

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME TAKAO HARA  
LUCAS MURILO DE OLIVEIRA TAVARES  
MARCOS FILIPE FERREIRA POLETO

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES LOCAIS PARA IMPLANTAÇÃO  
DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO ESTADO DO PARANÁ –  
PROCESSO DE PRÉ-AVALIAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2016

GUILHERME TAKAO HARA  
LUCAS MURILO DE OLIVEIRA TAVARES  
MARCOS FILIPE FERREIRA POLETO

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES PARA IMPLANTAÇÃO DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO ESTADO DO PARANÁ –  
PROCESSO DE PRÉ-AVALIAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Metodologia Aplicada ao TCC, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA  
2016

Guilherme Takao Hara  
Lucas Murilo de Oliveira Tavares  
Marcos Filipe F. Poletto

## **ANÁLISE DAS CONDIÇÕES LOCAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO ESTADO DO PARANÁ – PROCESSO DE PRÉ-AVALIAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 13 de dezembro de 2016.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Gerson Máximo Tiepolo, Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Roberto Cândido, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcelo Rodrigues, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

## RESUMO

HARA, Guilherme T.; TAVARES, Lucas M.; POLETO, Marcos F. Análise das Condições Locais para Implantação de Sistemas Fotovoltaicos no Estado do Paraná – processo de pré-avaliação, 2016. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

As fontes de energia fotovoltaicas se tornam cada vez mais presentes na geração de energia elétrica no Brasil e no mundo. O estado do Paraná possui favoráveis taxas de irradiação solar, fator muito positivo para o investimento nesse tipo de tecnologia. Este trabalho busca criar uma ferramenta que possa auxiliar a população interessada em investir em sistemas fotovoltaicos, realizando uma análise prévia das condições locais de residências situadas no Paraná. Inicia-se com um estudo sobre os sistemas fotovoltaicos e as condições ideais para instalação de painéis em residências. Depois estabelece um critério de avaliação das condições locais e efetua uma comparação com as condições ideais, buscando definir um grau de viabilidade técnica para esses sistemas. Desenvolve-se um aplicativo para realizar a análise em diversos casos e valida-o em sistemas já implementados. Por fim, conclui-se que é uma ferramenta interessante para um estudo inicial da instalação de painéis fotovoltaicos em residências do Paraná, podendo evoluir ainda mais em trabalhos futuros.

**Palavras chaves:** Sistemas fotovoltaicos, energia solar, aplicativo de pré-avaliação.

## ABSTRACT

HARA, Guilherme T.; TAVARES, Lucas M.; POLETO, Marcos F. Analysis of Local Conditions for the Implementation of Photovoltaic Systems in the State of Paraná - pre-evaluation process, 2016. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

The photovoltaic energy sources are becoming more and present in the generation of electric energy in Brazil and in the world. The state of Paraná has favorable rates of solar irradiation, a very positive factor for the investment in this type of technology. This study aims to create a tool that can help the population interested in investing in photovoltaic systems, performing an analysis of the local conditions of residences located in Paraná. It begins with a study on the photovoltaic systems and the ideal conditions to install panels in houses. It then establishes criteria for evaluating local conditions and compares them with the ideal conditions, seeking to define a degree of technical viability for these systems. It develops an application to carry out the analysis in several cases and validates it in systems already implemented. Finally, it concludes that it is an interesting tool for an initial study to install photovoltaic panels in houses of Paraná, and can evolve even more in future works.

**Keywords:** Photovoltaic system. Solar energy, pre evaluation app

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão das energias utilizadas para geração elétrica global.....	14
Figura 2 - Capacidade global de Energia Renovável instalada sem a fonte hidráulica .....	15
Figura 3 - Geração de energia elétrica por fonte em 2015.....	15
4 - Percentual de participação das fontes na capacidade instalada no Brasil.....	17
Figura 5 - Componentes da radiação solar .....	19
Figura 6 - Radiação solar global horizontal média diária anual no Brasil.....	21
Figura 7 - Radiação solar global no plano inclinado média diária anual no Brasil.....	22
Figura 8 - Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná Total anual no Plano Inclinado .	23
Figura 9 - Comparação do potencial fotovoltaico do Estado do Paraná com a Europa - Total Anual no Plano Inclinado.....	24
Figura 10 - Capacidade instalada acumulada Global de SFV .....	25
Figura 11 - Diagrama Esquemático da conexão de um SFVCR .....	26
Figura 12 - Célula, módulo, conexão em série e arranjo fotovoltaico.....	27
Figura 13 - Curva característica I-V medida e curva de potência de um módulo fotovoltaico com 36 células com destaque aos principais pontos .....	28
Figura 14 - Influência da variação da irradiância solar na curva característica I-V de uma célula fotovoltaica na temperatura de 25°C.....	29
Figura 15 - Curvas características de um módulo com 36 células sob a mesma irradiância e diferentes temperaturas de célula.....	30
Figura 16 Trajetória Solar durante o ano.....	31
Figura 17 - Cálculo da Tarifa com Impostos.....	33
Figura 18 - Tutorial para o cálculo da inclinação .....	38
Figura 19 - Aproveitamento de energia solar de acordo com a orientação .....	39
Figura 20 - Tutorial para a orientação da residência .....	40
Figura 21 - Instruções para a área disponível .....	41
Figura 22 - Instruções para o sombreamento.....	42
Figura 23 - Instruções sobre o município .....	43
Figura 24 - Lista de Municípios para consulta do usuário .....	44
Figura 25 - Definição dos graus de viabilidade.....	49
Figura 26 - Dados referentes a residência .....	50
Figura 27 - Gráfico do consumo anual de energia .....	50

Figura 28 - Resultado final da pré-análise.....	51
Figura 29 - Local da validação do software .....	52
Figura 30 - Detalhe da instalação do painel fotovoltaico .....	52
Figura 31 - Relatório final da validação do aplicativo para a residência .....	55
Figura 32 - Módulos fotovoltaicos instalados na escola .....	56
Figura 33 - Relatório final da validação do aplicativo para a escola.....	58
Figura 34 – Relatório final do terceiro caso estudado .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Empreendimentos em operação e potência instalada no Brasil.....	16
Tabela 2 - Expectativa de redução de custo do sistema fotovoltaico R\$/Wp .....	18
Tabela 3 - Tarifa de Energia Residencial no Estado do Paraná.....	33
Tabela 4 - Graus de viabilidade de acordo com a pontuação final.....	47
Tabela 5 - Consumo em kWh da residência analisada .....	53

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo de potência do SFVCR.....	41
Equação 2 - Cálculo da área necessária para o SFVCR .....	41
Equação 3 - Pontuação de Inclinação do SFVCR.....	45
Equação 4 - Pontuação de sombreamento do SFVCR .....	46
Equação 5 - Equação para pontuação da Orientação com desvio de até 90° .....	46
Equação 6 - Equação para pontuação da Orientação com desvio entre 91° e 180°.	46
Equação 7 - Pontuação final para a pré-análise.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Air Mass (Massa de Ar)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CSP	<i>Concentrated Solar Power</i> (Energia Solar Concentrada)
GD	Geração Distribuída
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
M-Si	Silício Monocristalino
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional de Sistema
P-Si	Silício Policristalino
PC	Ponto de Conexão
PCC	Ponto de Conexão Comum
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

REN21	<i>Renewable Energy Policy Network for the 21st century</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
SFVCR	Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resources Assessment</i>
TCC	Trabalho de conclusão de curso
VRES	Valores Anuais de Referência Específicos

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	TEMA.....	9
1.1.1	Delimitação do Tema.....	9
1.2	PROBLEMA.....	9
1.3	OBJETIVOS.....	10
1.3.1	Objetivo Geral.....	10
1.3.2	Objetivos Específicos.....	10
1.4	JUSTIFICATIVA.....	10
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	11
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	ENERGIA RENOVÁVEL.....	13
2.2	ENERGIA SOLAR.....	17
2.3	O POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL.....	20
2.4	POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DO PARANÁ.....	22
2.5	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	24
2.6	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR).....	25
2.6.1	Características elétricas das células e módulos fotovoltaicos.....	27
2.6.2	Fatores que influenciam na produção de energia elétrica.....	28
2.6.2.1	Irradiância Solar.....	28
2.6.2.2	Temperatura da célula ou do módulo.....	29
2.6.2.3	Localização geográfica.....	30
2.6.2.4	Sombreamento.....	31
2.6.3	Processo de planejamento de um SFVCR.....	31
2.7	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	32
2.8	NORMAS E RESOLUÇÕES.....	34
3	PROCESSO DE PRÉ-AVALIAÇÃO.....	37
3.1	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS E PONTUAÇÃO.....	37
3.1.2	Inclinação.....	37
3.1.3	Orientação.....	38
3.1.4	Área.....	40
3.1.5	Sombreamento.....	42
3.1.6	Local.....	42
3.1.7	Pontuação.....	44

3.1.7.1 Produtividade .....	45
3.1.7.2 Inclinação .....	45
3.1.7.3 Sombreamento .....	45
3.1.7.4 Orientação.....	46
3.1.7.5 Resultado final.....	46
3.2 Relatório de Pré-Análise.....	49
4 PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO APLICATIVO.....	51
4.1 VALIDAÇÃO EM UMA RESIDÊNCIA EM CURITIBA.....	51
4.2 VALIDAÇÃO EM UMA ESCOLA EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON.....	56
4.3 VALIDAÇÃO EM CURITIBA PARA UM SISTEMA COM MAIOR CONSUMO ....	59
5 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grande capacidade de geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis, com uma grande capacidade instalada no setor de hidroelétricas.

Segundo os dados do Balanço Energético Nacional, a matriz elétrica do Brasil é dividida principalmente em quatro fontes. A primeira e maior é a hidráulica, responsável por 65,2% da produção nacional de energia elétrica. A segunda é a térmica, incluído a nuclear, responsável por 25,5% e em terceiro a eólica, com 2,0% (BEN, 2015).

Construções de novas usinas hidroelétricas devem ser embasadas em estudos pormenorizados sobre os impactos ambientais e sociais, tais como a construção civil, a inundação da área destinada ao reservatório, desapropriação e reassentamento da população, efeitos sísmicos e climáticos, impacto na flora e fauna, alteração no ecossistema aquático, sedimentação e qualidade da água (ALDABÓ, 2002).

No contexto brasileiro, o potencial a ser explorado tem como desafio estar 60% presente na bacia amazônica, com grande concentração de terras indígenas e reservas florestais (ABC, 2012), além do mais, pela característica territorial do país, as perdas decorrentes das grandes distâncias entre a geração e os centros consumidores vem estimulando ainda mais os investimentos em fontes alternativas instaladas próximas aos centros de carga (CRUZ, 2013).

Já as fontes de energia termelétricas, apesar de possuírem como vantagem a característica de atender a demanda continuamente, dentro dos seus limites operacionais, sem depender diretamente de fatores climáticos, como chuvas, ventos etc. apresentam grandes desvantagens na questão ambiental. Mesmo as fontes termelétricas mais eficientes, mostram-se pouco atraentes quando considerados os seus impactos ambientais, como é caso do destino do lixo radioativo e riscos acidentes nas usinas nucleares e a grande emissão de gases poluentes nas usinas que utilizam combustíveis fósseis (como o carvão, óleo diesel e gás natural) (INATOMI, UDAETA, 2011).

No caso da energia eólica, alguns dos desafios a serem enfrentados são que geradores eólicos demandam uma grande estrutura, uma vez que seus componentes a serem instalados como turbina e rotor de pás possuem grande escala, além de produzirem efeitos sonoros e de vibração com o movimento das pás e ainda causarem a morte de pássaros que eventualmente se chocam a sua estrutura, (CAMILLO, 2013).

Estudiosos afirmam que o Sol é a principal fonte de energia do planeta, já que é um recurso inesgotável e indispensável para a vida terrestre. A produção de energia elétrica a partir deste recurso é uma tendência mundial, que vem sendo seguida com expressividade pelos consumidores brasileiros (GAZOLI, 2012).

Diferentemente dos sistemas solares térmicos, que são empregados para realizar aquecimento ou para produzir eletricidade a partir da energia térmica do Sol, os sistemas fotovoltaicos têm a capacidade de captar diretamente a luz solar e produzir corrente elétrica. Essa corrente é coletada e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica (VILLALVA, 2012).

Para o caso do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR) o consumidor gera sua própria energia abatendo a energia consumida pelas cargas da sua residência, aproveitando os períodos em que não há consumo, injetando energia excedente na rede elétrica. A energia injetada à rede elétrica pode ser compensada ao cliente na forma de créditos de energia ativa conforme a Resolução Norma nº482/2012.

Segundo o *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21, 2016) há um grande crescimento em escala global dos SFVCRs. Desta maneira existe o interesse neste nicho de mercado devido aos maiores níveis de eficiência da tecnologia em locais que apresentam um alto índice de irradiação.

No Brasil os índices de irradiação são altos ao se comparar com países europeus, todavia o desenvolvimento de tecnologias direcionadas a geração de energia solar fotovoltaica ainda se encontra em fase de implementação (ALMEIDA, 2012). Deste modo justificam-se as políticas para o desenvolvimento de geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015c) existe a projeção para que os custos com a implementação de energia solar fotovoltaica venham a diminuir nos próximos anos. A projeção para 2050 é de um cenário favorável para a instalação de um SFVCR. No caso de residências, a partir do início da década de 2020 tem-se a expectativa da tarifa de energia elétrica viabilizar esse tipo de instalação (EPE 2016).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2015a), o Governo Federal lançará um programa de incentivo ao uso de energia solar, com atrativos tanto para a população, beneficiária da energia, quanto para investidores. O assunto está sendo tratado em várias frentes: com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no

aperfeiçoamento da regulação; e com o Ministério da Fazenda, Congresso e governadores, sobre as questões tributárias, principalmente o ICMS incidente na cadeia produtiva e sobre a energia gerada no imóvel que use essa fonte.

## 1.1 TEMA

Elaboração de processo de pré-avaliação para implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) no Estado do Paraná – e análise da viabilidade para a sua implantação.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Pré-avaliação de viabilidade técnica para a geração de energia elétrica por meio da utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná.

## 1.2 PROBLEMA

Nem sempre ter um nível de irradiação elevado possibilita implantar um SFVCR. Questões como sombreamento, inclinação e orientação, além da irradiação, são imprescindíveis para se analisar a viabilidade ou não da implantação de um SFVCR.

Então apesar dos altos níveis de irradiação no Estado do Paraná, antes da instalação de painéis fotovoltaicos deve ser realizada uma análise criteriosa a fim de se garantir o melhor desempenho e retorno do investimento realizado pelo consumidor.

O alto valor das tarifas de energia faz com que a implementação desta tecnologia seja cada vez mais procurada pelos consumidores.

Com isso busca-se por meio deste trabalho fornecer uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão entre implantar ou não um SFVCR como geração distribuída, próximo ao ponto de consumo, principalmente em edificações residenciais, de forma a complementar a matriz elétrica.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O Objetivo geral deste trabalho é elaborar um aplicativo de pré-avaliação da viabilidade técnica da instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFVCR) em residências do Estado do Paraná.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Efetuar uma pesquisa bibliográfica sobre os conceitos que envolvem a geração de energia sustentável;
- Desenvolver um aplicativo através de ferramenta computacional com a aplicação do processo de pré-avaliação elaborado.
- Efetuar processo de validação do processo e do aplicativo elaborados por meio de comparação de sistemas já implementados.
- Analisar os resultados obtidos e efetuar as conclusões finais do trabalho.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Até 2024 tem-se a perspectiva, sem considerar a geração distribuída, de que a geração de energia fotovoltaica atinja 7 GW no Brasil. Esta análise é realizada através do Plano Decenal de Energia Elétrica 2024 (PDE 2024). Segundo o planejamento para a próxima década, a capacidade instalada de eletricidade a partir do sol representará quase 4% da capacidade total brasileira em 2024, sendo que atualmente é responsável por apenas 0,02% (MME, 2015b).

De acordo com o MME (2015b), a estimativa da expansão da geração de energia elétrica oriunda de outras fontes fornecidas pelos consumidores, é de 7 % ao ano em média até 2024. Em 2014, esta parcela de autoprodução representou em torno de 10% do consumo total de eletricidade, e ao final deste panorama aumentará mais 3% totalizando 13%, ou cerca de 100 TWh. A projeção é de que a maior parcela do crescimento da energia solar fotovoltaica se dê pela geração distribuída por SFVCR em residências (MME, 2015a).

Para se quantificar existe a projeção de que a energia solar fotovoltaica instalada em residências e comércios alcance 1,6 TWh em 2024, com a representação de 1,6% do total da geração distribuída, ou 0,2% da oferta total de energia elétrica de 2024 (MME, 2015b).

A energia solar fotovoltaica pode ser empregada em todo o território brasileiro, pois o País é privilegiado com elevadas taxas de irradiação solar em todas as regiões (VILLALVA,2012).

Em vista das projeções e da pequena utilização dada a energia solar atualmente, este estudo abre a oportunidade para a instalação de painéis conectados à rede no Estado do Paraná com a pré-análise de sua implementação em local específico.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

1. Na primeira etapa foi realizada uma pesquisa bibliográfica por meio de livros, artigos, dissertações e teses acadêmicas sobre fontes de energias renováveis em cenário nacional, e energia solar com seu contexto nacional e projeções futuras;
2. Feito isso, foram definidas as condições ideais para a implantação dos SFVCRs por meio da coleta de informações obtidas pelas características do local, com o desenvolvimento de um modelo para realizar a pré-análise para implantação do SFVCR no Estado do Paraná;
3. Após a definição das condições ideais foi desenvolvido o aplicativo de análise da possibilidade de implementação desses sistemas, que determinará o grau de viabilidade técnica;
4. Nesta etapa foi realizada a validação do aplicativo por meio de análise de sistemas já implementados a fim de comprovar a eficácia deste projeto;
5. Por fim, foram descritas as conclusões a respeito da pesquisa desenvolvida e elaboradas propostas para trabalhos futuros.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1 – Introdução com apresentação do tema proposto, problemas, objetivo geral, objetivo específico, justificativa e metodologia.

Capítulo 2 – Apresentação do embasamento teórico sobre o desenvolvimento sustentável, energia e suas fontes, a geração de energia elétrica no Brasil, geração de energia solar, sistemas fotovoltaicos conectados à rede e potencial de geração de energia elétrica solar fotovoltaica no Estado do Paraná.

Capítulo 3 – Elaboração da metodologia para o processo de pré-avaliação para implementação de SFVCR em residências do Estado do Paraná.

Capítulo 4 – Validação do método proposto por meio SFVCR já implementados e elaboração de um aplicativo para realização da pré-análise.

Capítulo 5 – Conclusões e propostas de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é feita uma fundamentação teórica dos assuntos envolvidos no trabalho, abordando conceitos de:

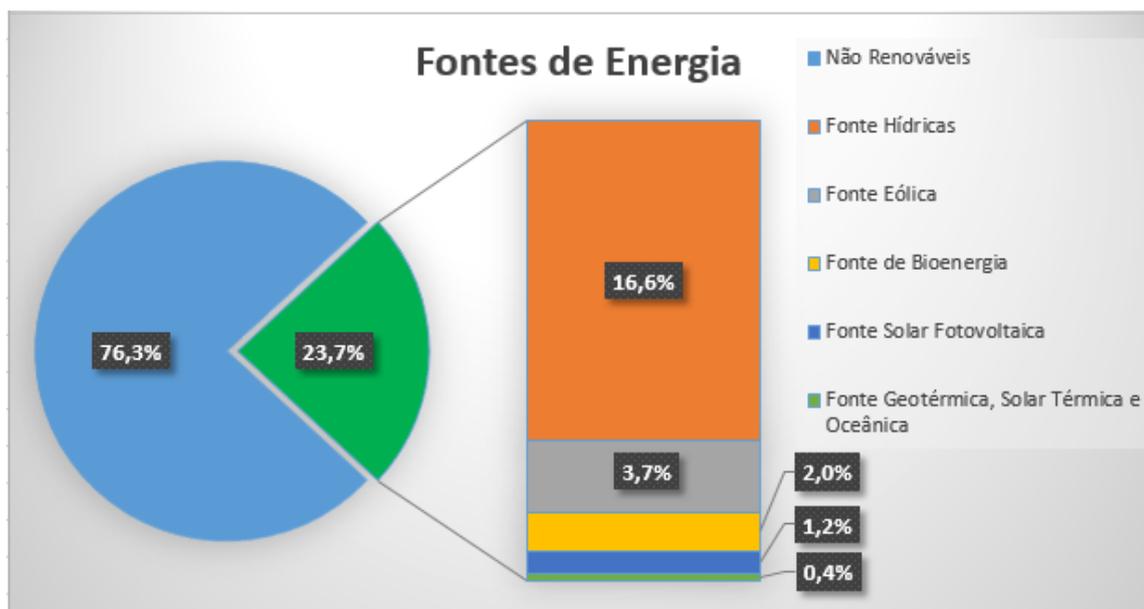
- a) Energia Renovável;
- b) Energia Solar;
- c) O Potencial de Energia Solar no Brasil e do Estado do Paraná
- d) Definição de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede bem como os fatores pelos quais influenciam na produtividade do sistema;
- e) Geração Distribuída e como ela é definida;
- f) Norma e Resoluções referentes à Geração Solar Fotovoltaica.

### 2.1 ENERGIA RENOVÁVEL

Energia renovável é o conjunto de fontes de energia pela qual sua disponibilidade se dá de maneira cíclica (BNDES, 2005). São denominadas renováveis, pois seu ciclo de renovação é natural e são provenientes das conversões da radiação solar em outras formas de energia. Além do fato de que são fontes praticamente inesgotáveis de energia, trazendo a vantagem de ser um recurso em que se pode gerar um mínimo impacto ao ambiente e ser usado de forma sustentável (PACHECO, 2006).

Na Figura 1 é apresentado um panorama global quanto a participação das fontes para geração de energia elétrica. Fontes renováveis ainda são a menor parte, mas ganham destaque e segundo o REN21 (2016) teve historicamente o maior aumento em 2015. Nota-se ainda a predominância da fonte hidráulica na área de energias renováveis, uma vez que no âmbito global corresponde a 16,6% da geração elétrica atual. As energias eólica e fotovoltaica juntas contam com 4,9% da energia elétrica total produzida, e surgem como uma importante opção, onde juntas cresceram 77% de acordo com REN21 (2016) em relação ao ano de 2014. Isto é resultado das políticas de incentivo e das vantagens que a energia solar pode oferecer: é uma fonte de energia limpa que não emite gases, não produz ruídos, não gera impactos ambientais e possui um enorme potencial de crescimento. Neste contexto, a energia obtida através da bioenergia representou 3,7% da geração global.

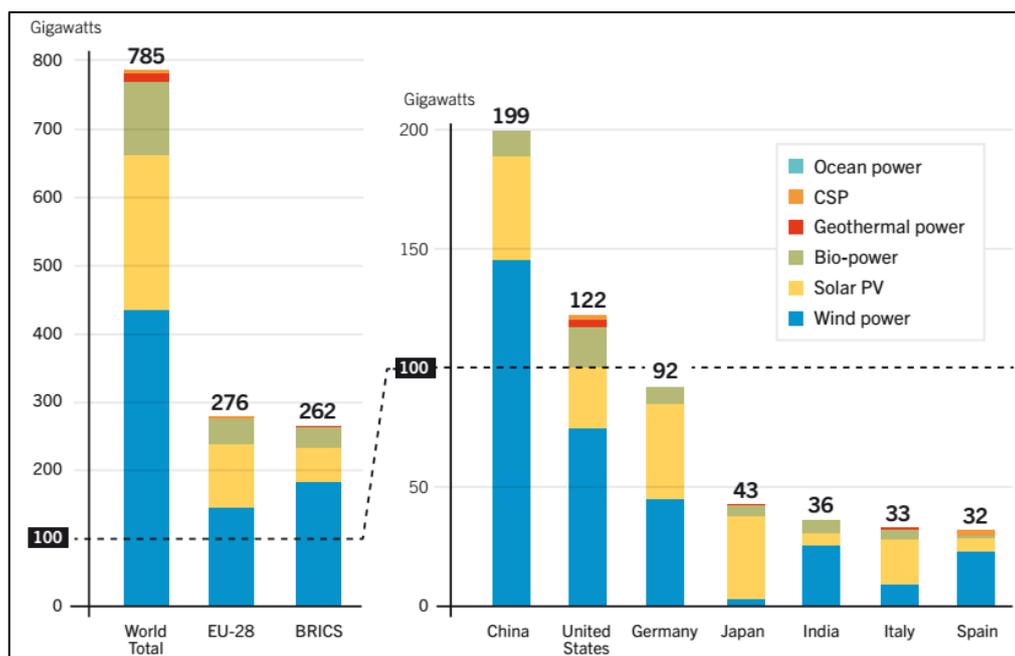
A Figura 2 mostra o percentual das fontes de geração de energia elétrica sem a contribuição da hidráulica, que atualmente é o principal meio de geração a partir de insumos renováveis. É notável portanto a significativa parcela das fontes eólica e fotovoltaica na matriz elétrica global, já que elas compõem quase todo o restante da geração por fontes renováveis.



**Figura 1 - Divisão das energias utilizadas para geração elétrica global**

Fonte: Adaptado de REN21(2016)

Além do mais é possível verificar na Figura 2 os países com maior capacidade instalada de energia renovável sem contar a fonte hidráulica, com destaque para China e Alemanha que possuem maior capacidade instalada de energia fotovoltaica. Outro ponto importante é o fato de que não existe o aumento da utilização de fontes renováveis apenas na Europa, onde a Ásia possui números expressivos com ênfase na China, Japão e Índia.



**Figura 2 - Capacidade global de Energia Renovável instalada sem a fonte hidráulica**  
**Fonte: REN21(2016)**

A Figura 3 expressa os valores onde é possível notar que existe um retraimento na utilização de energias não renováveis entre os anos de 2014 e 2015. É possível compreender um aumento de 266,4% na utilização da fonte solar, ao passo que para a hidrelétrica houve um decréscimo de 3,7%. A fim de comparação, a energia elétrica gerada a partir de óleo decaiu 19,0%.

ESPECIFICAÇÃO	GWh			Estrutura (%)	
	2014	2015	15/14 %	2014	2015
HIDRO	373.439	359.743	-3,7	59,8	58,4
BAGAÇO DE CANA	32.303	34.163	5,8	5,2	5,5
EÓLICA	12.210	21.626	77,1	2,0	3,5
SOLAR	16	59	266,4	0,003	0,010
OUTRAS RENOVÁVEIS	13.879	14.864	7,1	2,2	2,4
ÓLEO	31.668	25.662	-19,0	5,1	4,2
GÁS NATURAL	81.075	79.490	-2,0	13,0	12,9
CARVÃO	18.385	19.096	3,9	2,9	3,1
NUCLEAR	15.378	14.734	-4,2	2,5	2,4
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS	12.125	12.049	-0,6	1,9	2,0
IMPORTAÇÃO	33.775	34.422	1,9	5,4	5,6
<b>TOTAL</b>	<b>624.254</b>	<b>615.908</b>	<b>-1,3</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>465.623</i>	<i>464.877</i>	<i>-0,2</i>	<i>74,6</i>	<i>75,5</i>

**Figura 3 - Geração de energia elétrica por fonte em 2015**  
**Fonte: MME (2016).**

Esforços estão sendo empreendidos para aumentar a participação das energias renováveis na matriz energética. Com isso o governo brasileiro se propôs a investir recursos para ampliar a produção de energia por fontes renováveis, como é o caso do Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) (FREITAS, 2013).

A maior parcela da energia elétrica gerada do Brasil, provém de usinas hidrelétricas e térmicas. O sistema de produção de energia hidrelétrica possui diversos proprietários, tornando-se único no âmbito mundial com essas características. Todo esse parque gerador é controlado pelo SIN (Sistema Interligado Nacional), sendo que apenas 1,7% da energia requerida pelo país não se encontra nesse sistema (ONS, 2016).

Segundo a ANEEL (2016) o Brasil possui um total de 4513 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação em seu território, totalizando 142 GW de capacidade instalada. Os tipos de empreendimentos são detalhados na Tabela 1.

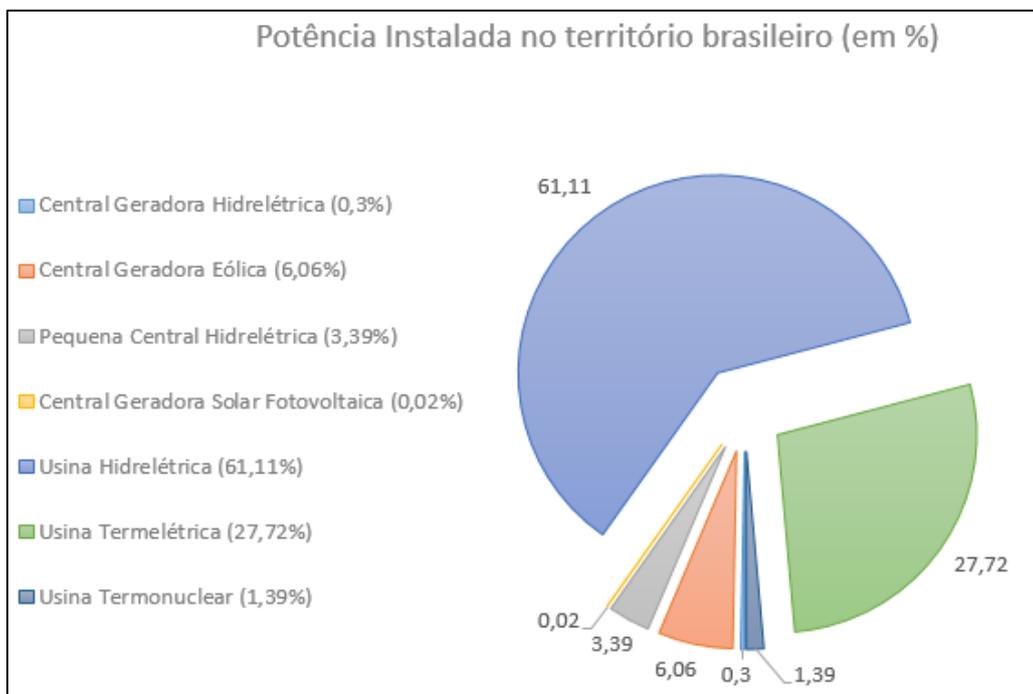
**Tabela 1 - Empreendimentos em operação e potência instalada no Brasil.**

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
<b>Central Geradora Hidrelétrica</b>	559	431.958	433.861	0,3
<b>Central Geradora Eólica</b>	357	8.728.468	8.669.390	6,06
<b>Pequena Central Hidrelétrica</b>	458	4.881.227	4.852.945	3,39
<b>Central Geradora Solar Fotovoltaica</b>	39	26.952	22.952	0,02
<b>Usina Hidrelétrica</b>	206	100.943.441	87.383.298	61,11
<b>Usina Termelétrica</b>	2.892	41.326.622	39.637.849	27,72
<b>Usina Termonuclear</b>	2	1.990.000	1.990.000	1,39
<b>Total</b>	<b>4.513</b>	<b>158.328.668</b>	<b>142.990.295</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL (2016).

Para se ter uma noção da representatividade de cada fonte de energia, na Figura 4 é definida a parcela de contribuição para cada tipo de fonte na geração de energia elétrica. Percebe-se que em 2015 a capacidade instalada através da geração fotovoltaica foi de pouca representatividade para o país. Isso dá um vasto campo a ser explorado. A representatividade da energia solar fotovoltaica ainda é muito pequena para o potencial brasileiro totalizando 0,02% da energia elétrica gerada. A predominância da geração hidráulica é notável, entretanto a geração oriunda das termelétricas também possui um percentual significativo. Com 27,72% da matriz elétrica, a geração térmica despacha

maiores custos no sistema acarretando no repasse deste custo ao cliente. De acordo com o MME (2015e) em dezembro de 2014 foram despachados cerca de R\$218,2 milhões de reais adicionais para se usar a geração termelétrica, isto sem contar os custos de combustíveis.



**4 - Percentual de participação das fontes na capacidade instalada no Brasil**

Fonte: Adaptado de ANEEL (2016)

## 2.2 ENERGIA SOLAR

Dada como a principal fonte de energia, a energia solar é imprescindível para as diferentes formas de vida no planeta. Diversos fenômenos acontecem através dela, dependendo de sua fonte de energia para sua realização. Não bastasse esse fato, a energia solar pode ser vista como uma fonte de energia inesgotável e de grande quantidade, podendo ser captada e transformada em outras formas de energia (PINHO e GALDINO, 2014).

Valores como a média diária anual e mensal de irradiação são levadas em consideração para a análise de geração fotovoltaica de uma determinada posição geográfica (ALMEIDA, 2012).

Mesmo que o cenário econômico atual seja desfavorável, investimentos em infraestrutura ganham destaque e a longo prazo a energia solar tende a crescer. Assim de acordo com a Tabela 2 o preço pago pelo kWp por uma instalação residencial em 2013 foi de R\$7,00 e as projeções para 2050 são para R\$2,30. Uma queda significativa

nos preços, o que faz com que o investimento em energia solar fotovoltaica fique vantajosa. Assim, é previsto que para os anos iniciais de 2020 a energia solar fotovoltaica atinja a paridade tarifária para consumidores de baixa tensão, ou seja, até os anos iniciais de 2020 será possível que a tarifa de energia elétrica viabilizará os SFVCR. Além desta consideração, tem-se em mente de que os projetos futuros de edificações levem em consideração pontos favoráveis à energia solar fotovoltaica como por exemplo a orientação dos telhados das casas com estruturas e integração dos sistemas de geração (EPE 2016).

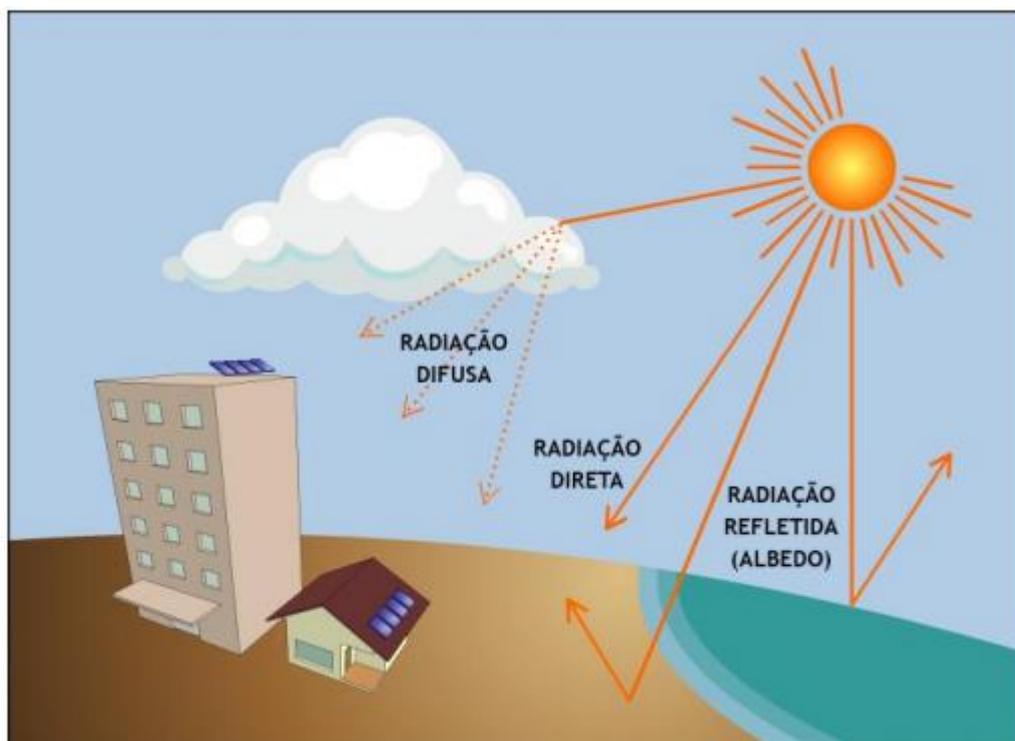
**Tabela 2 - Expectativa de redução de custo do sistema fotovoltaico R\$/Wp**

	2013	2020	2030	2040	2050
<b>Residencial</b>	7,0	4,4	3,2	2,7	2,3
<b>Comercial</b>	6,5	4,2	3,0	2,5	2,1
<b>Industrial</b>	6,0	3,4	2,7	2,3	2,0

**Fonte: EPE (2016)**

A atmosfera terrestre absorve parte da radiação que chega à sua camada superior, fazendo com que apenas uma parte atinja a superfície terrestre. Considerando a radiação que chega na superfície, tem-se que ela é constituída por uma componente direta e uma componente difusa. A componente direta é aquela proveniente diretamente do sol, produzindo sombras nítidas. A componente difusa é aquela proveniente de todas as direções, que atinge a superfície após sofrer espelhamento pela atmosfera terrestre. Mesmo em um dia de céu totalmente limpo, pelo menos 20% da radiação solar é difusa. Já em um dia totalmente nublado, não existe componente direta, sendo 100% da radiação a componente difusa. Quando a superfície estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente em que se encontra (solo, vegetação, obstáculos, etc.) O coeficiente de reflexão dessas superfícies é denominado “albedo” (PINHO E GALDINO, 2014).

Na Figura 5 apresenta-se as três componentes da radiação solar, sendo o somatório entre a componente direta, difusa e devida ao albedo, denominada radiação global.



**Figura 5 - Componentes da radiação solar**

**Fonte: Viana (2010)**

Antes de atingir o solo, as características da radiação (intensidade, distribuição espectral e distribuição angular) são afetadas por interações com a atmosfera, devido aos efeitos de absorção e espelhamento. Estas modificações são dependentes de um coeficiente denominado Massa de Ar (AM – Air Mass), dependendo, portanto, do ângulo zenital do sol, da distância terra-sol e das condições atmosféricas e meteorológicas (PINHO e GALDINO, 2014).

Uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar é a irradiância. Ela é expressa na unidade  $W/m^2$  e, portanto, trata-se de uma unidade de potência por área. Sabe-se que a potência é uma grandeza física que expressa a energia transportada por um intervalo de tempo. Sendo assim, quanto maior for a irradiância, mais energia ela transporta em um determinado intervalo de tempo. A medida da irradiação é muito útil para avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos. Realizando a medição da irradiação com um sensor e armazenando os valores obtidos ao longo do dia, é possível calcular a quantidade de energia recebida pelo sol por uma determinada área naquele dia (VILLALVA, 2012).

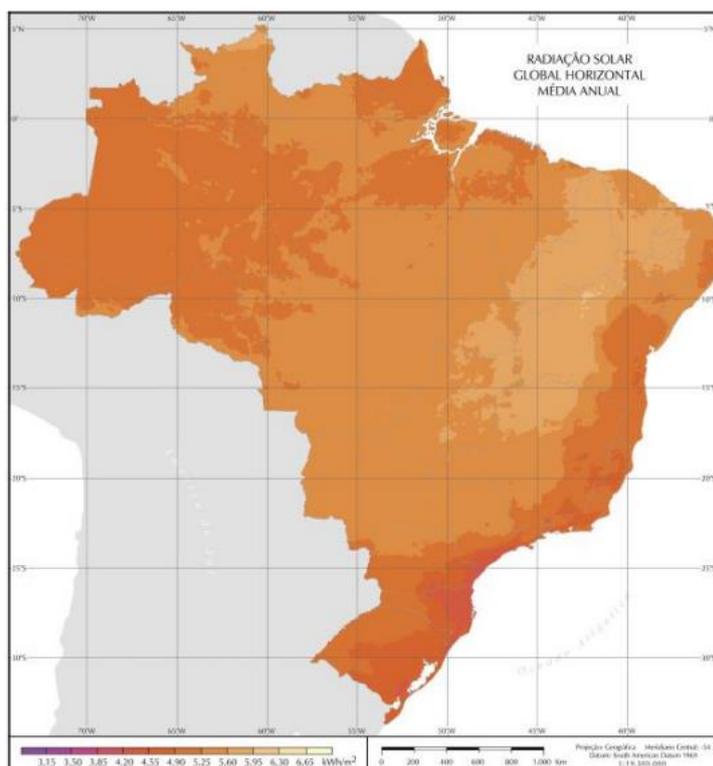
### 2.3 O POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Estima-se que o Brasil possua atualmente cerca de 39MW (ONS, 2016) de capacidade de geração solar fotovoltaica instalada. A energia solar apresentou um alto crescimento (266,4%) entre os anos de 2014 e 2015 (MME, 2016). Contudo, ainda não possui uma parcela significativa na geração de energia na matriz elétrica brasileira ao se comparar com outras fontes de energia.

O Brasil possui uma série de características naturais favoráveis, tais como, altos níveis de irradiação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos fotovoltaicos, produtos estes de alto valor agregado. Tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se vislumbre um papel importante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia (EPE, 2012).

É de extrema importância ter uma base de dados confiável para o planejamento e desenvolvimento de projetos de energia solar. Sendo assim, o Atlas Brasileiro foi desenvolvido em parceria do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com a SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), apresentando diversos dados sobre o potencial de irradiação em solo brasileiro. O Atlas Brasileiro de Energia Solar tem como objetivo suprir parte dessa demanda de informações por meio da divulgação do levantamento da disponibilidade de energia solar no território brasileiro utilizando um modelo de transferência radiativa alimentado por dados climatológicos e de 10 anos de informações extraídas de imagens de satélite geoestacionário e validado por dados coletados em estações de superfície (PEREIRA *et al.*, 2006).

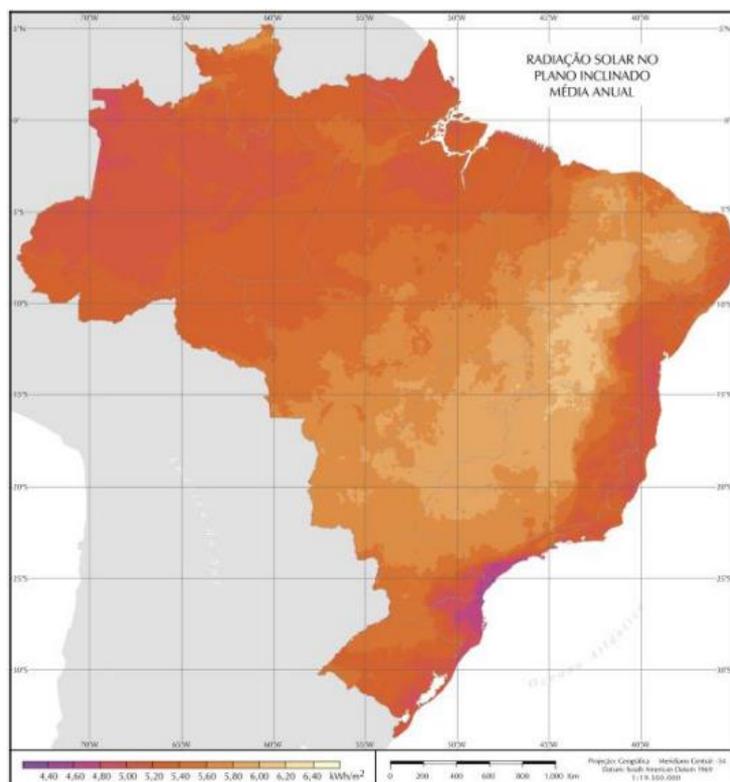
A Figura 6 mostra o mapa de irradiação global quando o painel está situado em posição horizontal.



**Figura 6 - Radiação solar global horizontal média diária anual no Brasil**

**Fonte: Pereira et al. (2006)**

Já a Figura 7 mostra o mapa de irradiação no plano inclinado, com inclinação igual a latitude do local. Pode-se observar que a irradiação global é relativamente bem distribuída pelas regiões do país, com médias anuais relativamente altas em todo o país. Segundo EPE (2012a), a irradiação média anual varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano, valores que são significativamente superiores à maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>/ano), França (900-1650 kWh/m<sup>2</sup>/ano) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>/ano), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, foram amplamente disseminados.

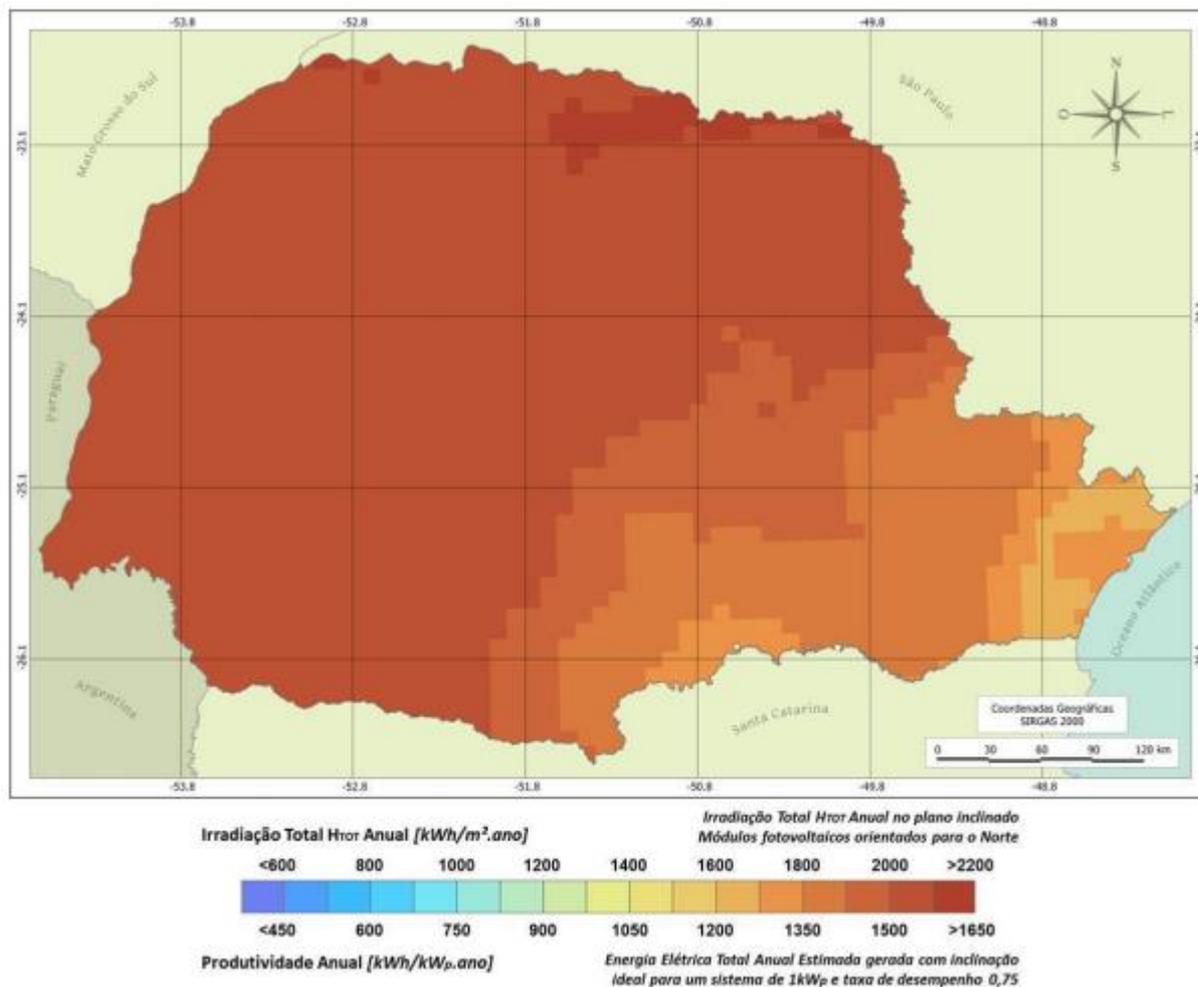


**Figura 7 - Radiação solar global no plano inclinado média diária anual no Brasil**  
**Fonte: Pereira et al. (2006)**

## 2.4 POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DO PARANÁ

Para a avaliação do potencial fotovoltaico do Estado do Paraná toma-se por base a análise feita por Tiepolo (2015) ao qual teve por estudo os dados gerados pelo projeto SWERA do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006) disponibilizado pelo INPE. Assim segundo Tiepolo (2015) os critérios de análise se deram a partir da coleta dos dados de 48 cidades do Estado do Paraná, com a sua expansão para todos os 399 municípios do Estado. Com estes valores foi determinado a estimativa da energia elétrica a ser gerada levando em conta algumas premissas sendo elas a Potência de 1 kWp para padronização do sistema, taxa de desempenho (TD) de 75%, Inclinação igual a latitude do local e Orientação do SFVCR para a linha do equador.

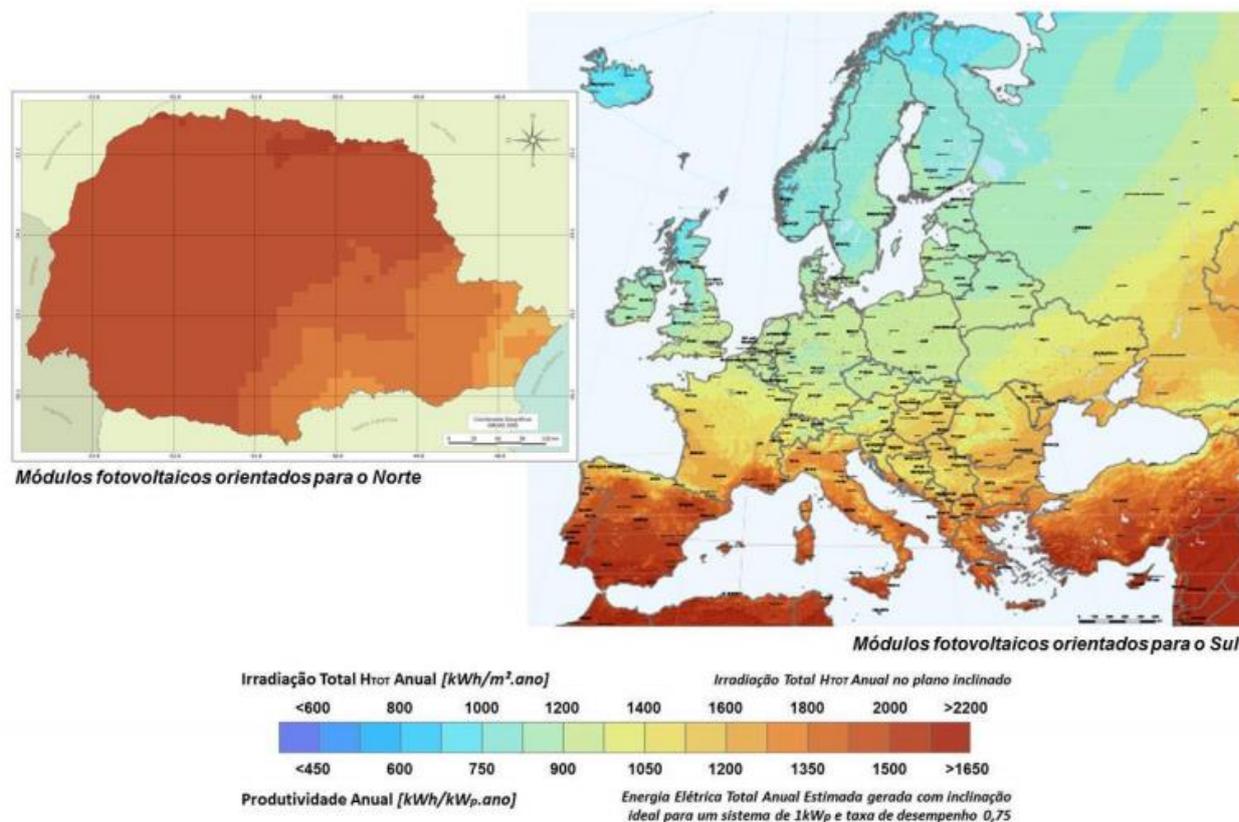
Após a compilação dos dados determinou-se o mapa de potencial fotovoltaico do Estado do Paraná de geração de energia elétrica, conforme mostra a Figura 8.



**Figura 8 - Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná Total anual no Plano Inclinado**

Fonte: Tiepolo (2015)

A fim de salientar a importância destes dados Tiepolo (2015) destaca que ao se comparar com os dados da Europa, os valores de potencial de geração do Estado do Paraná são superiores. Mesmo assim de acordo com o relatório do REN21 (2016, p63) atualmente a Alemanha é o segundo país em geração fotovoltaica, sendo ultrapassada pela China no último ano de 2015. Quando se considera a energia gerada por habitante a Alemanha continua líder em geração fotovoltaica. Além disso, Itália e Reino Unido também figuram como um dos países com maior geração de energia solar fotovoltaica isto mostra a importância desta fonte de energia para a União Europeia. Para comparação entre os dois casos tem-se a Figura 9, onde é possível notar a diferença dos potenciais fotovoltaicos no Estado do Paraná e na Europa em valores anuais. O curioso é notar que dos países europeus Portugal e Espanha possuem irradiação média próxima as encontradas no Paraná. A Alemanha com a segunda maior capacidade instalada no mundo não possui um potencial tão grande quanto o do Estado do Paraná.



**Figura 9 - Comparação do potencial fotovoltaico do Estado do Paraná com a Europa - Total Anual no Plano Inclinado**

Fonte: Tiepolo (2015).

É importante tomar conhecimento de que o painel fotovoltaico pode mudar sua inclinação para adaptação dos diferentes ângulos de incidência dos raios solares, mas tal fato leva à custos elevados com estrutura diferenciada acarretando em maiores custos de manutenção. Normalmente a inclinação e orientação dos SFVCR em ambientes urbanos seguem a das edificações em que são instaladas.

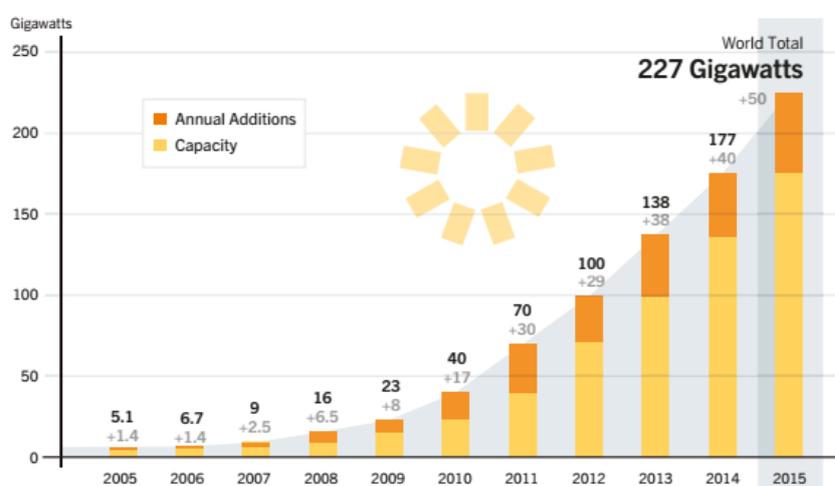
## 2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser separados em sistemas conectados à rede e sistemas autônomos ou isolados. Nos sistemas isolados, torna-se obrigatório considerar um sistema de armazenamento (baterias).

Em alguns países, como é o caso da Alemanha, a maioria dos sistemas fotovoltaicos encontram-se conectados à rede. Nesse sistema, a totalidade da energia produzida é injetada na rede pública, abatendo a quantidade de consumo de energia utilizada. Caso a energia produzida seja maior que a consumida, existirá um crédito para

o próximo abatimento. Ainda no caso da Alemanha, há previsões de que no ano de 2050, os sistemas conectados à rede possam ser responsáveis por cerca de um terço da energia elétrica produzida (GREENPRO, 2004).

A produção e o mercado dos Sistemas Fotovoltaicos (SFV) estão em constante crescimento, mesmo em momentos de crises econômicas. A Figura 10 mostra que em 2015 atingiu-se a marca de 227 GW de capacidade instalada acumulada, com aumento de 50 GW em relação ao ano anterior o maior aumento já registrado (REN21, 2016). O SFV está caminhando para ser uma importante fonte de energia para o mundo.

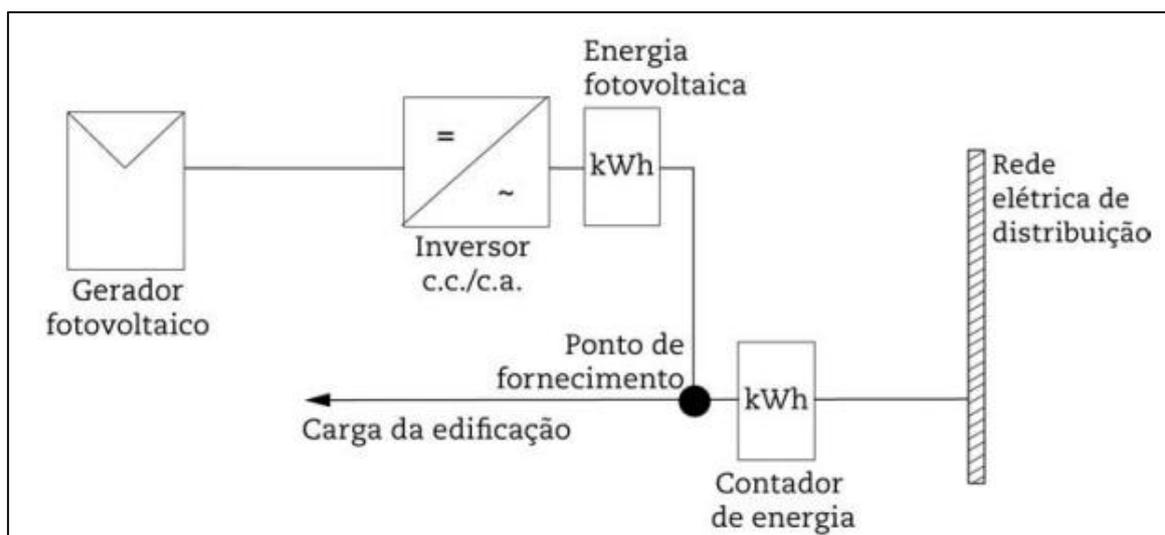


**Figura 10 - Capacidade instalada acumulada Global de SFV**

**Fonte: REN21 (2016)**

## 2.6 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR)

O sistema elétrico de potência envolve geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. O fluxo de potência clássico trata-se de apenas um sentido, começando pela geração, passando pela transmissão até a distribuição para o consumidor. Entretanto quando há a geração na unidade consumidora este fluxo pode ser bidirecional. Na Figura 11 é possível observar o esquema de ligação de um SFVCR. Equipamentos conectados junto à rede elétrica em seu conjunto podem ser chamados de ponto de conexão (PC). Quando esta unidade consumidora também gera energia, pode ser chamado de ponto de conexão comum (PCC). Já para os sistemas fotovoltaicos estes podem ser conectados tanto na transmissão quanto na distribuição diretamente no ponto da unidade consumidora. Assim sendo o termo é ponto de conexão fotovoltaico (PCF) (ALMEIDA, 2012).



**Figura 11 - Diagrama Esquemático da conexão de um SFVCR**

Fonte: Zilles (2012)

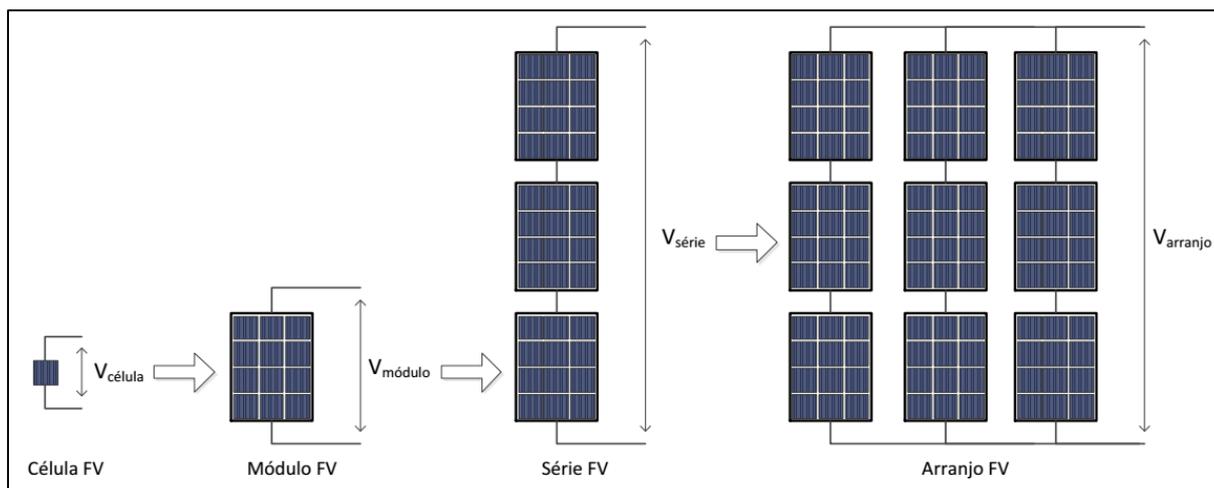
Um sistema fotovoltaico conectado à rede é constituído por módulos fotovoltaicos responsáveis pela geração de energia através dele são feitas as combinações fotovoltaicas, ou seja, é composto por diferentes associações (série, paralelo) tal como mostrado na Figura 12. É composto também por inversores, aos quais são responsáveis por converter a corrente contínua gerada em corrente alternada e adequar os parâmetros da energia elétrica gerada para a inserção na rede. Para a proteção do sistema tem-se a caixa de junção para proteger a parte de corrente contínua. E por fim também faz parte do sistema o cabeamento elétrico bem como o sistema de aterramento e a estrutura do suporte para os módulos fotovoltaicos (ALMEIDA, 2012).

Os módulos podem ser conectados em série ou em paralelo. Em série, a conexão dos módulos é feita ligando o polo positivo de um com o polo negativo de outro módulo, e a saída é o polo positivo do primeiro módulo com o negativo do último módulo do conjunto em série. Nesta conexão, a corrente total do circuito é igual a corrente de apenas um módulo, já a tensão do conjunto é igual à soma de todas as tensões dos módulos conectados em série (JUNIOR, 2005).

Na conexão em paralelo, ligam-se os terminais positivos de todos os módulos entre si, ligam-se também os terminais negativos entre si. Assim, nesta conexão, ocorre a soma de todas as correntes dos módulos enquanto a tensão é a mesma para todos.

A quantidade de módulos que são ligados nas conexões descritas acima varia com a tensão e a corrente desejada para o circuito. Destaca-se que para definir como e quantos módulos serão associados, necessita-se de informações de como será feita a

instalação do SFVCR para que haja plena compatibilidade com os outros componentes que envolvem SFVCR (PINHO e GALDINO, 2014).



**Figura 12 - Célula, módulo, conexão em série e arranjo fotovoltaico**

Fonte: Almeida (2012)

### 2.6.1 Características elétricas das células e módulos fotovoltaicos

A célula ou um módulo fotovoltaico tem seu comportamento descrito pela sua curva característica corrente versus tensão (I-V). Esta curva demonstra a variação da corrente elétrica que atravessa a célula ou o módulo que se encontra exposto a radiação solar, com a tensão nos terminais (RODRIGUES,2008).

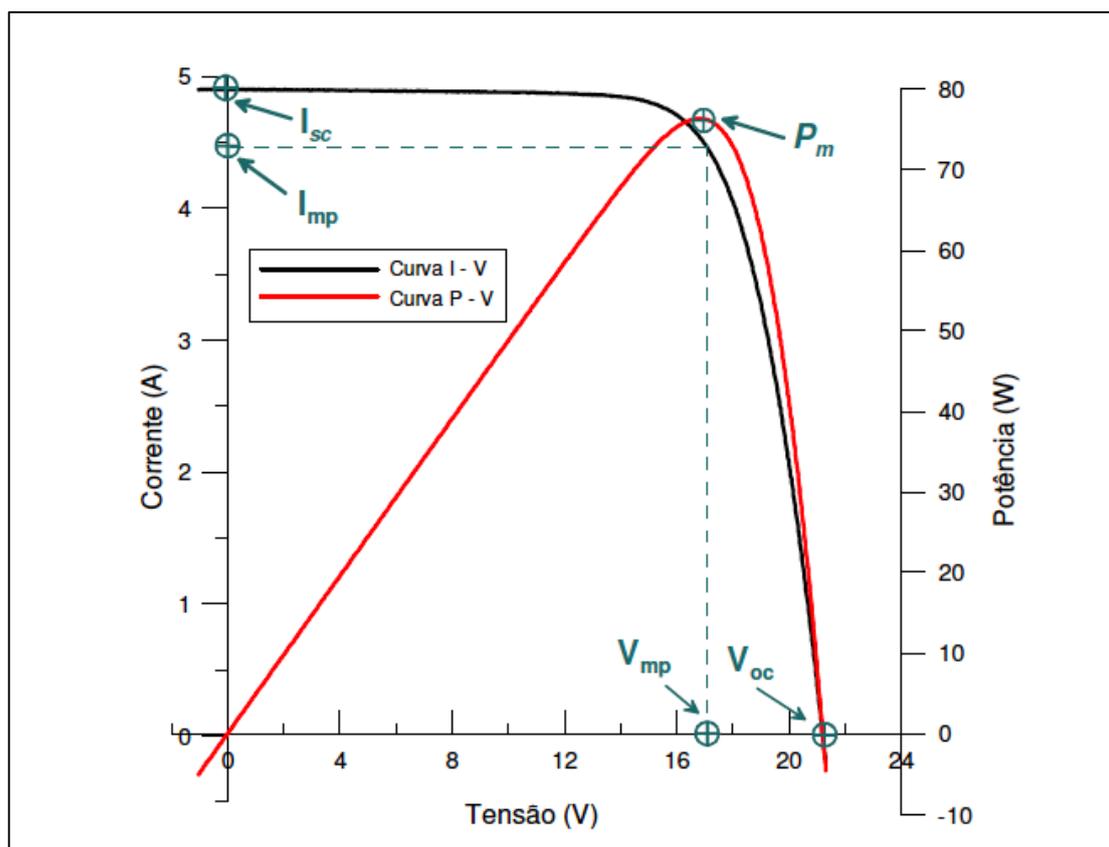
Segundo Gasparin (2009), esta curva característica possui três pontos principais.

- Tensão de circuito aberto  $V_{oc}$ : é a tensão na qual a corrente do módulo ou célula fotovoltaica é igual a zero. Ela corresponde à queda de tensão obtida através da junção PN quando esta é percorrida pela totalidade da corrente fotogerada.

- Corrente de curto-circuito  $I_{sc}$ : Corrente obtida quando os terminais da célula são colocados em curto-circuito e conseqüentemente a tensão será zero.

- Ponto de máxima potência  $P_m$ : ponto em que o produto da corrente pela tensão é máximo. Os pontos do par I-V que determinam a potência máxima são denominados  $I_{mp}$  e  $V_{mp}$ . (GASPARIN, 2009, p.10).

Na Figura 13, um exemplo de curva I-V com as principais características citadas acima.



**Figura 13 - Curva característica I-V medida e curva de potência de um módulo fotovoltaico com 36 células com destaque aos principais pontos**

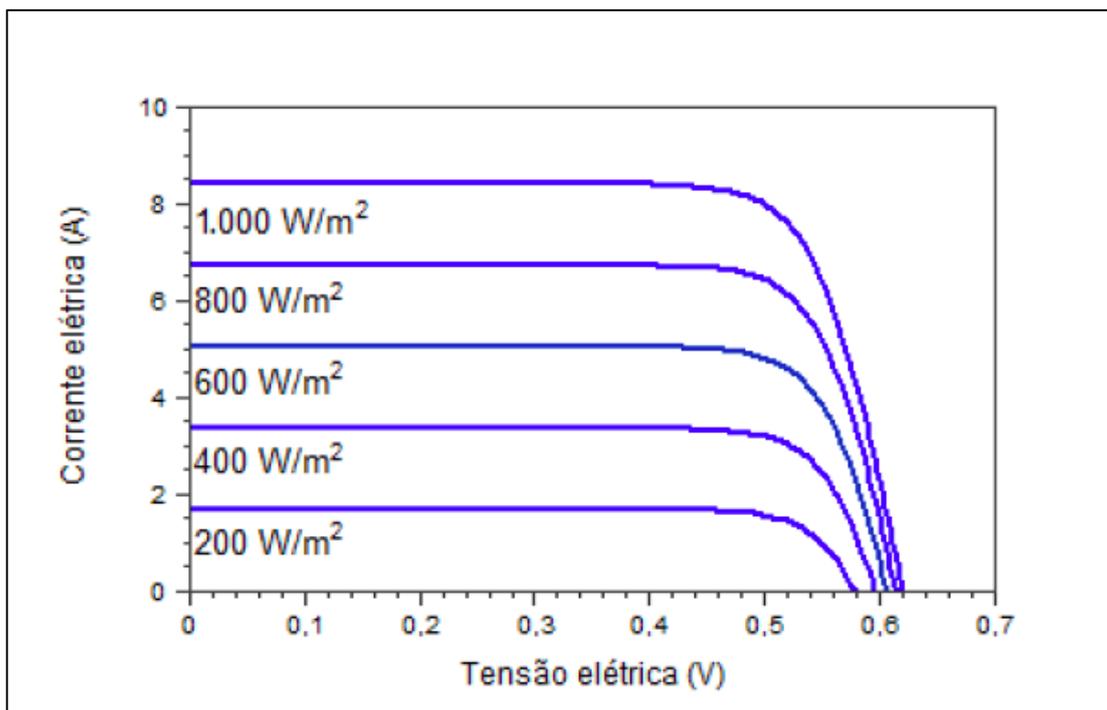
Fonte: GASPARIN (2009)

## 2.6.2 Fatores que influenciam na produção de energia elétrica

As características elétricas das células e dos módulos fotovoltaicos são alteradas por diversos fatores ambientais. Tais como a irradiância solar, temperatura da célula, localização geográfica, sombreamento.

### 2.6.2.1 Irradiância Solar

A irradiância solar afeta diretamente a curva I-V de uma célula ou de um módulo fotovoltaico. Como a Figura 14 demonstra, a corrente elétrica gerada aumenta linearmente de acordo com a irradiância solar incidente. Já a tensão do circuito aberto aumenta de forma logarítmica, considerando que a temperatura da célula ou do módulos é de 25°C.



**Figura 14 - Influência da variação da irradiação solar na curva característica I-V de uma célula fotovoltaica na temperatura de 25°C**

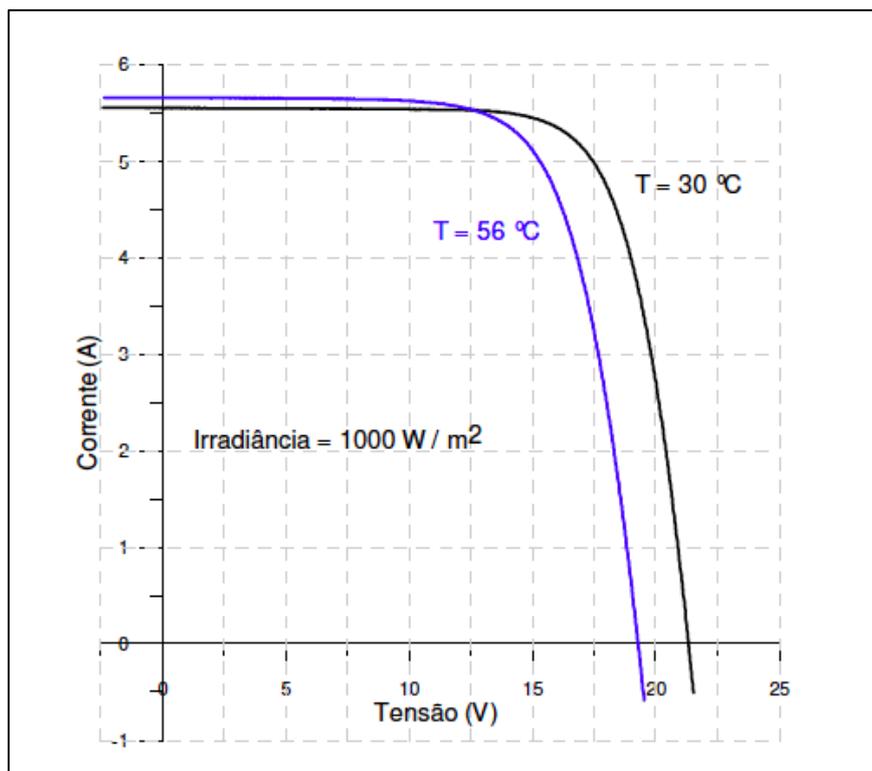
**Fonte: PINHO e GALDINO (2014)**

#### 2.6.2.2 Temperatura da célula ou do módulo

Os parâmetros elétricos da célula também são afetados pela temperatura em que o módulo ou a célula se encontra na hora da atuação. A corrente de curto-circuito recebe um acréscimo de 0,05% a 0,07%/°C para o silício monocristalino e 0,02%/°C para o amorfo. O aumento da temperatura também causa a queda da tensão de saída, resultando na queda no ponto máximo de potência da célula.

Apesar do aumento na corrente de curto-circuito com o aumento de temperatura, a queda de tensão de saída é mais relevante, tornando o aumento de temperatura um fator prejudicial ao desempenho da célula (ZILLES *et al.*, 2012).

Na Figura 15, observa-se os efeitos da temperatura na curva I-V considerando os níveis de radiação solar estáveis.



**Figura 15 - Curvas características de um módulo com 36 células sob a mesma irradiância e diferentes temperaturas de célula**

**Fonte: GASPARIN (2009)**

### 2.6.2.3 Localização geográfica

A localização geográfica é indispensável para a eficiência de um SFVCR. Como demonstrado no capítulo 2.2, a radiação solar é diferente em cada região.

Segundo Fraga (2009), a inclinação do painel fotovoltaico deve ser definida pela latitude do local de instalação e ser voltada para a face Norte geográfico. Direciona-se para a face Norte para que a incidência diária dos raios solares que atingem o módulo seja maior, uma vez que o sol nasce no Leste e se põe a Oeste. Desta forma, aproveita-se a melhor média de incidência solar sobre o sistema durante o ano.

A Figura 16 mostra a trajetória solar durante diferentes épocas do ano.

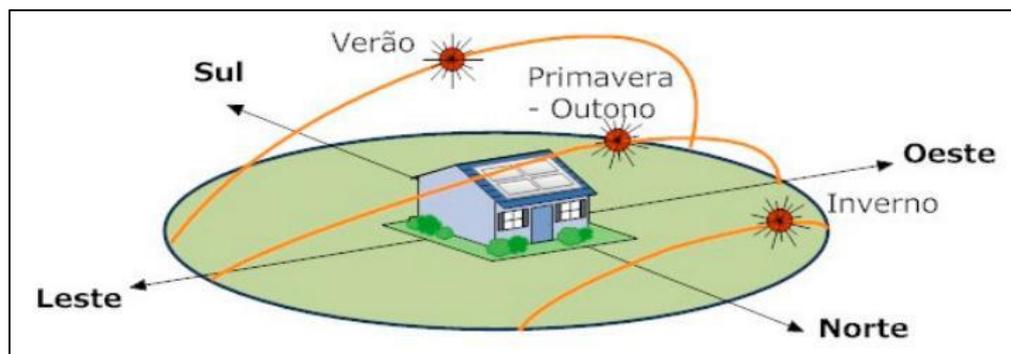


Figura 16 Trajetória Solar durante o ano

Fonte: RIBEIRO (2012)

#### 2.6.2.4 Sombreamento

Outro fator ambiental que afeta altera as características elétricas da célula e do módulo fotovoltaico é o sombreamento. Este, pode ser causado por fontes previsíveis, como árvores, antenas, construções ou podem ser causados por fontes imprevisíveis como folhas de árvores, dejetos de pássaros, sujeiras em geral.

O sombreamento parcial pode reduzir drasticamente a produção de energia, uma vez que bloqueia a radiação solar sobre o sistema, assim como pode comprometer a integridade do gerador fotovoltaico. Em casos em que o gerador fotovoltaico é de pequeno porte, onde possui poucas ou nenhuma conexão em paralelo, um pequeno sombreamento pode resultar numa queda drástica na potência de saída. Se o sistema for em série, o sombreamento causa o bloqueio da corrente, transformando-se em cargas, aquecendo partes do módulo e gerando perdas por calor (ALMEIDA, 2012).

#### 2.6.3 Processo de planejamento de um SFVCR

Segundo a CEPEL (2014), sob a ótica do consumidor, as principais etapas para a definição e de um SFCR são:

1. Definição da localização e configuração do sistema;
2. Levantamento do recurso solar disponível no local de instalação;
3. Levantamento de perfil de carga e consumo elétrico;
4. Definição da potência e tecnologia a ser utilizada;
5. Dimensionamento do gerador e inversor.

Na etapa de definição da localização, configuração do sistema e levantamento do recurso solar, deve-se levar em conta os fatores que influenciam na eficiência do sistema, como mencionado no capítulo 2.6.2. Para o levantamento do consumo elétrico, os projetos de SFVCR geralmente são dimensionados para a média anual do consumo de energia elétrica, definindo assim o limite de potência do sistema a ser instalado. Após a definição de consumo elétrico, é estabelecida a tecnologia a ser utilizada (nessa etapa é levado em consideração a temperatura do local) a potência do módulo, a logística de instalação (já que quanto maior a potência do módulo, maior sua área), o número total de módulos, a área total e por fim, a potência nominal total do sistema. Com todos esses dados estabelecidos, é dimensionado a capacidade do inversor a partir da potência total do sistema.

## 2.7 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Quando a geração de energia é realizada de maneira independente, e estabelecida próximo às cargas esta é denominada por Geração Distribuída (INEE, 2016a).

Foi pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 que o consumidor brasileiro deu seus primeiros passos para a geração própria de energia elétrica tomando por base fontes renováveis ou cogeração qualificada. A energia que exceder ao seu consumo, ou gerada em um período sem consumo do cliente, pode ser entregue a rede elétrica de sua localidade (ANEEL, 2016).

A Geração Distribuída é uma solução em que é possível agregar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade. Fatores cada vez mais importantes na sociedade, assim as tecnologias têm evoluído de tal forma que sua importância transcende o aspecto energético e atinge patamares sociais, uma vez que no Brasil existem regiões isoladas com carência de energia (CONGRESSO INTERNACIONAL..., 2013).

No intuito de ampliar os incentivos a geração de energia pelo próprio consumidor, em 15 de dezembro de 2015, O MME lançou o ProGD, e tem como objetivo atingir um público direcionado à geração de energias a partir de fontes renováveis, com atenção especial para a solar fotovoltaica. Desta maneira a previsão do investimento é de aproximadamente R\$ 100 bilhões até o ano de 2030. O ProGD é oriundo da portaria nº 538 de 15 de dezembro de 2015 (MME, 2015d).

O ProGD formaliza os esforços que serão alocados a partir de agora em alcançar o potencial do país em geração distribuída. Um dos pontos importantes previstos na Portaria para estimular a geração de energia distribuída é a atualização dos Valores Anuais de Referência Específicos (VRES), em R\$ 454,00/ MWh para a fonte solar fotovoltaica, e R\$ 329,00/ MWh para a cogeração a gás natural (MME, 2015d).

A tarifa de energia elétrica para o consumo de uma residência segundo a COPEL (2016a) pode ser exemplificada da seguinte maneira:

- Quantidade de kWh consumido
- Alíquota do ICMS aplicado: 29%
- Alíquota média do PIS aplicado: 1,21%
- Alíquota média do COFINS aplicado: 5,59%

O valor do kWh é dado através da Resolução ANEEL, nº 1.897, de 21 de junho de 2016 , onde para um consumidor classificado como residencial, Grupo B1 é de R\$ 0,42147 por kWh, e o cálculo para a obtenção da tarifa com impostos é descrito na Figura 17:

$$\text{Tarifa com Impostos} = \frac{\text{Valor da tarifa publicada pela ANEEL}}{1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFINS})}$$

**Figura 17 - Cálculo da Tarifa com Impostos**

**Fonte: COPEL (2016a)**

Então para se atingir o valor da fatura recebida o cálculo a ser feito é a multiplicação do valor consumido em kWh, pelo valor obtido através do cálculo apresentado na Figura 17. Isto posto, na Tabela 3 é possível se observar a tarifa para o exemplo apresentado anteriormente uma residência após a aplicação dos impostos devidos. Os valores contidos são os da tarifa publicada pela ANEEL sem os impostos e a tarifa após os impostos, aquela praticada para o consumidor final.

Tabela 3 - Tarifa de Energia Residencial no Estado do Paraná

CONVENCIONAL	Resolução ANEEL Nº 1.897, de 21 de junho de 2016	
Tarifa em R\$/kWh	Resolução ANEEL	com Impostos: ICMS e PIS/COFINS

Continuação da Tabela 3

<b>B1 - Residencial</b>	0,42147	0,64543
Vigência em 24/06/2016		

**Fonte: COPEL (2016b)**

Como existem diferentes classes consumidoras, é necessário separar a categoria de consumo. Segundo o PROCEL (2011) os consumidores são divididos em dois grupos divididos pelo valor de 2,3 kV. Aqueles com tensão igual ou superior são considerados do grupo A. Por outro lado aqueles em que a tensão atendida seja menor que 2,3 kV pertencem ao grupo B. No caso residencial seu subgrupo é o B1.

## 2.8 NORMAS E RESOLUÇÕES

A Resolução Normativa N°414/2010 é responsável por estabelecer as diretrizes para o fornecimento de energia elétrica e que determina os impostos contidos na fatura que são: ICMS, PIS/Pasep e Cofins.

Segundo o MME (2015d) para o incentivo na adesão deste sistema de geração distribuída deve-se abaixar ou isentar o consumidor de impostos referentes a geração. Portanto, foi implementado através de Convênios a isenção do ICMS. Tal medida ainda não foi aderida por todos os Estados do país, entretanto já aderiram inicialmente os Estados de São Paulo, Goiás e Pernambuco por meio do Convênio n°16 do CONFAZ. Ao todo, após a realização do convênio 81/16 20 Estados mais o Distrito Federal aderiram a isenção do ICMS, são eles:

Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, São Paulo, Sergipe, Tocantins e o Distrito Federal.

O Estado do Paraná ainda não aderiu ao convênio do CONFAZ.

Outro incentivo para a GD é a isenção de PIS/Pasep e do Cofins por intermédio da lei n°13.169 de 6 de outubro de 2015. Desta maneira a energia injetada na rede também fica isenta desta tarifa. Ainda é importante ressaltar o apoio do BNDS reforçado pela lei 13.203 de 8 de dezembro de 2015 para projetos desta natureza com taxas diferenciadas (MME, 2015d).

A primeira alteração da Resolução Normativa n° 482/2012 se deu através da Resolução Normativa n° 517/2012 cujas mudanças permitem a possibilidade para o consumidor utilizar seus créditos de energia em outra unidade consumidora. Isto apenas

se a outra unidade consumidora pertencer ao mesmo titular do CPF ou CPNJ. Além disso, também estabelece a diferenciação de compensação para os diferentes grupos consumidores A e B. Para consumidores do grupo A com características mais industriais a potência instalada da microgeração ou minigeração fica limitada à demanda contratada. Para consumidores do grupo B com características mais residenciais e comerciais a potência instalada fica limitada à carga instalada.

Além da Resolução Normativa nº 517/2012 tornou-se necessário aplicar uma nova alteração da Resolução Normativa nº 482/2012 o que implicou na publicação da Resolução Normativa nº 687/2015 para revisar tais termos. O principal foco desta revisão é a redução de custos e tempo requerido para a conexão da microgeração ou da minigeração na rede. Além desta revisão esta nova Resolução Normativa tem como objetivo a compatibilidade do Sistema de Compensação de Energia Elétrica e suas condições gerais de fornecimento (ANEEL, 2015).

De acordo com a nova Resolução Normativa nº687 o uso de qualquer fonte renovável é consentido, além da cogeração qualificada. Isto posto, os valores de potências instaladas que caracterizam microgeração não devem superar 75kW. Já para a minigeração distribuída é toda aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW para a cogeração qualificada. Um detalhe para estas modalidades de geração, é a transformação da energia injetada na rede local em créditos para o abatimento na tarifa. Assim se a energia gerada for maior que a consumida, este montante é transformado em crédito de energia a ser utilizada em um prazo de até 60 meses, anteriormente este prazo era de 36 meses. Caso seja da opção do usuário estes mesmo créditos poderão ser utilizados em uma unidade consumidora situada em outro local. Para que isto ocorra, a unidade consumidora deve ser do mesmo titular e pertencer na mesma área de atendimento de sua distribuidora local. Essa modalidade de utilização dos créditos foi chamada de “autoconsumo remoto” (ANEEL, 2015).

A partir da Resolução Normativa Nº 687/2015 o reforço da rede elétrica ou eventuais melhorias ficará ao encargo da concessionária isentando o consumidor de qualquer custo no que se diz respeito a microgeração. Entretanto, para o caso de minigeração distribuída, eventuais reforços ou melhoras ficam ao encargo do consumidor. Outra vantagem é a decisão do titular no percentual de energia excedente a ser compensada para suas demais unidades consumidoras.

A Resolução Normativa Nº687/2015 ainda estabelece as informações contidas na fatura dos consumidores pelos quais exercem a microgeração ou minigeração:

- a) informação da participação da unidade consumidora no sistema de compensação de energia elétrica;
- b) o saldo anterior de créditos em kWh;
- c) a energia elétrica ativa consumida, por posto tarifário;
- d) a energia elétrica ativa injetada, por posto tarifário;
- e) histórico da energia elétrica ativa consumida e da injetada nos últimos 12 ciclos de faturamento;
- f) o total de créditos utilizados no ciclo de faturamento, discriminados por unidade consumidora;
- g) o total de créditos expirados no ciclo de faturamento;
- h) o saldo atualizado de créditos;
- i) a próxima parcela do saldo atualizado de créditos a expirar e o ciclo de faturamento em que ocorrerá.

Assim que se tornou possível a instalação de um sistema fotovoltaico para geração de energia, tem-se a necessidade de regulamentar estes sistemas uma vez que tais medidas têm por objetivo garantir a qualidade das instalações. Além do mais deve-se garantir a viabilidade e segurança para o consumidor. Algumas regulamentações também foram elaboradas para estimular os investimentos principalmente em energias renováveis.

A NBR 10899:2006 tem como meta definir as terminologias referentes exclusivamente à conversão fotovoltaica da energia radiante solar em energia elétrica. Já a NBR 11704:2008 classifica os sistemas de conversão de energia solar em elétrica

No que se diz respeito aos ensaios e verificações dos equipamentos utilizados nas conexões elétricas, o referido assunto é tratado na NBR 16149:2013.

Dado que a concessionária de energia do Estado do Paraná é a COPEL, e que para a geração distribuída é necessária a utilização dos sistemas de distribuição da concessionária. Deve-se levar em conta a norma técnica NTC 905100 pela qual abrange todos os requisitos necessários para o uso dos sistemas de distribuição da COPEL.

### 3 PROCESSO DE PRÉ-AVALIAÇÃO

Neste capítulo são determinados os parâmetros a serem analisados pelo aplicativo no processo de pré-avaliação. Além das definições sobre todos os parâmetros utilizados, são descritos as formas pelas quais o aplicativo interpreta cada tipo de parâmetro, por meio de sistemas de pontuações. As diferentes medidas são padronizadas em um sistema de pontuação próprio para no final serem analisadas, e partir de então ser divulgado o resultado final com base nas pontuações de cada parâmetro .

#### 3.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS E PONTUAÇÃO

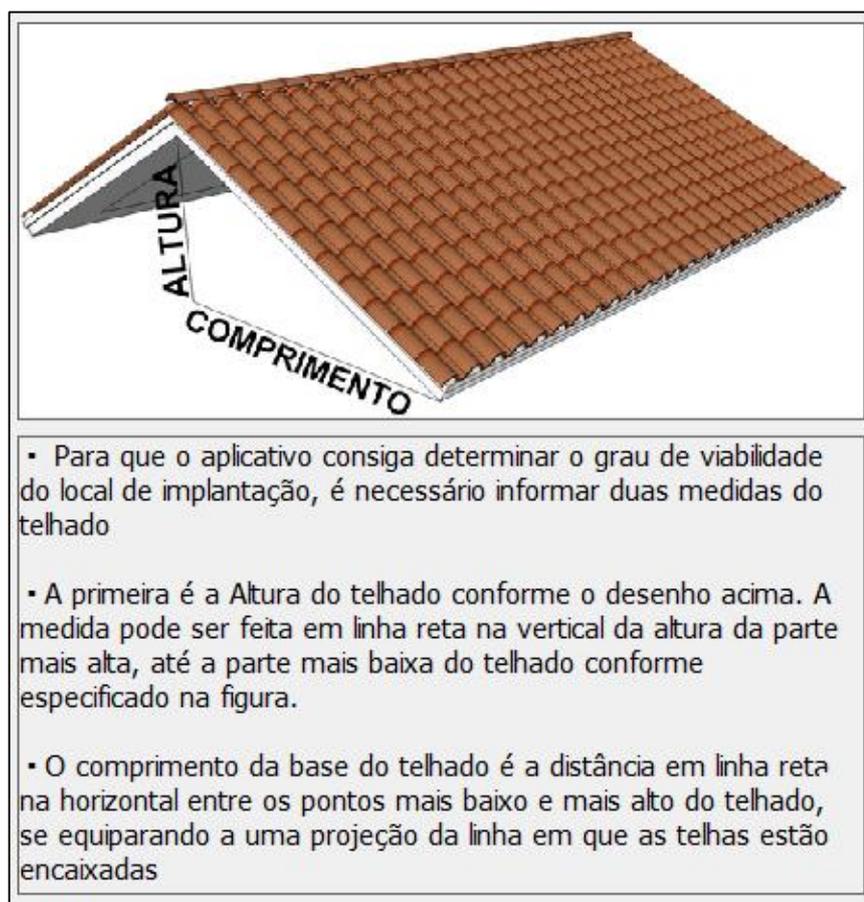
Inicialmente uma análise foi feita para se definir os critérios no intuito de se realizar uma pré-avaliação do local. Portanto, fatores considerados fundamentais para a implementação de geração elétrica fotovoltaica, tiveram uma classificação correspondente. Assim através das grandezas de cada critério, foi estabelecida uma pontuação com valor máximo de 10 e com valor mínimo variando conforme o parâmetro de análise. Os fatores pelos quais influenciam na produção de energia são: Inclinação, Orientação, Sombreamento, Local da residência e Área disponível para a implantação.

Feito isto, é importante salientar o método considerado para compilação dos dados e posterior resultado destas grandezas. Assim com base nestes cinco tópicos, foi elaborada uma média ponderada dos resultados finais. O sistema de pontuação é individual, ou seja, para cada tópico existe um cálculo em particular para que na definição da média ponderada todos possuam o mesmo padrão. Os pesos de cada tópico foram distribuídos de tal forma que aqueles contribuintes de uma parcela maior na produção de energia elétrica obtiveram um maior peso, sem que os outros critérios ficassem irrelevantes na pré-análise.

##### 3.1.2 Inclinação

Dado que no plano inclinado o índice de produtividade é maior, torna-se necessário inclinar o painel fotovoltaico. O valor ideal para o território brasileiro pode ser definido como igual a latitude do local, e é expresso em graus. Desta maneira, ao se

aproximar o ângulo em que o painel é instalado da latitude, é possível conseguir ao longo do ano o máximo rendimento esperado, com orientação para o norte geográfico. Todavia, existe a dificuldade de estabelecer no local de aplicação o valor da inclinação pela qual seja possível realizar a análise. Em Curitiba, este valor pode ser aproximado como 25° para fins de análise. Portanto no intuito de facilitar a compreensão do usuário e de que o mesmo consiga realizar as medidas por si só, foi desenvolvido um pequeno tutorial para que o mesmo estabeleça a inclinação aproximada de seu telhado. É importante ressaltar que tal iniciativa tem por base a hipótese de se utilizar a inclinação do telhado, desta maneira a instalação do painel fotovoltaico é feita no mesmo plano da cobertura do telhado. A Figura 18 mostra o tutorial tal como será visto pelo usuário para determinação do ângulo de inclinação da cobertura onde será instalado o SFVCR.

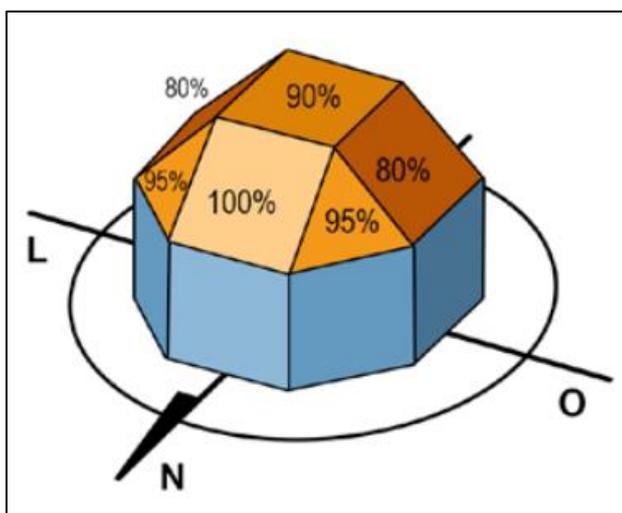


**Figura 18 - Tutorial para o cálculo da inclinação**

**Fonte: Adaptado de A Arquiteta (2016)**

### 3.1.3 Orientação

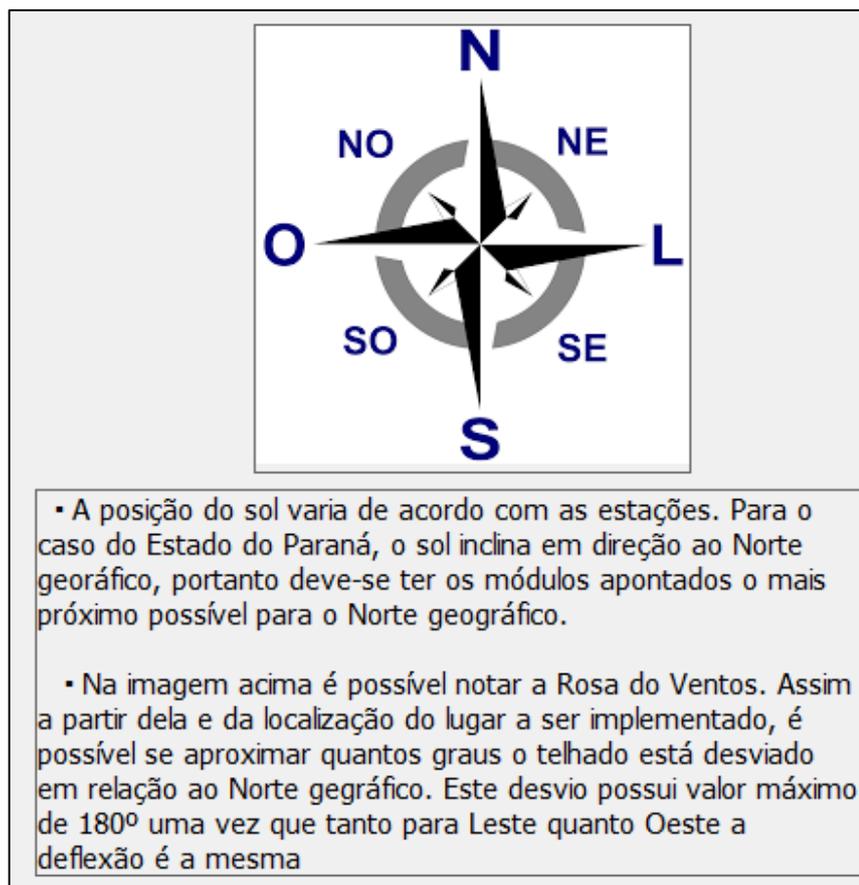
A posição geográfica da residência é importante em razão da inclinação do sol sofrer mudanças de acordo com as estações no ano. Assim sendo, a incidência nos módulos diminui gradativamente até o período de inverno, e aumenta gradativamente até o período de verão. Esta inclinação do Sol tende para o Norte geográfico, como a análise é baseada na produção anual, quanto mais voltado para o Norte mais viável será a implantação do sistema. A Figura 19 aponta como o aproveitamento pode variar de acordo com o posicionamento da placa. Este posicionamento é feito através das diferentes posições geográficas. É possível notar também que apesar de haver uma queda no rendimento, para as orientações que não seja para o Sul não há uma queda significativa no rendimento



**Figura 19 - Aproveitamento de energia solar de acordo com a orientação**

**Fonte: SOLAR (2016)**

Já para a Figura 20, são apresentadas as instruções contendo os passos necessários para a obtenção da orientação da residência. Verifica-se a Rosa do Ventos para demonstrar aproximadamente o desvio do telhado em relação ao Norte Geográfico.



**Figura 20 - Tutorial para a orientação da residência**

Fonte: Adaptado de Wikipédia (2016)

### 3.1.4 Área

A área necessária na cobertura na residência para a implantação do SFVCR é um parâmetro que é definido de acordo com a média de consumo da residência, e é calculado diretamente pelo aplicativo. Para tal leva-se em consideração duas opções. A primeira é o tipo de instalação elétrica, uma vez que de acordo com a resolução nº 414 existe um consumo mínimo para cada tipo de instalação, a fim de cobrir os custos pela disponibilidade do sistema. Cada tipo de consumidor possui um custo de disponibilidade pelo qual é considerado no dimensionamento da potência do SFVCR. Estes custos são de 30 kWh para uma instalação monofásica, 50 kWh para bifásica e 100 kWh para trifásica.

Com a média de consumo de energia elétrica, é possível calcular a potência do sistema a ser instalado. A Equação 1 mostra como é feito o cálculo da potência a ser instalada. Já na Equação 2 é ilustrada a forma como a área é calculada tendo como

parâmetro a potência do sistema e a eficiência do SFVCR, considerada como média para sistemas com tecnologia de silício policristalino uma eficiência de 16%.

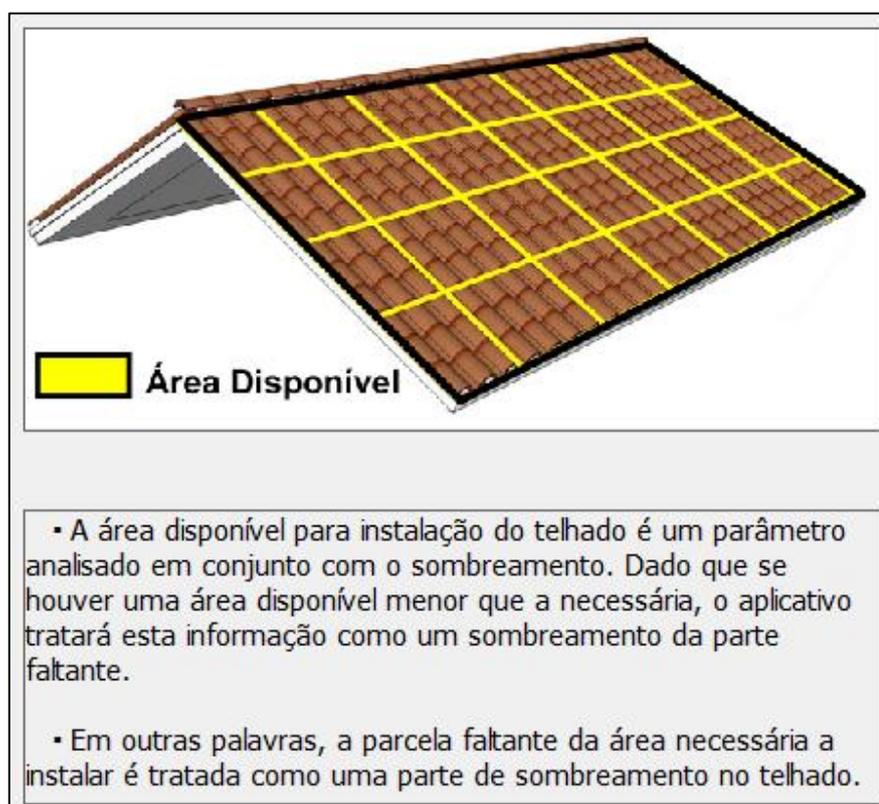
$$\text{Potência} = \frac{\text{Média de consumo} - \text{Custo de disponibilidade}}{\text{Produtividade mensal}}$$

**Equação 1 - Cálculo de potência do SFVCR**

$$\text{Área} = \frac{\text{Potência do Sistema}}{\text{Eficiência}} \times 100$$

**Equação 2 - Cálculo da área necessária para o SFVCR**

Outro importante fator é a área disponível informada pelo usuário. A partir do momento em que o dimensionamento da área disponível é feita, o usuário deve informar a área que ele possui disponível para instalar o sistema no telhado. Tal condição se deve ao fato de que algumas casas podem já contar com sistemas de aquecimento solar, reduzindo o espaço disponível para a implementação do SFVCR. A representação das instruções para o cálculo da área disponível para instalação é feita através da Figura 21.



**Figura 21 - Instruções para a área disponível**

Fonte: Adaptado de A Arquiteta (2016)

### 3.1.5 Sombreamento

O sombreamento é um parâmetro importante para a efetividade do painel, uma vez que para uma área com sombras a produtividade do sistema será afetada. Logo salienta a necessidade deste quesito para o residente do imóvel é de suma importância, para que o mesmo note se existem edificações que possam interferir na incidência da radiação sobre o painel, ou até mesmo árvores e obstáculos que possam por ventura gerar sombreamento. A área informada deve ser em porcentagem do telhado de maneira aproximada.

A Figura 22 exemplifica as informações contidas no aplicativo a fim de auxiliar o usuário no momento de determinar a porcentagem de área sombreada em seu local.



**Figura 22 - Instruções para o sombreamento**

**Fonte: Adaptado de Nova Energia (2015)**

### 3.1.6 Local

Neste trabalho, será utilizada a produtividade média mensal encontrada em cada um dos 399 municípios do Estado do Paraná, conforme estudos realizados por Tiepolo (2015). Desta forma, ao se determinar o local onde será realizada a possível instalação

do SFVCR, será considerada para o cálculo da potência do SFVCR a produtividade média do município em questão.

No aplicativo é disponibilizada para consulta uma lista dos municípios do Estado, com seus respectivos valores de produtividade anual e a média mensal. A tela informativa sobre o local é apresentada na Figura 23.



**Figura 23 - Instruções sobre o município**

**Fonte: Adaptado de Ministério Público do Estado do Paraná (2014)**

Os valores de produtividade apresentados foram calculados seguindo as seguintes premissas: módulos orientados para o Norte geográfico, SFVCR de 1 kWp, taxa de desempenho de 0,75, inclinado na latitude do local e sem sombreamento.

Na Figura 24 é possível notar como os Municípios estão distribuídos com seus respectivos valores de produtividade anual e a média mensal.

Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano para	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.mês
Abatã	1563	130,2500
Adrianópolis	1348	112,3333
Agudos do Sul	1360	113,3333
Almirante Tamandaré	1380	115,0000
Altamira do Paraná	1526	127,1667
Alto Paraíso	1543	128,5833
Alto Paraná	1563	130,2500
Alto Piquiri	1540	128,3333
Altônia	1533	127,7500
Alvorada do Sul	1570	130,8333
Amaporã	1553	129,4167
Ampére	1522	126,8333
Anahy	1529	127,4167
Andirá	1573	131,0833
Ângulo	1557	129,7500
Antonina	1294	107,8333
Antônio Olinto	1359	113,2500
Apucarana	1549	129,0833
Arapongas	1557	129,7500
Arapoti	1522	126,8333
Arapuã	1540	128,3333
Araruna	1546	128,8333
Araucária	1379	114,9167
Ariranha do Ivaí	1540	128,3333
Assaí	1554	129,5000
Assis Chateaubriand	1534	127,8333
Astorga	1562	130,1667
Atalaia	1562	130,1667
Balsa Nova	1401	116,7500
Bandeirantes	1568	130,6667
Barbosa Ferraz	1541	128,4167
Barra do Jacaré	1570	130,8333
Barracão	1510	125,8333
Bela Vista da Caroba	1524	127,0000
Bela Vista do Paraíso	1578	131,5000
Bituruna	1422	118,5000
Boa Esperança	1539	128,2500

Voltar

**Figura 24 - Lista de Municípios para consulta do usuário**

### 3.1.7 Pontuação

Após a escolha e definição dos parâmetros necessários para a efetuação do processo de pré-análise, foi necessário desenvolver um método de cálculo para que os valores informados possam chegar a uma decisão quanto a viabilidade de implantação de um SFVCR. O método de cálculo consiste na média ponderada dos parâmetros informados de tal modo que, aqueles que possuem maior influência sobre a eficiência do sistema terão pesos maiores atribuídos a eles.

A pré-análise será fundamentada através do resultado do cálculo da média ponderada. Uma vez que os parâmetros possuem diferentes tipos de valores o que torna difícil a comparação direta entre eles, para se chegar a um valor padronizado tornou-se necessário utilizar um sistema de pontuação. Portanto, através de critérios pré-estabelecidos definiu-se que para cada faixa de valores, a nota dez foi dada como o valor máximo de pontos para um parâmetro. A nota mínima varia de acordo com o tipo de parâmetro bem como os métodos para a obtenção da pontuação de cada parâmetro.

### 3.1.7.1 Produtividade

Para a produtividade, primeiramente foi considerada a variação entre o município de menor e de maior valor. Após a diferença de valores entre os municípios de Matinhos, que representa o de menor valor, com o de Miraselva que possui o maior valor, dividiu-se este valor em 6 faixas de pontuação. Para cada faixa foi estabelecida através do decréscimo de 63 kWh/kWp.ano a contar da produtividade apresentada em Miraselva. A menor nota possível para este item é 5 e a maior 10, sendo o peso para a irradiância no cálculo final é igual 3.

### 3.1.7.2 Inclinação

Para este estudo será considerado que o SFVCR será aplicado à cobertura da edificação, seguindo a mesma inclinação e orientação existente no telhado. Logo quanto mais próximo da latitude mais viável é a implantação do SFVCR. Assim sendo, para a análise deste quesito foi considerado um peso final menor, mas que houvesse certa relevância na análise, sendo atribuído peso 2.

O cálculo para pontuação foi estabelecido de acordo com a variação do ângulo de inclinação do telhado (em módulo). Para este cálculo foi considerado um valor máximo de 90°. Neste caso a pontuação será igual a 0. A Equação 3 determina uma pontuação para a inclinação.

$$Pontuação = 10 - \left| \frac{25 - \text{ângulo fornecido}}{6,5} \right|$$

**Equação 3 - Pontuação de Inclinação do SFVCR**

### 3.1.7.3 Sombreamento

O sombreamento é responsável pela área útil a ser utilizada no telhado para a produção de energia, e segue com peso 2 da inclinação na média ponderada. Assim através de uma estimativa do usuário, o valor informado é aproximado em porcentagem do telhado a ser instalado o SFVCR. Para o cálculo de sua pontuação estima-se o total de área não sombreada, ou seja, a porcentagem informada é aquela em que exista a

ocorrência de sombras sem a incidência direta. Sua pontuação é determinada conforme a Equação 4.

Neste cálculo, o usuário deverá informar o percentual da área disponível no telhado onde se pretende instalar o SFVCR.

$$\text{Pontuação} = 10 - \frac{\text{Percentual da área sombreada}}{10}$$

**Equação 4 - Pontuação de sombreamento do SFVCR**

#### 3.1.7.4 Orientação

A orientação é um importante fator de análise, uma vez que no caso em questão os painéis fotovoltaicos devem estar voltados para o Norte geográfico ou o mais próximo o possível. Tal fato se deve pela mudança da posição do sol ao longo das estações do ano. Para este quesito foi atribuído peso 3 no cálculo final. A Equação 5 mostra a forma como é calculada a pontuação podendo variar entre 10 e 8, para valores de desvio entre 0 e 90° (tanto a Leste quanto a Oeste) em relação ao Norte Geográfico. A partir de 90° até sua variação máxima de 180°, que pode ser tanto para Leste quanto para Oeste, a pontuação varia entre 5 e 0 e seu resultado é obtido através da Equação 6.

$$\text{Pontuação} = 10 - \frac{\text{Desvio em relação ao Norte}}{45}$$

**Equação 5 - Equação para pontuação da Orientação com desvio de até 90°**

$$\text{Pontuação} = 8 - \frac{\text{desvio em relação ao Norte}}{30}$$

**Equação 6 - Equação para pontuação da Orientação com desvio entre 91° e 180°**

#### 3.1.7.5 Resultado final

Calculado através da média ponderada dos parâmetros, o resultado final tem por base quantizar a pré-análise feita para que seja possível divulgar o grau de viabilidade de implantação. Para este cálculo foram adotados quatro parâmetros: Produtividade, Inclinação, Sombreamento e Orientação. Como a produtividade e a orientação influem

mais na viabilidade do sistema ambos possuem peso 3 no cálculo da média. Para a inclinação e sombreamento, adotou-se o peso 2, o que não deixam os valores irrelevantes, mas ao mesmo tempo salientam a importância da produtividade do local e orientação da residência.

A soma dos pesos foi desenvolvida para que seu resultado seja 10, a fim de facilitar na especificação dos graus de viabilidade. Desta maneira a análise final fica simplificada, adotando-se um sistema de escalas para a determinação final. Sendo assim, na Equação 7 é representada a média ponderada com os respectivos pesos de cada parâmetro. Nessa Equação são compostos dois tipos de pesos, sendo o primeiro de valor três para os parâmetros que mais influem na produtividade e o segundo de valor dois para aqueles fatores que influenciam na produtividade, sem que os mesmos percam a sua importância na análise. A escolha por estes valores foi determinada para que a soma final dos pesos fosse dez, tal valor é uma forma de se padronizar o resultado e facilitar na distribuição dos pesos para parâmetros com influência semelhante na produtividade do sistema.

$$\text{Pontuação Final} = \frac{(\text{Produtividade} \times 3) + (\text{Orientação} \times 3) + (\text{Inclinação} \times 2) + (\text{Sombreamento} \times 2)}{10}$$

#### Equação 7 - Pontuação final para a pré-análise

Com o resultado final, foi elaborado uma escala de conceitos com o objetivo de informar o grau de viabilidade em que a situação informada se encontra. Esta escala de conceitos está associada ao valor da pontuação final e está informada através da Tabela 4.

Tabela 4 - Graus de viabilidade de acordo com a pontuação final

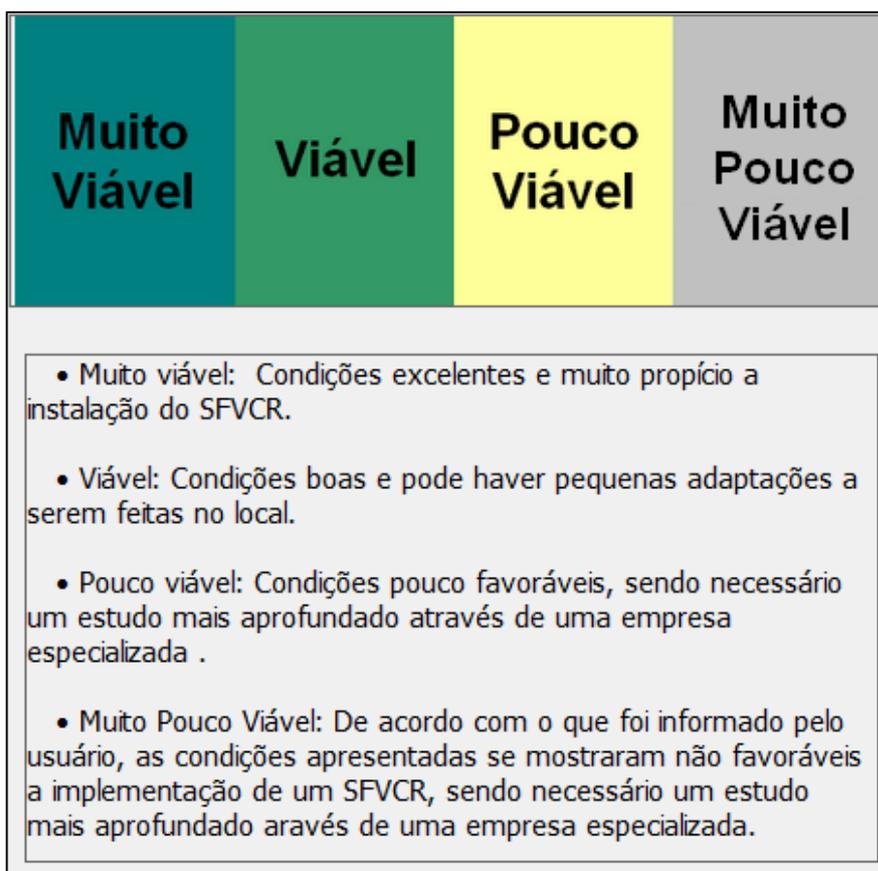
<b>Pontuação final</b>	<b>Grau de viabilidade</b>
Maior e igual a 8 até 10	Muito Viável
Maior e igual a 6 até 8	Viável
Maior e igual a 5 até 6	Pouco Viável
Menor que 5	Muito Pouco Viável

Cada grau de viabilidade representa as características do meio e pode além de tudo informar o usuário acerca das condições do local, bem como se é necessário fazer

adaptações segundo os dados fornecidos. Assim cada grau pode ser caracterizado como:

- Muito viável: Condições excelentes e muito propício a instalação, sem a necessidade de fazer adaptações.
- Viável: Condições boas e pode haver pequenas adaptações a serem feitas no local.
- Pouco viável: Condições pouco favoráveis, sendo necessário um estudo mais aprofundado através de uma empresa especializada.
- Muito Pouco Viável: De acordo com o que foi informado pelo usuário, as condições apresentadas se mostraram não favoráveis a implantação de um SFVCR, sendo necessário um estudo mais aprofundado através de uma empresa especializada.

Para a representação do que significa cada conceito para o local de estudo, foi desenvolvida uma pequena definição na página de instruções. O objetivo desta definição é auxiliar o usuário a entender o que o resultado final significa, e se será necessário realizar alterações ou não na área a ser instalada. Estas instruções podem ser vistas através da Figura 25 que expressa as definições dos conceitos de graus de viabilidade vistos anteriormente.



**Figura 25 - Definição dos graus de viabilidade**

### 3.2 Relatório de Pré-Análise

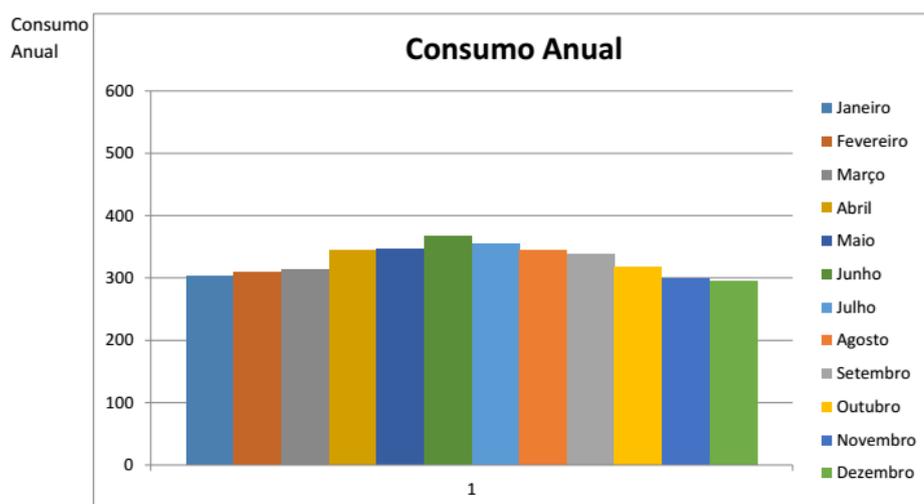
Após a pré-análise feita por meio do aplicativo, tem-se a necessidade de gerar um relatório com todos os dados informados e as considerações finais em relação ao local de aplicação.

Primeiramente, o usuário deverá selecionar o nome do arquivo e a pasta em que será gerado seu relatório. Feito isto, o arquivo gerado está em formato PDF a fim de facilitar na leitura do arquivo. No relatório conforme Figura 26 estão contidos os dados referentes à localização da residência, bem como as informações do município tais como a média de produtividade anual em kWh/kWp.

Relatório de Pré-análise			
Nome:	Fulano da Silva		
Endereço:	Rua Qualquer, 133		
Cidade:	Figueira		
Produtividade anual em kWh/kWp	1517	Instalação	Monofásica
Produtividade anual média em kWh/kWp	126,4166667		

**Figura 26 - Dados referentes a residência**

O gráfico contido de acordo com a Figura 27 tem em sua essência informar através de um recurso visual a evolução do consumo de energia elétrica em uma residência. Assim sendo, seu principal objetivo é demonstrar nas diferentes épocas do ano como é o comportamento das cargas.



**Figura 27 - Gráfico do consumo anual de energia**

Por fim as informações contidas na Figura 28 sobre média de consumo e carga abatida juntamente com o tipo de instalação elétrica são importantes no final, levando em conta todos os parâmetros, é a pré-análise do aplicativo. Com uma breve descrição da situação da residência.

Caso a área disponível para instalação seja menor que a área necessária para atender a potência do sistema, o aplicativo informará a potência máxima possível para a área determinada.

Média do Consumo	<input type="text" value="327"/>	kWh		
Área a Instalar	<input type="text" value="8,81"/>	m <sup>2</sup>	Potência a Instalar	<input type="text" value="1,41"/>
Área a aplicar	<input type="text" value="10"/>	m <sup>2</sup>	Sombreamento	<input type="text" value="23"/>
Desvio do Norte	<input type="text" value="34"/>	°	Inclinação do telhado	<input type="text" value="30,96"/>
Resultado	<p>Local muito viável para a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede.            Análise realizada de acordo com os dados informados ao aplicativo, para uma abordagem mais específica para o estudo de caso favor consultar uma empresa especializada</p>			

Figura 28 - Resultado final da pré-análise

#### 4 PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO APLICATIVO

Como forma de validar o aplicativo, a pré-análise foi aplicada em três casos com sistemas já implementados a fim de comparar os resultados do aplicativo com sistemas vigentes. Desta maneira, foi possível através destas validações verificar a eficácia do método e da maneira em que as variáveis foram consideradas no cálculo.

##### 4.1 VALIDAÇÃO EM UMA RESIDÊNCIA EM CURITIBA

Na Figura 29 é mostrado o local da análise com detalhes para a o posicionamento da residência para a rua.



**Figura 29 - Local da validação do software**

**Fonte: ORTUS Engenharia (2016)**

Já a Figura 30 mostra com mais detalhes o local de instalação painéis.



**Figura 30 - Detalhe da instalação do painel fotovoltaico**

**Fonte: ORTUS Engenharia (2016)**

Primeiramente, o município da residência a ser analisada foi Curitiba. Este caso trata-se de um imóvel residencial, e a produtividade anual do município é 1372 kWh/kWp com média mensal de 114,33 kWh/kWp. O primeiro dado é avaliado na pontuação deste parâmetro para o resultado final, já a média mensal é relevante para o aplicativo para fins de dimensionamento.

Feito isto é necessário tomar conhecimento da instalação elétrica da residência, pois conforme a resolução normativa nº 414, existe a cobrança de um consumo mínimo como forma de arcar custos de disponibilidade do sistema. Uma vez que a instalação é trifásica, o consumo mínimo é de 100 kWh e assim é abatido na média mensal de consumo do usuário. Em outras palavras, retira-se este valor da média do consumo para que o sistema seja dimensionado levando em conta este consumo necessário.

Após a quantidade de fornecimento de energia, torna-se necessário saber da média de consumo da residência. Pois como o dimensionamento se dá pela média dos meses no período de um ano, a potência total do sistema e a área a ser instalada dependem deste fator. A seguir a Tabela 5 com os valores de consumo em um período de doze meses.

Tabela 5 - Consumo em kWh da residência analisada

<b>Mês / Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Novembro 2015	329
Dezembro 2015	290
Janeiro 2016	294
Fevereiro 2016	295
Março 2016	289
Abril 2016	324
Mai 2016	289
Junho 2016	335
Julho 2016	337
Agosto 2016	279
Setembro 2016	287
Outubro 2016	326

Com estes valores a média mensal obtida para o consumo é de 306 kWh, importante parâmetro no dimensionamento do sistema e posterior análise da área a ser implementada. O valor da potência do SFCR calculado pelo aplicativo foi de 1,44 kWp para uma área de 9 m<sup>2</sup> necessárias para esta instalação. O sistema instalado para este caso foi de 1,82 kWp para uma área de 11,55 m<sup>2</sup>. As diferenças nos valores podem ser explicadas pelo fato de não ser possível atingir o valor de 9m<sup>2</sup> para a área instalada, devido às dimensões do painel escolhido a ser instalado. Além do mais, para o cálculo do aplicativo foi considerado um painel de Silício Policristalino com eficiência de 16%, podendo este valor mudar de acordo com o tipo e fabricante de painel escolhido.

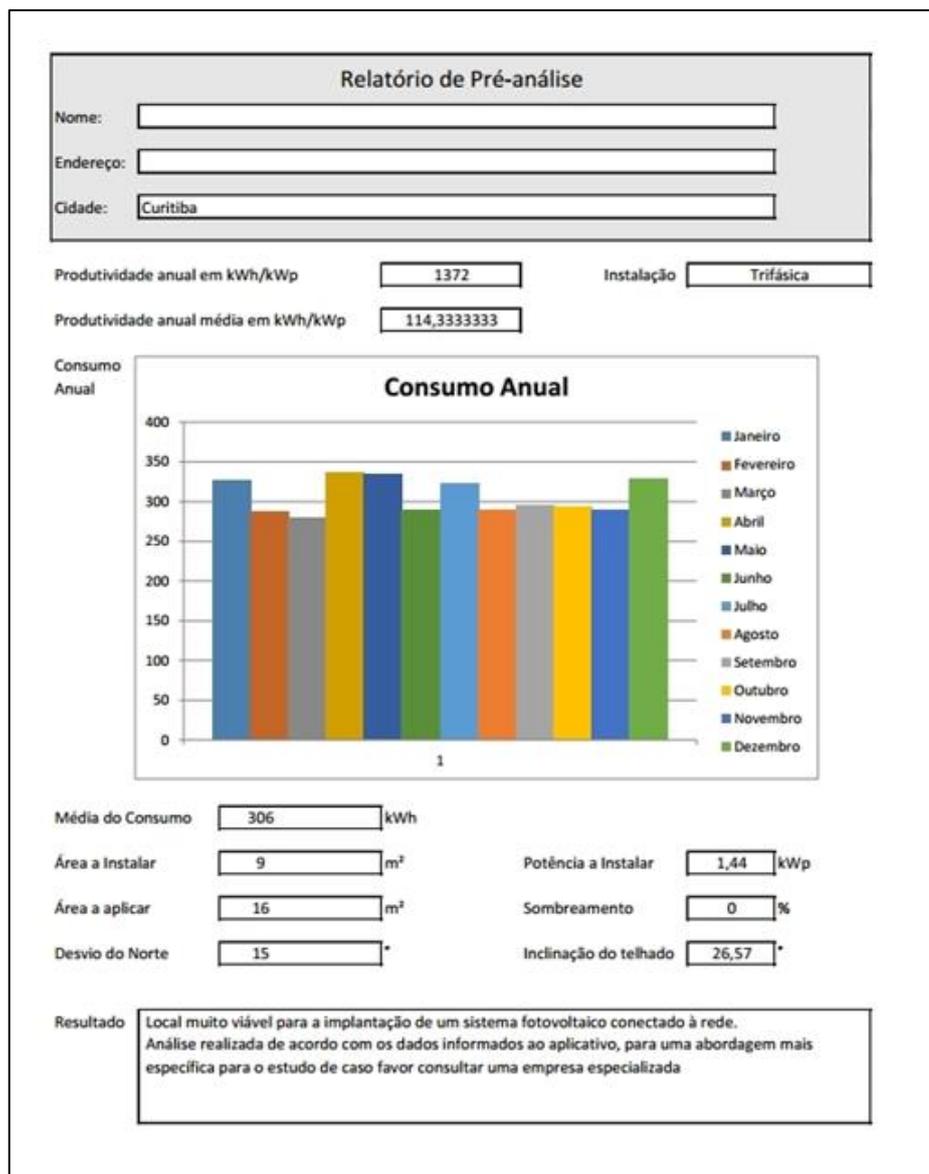
O telhado dispõe de uma inclinação de 26,57°, o que se aproxima em muito da inclinação ideal para o Estado do Paraná que é 25°. Esta condição torna-se um importante fator, já que de uma maneira aproximada é o valor ideal e contribui para a viabilidade do sistema.

E por fim o último dado coletado é o desvio do telhado em relação ao Norte. Na residência o valor atingido foi de 15°, este valor caracteriza um bom posicionamento do

local em que o SFVCR foi instalado. Com pequena deflexão em relação ao Norte, e por conseguinte é possível se manter uma maior produtividade durante todo o ano.

Sob o aspecto do aplicativo, os dados foram computados e analisados. Em todos os casos o local se mostrou favorável à implementação e não houve nenhuma restrição na aplicação. Logo o resultado final tendo por base estes parâmetros foi: Muito viável. Fato este que entra em consenso com o que foi avaliado pela empresa responsável pela instalação. Desta maneira o aplicativo se mostrou eficaz para a pré-análise de viabilidade na inserção de geração de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico. Mesmo que o aplicativo não forneça a precisão de um estudo de caso realizado por uma empresa especializada, é possível notar uma semelhança entre as duas análises.

A Figura 31 representa o relatório tal qual foi gerado pelo aplicativo e desta maneira visualizado em sua versão final para o local implementado.



**Figura 31 - Relatório final da validação do aplicativo para a residência**

A partir do relatório disposto na Figura 31 é possível então através dos dados fornecidos definir que o local de implementação do SFVCR é muito viável. Uma vez que não há ocorrência de sombreamento, bem como o baixo desvio em relação ao Norte Geográfico e a Inclinação próxima a 25° são importantes dados. Além disso como informações complementares tem-se a potência do sistema e a área a instalar informada ao usuário.

## 4.2 VALIDAÇÃO EM UMA ESCOLA EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON

Neste segundo caso a validação foi aplicada na Escola Municipal Criança Feliz, localizada no município de Marechal Cândido Rondon. A Figura 32 exibe os painéis instalados no telhado da escola.



**Figura 32 - Módulos fotovoltaicos instalados na escola**

**Fonte: SUNNY PORTAL (2016)**

Este município possui uma produtividade anual de 1.492 kWh/kWp com uma média mensal de 124,33 kWh/kWp. Novamente, o primeiro dado é utilizado na pontuação do parâmetro para o resultado final e o segundo é importante para o aplicativo na hora do dimensionamento.

Como citado na primeira validação, deve-se levar em conta a resolução normativa nº 414, retirando 100kWh da média do consumo para que o sistema seja dimensionado.

Apesar de não possuir os dados do consumo médio da escola, é sabido que o sistema foi implementado para atender toda a demanda energética da mesma. Neste caso, foram instalados 50 módulos fotovoltaicos com 260Wp de potência cada, resultando em um sistema de 13.000 kWp, com uma produção anual média esperada de 18.720 kWh. É de suma importância salientar que a diferença entre o dimensionamento

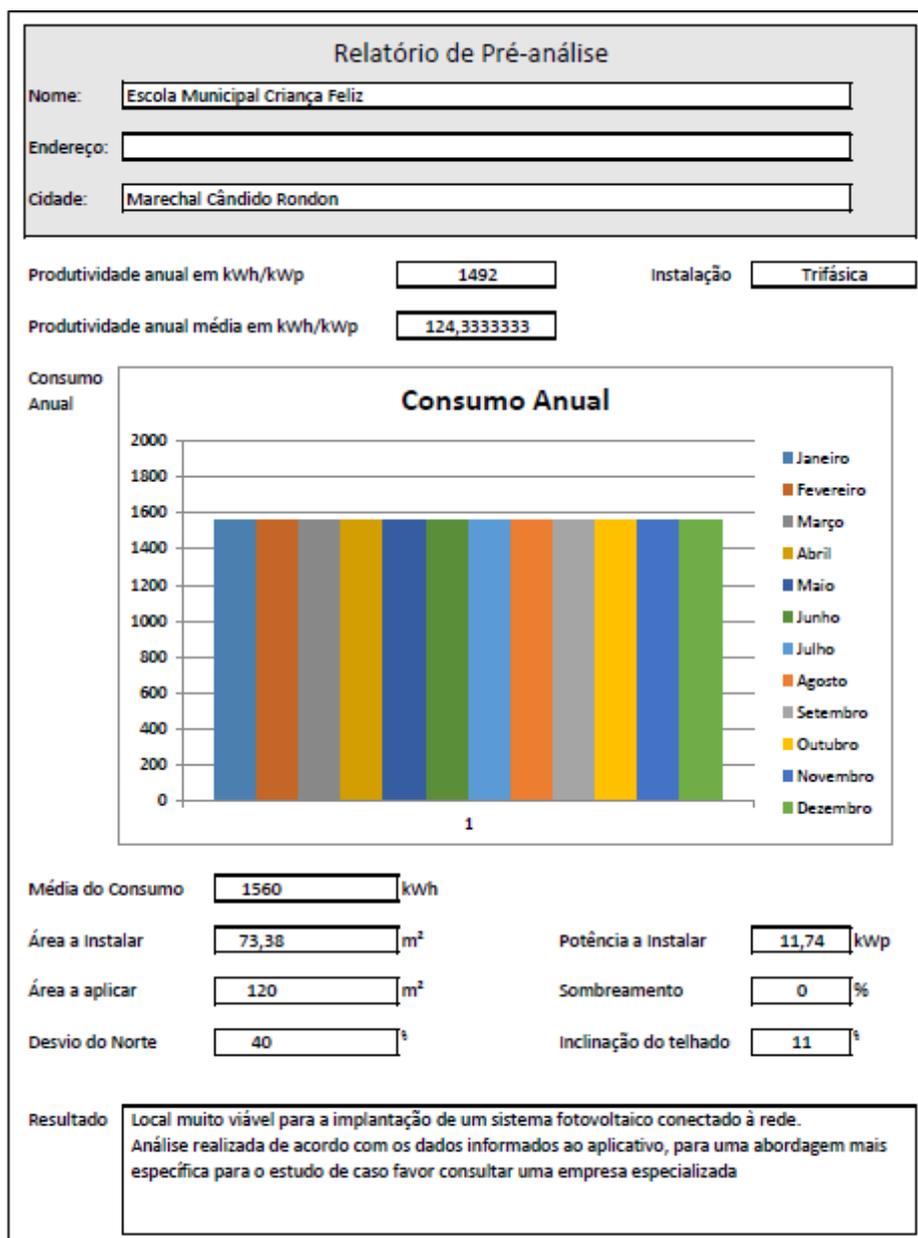
dos sistemas (13 kWp e 11,74 kWp), se deve a diferença de consideração na produtividade anual. Com valor aplicado de 1440 kWh/kWp e média mensal de 120 kWh/kWp.

O telhado possui uma inclinação de  $11^\circ$ , que não é a ideal, porém está próxima dos  $24^\circ 33'$  de latitude do município. Por essa diferença não ser muito grande, não terá uma influência significativa na viabilidade do sistema.

A região onde a escola se localiza não possui prédios ou árvores próximas que possam causar sombreamento sobre os painéis. A área disponível para a instalação do sistema também é outro fator positivo, uma vez que pode-se utilizar todo o telhado da escola para a instalação do sistema.

O último dado restante para se coletar é o desvio do sistema em relação ao Norte. O valor correspondente para o desvio é de  $40^\circ$ , número considerado satisfatório com pouca influência no desempenho do SFVCR em questão.

Na Figura 33 é dada o relatório final gerado após a análise realizada pelo aplicativo. Conforme esperado, o resultado foi bastante positivo, definindo o local do sistema instalado como um ponto “muito viável” para a instalação de um SFVCR.



**Figura 33 - Relatório final da validação do aplicativo para a escola**

No resultado final também é chegada a conclusão de que o SFVCR possui um grau de viabilidade classificado como muito viável de acordo com a Figura 33. Pela análise dos dados do relatório é verificado que não há ocorrência de sombreamento, o desvio em relação ao Norte Geográfico é um pouco maior, entretanto não influencia para que o SFVCR tenha uma significativa queda de produtividade. De maneira análoga a Inclinação também não possui valor alarmante.

### 4.3 VALIDAÇÃO EM CURITIBA PARA UM SISTEMA COM MAIOR CONSUMO

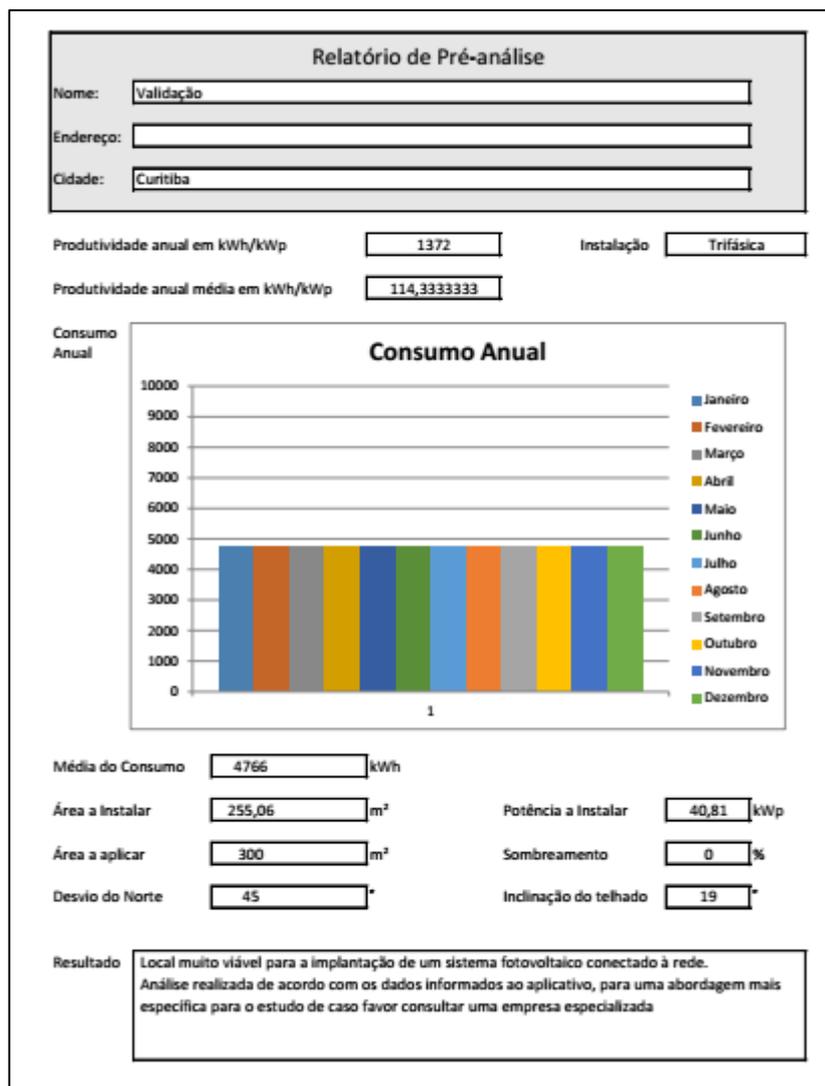
A terceira pré-análise também foi desenvolvida no município de Curitiba, entretanto para um SFVCR com uma maior potência instalada. O relatório dos dados coletados é apresentado através da Figura 34. Nele é possível observar as características do sistema, assim como na primeira validação a produtividade anual é 1372 kWh/kWp com média mensal de 114,33 kWh/kWp. O consumidor possui instalação trifásica, portanto o custo de disponibilidade do sistema tal como os casos anteriores é 100 kWh.

Por se tratar de um SFVCR com média de consumo maior que as anteriores, a potência foi a maior dentre os casos de validação com valor de 40,81 kWp. Logo a área necessária para a instalação foi definida com 255,06 m<sup>2</sup>. Toda esta área de aplicação não possui sombreamento em nenhuma parte do dia, condição ideal para que não haja interferência na produtividade do SFVCR.

O local de instalação do SFVCR é orientado a Nordeste, conseqüentemente o valor de desvio em relação ao Norte Geográfico foi tomado por 45 °. Este valor embora maior que os demais casos não refletiu em problemas, uma vez que mesmo não sendo apontado diretamente para o Norte, o desvio não é significativo a ponto de reduzir drasticamente a produção de energia elétrica.

A inclinação do telhado possui valor de 19° e assim como os parâmetros anteriores está muito próximo da melhor condição para a produção de energia em Curitiba definida em 25°.

Em análise de todos os parâmetros o aplicativo apresentou o resultado deste local como “muito viável”, que representa em ótimas condições para a produtividade de energia elétrica através do SFVCR. Este resultado reforça a eficácia do aplicativo tendo por base casos já implementados com características distintas em razão da carga e demais parâmetros.



**Figura 34 – Relatório final do terceiro caso estudado**

Em análise ao relatório apresentado na Figura 34 o resultado final também é de um grau de viabilidade classificado como muito viável. Por meio da interpretação dos dados dispostos, é possível afirmar de que os parâmetros analisados tais como Sombreamento, Desvio em relação ao Norte Geográfico e a Inclinação do telhado contribuem para que o SFVCR seja classificado como muito viável.

## 5 CONCLUSÃO

Com as resoluções normativas possibilitando ao consumidor a geração distribuída, e com os incentivos vigentes em uma considerável parte dos Estados brasileiros. Torna-se importante o desenvolvimento de novas ferramentas, que auxiliem no processo de implementação da geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos.

Sob este novo contexto, o aplicativo foi desenvolvido para que seja possível realizar uma pré-análise acerca da viabilidade de instalação no local. Assim através de rápidas instruções e o fornecimento de informações sobre a residência, é possível verificar o grau de viabilidade. Além do mais, apresentado de maneira intuitiva, o aplicativo não exige precisão no momento de obtenção das medidas.

Após pesquisas a respeito dos fatores que influenciam na produtividade de um SFVCR, foram definidos os métodos e o sistema de pontuação. Alguns fatores em que não é possível conseguir definir medidas, tal como a temperatura, não puderam ser considerados no momento do cálculo justamente por não ser possível obter um valor para o cálculo feito pelo aplicativo. Uma vez que para fins de análise dos dados, era necessário um método de cálculo para divulgação do resultado final.

Uma vantagem deste aplicativo, é de que ele analisa as condições referentes à produção de energia elétrica. Desta maneira ele pode ser aplicado em residências e estabelecimentos comerciais.

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma ferramenta para quem deseja instalar o sistema e obter informações que não sejam com a empresa de instalação. Garantindo a eficácia na análise, os parâmetros informados pelo usuário por meio das instruções mesmo que de forma aproximada garante este primeiro contato do estudo de implantação. É importante salientar que tal diagnóstico não possui a precisão de um estudo levantado por uma empresa especializada, pois trata-se de uma pré-análise.

O aplicativo desenvolvido neste trabalho não se encontra em sua versão final. Para tal o aplicativo deve passar por um número maior de amostras a fim de que os parâmetros e pontuações possam ser calibrados, o que faz com que o resultado final seja mais preciso.

Para o dimensionamento do sistema foi considerado um painel de Silício Policristalino com 16% de eficiência, o que pode ser considerado um valor frequente dada a tecnologia atual.

### Trabalhos futuros

- Análise Financeira tais como financiamentos e simulações
- Cálculo do preço da tarifa a ser paga
- Previsão da produção de energia a cada mês
- Pré-análise para condomínios com sistema de divisão no abatimento de cargas
- Desenvolvimento do aplicativo em plataforma para *smartphone*.

## REFERÊNCIAS

A Arquiteta, **Como calcular a quantidade de telhas para telhado**; 2016 Disponível em: <<http://www.aarquitetura.com.br/blog/engenharia-e-construcao-civil/calcular-a-quantidade-de-telhas/>> Acesso em 20 de set. de 2016

ABC – Associação Brasileira de Ciências, **Dos recursos hídricos da Amazônia aos estudos ambientais na Argentina**; 2012 Disponível em: <[http://www.abc.org.br/article.php?id\\_article=2016](http://www.abc.org.br/article.php?id_article=2016)> Acesso em 20 de jun. de 2016

ALDABÓ, Ricardo: **Energia Solar**; 1 ed. São Paulo: Artliber Editora 2002.

ALMEIDA, M. P.; **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**; 2012; 171f. Tese(Mestrado); São Paulo, Disponível em: <[http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Mestrado\\_Marcelo\\_Pinho\\_Almeida.pdf](http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Mestrado_Marcelo_Pinho_Almeida.pdf)> Acesso em 18 de mai de 2016

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; **Capacidade de Geração do Brasil**; Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em 13 de mai. 2016.

\_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica - 2ª Edição**; 2005. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>, Acesso em maio de 2016.

\_\_\_\_\_. **Informações Técnicas**; 2016, Disponível em:<[http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false)> Acesso em 26 de mai. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 11074-2011**: Sistema Fotovoltaico – Classificação; Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Catálogo de normas**; Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 15 mai. 2016.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. **Introdução a Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica**; Ribeirão Preto. 2014. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/wp-content/uploads/2014/04/introducao.pdf>>. Acesso em 13 de mai. de 2016

BNDES, O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreira à sua penetração no mercado; 2005. Disponível em:<[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2436/1/BS%2021%20O%20papel%20das%20fontes%20renov%c3%a1veis\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2436/1/BS%2021%20O%20papel%20das%20fontes%20renov%c3%a1veis_P.pdf)> Acesso em 20 de jun. de 2016

CAMILLO, E.; **As políticas de inovação da indústria de energia eólica: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais**; 2013, UNICAMP, Campinas, São Paulo.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. Exemplo de Tarifa Residencial; 2016a , Disponível em:< [http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e/b2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9/\\$FILE/Exemplo\\_tarifa\\_residencial.doc](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e/b2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9/$FILE/Exemplo_tarifa_residencial.doc)> Acesso em 29 de mai. de 2016.

\_\_\_\_\_. Tarifa Convencional - subgrupo B1; 2016b , Disponível em:< <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fe3a5cb971ca23bf503257488005939ba>> Acesso em 29 de mai. de 2016.

CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE, 2, 2013, Santa Maria. **A Implementação da Energia Elétrica de forma distribuída...**; Disponível em:< <http://coral.ufsm.br/congressodireito/anais/2013/5-1.pdf>> Acesso em 28 de mai. 2016

CRUZ, J. L. C., Geração Distribuída, **O setor elétrico**; 2013, Disponível em:< <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-empresa/1121-geracao-distribuida.html>> Acesso em 20 de jun. 2016

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**; 2012, Rio de Janeiro. Disponível em: < [http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos\\_23/nt\\_energiasolar\\_2012.pdf](http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf)>, acessado em 12 de mai. de 2016.

\_\_\_\_\_. **Balço Energético Nacional 2015**; 2015a. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em 21 de mai. de 2016.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015 – Ano base 2014**; 2015b Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>> Acesso em 21 de mai. de 2016.

\_\_\_\_\_. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**; 2015c. Disponível em: < [http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada).pdf)> Acesso em 13 de jun. de 2016.

\_\_\_\_\_. **Demanda de Energia 2050**; 2016. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>> Acesso em 17 de jun. de 2016.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Energia 2030 – Geração Termonuclear**; 2007 Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia.

FREITAS, G. S.; DATHEIN, R. **AS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**; V. 7, n. 1, jan./jun. 2013

GAZOLI, J.R, VILLALVA, M.G. **Energia Fotovoltaica – Introdução**; 2012 em < [http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81\\_fasc\\_energias\\_renovaveis\\_cap9.pdf](http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81_fasc_energias_renovaveis_cap9.pdf) >, Acesso em 25 out. de 2015.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação**; Comissão Europeia, Fontes de Energia Renováveis, 2004, Disponível em <<http://paginas.fe.up.pt/~ee03097/ficheiros/manual-fotovoltaico.pdf>>, Acesso em mai. de 2016.

INEE , **O que é Geração Distribuída**; 2016a, Disponível em:< [http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp)> Acesso em 26 de mai. 2016

INATOMI, T. A. H., UDAETA, M. E. M., **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos**; 2011 Disponível em:< [http://seeds.usp.br/portal/uploads/INATOMI\\_TAHI\\_IMPACTOS\\_AMBIENTAIS.pdf](http://seeds.usp.br/portal/uploads/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf)> Acesso em 26 de mai. 2016

JUNIOR, Orlando Lisita. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso – 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP**; 2005. 87f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

M. VALLÊRA, António; CENTENO BRITO, Miguel. Meio Século de História Fotovoltaica. **Gazeta da Física**; Lisboa, 2006. Disponível em: <[solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf](http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf)>. Acesso em: 28 mai. 2016.

Ministério Público do Estado do Paraná; **Boletim Informativo – 15 de setembro de 2014 2014**; 2014 Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/456/456.pdf>> Acesso em 14 de out. 2016

MME - Ministério de Minas e Energia; **Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2015**; 2016 Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/456/456.pdf>> Acesso em 14 de jun. 2016

\_\_\_\_\_.; **Telhados serão principal fronteira da energia solar no Brasil**; 2015a Disponível em: < [http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/primeiro-destaque/-/asset\\_publisher/iS28XoclOLAj/content/telhados-serao-principal-fronteira-da-energia-solar-no-brasil;jsessionid=ED313C68BCB56267FC7526D45E86E662.srv155?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fquest%2Fpagina-inicial%2Fprimeiro-destaque%3Bjsessionid%3DED313C68BCB56267FC7526D45E86E662.srv155%3Fp\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_iS28XoclOLAj%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3D\\_118\\_INSTANCE\\_Z6riVXO2ZrIF\\_col\\_umn-1%26p\\_p\\_col\\_count%3D1](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/primeiro-destaque/-/asset_publisher/iS28XoclOLAj/content/telhados-serao-principal-fronteira-da-energia-solar-no-brasil;jsessionid=ED313C68BCB56267FC7526D45E86E662.srv155?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fquest%2Fpagina-inicial%2Fprimeiro-destaque%3Bjsessionid%3DED313C68BCB56267FC7526D45E86E662.srv155%3Fp_id%3D101_INSTANCE_iS28XoclOLAj%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3D_118_INSTANCE_Z6riVXO2ZrIF_col_umn-1%26p_p_col_count%3D1)> Acesso em 16 de out. 2015

\_\_\_\_\_.; **Fonte solar será responsável por 7 mil MW na matriz elétrica até 2024;** 2015b Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/manchete/-/asset\\_publisher/neRB8QmDsbU0/content/fonte-solar-sera-responsavel-por-7-mil-mw-na-matriz-eletrica-ate-2024?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Fmanchete%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_neRB8QmDsbU0%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-1%26p\\_p\\_col\\_count%3D8](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/manchete/-/asset_publisher/neRB8QmDsbU0/content/fonte-solar-sera-responsavel-por-7-mil-mw-na-matriz-eletrica-ate-2024?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Fmanchete%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_neRB8QmDsbU0%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D8)> Acesso em 14 de out. 2015

\_\_\_\_\_.; **Resenha Energética Brasileira;** 2015c disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energética+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>> Acesso em 23 de out. 2015

\_\_\_\_\_.; **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar;** 2015d, disponível em: < [http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030)> Acesso em 26 de mai. 2016

\_\_\_\_\_.; **Boletim mensal do monitoramento do sistema elétrico brasileiro;** 2015e, disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256627/--+Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro-2015\\_/b6795ba5-2d05-4a27-aafe-cd671b963761](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256627/--+Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro-2015_/b6795ba5-2d05-4a27-aafe-cd671b963761) Acesso em 19 de jun. 2016

Nova Energia – Fórum de Discussão sobre Energias Renováveis e Alternativas; **“Aprendiz de Feiticeiro” – o meu Projeto;** 2015 Disponível em: < <https://www.novaenergia.net/forum/viewtopic.php?t=18777.aspx> > Acesso em 21 de out. de 2016

ONS – Operador Nacional de Sistema Elétrico; **O que é SIN;** 2016 Disponível em: < [http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/o\\_que\\_e\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx) > Acesso em 21 de mai. de 2016

ORTUS Engenharia, **Obras Realizadas,** 2016: Disponível em:< <http://www.ortusengenharia.com.br/obras>> Acesso em 04 de nov. 2016

PACHECO F., **Energias Renováveis: Breves Conceitos;** 2006 Salvador: Conjuntura Econômica n. 149 Disponível em:< [http://ieham.org/html/docs/Conceitos\\_Energias\\_renov%C3%A1veis.pdf](http://ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%C3%A1veis.pdf)> Acesso em 21 de jun. de 2016

PINHO, J. T.; BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J. S.; SOUZA, H. M. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. **Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia;** 2008 1 ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos;** 2014 1 ed. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica; **Manual de Tarifação de Energia Elétrica;** 2011 Disponível em:< [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel\\_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf)> Acesso em 09 de jun. 2016

REN 21. **RENEWABLES 2014: Global status report**; Paris; 2014. Disponível em: <<http://www.ren21.net/Portals/0/documents/e-paper/GSR2014/index.html>> Acesso em 7 de mai. de 2016.

\_\_\_\_\_. **RENEWABLES 2016: Global status report**; Paris, 2016. Disponível em: <[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_Full\\_Report\\_REN21.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report_REN21.pdf)> Acesso em 12 de jun. de 2016.

Santos, A.H.M. et al. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**; 3. ed. Itajubá: FUPAI, 2006. Disponível em:<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B5A08CAF0%2D06D1%2D4FFE%2DB335%2D95D83F8DFB98%7D&params=itemID=%7BA3930774%2D1821%2D47DC%2D8562%2DF1B07E13668C%7D;&UIPartUID=%7B05734935%2D6950%2D4E3F%2DA182%2D629352E9EB18%7D>> Acesso em 12 de jun. 2016

SOLAR. **Solar – Guia do consumidor**; 2016. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/Content/EditorImages/files/E-Book-Guia-do-comprador-de-energia-solar-fotovoltaicaV2.pdf>>. Acesso em 08 set. 2016.

SOLARTERRA – Soluções em Energia Alternativa. **Energia Solar Fotovoltaica – Guia Prático**; São Paulo. Disponível em: <<https://permacoletivo.files.wordpress.com/2008/05/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em 31 mai. 2016.

SUNNY PORTAL 2016. Disponível em: <<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPage.aspx?page=af9e6271-5157-47d3-b1b1-6eb4142d51b1>> Acesso em: 08 de nov. De 2016

TIEPOLO, G., CANGIOLIERI, O., URBANETZ, J., **Estudo do Potencial de Participação das Fontes Renováveis de Energia na Matriz Elétrica do Estado do Paraná**; 2014

TIEPOLO, G. M.; **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná**; 2015, 228f. Tese(Doutorado) – PUC - PR Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/275828862\\_ESTUDO\\_DO\\_POTENCIAL\\_DE\\_GERAO\\_DE\\_ENERGIA\\_ELTRICA\\_ATRAVS\\_DE\\_SISTEMAS\\_FOTOVOLTAICOS\\_CO\\_NECTADOS\\_REDE\\_NO\\_ESTADO\\_DO\\_PARAN](http://www.researchgate.net/publication/275828862_ESTUDO_DO_POTENCIAL_DE_GERAO_DE_ENERGIA_ELTRICA_ATRAVS_DE_SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS_CO_NECTADOS_REDE_NO_ESTADO_DO_PARAN)>. Acesso em 14 de out. de 2015.

VIANA, T. S.; **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil**;165f. tese(Doutorado); 2010, Florianópolis; Disponível em: [https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi0wsSiqLLNAhUEPxQKHYYwaAz0QFggcMAA&url=https%3A%2F%2Frepositorio.ufsc.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F93778%2F280137.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AFQjCNHhRrCaX2QZvVjZCKGIJdEGo64wpA&sig2=8UFTOclj6A8M9Is31\\_2tSA&bvm=bv.124817099,d.d24](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi0wsSiqLLNAhUEPxQKHYYwaAz0QFggcMAA&url=https%3A%2F%2Frepositorio.ufsc.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F93778%2F280137.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AFQjCNHhRrCaX2QZvVjZCKGIJdEGo64wpA&sig2=8UFTOclj6A8M9Is31_2tSA&bvm=bv.124817099,d.d24) Acesso em 18 de jun. de 2015

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

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **The History of Solar**; Disponível em: <[www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf)>. Acesso em: 19 maio 2016.

Wikipédia, **Ficheiro:Rosa dos Ventos**, Disponível em: <[https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Rosa\\_dos\\_Ventos\\_dsfdfsdsajdl.jpg](https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Rosa_dos_Ventos_dsfdfsdsajdl.jpg)>. Acesso em: 19 de set. 2016.

ZILLES, R., MACÊDO, W.N., GALHARDO, M.A.B., OLIVEIRA, S.H.F.; **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**; São Paulo, 2012