	160,93	0,66
58	Rua Suda Stelaro 13	0,86	0,43	105,72	0,65
59	Rua dos Cravos 0	0,93	0,48	28,86	0,71
60	Estrada do Tingui 0	0,87	0,45	136,25	0,66
61	Rua Viúva Dantas 921	0,88	0,45	165,45	0,45
62	Rua Bertholdo Costa 95	0,83	0,42	133,68	0,63
63	Rua Dom Pedro Massa 32	0,86	0,43	95,75	0,43
64	Rua Barcelos Domingos 187	0,83	0,45	247,39	0,64
65	Rua Padre Pauwels 31	0,85	0,44	196,19	0,65
66	Rua Alfredo de Morais 133	0,84	0,46	155,28	0,46
67	Estrada da Caroba 594	0,86	0,44	93,53	0,86
68	Rua Butia 8	0,86	0,44	129,38	0,65
69	Rua Xavier Marques 403	0,84	0,4	105,19	0,62
70	Rua Aracaju 116	0,85	0,44	189,21	0,85
71	Rua Jaboatão 66	0,76	0,25	73,85	0,51
72	Rua Demerval Medeiros 0	0,75	0,38	122,58	0,57
73	Beco dos Carneiros 890	0,89	0,47	284,59	0,68
74	Avenida Cesário de Melo 1.630	0,88	0,47	253,09	0,68
75	Rua Domingos do Couto 61	0,72	0,3	176,29	0,51
76	Rua Jaguaruna 171	0,85	0,44	118,87	0,65
77	Rua Santa Gertrudes 0	0,88	0,45	222,74	0,67
78	Rua Gianerini 2	0,84	0,43	433,72	0,64
79	Rua Lucília 173	0,86	0,44	178,77	0,44
80	Rua Campo Grande 1.320	0,84	0,43	197,93	0,64
81	Rua Ferreira Borges 24	0,86	0,45	439,53	0,66
82	Rua Alfredo de Morais 562	0,84	0,43	245,17	0,84
83	Rua Cabo Moises de Oliveira 81	0,62	0,23	95,07	0,23
84	Rua Ivo do Prado 129	0,83	0,4	113,53	0,62
85	Rua Carlos da Silva Costa 32	0,84	0,43	157,8	0,64
86	Rua Coronel Agostinho 73	0,74	0,26	253,14	0,26
87	Rua Manai 156	0,84	0,43	391,29	0,43
88	Rua Macedo Coimbra 81	0,8	0,38	100,63	0,80
89	Rua Engenheiro Trindade 0	0,63	0,26	54,15	0,45
90	Rua Gramado 25	0,82	0,44	135,26	0,44
91	Rua Doutor Caetano de Faria Castro 6	0,79	0,39	165,23	0,59
92	Rua Candido Magalhães 36	0,83	0,44	137,19	0,64
93	Rua Regina Coeli 23	0,76	0,43	139,47	0,60
94	Avenida Maria Teresa 21	0,86	0,43	123,91	0,65
95	Rua Olinda Ellis 23	0,87	0,45	287,16	0,45
96	Avenida Cesário de Melo 3.489	0,85	0,44	867,51	0,65
97	Rua Mario Barbosa 304	0,85	0,42	165,82	0,42
98	Rua Professor Castilhos 84	0,92	0,46	106,15	0,92
99	Rua Tendi 42	0,8	0,43	177,35	0,62
100	Rua Minas de Prata 174	0,86	0,45	387,62	0,66

Figura 23 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 2)

Fonte: Elaboração Própria.

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m ²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m ²)	Área Total de Telhado (m ²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m ²)
101	Rua Nilton de Almeida Costa 683	0,82	0,42	156,03	0,42
102	Estrada Santa Maria 196	0,83	0,39	91,41	0,39
103	Rua Mario Cordeiro 25	0,85	0,43	97,92	0,64
104	Rua Roberto Santiago 96	0,81	0,39	86,4	0,39
105	Rua Soldado Jose Barbosa Filho 11	0,6	0,45	81,35	0,53
106	Rua Piraua 615	0,78	0,39	133,37	0,78
107	Rua Pocinhos 180	0,79	0,37	150,14	0,79
108	Estrada do Encanamento 556	0,81	0,44	145,56	0,81
109	Rua Tupitinga 60	0,79	0,37	120,27	0,58
110	Rua Cipotânea 152	0,82	0,42	210,13	0,62
111	Rua Frei Timóteo 150	0,76	0,41	100,2	0,59
112	Rua Achilles de Araujo 120	0,77	0,39	74,46	0,58
113	Avenida Brasil 49.389	0,92	0,46	3.215,28	0,92
114	Estrada do Campinho 6.278	0,91	0,43	346,11	0,67
115	Rua Recanto da Paz 45	0,84	0,27	72,5	0,27
116	Estrada do Encanamento 1.853	0,8	0,41	0,41	0,61
117	Rua D 135	0,87	0,43	182,72	0,43
118	Rua Nove - 9 219	0,78	0,41	100,29	0,60
119	Travessa Santa Isabel 8	0,85	0,43	125,69	0,64
120	Rua Roberto Ribeiro 3	0,77	0,38	109,54	0,77
121	Estrada Santa Bertília 203	0,83	0,42	138,85	0,42
122	Rua Fredolino Chimango 152	0,78	0,40	91,98	0,78
123	Rua Santo Saturnino 159	0,82	0,41	154,2	0,62
124	Rua Juriti 52	0,79	0,37	51,55	0,58
125	Rua Riachão do Jacuipe 190	0,83	0,46	111,18	0,65
126	Rua Maria de Lourdes Paes Barreto 40	0,82	0,42	138,91	0,62
127	Estrada do Campinho 1.995	0,8	0,40	73,41	0,80
128	Rua Andre Gonçalves 352	0,92	0,44	97,34	0,68
129	Rua Vergel 295	0,84	0,44	177,94	0,64
130	Rua Ramiro Barcelos 336	0,8	0,41	128,54	0,80
131	Caminho Fóz do Jordão 910	0,84	0,43	113,52	0,64
132	Estrada Guandu do Sapê 343	0,8	0,46	141,72	0,80
133	Avenida Marechal Dantas Barreto 206	0,84	0,43	197,54	0,64
134	Rua Porto Amazonas 185	0,85	0,42	127,3	0,85
135	Rua Porto Amazonas 320	0,82	0,44	115,58	0,44
136	Estrada Professor Daltro Santos 70	0,82	0,4	157,16	0,61
137	Rua Almirante Luiz Felipe Pinto da Luz	0,8	0,44	136,61	0,80
138	Estrada do Mendanha 2.098	0,84	0,43	89,76	0,64
139	Estrada do Mendanha 3.349	0,85	0,43	239,35	0,64
140	Estrada do Mendanha 5.044	0,84	0,45	220,35	0,65
141	Rua do Baiano 13	0,82	0,43	164,06	0,82
142	Estrada da Posse 2.957	0,78	0,43	92,27	0,78
143	Rua Sampaio de Lacerda 40	0,85	0,42	121,42	0,42
144	Rua João Bolonini 25	0,82	0,41	90,83	0,41
145	Rua Marcos Uchôa 130	0,87	0,45	81,89	0,66
146	Rua Roberto Sergio Oazen 35	0,8	0,43	83,49	0,62
147	Rua João Borges Filho 285	0,75	0,43	36,01	0,43
148	Rua Missão Nova 85	0,83	0,42	83,10	0,42
149	Rua Ravena 305	0,84	0,45	135,56	0,65
150	Rua Hugo Faria Junior 110	0,82	0,42	106,3	0,62

Figura 24 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 3)

Fonte: Elaboração Própria.

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m²)	Área Total de Telhado (m²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m²)
151	Rua Sacramento 265	0,81	0,39	111,92	0,81
152	Rua Edorezio Moura 47	0,64	0,34	75,73	0,64
153	Rua do Ouro 324	0,80	0,39	106,97	0,39
154	Rua São Damaso 20	0,84	0,48	26,6	0,66
155	Rua Paulino de Oliveira 170	0,8	0,48	156,28	0,64
156	Rua Brejo 100	0,81	0,45	116,37	0,63
157	Rua São Jacinto 103	0,85	0,41	146,6	0,41
158	Rua Almerinda de Castro 17	0,81	0,44	132,65	0,63
159	Estrada do Campinho 2.861	0,86	0,41	188,57	0,86
160	Rua Soldado Sebastião Viana 261	0,78	0,38	107,31	0,58
161	Rua Pedro Vasconcelos 99	0,77	0,35	153,54	0,77
162	Rua Colares 26	0,74	0,39	115,69	0,39
163	Rua Contagem 31	0,78	0,40	113,14	0,78
164	Rua Vina Del Mar 5	0,83	0,42	72,66	0,42
165	Rua Chapada 116	0,8	0,41	163,18	0,61
166	Rua Bernardino Lopes 230	0,8	0,39	88,04	0,80
167	Rua Itaunas 20	0,72	0,12	134,35	0,12
168	Estrada do Campinho 4.176	0,82	0,35	117,06	0,59
169	Travessa Ana Barcelos 47	0,77	0,42	140,47	0,42
170	Rua Dom Pedrito 81	0,82	0,43	176,07	0,82
171	Rua Ponche Verde 348	0,83	0,41	169,1	0,83
172	Rua Umbu 358	0,83	0,42	169,54	0,63
173	Rua Moniz Gordilho 535	0,79	0,39	150,23	0,79
174	Rua Ilhéus 84	0,79	0,42	141,27	0,61
175	Rua Luiz Barata 403	0,84	0,44	177,22	0,84
176	Rua Solon Botelho 290	0,74	0,41	135,74	0,58
177	Rua Martinho Lutero 85	0,79	0,40	0,40	0,79
178	Rua Guaraju 19	0,77	0,42	129,69	0,60
179	Rua Peter Pan 145	0,77	0,26	134,84	0,26
180	Rua Almeida Gonzaga 14	0,8	0,43	84,06	0,62
181	Rua Pampeiro 222	0,89	0,38	11,8	0,38
182	Rua dos Diaristas 5	0,9	0,46	186,47	0,90
183	Rua Spinoza 173	0,80	0,43	149,55	0,43
184	Rua Moranga 141	0,73	0,4	81,75	0,57
185	Rua Poeraba 116	0,83	0,42	143,13	0,42
186	Rua Paz Celeste 1	0,83	0,41	94,91	0,62
187	Rua Monte Horebe 38	0,74	0,35	41,98	0,35
188	Rua do Ouro 54	0,88	0,42	133,1	0,42
189	Rua Cinquenta 179	0,81	0,44	131,99	0,63
190	Rua Déda 13	0,75	0,45	84	0,45
191	Rua Doutor Continentino 16	0,77	0,44	88,58	0,44
192	Rua Felipe Cardoso 15	0,77	0,44	107,85	0,77
193	Rua Marechal Galdino 182	0,79	0,39	91,37	0,39
194	Rua Vieira Ravasco 744	0,78	0,44	117,05	0,61
195	Avenida Engenheiro Gastão Rangel 1.405	0,77	0,45	60,25	0,61
196	Rua Auristela 349	0,73	0,4	132,3	0,57
197	Travessa Júlio 56	0,82	0,42	79,83	0,62
198	Travessa Reis 41	0,78	0,41	68,43	0,60
199	Rua Sophia Barreto 53	0,79	0,42	87,16	0,61
200	Rua da Paz 28	0,83	0,42	119,43	0,83

Figura 25 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 4)

Fonte: Elaboração Própria.

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m ²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m ²)	Área Total de Telhado (m ²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m ²)
201	Travessa Camarão 19	0,82	0,44	171,52	0,44
202	Rua Ivan Villon 10	0,77	0,44	132,5	0,61
203	Rua Alcides Rego 308	0,8	0,42	108,19	0,61
204	Rua Bussi Moreira 143	0,78	0,39	113,23	0,39
205	Rua Eduardo 17	0,82	0,44	127,95	0,44
206	Rua Bominal 195	0,83	0,45	206,15	0,64
207	Rua Jesuitas 183	0,85	0,41	82,32	0,85
208	Rua Dona Januária 26	0,73	0,42	125,01	0,73
209	Rua Felipe Cardoso 141	0,82	0,36	124,29	0,82
210	Avenida Isabel 67	0,81	0,44	281,88	0,63
211	Rua Felipe Cardoso 1.196	0,78	0,44	235,12	0,78
212	Estrada Cruz das Almas 326	0,84	0,45	144,03	0,65
213	Rua Fernanda 2.148	0,8	0,44	136,7	0,80
214	Estrada de Sepetiba 305	0,86	0,52	168,35	0,69
215	Estrada Marquês dos Santos 73	0,81	0,40	71,9	0,81
216	Rua Cilon Cunha Brum 474	0,36	0,13	38,98	0,36
217	Rua Raimundo Ferreira Lima 264	0,51	0,41	50,32	0,41
218	Rua Wilson Souza Pinheiro 133	0,86	0,44	167,32	0,86
219	Rua Alto Rio Doce 24	0,56	0,46	19,45	0,56
220	Rua Riacho Seco 30	0,83	0,46	98,33	0,65
221	Rua Bernardino Lopes 102	0,83	0,45	215,51	0,64
222	Rua Jose Albano 26	0,81	0,41	166,72	0,41
223	Estrada de Inhoaíba 605	0,83	0,44	638,77	0,44
224	Rua João de Medeiros 897	0,79	0,43	93,49	0,61
225	Rua Seabra Filho 1.092	0,79	0,40	138,65	0,79
226	Rua Porto Amazonas 250	0,84	0,42	91,29	0,84
227	Rua Almirante Grenfell 251	0,84	0,44	174,24	0,44
228	Rua Itatitara 285	0,86	0,43	213,54	0,43
229	Rua da Gralha 2	0,82	0,42	122,31	0,82
230	Rua Ajurana 626	0,83	0,44	138,22	0,44
231	Rua Leônidas Moreira 289	0,85	0,41	103,92	0,63
232	Rua Conceição da Barra 66	0,82	0,44	265,18	0,82
233	Rua Soldado Rafael Buzarelo 325	0,86	0,41	73,87	0,41
234	Rua Nova Era 113	0,7	0,38	121,61	0,54
235	Rua Capitólio 90	0,82	0,41	128,49	0,62
236	Rua São Cirilo 335	0,85	0,44	108,72	0,85
237	Rua São Cirilo 48	0,74	0,24	125,98	0,24
238	Rua C 211	0,7	0,26	87,45	0,70
239	Rua Ceará Mirim 33	0,79	0,39	96,86	0,79
240	Rua Videira 74	0,78	0,37	154,22	0,78
241	Rua Domingos Meireles 171	0,88	0,46	179,95	0,46
242	Estrada Santa Maria 748	0,6	0,34	89,10	0,60
243	Rua Nilton de Almeida Costa 644	0,84	0,38	95,5	0,61
244	Rua Nilton de Almeida Costa 650	0,66	0,34	217,16	0,50
245	Rua Vergel 39	0,82	0,41	135,43	0,82
246	Rua Gertude Elion 30	0,85	0,44	116,73	0,85
247	Rua Paulo Brame 90	0,83	0,43	197,94	0,43
248	Rua Roberto Maron 50	0,82	0,42	258,27	0,62
249	Rua Jornalista Mauricio Vaitsman 246	0,83	0,43	161,99	0,83
250	Rua Eldorado 10	0,82	0,44	121,61	0,82

Figura 26 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 5)

Fonte: Elaboração Própria.

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m ²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m ²)	Área Total de Telhado (m ²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m ²)
251	Rua dos Franciscanos 7	0,84	0,43	169,28	0,84
252	Rua Cabiuna 25	0,83	0,41	218	0,62
253	Rua Gregório da Fonseca 70	0,85	0,44	134,9	0,65
254	Praça Dom Afonso Henriques 680	0,67	0,26	36,31	0,26
255	Rua Carius 310	0,85	0,44	215,06	0,65
256	Rua Projetada B 20	0,87	0,46	67,26	0,67
257	Rua Elias Lobo 480	0,73	0,43	113,07	0,43
258	Rua Camanducaia 262	0,86	0,45	153,66	0,66
259	Rua Henri Dunant 793	0,85	0,45	112,04	0,85
260	Rua Antonia Alves da Silva 80	0,82	0,42	123,15	0,42
261	Rua Mora 773	0,80	0,42	202,1	0,42
262	Rua Seis 36	0,66	0,46	57,15	0,46
263	Rua União da Vitória 564	0,88	0,45	556,7	0,67
264	Estrada do Cabuçu 770	0,84	0,44	521,33	0,84
265	Rua Francisco Mota 165	0,83	0,44	225,73	0,44
266	Rua Projetada A A 21	0,78	0,32	72,85	0,32
267	Rua Onze 51	0,82	0,41	91,9	0,62
268	Rua Poata 120	0,83	0,43	220,03	0,63
269	Estrada do Pre 1.402	0,75	0,4	120,8	0,58
270	Rua Santo Amando 234	0,84	0,43	203,11	0,43
271	Rua Cristais Paulistas 60	0,81	0,37	108	0,59
272	Rua Morizot Leite 184	0,81	0,44	172,63	0,44
273	Rua Artur Rios 594	0,84	0,43	220,18	0,64
274	Rua Tronco do Ipê 3	0,88	0,45	502,08	0,45
275	Rua Flávio Rangel 150	0,79	0,33	136,99	0,33
276	Rua Elídio Martins 55	0,86	0,43	159,36	0,65
277	Rua Rio Pomba 660	0,86	0,47	152,9	0,86
278	Rua Regina 970	0,85	0,42	450,33	0,42
279	Rua Antonina do Norte 55	0,83	0,40	126,25	0,83
280	Rua Senador Lameira Bittencourt 13	0,75	0,39	97,35	0,57
281	Rua Mario Barbosa 220	0,87	0,44	255,73	0,44
282	Rua Elias Lobo 513	0,72	0,43	50,6	0,58
283	Avenida Belmiro Valverde 0	0,79	0,38	88,14	0,59
284	Rua Sacramento Blake 107	0,85	0,44	228,55	0,65
285	Rua Fernão Mendes Pinto 166	0,79	0,38	55,18	0,59
286	Rua Macedo Coimbra 408	0,79	0,42	155,25	0,79
287	Avenida Dom Sebastião I 183	0,89	0,43	104,92	0,66
288	Rua Professor Gonçalves 98	0,86	0,4	158,88	0,63
289	Estrada do Monteiro 66	0,76	0,41	132,47	0,41
290	Rua Ilhéus 287	0,85	0,44	196,53	0,44
291	Rua Dom Silvério 134	0,81	0,41	202,33	0,61
292	Rua João Teles 110	0,82	0,4	50,57	0,40
293	Rua Professor Castilhos 151	0,81	0,43	149,31	0,81
294	Rua Pontes Leme 364	0,69	0,39	90,19	0,39
295	Rua Vítor Costa 118	0,8	0,39	123,44	0,60
296	Rua Augusto de Vasconcelos 598	0,76	0,16	183,46	0,46
297	Avenida Maria Teresa 2	0,88	0,47	126,39	0,68
298	Rua Luiz Barata 354	0,79	0,42	149,83	0,61
299	Rua Avare 114	0,83	0,45	181,52	0,64
300	Rua Candido Magalhães 165	0,85	0,44	223,41	0,44

Figura 27 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 6)

Fonte: Elaboração Própria.

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m ²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m ²)	Área Total de Telhado (m ²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m ²)
301	Rua Martim Pescador 0	0,84	0,44	122,08	0,84
302	Caminho Fóz do Jordão 815	0,83	0,44	179,23	0,64
303	Rua Antonio Jose Zuen 186	0,83	0,42	117,02	0,63
304	Rua General Eurico Sampaio 35	0,75	0,42	70,72	0,75
305	Rua Ramiro Barcelos 125	0,8	0,40	156,78	0,80
306	Rua Ajurana 559	0,85	0,45	244,87	0,85
307	Rua Major Solon Ribeiro 167	0,86	0,44	151,47	0,86
308	Rua Beniamino Gigli 35	0,79	0,39	96,34	0,59
309	Rua General Ivo de Macedo 85	0,78	0,33	81,53	0,56
310	Rua do Avestruz 180	0,73	0,22	108,27	0,22
311	Rua Lea Bastos 0	0,8	0,33	136,69	0,57
312	Rua Padre Jerônimo Vermin 47	0,81	0,39	184	0,60
313	Rua Xavantina 0	0,8	0,44	114,01	0,62
314	Estrada Rio-São Paulo 2.802	0,79	0,4	203,03	0,60
315	Rua Soldado Mauricio Rodrigues 0	0,86	0,46	256,39	0,86
316	Rua Genésio Pitanga 95	0,83	0,45	72,55	0,64
317	Rua Taufik Dib 492	0,85	0,41	164,09	0,85
318	Rua Mariflor 0	0,83	0,4	140,5	0,62
319	Rua Jean Gueriot José Costa 9	0,81	0,38	118,25	0,60
320	Rua Ivan Serpa 380	0,83	0,42	163,7	0,63
321	Travessa Um 0	0,77	0,43	76,51	0,60
322	Endereço: Travessa das Margaridas 0	0,79	0,41	97,56	0,60
323	Rua Ivanete 30	0,76	0,42	56,83	0,59
324	Rua Principal 17	0,82	0,41	114,69	0,62
325	Rua Laura Broenn 25	0,84	0,4	165,94	0,40
326	Rua Olavo Pereira dos Santos 36	0,79	0,4	99,62	0,40
327	Rua Irmãos Moises Maria 0	0,81	0,41	117,47	0,61
328	Rua dos Dentistas 55	0,8	0,42	83,25	0,61
329	Beco do Tingui 187	0,78	0,38	80,19	0,58
330	Rua Nestor Tangerini 0	0,74	0,37	114,88	0,74
331	Rua Jacareacanga 15	0,78	0,43	159,49	0,78
332	Estrada Iaraqua 57	0,87	0,45	288,39	0,87
333	Rua Macarau 85	0,74	0,47	108,07	0,74
334	Rua Peter Pan 22	0,83	0,43	219,7	0,63
335	Rua Antonio Raimundo Lucena 16	0,82	0,43	183,81	0,43
336	Rua Marcelino Gomes 4	0,70	0,37	90,07	0,37
337	Rua I 72	0,81	0,44	81,69	0,81
338	Rua Gilberto Jose Peixoto 55	0,82	0,41	129,25	0,62
339	Rua Ituaçu 149	0,87	0,45	183,9	0,66
340	Rua Baicuru 270	0,82	0,41	178,44	0,41
341	Rua Jicara 337	0,83	0,42	271,44	0,63
342	Rua Avare 109	0,91	0,45	153,57	0,68
343	Rua Cumai 205	0,83	0,44	178,89	0,64
344	Rua Professor Castilhos 351	0,77	0,43	218,95	0,77
345	Rua dos Limoeiros 27	0,88	0,44	355,35	0,88
346	Rua Maria Eugênia 190	0,76	0,41	240,45	0,76
347	Rua Acreuna 417	0,87	0,45	100,58	0,45
348	Rua Poata 321	0,81	0,42	94,07	0,62
349	Rua Henri Dunant 841	0,84	0,45	125,35	0,45
350	Rua Lafões 0	0,77	0,4	124,69	0,59

Figura 28 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 7)

Fonte: Elaboração Própria.

Potencial Médio de Geração FV em Campo Grande - RJ					
Amostras	Endereço	Potencial Médio de Geração FV em um dia de verão (KWh/m ²)	Potencial Médio de Geração FV em um dia de Inverno (KWh/m ²)	Área Total de Telhado (m ²)	Potencial Médio de Geração FV (KWh/m ²)
351	Rua Damião de Gois 459	0,86	0,44	223,71	0,44
352	Rua Canápolis 9	0,83	0,42	114,75	0,42
353	Rua Professor Eurico Costa 8	0,84	0,44	157,91	0,64
354	Rua Senador Lameira Bittencourt 10	0,82	0,42	126,06	0,82
355	Rua Gupiara 0	0,87	0,45	169,83	0,66
356	Rua Padre Luiz Riou 501	0,87	0,41	99,79	0,87
357	Rua Luis Orione 0	0,8	0,43	107,96	0,80
358	Rua Catiara 256	0,77	0,37	197,37	0,37
359	Rua Flora 215	0,81	0,43	180,02	0,62
360	Rua Colombo 28	0,81	0,40	79,69	0,81
361	Rua Otelo Caldas 70	0,84	0,43	180,86	0,43
362	Rua Elias Lobo 545	0,82	0,43	197,81	0,63
363	Rua Anísio Gonçalves 215	0,83	0,42	173,96	0,63
364	Rua Coronel Floriano Pacheco 135	0,83	0,43	120,98	0,63
365	Rua Lincoln Neves Pinto 34	0,86	0,44	185,67	0,86
366	Rua Guerreiro de Faria 948	0,8	0,42	129,64	0,61
367	Rua Paulo Pontes 245	0,68	0,31	82,24	0,31
368	Rua Gabriel Habib 30	0,76	0,43	187,95	0,43
369	Rua Itápolis 1.909	0,78	0,42	145,75	0,42
370	Rua Augusto Calheiros 195	0,81	0,45	119,95	0,81
371	Rua Mirasselas 1	0,83	0,36	125,53	0,60
372	Estrada do Pedregoso 735	0,83	0,41	100,1	0,83
373	Rua Rio de Contas 220	0,76	0,41	81,38	0,76
374	Rua Muzambinho 35	0,76	0,34	154	0,55
375	Rua Hidrolândia 311	0,85	0,44	149,89	0,65
376	Rua Danilo Leal Carneiro 28	0,81	0,42	125,15	0,81
377	Rua Máximo Sada Rodeles 0	0,84	0,44	180,06	0,64
378	Rua Itapiuna 20	0,84	0,41	97,95	0,63
379	Rua Reverendo Porto Filho 200	0,86	0,44	1.265,95	0,65
380	Estrada Guandu do Sapê 680	0,81	0,33	130,71	0,81
381	Rua Ariosto Fontana 10	0,81	0,43	89,86	0,43
382	Avenida Domingos Vieira Muniz 5	0,86	0,44	183,45	0,86
383	Rua Ponta Negra 13	0,82	0,44	91,55	0,82
384	Rua Arthur Marques 52	0,88	0,46	106,21	0,67
385	Rua Aurizona 145	0,79	0,39	97,68	0,59
386	Rua Luciara 160	0,43	0,43	0,87	0,43
387	Rua Paulo Maia 85	0,82	0,41	116,87	0,62
388	Rua Engenheiro James Osborne 0	0,76	0,45	95,54	0,61
389	Rua Aldahyr Crissiuma 0	0,86	0,43	89,28	0,86
390	Rua Correntina 325	0,81	0,38	85,09	0,60
391	Rua Virgolino Alves Cardia 0	0,76	0,45	145,55	0,76
392	Rua Francisco Deoclecio dos Santos 150	0,82	0,41	127,34	0,62
393	Rua Hermenegildo Teixeira Loiola 245	0,85	0,46	226,7	0,85
394	Rua Francisco Inácio 321	0,83	0,45	115,17	0,64
395	Rua Sonia Mendonça Ferreira 14	0,84	0,49	78,53	0,49
396	Rua Pompeu de Souza 0	0,84	0,47	87,65	0,66
397	Rua Olavo Pereira dos Santos 38	0,82	0,4	109,15	0,61
398	Rua Ivanete 18	0,85	0,41	52,03	0,63
399	Travessa Paulo Gracindo 11	0,83	0,37	46,42	0,60
400	Rua William Modesto 31	0,84	0,40	124,60	0,84

Figura 29 - Irradiação Solar em Campo Grande - RJ (Parte 8)

Fonte: Elaboração Própria.