

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

THIAGO BARBOSA GONÇALVES DA VEIGA

**ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE ELÉTRICA NA UTFPR**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2015

THIAGO BARBOSA GONÇALVES DA VEIGA

**ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE ELÉTRICA NA UTFPR**

Monografia apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

THIAGO BARBOSA GONÇALVES DA VEIGA

ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA NA UTFPR

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 08 de dezembro de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
Orientador - UTFPR

Prof. Ms. José da Silva Maia
UTFPR

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

Aos meus familiares que sempre me ajudaram.

A todos que se dedicam ao
desenvolvimento da energia fotovoltaica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a todos que contribuíram de alguma forma a esta pesquisa.

Agradeço em especial ao nosso Professor Orientador Jair Urbanetz, por toda sua dedicação ao nosso trabalho e por ter me proporcionado o acesso ao seu vasto conhecimento na área de energia fotovoltaica.

Agradeço a minha noiva pela paciência e força para a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos colegas de trabalho que contribuíram com nossa pesquisa.

RESUMO

VEIGA, Thiago Barbosa Gonçalves da. **Estudo da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica na UTFPR.** 2015. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso em Energias Renováveis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Curitiba, 2015.

Atualmente a busca por novas fontes de energia elétrica que causem menor impacto ao ambiente, tem propiciado um maior interesse pela geração a partir da fonte solar fotovoltaica. O consumo de eletricidade no ambiente universitário é elevado, neste sentido a busca por formas de minimizar os custos com a eletricidade gerando parte desta energia localmente e a partir da energia solar, passa a ser uma alternativa. Este trabalho apresenta a proposição da instalação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) em um dos blocos da UTFPR sede centro em Curitiba, abordando as etapas de projeto de um SFVCR a partir de uma área pré-determinada. Desta forma, chegou-se a um gerador fotovoltaico de 55,4 kWp ocupando-se a cobertura do bloco D do referido câmpus, sendo que analisou-se a partir dos dados históricos de irradiação para esta localidade, a produção energética estimada para este sistema, que chegou a 73,4 MWh/ano. Esta energia supre aproximadamente 4% da energia consumida na universidade em 2014, considerando-se apenas os horários fora de ponta. O caso de estudo em questão, pode contribuir com a sustentabilidade relativa as questões energéticas da universidade, além de, por se tratar de uma geração distribuída contribui na postergação de investimentos de infraestrutura de geração e distribuição.

Palavra-chave: Energia Solar; Energia Renovável; Geração Fotovoltaica.

ABSTRACT

VEIGA, Thiago Barbosa Gonçalves da. Study the implementation of a photovoltaic system connected to the grid in UTFPR 2015 52f. Completion of course work in Renewable Energy - Federal Technological University of Paraná Curitiba, 2015

Currently the search for new sources of energy that causes less impact to the environment has fostered greater interest in generation from photovoltaic source. Electricity consumption in the university environment is high in this sense the search for ways to minimize the cost of electricity generating part of this energy locally and from solar energy becomes an alternative. This paper presents the installation of the proposition of a Photovoltaic System Connected to the Network (SFVCR) in one of the center seat UTFPR blocks in Curitiba, addressing the design stages of a SFVCR from a predetermined area. Thus, it came to a PV generator 55.4 kWp taking care coverage D block of that campus, and analyzed from historical radiation data for this location, energy production estimated for this system, which reached 73.4 MWh / year. This energy supplies approximately 4% of the energy consumed at the university in 2014, considering only the hours off-peak. The case study in question, can contribute to the sustainability concerning energy issues of the university, and, because it is a distributed generation contributes to the postponement of generating infrastructure investment and distribution.

Keyword: Solar Energy; Renewable Energy; Generation Photovoltaic.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - DEMANDA MUNDIAL DE ENERGIA PRIMÁRIA.....	14
FIGURA 02 - USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU.	18
FIGURA 03 - MAPEAMENTO DO POTENCIAL EÓLICO DO PAÍS POR REGIÕES.....	20
FIGURA 04 - USINA TERMELÉTRICA DE CANDIOTA.....	22
FIGURA 05 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DO LINGOTE DE SI MONOCRISTAL.....	24
FIGURA 06- ESTRUTURA FÍSICA DE UMA JUNÇÃO P-N DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA.	25
FIGURA 07 - LINGOTE DE SILÍCIO MONOCRISTALINO.....	26
FIGURA 08 - CÉLULA FOTOVOLTAICA MONOCRISTALINA.	27
FIGURA 09 - LINGOTE DE SILÍCIO POLICRISTALINO.	27
FIGURA 10 - CÉLULA FOTOVOLTAICA POLICRISTALINO.	28
FIGURA 11 - VISTA GERAL DO PRÉDIO DA UFSC, CONTENDO UM SFV DE SILÍCIO AMORFO.....	29
FIGURA 12 - SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE.....	30
FIGURA 13 - SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO.	30
FIGURA 14 - COMPONENTES DE UM SFVCR.	31
FIGURA 15 - DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DOS INVERSORES.	32
FIGURA 16 - PLANTA DA ÁREA DE COBERTURA DA UTFPR - SEDE CENTRO.	33
FIGURA 17 - VISTA AÉREA DO BLOCO D DA UTFPR – CÂMPUS CURITIBA, SEDE CENTRO PELO GOOGLE EARTH.....	34
FIGURA 18 - MÓDULO FOTOVOLTAICO, MODELO, JAP72/315/3BB DA JÁ SOLAR.....	35
FIGURA 19 - FATOR DE ESPAÇAMENTO.....	37
FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO DA DISTANCIA ENTRE OS MÓDULOS.	38
FIGURA 21 - DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS NA COBERTURA DA UTFPR.....	38
FIGURA 22 - LOCAL DA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO NO BLOCO D DA UTFPR.	40
FIGURA 23 - TELA DO PROGRAMA RADIASOL COM VALORES DE IRRADIAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL.	41
FIGURA 24 – TELA PARA OBTENÇÃO DOS VALORES DE IRRADIAÇÃO NO PLANO DO PAINEL FV.....	41
FIGURA 25 - INVERSOR MODELO SE5K DA MARCA SOLAREEDGE.	43
FIGURA 26 - DADOS PARA CONFIGURAÇÃO DOS INVERSORES	44
FIGURA 27 - DIAGRAMA UNIFILAR DE UM STRINGS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - PRINCIPAIS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NAS USINAS TERMELÉTRICAS DO BRASIL.....	21
TABELA 02 - MATERIAIS SEMICONDUTORES.....	24
TABELA 03 - EFICIÊNCIA TÍPICA DE CADA TECNOLOGIA DOS MÓDULOS FV.....	26
TABELA 04 – CONSUMO FATURADO NO MEDIDOR 0027600982 DO CÂMPUS CENTRO DA UTFPR.	34
TABELA 05 - PARÂMETROS MECÂNICOS E ELÉTRICOS.....	36
TABELA 07 - IRRADIAÇÃO INCIDENTE EM CURITIBA (LAT. -25,43°, LONG. -49,26°)....	42
TABELA 08 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, VALORES MENSIS E ANUAL.	43
TABELA 09 - VALORES DE CONSUMO REGISTRADO PELA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA EM COMPARAÇÃO, COM A POTÊNCIA GERADA NO PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.	46
TABELA 10 - LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO SFVCR.	46
TABELA 11 - CUSTO MÉDIO DO INVESTIMENTO INICIAL DE UM SFVCR.	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA	11
1.1.1	<i>Delimitação do Tema</i>	11
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	11
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	<i>Objetivo Geral</i>	12
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	12
1.4	JUSTIFICATIVA	12
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	13
1.6	ESTRUTURAS DO TRABALHO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	ENERGIAS RENOVÁVEIS	14
2.1.1	<i>Fonte hidráulica</i>	17
2.1.2	<i>Fonte eólica</i>	18
2.1.3	<i>Fonte termelétrica</i>	20
2.1.4	<i>Fonte solar</i>	22
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	23
2.2.1	<i>Tecnologias de módulos fotovoltaicos</i>	25
2.2.2	<i>Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica</i>	29
2.2.3	<i>Componentes do sistema fotovoltaico conectado à rede</i>	31
2.2.4	<i>Inversores</i>	31
3	PROJETO DO SFVCR	33
3.1	ÁREA DISPONÍVEL PARA O PROJETO	33
3.2	CONSUMO DO LOCAL	34
3.3	DIMENSIONAMENTO	37
3.4	GERAÇÃO DE ENERGIA E CUSTOS DO PROJETO	45
4	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis se torna cada vez mais necessária e viável no mundo, sendo imprescindível a diminuição de fontes que são nocivas ao meio ambiente, tornando se insustentável a utilização dessas fontes (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, 2012, p. 1).

Segundo o relatório anual *World Energy Outlook* (2012, p. 8) da (*International Energy Agency*) o consumo de energia crescerá mais de um terço até 2035. No Brasil esse aumento pela procura por energia elétrica, segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024, poderá chegar até cinquenta por cento do utilizado hoje (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015, p. 44).

O Ministério de Minas e Energia (MME) lançou, nesta terça-feira (15/12/2015), o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), para ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis de energia (em especial a solar fotovoltaica). O Programa pode movimentar pouco mais de R\$ 100 bilhões em investimentos, até 2030. A portaria que cria o ProGD foi assinada durante cerimônia pelo ministro de Minas e Energia, Eduardo Braga. A geração distribuída traz benefícios para o consumidor e para o setor elétrico: está no centro de consumo, o que reduz a necessidade de estrutura de transmissão elétrica e evita perdas. Até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residências, comércios, indústrias e no setor agrícola, o que pode resultar em 23.500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Com isso, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO₂ atmosfera.

Diante desta perspectiva de consumo, será necessária a geração dessa energia elétrica, uma fonte será a energia solar fotovoltaica por apresentar características favoráveis ao nosso país por apresentar características físicas e por ser um sistema de geração distribuída, reduzindo custos com redes de distribuição.

1.1 TEMA

Sendo assim, o tema deste trabalho é a geração de energia elétrica a partir de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR), na forma de geração distribuída (GD), com intuito de colaborar com a matriz energética do país e gerar uma economia na fatura mensal de energia elétrica além de colaborar com a sustentabilidade na geração de energia.

1.1.1 Delimitação do Tema

O SFVCR, caso de estudo, foi projetado visando a utilização de toda a cobertura do Bloco D da UTFPR - câmpus Curitiba, sede Centro. Desta forma, é apresentado ainda uma análise da energia produzida e um comparativo com as faturas de energia elétrica.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O Brasil possui predominantemente sua matriz energética renovável, chegando a 74,6%, proveniente da geração hidráulica (BEN, 2015, p.16). Porém, essa fonte depende de fenômenos naturais para que seus reservatórios de água mantenham-se nos níveis necessários para geração, esses por sua vez que são responsáveis pela movimentação mecânica das turbinas. Em períodos que haja a escassez de chuva, esse sistema ficará ineficiente.

O Sistema fotovoltaico (SFV) seria uma alternativa sustentável, para eventuais crises hídricas. A geração distribuída por possuir características simplificadas de um sistema de distribuição, é favorável para a geração junto ao ponto de consumo, em edificações já existentes, os chamados edifícios solares (RÜTHER, 2004).

Após análise das faturas de energia elétrica da UTFPR, percebeu-se que o consumo de energia elétrica é elevado, gerando um custo considerável a instituição. Diante deste problema, optou-se por desenvolver um estudo para implantar uma fonte de energia sustentável, um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR), a fim de colaborar com a economia de energia elétrica, com o sistema de distribuição energético brasileiro e com o meio ambiente, por ser uma fonte renovável e não poluente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar o projeto de um SFVCR a ser implantado na cobertura do Bloco D da UTFPR - Câmpus Curitiba, sede centro.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar referencial teórico do SFVCR;
- Efetuar o levantamento do consumo de energia elétrica da sede centro da UTFPR, Câmpus Curitiba;
- Elaborar o projeto fotovoltaico conectado à rede;
- Analisar a produção de energia elétrica do sistema projetado e compará-las com o consumo no câmpus.

1.4 JUSTIFICATIVA

Tendo como base o Balanço Energético Nacional (BEN, 2015), foi possível verificar o crescimento no consumo de energia elétrica no país nos últimos anos, no caso foi analisado o ano 2014 em comparação com 2013. O consumo nacional teve um ganho de 4,8% em comparação com o ano anterior. Sendo que esse aumento no final de 2024 chegará a um valor acima de 50% do utilizado hoje (EPE, 2015). Assim, os SFVCR podem contribuir para a maior oferta de energia elétrica na matriz brasileira, devido à grande extensão territorial e elevados níveis de irradiação solar no país.

A utilização da tecnologia fotovoltaica no ambiente acadêmico permite disseminar o conhecimento desta importante fonte de energia, e por ser uma fonte de energia limpa e renovável, seu uso deve ser incentivado.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na primeira etapa será feita uma revisão bibliográfica sobre os temas: energias renováveis, em particular a solar fotovoltaica, os componentes de um sistema fotovoltaico e seu contexto histórico de desenvolvimento.

Na segunda etapa serão levantados, através de pesquisa de campo, o consumo de energia elétrica da UTFPR e os valores contidos nas faturas.

Após estes procedimentos será possível concluir qual a potência do SFVCR, a energia gerada, estimar os custos e o tempo de retorno do investimento.

1.6 ESTRUTURAS DO TRABALHO

No capítulo 1 é apresentada uma introdução ao tema; sua delimitação; objetivos geral e específicos; e a justificativa sobre a relevância do trabalho.

O capítulo 2 apresenta o embasamento teórico sobre energias renováveis, em particular a energia solar fotovoltaica.

O capítulo 3 destina-se ao estudo de caso do dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do bloco D da UTFPR - Câmpus Curitiba, sede Centro.

O capítulo 4 aborda as conclusões do trabalho referentes a contribuição energética do SFVCR proposto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

O consumo de energia é um dos apontadores, para o desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de uma população, sendo que com o atual desenvolvimento tecnológico e a disseminação de novas tecnologias, fazem que o consumo de energia elétrica cresça de maneira gigantesca no mundo podendo chegar 30% do consumo atual em 2040, segundo a IEA (*International Energy Agency*). A figura 1 demonstra simplificada a tendência de crescimento da demanda mundial de energia primária.

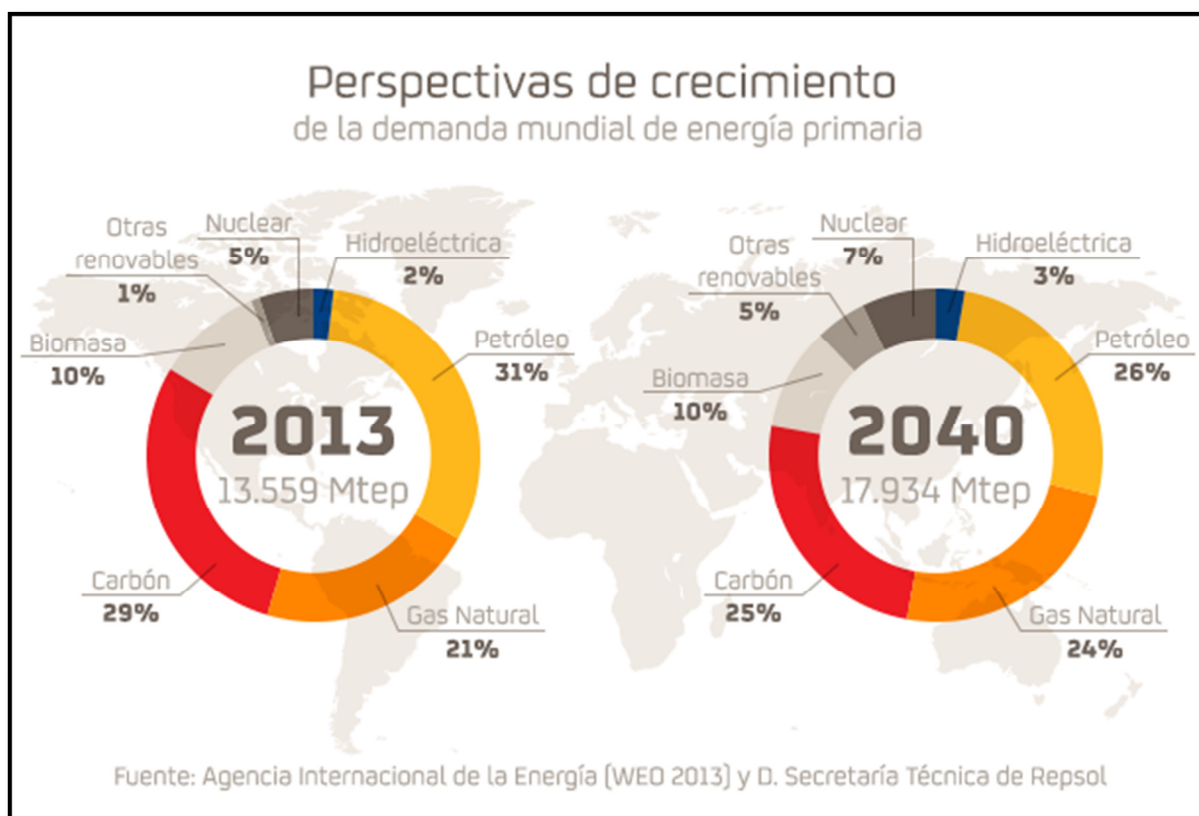


Figura 01 - Demanda mundial de energia primária

Fonte: WEO, 2013.

No panorama mundial de energia elétrica as fontes de energia renováveis, ainda detém uma pequena participação na matriz energética, mas isso será revertido nas próximas décadas (IEA, 2012). As constantes mudanças climáticas ocorrentes no mundo faz com que as principais lideranças

mundiais se preocupam com a atual situação, onde 80% da matriz energética mundial seja a base de petróleo, carvão mineral e gás natural ou ainda processos que sejam nocivos ao meio ambiente. O gráfico 1 demonstra de forma simples o atual situação da matriz energética mundial.

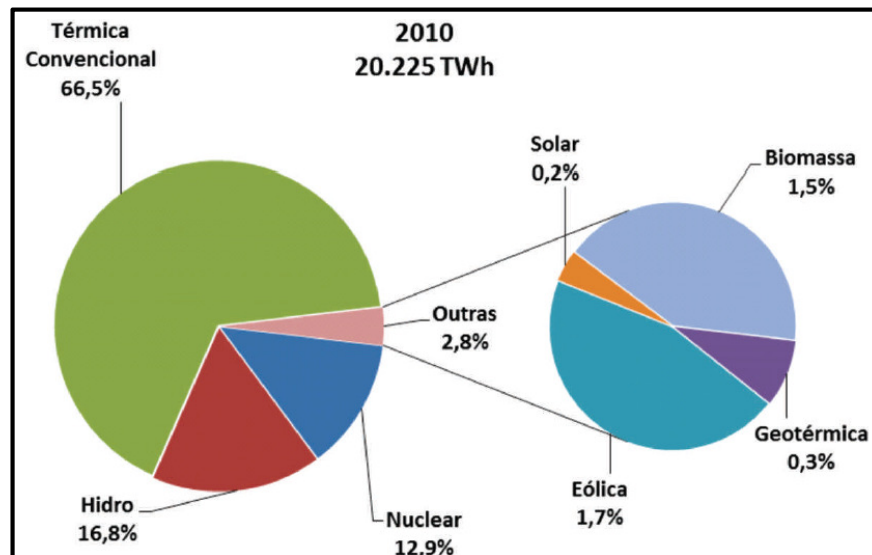


Gráfico 01 - Geração elétrica por fonte no mundo 2010

Fonte: U.S. Energy Information Administration EIA.

A partir de 2008 a produção de energias renováveis cresceram rapidamente, chegando no final de 2011 com uma participação na matriz energética mundial de aproximadamente 19%, composto pelas tecnologia de geração a partir da eólica, biomassa, solar geotérmica, hidrelétrica e mares (REN21, 2014). Retratado no gráfico 2 .

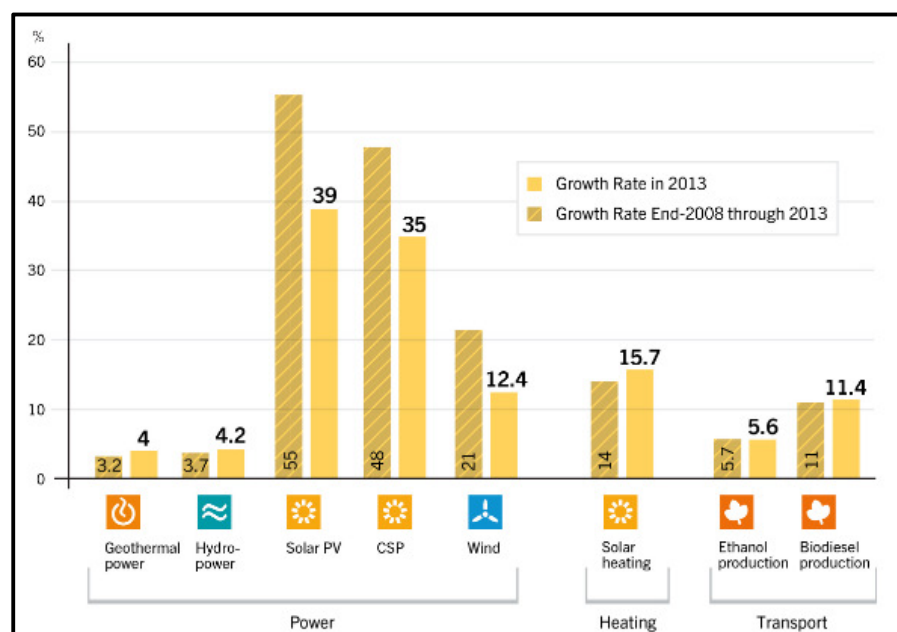


Gráfico 02 - Crescimento das fontes renováveis no ano de 2013 em comparação a 2008.

Fonte: REN21, 2014.

Com a ampliação da demanda em um terço da energia utilizada hoje no mundo, em 2035 as fontes de energia renováveis, serão de suma importância para a complementação da matriz energética mundial, atualmente com uma participação de 20% as fontes renováveis, passarão para 31%, sendo a solar uma das tecnologias com maior crescimento (*World Energy Outlook, 2012, p. 49*). O gráfico 3 deixa explícito esse crescimento da matriz energética mundial.

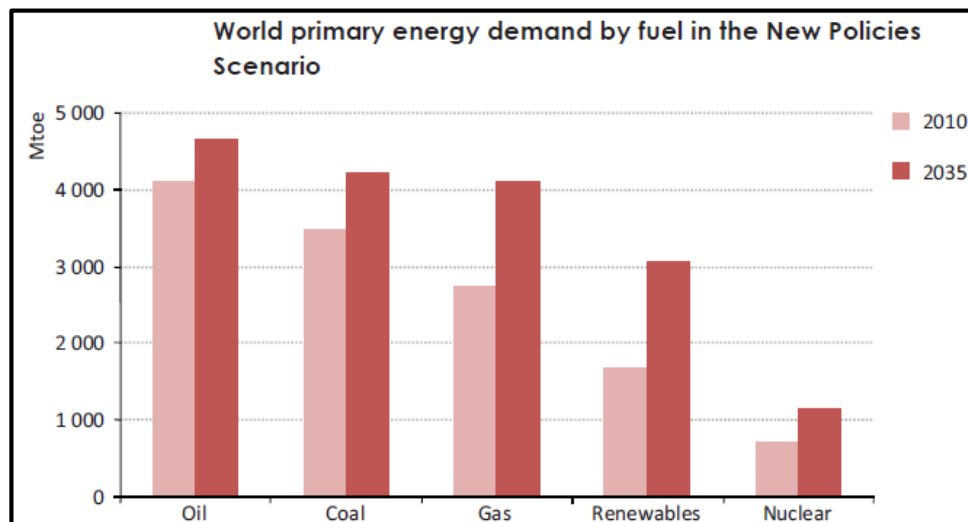


Gráfico 03 – Demanda energética para 2035.
Fonte: WEO, 2012.

O Brasil possui 74,6% da sua matriz elétrica composta por fonte hidráulica, mas com as atuais perspectivas de aumento na demanda energia elétrica brasileira será necessária a inclusão de novas fontes de energia elétrica, pois a expansão da geração hidráulica está limitada até o ano de 2020. Hoje o Brasil possui uma pequena fatia da geração de energia elétrica composta por outras fontes renováveis, sendo composto por: biomassa, eólica e solar somando 9,3% do sistema energético.

A maioria das grandes centrais hidrelétricas brasileiras localiza-se nas bacias do São Francisco e, principalmente, do Paraná, particularmente nas sub-bacias do Paranaíba, Grande Iguaçu, apesar da existência de unidades importantes na região Norte. Os potenciais da região Sul, Sudeste e Nordeste já estão, portanto, quase integralmente explorados (ANEEL,2005).

O Ministério de Minas e Energia junto com a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético são responsáveis pelo Plano Decenal de

Expansão de Energia, esse documento contém dados referente a previsão e necessidade da matriz energética para os próximos anos, sendo que essas expectativas são geradas a partir de dados como o desenvolvimento industrial, crescimento da população e desenvolvimento tecnológico, sendo crucial para o equilíbrio do crescimento econômico do país.

As fontes de energia renováveis contribuirão com 45,2%, com a matriz energética brasileira, nos próximos vinte anos, sendo que na geração específica de energia elétrica o valor chegará a 86% superando a dos dias atuais de 74,6% da geração de energia elétrica (MME, 2014). Conforme dito anteriormente a principal fonte de energia elétrica brasileira é a hidráulica segundo o gráfico 4.

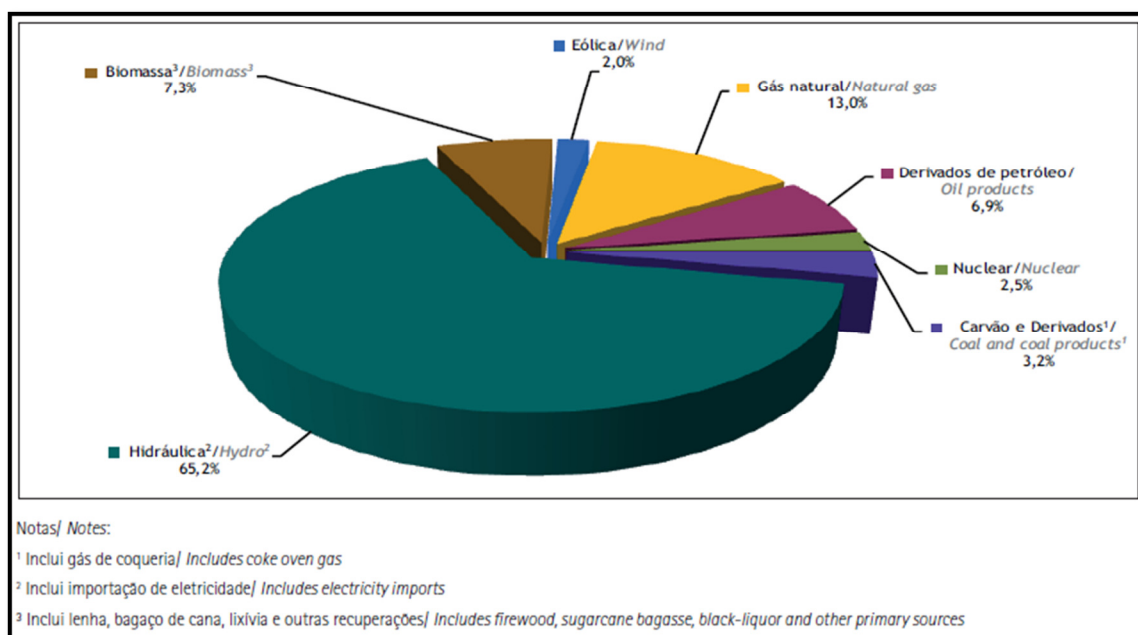


Gráfico 04 - Oferta de energia elétrica mundial por fonte.
Fonte: BEN, 2015.

2.1.1 Fonte hidráulica

A energia hidráulica é gerada a partir do aproveitamento da energia potencial da queda da água, movimentando as turbinas as quais geram corrente elétrica, mas para isso ocorrer, há a necessidade da criação de grandes estruturas para represamento da água, as represas. Representada na figura 2, a hidrelétrica de Itaipu é um exemplo de hidrelétrica de reservatório,

este possui um grande reservatório para represar água. Outro sistema é o Fio d' água, que gera energia com o fluxo de água do rio, ou seja, pela vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico. As usinas são classificadas pela sua potência instalada: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) com até 1 MW de potência instalada, Pequena Central Hidrelétrica (PCH) entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada e Usina Hidrelétrica de Energia com mais de 30 MW (UHE) (ANEEL, 2013).



Figura 02 - Usina hidrelétrica de Itaipu.
Fonte: ANEEL, 2005.

2.1.2 Fonte eólica

A energia eólica é gerada a partir da energia cinética do vento, que é convertida em energia elétrica, a partir da movimentação mecânica dos aerogeradores. No Brasil as condições dos ventos são geradas pela circulação das massas de ar, pelos ventos sudoestes e áreas de alta pressão subtropicais, podendo gerar uma potência instalada de até 143 GW. Existe aproximadamente 30 mil aerogeradores no planeta, gerando uma potência

instalada de 11.500 MW na Europa e 4.600 MW nos EUA, Com uma meta de 1.200 GW de geração até 2020 (ANEEL, 2005).

A energia eólica no Brasil teve seu primeiro indício em 1992 com o início da operação comercial do primeiro aerogerador instalado no Brasil, que foi resultado de uma parceria entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), através de financiamento do instituto de pesquisas dinamarquês Folkecenter. Essa turbina eólica, de 225 kW, foi a primeira a entrar em operação comercial na América do Sul, em 1992, localizada no arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco). Como resultado do PROINFA, dos leilões realizados e do mercado livre, ao final de 2012, o Brasil possui 108 parques eólicos que totalizam 2,5 GW de capacidade instalada.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2015) apesar da energia hidráulica ser a principal fonte de energia elétrica brasileira, a energia Eólica hoje contribui com 2% do sistema elétrico do país, foi a que obteve maior crescimento em 2014, com 12.210 GWh, isso equivale a um aumento de 85% na geração de energia elétrica, em comparação com o ano anterior. Hoje existem 398 usinas eólicas instaladas no Brasil com uma potência instalada de 9,6 GW.

O Brasil por possuir um excelente potencial para geração de energia eólica, essa fonte de energia renovável será extremamente explorada nos próximos anos, estudos mapearam as regiões do país desmembrado por potencial de geração (figura 3), isso porque as médias da velocidade dos ventos podem alcançar a 8,5 m/s com uma alta continuidade da direção dos ventos sendo favorável a geração eólica.

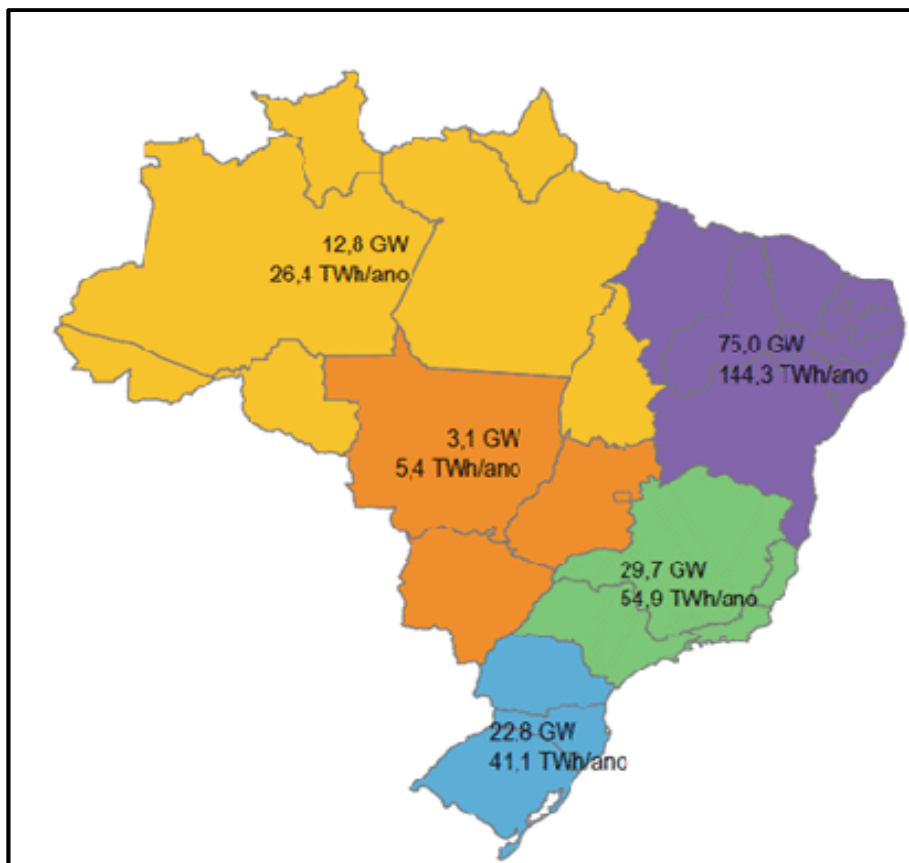


Figura 03 - Mapeamento do potencial eólico do país por regiões.
Fonte EPE, 2009.

2.1.3 Fonte termelétrica

Termelétricas são responsáveis por aproximadamente 30% da geração de energia elétrica, em especial nos anos de 2013 e 2014, foram totalmente acionadas, pois a escassez de chuva fizeram que os reservatórios chegassem a um nível crítico, interferindo diretamente na geração de energia do país sendo necessária utilização das mesmas (BEN, 2015).

Energia termoelétrica é toda e qualquer energia produzida por uma central cujo funcionamento ocorre a partir da geração de calor resultante da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (BRASIL ESCOLA, 2015).

Os combustíveis utilizados nas usinas termoelétricas no Brasil são o carvão mineral, a nafta, o petróleo, o gás natural e, em alguns casos, a biomassa. No Brasil existem aproximadamente 1.618 termelétricas em operação, essas utilizam os combustíveis descritos na tabela 1 (ANEEL, 2013).

Tabela 01 - Principais combustíveis utilizados nas usinas termelétricas do Brasil.

Classe de Combustíveis Utilizados no Brasil - Operação			
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
<u>Biomassa</u>	449	9.928.202	30,28
<u>Fóssil</u>	1132	21.443.432	65,41
<u>Outros</u>	43	1.412.941	4,31
Total	1624	32.784.575	100

Fonte: ANEEL, 2013.

A grande vantagem da geração da energia elétrica de uma termelétrica é a possibilidade de instalação próximo do consumidor, pois assim evita-se a construção de grandes linhas de transmissão. Já em contrapartida no processo de geração as termelétricas geram diversos gases, poeiras e até mesmo chuvas ácidas, por ter como principal combustível o fóssil dessa maneira contribui com o aumento de temperatura do planeta e consequentemente com o efeito estufa. Por este motivo diversos países se juntaram para diminuir a geração energética a partir de fontes não renováveis como o carvão, gás natural, nuclear e derivado do petróleo (TERMOELETRICIDADE, 2005). A figura 4 é a mais nova termelétrica do país que irá entrar em funcionamento em 2019 será a da Candiota com 360 MW de potência.



**Figura 04 - Usina Termelétrica de Candiota.
Fonte: CGTEE, 2015.**

2.1.4 Fonte solar

A energia solar consiste em utilizar os fótons existentes na irradiância solar, para gerar uma corrente elétrica, esse fenômeno é denominado efeito fotovoltaico. A energia fotovoltaica ainda é pouco utilizada no Brasil, porém existe grande potencial de aplicação desta tecnologia no país nas próximas décadas, podendo contribuir com uma faixa razoável na geração de energia elétrica do país. O gráfico 5 ilustra esse cenário, comparando o atual com o futuro da matriz energética 2024. Uma das muitas vantagens da energia solar é a possibilidade de geração distribuída (MME, 2015).

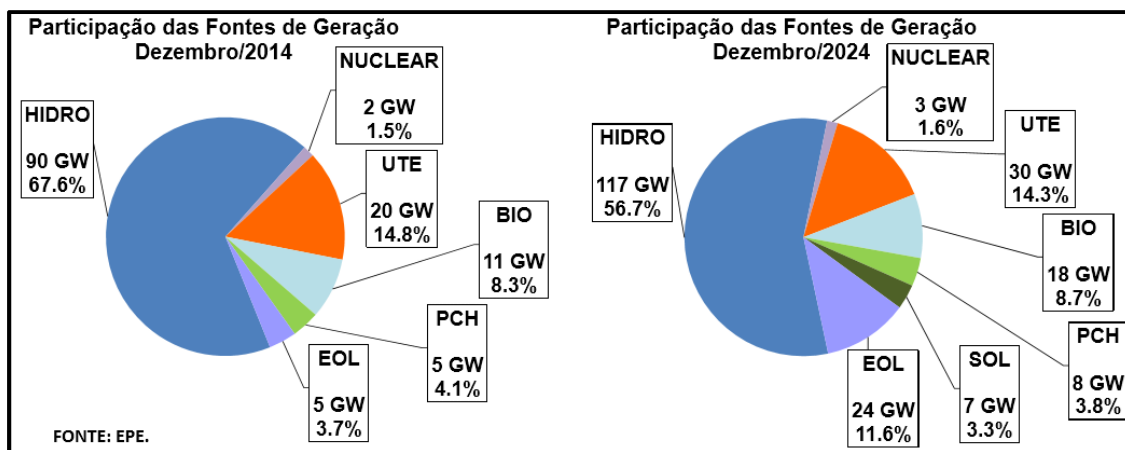


Gráfico 05 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração.
Fonte: MME, 2015.

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

A energia gerada pelo sol e transmitida à terra a uma distância de 150.000.000 km, possui uma radiação de 1.000 W/m² na superfície da terra, essa energia é mais do que suficiente para suprir toda demanda energética do mundo (RÜTHER, 2004).

O efeito fotovoltaico surge em 1839 um físico e cientista francês, Alexandre Edmond Becquerel perceber em um experimento que quando iluminava uma solução ácida surgia um diferencial de potencial entre os eletrodos que estavam mergulhados na solução. Em 1876, Adams e Day verificaram um efeito similar em um dispositivo fabricado com selênio, um semicondutor, no estado sólido. Após essas descobertas em 1918 o cientista polonês Czochralski criou o método para fabricar cristais de silício ilustrado na figura 5, que são a base dos semicondutores, utilizado para fabricação das células fotovoltaicas (PINHO e GALDINO, 2014).

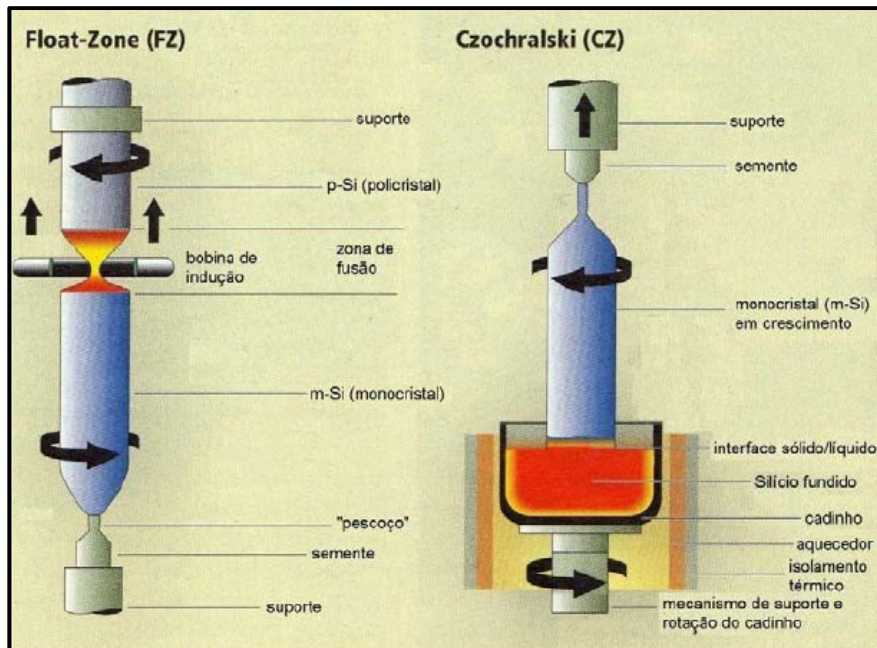


Figura 05 - Processo de produção do lingote de Si monocristal.
Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

Os fótons existentes na energia do sol, quando em contato com um material semiconductor, do tipo p-n ou p-i-n, (figura 6) uma fração de energia contida nos fótons excitam os elétrons contidos no material semiconductor, isso gera uma movimentação dos elétrons e por sua vez uma corrente elétrica, esse efeito é denominado efeito fotovoltaico. Sendo um fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Existem diversos materiais que possuem essa propriedade de semiconductor, na tabela 2 são listados alguns desses materiais.

Material	Grupo	E_g (eV)	Material	Grupo	E_g (eV)
Si	elemento	1,12	GaP	III-V	2,26
Ge	elemento	0,66	CdS	II-IV	2,42
GaAs	III-V	1,43	PbS	II-IV	0,35
InSb	III-V	0,18	PbTe	II-IV	0,30
InP	III-V	1,35	CdTe	II-IV	1,45

Tabela 02 - Materiais semicondutores.
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

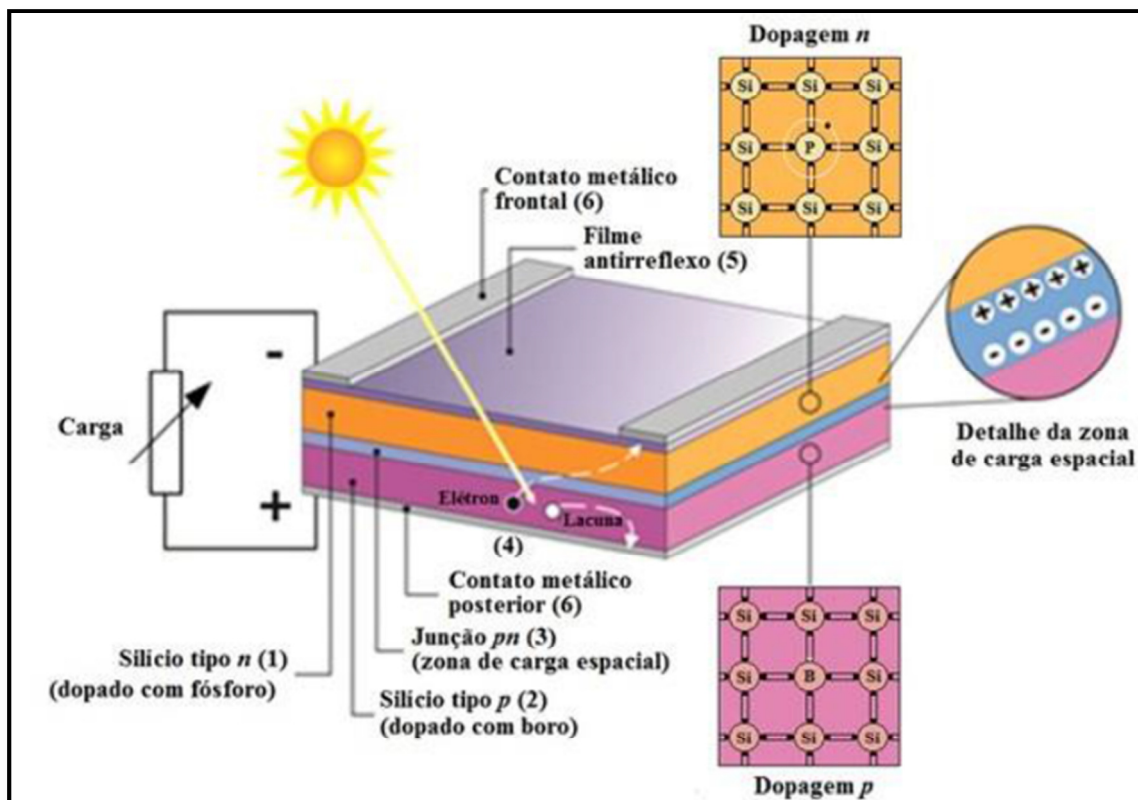


Figura 06– estrutura física de uma junção p-n de uma célula fotovoltaica.
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

Inicialmente os módulos fotovoltaicos eram utilizados somente pela indústria aeroespacial, pois o custo de um módulo era elevado, dificultando a utilização terrestre, a partir de 1970, essa tecnologia se tornou mais acessível, pois com as inovações tecnológicas, as células fotovoltaicas alcançaram um valor de comercialização viável e acessível a comercialização terrestre (PINHO e GALDINO, 2014).

2.2.1 Tecnologias de módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são unidades básicas formadas por células fotovoltaicas, interligadas eletronicamente e encapsuladas, com objetivo de produzir energia elétrica, e se constitui na unidade comercial do gerador fotovoltaico (PINHO e GALDINO, 2014).

As primeiras células fotovoltaicas foram as de silício cristalino (c-Si), podendo ser policristalinas (p-Si) ou células monocristalinas (m-Si), classificadas como primeira geração, após, surgiram as células de filmes finos.

As células mais comercializadas hoje são as de silício cristalino. A tabela 3 mostra a eficiência de cada módulo com fabricado com respectiva tecnologia.

Tecnologia	Eficiência	Área/kW _p
Silício cristalino		
Monocristalino	13 a 19%	~7m ²
Policristalino	11 a 15%	~8m ²
Filmes finos		
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%	~15m ²
Telureto de Cadmio (Cd-Te)	10 a 11%	~10m ²
Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)	7 a 12%	~10m ²
Concentrador fotovoltaico	~25%	

Tabela 03 - eficiência típica de cada tecnologia dos módulos FV.
Fonte: EPE, 2012.

Para fabricação do lingote do silício monocristalino ilustrado na figura 7 são necessários blocos de silício ultrapuro, que são encontrados principalmente no quartzo, pois nos lingotes monocristalinos o grau de pureza do silício tem que ser próximo dos 100%, essa pureza que irá garantir uma estrutura homogênea em toda sua extensão, isso faz com que a eficiência dessa célula fotovoltaica seja superior a do policristalino mostrada na figura 8.

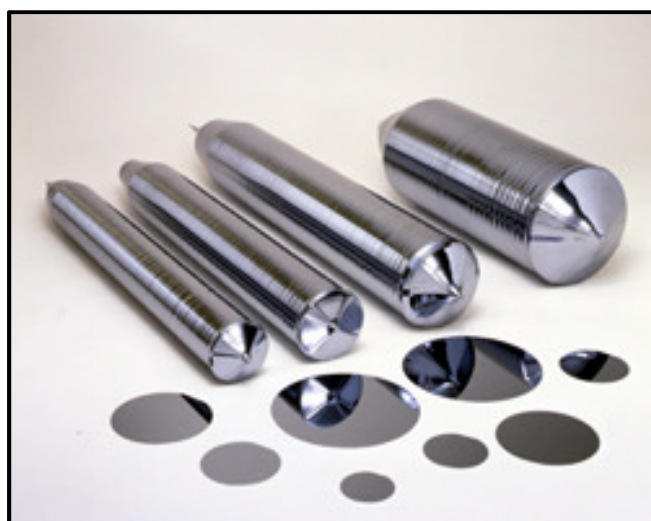


Figura 07 - Lingote de silício monocristalino.

Fonte: Bosch Solar Energy.

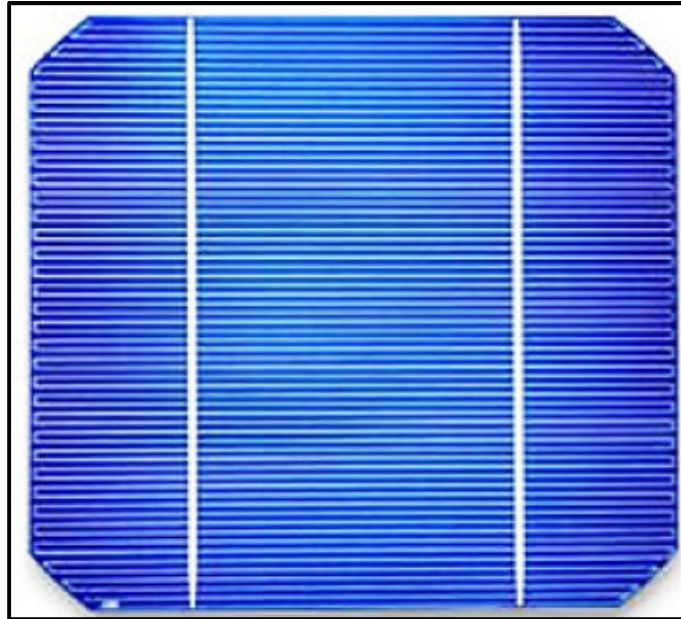


Figura 08 - Célula fotovoltaica monocristalina.
Fonte: EPE, 2012.

O lingote do policristalino ilustrado na figura 9 possui um processo de fabricação mais barato que o do monocristalino, por não necessitar do processo de Czochralski. Na sua fabricação forma-se uma estrutura formada por um aglomerado de cristais de tamanhos irregulares e a quantidade de energia utilizado no processo é menor.

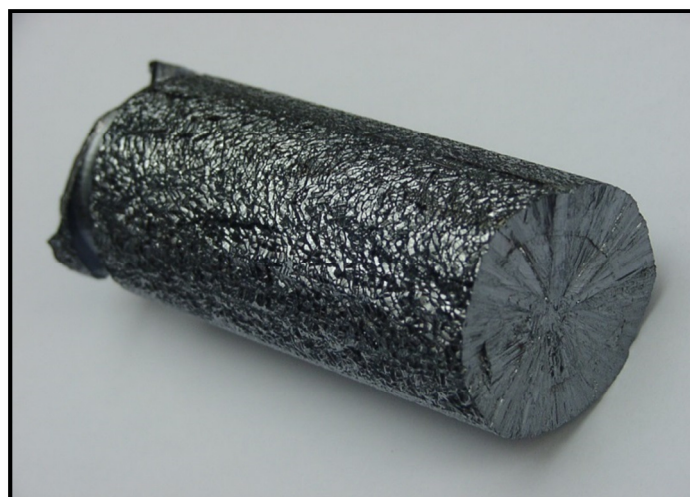


Figura 09 - Lingote de silício policristalino.
Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br>

Uma célula de silício policristalino, é mostrada na figura 10.

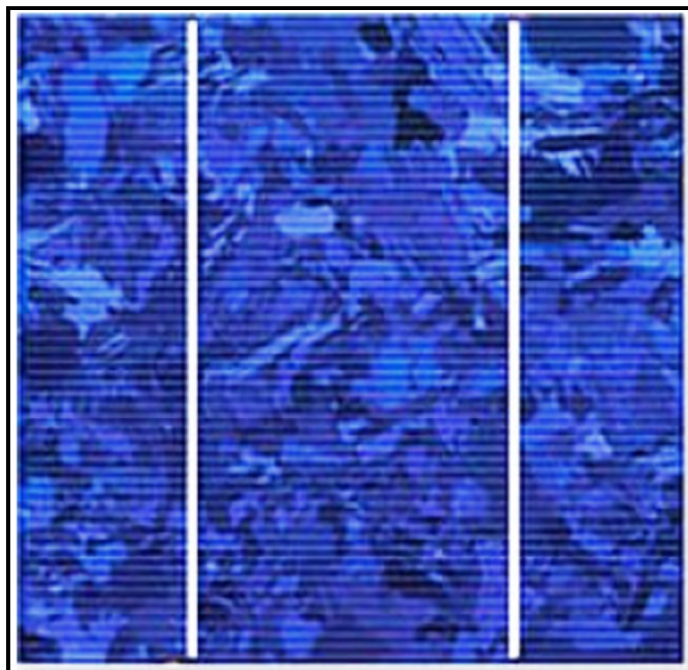


Figura 10 - Célula fotovoltaica policristalino.
Fonte: EPE, 2012.

As células da segunda geração, são chamadas de células de filmes finos, mesmo possuindo uma menor eficiência, por apresentar características que facilitam a instalação, torna-se um material adequado para algumas situações particulares. Essa tecnologia mais recente, que surge após as tecnologias cristalinas. Sua construção se diferencia das células cristalinas, as quais são desenvolvidas a partir de finíssimas fatias do lingote de silício, já os filmes finos são construídos a partir da disposição de materiais semicondutores em uma superfície rígida ou maleável, uma das muitas vantagens dessa tecnologia, que utilizam o silício amorfo (a-Si), o Disseleneto de cobre-índio (CIS) o Disseleneto de cobre-índio com gálio (CIGS) e o Telureto de cádmio (EPE, 2012).

O silício amorfo foi a primeira tecnologia de filmes finos desenvolvida, mas por apresentar baixa eficiência, é pouco utilizado, pois apresentam eficiência na faixa de 6 a 8% (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

A figura 11 retrata o primeiro sistema fotovoltaico instalado no Brasil utilizando na tecnologia de filme fino. O mesmo foi instalado em 1997 e se encontra no bloco B da Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis. É composto por 65 módulos de a-Si

depositado sobre vidro, da marca ASI, modelo ASE-30-DG-UT, totalizando 2,02kWp (URBANETZ, 2010).



**Figura 11 - Vista geral do prédio da UFSC, contendo um SFV de silício amorfo.
Fonte: URBANETZ, 2010.**

2.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica

Uma das características fundamentais dos sistemas fotovoltaicos (SFV) é a possibilidade de utilização dos prédios já existentes para a instalação dos mesmos, pois as coberturas e fachadas podem ser utilizadas como base para fixação dos módulos fotovoltaicos possibilitando a integração do SFV com o meio urbano (RÜTHER, 2004 p. 7). O SFV pode ter duas configurações: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) e o Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI), sendo que o SFVCR, não utiliza nenhuma forma de armazenamento (baterias), pois a energia gerada é consumida ou entregue à rede, já o SFVI como o próprio nome descreve não é conectado à rede elétrica, geralmente são utilizados banco de baterias para armazenamento da potência gerada (URBANETZ, 2010). A figura 12 ilustra um SFVCR, o sistema é composto por um conjunto de módulos, um inversor, cabos, conectores e sistema de proteção. Já a figura 13 representa de forma simplificada um SFVI.

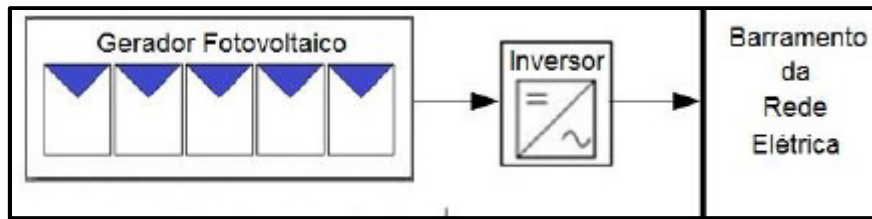


Figura 12 - Sistema fotovoltaico conectado a rede.
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

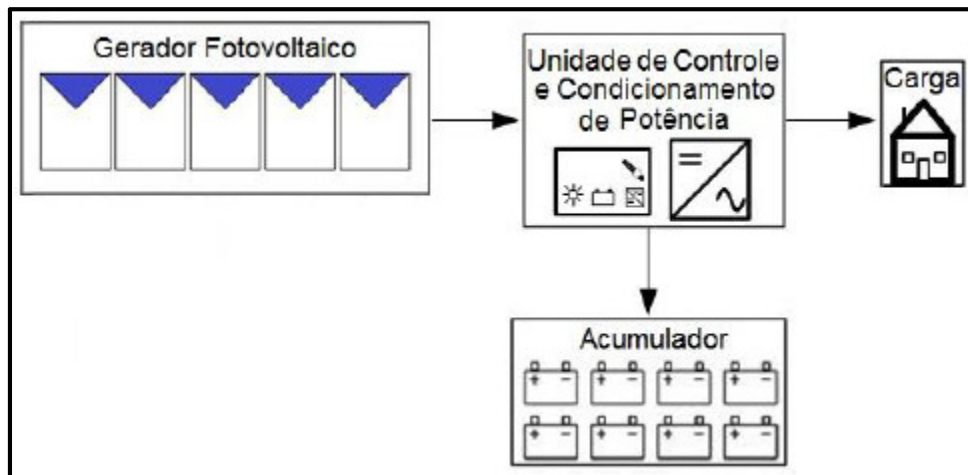


Figura 13 - Sistema fotovoltaico isolado.
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

A norma que permitiu a geração fotovoltaica no Brasil é a resolução normativa 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica e a forma de compensação da energia excedente, cujas definições são:

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fonte com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e

posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora com a mesma titularidade, onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo cadastro de pessoa física (CPF) ou cadastro de pessoa jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda (PINHO e GALDINO, 2014).

2.2.3 Componentes do sistema fotovoltaico conectado à rede

A figura 14 apresenta de forma simplificada os componentes do SFVCR, módulo, inversor, cabos, conectores e medidor bidirecional, que será aplicado no dimensionamento deste projeto.

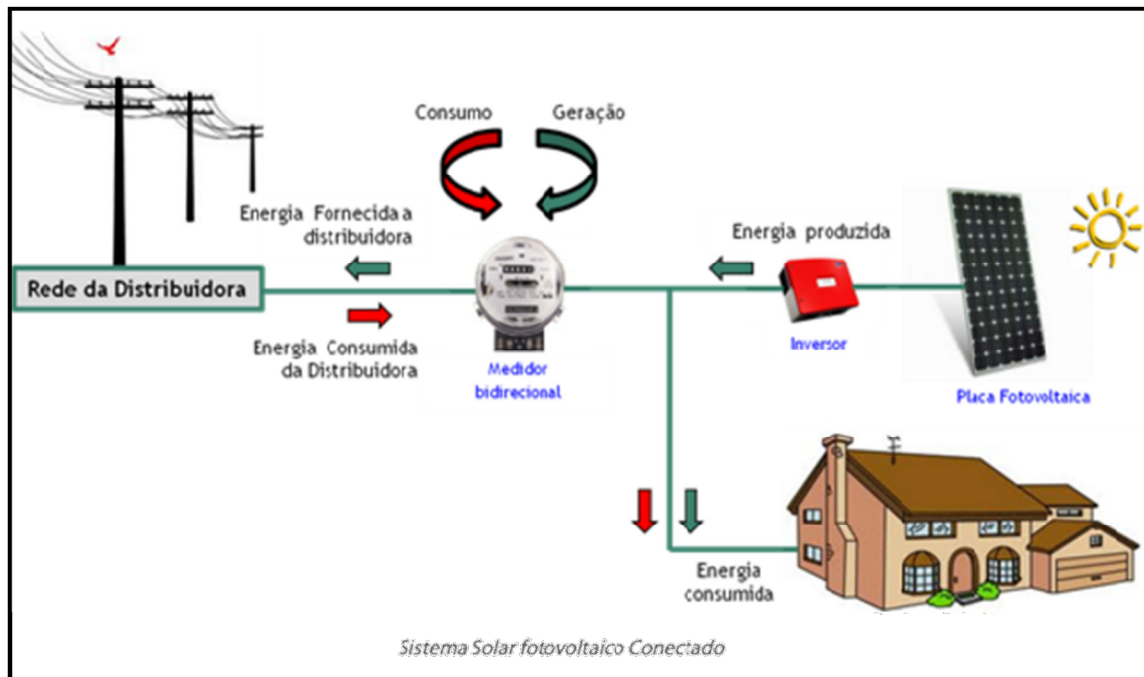


Figura 14 - Componentes de um SFVCR.
Fonte: VIRIDIAN, 2015.

2.2.4 Inversores

Um inversor é um equipamento eletrônico que gera uma tensão em corrente alternada, a partir de uma fonte de corrente contínua, podendo ser de um painel fotovoltaico (PINHO e GALDINO, 2014).

Em um SFVCR, os inversores podem ser configurados de quatro maneiras diferentes (URBANETZ, 2010). A Figura 15-a apresenta a configuração chamada de inversor central, onde várias séries de módulos são conectadas em paralelo e interligadas ao mesmo inversor, já a configuração da Figura 15-b é utilizado um inversor por *string*, ou seja, um inversor para cada série de módulos. Nessa configuração, as perdas são reduzidas, na Figura 15-c é apresentada a configuração de inversor *multistring*, onde o inversor possui mais de um circuito independente de busca de MPP, permitindo que o arranjo de módulos FV seja dividido em grupos e instalado em orientações ou inclinações diferentes e na Figura 15-d, cada módulo FV possui um inversor acoplado e, conseqüentemente, um circuito de busca de MPP, colocando o módulo no melhor ponto de operação para as condições disponíveis de irradiância e temperatura; é também conhecido como módulo CA (URBANETZ, 2010).

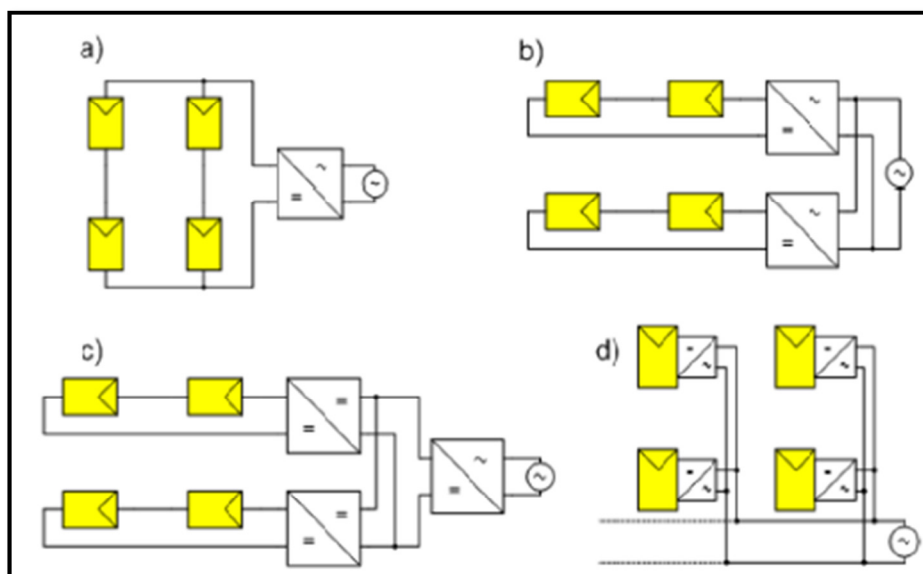


Figura 15 - Diferentes configurações dos inversores.
Fonte: URBANETZ, 2010.

3 PROJETO DO SFVCR

3.1 ÁREA DISPONÍVEL PARA O PROJETO

Como o trabalho tem o objetivo de aplicar o conhecimento adquirido na disciplina de Energia Fotovoltaica, do curso de Especialização Energia Renováveis, foi decidido desenvolver um projeto de geração de energia fotovoltaico conectado à rede. O SFVCR, objeto de estudo, foi projetado para ocupar toda a cobertura do Bloco D da UTFPR – Câmpus Curitiba, sede Centro, ilustrado na figura 16 que possui as seguintes dimensões: 10 metros de largura por 65 metros de comprimento, totalizando uma área de 650 m² para a instalação dos módulos FV.

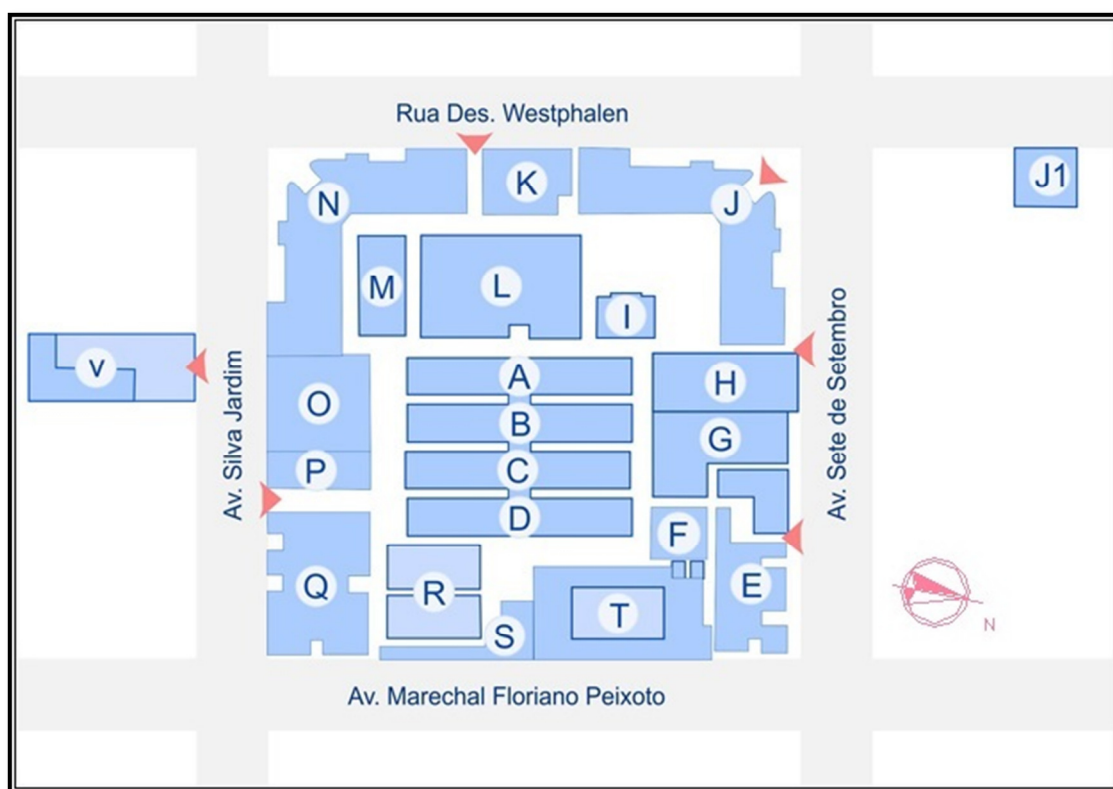


Figura 16 - Planta da Área de Cobertura da UTFPR - Sede Centro.
Fonte: UTFPR.

O Bloco D da UTFPR, localizada na região central da Cidade de Curitiba, possui um desvio azimutal de aproximadamente de 24° para oeste, podendo ser visualizado na figura 17.

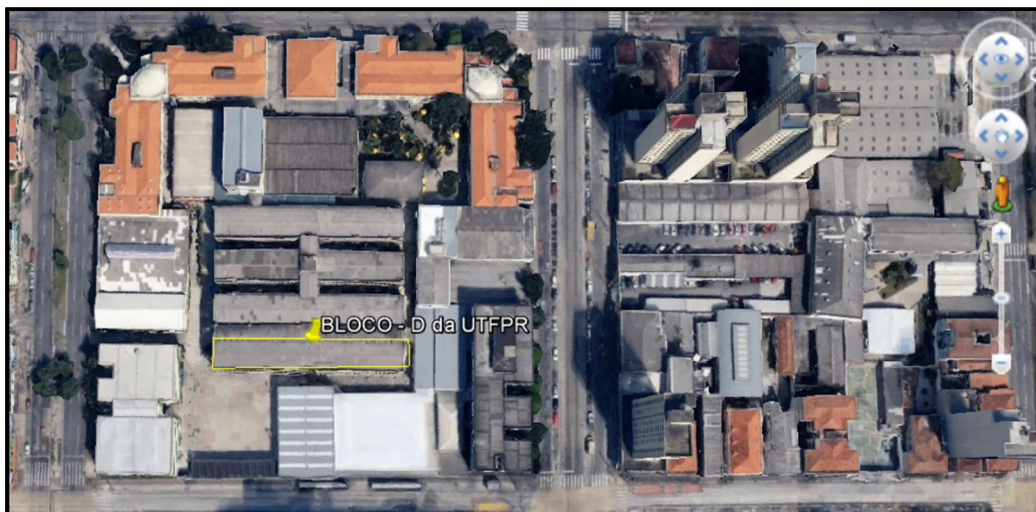


Figura 17 - Vista Aérea do Bloco D da UTFPR – Câmpus Curitiba, sede Centro pelo Google Earth.

Fonte: Autor do estudo.

3.2 CONSUMO DO LOCAL

Após definição do local, elaborou-se a pesquisa documental e uma análise do consumo mensal, Conforme a tabela 4.

Tabela 04 – Consumo faturado no medidor 0027600982 do câmpus centro da UTFPR.

<i>Mês</i>	<i>F.Ponta (kWh)</i>	<i>Ponta (kWh)</i>
Jan/14	129.258	12.172
Fev/14	206.576	25.276
Mar/14	160.785	21.922
Abr/14	162.068	20.559
Mai/14	170.730	23.619
Jun/14	155.432	18.199
Jul/14	142.725	16.998
Ago/14	184.232	25.794
Set/14	171.243	22.240
Out/14	186.278	25.710
Nov/14	180.990	20.941
Dez/14	189.621	22.421
Média	169.995	21.321

Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2015.

O levantamento dos dados de energia consumida na UTFPR, descrita na tabela 4 evidenciam a alta demanda de energia elétrica pela instituição,

sendo que o projeto proposto tem o objetivo de produzir parte desta energia demandada.

Após a determinação da área que será utilizada, parte-se para a definição do modelo do módulo, estimando a quantidade de módulos fotovoltaicos a ser utilizada e o espaçamento entre as fileiras de módulos, visando evitar o sombreamento dos módulos. Optou-se pela utilização do modelo JAP72/315/3BB, representado na figura 18, esse por sua vez possui as seguintes dimensões: 1.956×991×45 mm o que resulta em uma área de 1,93 m² para cada módulo, esse modelo é constituído de células de silício policristalino, com 16,25% de eficiência.

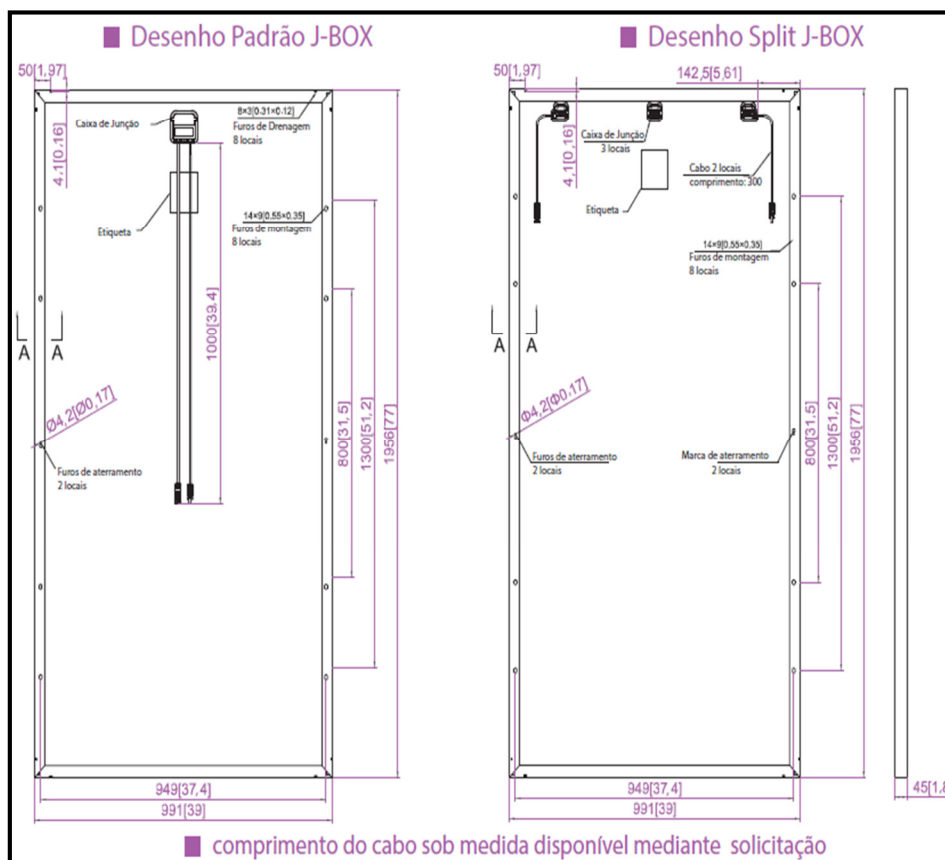


Figura 18 - Módulo Fotovoltaico, modelo, JAP72/315/3BB da JÁ Solar.
Fonte: <http://www.real-solar.com>

Na tabela 5 estão descritos os parâmetros mecânicos e elétricos do módulo JAP72/315/3BB necessários para o dimensionamento do SFVCR.

Tabela 05 - Parâmetros mecânicos e elétricos.

PARÂMETROS MECÂNICOS		
Célula (mm)	Poly 156x156	
Peso (kg)	22,5 (aprox.)	
Dimensões (CxLxA) (mm)	1956x991x45	
Tamanho da Seção Transversal do Cabo (mm ²)	4	
Nº de Células e Conexões	72 (6x12)	
Caixa de Junção	IP67, 3 diodos	
Conector	Compatível com MC4	
Configuração da Embalagem	23 Por Palete	
PARÂMETROS ELÉTRICOS		
TIPO	JAP6 72-310/3BB	JAP6 72-315/3BB
Potência Nominal Máxima a STC (W)	310	315
Tensão de Circuito Aberto (Voc/V)	45,45	45,60
Tensão de Potência Máxima (Vmp/V)	37,00	37,28
Corrente de Curto Circuito (Isc/A)	8,85	8,91
Corrente de Potência Máxima (Imp/A)	8,38	8,45
Eficiência do Módulo [%]	15,99	16,25
Tolerância da Potência (W)		-0~+5W
Coefficiente de Temperatura de Isc (αIsc)		+0.058%/°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (βVoc)		-0.330%/°C
Coefficiente de Temperatura de Pmax (γPmp)		-0.430%/°C
STC	Irradiação 1000W/m ² , Temperatura do Módulo 25 °C, Massa de Ar 1,5	

Fonte: www.jasolar.com

3.3 DIMENSIONAMENTO

Com as dimensões dos módulos é utilizada a equação 1 para encontrar a distância dos módulos visando evitar o sombreamento.

Equação 1 – distância entre os módulos.

$$d = fe * (hob - hi)$$

d - distância mínima a ser mantida entre o gerador e o obstáculo (m);

Fe - fator de espaçamento obtido pela curva da figura19;

hob - altura do obstáculo (m);

hi - altura de instalação do gerador fotovoltaico (m).

$$d = fe * (hob - hi)$$

$$d = 2 * (1 * \text{sen}25)$$

$$d = 0,85 \text{ m}$$

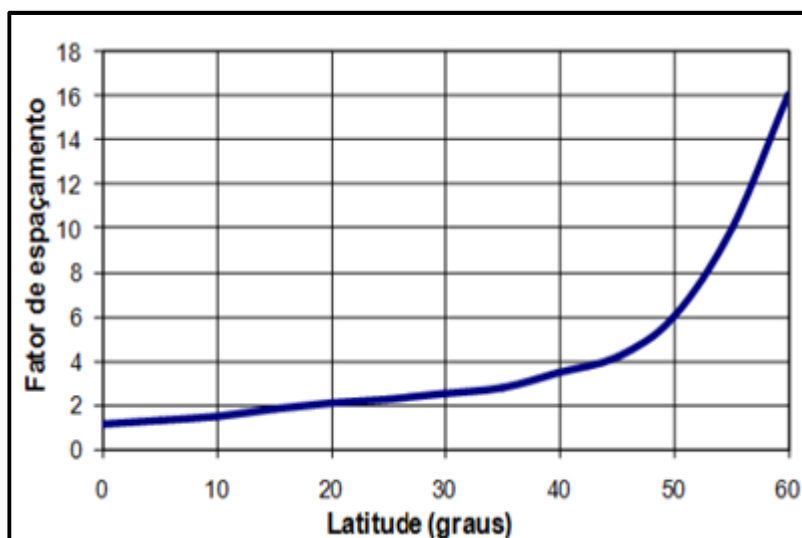


Figura 19 - fator de espaçamento.
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

Após substituir os valores na equação 1, obteve-se a distância necessária de 0,85 m para fixação dos módulos. A figura 20 ilustra este arranjo.

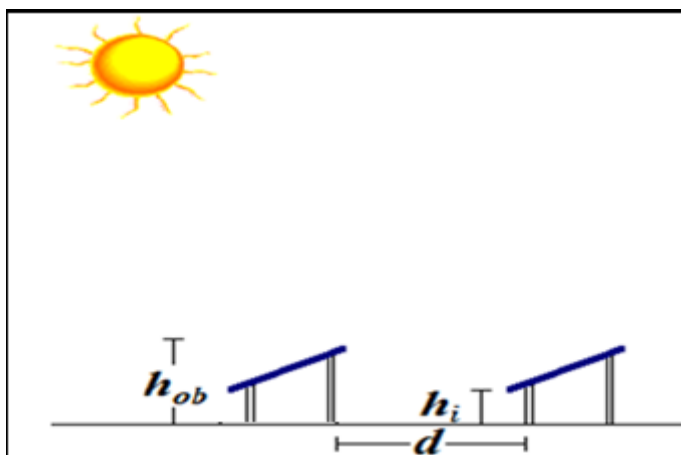


Figura 20 - representação da distancia entre os módulos.
Fonte: Adaptado de PINHO e GALDINO, 2014.

Foi decidido que os módulos serão instalados acompanhado o alinhamento do telhado, ou seja, com desvio azimutal de 22° oeste em relação ao norte, representado na figura 21.

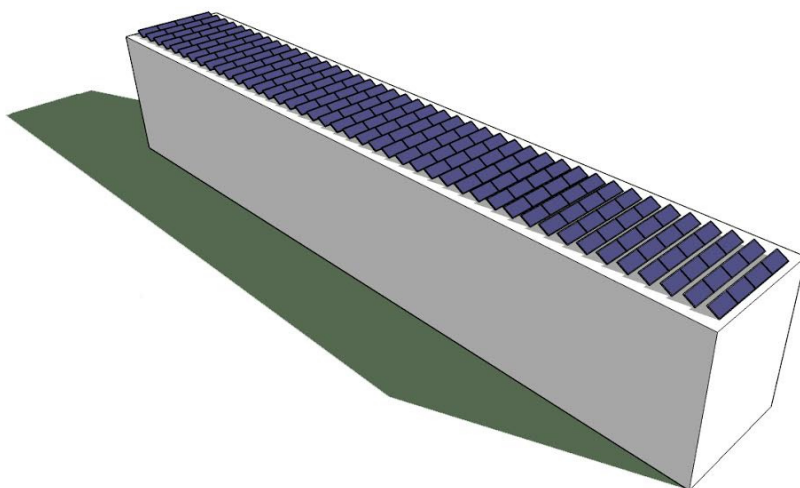


Figura 21 - Disposição dos módulos na cobertura da UTFPR.
Fonte: Autor do Projeto.

O próximo passo será encontrar o número possível de módulos a ser instalados na área da cobertura do bloco D. Para isso será utilizado a equação 2, conforme Urbanetz (2014). Como serão deixados espaços entre as fileiras

para evitar sombreamento entre os módulos a área considerada destas fileiras será acrescida a área de cada módulo, sendo a área de espaçamento correspondente de cada módulo = $0,85\text{m} \times 2,00\text{m} = 1,70\text{m}^2$, logo a área considerada para o cálculo da quantidade de módulos que comporá o painel fotovoltaico será de: $1,93\text{m}^2 + 1,70\text{m}^2 = 3,63\text{m}^2$, sendo considerada para efeito dos cálculos uma área necessária por módulo de $3,70\text{m}^2$.

Equação 2:

$$N_{\text{mód.}} = \frac{\text{Área disp.}}{\text{Área mód.}}$$

$$N_{\text{mód.}} = \frac{650 \text{ m}^2}{3,70 \text{ m}^2}$$

$$N_{\text{mód.}} = 175,6 \text{ módulos}$$

Sabendo-se o número de módulos, o próximo passo será encontrar a potência de pico gerada no SFVCR. Para isso será utilizado a equação 3:

Equação 3:

$$P_{FV} = P_{\text{Mód.}} \times N_{\text{Mód.}}$$

$$P_{FV} = 315 \times 176$$

$$P_{FV} = 55,4 \text{ kWp.}$$

Substituindo os valores na equação 3, foi encontrado o valor de $55,4 \text{ kWp}$, para essa área disponível e considerando os espaçamentos descritos anteriormente.

O próximo passo é estimar a geração de energia elétrica diária média, mas para isso será necessário a consulta do valor de irradiação no banco de dados

do Atlas brasileiro de energia solar (PEREIRA *et al.*, 2006.). Os dados de irradiação são obtidos a partir da localização da instalação do projeto, nesse caso o Bloco D da UTFPR com a latitude de $-25,4392^{\circ}$ e longitude de $-49,2685^{\circ}$ como pode ser observado na figura 22.

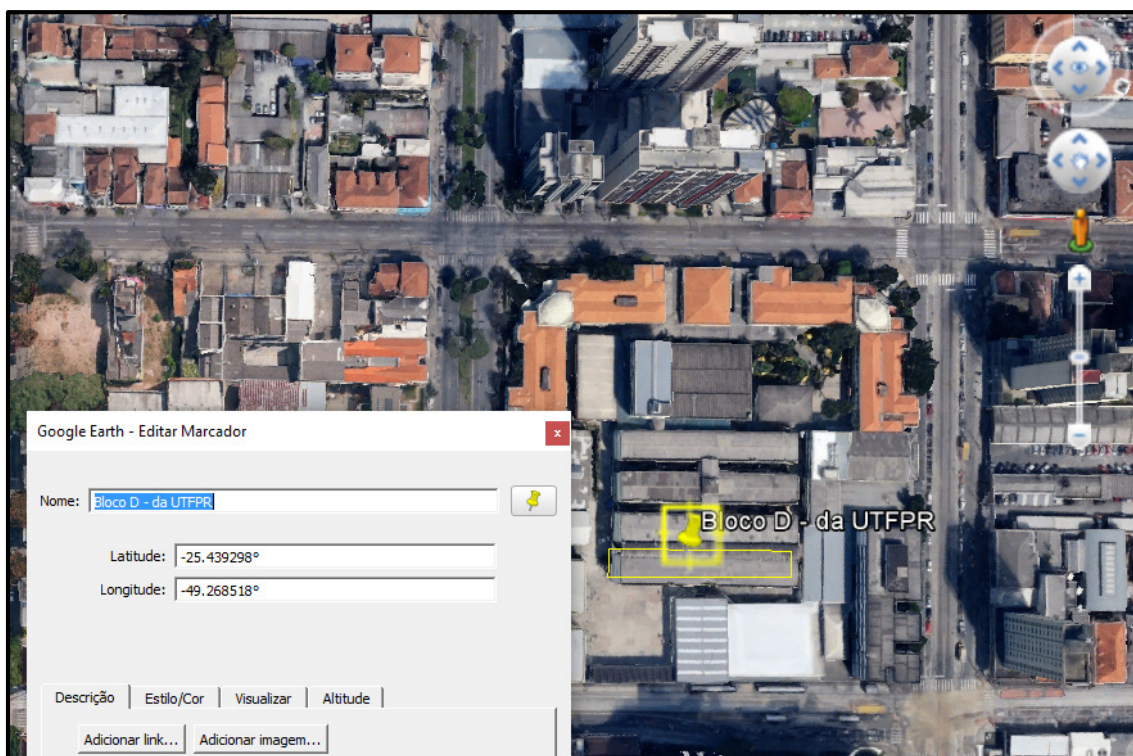


Figura 22 - Local da implantação do projeto no bloco D da UTFPR.
Fonte: Autor do Projeto.

O banco de dados do Atlas brasileiro de energia solar é formado por dados colhidos em um período de dez anos, esses dados permitem estimar uma média de irradiação em determinado local. Os valores de irradiação obtidos com as coordenadas da UTFPR estão descritos na tabela 7.

O programa Radasol desenvolvido na UFRGS permite a obtenção dos valores de irradiação no plano desejado, a partir da inserção dos valores de irradiação no plano horizontal, permitindo inclusive a escolha do melhor ângulo de inclinação do painel fotovoltaico, que maximize a irradiação neste plano. As telas do programa Radasol são apresentadas nas figuras 23 e 24, um passo a passo para obtenção dos valores de irradiação e do ângulo ótimo para o caso de estudo.

No programa Radiasol foram inseridos os valores de irradiação no plano horizontal, obtidos no banco de dados do Atlas brasileiro de energia solar, referente ao local de implantação.

Selecione um país e uma estação

País: **Brazil**

Estação: **UTFPR_CENTRO_ATLAS**

Latitude: **25,43** N/S: **S** Longitude: **49,00** E/W: **W**

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,67	5,47	5,05	4,12	3,29	3,08	3,28	4,21	4,30	5,02	5,97	5,92

Radiação em kWh/m²

Sair do RÁDIASOL?

Figura 23 - Tela do Programa Radiasol com valores de irradiação no plano horizontal.
Fonte Autor do estudo.

Na figura 24 são obtidos os valores de irradiação no plano do painel fotovoltaico, que maximizam o valor diário médio anual considerando o desvio azimutal de 22° para oeste. Devido a existência deste desvio em relação ao norte, obteve-se o ângulo de 23° como sendo a inclinação ótima para este caso.

RÁDIASOL

Arquivo Opções Copiar Estocásticos Menu ?

Ângulo de Inclinação: **23**

Desvio Azimutal do Norte: **-22**

Hora Solar para Superfície Horizontal
Nascer do Sol: [] Pôr-do-Sol: []
Duração do Dia: []

Hora Solar para Superfície Inclinada
Nascer do Sol: [] Pôr-do-Sol: []
Duração do Dia: []

Radiação total do dia em kWh/m²
Sup. Horizontal Terrestre: [] Sup. Inclinada Terrestre: []
Extraterr.: [] Kt: [] Extraterr.: []

Brazil Lon: **49,00** W
UTFPR_CENTRO_ATLAS Lat: **25,43** S

8:30	241	307	310	356	409	406	327
9:30	391	479	454	500	560	546	476
10:30	519	626	574	619	685	659	600
11:30	600	720	648	691	761	728	677
12:30	615	739	661	704	777	742	691
13:30	559	679	608	653	727	696	638
14:30	442	549	498	546	619	596	527
15:30	288	375	353	402	470	458	378
16:30	130	191	197	245	304	304	217
17:30	0	11	56	98	145	155	71
18:30	0	0	0	0	12	28	5
19:30	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	3881	4820	4560	5096	5838	5724	4842

Jan Feb Mar Abr Mai Jun Jul Ago Set Out Nov Dez Todo Ano

DATA: Típico

Laboratório de Energia Solar
GESTE - PROMEC - UFRGS

Figura 24 – Tela para obtenção dos valores de irradiação no plano do painel FV.
Fonte Autor do estudo.

Tabela 06 - Irradiação incidente em Curitiba (Lat. -25,43°, long. -49,26°).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Méd. An.
<i>Global horizontal sem desvio azimutal kWh/m².</i>	5,67	5,47	5,05	4,12	3,29	3,08	3,28	4,21	4,30	5,02	5,97	5,92	4,61
<i>Plano Inclinado 23° no Radasol com desvio azimutal 22°</i>	5,53	5,46	5,27	4,51	3,74	3,67	3,88	4,82	4,56	5,10	5,84	5,72	4,84

Fonte: Autor do estudo.

Com os dados de irradiação apresentados na tabela 7, é possível estimar os valores de energia elétrica diária média que serão produzidos pelo SFVCR projetado para ser instalado na cobertura do bloco D da UTFPR sede centro. Para isso é utilizada a equação 4.

Equação 4 – energia elétrica diária.

$$P_{FV} = \frac{E \times G}{H_{TOT} \times PR} \quad E = \frac{P_{FV} \times H_{TOT} \times PR}{G}$$

Onde:

E - energia demandada pelas cargas diariamente (kWh/dia);

P_{FV} – Potência fotovoltaica dos módulos (kWp)

G – irradiância nas condições STC (1kW/m²);

H_{TOT} - irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (kWh/m².dia);

PR é Taxa de Desempenho ou *Performance Ratio* do SFCR, tipicamente entre 70 e 80%.

Na tabela 8 são apresentados os valores mensais de energia elétrica produzida pelo painel fotovoltaico de 55,4 kWp, considerando uma taxa de desempenho de 75%. É apresentado também o valor de energia elétrica produzido anualmente.

Tabela 07 - Geração de energia elétrica, valores mensais e anual.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Energia Elétrica (MWh)	7,12	6,35	6,79	5,62	4,82	4,57	5,00	6,21	5,68	6,57	7,28	7,37	73,40

Fonte: Autor do estudo.

O próximo passo será definir o modelo e a quantidade de inversores necessários para esse projeto. Optou-se pela utilização do modelo SE5K da marca SolarEdge, conforme apresentado na figura 25. Já dados referentes ao inversor modelo SE5K são apresentados na figura 26. Para escolha desse inversor foi verificado sua tensão e corrente de entrada máxima e assim foi determinada a forma de interligação dos módulos visando atender aos limites de tensão e corrente do inversor adotado.



Figura 25 - inversor modelo SE5K da marca Solaredge.
 Fonte: <http://www.real-watt.com.br/inversores.php>

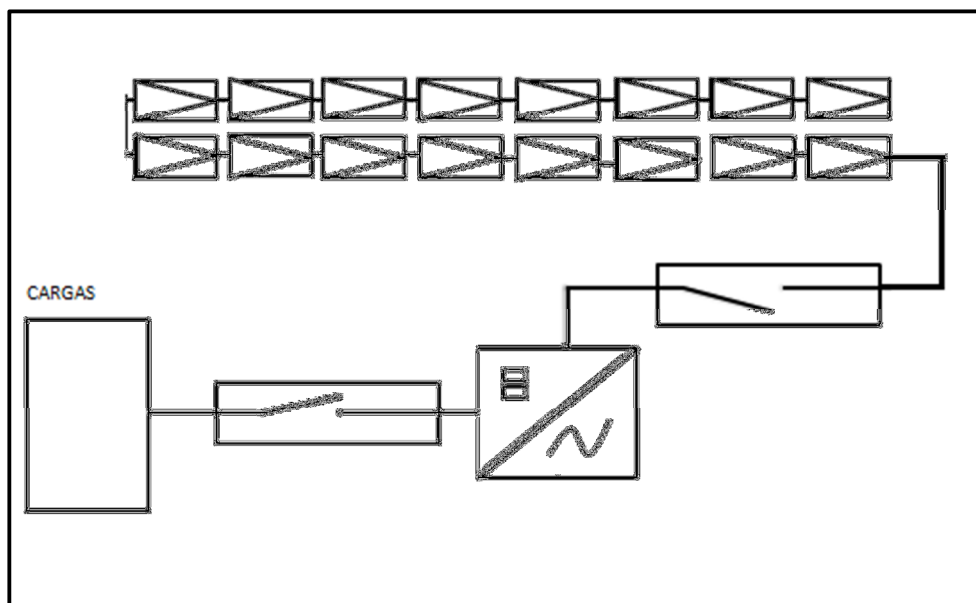
		SE4K*	SE5K	SE7K	SE8K	SE9K	SE10K	SE12.5K	SE15K	SE16K	SE17K	
OUTPUT												
Rated AC Power Output	4000	5000	7000	8000	9000	10000	12500	15000	16000	17000		VA
Maximum AC Power Output	4000	5000	7000	8000	9000	10000	12500	15000	16000	17000		VA
AC Output Voltage - Line to Line / Line to Neutral (Nominal)	380 / 220 ; 400 / 230											Vac
AC Output Voltage - Line to Neutral Range	184 - 264.5											Vac
AC Frequency	50/60 ± 3											Hz
Maximum Continuous Output Current (per Phase)	6.5	8	11.5	13	14.5	16	20	23	25.5	26		A
Residual Current Detector / Residual Current Step Detector	300 / 30											mA
Grids Supported - Three Phase Utility Monitoring, Islanding Protection, Configurable Power Factor, Country Configurable Thresholds	3 / N / PE ; 230 / 400											V
INPUT												
Recommended Maximum DC Power** (Module STC)	3000	6250	8750	10000	11250	12500	15600	18750	20000	21250		W
Transformer-less, Ungrounded	Yes											
Maximum Input Voltage	900											Vdc
Nominal DC Input Voltage	750											Vdc
Maximum Input Current	7	8.5	12	13.5	15	16.5	21	22	23	23		A
Reverse-Polarity Protection	Yes											
Ground-Fault Isolation Detection	1MΩ Sensitivity											
Maximum Inverter Efficiency	98											%
European Weighted Efficiency	97.3	97.3	97.3	97.5	97.5	97.6	97.7	97.6	97.7	97.7		%
Nighttime Power Consumption	< 2.5											W
ADDITIONAL FEATURES												
Supported Communication Interfaces	RS485, RS232, Ethernet, Zigbee (optional)											
STANDARD COMPLIANCE												
Safety	IEC-62103 (EN30178), IEC-62109											
Grid Connection Standards	VDE 0126-1-1, VDE-AR-N-4105, AS-4777, RD-1663, DK 9540											
Emissions	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12, FCC part15 class B											
RoHS	Yes											
INSTALLATION SPECIFICATIONS												
AC Output	Cable Gland - diameter 13-21											mm
DC Input	2 MC4 pairs											
Dimensions (HxWxD)	540 x 315 x 260											mm
Weight	33.2											kg
Operating Temperature Range	-20 - +60 (M40 version -40 - +60)											°C
Cooling	Fan (user replaceable)											
Noise	< 30											dBA
Protection Rating	IP65 - Outdoor and Indoor											
Bracket Mounted (Bracket Provided)												

Figura 26 - Dados para configuração dos inversores
 Fonte: <http://www.real-watt.com.br/inversores.php>.

O arranjo do SFVCR será composto por 11 painéis, sendo cada um com 16 módulos em série, o que implica em uma tensão de circuito aberto de 729,6 Volts, uma tensão de máxima potência de 596,5 Volts e uma corrente de

máxima potência de 8,45 Ampères, valores estes inferiores aos valores máximos admitidos pelo inversor conforme observa-se na figura 26.

Na figura 27 é apresentado o diagrama unifilar de um conjunto de 16 módulos interligados ao inversor.



**Figura 27 - Diagrama unifilar de um strings do sistema fotovoltaico.
Fonte: autor do estudo**

3.4 GERAÇÃO DE ENERGIA E CUSTOS DO PROJETO.

Na tabela 9 são apresentados de forma conjunta os valores de energia elétrica consumidos na UTFPR sede centro, e os valores estimados de geração de energia elétrica pelo SFVCR.

Tabela 08 - Valores de consumo registrado pela distribuidora de energia em comparação, com a potência gerada no projeto do sistema fotovoltaico.

<i>Mês</i>	<i>F.Ponta (MWh)</i>	<i>Ponta (MWh)</i>	<i>Energia no SFVCR (MWh)</i>
Jan/14	129,26	12,17	7,12
Fev/14	206,58	25,28	6,35
Mar/14	160,79	21,92	6,79
Abr/14	162,07	20,56	5,62
Mai/14	170,73	23,62	4,82
Jun/14	155,43	18,20	4,57
Jul/14	142,73	17,00	5,00
Ago/14	184,23	25,79	6,21
Set/14	171,24	22,24	5,68
Out/14	186,28	25,71	6,57
Nov/14	180,99	20,94	7,28
Dez/14	189,62	22,42	7,37
Total Anual	2.039,95	255, 85	73,40

Fonte: Autor do projeto.

Em média a quantidade de energia elétrica produzida pelo SFVCR atende cerca de 4% da energia consumida na Universidade no horário fora de ponta.

Em relação ao investimento necessário para realizar a instalação do SFVCR projetado, são apresentados na tabela 10, esses valores, porém os mesmos podem sofrer variações em decorrência da taxa cambial, pelo fato da maioria dos equipamentos que compõem o sistema serem importados.

Tabela 9 - Levantamento de custo para implantação do SFVCR.

Descrição	Quantidade	Preço unitário	Subtotal R\$
Módulos fotovoltaicos JAP 6	176	R\$980,00	R\$172.480,00
Inversores SE5K	10	R\$4.600,00	R\$50.600,00
Custo de instalação e estrutura de fixação			R\$159.000,00
		Total	R\$ 382.080,00

Fonte: autor do projeto.

Em função do custo levantado para a implantação de um SFVCR de 55,4 kWp, chega-se a um custo equivalente a R\$ 6,90 / Wp.

Os valores de implantação estão de acordo com os comercializados no mercado, a tabela 11, descreve os custos de implantação de acordo com a potência de pico instalada.

Tabela 10 - Custo médio do investimento inicial de um SFVCR.

INVESTIMENTO INICIAL (R\$)	
Potência do sistema (kWp)	Média
1kWp	13.671,35
2kWp	23.437,77
3kWp	28.801,07
4kWp	35.583,28
5kWp	41.037,00
10kWp	70.212,62
10k-20kWp	99.840,68
20k-40kWp	191.860,68
40k-80kWp	374.993,40
80k-160kWp	722.797,06
160k-300kWp	1.368.550,85
300k-720kWp	2.843.874,84
720k-1000kWp	4.196.910,50

Fonte: TOYAMA, 2014.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostrou que o consumo de energia na sede Centro é alto. A inserção de SFVCR pode reduzir este consumo, contribuindo com a diminuição dos custos com energia elétrica.

O projeto foi definido para apenas um dos blocos da UTFPR, o que significa uma contribuição na ordem de 4% da energia elétrica consumida durante o horário fora de ponta. Se o dimensionamento for estendido também para os demais blocos da sede centro, estima-se um percentual de geração na ordem de 50% da energia consumida durante o horário fora de ponta.

Foi utilizado neste estudo o software Radiasol para obter o ângulo ótimo de inclinação dos módulos fotovoltaicos, visto que os mesmos foram pensados acompanhando o alinhamento da edificação, ou seja, com o desvio azimutal de 22° para oeste em relação ao norte, o que levou a uma inclinação ótima levemente inferior ao valor da latitude local, neste caso a inclinação utilizada ficou em 23°.

A escolha de equipamentos com alta eficiência, como no caso do inversor adotado, cujo rendimento é de 98%, contribuirá para um bom desempenho de todo o sistema.

A geração fotovoltaica ocorre no horário fora de ponta, portanto esta energia contribui aliviando o consumo da universidade no período diurno, e o comparativo percentual da geração foi realizado com a energia consumida neste mesmo período.

Com o dimensionamento de um SFVCR para o Bloco D, levantou-se um investimento total de R\$ 382.080,00 o que representa R\$ 6,90 / Wp, valor compatível com os obtidos na literatura.

Adicionalmente, a implementação desses sistemas contribuem com o meio ambiente, pois não emitem gases de efeito estufa durante a sua fase de operação, além de contribuir para a postergação de investimentos na infraestrutura de geração e distribuição.

Como sugestão para futuros trabalhos, sugere-se a ampliação desse projeto para todos os blocos da UTFPR a fim de obter o real potencial de geração fotovoltaica na instituição.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de Abril de 2012.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica**. 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/operacaocapacidadebrasil.asp>. Acesso em: 08 jan. 2015.

Balanco Energético Nacional 2014: Ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>> Acesso em: 31 jul. 2015.

BRASIL ESCOLA. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-termoeletrica.htm>> Acesso em: 24 out. 2015.

JASOLAR, **JAP6 Módulo de Silício Policristalino**, Disponível em: <http://www.real-watt.com.br/pdf/260-265.pdf> Acesso em 10/03/2015

MME. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas**. Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos. Brasília, 2009.

MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Ministério de Minas e Energia - MME. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/menu/pde2022.html>>. Acesso em: 24 out. 2015.

MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Brasília, 2014. Disponível em:

<<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>> Acesso em: out. 2015.

PINHO, João Tavares e GALDINO, Marco Antonio; **Manual engenharia para sistemas fotovoltaicos**, 2014.

PLANO de Expansão de Energia. **Reenergy Brasil**: O futuro da nossa matriz energética, Fortaleza, n.14, p.45, outubro 2010. Disponível em: <http://issuu.com/reenergy/docs/reenergy__14>. Acesso em: 14 set. 2015.

PORTAL SOLAR, **Quanto Custa A Energia Fotovoltaica No Brasil**, Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>> Acesso em: 27/11/2015.

REN21. **RENEWABLES**: global futures report 2013. Paris, 2013. Disponível em:<http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gfr/REN21_GFR_2013.pdf> Acesso em: 04 set. 2015.

REN21. **RENEWABLES 2014**: global status report. Paris, 2014. Disponível em: <<http://www.ren21.net/Portals/0/documents/e-paper/GSR2014/index.html>> Acesso em: ago. 2015.

RÜTHER, Ricardo; **Edifícios solares fotovoltaicos**: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil, 1º edição. 114 f. Editora UFSC/ Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC 2004.

SOLENERG ENGENHARIA E COMÉRCIO LTDA – Disponível em: <www.solenerg.com.br/conceitos>. Acesso em: 10 maio 2015.

TOYAMA, Alain Heizo *et al*; **Estudo de viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados á rede elétrica de energia para diferentes regiões do estado do Paraná**, 2014. Trabalho de conclusão de curso de graduação de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba PR.

URBANETZ JUNIOR, JAIR, **Apostila do curso de especialização em energia renováveis da UTFPR**. 2014. p.8 – 12.

URBANETZ JUNIOR, JAIR, **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas [tese]: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010.

VILLALVA, Marcelo G; Gazoli, Jonas R; **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª edição. 224 f. Editora Érica. São Paulo-SP 2012.