

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS**

LOUISE MAYARA GODINHO BASTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA PARA
UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CONSTRUÇÕES NO
ESTADO DE MATO GROSSO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2016

LOUISE MAYARA GODINHO BASTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA PARA
UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CONSTRUÇÕES NO
ESTADO DE MATO GROSSO**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós Graduação em Construções Sustentáveis, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica do Paraná – UTFPR.
Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2016

LOUISE MAYARA GODINHO BASTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA PARA
UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CONSTRUÇÕES NO
ESTADO DE MATO GROSSO**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. Dr. Jair Urbanetz Júnior
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Profa. Dra. Celimar Azambuja Teixeira
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Profa. Dra. Tatiana Maria Cecy Gadda
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais por todo amor, incentivo paciência e apoio.

À minha família, que mesmo pela ausência e distância, não se esqueceram de mim.

Aos velhos e aos novos amigos, pela companhia e suporte desta minha nova caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jair Urbanetz Jr., pela orientação, pelo suporte e disponibilidade e incrível paciência e por poder compartilhar um pouco mais de seus conhecimentos.

Também agradeço aos Deuses por me dar sabedoria nas horas das escolhas e por me permitir realizar este trabalho.

E a todos que contribuíram, de alguma forma, para que eu pudesse realizar este trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

*“O futuro dependerá daquilo que fazemos no
presente.”*

Mahatma Gandhi.

RESUMO

BASTOS, Louise Mayara Godinho. **Estudo de Viabilidade Técnica, Ambiental e Econômica para Utilização de Energia Solar Fotovoltaica em Construções no Estado de Mato Grosso**. 2016. 70 Páginas. Monografia (Curso de Especialização em Construções Sustentáveis), Departamento Acadêmico de Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

O presente trabalho apresenta um estudo realizado para relatar a viabilidade do uso de painéis fotovoltaicos em construções para geração de energia elétrica no estado do Mato Grosso, em comparação com o estado do Paraná, a ainda, com o uso de energia gerada por hidrelétricas, utilizando como base dados de residências que utilizam a energia solar fotovoltaica. Sabe-se que, recentemente, o Brasil passou por uma crise hídrica, com escassez de água tratada, e de energia elétrica. Este fato se deu pelo repentino esgotamento de grandes reservatórios. Tais danos se devem, principalmente, pela construção civil, responsável por consumir grande parte de recursos naturais e poluir o meio ambiente. Contudo, tais fatos têm dado lugar à tendência da construção sustentável. Foram comparados sistemas fotovoltaicos de edificações em operação nas cidades mato-grossenses de Sinop e Rondonópolis e a capital paranaense Curitiba, e fora definido um perfil de produção de energia elétrica em cada cidade. Logo foi feita a comparação de produção de energia por sistemas fotovoltaicos e geração por hidrelétricas, considerando características técnicas, ambientais e econômicas. Assim, o estudo concluiu que o estado do Mato Grosso possui maior viabilidade para produção de energia FV, no entanto, ao fazer a escolha entre o uso de energia solar fotovoltaica e uso de energia gerada por hidrelétricas deve ser feita uma análise do local, avaliando as potencialidades para cada tipo de fonte, para a melhor escolha do tipo de geração. A melhor alternativa reduz os impactos causados à natureza além de ser economicamente viável e ainda tornar as construções mais eficientes, e assim, mais sustentáveis.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Energia Hidrelétrica, Mato Grosso, Paraná, Geração de Energia, Construções Sustentáveis.

ABSTRACT

BASTOS, Louise Mayara Godinho. **Technical, Environmental and Economical Scientific Research for Solar Photovoltaic Energy Use in Buildings in Mato Grosso State**. 2016. 70 pages. Monografia (Curso de Especialização em Construções Sustentáveis), Departamento Acadêmico de Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This current paper reports a research of the viability of using photovoltaic panels in buildings to generate electricity in the Mato Grosso State (Brazil) compared to Parana State (Brazil), and so to the using of hydroelectric energy, based on residences data using photovoltaic solar energy. It is known that recently Brazil endured a water crisis, with shortages of water and electricity. This fact was due to the sudden depletion of large water reservoirs. Such damages are due, mainly, by construction, responsible for consuming much of natural resources and pollute the environment. However, these facts have given rise to the sustainable trend. Photovoltaic building operating systems were compared in Mato Grosso's cities Sinop and Rondonopolis and Parana's capital Curitiba, and set off an electric power production profile in each city. It was soon made energy production comparison by photovoltaic systems and hydroelectric generation by considering technical, environmental and economic characteristics. Thus, the study concluded that Mato Grosso State has greater viability for PV production, however, when choosing between use of photovoltaic solar energy and hydroelectric energy, a site analysis should be done by assessing the potential for each type of source for the best choice for generation. The best alternative reduces impacts to nature as well as being economically viable and still make more efficient buildings, and thus more sustainable.

Key words: Photovoltaic Solar Energy, Hydroelectric Energy, Mato Grosso, Parana, Electricity Generation, Sustainable Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Mapa de Irradiação Solar Anual Mundial. | 21 |
| Figura 2 - Mapa de Irradiação Média Anual da Alemanha no Plano Inclinado. | 22 |
| Figura 3 – Mapa de Irradiação Média Anual do Brasil no Plano Inclinado. | 23 |
| Figura 4 – Irradiação Solar x Latitude. | 24 |
| Figura 5 – Mapa da Irradiação Solar Global no Plano Inclinado. | 25 |
| Figura 6 – Mapa da Irradiação Solar Direta Normal (sem plano inclinado) | 26 |
| Figura 7 – Mapa da Irradiação Total Anual no Plano Inclinado do estado do Paraná. | 27 |
| Figura 8 – Mapa Anual de Irradiação Global no Estado de Mato Grosso | 28 |
| Figura 9 – Matriz de Energia Elétrica do Brasil em 2016. | 29 |
| Figura 10 – Mapa das Usinas Geradoras de Eletricidade da COPEL no estado do Paraná..... | 31 |
| Figura 11 – UHEs e PCHs em Operação no Brasil | 33 |
| Figura 12 – Sistemas e Isenção de ICMS. | 35 |
| Figura 13 – Esquema de um SFVCR. | 37 |
| Figura 14 – Composição do Módulo FV. | 38 |
| Figura 15 – Painel solar Monocristalino (esq.) e Painel solar Policristalino (dir.) | 38 |
| Figura 16 – Painéis de Filme Fino..... | 39 |
| Figura 17 – Célula Fotovoltaica Transparente..... | 41 |
| Figura 18 – Telhas Solares Tesla..... | 42 |
| Figura 19 – Composição do Custo Total da Instalação de um Sistema de Geração Distribuída Fotovoltaica | 42 |
| Figura 20 – Mapa do Estado de Mato Grosso: Principais Cidades | 46 |
| Figura 21 – Mapa do Estado do Paraná: Principais cidades. | 47 |
| Figura 22 – Geração de energia em SFVCR de 3,25 kWp operante na cidade de Rondonópolis (MT)..... | 48 |
| Figura 23 – Geração de energia em SFVCR de 3,25 kWp operante na cidade de Curitiba (PR)..... | 48 |
| Figura 24 – Geração de energia em SFVCR de 6,5 kWp operante na cidade de Sinop (MT)..... | 49 |

Figura 25 – Geração de energia em SFVCR de 6,86 kWp operante na cidade de Curitiba (PR).....49

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Tecnologia e Eficiência de Módulos Fotovoltaicos. | 40 |
| Tabela 2 – Comparação de produtividade média Rondonópolis x Curitiba (3,25 kWp) | 50 |
| Tabela 3 – Comparação de produtividade média Sinop x Curitiba (6,5 x 6,86 kWp) | 51 |
| Tabela 4 – Comparação de Médias de Irradiação Mensais e Sazonais no Plano Global Horizontal nas cidades de Rondonópolis, Sinop e Curitiba..... | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------------|---|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| a-Si:H | Silício Amorfo Hidrogenado |
| <i>Apud</i> | em (termo em Latim) |
| CdTe | Telureto de Cádmiio Rígido |
| CIB | Conselho Internacional da Construção |
| CH ₄ | Metano (elemento químico) |
| CIS / CIGS | Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (elemento químico) |
| CGH | Centrais Geradoras Hidrelétricas |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono (elemento químico) |
| <i>Dam-break</i> | Termo em inglês par Rompimento de Barragem |
| ECOIA | Organização não governamental Ecologia e Ação |
| EIA | Estudo de Impacto Ambiental |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| FV | Fotovoltaico |
| IEA | Agência Internacional de Energia (International Energy Agency) |
| In | Índio (elemento químico) |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IPCC | Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC – <i>Intergovernmental Pannel on Climate Change</i>), |
| GW | Gigawatts |
| J | Joule (unidade de medida) |
| J/m ² | Joule por metro quadrado |
| kW | Quilowatt |
| kWh | Quilowatt hora |
| kWh/m ² | Quilowatt hora por metro quadrado |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MME | Ministério do Minas e Energia |
| mc-Si | Monocristalino (elemento químico – Mono Silício) |
| MW | Megawatt (unidade de medida) |
| N ₂ O | Óxido Nitroso (elemento químico) |
| <i>Net metering</i> | Sistema de compensação de energia elétrica |

| | |
|-------------------|--|
| SFV | Sistema Fotovoltaico |
| SFVCR ou SFCR | Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede |
| ONG | Organização Não Governamental |
| <i>On-grid</i> | Sistema que não necessita de baterias para armazenar energia |
| <i>Off-grid</i> | Sistema necessita de baterias para armazenar energia |
| OPV | Fotovoltaicos Orgânicos |
| PCH | Pequenas Centrais Hidrelétricas |
| p-Si | Policristalino (elemento químico – Poli Silício) |
| TWh/ano | Terawatt hora por ano |
| RIMA | Relatório de Impacto Ambiental |
| SIMEPAR | Sistema Meteorológico do Paraná |
| SIN | Sistema Interligado Nacional |
| UHE | Usina Hidrelétrica de Energia |
| US\$ | Dólar Norte Americano |
| W | Watt |
| Wh | Watt por hora |
| Wh/m ² | Watt hora por metro quadrado |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Objetivos | 17 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 17 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 1.2 Justificativa | 17 |
| 1.3 Estrutura do Trabalho | 18 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 20 |
| 2.1 Radiação Solar | 20 |
| 2.2 Distribuição Da Radiação Solar Na Superfície Da Terra | 21 |
| 2.3 Produção De Energia Por Hidrelétricas No Brasil | 28 |
| 2.3.1 Produção de Energia por Hidrelétricas no Estado do Paraná | 30 |
| 2.3.2 Produção de Energia por Hidrelétricas no Estado do Mato Grosso | 31 |
| 2.4 Produção De Energia Fotovoltaica No Brasil | 34 |
| 2.5 Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede | 35 |
| 2.5.1 Tecnologias De Módulos Fotovoltaicos | 37 |
| 2.6 Construções Sustentáveis e o Uso da Energia Fotovoltaica | 43 |
| 3. METODOLOGIA | 45 |
| 3.1 Localidades | 45 |
| 3.2 Análises | 47 |
| 3.2.1 Comparação | 53 |
| 3.3 Cálculo Custo-Benefício do SFV | 56 |
| 3.4 Impactos Ambientais para as Fontes Fotovoltaica e Hidráulica | 60 |
| 4. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES | 64 |
| REFERÊNCIAS | 66 |

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2014, pelo terceiro ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo dos anos de 2012, 2013 e 2014, houve redução da oferta de energia elétrica geradas em hidrelétricas.

Este fato se deu ao baixo regime de chuvas, principalmente, próximos às barragens de geração de energia e de distribuição de água para consumo nas cidades durante os últimos anos. A falta de água implica diretamente na produção de energia por hidrelétricas. Fatores climáticos incomuns, como chuvas escassas, estão sendo relacionados à poluição, desmatamento e emissão de CO₂ na camada atmosférica (REDD+ BRASIL, 2016).

No Brasil, devido à deficiência de geração de energia elétrica ocasionada pela escassez de chuvas nos últimos anos, as centrais de geração de energia termoelétricas foram acionadas que além de prejudiciais ao meio ambiente pela queima de gases nocivos a camada de ozônio a conta de energia elétrica havia ficado mais cara nesses últimos tempos.

O consumo final de eletricidade no país em 2014 registrou um aumento de 2,9%, suprido a partir da expansão da geração térmica, especialmente das usinas movidas a carvão mineral, gás natural, biomassa. Os setores que mais contribuíram para o crescimento da demanda de eletricidade foram residencial (+5,7%) e o comercial (+7,4%) (TOLMASQUIM, 2016).

Recentemente, a ligeira melhora hídrica nas barragens, fez com que a conta de energia elétrica voltasse a baixar a tarifa. Atualmente esta tarifa custa de 0,35 a 0,54 reais, uma média de 0,44 reais por kWh de energia no estado do Paraná; e 0,51 reais kWh pela administradora matogrossense de energia, sem a cobrança de outros impostos e serviços (ANEEL, 2016a).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2016h), no mês de julho de 2016 no Brasil, a capacidade instalada total de geração de energia elétrica atingiu 146.201 megawatts (MW). Em comparação com o mesmo mês em 2015, houve um

acréscimo de 7.839 MW, sendo 3.940 MW de geração de fonte hidráulica; 1.051 MW de fontes térmicas; 2.836 MW de fonte eólica e 12 MW de fonte solar.

O Balanço Energético Nacional de 2030, um plano de previsão de consumo e geração de energias do ano de 2005 até 2030, desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia, apresenta a previsão futura de geração energética por hidrelétricas e por outras fontes alternativas.

A inclusão de outras fontes alternativas foi considerada com uma expansão fixada, no período 2015/2030, de 6,0 GW, podendo alcançar 8 GW, no cenário alto de demanda, e de 3,3 GW para as usinas eólicas (MME, 2007).

Nota-se aqui que fontes renováveis como eólica e solar estão ganhando, finalmente, algum espaço no setor de produção energética brasileiro.

Mas ainda, na grande maioria das avaliações energéticas brasileiras, a energia solar é categorizada como praticamente nula. O principal motivo deve-se ao fato de que, as fontes geradoras de energia solar são basicamente fontes privadas, acopladas em telhados de residências, comércio, indústrias, fachadas e estacionamentos, enfim, estão no meio urbano e rural, principalmente nas construções e não são como as centrais hidrelétricas, afastadas e com grandes capacidades de geração.

As fontes de geração solar são, geralmente, pequenas usinas geradoras, ou seja, são fontes para residências ou torres residenciais, escritórios, pequenas indústrias para geração e consumo no próprio local, ou em locais remotos aonde as redes de transmissão e distribuição de energia não chegaram.

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 do MME, para o ano de 2030, estima-se que o Brasil terá um consumo de energia elétrica entre 950 a 1.250 TWh/ano, mais do que o dobro do atual consumo de energia no país.

O estado do Mato Grosso possui grande potencial hídrico, mas também, grande potencial solar, maior até do que os estados da região sul do Brasil, onde a irradiação é mais baixa quando comparado ao estado do Mato Grosso, porém a geração de eletricidade por fonte solar fotovoltaica é inferior à observada em outros estados (ANEEL, 2016b).

Mas para que o potencial hídrico para geração de eletricidade seja mais bem aproveitado, intervenções na natureza, como barragens, alagamento de grandes áreas, possível deslocamento de pessoas, construções de linhas de transmissão entre outras precisam ser feitos.

Para a geração de energia solar não é necessário investimentos de milhões de reais e licenças ambientais. Pequenas usinas geradoras podem ser acopladas ou projetadas nas construções ou muito próximos aos locais de utilização.

Os painéis fotovoltaicos são o principal instrumento para a geração de energia. Em sua grande maioria são feitos de silício, material extremamente abundante no planeta terra. Com ele a irradiação solar transforma-se em fótons e elétrons que é transformado em seguida em eletricidade. Para o funcionamento do painel basta que haja luz. Mesmo em dias nublados a geração de energia nestes painéis acontece (AMÉRICA DO SOL, 2016 *apud* RÜTHER, 2004).

Dentre as principais vantagens de se utilizar sistemas de geração de energia elétrica, por meio dos painéis fotovoltaicos, integradas às edificações são relacionadas à redução de custos e perdas de transmissão e distribuição, pois seu consumo é em geral no mesmo local onde é produzida; sistema de baixo impacto ambiental, fornecimento nos picos de demanda, modularidade, e área de instalação versátil (RÜTHER, 2004).

Avaliando principalmente os quesitos citados acima, torna-se uma oportunidade se estudar sobre uma diversificação da matriz energética brasileira de modo a contribuir para uma maior demanda de capacidade instalada para um futuro próximo com uma matriz energética que seja mais viável do que a convencional brasileira, hidrelétrica.

Assim este estudo busca caracterizar o uso da energia solar fotovoltaica como fonte viável de geração de eletricidade em edificações no estado do Mato Grosso, com base na geração de energia elétrica em edificações no estado do Paraná, e compará-la com a geração por hidrelétricas.

Este estudo tem como base as óticas de aspectos técnicos, ambientais e econômicos. Finalmente o estudo avalia o potencial da fonte solar para aproveitamento em um estado onde essa potencialidade ainda não é amplamente

explorada, demonstrando benefícios envolvidos no seu aproveitamento, agregados às construções e tornando-as mais sustentáveis.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as características técnica, econômica e os impactos ambientais do uso de sistemas fotovoltaicos em edificações no estado de Mato Grosso para geração de energia comparando com o estado do Paraná e com a geração de energia em hidrelétricas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a. Fazer um levantamento sobre a potencialidade dos Estados de Mato Grosso e Paraná para a geração de energia pelos sistemas Fotovoltaicos e sistema Hidrelétrico;
- b. Fazer um levantamento da evolução do Uso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Brasil;
- c. Realizar a comparação da produtividade energética de Sistemas Fotovoltaicos operantes no estado do Mato Grosso e na capital paranaense Curitiba;
- d. Comparar a viabilidade da geração fotovoltaica com a geração por hidrelétricas;

1.2 Justificativa

Mesmo que a geração hidrelétrica seja considerada uma fonte renovável, os impactos socioambientais na região onde se insere uma usina não são levados em

consideração. O alagamento de parte de um território, o desvio do curso do rio, e o mais importante atualmente, o fato de que a água pode ser uma fonte esgotável, estão levando às pesquisas sobre fontes alternativas de geração elétrica.

No atual contexto global, de dependência de fontes finitas e conscientização ambiental pelos danos ocasionados pelas atitudes humanas ao meio ambiente, motiva-se avaliar o potencial da energia solar fotovoltaica como uma forma de contribuição de geração de energia limpa.

O estudo se dá para um local, o estado do Mato Grosso, onde o potencial hídrico é usado como principal meio de geração de eletricidade. Poucas construções neste estado agregam a utilização de painéis fotovoltaicos, mesmo com o potencial de irradiação solar elevado.

Cabe ao estudo relatar uma análise sobre a viabilidade desta utilização e disseminar os conhecimentos obtidos para uma maior utilização do sistema solar fotovoltaico.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente estudo dividiu-se em 4 capítulos. O primeiro capítulo efetua a introdução geral do assunto, seguida dos objetivos, Geral e Específicos, a Justificativa e a Estrutura do trabalho.

O segundo capítulo trata da Revisão Bibliográfica. Ele dá o embasamento teórico sobre os conceitos utilizados ao longo do trabalho, apresentando referências relevantes ao tema.

O terceiro capítulo apresenta a Metodologia utilizada para o desenvolvimento da comparação dos sistemas de geração de energia nas cidades de Sinop e Rondonópolis no estado de Mato Grosso e de Curitiba no estado do Paraná. Há a apresentação desses locais, as análises e os cálculos realizados e ainda a apresentação dos principais impactos causados pelas fontes Hidráulica e Fotovoltaica.

O quarto capítulo apresenta uma discussão sobre os resultados da análise e a relevância sobre o assunto. Este capítulo aponta as principais vantagens sobre a escolha da matriz fotovoltaica no estado de Mato Grosso, uma opção de fonte alternativa e confiável para a diversificação da matriz energética brasileira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Radiação Solar

O sol fornece a terra, todos os dias, a energia necessária para suprir nossas necessidades para geração de energia elétrica e térmica.

Segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2015), se fosse utilizada toda a energia solar que chega a Terra, haveria mais de 8.000 vezes o total do consumo mundial, de 2013, em energia, sendo que, é somente cerca da metade da energia do sol que consegue chegar a Terra.

São esses valores que garantem, ao sol, ser o maior potencial como fonte energética.

Segundo a norma ABNT NBR 10899 que trata sobre “*Conversão Fotovoltaica de Energia Solar*”, a energia do Sol é definida por dois termos principais:

- Irradiação solar: irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, geralmente uma hora ou um dia. É medida em watt hora por metro quadrado (Wh/m^2), ou Joule por metro quadrado (J/m^2). É simbolizada por “I”, quando integrada em uma hora; e “H”, quando integrada em um dia.

- Irradiância solar: taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, medida em watt por metro quadrado (W/m^2). É simbolizada por “G”.

Assim, tem-se que a Irradiância, medida em W/m^2 ou kW/m^2 ; e a Irradiação, medida em $Wh/m^2.dia$, ou $kWh/m^2.dia$, ou $kWh/m^2.ano$.

Esta radiação solar, ou energia do Sol, quando chega à superfície da Terra, pode ser observada nos planos: Horizontal e Inclinado, e elas podem ser decompostas em direta mais difusa para o primeiro caso, e em direta, difusa e albedo para o plano inclinado.

2.2 Distribuição Da Radiação Solar Na Superfície Da Terra

O Brasil é privilegiado em relação à disposição de raios solares. Com elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional e proximidade à Linha do Equador, o que faz com que a variação na incidência solar ao longo do ano seja pouca, são condições que conferem ao país algumas das vantagens para o aproveitamento energético do recurso solar (TOLMASQUIM, 2016).

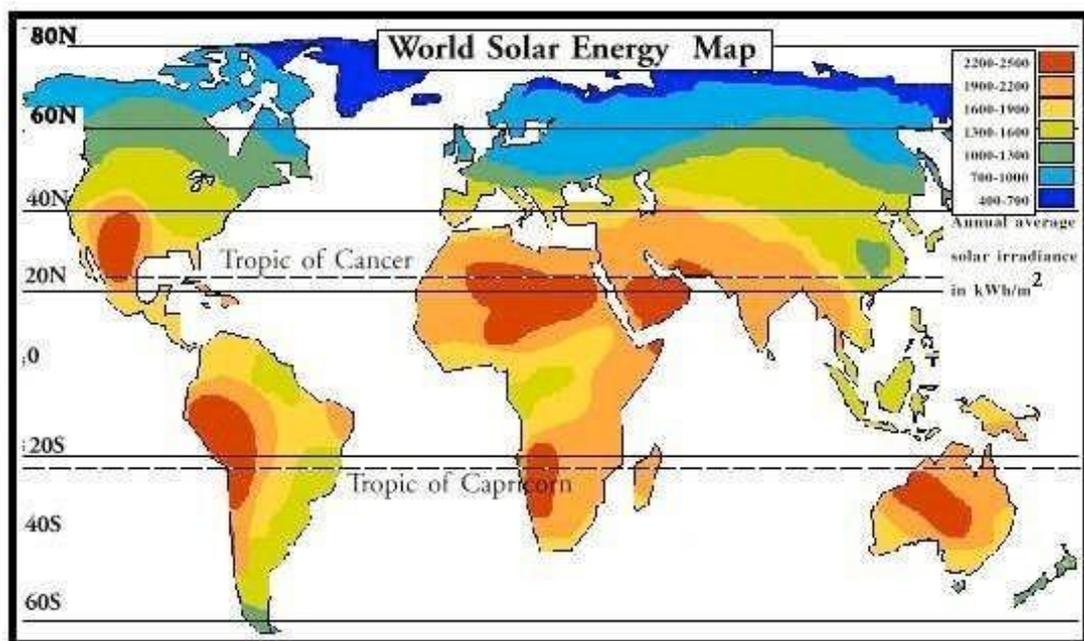


Figura 1 – Mapa de Irradiação Solar Anual Mundial.

Nota: medida em kWh/m²

Fonte: S4 Solar do Brasil – Mapas Solarimétricos.

Porém sabe-se que os raios solares não são regulares devido às variações de clima durante o dia, o ano, e de acordo com a localidade, e ainda a variações causadas principalmente pela formação de nuvens.

Situado numa região com alta incidência solar, toda a região brasileira possui índices que superam países europeus com cultura de uso de painéis fotovoltaicos para geração de energia em suas residências (Figura 1). Este fato desmitifica que o uso de painéis fotovoltaicos em locais com baixa irradiância seja inviável.

Vejamos o exemplo do mapa de Irradiação da Alemanha (Figura 2) comparado ao mapa de Irradiação do Brasil (Figura 3).

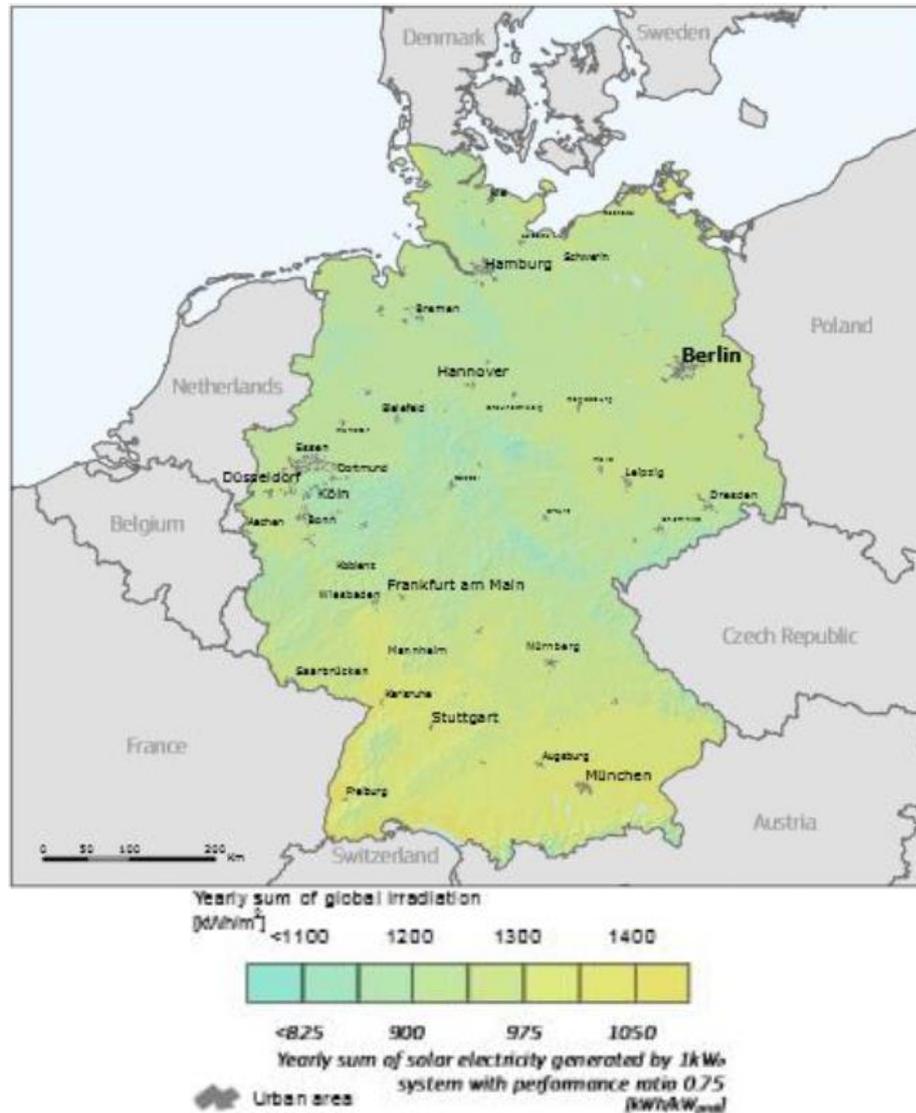


Figura 2 - Mapa de Irradiação Média Anual da Alemanha no Plano Inclinado.
 Nota: medida em kWh/m²
 Fonte: TIEPOLO, 2015

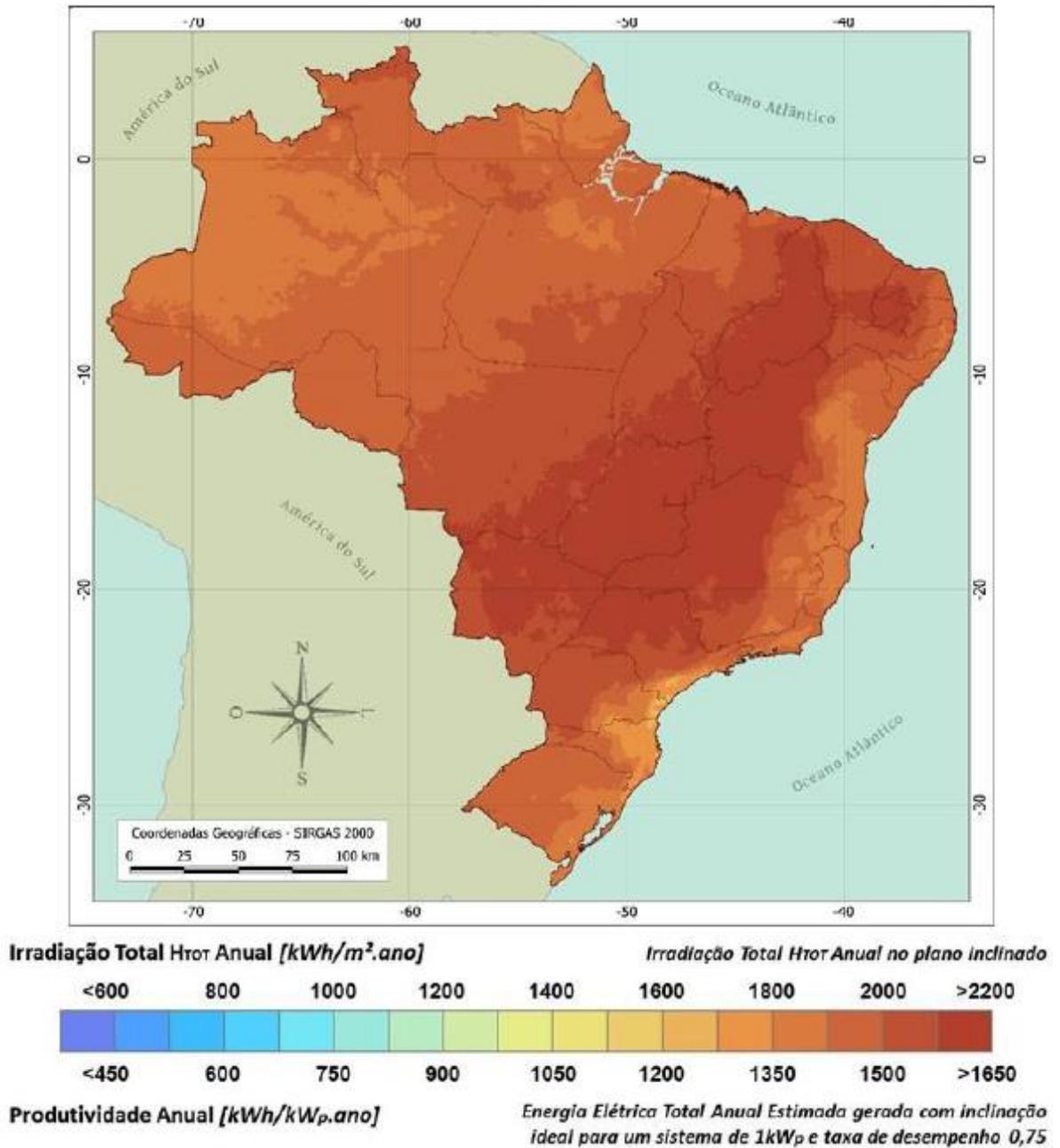


Figura 3 – Mapa de Irradiação Média Anual do Brasil no Plano Inclinado.
Fonte: TIEPOLO, 2015

Como um comparativo da potencialidade do Brasil, pode-se citar que a faixa de variação da irradiação global horizontal anual do Brasil varia de cerca de 1700 a 2300 $kWh/m^2/ano$, enquanto a Alemanha, um dos países com maior capacidade instalada fotovoltaica, possui irradiação entre 900 e 1200 $kWh/m^2/ano$ (PEREIRA *et al.*, 2006).

Este mapa define claramente que no pior caso, o Brasil ainda está á frente, em níveis de irradiação, comparativamente aos países europeus. Tiepolo (2015) diz

que a Produtividade Estimada Total Anual Média do Paraná em kWh/ano é 58,75% superior à Alemanha.

No Brasil, e em outros países tropicais, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território, em locais distantes dos centros de produção energética, sendo que sua utilização contribui para a redução da demanda energética nestes e, conseqüentemente, da perda de energia que ocorreria no sistema de transmissão (CRESESB/CEPEL, 2016).

Segundo a Figura 4, pode-se observar que os raios solares possuem maior incidência vertical com a proximidade da linha do Equador, isso significa que além de possuir elevados índices de irradiação também tem menor variação durante o ano, e isso se evidencia nos estados mais próximos à linha do Equador.

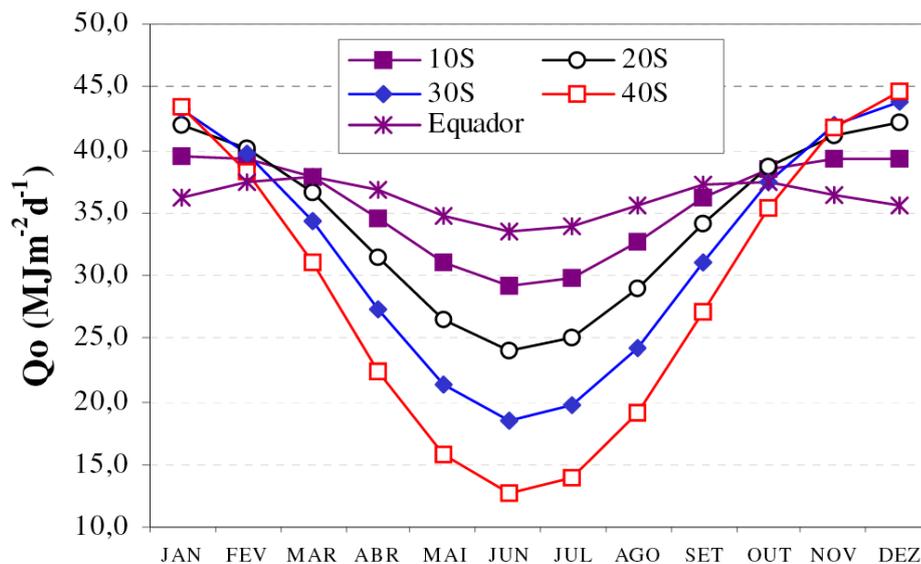


Figura 4 – Irradiação Solar x Latitude. .

Fonte: (TOLMASQUIM, 2016 *apud* SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009).

No caso do Brasil, país com a maioria dos estados situados entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, há maior incidência dos raios verticais na maior parte do país, o que favorece o uso solar fotovoltaico. Ainda a proximidade à linha do Equador faz com que a radiação solar no Brasil tenha poucas mudanças ao longo do ano (TOLMASQUIM, 2016).

A Figura 5 apresenta os dados brasileiros de irradiação global no plano inclinado. Este plano está adequado a melhor situação para aproveitamento de geração de energia nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR), voltados ao Norte e com inclinação igual à latitude do local.

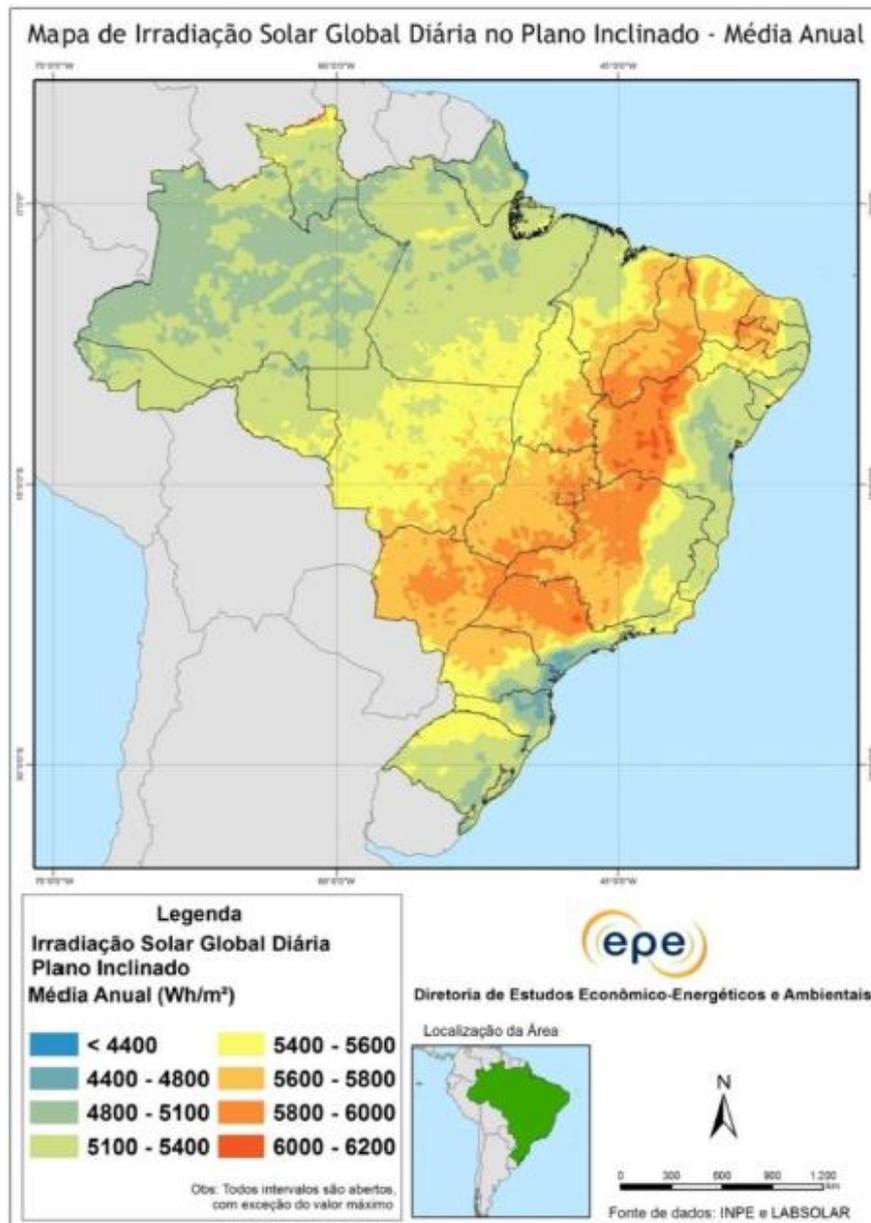


Figura 5 – Mapa da Irradiação Solar Global no Plano Inclinado.
Nota: Ângulo igual à latitude. Valores medidos em Wh/m²
Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

Na figura 6, pode-se observar o comportamento da irradiação direta normal (média anual em Wh/m²) para todo o território brasileiro, estes dados são adequados

às aplicações com seguidores de dois eixos, por exemplo, em plantas fotovoltaicas com concentração.



Figura 6 – Mapa da Irradiação Solar Direta Normal (sem plano inclinado)
Nota: Ângulo igual à zero. Valores medidos em Wh/m².
Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

Ambos os mapas revelam que o Brasil é um país em grande porção territorial viável para aproveitamento do recurso solar. Assim, observa-se nos mapas que os estados do Piauí, Mato Grosso do Sul, leste de Goiás e oeste do Estado de São Paulo, o Vale do São Francisco são lugares propícios para aproveitamento solar,

sendo o oeste da Bahia um dos lugares mais favoráveis nos dois casos analisados, em Plano Inclinado, e em Direto Normal (TOLMASQUIM, 2016).

Também se analisa aqui dois outros estados em questão, o estado do Mato Grosso e o estado do Paraná, alvos do estudo em questão.

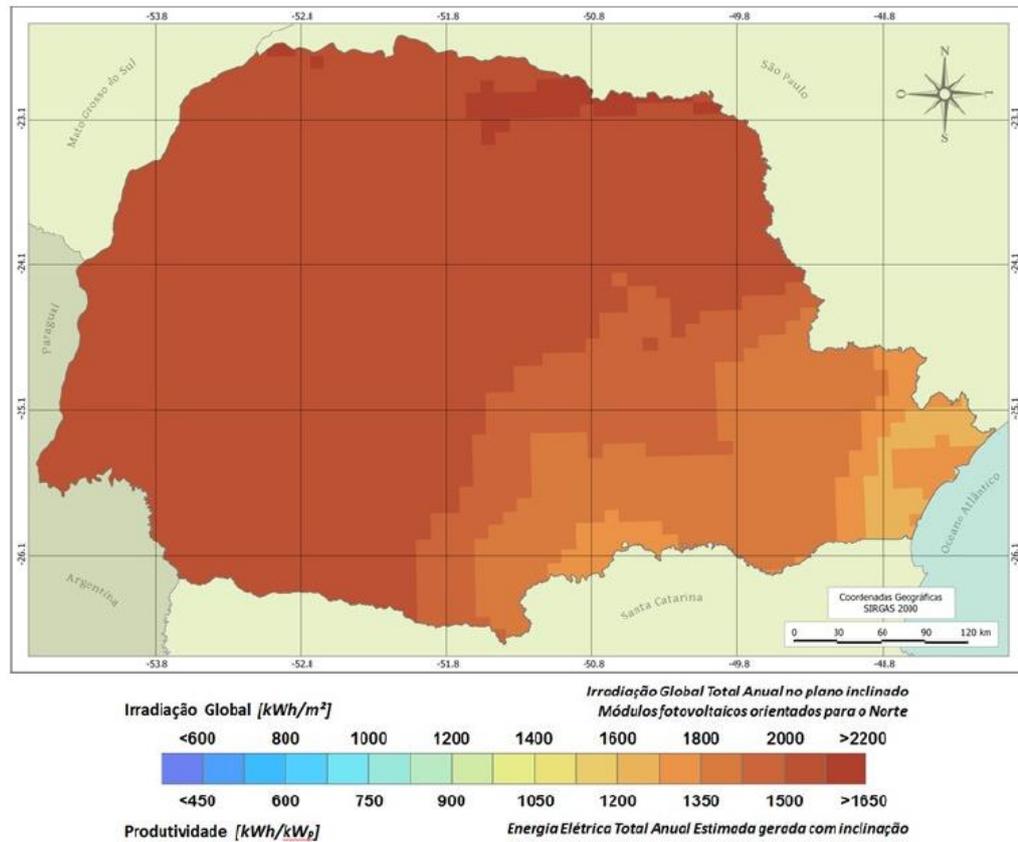


Figura 7 – Mapa da Irradiação Total Anual no Plano Inclinado do estado do Paraná.

Nota: Ângulo igual à latitude. Valores medidos em kWh/m²

Fonte: TIEPOLO, 2015

Pode-se observar que ambos os estados possuem potencial elevado para uso de tecnologia fotovoltaica. No estado do Paraná (Figura 7), mapa em Plano Inclinado, em parte da região Norte/Oeste encontra-se a melhor situação; já no estado do Mato Grosso (Figura 8), no Plano Horizontal, na região Leste/Sudeste encontram-se as melhores situações para aproveitamento solar fotovoltaico.

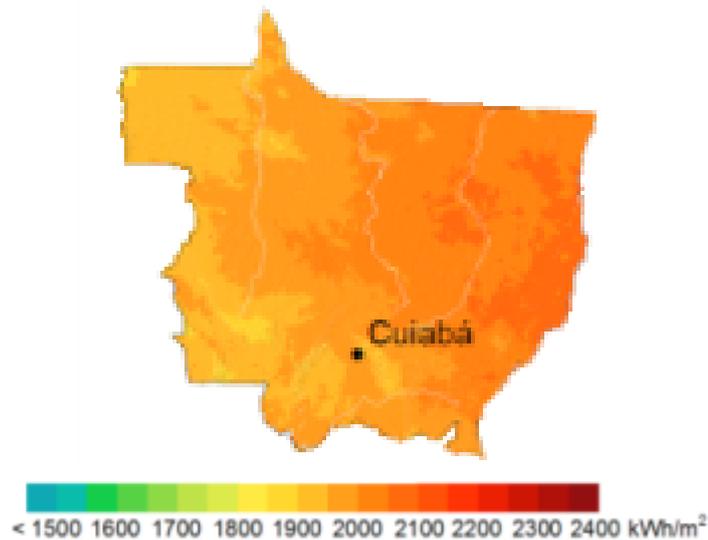


Figura 8 – Mapa Anual de Irradiação Global no Estado de Mato Grosso
 Fonte: S4 Solar do Brasil – Mapas Solarimétricos (Adaptado)

Nesta comparação, evidencia-se que o estado de Mato Grosso possui melhores condições pelo fato de que possui índices de irradiação semelhantes, porém, o mapa de irradiação do estado do Paraná encontra-se no plano inclinado, ou seja, melhor posição de aproveitamento solar, enquanto o mapa do estado de Mato Grosso encontra-se em posição Global horizontal, sem inclinação para melhor aproveitamento. Este fato também pode ser notado na comparação entre os mapas da Figura 5 e Figura 6, anteriormente citados.

Segundo Tiepolo (2015) o estado do Paraná possui uma média de Irradiação Total Anual no plano inclinado de **1.986 kWh/m².ano** e produtividade estimada anual média no plano inclinado de **1.490 kWh/kWp.ano**. Já Mato Grosso possui **2.047 kWh/m².ano** para uma média de Irradiação Total Anual no plano inclinado e **1.535 kWh/kWp.ano** de produtividade estimada anual média no plano inclinado, uma superioridade de cerca de 3,07% de Mato Grosso sobre o Paraná.

2.3 Produção De Energia Por Hidrelétricas No Brasil

O Brasil sempre foi considerado um país com abundância em recursos hídricos. O potencial técnico de aproveitamento da energia hidráulica do Brasil está

entre os cinco maiores do mundo. Segundo dados do Governo Federal, o país tem 12% da água doce superficial do planeta e condições adequadas para exploração.

Hoje, no Brasil, a fonte hidráulica é a principal fonte para geração de energia elétrica, (ANEEL, 2016). Dado inclui a energia hidráulica produzida e importada pelo Brasil. Atualmente corresponde a cerca de 61,36% do total da matriz de energia elétrica nacional (Figura 9).

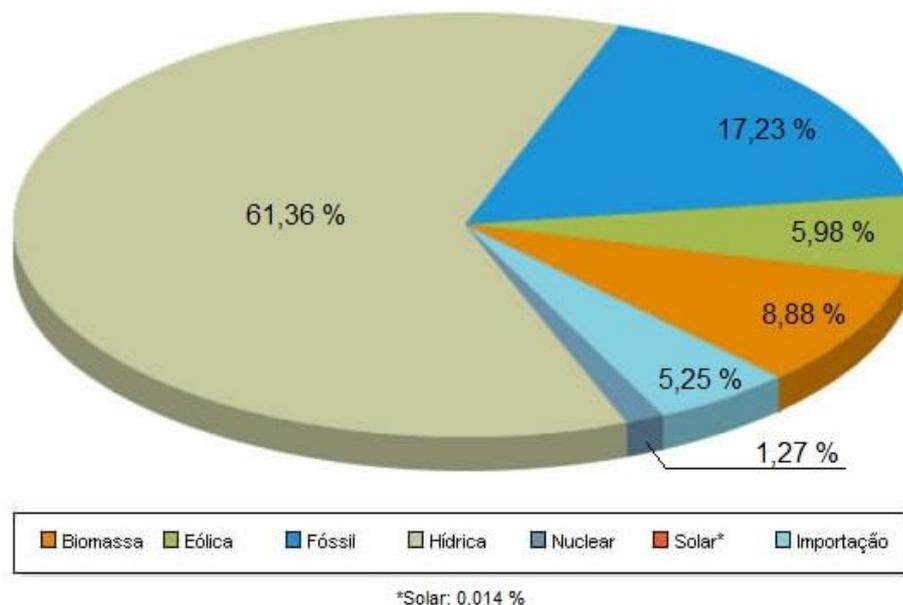


Figura 9 – Matriz de Energia Elétrica do Brasil em 2016.
Fonte: ANEEL, 2016c (adaptado).

Mesmo sendo classificada como uma fonte de energia renovável, hoje, no país, o desmatamento, o alagamento de grandes proporções, desalojamento de comunidades, fauna e flora, assoreamento e desvio de cursos d'água necessários para uma obra de usina hidrelétrica prejudicam o futuro dessa matriz energética tão importante, danos visíveis que este tipo de fonte de geração de energia deixa no ecossistema.

No Brasil são adotados três classificações para designar o tipo de usina: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH, com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH, entre 1,1 MW e 30 MW de potência

instalada) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW) (ANEEL, 2008).

2.3.1 Produção de Energia por Hidrelétricas no Estado do Paraná

No estado do Paraná, a Itaipu é a maior usina hidrelétrica em funcionamento e a maior usina hidrelétrica do Brasil em funcionamento. Estrategicamente instalada entre o Brasil e o Paraguai, esta usina abastece ambos os países.

Possui 20 unidades geradoras de 700 MW, totalizando 14.000 MW de potência instalada. A Itaipu fornece cerca de 15% da energia consumida no Brasil e 75% do consumo paraguaio. Seu atual recorde anual de produção de energia, 98.630.035 de MWh (98,6 milhões de MWh), foi obtido no ano de 2013 (ITAIPU BINACIONAL, 2016).

Segundo o site da própria usina, desconsiderando os encargos, o Investimento Direto da usina correspondeu a US\$ 11,9 bilhões, em dezembro de 2015, assim o custo direto do empreendimento saiu por aproximadamente US\$ 849 por kW instalado.

Ainda segundo o site da Usina Itaipu, estudos geológicos foram feitos e apontam que a usina tem uma vida útil de no mínimo 200 anos, e estudos realizados pelo SIMEPAR, de 1997 a 2000, demonstraram que o reservatório não influi no clima da região. O estudo do SIMEPAR confirmou as pesquisas feitas pela Itaipu desde a formação do reservatório, sendo a área inundada do reservatório de 1.350 km².

Todavia, a própria usina considera que há algumas desvantagens na construção de uma usina hidrelétrica, sendo eles a desapropriação de terras produtivas pela inundação; os impactos ambientais, como as perdas de vegetação e da fauna terrestres; os impactos sociais, como relocação de moradores e desapropriações; a interferência na migração dos peixes; as alterações na fauna do rio; e as perdas de heranças históricas e culturais, alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra.

O estado do Paraná ainda conta com outras PCHs e 23 UHEs em funcionamento, totalizando cerca de 26.000 MW de potência instalada total somente com as UHE gerenciadas pela COPEL (Figura 10) (COPEL, 2016).

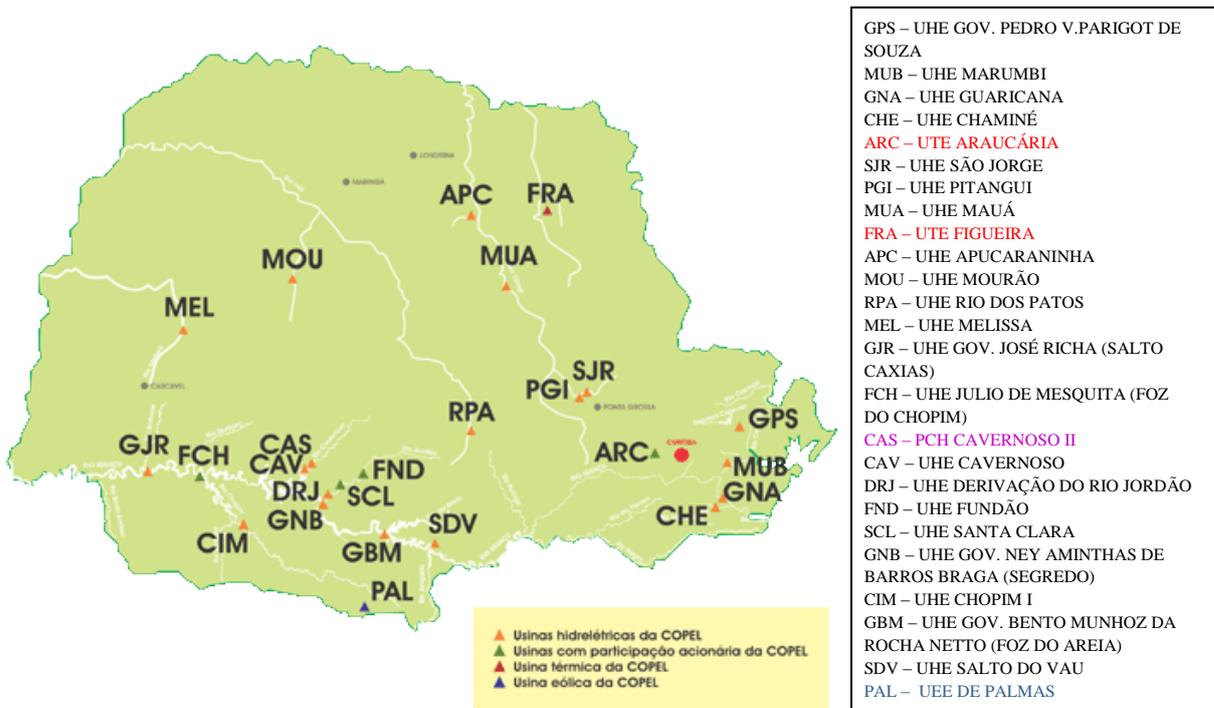


Figura 10 – Mapa das Usinas Geradoras de Eletricidade da COPEL no estado do Paraná.
Fonte: COPEL, 2016.

2.3.2 Produção de Energia por Hidrelétricas no Estado do Mato Grosso

Segundo a base de dados da ANEEL, no estado do Mato Grosso existem 10 UHEs, são elas as Usina de Casca III, Guaporé, Jauru, Juba I e Juba II, Manso, Ponte de Pedra, Itiquira, Aripuanã e Dardanelos, juntos responsáveis por cerca de 1.150 MW de potência total, e outras 4 novas UHEs com um total de 775 MW serão instaladas no estado.

O estado ainda conta com 63 PCHs responsáveis por 880 MW de potência, e outras 6 novas serão instaladas com total de 117 MW, e é notório que grande parte destes empreendimentos possui produção privada (ANEEL, 2016d).

Um dos maiores desafios para o local é sua grande distância dos maiores centros consumidores de energia. A transmissão para os grandes centros é um

problema que promete ser resolvido pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) (GOVERNO FEDERAL). A Figura 11 mostra um panorama mais atual do Brasil em relação às UHEs e PCHs em funcionamento.

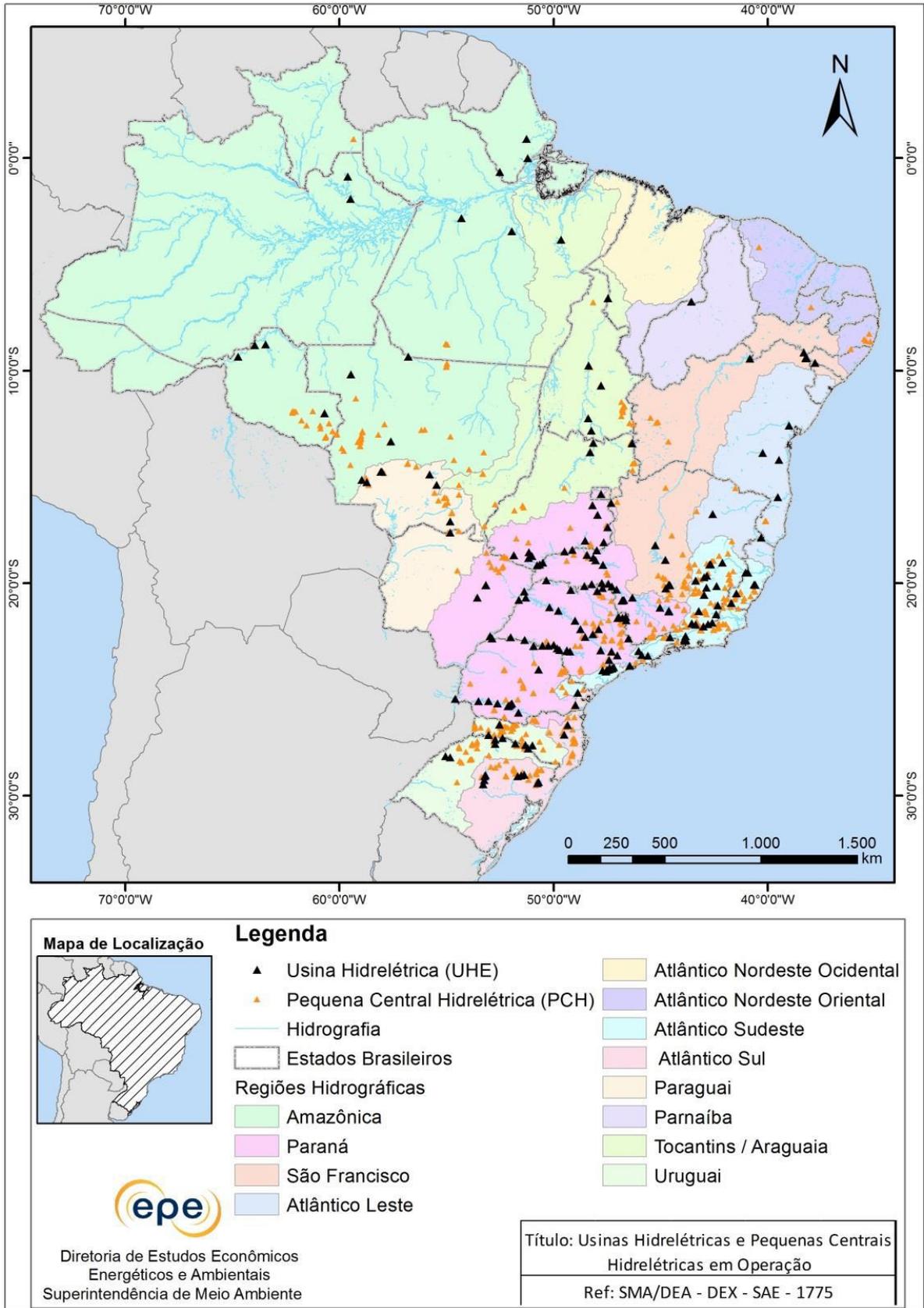


Figura 11 – UHEs e PCHs em Operação no Brasil
Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

A UHE Sinop, quando finalizada será a maior UHE do estado do Mato Grosso em produção e terá um reservatório formado por uma área de inundação de 337 quilômetros quadrados (km²) ou 33,7 mil hectares. Sua potência instalada será de 400 MW, cerca de 1,9 GWh por ano em produção de energia e valor do investimento previsto para o empreendimento, é de cerca de 2 bilhões de reais (ANEEL, 2016g).

2.4 Produção De Energia Fotovoltaica No Brasil

No país, a partir da década de 90, houve o desenvolvimento de programas de eletrificação rural a partir da geração elétrica pelo aproveitamento do sol com painéis fotovoltaicos, mas, somente nesta última década, este tipo de tecnologia ganhou força com as regulamentações da geração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica através da Resolução Normativa nº 482/2012, do *net metering*, e realizações de leilões específicos para sua contratação de plantas centralizadas (TOLMASQUIM, 2016).

Os estados do Mato Grosso e Paraná possuem grande potencial hídrico para fonte de geração de energia elétrica, tal qual para geração através do aproveitamento solar, com locais onde a irradiação supera os índices de países da Europa, onde a disseminação dessa tecnologia é mais avançada como, por exemplo, o caso da Alemanha, que é líder no mercado Europeu de geração de energia fotovoltaica, com uso de painéis fotovoltaicos em residências e pequenas usinas de geração fotovoltaica (TECNOBLOG, 2016).

No Brasil, os maiores sistemas conectados à rede são, na maior parte, projetos de pesquisa instalados em Campi Universitários (AMÉRICA DO SOL, 2016m). No Paraná o projeto do primeiro sistema conectado à rede concessionária foi no Escritório Verde da UTFPR em Curitiba.

Houve avanço na quantidade de sistemas instalados em residências no país. Essa quantidade era de apenas algumas dezenas de sistemas, em dezembro de 2012, e atualmente supera 3.565 de SFVCR, em maio deste ano – 98% deste total são conexões de energia fotovoltaica, segundo reportagem da Gazeta do Povo em junho deste ano.

Em números atuais, são ao todo, 29.744 kW de capacidade instalada em residências, com 70% de concentração nas regiões Sul e Sudeste. Para apoiar o uso de fontes renováveis para geração de energia, de 10 estados que utilizam esse tipo de sistema de energia no país, sete já aderiram à isenção de ICMS (Figura 12) para a energia produzida em casa. Atualmente, o Paraná não aderiu à isenção (GAZETA DO POVO, 2016).

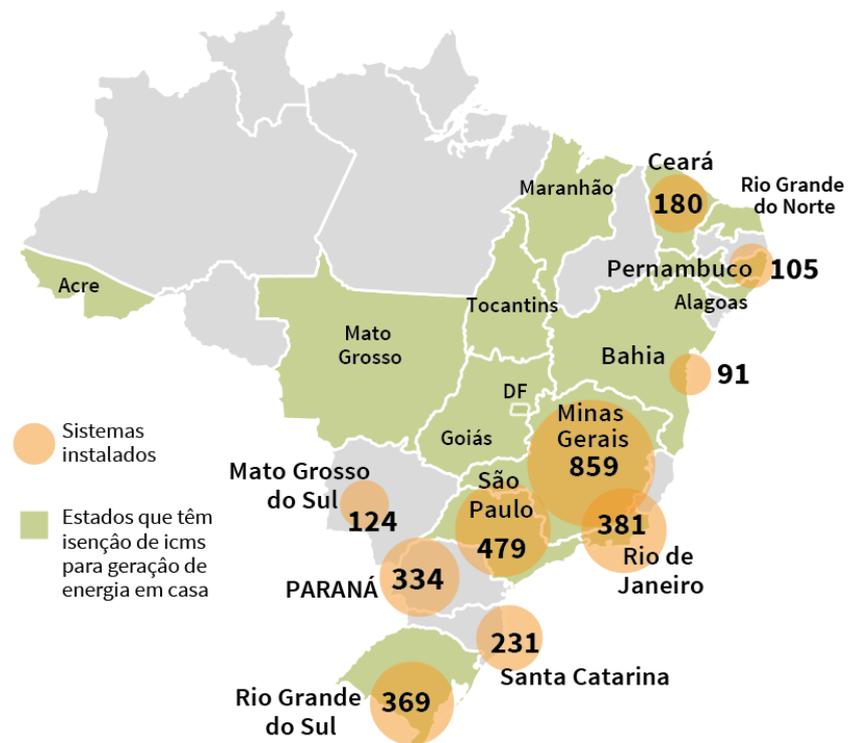


Figura 12 – Sistemas e Isenção de ICMS.
Fonte: GAZETA DO POVO, 2016.

Atualmente, possuem isenção do ICMS sobre energia injetada os seguintes estados: SP, PE, GO, CE, TO, RN, MT, BA, DF, MA, AC, AL, RJ, MG e RS.

2.5 Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR ou SFCR), ou *on-grid*, é o tipo de sistema que não necessita de elemento armazenador (baterias) para utilizar a energia posteriormente.

A regulamentação da ANEEL, conhecida como Resolução Normativa 482/2012 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica de abril de 2012, trata da energia gerada e consumida pela concessionária e unidade consumidora.

Quando, no final do ciclo da unidade consumidora, se houver excedente de energia o SFVCR injeta este excedente de energia na rede da distribuidora pela própria unidade consumidora.

A unidade consumidora passa a ter um crédito com a distribuidora que podem ser consumidos em outro momento, sem haver a remuneração pela energia, apenas o acúmulo de créditos, que devem ser utilizados em um prazo de até 60 meses, ou eles podem também ser utilizados pelo chamado “autoconsumo remoto” em outras unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que mesma área de atendimento da distribuidora (ANEEL, 2016e).

Essa normativa define uma política similar ao *net metering*. A diferença entre o *net metering* e a normativa é que na normativa brasileira a unidade consumidora envia a energia excedente que produz na rede, porém, ao serem consumidos pelo gerador há aplicação dos impostos no momento do consumo da energia.

Para esse tipo de sistema utiliza-se o chamado leitor de consumo bidirecional, que lê a entrada e a saída de energia da rede, e o inversor (Figura 13) para transformar a energia de corrente contínua para corrente alternada e também sincronizar a energia gerada com a rede de distribuição.

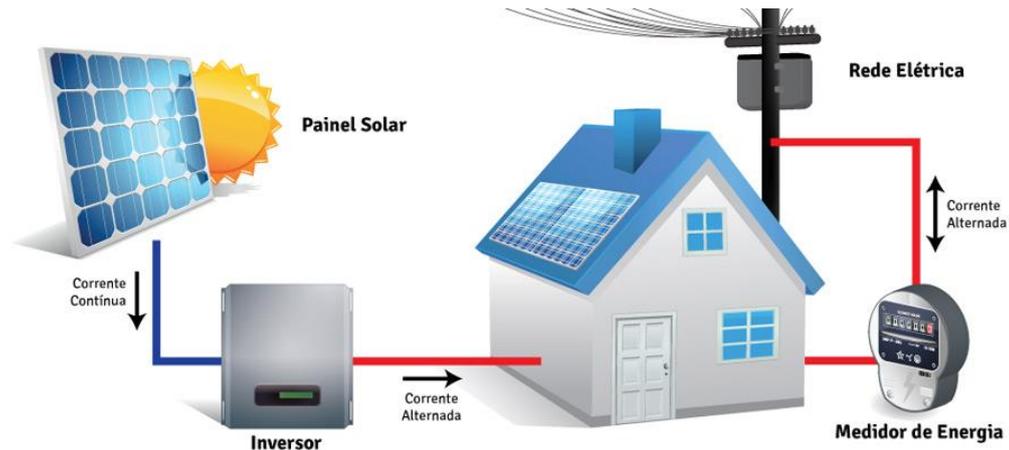


Figura 13 – Esquema de um SFVCR.
Fonte: Real Solar, 2016;

Segundo as novas regras, de março de 2015 também, denominam *Microgeração Distribuída* a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e *Minigeração Distribuída* aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Na falta da rede elétrica (desligamento para manutenção ou falha), por segurança, os SFVCR se desconectam automaticamente da rede, deixando de fornecer energia, e quando a rede elétrica é restabelecida, automaticamente os SFVCR se reconectam e passam a fornecer energia à rede.

Com a normatização de 2015, a ANEEL prevê que até 2024 cerca de 1,2 milhão de unidades consumidoras passem a produzir sua própria energia, totalizando 4,5 Gigawatts (GW) de potência instalada.

2.5.1 Tecnologias De Módulos Fotovoltaicos

A energia fotovoltaica é, em sua maior parte, produzida de silício. O silício é cristalizado a um grau de pureza elevado para formar as células. As células são agrupadas e revestidas para formar os módulos fotovoltaicos (Figura 14). Feitos de maneiras diversas possuem variações de eficiência e custos. Dividem-se em dois

grupos básicos: módulos de células de silício e módulos de película fina integrada, esse último em tecnologias mais avançadas.

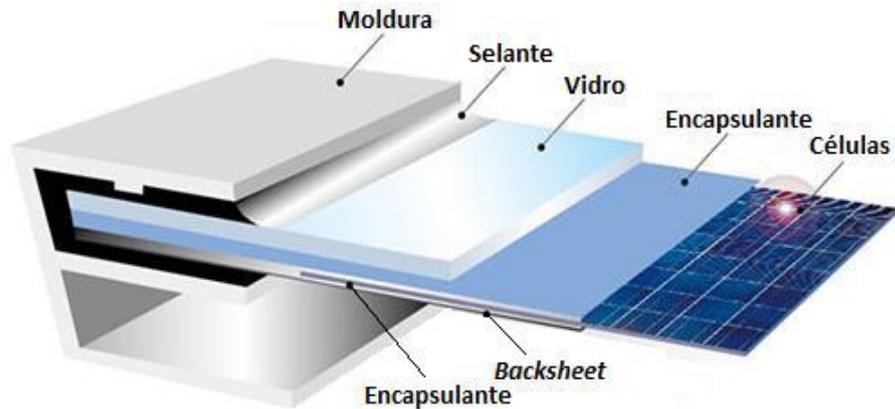


Figura 14 – Composição do Módulo FV.
Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre (RÜTHER, 2004; TOLMASQUIM, 2016). São fabricados a partir do silício purificado a cerca de 99,999%, assim, são chamados de silício cristalino. Subdividem-se em Monocristalino e Policristalino (Figura 15).



Figura 15 – Painel solar Monocristalino (esq.) e Painel solar Policristalino (dir.)
Fonte SOLAR, 2016.

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e possui a maior eficiência, por isso os painéis solares monocristalinos são mais caros. Possui cor uniforme devido ao silício de alta pureza e tendem a funcionar melhor do que painéis solares policristalinos em condições de pouca luz.

A identificação dos monocristalinos dos policristalino é simples. Os quatro lados do monocristalinos são cortados dos lingotes para fazer as lâminas de silício, assim uma quantidade significativa do silício que não é aproveitada naquela célula precisa ser reciclado.

Nas células Policristalinas (p-Si) ou Multicristalinas (mc-Si) os cristais de silício são fundidos em um bloco. É um pouco mais fácil de produzir do que o monocristalino e a quantidade de silício residual gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas é menor em comparação com monocristalino. São um pouco mais baratos que os monocristalinos por serem ligeiramente menos eficiente que os mesmos.

Existem materiais diversos para os painéis de filmes fino. O Silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), Telureto de Cádmio rígido (CdTe), Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIS / CIGS), Fotovoltaicos Orgânicos (OPV) (Figura 16, respectivamente), são alguns dos tipos.



Figura 16 – Painéis de Filme Fino.
Fonte: Solar, 2016.

Neste tipo de módulos, as células podem ser colocadas diretamente sobre uma superfície, como o vidro ou metal, por exemplo, e como vantagem estética podem ser aplicados em superfícies curvas.

Ainda possuem em comum menor eficiência, portanto necessitam de maior área para atingir a mesma potência e tendem a degradar mais rapidamente do que os painéis solares de silício (JORDAN; KURTZ, 2013 *apud* TOLMASQUIM, 2016).

O silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) apresenta um custo reduzido na produção e menor rendimento entre os demais e tem eficiência reduzida ao longo da vida útil. Já o Telúrio (Te), utilizado em células de CdTe apresenta restrições de disponibilidade, por isso os painéis são mais caros, assim como o Índio (In), utilizado em células de CIGS.

Já os OPV utilizam polímeros orgânicos para fabricação, assim são mais leves, porém possuem baixa eficiência e baixa durabilidade.

A Tabela 01 a seguir demonstra a eficiência dos principais tipos de células fotovoltaicas.

| Tecnologia | Eficiência típica de módulos comerciais | Eficiência dos melhores módulos (em laboratório) |
|---|---|--|
| Silício cristalino | | |
| Monocristalino | 17 a 21,5% | 22,9% |
| Policristalino | 14 a 17% | 18,5% |
| Filmes finos | | |
| Silício amorfo (a-Si) | 4 a 8% | 10,9% |
| Telureto de Cádmio (CdTe) | 10 a 16,3% | 18,2% |
| Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS) | 12 a 14,7% | 17,5% |
| Concentrador fotovoltaico (CPV) | 27 a 33% | 38,9% |

Tabela 1 – Tecnologia e Eficiência de Módulos Fotovoltaicos.
Fonte: TOLMASQUIM, 2016 (adaptado).

Como inovação, há empresas que estão se adequando em quesito estético. Novos tipos de células fotovoltaicas estão sendo desenvolvidas. Os chamados BIPV (Building Integrated PhotoVoltaics) ou Painéis Integrados à Construção são células solares ou placas integradas na construção que fazem parte da estrutura do edifício com um todo.

A empresa Oxford PV tem uma camada translúcida de Perovskita (mineral raro), fabricada em diferentes cores, até 20% de eficiência (OXFORD PV, 2016).

A empresa Solar Window possui uma camada líquida de composto orgânico aplicada em vidro –ou superfície flexível–, gera energia a partir de luz solar ou artificial, fabricada em diferentes transparências de acordo com as necessidades da construção (SOLAR WINDOW TECHNOLOGIES INC., 2016).

A empresa Solaria fabricou células solares similares às comuns, apenas mais finas, com eficiência de 8% (SOLARIA, 2016).

A empresa Ubiquitous Energy, desenvolveu juntamente à Universidade de Michigan nos Estados Unidos células solares transparentes que podem ser colocadas praticamente em qualquer lugar, de arranha-céus a telas de celulares (Figura 17).

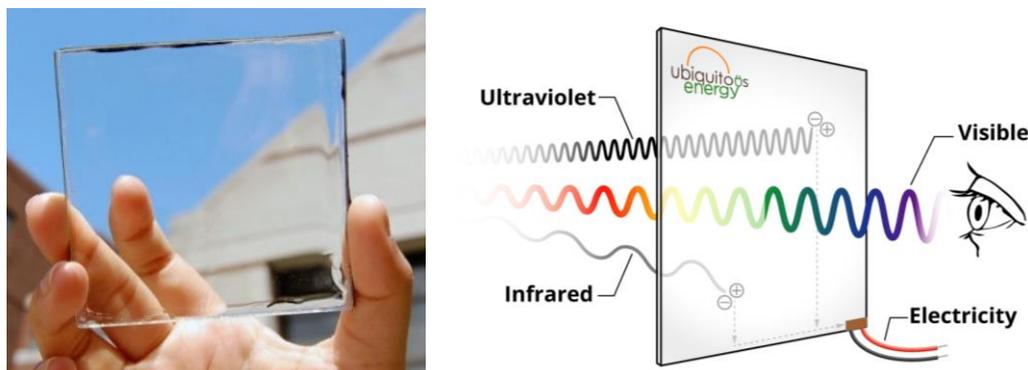


Figura 17 – Célula Fotovoltaica Transparente
Fonte: Ubiquitous Energy.

Essas células permitem a passagem da luz visível e transforma em energia os raios infravermelhos e ultravioletas, porém sua eficiência de aproveitamento solar é de apenas 1% (UBIQUITOUS ENERGY, 2016).

Já a empresa Tesla inovou em categoria estética quando lançou seu mais novo produto, a Telha Solar (figura 18), nela, pequenos módulos solares já estão agregados as telhas produzidas e são cobertos por uma camada de cor e outra de vidro resistente (TESLA, 2016).



Figura 18 – Telhas Solares Tesla.
Fonte: TESLA, 2016.

Levando em consideração dados de sistemas solares fotovoltaicos mais frequentemente utilizados nos dias atuais, segundo TOLSMASQUIM (2016), a composição do custo total da instalação de um sistema de geração distribuída fotovoltaica (Figura 19) leva em consideração:

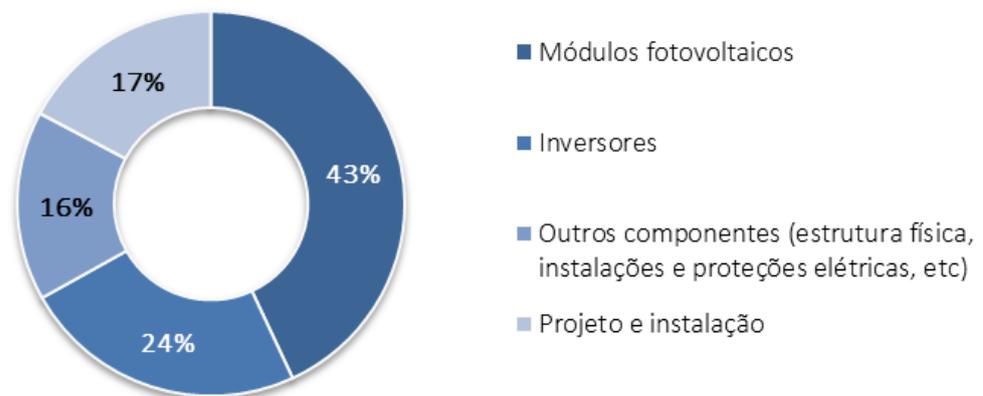


Figura 19 – Composição do Custo Total da Instalação de um Sistema de Geração Distribuída Fotovoltaica.
Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

O valor do custo total não leva em consideração outros dados, como, a vida útil dos módulos (varia de 20 a 30 anos de acordo com fabricante); o custo anual de operação e manutenção por 1% do custo do investimento inicial a.a.; a degradação anual da produtividade de 0,5% a.a.; e a isenção do ICMS sobre energia injetada.

2.6 Construções Sustentáveis e o Uso da Energia Fotovoltaica

Dados do Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*), de 2007, apontaram que o aquecimento climático era evidente com as observações do aumento das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar.

Entre as consequências do aquecimento global previstas pelos 2,5 mil cientistas do IPCC estão o aumento na frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos como fortes chuvas, tornados e secas, aumento no nível dos oceanos e desaparecimento das calotas polares.

Todos estes resultados, segundo os cientistas do IPCC, são o resultado do excesso de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), lançados na atmosfera. A principal origem destas emissões está na queima de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, que são usados para produzir energia (IPCC, 2016).

O Conselho Internacional da Construção (CIB) aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais.

Assim, uma das formas de diminuir os impactos causados pela humanidade por tantos anos, é a opção de construir baseando-se em parâmetros sustentáveis, como a harmonia da construção com seu meio, o que a envolve.

Uma construção sustentável utiliza com eficiência os materiais e bens naturais de maneira consciente, fazendo com que durante toda sua produção e utilização, amenize os impactos à natureza e reduza o máximo possível os resíduos e gastos com água e energia por exemplo.

A substituição do uso de fontes fósseis de energia por renováveis como a obtida a partir do vento (eólica), do sol (solar), das ondas e da biomassa; aproveitamento solar; equipamentos que visem aprimorar o conforto térmico;

diminuição de consumo, resíduos, utilização de materiais reciclados e recicláveis, são umas das formas de tornar uma construção sustentável (MMA, 2016).

Assim a opção pela geração solar fotovoltaica em uma construção contribui para utilização de uma energia limpa, que não polui durante seu uso, eficiente até em lugares mais remotos, com materiais recicláveis, e, a maior de suas vantagens, com uma fonte de energia praticamente inesgotável e gratuita a todos.

3. METODOLOGIA

Após o relato sobre temas relevantes para a pesquisa na revisão bibliográfica, a primeira etapa na definição da metodologia é comparar a produtividade energética de SFVCR's operantes no estado do Mato Grosso com sistemas atualmente operando no estado do Paraná.

Os sistemas atuantes descritos possuem informações publicadas em site via rede mundial de computadores (internet). No estado do Mato Grosso são dois SFVCR nas cidades de Sinop e Rondonópolis. No estado do Paraná, ambos os sistemas estão na capital Curitiba.

Essa etapa verifica em prática qual das duas localidades o sistema será mais eficaz para a geração de energia fotovoltaica.

A segunda etapa deste capítulo descreve ainda a comparação da viabilidade da geração fotovoltaica com a geração por hidrelétricas com base na área quadrada das hidrelétricas e dos módulos fotovoltaicos.

A terceira etapa descreve uma análise de custo-benefício em anos de retorno de um sistema fotovoltaico.

A última parte deste capítulo relata sobre os principais danos ambientais para a opção de hidrelétricas e a opção de utilização por sistemas fotovoltaicos.

Assim, este capítulo descreve dados a partir das premissas técnicas, econômicas e ambientais para implantação e geração de energia nos dois sistemas, hidrelétrico e sistema fotovoltaico.

3.1 Localidades

Rondonópolis é um município do estado de Mato Grosso. Localizado na região Sudeste do estado (Figura 20), a 210 km ao sudeste da capital Cuiabá, com latitude 16° 28' 15" S e longitude 54° 38' 09" W. Possui clima tropical úmido, com

temperatura média anual de 27° Celsius (Prefeitura de Rondonópolis, 2016) e (IBGE, 2016).

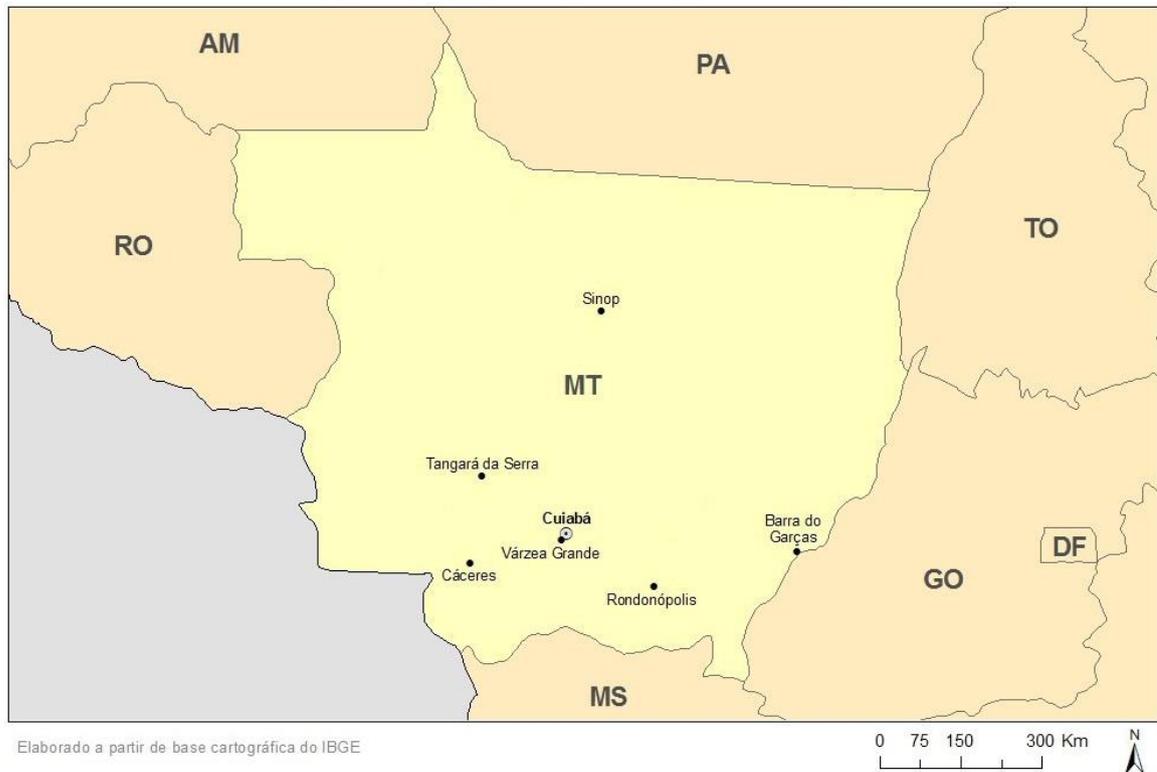


Figura 20 – Mapa do Estado de Mato Grosso: Principais Cidades
Fonte: Baixar Mapas (adaptado).

A cidade de Sinop está localizada na região Norte do estado de Mato Grosso (Figura 20). Localizada na latitude 11° 50' 53" S, e longitude 55° 38' 57" W. Segundo o INMET (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) possui precipitação anual média de 1.205,2 mm, sendo os meses de maior quantidade de chuvas na estação do verão e de menor quantidade no inverno. A temperatura média varia entre 18°–30° Celsius, sendo o período mais elevado entre agosto e setembro (IBGE, 2016).

Curitiba é a capital do estado do Paraná e está localizada na região leste do estado (Figura 21). Situa-se a 25° 25' 48" S de latitude e 49°16'15" W de longitude. Possui clima subtropical, com pluviosidade média de 1.500 mm/ano. Suas temperaturas média são de 21° Celsius no verão e 13° Celsius no inverno (Prefeitura de Curitiba, 2016).

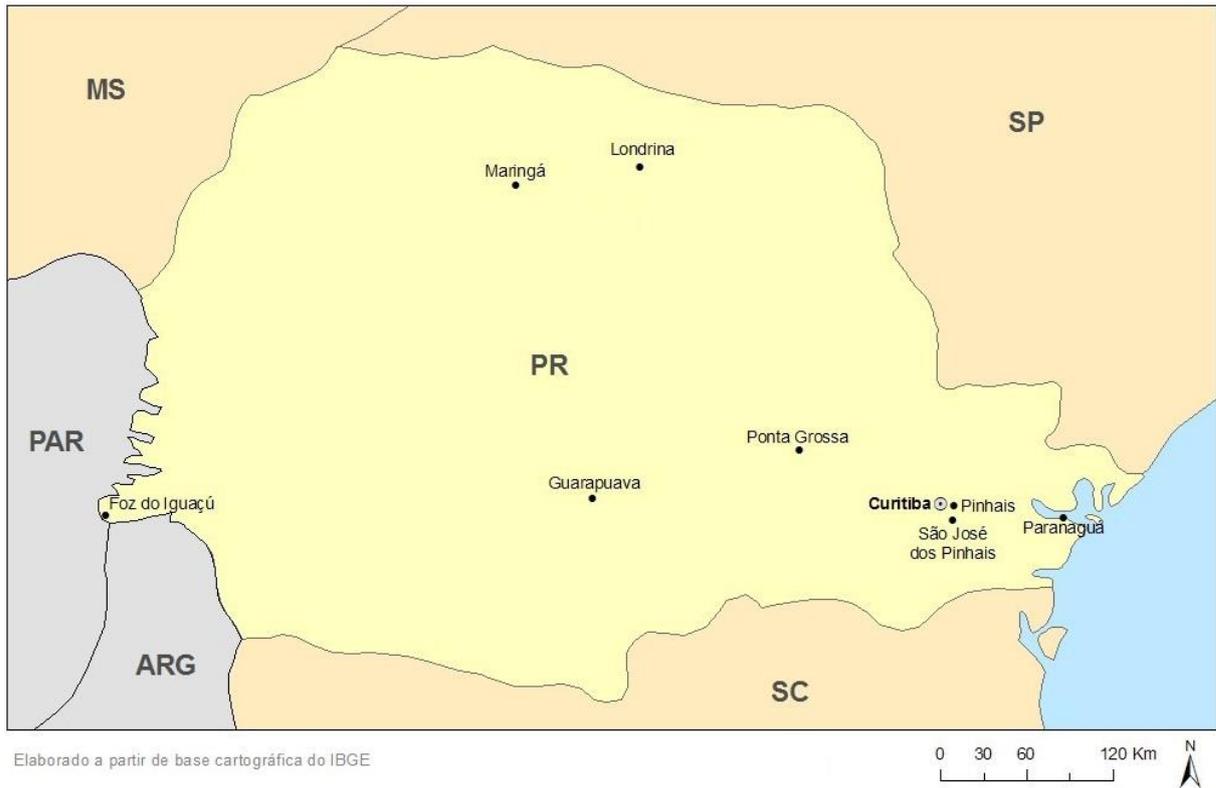


Figura 21 – Mapa do Estado do Paraná: Principais cidades.
Fonte: Baixar Mapas (adaptado).

3.2 Análises

Este estudo parte do levantamento de produção de energia elétrica no estado do Mato Grosso nas cidades de Rondonópolis, ao Sudoeste do estado, e Sinop, Norte do estado, e também no estado do Paraná, na capital Curitiba.

A seguir compara-se a geração de dois sistemas de mesma potência instalada em duas cidades distintas, Rondonópolis e Curitiba. A figura 22 apresenta a geração de um SFV de 3,25 kWp na cidade de Rondonópolis durante os meses de janeiro a setembro de 2016.

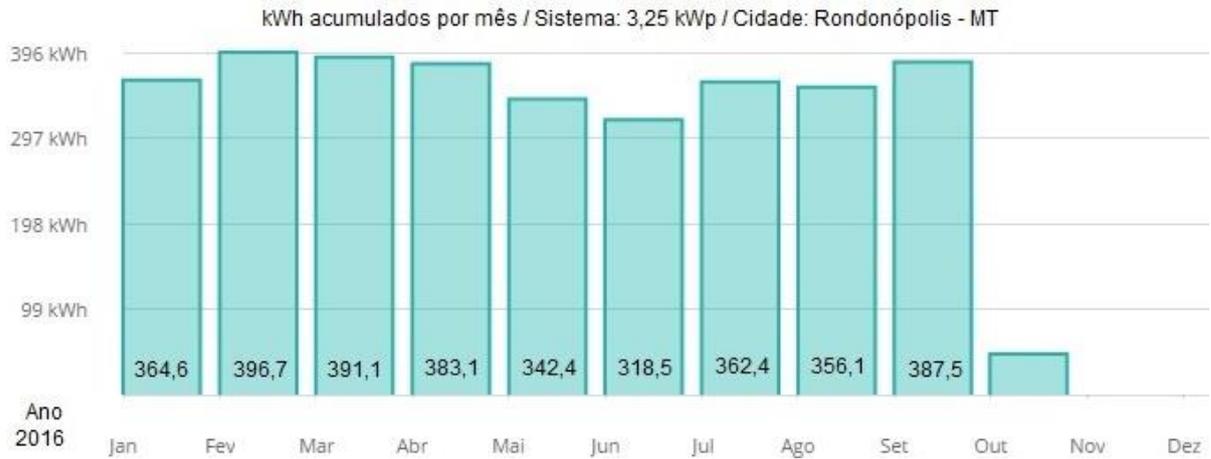


Figura 22 – Geração de energia em SFVCR de 3,25 kWp operante na cidade de Rondonópolis (MT).
Fonte: Solar Energy (adaptado).

Segundo a figura 22, a geração média de energia observada no período foi de **366,93 kWh/mês**.

A figura 23 apresenta a geração de um SFV de 3,25 kWp na cidade de Curitiba durante os meses de janeiro a setembro de 2016.

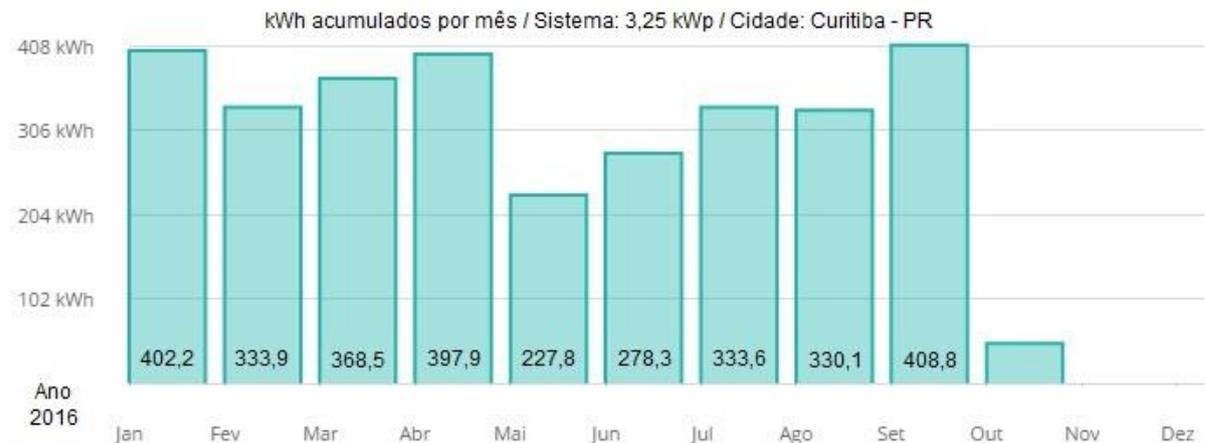


Figura 23 – Geração de energia em SFVCR de 3,25 kWp operante na cidade de Curitiba (PR)
Fonte: Solar Energy (adaptado).

Segundo a figura 23, a geração média de energia observada no período foi de **342,34 kWh/mês**.

A seguir compara-se a geração de energia de dois sistemas com diferentes potência instalada, em duas cidades distintas, Sinop e Curitiba. A figura 24 apresenta a geração de um SFV de 6,5 kWp na cidade de Sinop durante os meses de janeiro a setembro de 2016.

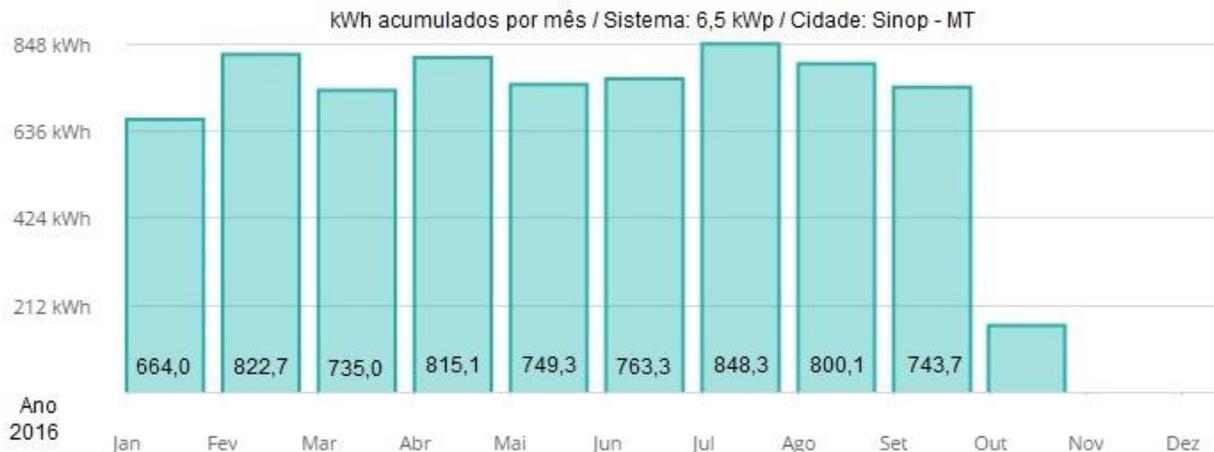


Figura 24 – Geração de energia em SFVCR de 6,5 kWp operante na cidade de Sinop (MT).
Fonte: Solar Energy (adaptado)k.

Segundo a figura 24, a geração média de energia observada no período foi de **771,27 kWh/mês**.

A figura 25 apresenta a geração de um SFV de 6,86 kWp na cidade de Curitiba durante os meses de janeiro a setembro de 2016.



Figura 25 – Geração de energia em SFVCR de 6,86 kWp operante na cidade de Curitiba (PR).
Fonte: Solar Energy (adaptado)l.

Segundo a figura 25, a geração média de energia observada no período foi de **731,23 kWh/mês**.

Com tais dados, pôde-se fazer o cálculo da produtividade de cada sistema. A produtividade do sistema é calculada dividindo a geração mensal de kWh pela potência do sistema.

Para a comparação de produtividade entre os sistemas de mesma potência, apresenta-se a Tabela 2 com dados de média de produtividade em um SFVCR de 3,25 kWp, implantado nas cidades de Rondonópolis – MT e Curitiba – PR. Produtividade média em 9 meses (em kWh/kWp), e área necessária para o sistema de 26m².

| Mês / 2016 | Rondonópolis | Curitiba |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| 01/ Janeiro | 112,18 | 123,75 |
| 02/ Fevereiro | 122,06 | 102,73 |
| 03/ Março | 120,33 | 113,38 |
| 04/ Abril | 117,87 | 122,43 |
| 05/ Maio | 105,35 | 70,09 |
| 06/ Junho | 98 | 85,63 |
| 07/ Julho | 111,5 | 102,64 |
| 08/ Agosto | 109,66 | 101,57 |
| 09/ Setembro | 119,23 | 125,78 |
| Média de Produtividade | 112,9 | 105,33 |

Tabela 2 – Comparação de produtividade média Rondonópolis x Curitiba (3,25 kWp)
Fonte: Produção da autora.

Em ambas as cidades a potência do sistema instalado foi a mesma. O valor da produtividade da cidade de Rondonópolis em comparação com a cidade de Curitiba foi superior a **7,18%**.

Para a comparação de produtividade entre os sistemas de mesma potência, apresenta-se a Tabela 3 com dados de média de produtividade em um SFVCR de 6,5 kWp implantado na cidade de Sinop – MT e de 6,86 kWp implantado na cidade de Curitiba – PR. Produtividade média em 9 meses (em kWh/kWp), e área necessária para o sistema de 52m² e 55m², respectivamente.

| Mês / 2016 | Sinop | Curitiba |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| 01/ Janeiro | 102,15 | 127,6 |
| 02/ Fevereiro | 126,56 | 107,87 |
| 03/ Março | 113,07 | 113,01 |
| 04/ Abril | 125,4 | 119,37 |
| 05/ Maio | 115,27 | 74,11 |
| 06/ Junho | 117,43 | 83,42 |
| 07/ Julho | 130,5 | 103,68 |
| 08/ Agosto | 123,09 | 103,04 |
| 09/ Setembro | 114,41 | 127,21 |
| Média de Produtividade | 118,65 | 106,59 |

Tabela 3 – Comparação de produtividade média Sinop x Curitiba (6,5 x 6,86 kWp)
Fonte: Produção da autora.

O valor da produtividade da cidade de Sinop em comparação com a cidade de Curitiba foi superior a **11,31%**.

Em geral o estado de Mato Grosso teve uma porcentagem de **9,26%** superior ao Paraná. Ressalta-se aqui, que segundo a Tabela 4, apresenta uma comparação de médias de irradiação mensais para as cidades analisadas e o estado do Paraná possui seu maior índice de irradiação nos meses de verão, que nesta análise, não obteve tais dados. Deste modo, conseqüentemente, os valores para o estado do Paraná seriam mais elevados.

A Tabela 4 apresenta as médias de irradiação para as cidades analisadas no plano global horizontal, isto é, sem inclinação para melhor aproveitamento. Tal fato é evidenciado nas figuras 7 e 8, onde os mapas de irradiação para os estados demonstram suas potencialidades.

| Meses | Rondonópolis | Sinop | Curitiba |
|------------------------|--------------|-------------|-------------|
| Janeiro | 5,67 | 5,62 | 5,63 |
| Fevereiro | 5,43 | 5,57 | 5,50 |
| Março | 5,33 | 5,54 | 5,08 |
| Abril | 5,15 | 5,34 | 4,09 |
| Maio | 4,41 | 4,76 | 3,29 |
| Junho | 4,48 | 4,93 | 3,08 |
| Julho | 4,65 | 4,80 | 3,31 |
| Agosto | 5,13 | 4,99 | 4,18 |
| Setembro | 5,61 | 5,95 | 4,28 |
| Outubro | 6,00 | 6,04 | 4,99 |
| Novembro | 5,76 | 5,78 | 5,97 |
| Dezembro | 5,71 | 5,50 | 5,92 |
| Média Anual | 5,28 | 5,40 | 4,61 |
| Média Primavera | 5,79 | 5,92 | 5,08 |
| Média Verão | 5,60 | 5,56 | 5,68 |
| Média Outono | 4,96 | 5,21 | 4,15 |
| Média Inverno | 4,75 | 4,91 | 3,52 |

Tabela 4 – Comparação de Médias de Irradiação Mensais e Sazonais no Plano Global Horizontal nas cidades de Rondonópolis, Sinop e Curitiba.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006 (adaptado).

Nota-se aqui a superioridade em irradiação solar nas cidades de Rondonópolis e Sinop em comparação a Curitiba na média anual. Porém, nota-se também, que na estação de verão, Curitiba ultrapassa as médias dessas cidades. Esse fato se deve ao período chuvoso na região central do país da estação de verão. Chuvas e nebulosidade afetam a irradiação solar incidente nos painéis fotovoltaicos e conseqüentemente a geração e média de produtividade citados nas tabelas 2 e 3.

Segundo as figuras 21, 22, 23 e 24, têm-se as médias de geração dos SFVCR seguintes:

Rondonópolis (3,25 kWp) de **366,93** kWh;

Curitiba (3,25 kWp) de **342,34** kWh;

Sinop (6,5 kWp) de **771,27** kWh; e

Curitiba (6,86 kWp) de **731,23** kWh, segundo média retiradas nos nove primeiros meses de 2016.

Com estes dados faz-se a comparação de geração de energia com a área de inundação das UHEs acima citadas. O objetivo é descobrir se ao ocupar a área do lago de uma UHE com módulos fotovoltaicos, a produção energética fotovoltaica será maior quando comparada a produção hidrelétrica.

- Sistema 3,25 kWp de Rondonópolis e Curitiba com UHEs Itaipu e Sinop.

Rondonópolis x UHE Sinop

26m² – 366,93 kWh/mês

337 000 000 – x

x = 4 755 977 307 kWh/mês ou 4,7 TWh/mês

Curitiba x UHE Sinop

26m² – 342,34 kWh /mês

337 000 000 – x

x = 4 437 253 076 kWh/mês ou 4,43 TWh/mês

Rondonópolis x Itaipu

26m² – 366,93 kWh/mês

1 350 000 000 – x

x = 19 052 134 615 kWh/mês ou 19 TWh/mês

Curitiba x Itaipu

26m² – 342,34 kWh/mês

1 350 000 000 – x

x = 17 775 346 153 kWh/mês ou 17,7 TWh/mês

- Sistema 6,5 kWp e 6,86 kWp de Sinop e Curitiba com UHEs Itaipu e Sinop.

Sinop x UHE Sinop

$$52\text{m}^2 \quad - \quad 771,27 \text{ kWh/mês}$$

$$337\ 000\ 000 \quad - \quad x$$

$$x = 4\ 998\ 422\ 884 \text{ kWh/mês ou } 4,9 \text{ TWh/mês}$$

Curitiba x UHE Sinop

$$55\text{m}^2 \quad - \quad 731,23 \text{ kWh/mês}$$

$$337\ 000\ 000 \quad - \quad x$$

$$x = 4\ 480\ 445\ 636 \text{ kWh/mês ou } 4,4 \text{ TWh/mês}$$

Sinop x Itaipu

$$52\text{m}^2 \quad - \quad 771,27 \text{ kWh/mês}$$

$$1\ 350\ 000\ 000 \quad - \quad x$$

$$x = 20\ 023\ 355\ 769 \text{ kWh/mês ou } 20 \text{ TWh/mês}$$

Curitiba x Itaipu

$$55\text{m}^2 \quad - \quad 731,23 \text{ kWh/mês}$$

$$1\ 350\ 000\ 000 \quad - \quad x$$

$$x = 17\ 948\ 372\ 727 \text{ kWh/ mês ou } 17,9 \text{ TWh/mês}$$

Como apresentado, a produção pelos SFVCR **supera** a produção pelas hidrelétricas quando comparado à capacidade de produção dos SFV com a irradiação solar das localidades com a área quadrada de hidrelétricas.

Ressalta-se aqui que os SFV produzem energia somente durante o período em que há irradiação solar nos módulos FV, o que não contabilizam 24 horas por dia. Já os geradores de UHEs ou Centrais Hidrelétricas podem funcionar até 24hrs por dia, por isso a geração por hidrelétricas, neste quesito, pode ser avaliada como mais eficaz do que a geração por SFV. Porém, se os SFV produzissem energia durante as 24 horas do dia, essa produção seria ainda superior do que a apresentada.

Ainda, sabe-se que, se comparados à área quadrada de inundação das hidrelétricas, a área quadrada dos módulos solares, se posicionados com a posição de inclinação adequada ao melhor sentido, ocuparia mais espaço. A área quadrada

calculada aqui, na verdade é a área quadrada de módulos fotovoltaicos necessária para a produção de energia.

A produção de Itaipu chegou a **8,219 MWh** por mês em seu melhor ano de produção, em 2013, enquanto a produção em Sinop será de cerca de **0,158 MWh** por mês.

Considerando que a pior produção dos sistemas fotovoltaicos citados acima, têm-se **4,43 TWh** por mês com o sistema de 3,25 kWp de Curitiba na área da UHE de Sinop (337 km²); e a produção mais positiva, segundo os cálculos, seria do sistema de 6,5 kWp de Sinop comparado à área da UHE de Itaipu (1350 km²) com incríveis **20 TWh** por mês. Claramente a produção energética fotovoltaica é muito superior à hidrelétrica.

3.3 Cálculo Custo-Benefício do SFV

No Brasil, para consumidores do Grupo B (residencial e comercial em baixa tensão), a chamada taxa de disponibilidade é de acordo com o sistema de ligação elétrica. O valor mínimo cobrado é de acordo com os limites fixados por tipo de ligação:

Monofásico – 30 kWh/mês

Bifásico – 50 kWh/mês

Trifásico – 100 kWh/mês

Essa taxa de disponibilidade é o custo de disponibilidade do sistema elétrico (antiga taxa mínima), previsto no artigo 98 da Resolução Normativa nº 414/2010 (Energisa, 2016).

No estado do Mato Grosso, segundo a concessionária do estado, a tarifa cobrada pela concessionária atuante é de **R\$ 0,71734 kWh** com o imposto do ICMS, e de **R\$ 0,50785 kWh** sem a cobrança do ICMS. No estado do Paraná, precisamente na capital Curitiba, segundo a concessionária que atende a cidade, os

valores cobrados pela no mês de agosto de 2016 foram de **R\$ 0,64543 kWh** com o imposto do ICMS, e de **R\$ 0,42147 kWh** sem a cobrança do ICMS.

No sistema brasileiro de compensação de energia por geração fotovoltaica, enquanto há consumo ao mesmo momento em que há a geração de energia, o ICMS não é cobrado, porém, quando não há a geração de energia (período noturno), a energia consumida pela concessionária é cobrada com o ICMS.

Assim, para a comparação, utilizar-se-á a geração média mensal dos sistemas analisados. Para Curitiba, onde não há isenção de ICMS, o consumo mensal será considerado como 50 % diurno e 50 % noturno, ou seja, 50 % serão computados com a tarifa sem o imposto e 50% computado com o imposto.

Para o estado do Mato Grosso, há a isenção do ICMS, porém, para o cálculo de custo benefício do SFV, o valor calculado será considerado com o imposto (R\$ 0,71734). Este fato determinará em quanto tempo o SFV se pagará se não houvesse o um SFV instalado.

Foi considerado também para o cálculo, o valor médio de custo do Watt/pico segundo o pesquisa do EPE & Ministério de Minas e Energia (EPE, 2014). Aqui se considera o valor do ano de 2012, de **R\$7,7/Wp**, pelo fato de que a estimativa de progressão do custo não levou em consideração uma possível retração da atual da economia brasileira.

Em Rondonópolis, no sistema de 3,25 kWp, o consumo médio mensal foi de 366,93 kWh. Assim temos:

$$3,25 \text{ kWp} \times \text{R\$ } 7,7\text{Wp} = \text{R\$ } 25.025,0$$

Um sistema de 3,25 kWp custa em média cerca de R\$ 25.025,0. Para Rondonópolis, tem-se:

$$366,93 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,71734 = \text{R\$ } 263,21$$

Deste modo, se em Rondonópolis houvesse um SFV de 3,25 kWp, em média poupar-se-ia **R\$ 263,21** por mês.

Se um sistema custa R\$ 25.025,0, calcula-se: $25.025 / 263,21 = 95,076$.

$$95,076 / 12 \text{ (meses)} = 7,92 \text{ anos}$$

O tempo médio de retorno do auto pagamento de um sistema de 3,25 kWp em Rondonópolis seria de quase **8 anos**.

Em Curitiba, no sistema de 3,25 kWp, o consumo médio mensal foi de 342,34 kWh. Assim temos:

$$3,25 \text{ kWp} \times \text{R\$ } 7,7\text{Wp} = \text{R\$ } 25.025,0$$

Para Curitiba, tem-se: 342,34 kWh consumidos em média por dia. Metade consumidos de dia, metade à noite. Assim, tem-se:

$$(171,17 \times \text{R\$ } 0,64543 = \text{R\$ } 110,47) + (171,17 \times \text{R\$ } 0,42147 = \text{R\$ } 72,14).$$

Deste modo, se em Curitiba houvesse um SFV de 3,25 kWp, em média poupar-se-ia **R\$ 182,61** por mês.

Se um sistema custa R\$ 25.025,0, calcula-se: $25.025 / 182,61 = 137,04$.

$$137,04 / 12 \text{ (meses)} = 11,42 \text{ anos}$$

O tempo médio de retorno do auto pagamento de um sistema de 3,25 kWp em Curitiba seria de cerca de **11,5 anos**.

Em Sinop, no sistema de 6,5 kWp, o consumo médio mensal foi de 771,27 kWh. Assim temos:

$$6,5 \text{ kWp} \times \text{R\$ } 7,7\text{Wp} = \text{R\$ } 50.050,00$$

Um sistema de 6,5 kWp custa em média cerca de R\$ 50.000,00. Para Sinop, tem-se:

$$771,27 \text{ kWp} \times \text{R}\$0,71734 = \text{R}\$ 553,26.$$

Deste modo, se em Sinop houvesse um SFV de 6,5 kWp, em média poupar-se-ia **R\$ 553,26** por mês.

Se um sistema custa R\$ 50.000,00, calcula-se: $50.000 / 553,26 = 90,463$.

$$90,463 / 12 \text{ (meses)} = 7,53 \text{ anos}$$

O tempo médio de retorno do auto pagamento de um sistema de 6,5 kWp em Sinop é, em média de **7,5 anos**.

Em Curitiba, no sistema de 6,86 kWp, o consumo médio mensal foi de 731,23 kWh. Assim tem-se:

$$6,86 \text{ kWp} \times \text{R}\$ 7,7\text{Wp} = \text{R}\$ 52.822,00$$

Para Curitiba, tem-se: 731,23 kWp consumidos em média por dia. Metade consumidos de dia, metade à noite. Assim, tem-se:

$$(365,61 \times \text{R}\$0,64543 = \text{R}\$ 235,97) + (365,61 \times \text{R}\$0,42147 = \text{R}\$ 154,09)$$

Deste modo, se em Curitiba houvesse um SFV de 3,25 kWp, em média poupar-se-ia **R\$ 390,06** por mês.

Se um sistema custa R\$ 52.822,0, calcula-se: $52822 / 390,06 = 135,42$.

$$135,42 / 12 \text{ (meses)} = 11,28 \text{ anos}$$

O tempo médio de retorno do auto pagamento de um sistema de 6,86 kWp em Curitiba é de cerca de **11,28 anos**.

Como verificado, o local onde apresenta menor tempo de retorno de investimento é onde sua produtividade média é maior, e o estado do Mato Grosso em comparação ao Paraná é superior em produtividade média mensal. A cidade de

Sinop apresentou o melhor resultado entre as cidades para a produção e geração de energia FV, e assim, para a avaliação do custo-benefício para se adquirir um SFV.

3.4 Impactos para as Fontes Fotovoltaica e Hidráulica

Sabe-se que no quesito de geração de energia, todos os meios de obtenção do mesmo resultam em algum tipo de impacto.

De acordo com (MACHADO JUNIOR, 2009), os principais impactos para a instalação de uma usina hidrelétrica são no âmbito social e ambiental. Segundo a Resolução 01/1986 do CONAMA, Impacto ambiental significa “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por alguma forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam a sociedade.”

Para as hidrelétricas, os impactos sociais começam com a chegada da empresa construtora ao local da obra e a montagem do canteiro que acarretam na produção de lixo e esgoto sanitário, danos às vias pelo maquinário pesado e supressão da vegetação nativa para ocupação da área (RIO PARDO VIVO, 2012).

Com a inundação para o lago, há deslocamento forçado de populações que habitam as regiões onde a usina será implantada. As compensações financeiras oferecidas são, muitas vezes, irrisórias ou inexistentes. No geral são famílias de agricultores, pescadores ou tribos indígenas, que perdem suas áreas de cultivo, caça e pesca (VECCHIA, 2012).

Para os impactos ambientais, existem problemas relacionados com a criação da barragem que compromete negativamente a flora e fauna local.

Com a inundação árvores e plantas morrem, seus restos, além de outros detritos, podem prejudicar o funcionamento das próprias usinas, e ainda a decomposição no fundo dos lagos, libera dois dos principais causadores do aumento prejudicial do efeito estufa, o gás carbônico (CO₂) e metano (CH₄) (RIO PARDO VIVO, 2012).

Muitas espécies de animais acabam fugindo de seu habitat natural durante a inundação, e os que conseguem fugir acabam saindo de seu habitat natural precisando se adaptar em novos lugares (BIEGER & FLORES, 2013).

A inundação também interfere na migração e reprodução de peixes, o funcionamento dos rios, indisponibiliza terras férteis e provoca pequenos tremores de terra, devido ao peso da água e às acomodações do terreno.

Também pode danificar sítios arqueológicos acabando com recursos culturais históricos e paisagens naturais acabando com o turismo. Alguns exemplos de locais destruídos com inundações são a Itaipu que inundou o Salto das Sete Quedas; Itá que inundou o Estreito do Rio Uruguai; e Barra Grande que inundou o Cânion dos Encanados.

Outro impacto significativo em relação à construção de hidrelétricas está relacionado com as barragens. Estudos de *dam-break* devem ser realizados para conferir integralmente a segurança de pessoas envolvidas, residentes locais nas proximidades e ainda para garantir que não possa ocorrer danos ambientais caso houver algum rompimento de barragens.

No Brasil a lei Nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010 trata de regras de segurança em barragens. No entanto, o descaso com as leis de segurança levaram ao caso do rompimento da barragem de Fundão, no município de Bento Rodrigues em Minas Gerais no dia 05 de novembro de 2015, causando um desastre socioambiental (LOPES, 2016).

Em contrapartida à esses impactos negativos, há também impactos positivos. Medidas de compensação de danos causados podem ser solucionados ou amenizados com os EIA (Estudos de Impactos Ambientais e) e RIMA (Relatórios de Impactos Ambientais), caso tais estudos forem elaborados com obedecendo bases científicas.

Em algumas regiões onde se instala a usina, há o crescimento de atividades econômicas pelo investimento onde, às vezes, não existe nem energia elétrica. Possuem uma vida útil com tempo médio de 50 a 100 anos (VECCHIA, 2012).

Os reservatórios de água das usinas operam com flexibilidade, isso ajuda com questões de demanda de eletricidade e existem ainda múltiplos usos para mesmo como estudos e turismo, sendo que, neste caso, pode ser um impacto positivo com a criação de paisagens para turismo, como também negativo, com a perda destas paisagens naturais.

Por outro lado, assim como a fonte hidrelétrica, a fonte fotovoltaica também causa impactos. Os impactos ambientais são praticamente inexistentes se a instalação for realizada em uma região onde não obstrua a capacidade visual ou deteriore vegetações, como é o caso dos telhados, local onde a maioria dos módulos FV são inseridos.

Também para a produção de alguns tipos de células, o material componente (silício, chumbo, prata e alumínio), contaminam o ar e podem contaminar o solo, caso o módulo seja descartado de maneira inadequada (TECHOJE/IETEC, 2016).

Contudo, esse tipo de fonte ainda apresenta algumas características que podem ser consideradas negativas ou positivas, como o fato de não produzir durante a noite, e da variação de produção de acordo com a situação climática (nuvens, chuvas, neve), além do local.

Em latitudes médias e altas sofrem quedas bruscas de produção durante os meses de Inverno devido à menor disponibilidade diária de energia solar (UNESP, 2015).

Mas em países tropicais, como o Brasil, onde os índices de irradiação são elevados, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território, e, em locais longe dos centros de produção energética sua utilização ajuda a diminuir a procura energética nestes e conseqüentemente a perda de energia que ocorreria na transmissão (TOLMASQUIM, 2016).

O uso de módulos FV é perfeito para lugares remotos ou de difícil acesso, porém, nos locais onde não há conexão com rede de transmissão de energia, é necessário que existam meios de armazenamento (baterias) da energia produzida, que são pouco eficientes, e contaminam o solo se descartadas incorretamente.

Os painéis solares são pouco eficientes –não superam 25%– (TOLMASQUIM, 2016), no entanto, estão evoluindo com rapidez e, ao mesmo tempo, que seu custo vem decaindo. Isso torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável. Com a evolução dos módulos, a produção se torna cada vez mais eficaz.

Para suprir a crescente demanda, o tempo de instalação de um SFV, numa residência, por exemplo, é muito inferior quando comparado à construção de uma PCH ou UHE, e a manutenção desses sistemas residenciais é mínima. O tempo de vida útil varia de acordo com o fabricante, mas fica em torno de 20-30 anos (TOLMASQUIM, 2016).

4. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES

Os panoramas de produtividade energética FV dos dois estados analisados, acima relatados, juntamente com as análises de viabilidade descritas, revelam que a produção de energia FV no estado do Mato Grosso é mais viável, tecnicamente e economicamente, do que no estado do Paraná, e ainda, **mais viável** do que a geração por hidrelétricas.

Para o comparativo entre Hidrelétricas e SFVs, os fatores condicionantes determinantes são os espaços inutilizados de telhados dentro das áreas urbanas, o que resultam em menores áreas devastadas para construções de hidrelétricas, e um fator preocupante, o de escassez de chuvas no período de inverno, que reduz consideravelmente os níveis de cursos d'água no estado.

Para o comparativo entre os dois estados para produção energética FV, os elevados índices de irradiação –superiores ao sul do país–, que resultam em uma produção energética também superior aliados a isenção do imposto de ICMS sobre a microgeração de energia solar e o custo elevado da energia em Mato Grosso, o que levam a um retorno de pagamento do SFV menor do que na capital Curitiba, são os fatores determinantes.

Porém estes dados não são suficientes para determinar a viabilidade do uso de SFV no Mato Grosso. Além de características técnicas e econômicas devem ser feitas análises nos âmbitos social e ambiental para determinar algum possível impacto na escolha do tipo de fonte energética a utilizar.

O problema dos impactos socioambientais cometidos relacionados ao progresso e desenvolvimento ainda são de difícil solução. O que pode ser feito, atualmente, são propor alternativas para minimizar tais impactos.

Com relação à matriz energética, uma das alternativas possíveis é acrescentar outro tipo de fonte renovável para somar a crescente demanda de energia elétrica, que só tende a crescer nos últimos anos no Brasil.

As fontes hídricas, que também são consideradas renováveis, tem a característica de ser renovável pois a chuva reabastece os rios, e assim, os lagos de

inundação. Porém há locais onde a falta de chuvas se mostra preocupante. Desviar os recursos hídricos em locais propícios a períodos de seca pode causar danos ambientais irreversíveis.

A alternativa fotovoltaica se mostra uma das opções mais viáveis para **todo** o Brasil. A elevada irradiação solar no território brasileiro favorece a geração fotovoltaica.

Agregá-la as construções, combina soluções ambientais, técnicas e econômicas. Isso porque se anexadas às residências, não desmata áreas de florestas e não desaloja comunidades pelo fato de que ocupa um espaço geralmente desprezado ou sem outro uso (telhado).

Além de se produzir energia elétrica em perímetros urbanos, combinada em locais em que a irradiação permite alta produtividade, esta opção torna o consumo mais barato. Consequentemente gerar energia por módulos FV em construções torna-as mais sustentável.

Portanto, não se deve definir para a matriz energética somente um tipo de fonte, diversificar a matriz energética e fazendo a escolha por fontes renováveis é o mais seguro para o futuro, ambientalmente e economicamente. Não existe a melhor opção como resposta universal, cada localidade é um caso à parte.

REFERÊNCIAS

AMÉRICA DO SOL. **Tipos de Módulos Fotovoltaicos**. Disponível em <<http://americadosol.org/tipos-de-modulos-fotovoltaicos/#toggle-id-1>> Acesso em 22 de maio de 2016;

AMÉRICA DO SOL. **Energia Solar nas Cidades**. Disponível em <<http://www.americadosol.org/wp-content/uploads/2011/12/Energia-solar-nas-cidades-Isabel-Salamoni.pdf>>. Acesso em 22 de maio de 2016m;

ANEEL. (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**/ Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008;

_____. **Ranking das Tarifas**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em 28 de maio de 2016a, (publicado: 24/11/2015, última modificação: 05/05/2016);

_____. **Registros de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/scg/rcgMicro.asp>> Acesso em 22 de junho de 2016b;

_____. **Matriz de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>> Acesso em 28 de maio de 2016c;

_____. **ECO A – Banco de Dados da ANEEL**. Disponível em <<http://riosvivos.org.br/a/Canal/Banco+de+dados/587>>. Acesso em 22 e maio de 2016d;

_____. **ANEEL Amplia Possibilidades para Micro e Minigeração Distribuída**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90>. Acesso em 22 de maio de 2016e, publicado em 24 de novembro de 2015;

_____. **Geração distribuída amplia número de conexões em 2015**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9044&id_area=90> Acesso em 22 de maio de 2016f, publicado em 22 de janeiro de 2016;

_____. **Geração Distribuída**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Finformacoes-tecnicas%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_CegkWaVJWF5E%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em 22 de junho de 2016;

_____. **ANEXO VIII AO EDITAL DE LEILÃO Nº. 06/2012-ANEEL. Processo nº. 48500.001651/2012-54.** Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/ANEXO_8_Caracter%C3%ADsticas_T%C3%A9cnicas_UHE_Sinop_Leil%C3%A3o_A-5_2012.pdf>. Acesso em 11 de setembro de **2016g**, publicado em junho de 2012;

BAIXAR MAPAS. Mapa de Mato Grosso. Disponível em <<http://www.baixarmapas.com.br/mapa/estado/mato-grosso/>>. Acesso em 09 de outubro de 2016;

BAIXAR MAPAS. Mapa do Paraná. Disponível em <<http://www.baixarmapas.com.br/mapa/estado/parana/>>. Acesso em 09 de outubro de 2016;

BIEGER, Bruna F.; FLORES, Maria L. Thomas. **Percepção Ambiental de uma Comunidade Deslocada pela Construção de uma Usina Hidrelétrica - Artigo.** URI – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (Departamento de Biologia da URI – Santo Ângelo). VI EREBIO-SUL, 2013.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2016;

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+BRASIL). Disponível em <<http://redd.mma.gov.br/index.php/pt/informma/item/157-desmatamento-chuva-crise>>. Acesso em 25 de junho de 2016;

_____. **Construção Sustentável.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em 25 de junho de 2016;

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. _ Brasília: MME: EPE, 2007;

_____. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Julho/2016.** Disponível em <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/julho-registra-acrescimo-de-7-839-mw-em-capacidade-instalada-em-comparacao-a-2015?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Foutras-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_32hLrOzMKwWb%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3>. Acesso em 03 de setembro de **2016h**, Publicação: 02/09/2016;

_____. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Janeiro/2016.** Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico++Janeiro-2016.pdf/5977c97c-c5bf-433c-9c0a-b92cb32df517>>. Acesso em 19 de maio de 2016;

CES (Companhia Energética SINOP). **UHE SINOP – Características**. Disponível em <<http://www.uhesinop.com.br/empreendimento/caracteristicas/>> Acesso em 22 de maio de 2016;

COPEL. **Mapa das Usinas Geradoras de Eletricidade da COPEL no estado do Paraná**. Disponível em <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FA93BEC1BAF3210F03257412006227BB?OpenDocument&secao=Geracao%3AInforma%25E7%25F5es>> Acesso em 19 de junho de 2016;

CRESESB - **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**. - Rio de Janeiro - RJ – Brasil. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em 10 de agosto 2016;

ENERGISA. **Composição da Tarifa**. Disponível em <<http://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/sua-conta/composicao-tarifa.aspx>>. Acesso em 19 de maio de 2016;

GAZETA DO POVO. **Os 10 Estados Brasileiros que Lideram a Produção de Energia em Casa**. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/os-10-estados-brasileiros-que-lideram-a-producao-de-energia-em-casa-2v1dnmq11rrwvcxmerratspq5>>. Acesso em 07 de julho de 2016;

GOVERNO FEDERAL. Portal Brasil: **Potencial Hidrelétrico Brasileiro está entre os Cinco Maiores do Mundo**. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/potencial-hidreletrico-brasileiro-esta-entre-os-cinco-maiores-do-mundo>>. Acesso em 19 de junho de 2016;

GUIMARÃES, Julio Cesar. **Implementação de um Sistema de Controle Analógico com Movimento em Dois Eixos Aplicado em Painéis Solares** / Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2012. – Londrina, 2012;

IBGE. **Perfil Sinop**. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510790&search=mato-grosso|sinop>>. Acesso em 06 de outubro de 2016.

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu**. Disponível em <<http://www.itaipu.gov.br/>>. Acesso em 22 de maio de 2016;

LOPES, Luciano M. N. **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais**. Disponível em <periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/download/11377/9677>. Acesso em 11 de dezembro de 2016.

MACHADO JUNIOR, Mario Cesar. **Os Impactos Ambientais e Sociais das Grandes Usinas Hidrelétricas**. Disponível em <<http://www.webartigos.com/artigos/os-impactos-ambientais-e-sociais-das-grandes->

usinas-hidreletricas/32832//>. Publicado em fevereiro de 2010, acesso em 13 de outubro de 2016.

MARENGO, José A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos Sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas Para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI** / José A. Marengo – Brasília: MMA, 2006. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/_arquivos/livro%20completo.pdf>. Acesso em 02 de junho de 2016;

OXFORD PV. **Tandem Cells**. Disponível em <<http://www.oxfordpv.com/Tandem-perovskite-solar-cells>>. Acesso em 02 de maio de 2016;

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC). **Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas**. Quarto Relatório de Avaliação do GT1 do IPCC. Disponível em <<https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg1-spm.pdf>>. Acesso em 02 de junho de 2016;

PEREIRA, Enio Bueno; RÜTHER, Ricardo, MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna. **Atlas Brasileiro De Energia Solar**. – São José dos Campos : INPE, 2006. il. 60p;

PREFEITURA DE CURITIBA. **Cidade de Curitiba**. Disponível em <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/perfil-da-cidade-de-curitiba/174//>>. Acesso em 06 de outubro de 2016.

PREFEITURA DE RONDONÓPOLIS. **Cidade de Rondonópolis**. Disponível em <<http://www.rondonopolis.mt.gov.br/?pg=acidade&intCatID=117> e IBGE <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=510760>>. Acesso em 06 de outubro de 2016.

REAL SOLAR. **Real Solar – Os Sistemas**. Disponível em <<http://real-solar.com/como-funciona.php>>. Acesso em 19 de junho de 2016;

RIO PARDO VIVO. **ONG Rio Pardo Vivo – Impactos Provocados por Usinas Hidrelétricas**. Disponível em <<http://riopardovivo.org/2012/04/impactos-provocados-por-usinas-hidreletricas/>>. Acesso em 11 de dezembro de 2016;

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. – Florianópolis: LABSOLAR, 2004;

S4 SOLAR DO BRASIL. **S4 Solar do Brasil – Mapas Solarimétricos**. Disponível em <<http://s4solar.com.br/energia-solar/mapas-solari-metricos/>>. Acesso em 19 de maio de 2016;

SOLAR. **Portal Solar**. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 19 de junho de 2016;

SOLAR ENERGY DO BRASIL. **Histórico de Geração**. Disponível em <<http://monitor.solarenergy.com.br/Portal/Default.aspx?ID=bc84737-766e-45d1-aeb8-e53dc05f4df2>>. Acesso em 09 de setembro de **2016i**;

SOLAR ENERGY DO BRASIL. **Histórico de Geração**. Disponível em <<http://monitor.solarenergy.com.br/Portal/Default.aspx?ID=ADEF2C4C-BEB8-44B5-819F-98525AFE6DC2&T=7A448EA8-DF46-46F5-918E-69E601B53F9B>>. Acesso em 09 de setembro de **2016j**;

SOLAR ENERGY DO BRASIL. **Histórico de Geração**. Disponível em <<http://monitor.solarenergy.com.br/Portal/Default.aspx?ID=7a458e6a-076c-4bc0-a625-0998852f4091>>. Acesso em 09 de setembro de **2016k**;

SOLAR ENERGY DO BRASIL. **Histórico de Geração**. Disponível em <<http://monitor.solarenergy.com.br/Portal/Default.aspx?ID=94642C03-E7B5-4870-BB88-094E74CFA747&T=7A448EA8-DF46-46F5-918E-69E601B53F9B>>. Acesso em 09 de setembro de **2016l**;

SOLARIA. **Buildings**. Disponível em <<http://www.solaria.com/buildings>>. Acesso em 02 maio de 2016;

SOLAR WINDOW TECHNOLOGIES INC. **Technology**. Disponível em <<http://solarwindow.com/2016/03/solarwindow-in-the-lab/>>. Acesso em 02 de maio de 2016;

TECHOJE / IETEC (Instituto de Educação Tecnológica). **Impactos Ambientais em Usinas Solares Fotovoltaicas** (Wilson Pereira Barbosa Filho). Disponível em <http://techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1862/>. Acesso em 13 de outubro de 2016;

TECNOBLOG. **Alemanha Produz Tanta Energia Renovável que Chegou a Pagar para os Cidadãos Consumirem**. Disponível em <<https://tecnoblog.net/195517/alemanha-energia-sustentavel-producao/>>. Acesso em 25 de junho de 2016;

TESLA. Solar Roof. Disponível em <<https://www.tesla.com/solar>>. Acesso em 11 de dezembro de 2016;

TIEPOLO, Gerson M. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. 2015;

TIEPOLO, Gerson M.; URBANETZ JR., Jair; PEREIRA, Ênio Bueno; PEREIRA, Sílvia Vitorino; ALVES, Alisson Rodrigues. **Comparação do Potencial Fotovoltaico do Estado do Paraná com Outros Estados e Europa – Resultados Parciais**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016;

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Série: Recursos Energéticos – Nota Técnica DEA 19/14. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE & Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, Outubro de 2014.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016;

UNESP – Universidade Estadual Paulista. **Energia do Sol – Energia Solar**. Responsável: Celso Berton Sanches. Faculdade de Engenharia. Disponível em <<http://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/pesquisas-e-projetos/eco2/fontes-de-energia/solar/>> atualizado em julho de 2015, acesso em 13 de outubro de 2016;

UBIQUITOUS ENERGY. **Ubiquitous Energy**. Disponível em <<http://ubiquitous.energy//>>. Acesso em 02 de maio de 2016;

VECCHIA, Rodnei. **Impactos provocados por usinas hidrelétricas**. Disponível em <<http://www.administradores.com.br/artigos/economia-e-financas/impactos-provocados-por-usinas-hidreletricas/62812/>>. Publicado em 12 de abril de 2012, acesso em 13 de outubro de 2016.