

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LIGADOS A REDE INSTALADOS NA  
CIDADE DE LAJEADO/RS**

Mateus Longo

Lajeado, novembro de 2015

Mateus Longo

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LIGADOS A REDE INSTALADOS NA  
CIDADE DE LAJEADO/RS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão I, do curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Univates, como parte dos requisitos para obtenção de título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Rafael Mascolo

Lajeado, novembro de 2015

Mateus Longo

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LIGADOS A REDE INSTALADOS NA  
CIDADE DE LAJEADO/RS**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

---

Prof. Ms. Rafael Mascolo (orientador)

Centro Universitário Univates

---

Prof. Dr. Odorico Konrad

Centro Universitário Univates

---

Prof. Ms. Rodrigo Spinelli

Centro Universitário Univates

Lajeado, novembro de 2015

## RESUMO

Atualmente os sistemas fotovoltaicos vêm sendo uma alternativa para geração de energia elétrica, de forma renovável, limpa, e sem impactos ambientais. Conforme estudos, o Brasil possui incidência solar favorável para instalação de geradores solares. O sistema fotovoltaico é fácil de ser aplicado, sem a necessidade de estrutura extra, onde normalmente as placas são instaladas sobre a cobertura das edificações. O sistema fotovoltaico possui elevada confiabilidade e opera de forma limpa e silenciosa. Esse estudo tem como objetivo quantificar a incidência solar e o período de insolação na cidade de Lajeado/RS, relacionando-os com a produção de energia elétrica de duas instalações que geram eletricidade a partir de placas fotovoltaicas. Os dados meteorológicos serão obtidos através de estação instalada no Centro Universitário Univates. As duas situações de produção fotovoltaica abordadas, possuem sistema com dez e dezesseis placas fotovoltaicas cada uma. As instalações são do tipo conectadas a rede elétrica, onde a produção de eletricidade excedente gera créditos a serem gastos posteriormente pelas unidades.

**Palavras-chave:** Produção de energia elétrica. Sistemas fotovoltaicos. Energia sustentável.

## **ABSTRACT**

Nowadays, photovoltaic systems have been an alternative for power generation, they are renewables, clean, and do not cause environmental impacts. Studies show that Brazil has favorable sunlight for installing photovoltaic solar cells. The photovoltaic system is easy to apply, without additional structure, usually the cells are installed on the roof of buildings. The system is reliable, clean and quiet. The aim of this research is to quantify the sunlight and solar irradiance period in the city of Lajeado/RS, relating to the production of solar energy from two photovoltaic cells. Meteorological data are obtained through the weather station installed in the University Univates. The two situations has system with ten and sixteen photovoltaic cells, each. The facilities are of the type connected to network eletrical, so the surplus production electricity generates credits to be used later.

**Keywords:** Electricity production. Photovoltaic systems. Sustainable energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Radiação solar direta, difusa e albedo .....	20
Figura 2 – Heliógrafo <i>Campbell-Stokes</i> e cartas registro .....	22
Figura 3 – Piranômetro fotovoltaico .....	23
Figura 4 – Piranômetro termoelétrico.....	24
Figura 5 – Piranógrafo .....	25
Figura 6 – Radiação solar global diária, média anual .....	26
Figura 7 – Insolação direta diária, média anual em horas .....	27
Figura 8 – Mapa mundial de irradiação solar em média anual .....	29
Figura 9 – Matriz elétrica do Brasil .....	34
Figura 10 – Países geradores de energia no Mundo e o tipo de geração. ....	36
Figura 11 – Esquema mostrando junção pn (Boro e fósforo fazendo junção pn) .....	41
Figura 12 – Esquema mostrando efeito fotovoltaico .....	41
Figura 13 – Esquema mostrando junção pn .....	42
Figura 14 – Projeto de sistemas isolados .....	44
Figura 15 – Sistema híbrido.....	45
Figura 16 – Sistemas conectados à rede .....	46
Figura 17 – Placas fotovoltaicas instaladas na UNIVATES .....	47
Figura 18 – Estrutura de módulo fotovoltaico .....	48
Figura 19 – Associação de módulos em série .....	49
Figura 20 – Associação de módulos em paralelo.....	50
Figura 21 – Tensão elétrica em função da temperatura.....	51
Figura 22 – Etiqueta do Inmetro fixada nos módulos .....	52

Figura 23 – Placas fotovoltaicas .....	57
Figura 24 – Inversor instalado na UNIVATES. ....	58
Figura 25 – Placas fotovoltaicas .....	59
Figura 26 – Inversor instalado na residência.....	60
Figura 27 – Localização dos sistemas fotovoltaicos e Centro Meteorológico ..	61
Figura 28 – Estação meteorológica <i>DAVIS Vantage PRO 2</i> .....	62
Figura 29 – <i>Software</i> RADIASOL 2.....	63
Figura 30 – Dados de radiação através do CIH (2007 a 2012) e software RadiaSol .....	66
Figura 31 – Dados de radiação global horizontal e inclinada.....	68
Figura 32 – Dados de radiação no período de estudo .....	69
Figura 33 – Relação Energia Gerada e Pluviometria mês de julho de 2015 .....	70
Figura 34 – Produção de energia elétrica do mês de maio de 2015 .....	71
Figura 35 – Produção de energia elétrica do mês de junho de 2015 .....	72
Figura 36 – Produção de energia elétrica do mês de julho de 2015 .....	73
Figura 37 – Produção de energia elétrica do mês de agosto de 2015 .....	74
Figura 38 – Produção de energia elétrica do mês de setembro de 2015.....	75
Figura 39 – Produção de energia elétrica do mês de outubro de 2015 .....	76
Figura 40 – Síntese da produção de energia elétrica .....	78
Figura 41 – Fatura de energia elétrica sistema residencial .....	80
Figura 42 – Eficiência dos módulos fotovoltaicos .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Radiação solar média em localidades do Mundo.....	19
Tabela 2 – Classe de eficiência de módulos fotovoltaicos no Brasil conforme Inmetro .....	52
Tabela 3 – Radiação global horizontal .....	65
Tabela 4 – Síntese da produção de energia elétrica .....	77

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Por cento
'	Minuto
" S	Segundo Sul
°	Graus
° S	Graus Sul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Social
CA	Corrente alternada
CC	Corrente continua
CC-CA	Corrente Contínua e Corrente alternada
CEMA	Centro de Mecânica Aplicada
CIH	Centro de Informações Hidrometeorológicas
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CPT	Condição Padrão de Teste

CT-ENERG	Fundo Setorial de energia
FC	Fator de Capacidade
GW	Giga Watts
INMETRO	Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
Km	Quilômetro
Km	Quilômetros
KW	Quilo-Watts
kWh/(m <sup>2</sup> .dia)	Quilo Watt por metro quadrado por dia
kWh/m <sup>2</sup> /ano	Quilo Watt por metro quadrado por ano
kWh/m <sup>2</sup> /dia	Quilo Whatt por metro quadrado por dia
kWh/mês/m <sup>2</sup>	Quilo Whatt por mês por metro quadrado
kWp/m <sup>2</sup> /ano	Quilo Watt pico por metro quadrado por ano
KWpico	Quilo Watt pico
m <sup>2</sup>	Metros Quadrados
MJ/m <sup>2</sup> .dia	Mega Joule por metro quadrado por dia
MW	Mega Watts
MWp	Mega Watt pico
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
nº	Número
p	Prótons
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas

Pn	Ptónon-Neutron
Proinfa	Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RAC	Regulamento (ou Requisitos) de Avaliação da Conformidade
W/m <sup>2</sup>	Watt por metro quadrado,
Wh/m <sup>2</sup>	Watt-hora por metro quadrado
Wh/m <sup>2</sup> .dia	Watt-hora por metro quadrado por dia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 Objetivo principal .....	16
2.2 Objetivos secundários .....	16
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
3.1 Radiação solar sobre a terra .....	18
3.2 Energia fotovoltaica no Brasil.....	27
3.3 Histórico da energia fotovoltaica.....	29
3.4 Sistema fotovoltaico .....	31
3.5 Energias renováveis .....	32
3.6 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.....	36
3.7 Usinas de geração fotovoltaicas.....	37
3.8 Transformação da irradiação solar em eletricidade.....	38
3.9 Efeito fotovoltaico .....	39
<b>4 COMPONENTES BÁSICOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>43</b>
4.1 Pannel fotovoltaico .....	46
4.2 Inversor .....	53
<b>5 LEGISLAÇÃO E NORMAS DA ABNT.....</b>	<b>54</b>
<b>6 METODOLOGIA .....</b>	<b>56</b>
6.1 Sistema instalado na Univates.....	56
6.2 Sistema instalado em residência na cidade de Lajeado .....	59
6.3 Localização dos sistemas e Centro Meteorológico .....	61
6.4 Medição de radiação e horas de insolação.....	61
6.5 Tratamento de dados .....	62
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>64</b>
7.1 Radiação solar incidente .....	64

<b>7.2 Energia elétrica gerada a partir dos sistemas fotovoltaicos .....</b>	<b>69</b>
<b>7.3 Síntese da produção de energia dos sistemas fotovoltaicos .....</b>	<b>76</b>
<b>7.4 Perdas de energia elétrica em função dos inversores.....</b>	<b>78</b>
<b>7.5 Produção de energia fotovoltaica na fatura de energia elétrica .....</b>	<b>79</b>
<b>7.6 Eficiência.....</b>	<b>81</b>
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O homem em sua trajetória na terra, aprendeu a manusear recursos naturais a fim de suprir suas necessidades, assim contribuindo com a sua sobrevivência e desenvolvimento até os dias atuais. O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, é tanto fonte de calor quanto fonte de luz, sendo uma alternativa energética necessária para suprir *déficits* de energia em tempos de crise energética (CRESESB, 2014).

A exploração excessiva de combustíveis fósseis em busca da energia, traz impactos ambientais, o que gera grande preocupação na atualidade. Pensando nisso, busca-se fontes alternativas de geração de energia em especial as renováveis e não poluentes, como a solar (COLLE; PEREIRA, 1997)

A utilização da radiação solar como fonte de energia vem crescendo nas últimas duas décadas por razões econômicas e também pela crise do petróleo de 1973, quando os Estados Unidos e Europa desenvolveram tecnologias alternativas de produção de energia (COLLE; PEREIRA, 1997).

De acordo com Mourão (2002), a energia solar incidente é uma fonte renovável, e estima-se que o sol iluminará a terra por mais 5 bilhões de anos. O potencial de energia elétrica fotovoltaica que o sol origina, é muitas vezes maior que a demanda total de energia utilizada no nosso país.

Na atualidade, a nível mundial, recorre-se aos combustíveis fósseis para satisfazer 93% das necessidades energéticas da humanidade. A utilização desse tipo de energia, além de apresentar perdas de 50% sob forma de calor, vem provocando a degradação do meio ambiente (CRESESB, 2006).

Retirar carvão de minas subterrâneas ou a céu aberto, polui a água e deixa o solo impróprio para usos futuros. Vazamento de petróleo em oleodutos e em navios têm causado grande impacto ambiental nas zonas costeiras. Centrais termoelétricas a base de carvão e petróleo emitem CO<sub>2</sub> e conseqüentemente aumentam o aquecimento global devido ao efeito estufa. Apesar dos vários problemas ocasionados por combustíveis fósseis, esta ainda é a forma mais barata de geração de energia (CRESESB, 2006).

A quantidade de radiação que o sol fornece à Terra, equivale a 7.500 vezes o consumo de energia primária de sua população. A incidência de radiação varia em função da posição geográfica, podendo atingir 170 W/m<sup>2</sup>. Se a pequena parcela de 0,1% da energia solar pudesse ser convertida em energia com eficiência de 10%, superaria em quatro vezes a geração de energia mundial que é de 3.000 GW (VICHI; MANSOR, 2009).

A energia solar tem como características, qualidade, quantidade, reservas, acessibilidade (transporte), e o fato de ser energia pura, sem causar danos ambientais. Além disso, incide na superfície do nosso planeta, sendo uma fonte de energia mais acessível que as demais. Ela é acessível em qualquer ponto do nosso planeta e também no espaço (VICHI; MANSOR, 2009).

A maior parte da energia elétrica gerada no Brasil, provém de usinas hidrelétricas e termelétricas, que somam 90,58% da produção (ANEEL, 2015). Atualmente as usinas fotovoltaicas produzem 0,01% da energia gerada.

Em função dos sucessivos aumentos nas tarifas de energia elétrica, cada vez mais busca-se alternativas de economia com energia elétrica. Só no mês de março de 2015 o reajuste foi de 23,4% (AZEVEDO, 2015).

Seria coerente a utilização de sistemas fotovoltaicos em empresas de grande porte, os quais são grandes consumidores. Com isso além de produzir sua própria energia, fazem com que a concessionária não sobrecarregue seu sistema de distribuição elétrica diminuindo a demanda sem que haja quedas na distribuição por conta disto (CABRAL; VIEIRA, 2012).

O trabalho se justifica pela necessidade de avaliar a eficiência do sistema de painel solar fotovoltaico instalados na cidade de Lajeado/RS, tomando como ponto de partida dados de incidência solar na região e a resultante de energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

## **2 OBJETIVOS**

Com base em referencial teórico a respeito de tecnologia fotovoltaica, este trabalho aprofunda conhecimentos sobre esta área, tendo em vista o constante desenvolvimento da última década, a qual promete ser uma solução de fonte energética visando questões ambientais e demanda de energia.

### **2.1 Objetivo principal**

Com base em dados de radiação obtidos através de equipamento adequado e software serão avaliados a produção de energia elétrica e eficiência energética de dois sistemas fotovoltaicos instalados na cidade de Lajeado, RS

### **2.2 Objetivos secundários**

- Quantificar o valor de radiação global horizontal e inclinada, pelos dados obtidos através de piranômetro instalado no Centro de Informações Hidrometeorológicas da Univates.

- Quantificar a produção de energia de dois sistemas fotovoltaicos, sendo uma instalação com dezesseis e outra com dez módulos fotovoltaicos.

- Relacionar valores de produção de energia elétrica, radiação global horizontal e inclinada obtidos pelo piranômetro e ajuda de software.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

O referencial teórico servirá de base para os estudos posteriores que serão usados para gerar os resultados. Serão abordados dados de radiação solar incidente em cada região do país, instrumentos de medição solar, situação brasileira de geração de energia limpa, funcionamento do efeito fotovoltaico, componentes do sistema e legislação.

#### **3.1 Radiação solar sobre a terra**

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar e etc.), a disponibilidade de radiação solar depende também da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Desse modo a duração solar (período/tempo de exposição ao sol) muda de região para região tendo maiores variações nas regiões polares. Já as regiões próximas a linha do Equador não têm altas variações quanto ao tempo de insolação. Em Porto Alegre, distante 120 km de Lajeado, a duração solar do dia varia de 10 horas e 13 minutos até 13 horas e 47 minutos, entre 21 de junho e 22 de dezembro respectivamente (ANEEL, 2012).

Deste modo para maximizar a eficiência e produção de energia fotovoltaica, se direciona as placas de acordo com a latitude local e o período do ano que se requer mais energia. No hemisfério sul, para melhor aproveitamento, deve-se colocar o

coletor solar para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local (ANEEL, 2012).

As regiões desérticas do mundo são as mais bem-dotadas de recurso solar. Exemplos disso são as cidades de Dongola, localizada no Deserto Árábico, no Sudão, e a região de Dagget no Deserto de Mojave e Califórnia, Estados Unidos, onde está instalada uma das maiores usinas solares do mundo com capacidade de 354 MW (CRESESB, 2014).

As cartas de radiação solar de Tiba (2000), mostram que a radiação solar no Brasil varia de 8 a 22 MJ/m<sup>2</sup>.dia (2250 a 6200 Wh/m<sup>2</sup>.dia) no trimestre de menor radiação maio-junho-julho registram a faixa de 8 a 18 MJ/m<sup>2</sup>.dia (2250 a 5100 Wh/m<sup>2</sup>.dia). As máximas de 18 MJ/m<sup>2</sup>.dia no trimestre de menor intensidade, ocorrem na Região Norte, e as mínimas de 8 MJ/m<sup>2</sup>.dia no trimestre ocorrem na Região Sul do país. Já no trimestre outubro-novembro-dezembro, as estações solarimétricas registram intensidades de radiação acima de 18 MJ/m<sup>2</sup>.dia chegando ao máximo de 24 MJ/m<sup>2</sup>.dia em uma região pequena do centro-oeste do Rio Grande do Sul, e valores de 22MJ/m<sup>2</sup>.dia em uma vasta região do Nordeste do Brasil. Na Tabela 1 temos dados de radiação solar diária, médias mensais para diversas localidades do Mundo.

Tabela 1 – Radiação solar média em localidades do Mundo

<b>Localidade</b>	<b>Latitude</b>	<b>Produção (mínima) (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Produção (máxima) (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Produção (média anual) (MJ/m<sup>2</sup>)</b>
Dongola-Sudão	19°10'	19,1(Dez)	27,7(Mai)	23,8
Dagget - USA	34°52'	7,8(Dez)	31,3(Jun)	20,9
Belém-PA-Brasil	1°27'	14,2(Fev)	19,9(Ago)	17,5
Florianópolis-PI-Brasil	6°46'	17,0(Fev)	22,5(Set)	19,7
Petrolina-PE-Brasil	9°23'	16,2(Jun)	22,7(Out)	19,7
B. J, da Lapa –BA	13°15'	15,9(Jun)	21,1(Out)	19,7
Cuiabá-MT-Brasil	15°33'	14,7(Jun)	20,2(Out)	18,0
B. Horizonte-MG-Brasil	19°56'	13,8(Jun)	18,6(Out)	16,4

Continua...

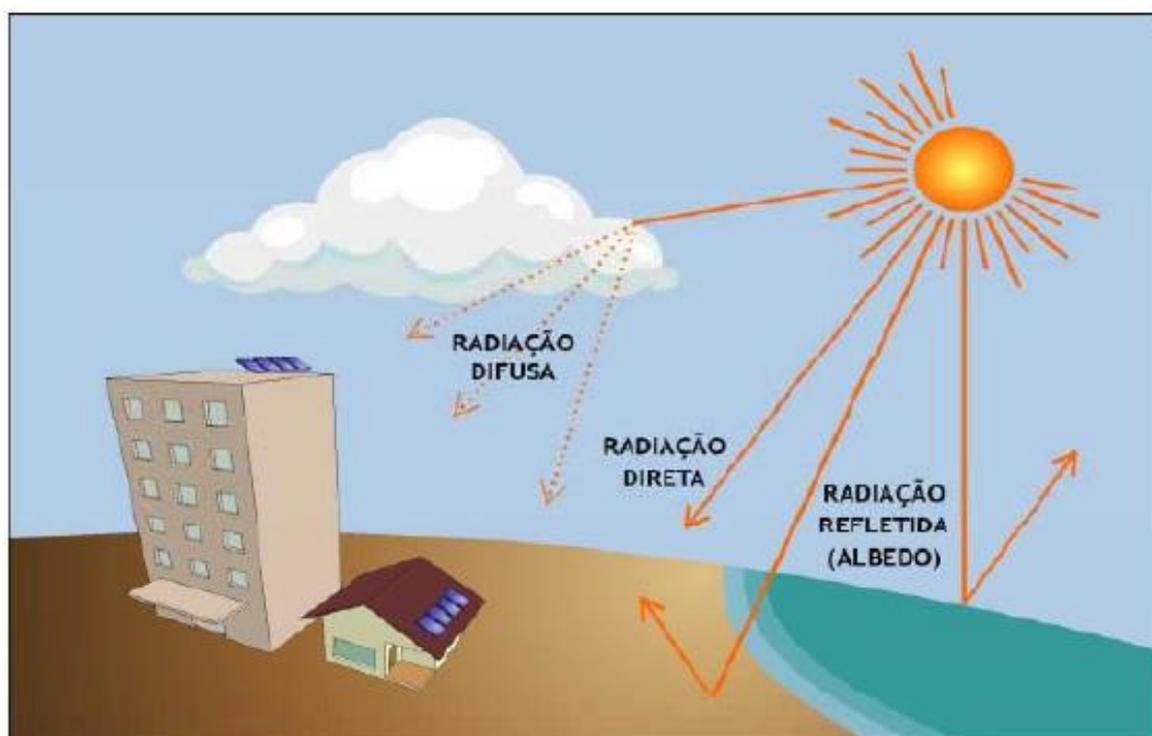
(Continuação)

Localidade	Latitude	Produção (mínima) (MJ/m <sup>2</sup> )	Produção (máxima) (MJ/m <sup>2</sup> )	Produção (média anual) (MJ/m <sup>2</sup> )
Curitiba-PR-Brasil	25°26'	9,7(Jun)	19,4(Jan)	14,2
P. Alegre-RS-Brasil	30°1'	8,3(Jun)	22,1(Dez)	15,0

Fonte: TIBA (2000, p. 3).

A radiação solar que chega a superfície terrestre ocorre em dois eventos, que são divididos em componentes: de direção direta e direção difusa (FIGURA 1). A direção direta é aquela que provém diretamente da direção do Sol e produz sombras nítidas. A difusa é proveniente de todas as direções, que atinge a superfície terrestre após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre. A parcela da radiação solar que chega à Terra e é refletida pelo solo, é chamada de albedo (VILLALVA; GAZOLI, 2013). Quando temos um dia nublado, temos 100% de radiação difusa. Em dias totalmente sem nuvens, temos somente 20% de radiação difusa, sendo 80% radiação direta. Os projetos para sistemas fotovoltaicos, tem uma demanda mínima de irradiação de 3 a 4 kWh/(m<sup>2</sup>.dia) (125 a 166W/m<sup>2</sup>) (GREENPRO, 2004).

Figura 1 – Radiação solar direta, difusa e albedo



Fonte: Viana (2011, p. 6).

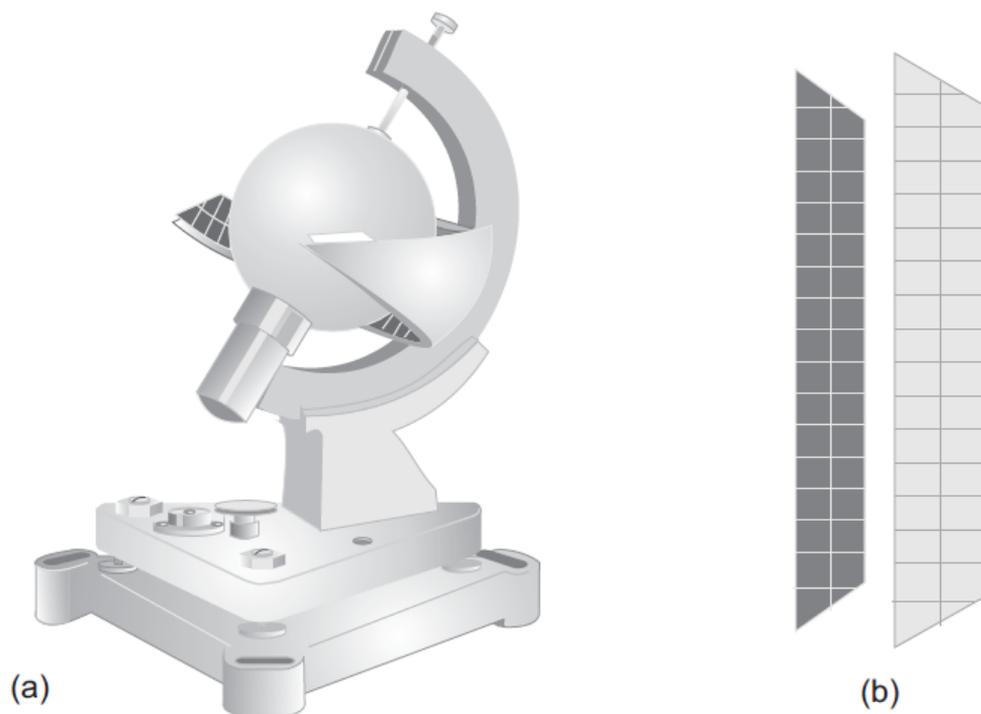
O conhecimento do recurso solar é a variável mais importante, para o desenvolvimento de um projeto de geração de energia através de placas fotovoltaicas (CRESESB, 2014).

A irradiância é uma grandeza usada para quantificar a radiação solar, também chamada de irradiação expressa na unidade  $W/m^2$  (watt por metro quadrado). Os sensores de radiação solar descritos a seguir, fornecem medidas de irradiância. Conforme relatam Villalva e Gazoli (2013), a irradiância da luz solar na superfície terrestre fica tipicamente em torno de  $1.000W/m^2$ . Esse valor é adotado como padrão pela indústria fotovoltaica, sendo mencionada em praticamente todos os catálogos de fabricantes de dispositivos fotovoltaicos.

As medidas solarimétricas na superfície terrestre têm importância para o estudo das condições climáticas e atmosféricas. Com o auxílio destas ferramentas, obtêm-se resultados necessários para verificar a viabilidade de instalação de sistema fotovoltaico em certa região. Existem alguns tipos de instrumentos para medição de radiação e os mais utilizados são descritos a seguir segundo Tiba (2000):

- **Heliógrafo:** Este instrumento tem como objetivo medir a insolação, através do número de horas de brilho do Sol. O instrumento recomendado para medição de insolação é do tipo *Campbell-Stokes* com cartas especificadas pelo serviço meteorológico Francês. O equipamento é composto por uma esfera de vidro polida, que se comporta como uma lente convergente, conforme Figura 2 (a). Em seu foco é colocada uma carta de papel como mostra a Figura 2 (b), que faz o registro diário (TIBA, 2000; CRESESB, 2014).

‘Figura 2 – Heliógrafo *Campbell-Stokes* e cartas registro



(a) Heliógrafo *Campbell-Stokes*; (b) Cartas de registro

Fonte: Tiba (2000, p. 24).

- **Piranômetro fotovoltaico:** Este solarímetro faz a leitura através de uma célula fotovoltaica, em geral, de silício monocristalino. As fotocélulas têm propriedade de produzir corrente elétrica quando iluminadas e na condição de curto circuito fornece a intensidade de radiação incidente. Tem baixo custo, facilidade de manuseio, e respostas instantâneas, cerca de 10 segundos (FIGURA 3) (CRESESB, 2014).

Figura 3 – Piranômetro fotovoltaico



Fonte: Cresesb (2014, p. 86).

- **Piranômetro termoeletrico:** Mede a radiação solar global, e seu sensor é uma pilha termoeletrica constituída por pares termoeletricos (termopares) em série. Estes, por sua vez, geram uma diferença de tensão elétrica proporcional a diferença de temperatura entre suas juntas, que fazem contato com placas metálicas que se aquecem quando iluminadas (FIGURA 4). Através da diferença de potencial medida na saída do instrumento mede-se a radiação incidente (CRESESB, 2014).

Figura 4 – Piranômetro termoelétrico



Fonte: Cresesb (2014, p. 86).

- **Piranógrafo:** É utilizado para a medição de radiação solar total ou sua componente difusa, possuindo o sensor e registrador na mesma unidade. Consiste em um receptor com três tiras bimetálicas, a central preta e as laterais brancas. As tiras brancas, estão fixadas, e a de cor preta está livre em uma extremidade, as quais irão se curvar quando iluminadas por serem de materiais e coeficientes de dilatação diferentes (FIGURA 5). Na tira preta, este encurvamento gera um movimento no extremo livre que é transmitido mecanicamente a uma pena que irá registrar sobre uma carta de papel (TIBA, 2000).

Figura 5 – Piranógrafo

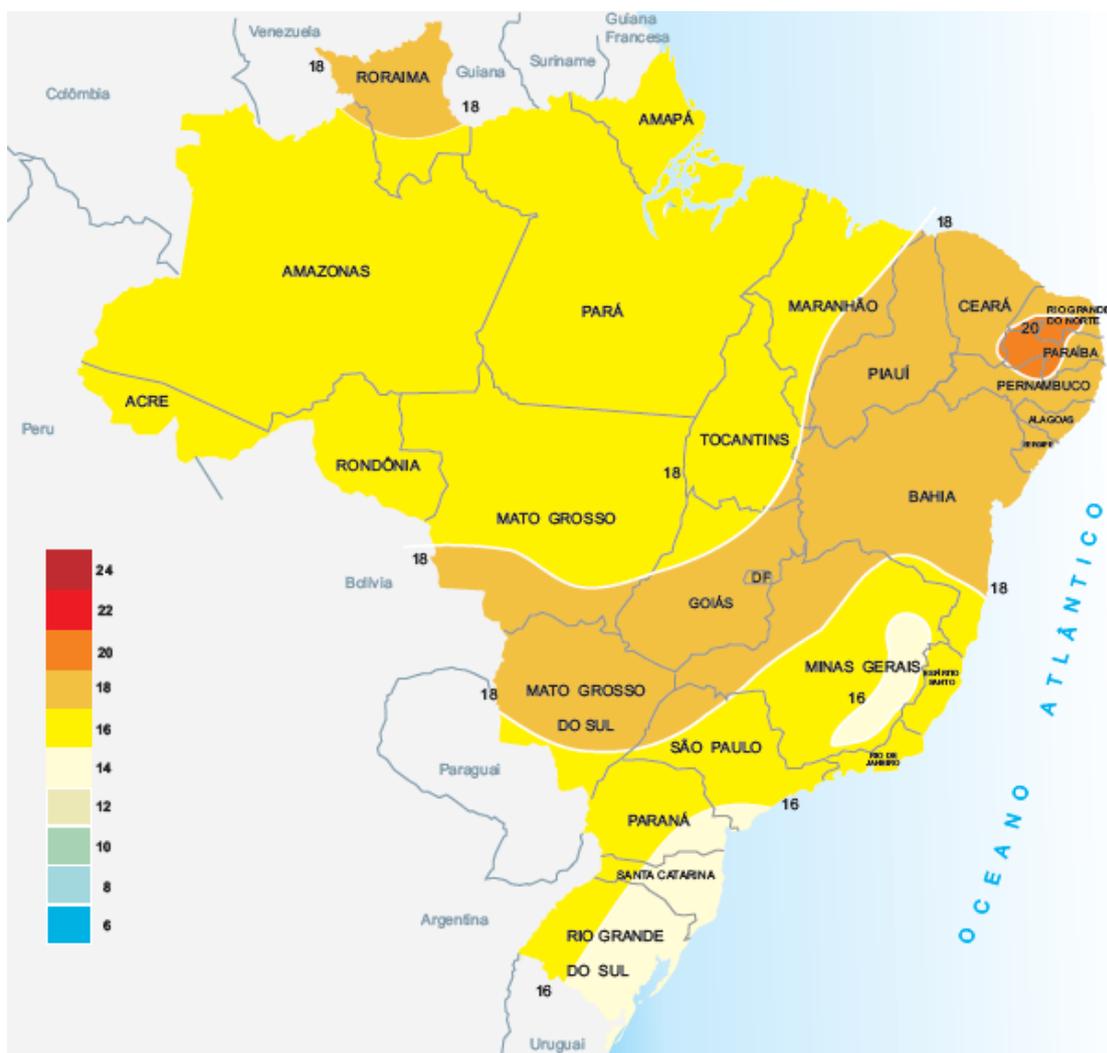


Fonte: Tiba (2000, p. 25).

Conforme o Atlas Solarimétrico do Brasil o território brasileiro, recebe radiação solar global média anual de  $16 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  ou  $4.500 \text{ Wh/m}^2.\text{dia}$ . Já o Rio Grande do Sul recebe média anual de  $14 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  ou  $3.900 \text{ Wh/m}^2.\text{dia}$  chegando a  $16 \text{ MJ/m}^2.\text{dia}$  em menor área (FIGURA 6) (TIBA, 2000).

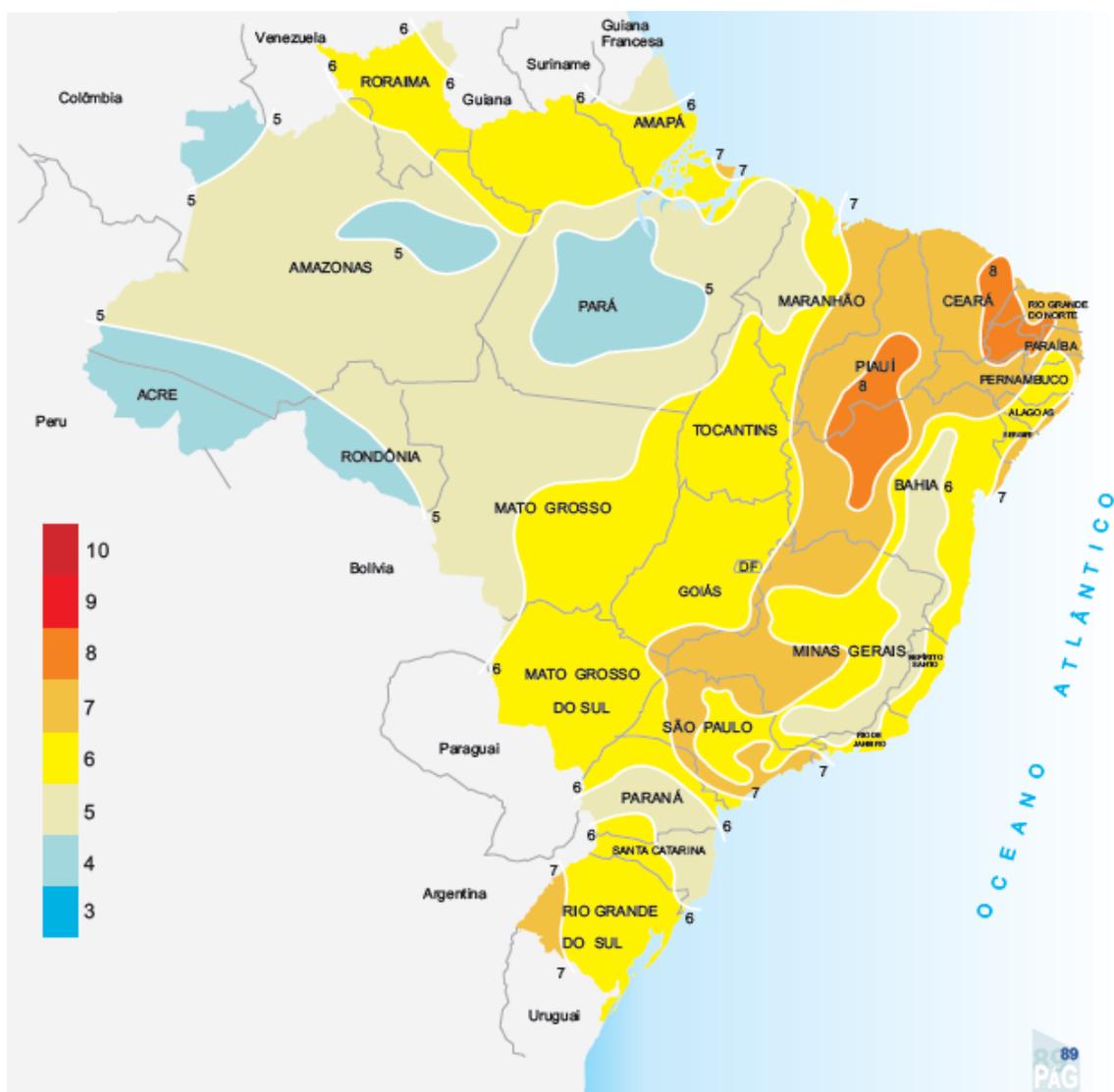
No mapa de isolinhas, que traz as informações da quantidade de horas que o sol brilha diariamente, observamos que a média no Brasil fica entre cinco a sete horas por dia de insolação. No estado do Rio Grande do Sul, os valores médios na maior parte do estado são de seis horas de insolação por dia (FIGURA 7).

Figura 6 – Radiação solar global diária, média anual



Fonte: Tiba (2000, p. 35).

Figura 7 – Insolação direta diária, média anual em horas



Fonte: Tiba (2000, p. 37).

### 3.2 Energia fotovoltaica no Brasil

O potencial da energia fotovoltaica no Brasil é muitas vezes superior ao consumo de energia elétrica no país. Um exemplo disso, é que se o lago de Itaipu, o qual gera em torno de 14% da energia elétrica consumida no país a partir da sua usina hidrelétrica (ITAIPU, 2015). Se fosse coberto de painéis fotovoltaicos de filmes finos

comercialmente disponíveis, seria possível produzir o dobro de energia produzida por Itaipu, ou a ordem de 50% do consumo brasileiro (RÜTHER, 2004).

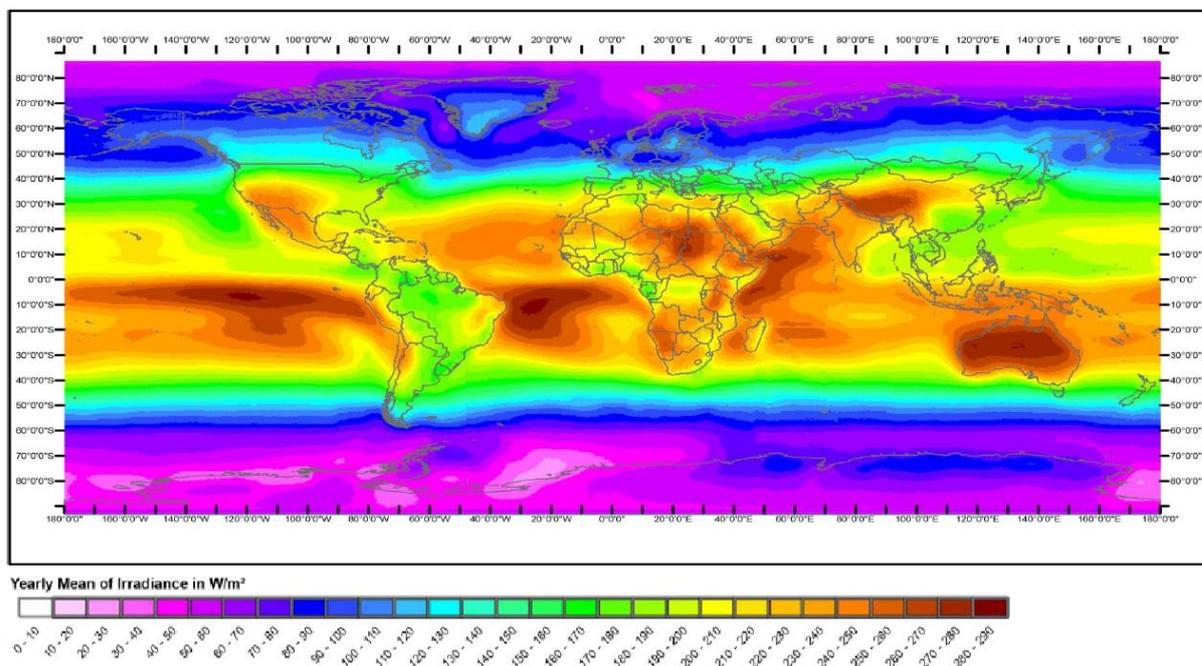
A região nordeste tem o maior potencial de insolação, atingindo a média de 206 W/m<sup>2</sup> de produção de energia elétrica. O Brasil tem grande potencial para a implementação de painéis fotovoltaicos, com valores anuais de insolação que giram entre 1800 KWh/m<sup>2</sup>/ano e 1950 KWh/m<sup>2</sup>/ano sendo inferiores somente a regiões desérticas das Américas do Norte e do Sul, Norte da África, Oriente Médio, China e Austrália (VICHI; MANSOR, 2009; TIBA, 2000).

Atualmente o governo e as concessionárias de serviços, utilizam o sistema de geração de energia fotovoltaico para uso em sinalização, telecomunicação e iluminação pública. Na agricultura, é usado para eletrificação de cercas na prática de agropecuária, na refrigeração de medicamentos em postos de saúde, e bombeamento de água em lavouras (CABRAL; VIEIRA, 2012). Existe também o programa do governo chamado “Luz Para Todos” que utiliza o sistema para comunidades afastadas dos grandes centros receberem energia elétrica (ANEEL, 2012).

O principal obstáculo tem sido o alto custo no ato da compra do sistema fotovoltaico, que lentamente está sendo vencido, graças ao aumento da procura, fazendo com que as indústrias consigam produzir mais e reduzir os preços (GOMES, 2012). Segundo Brito (2001) há duas soluções para reduzir o custo de implantação do sistema: uma forma é aumentar o investimento para o desenvolvimento de novas tecnologias de processamento de materiais que sejam mais baratas; e outra seria estimular o aumento de produção, mesmo com as tecnologias atuais, reduzindo o preço unitário.

Dados estimados obtidos através de satélites meteorológicos observados no período de 1990 a 2004 revelam o potencial de irradiação mundial. Foram gerados mapas com essas informações, conforme Figura 8. Pode-se observar que o potencial disponível no Brasil é maior quando comparado com países da Europa onde a conversão fotovoltaica é utilizada largamente. Além do tamanho do país, observa-se que em todo o território brasileiro tem disponibilidade de irradiação solar equivalente ou maior que países do sul da Europa e superando a Alemanha que tem capacidade instalada significativa (CRESESB, 2014).

Figura 8 – Mapa mundial de irradiação solar em média anual



Fonte: CRESESB (2014, p. 419).

### 3.3 Histórico da energia fotovoltaica

Em 1876 foi obtido o primeiro dispositivo de energia fotovoltaica a base de selênio. Somente em 1953, após pesquisas nos laboratórios Bell nos EUA, foi criado o primeiro dispositivo viável em um substrato de silício que registrava 4,5% de eficiência (BRITO; SILVA, 2006; VICHI; MANSOR, 2009).

Em novembro de 1958 o Centro de Estudos de Mecânica Aplicada (CEMA), juntamente com o Conselho nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), organiza no Rio de Janeiro o Primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar. Com isso iniciaram-se as atividades de pesquisa no Brasil (CRESESB, 2014).

Em 1974, pesquisadores do departamento de Energia Elétrica da Universidade de São Paulo, iniciaram pesquisas sobre células solares de silício monocristalino. Essas atividades se estenderam até o ano de 1989 (TOLMASQUIM, 2003).

Em 1976, foi criado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o Laboratório de Energia Solar. A partir disso, iniciaram-se as atividades de pesquisa nas áreas de conversão térmica e radiação solar. Pesquisas relativas a métodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e caracterização de módulos e sistemas aconteceram a partir de 1983(TOLMASQUIM, 2003).

Na Universidade Federal de Santa Catarina, o Labsolar existe desde 1990, realizando pesquisas do potencial solar do Brasil. Em 1995 o Labsolar desenvolveu atividades de campo e instalação de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (TOLMASQUIM, 2003; GTES, 2014).

Com grande salto no desenvolvimento de células fotovoltaicas, o mercado chinês teve um aumento significativo em sua produção, observado desde 2006. No ano de 2003, a Ásia nem figurava no mercado e, em 2009, a China já ocupava a primeira posição na fabricação de módulos. Nos últimos onze anos, o crescimento anual médio da indústria de células e módulos fotovoltaicos foi de 54,2% (GTES, 2014).

Atualmente a Europa se destaca na geração de energia fotovoltaica, onde encontram-se instaladas 74% da produção mundial. Em 2011, a energia elétrica fotovoltaica produziu 2% do consumo total, com destaque para a Itália com 5% do total produzido (GTES, 2014). Outros mercados, como da Ásia, estão em ascensão, pois os preços de instalação são reduzidos com a maior produção de módulos fotovoltaicos em seus países. Um dos fatores relevantes, é a migração de indústrias europeias e americanas para o continente asiático. Essas empresas buscam essa área do continente em função da redução dos custos de produção (CRESESB, 2014).

Com a evolução industrial do sistema fotovoltaico ligado à rede e alta produção de células e módulos, o Brasil não conseguiu acompanhar a evolução que estava acontecendo no mundo. Em 2001, por uma iniciativa do governo, foi criado o fundo setorial de energia (CT-ENERG) que resultou em crescimento das atividades de energia fotovoltaica e formação de grupos de pesquisa e programas de pós-graduação (ABINEE, 2012).

Atualmente, no Brasil existem laboratórios e equipes especializadas, dentro de universidades, trabalhando em pesquisas para aperfeiçoar o sistema fotovoltaico.

Porém ainda não se atingiu o nível tecnológico dos países desenvolvidos nesta área (GTES, 2014).

### **3.4 Sistema fotovoltaico**

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, isso se chama Efeito Fotovoltaico. O processo de conversão, acontece em função da célula fotovoltaica ser fabricada por um material semicondutor. A energia fotovoltaica é uma resultante da conversão da luz solar em corrente elétrica (CABRAL; VIEIRA, 2012).

O material mais usado na fabricação de semicondutores é o silício, que representa mais de 85% do mercado. Além de ser considerado uma tecnologia consolidada e confiável, possui a melhor eficiência comercialmente disponível (CRESESB, 2014).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser autônomos ou ligados à rede. Os sistemas autônomos, necessariamente, devem ser ligados a um sistema de conservação da energia, usualmente feito com baterias. Já no sistema ligado à rede, a energia produzida é consumida imediatamente, e o excedente vai para a rede pública (GREENPRO, 2004).

Conforme os estudos de Rüther (2004) e Villalva e Gazoli (2013), a inclinação e orientação das placas são de suma importância para que se tenha total eficiência do sistema. A orientação ideal é a de uma superfície voltada para o Equador, sendo norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte.

O sombreamento é uma questão crítica, pois o gerador fotovoltaico tem desempenho ótimo quando iluminado homogeneamente. Como as células fotovoltaicas são ligadas em série, quando temos o sombreamento de uma dessas células, pode haver redução significativa do rendimento do sistema. Isto se deve ao fato de que a célula que registrar a menor quantidade de radiação é que irá determinar

a corrente. Alguns exemplos de sombreamento podem ser antenas, chaminés, edificações vizinhas entre outros (RÜTHER, 2004).

A insolação é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana por um determinado período de tempo. Essa unidade é o Wh/m<sup>2</sup> (Watt-hora por metro quadrado), sendo muito útil na hora de fazer o dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Estações meteorológicas espalhadas pelo mundo, fazem o levantamento de insolação que posteriormente são disponibilizados para o público em forma de mapas e tabelas conforme vimos anteriormente neste trabalho (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

A inclinação recomendada para os painéis, deve ser igual a latitude do local. Em Lajeado temos Latitude de 29<sup>o</sup> S. Pequenas variações na inclinação na ordem de 10<sup>o</sup> para mais ou para menos, não resultam em grandes mudanças na geração de energia. Em localidades próximas a linha do Equador se usa a inclinação mínima de 10<sup>o</sup> para favorecer a autolimpeza dos módulos pela ação da água da chuva. (VILLALVA; GAZOLI, 2013; CRESESB, 2014).

### **3.5 Energias renováveis**

Conforme Bermann (2008) e Goldemberg e Paletta (2012), 81% da atual oferta energética mundial, é baseada nos combustíveis fósseis. As mudanças climáticas e o efeito estufa acarretaram uma crise ambiental em grande escala, e com isso as energias limpas figuraram como alternativa para reduzir os efeitos dessa crise. As previsões para 2030 não são animadoras, pois estima-se que o petróleo terá participação de 35% da oferta energética mundial, enquanto o carvão mineral responderá por 22%, e o gás natural 22%. Ao falar em energias renováveis, somando hidráulica, biomassa, solar, eólica e geotérmica que representam atualmente 12,7% da oferta energética mundial, poderão chegar a não mais do que 14% em 2030.

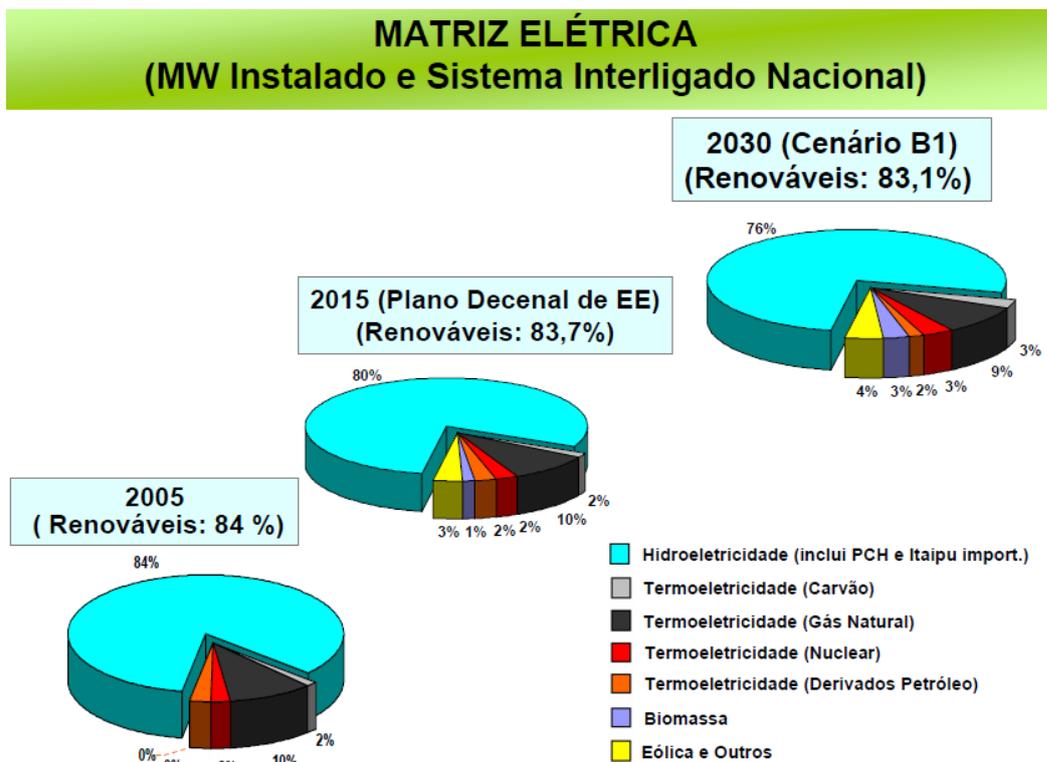
Já Tolmasquim (2003) afirma que fontes energéticas renováveis de energia, sem dúvida terão uma participação expressiva na matriz energética global nas

próximas décadas. Até mesmo no setor de transportes, já que as montadoras de veículos estão fabricando veículos híbridos.

Para Goldemberg e Paletta (2012), com o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e os problemas ambientais causados pela emissão de poluentes emitidos, os combustíveis fósseis não poderão continuar sendo a principal fonte energética para utilização do homem. Em função disso é de fundamental importância a discussão do uso de energias renováveis, por não serem poluentes e não depender de fatores geopolíticos.

Com o debate contínuo sobre impactos causados por combustíveis fósseis, e alternativas para produção de energia mais limpa, o governo criou o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Social (BNDES). O programa foi criado para projetos de geração de energia a partir dos ventos (energia eólica), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), bagaço de cana, casca de arroz, cavaco de madeira e biogás de aterro sanitário (biomassa) (BERMANN, 2008). Conforme a Figura 9, para Laura Porto, Diretora do Departamento de Desenvolvimento Energético, de 2015 para 2030, a matriz elétrica renovável do Brasil terá decréscimo de 0,6% (PORTO, 2007).

Figura 9 – Matriz elétrica do Brasil



Fonte: Porto (2007, p. 9).

A seguir serão apresentadas os principais sistemas e fontes de energia renováveis utilizados atualmente.

- **Biomassa:** é definida basicamente por todo recurso renovável derivado de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para geração de energia. No Brasil com o incentivo no uso de etanol nos carros, houve grande crescimento no setor da cana-de-açúcar. São consideradas também a queima de madeira de reflorestamento e bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia em caldeiras (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

- **Solar fotovoltaica:** é a energia obtida através da radiação solar. A célula fotovoltaica é composta por material semicondutor, que transforma a energia solar em energia elétrica. Para garantir a eficiência do sistema, precisa haver incidência solar direta, gerando energia até mesmo em dias nublados. Os sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica podem funcionar conectados a redes, ou isolados (CRESESB, 2012).

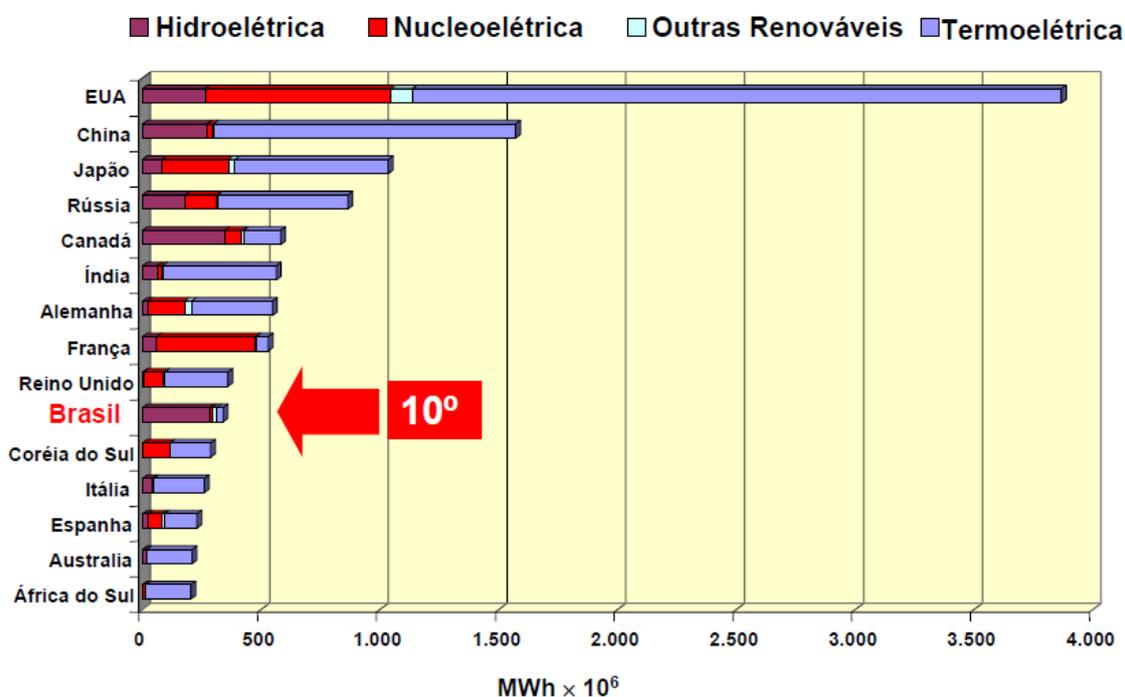
- **Hidrelétrica:** Quase toda energia elétrica gerada no Brasil é provinda das usinas hidrelétricas. A energia é gerada através energia potencial da água armazenada em um reservatório, sendo transformada em energia cinética durante o escoamento. O movimento da água faz girar as pás de uma turbina que, por sua vez, aciona um gerador elétrico. A energia produzida é conduzida para um transformador elétrico e depois enviada para os centros de consumo através de linhas de transmissão (VILLALVA; GAZOLI, 2013). Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), causam impactos bem menores que as grandes hidrelétricas. As chamadas PCHs, geralmente são implantadas em rios de pequeno porte, onde não são construídas grandes barragens e reservatórios causando pouco impacto (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

- **Eólica:** A energia eólica é gerada através da transformação de energia cinética contida nas massas de ar em movimento. A obtenção de energia ocorre através do giro de turbinas eólicas produzidas pelo vento (ANEEL, 2012). Grandes geradores eólicos com potências de vários megawatts usados em parques eólicos de eletricidade empregam turbinas de eixo horizontal, que ligados a geradores elétricos produzem energia elétrica. A indústria de energia eólica vem crescendo muito no Brasil, ocorrendo a implantação de vários parques eólicos para geração de energia elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

- **Solar heliotérmica:** Esse sistema consiste em aquecimento e evaporação de água através de coletores solares. Para geração de eletricidade, é utilizado um bloco de potência composto por uma turbina à vapor, gerado pelo calor absorvido pelos coletores. O vapor com alta pressão gira a turbina que conectada a um gerador produz energia elétrica. Esse sistema é implantado onde a incidência solar é muito forte para obtenção de maior eficiência (CRESESB, 2012).

A Figura 10, mostra os quinze países que mais geram energia no Mundo e qual o tipo de geração.

Figura 10 – Países geradores de energia no Mundo e o tipo de geração.



Fonte: Porto (2007, p. 4).

### 3.6 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica

Existem duas modalidades de sistema de geração de energia elétrica por sistema fotovoltaico, sendo um conectado à rede e outro autônomo.

O sistema conectado à rede elétrica opera em paralelo com a rede de eletricidade das concessionárias. Já o sistema autônomo gera energia e armazena em baterias para uso imediato ou posterior. A finalidade do sistema conectado à rede, é gerar eletricidade para consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede pública ou até mesmo gerar excedente. Em alguns países, é incentivada a instalação de painéis fotovoltaicos de modo que os usuários conseguem suprir à quantidade de energia elétrica gasta, e muitas vezes geram excedentes recebendo por isso (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

É adotado medidor bidirecional nas residências para que quando o sistema fotovoltaico gere mais energia do que a demandada pela instalação consumidora, o

medidor ande para trás, e o contrário quando a edificação gasta mais do que está produzindo (RÜTHER, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são classificados em categorias segundo seu tamanho, conforme definição regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). São elas:

- **Microgeração distribuída:** central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100 KW. Sua geração tem que ser derivada de energia hidráulica, solar, biomassa, eólica, conectadas à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras (CRESESB, 2014).

- **Minigeração distribuída:** central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 100 KW e menor ou igual a 1 MW. Sua geração tem que ser derivada de energia hidráulica, solar, biomassa ou eólica, conectadas à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras (CRESESB, 2014).

- **Sistema de compensação de energia elétrica:** o excedente de energia produzida por uma unidade, é cedida por meio de empréstimo gratuito à concessionária. Posteriormente, se a unidade não gerar energia suficiente para o uso, será descontado do crédito que a unidade tem com a distribuidora (CRESESB, 2014).

### 3.7 Usinas de geração fotovoltaicas

O sistema fotovoltaico também pode ser usado na construção de usinas de geração de energia elétrica, contando com uma grande quantidade de placas fotovoltaicas, que fazem a captação da energia solar transformando-a em energia elétrica, a qual passa por transformadores, e então é levada até as linhas de transmissão, da mesma maneira como são feitas em hidrelétricas, termelétricas e outras (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

As usinas fotovoltaicas têm sido uma opção viável, em países que importam combustíveis fósseis, para a geração de energia elétrica. Além de minimizar o gasto com a importação, causam menos impactos ambientais pela menor emissão de gases

poluentes. Alemanha, Itália, Espanha e Portugal, são países que se destacam na geração desta energia limpa (CRESESB, 2014).

A primeira usina fotovoltaica instalada no Brasil está localizada no município de Tauá no sertão do Ceará, distante 360 Km da capital Fortaleza. Esta tem capacidade de geração de 1 MWp de energia, podendo abastecer 1.500 casas populares, a usina conta com 4.680 painéis fotovoltaicos, e tem-se perspectiva, a longo prazo, na ampliação da usina, chegando a produção de 50 MWp (IEE, 2011).

### **3.8 Transformação da irradiação solar em eletricidade**

A irradiação solar sobre uma usina e sua conversão em energia elétrica, pode ser obtida através do fator de capacidade (FC) da instalação fotovoltaica que mede a relação entre a energia média produzida em um intervalo de tempo (kWh) e a capacidade nominal do sistema (kWp) multiplicada pelo número de horas do ano (8.760). O sistema não depende somente da irradiação solar incidente nos módulos, mas também do fator de desempenho, que mede a qualidade da instalação fotovoltaica (ABINEE, 2012).

Supondo um sistema fotovoltaico de 15 kWp composto por 100m<sup>2</sup> de módulos com eficiência de 15%, com irradiação média de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>/ano. A produção deveria ser de  $15\% \times 2.000 = 300\text{kWp/m}^2/\text{ano}$ , mas acaba produzindo somente 240 kWh/m<sup>2</sup>/ano pois existem perdas no sistema. Conclui-se que o fator de desempenho do sistema é de  $240/300 = 0,80$ . No exemplo o sistema perdeu 20% de sua eficiência, que pode ser ocasionada por alguns motivos:

- Eventuais sombreamentos nos módulos de produção;
- Acumulo de poeira ou sujeira nos módulos, reduzindo a capacidade de produção;
- Temperatura elevada, que por especificação do fabricante, tendo temperatura ideal de 25 graus;

- Perdas nos inversores e cabeamento da instalação (ABINEE, 2012).

IPEA (2013), traz estudos de que das 8.760 horas do ano, temos fator de utilização do sistema de 1.420 horas de sol pleno em média, o que representa 16,2% de utilização da capacidade.

### **3.9 Efeito fotovoltaico**

O efeito fotovoltaico, consiste na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica, através da criação de uma diferença de potencial sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Para fazer isto, são utilizadas células solares formadas por duas camadas de materiais semicondutores, uma positiva e outra negativa. Ao atingir a célula, os fótons da luz excitam os elétrons, gerando eletricidade, quanto maior a intensidade do sol, maior o fluxo de eletricidade (CRESESB, 2012).

Uma célula fotovoltaica consiste em um díodo de grande área, e um material semicondutor onde é criado o campo elétrico interno. No momento que a radiação atinge um átomo do semicondutor, o mesmo libera um elétron que é conduzido por campo elétrico para os contatos produzindo corrente (BRITO; SILVA, 2006).

As células fotovoltaicas funcionam a partir de fótons de luz solar que atingem o módulo solar. Depois disso, são absorvidos por material semicondutor como o silício. Elétrons são dispensados das bandas de valência, para as bandas de condução dentro do próprio silício, resultando em tensão elétrica entre dois eletrodos. Na placa fotovoltaica, uma sequência de células interligadas, resultam numa quantidade útil de energia (CRESESB, 2014).

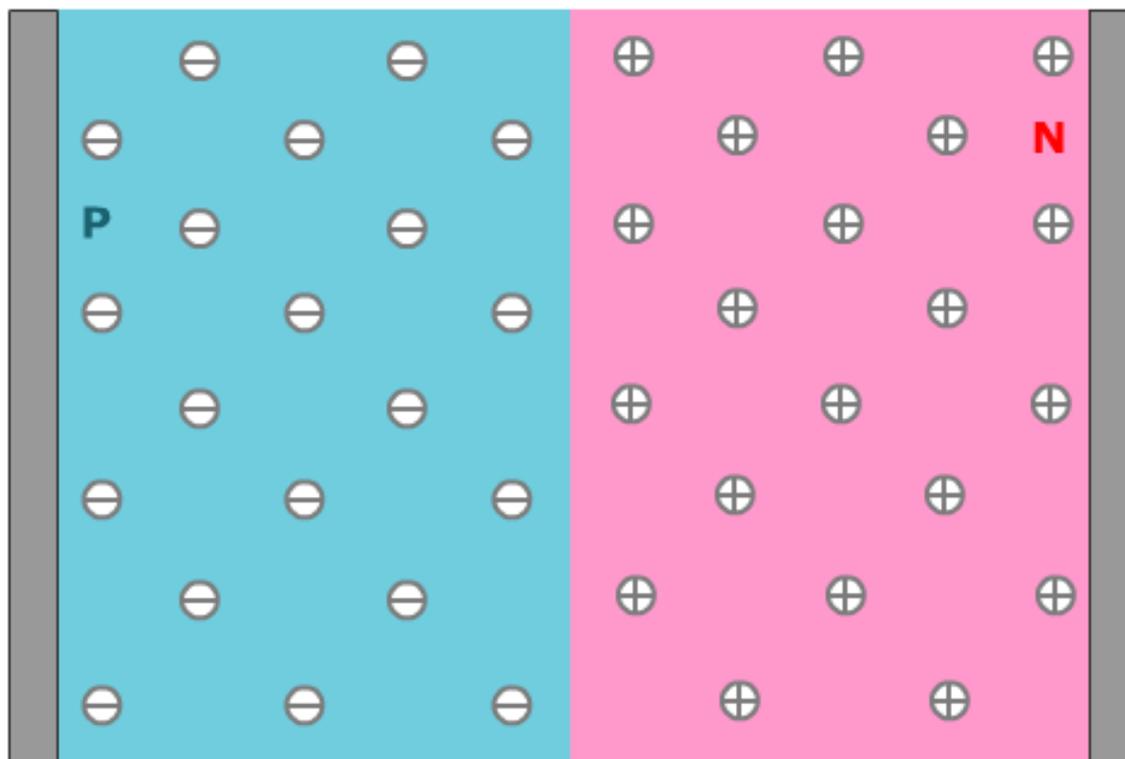
Quando se fala em um semicondutor do tipo-n, há excesso de elétrons, isto é, é portador de carga elétrica negativa. Este é obtido pela dopagem (contaminação) do silício com algum outro elemento químico com mais elétrons em sua banda de valência do que o silício (um a mais que o silício). No momento que há a substituição

de um átomo de silício por um de fósforo, um elétron fica solto e livre para se mover no cristal do silício. Por esse motivo, o fósforo é utilizado para a produção de semicondutores tipo-n (ABINEE, 2012).

O semicondutor do tipo-p ocorre quando contém excesso de lacunas, ou seja, ausência de elétron em local que deveria existir, resultando em carga positiva. Então é feita a dopagem do silício com um elemento chamado boro, que tem três elétrons a mais na sua banda de valência que o silício. O boro substitui o silício por ter três elétrons na camada de valência, um a menos que o silício faltando um elétron que pode se mover livremente no cristal. Se introduzir átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, em silício puro, se forma a junção pn que é necessária para o funcionamento da célula fotovoltaica (ABINEE, 2012), conforme Figura 11.

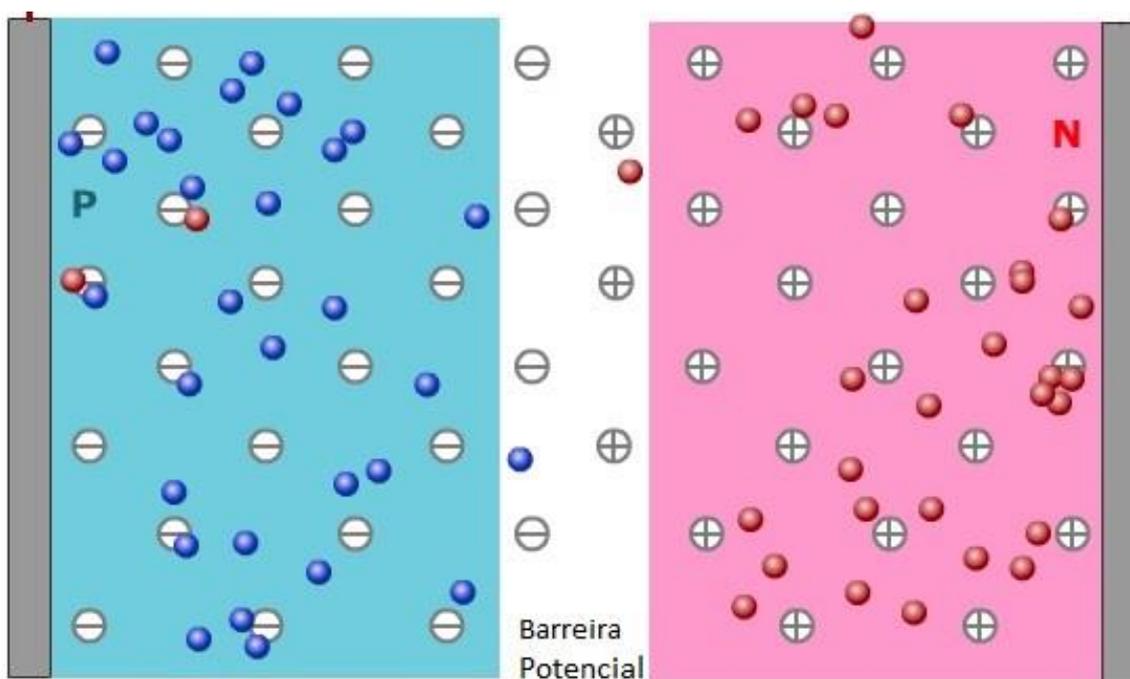
Quando um semicondutor pn (célula solar) é exposta à luz, os fótons são absorvidos pelos elétrons. Os elétrons liberados são conduzidos através de campo elétrico para a área n, as lacunas criadas seguem na direção p, e este processo é denominado de efeito fotovoltaico. Se o circuito estiver fechado, a energia elétrica pode fluir (GREENPRO, 2004), como percebe-se na Figura 12.

Figura 11 – Esquema mostrando junção pn (Boro e fósforo fazendo junção pn)



Fonte: Adaptado pelo autor de Honsbert e Bowden (2015).

Figura 12 – Esquema mostrando efeito fotovoltaico

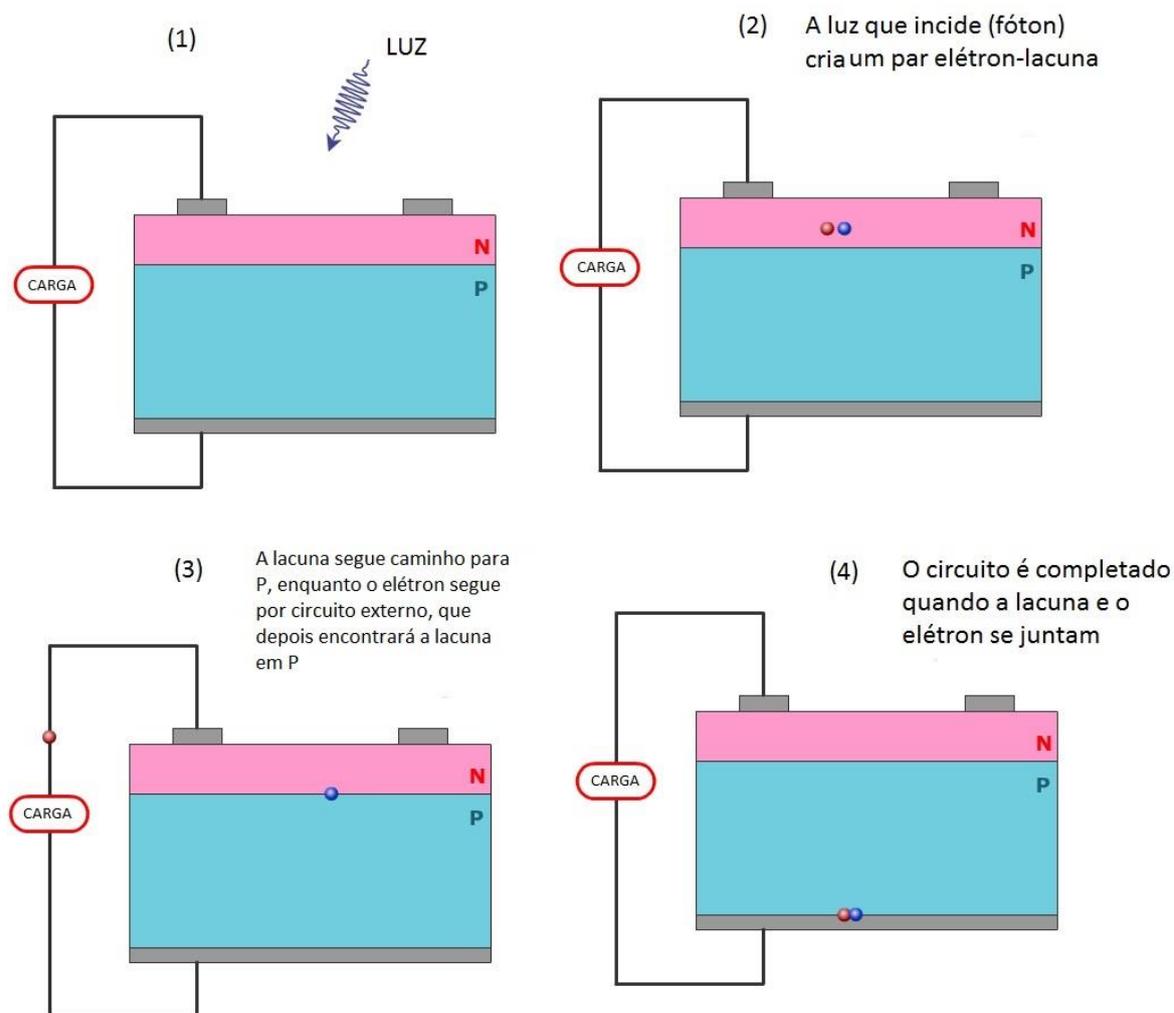


Fonte: Adaptado pelo autor de Honsbert e Bowden (2015).

Movimentação de elétrons de p para n, e os buracos livres de n para p, geram um campo elétrico. A barreira que se cria serve para que os elétrons e os buracos fiquem separados.

A Figura 13 mostra a incidência de luz na célula solar. Quando o sistema recebe fótons (1), gera um par sendo elétron lacuna (2). Em função da barreira potencial, o elétron segue pelo sistema externo (3), e quando se juntam em P o circuito é completado.

Figura 13 – Esquema mostrando junção pn



Fonte: Adaptado pelo autor de Honsbert e Bowden (2015).

## 4 COMPONENTES BÁSICOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico é constituído por módulos geradores, que podem ser instalados em diferentes arranjos e o cabeamento elétrico que os interligam. Temos os conversores, inversores e controladores de carga quando há condicionamento de energia, e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Também, quando o sistema contempla armazenamento, temos as baterias, e se o sistema for interligado à rede, não temos a presença delas (CRESESB, 2014).

O sistema fotovoltaico pode ser dividido em duas modalidades, que são sistemas isolados e conectados à rede. A utilização de cada sistema depende do projeto proposto e aplicação. Os sistemas híbridos e isolados têm a necessidade de algum tipo de armazenamento de energia e normalmente, são utilizadas baterias para fazer o armazenamento de energia quando não há consumo de energia elétrica no momento da geração. Já o sistema conectado à rede não dispõe de armazenamento de energia, ou seja, é um complemento à fonte de energia oferecida pela rede pública. (CRESESB, 2014).

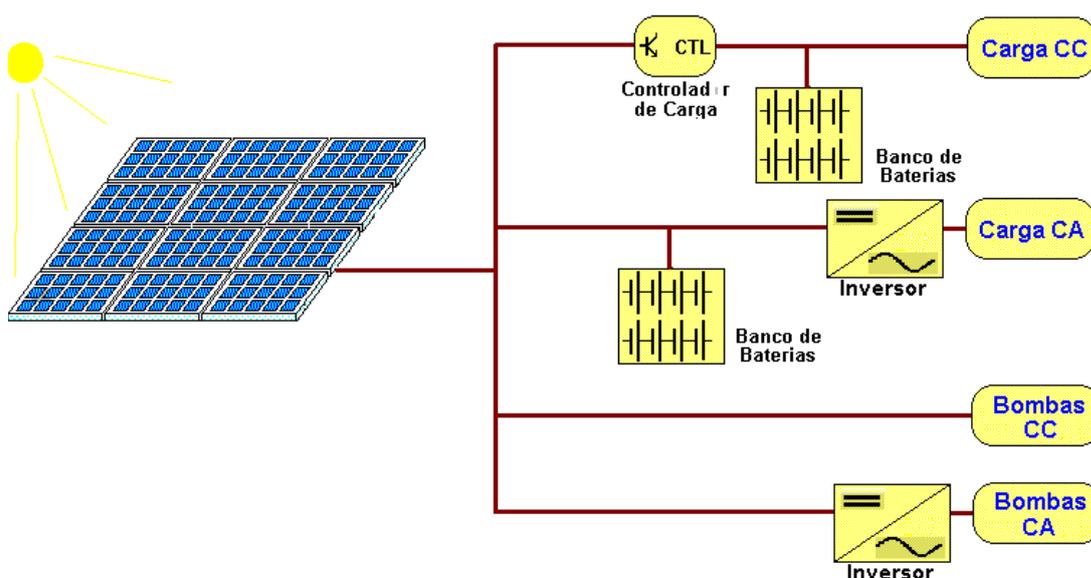
Segue breve definição dos sistemas citados

- **Sistemas isolados:** no sistema isolado, é utilizada alguma forma de armazenamento de energia, normalmente feito através de instalação de baterias no sistema. Ele chega a custar 30% a mais que os sistemas sem armazenamento de energia feito por baterias (RÜTHER, 2004).

Quando não há consumo de aparelhos elétricos durante a geração, a energia é armazenada nas baterias (FIGURA 14). Alguns sistemas isolados, não armazenam energia elétrica, por exemplo, em sistemas de irrigação que a energia é armazenada em forma de energia gravitacional, quando a água é bombeada para tanques em cotas mais elevadas, para uso posterior.

Em sistemas de abastecimento toda a água bombeada é consumida ou estocada em reservatórios elevados. Quando o sistema faz uso de baterias, é necessário o uso de controlador de carga, para que não danifique a bateria por sobrecarga ou descarga profunda (CRESESB, 2006; URBANETZ; CASAGRANDE, 2012).

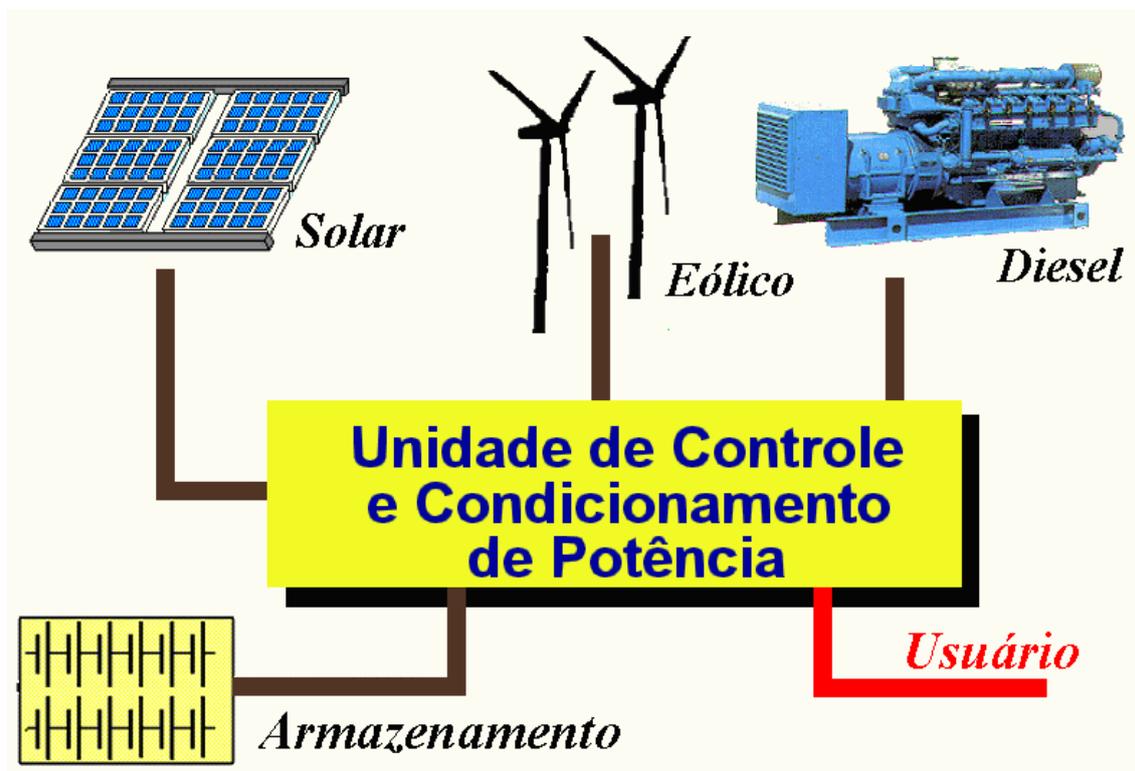
Figura 14 – Projeto de sistemas isolados



Fonte: CRESESB (2006, p. 215).

- **Sistema híbrido:** é independente, sem conexões à rede convencional. Apresenta várias fontes de energia integradas, por exemplo: eólica, fotovoltaica, diesel, entre outras (FIGURA 15). Com a junção de variados tipos de produção de energia, é indispensável o máximo controle para garantir a eficiência do sistema como um todo.

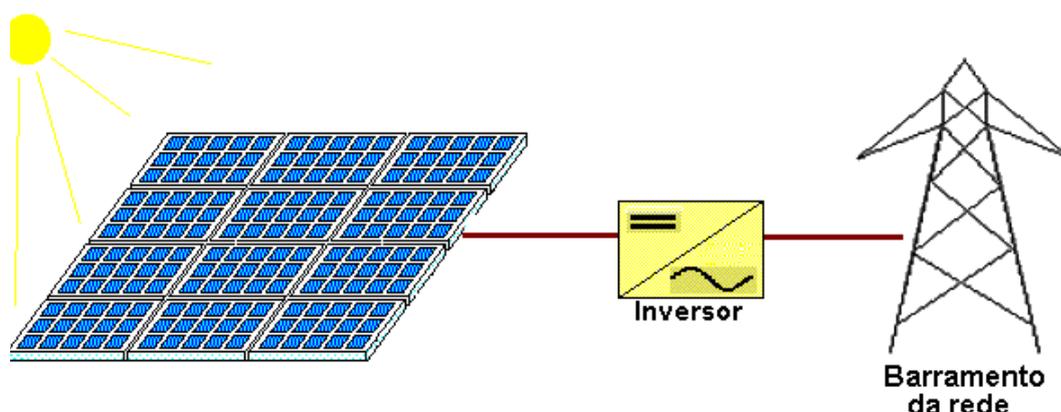
Figura 15 – Sistema híbrido



Fonte: CRESESB (2006, p. 216).

- **Sistemas interligados a rede:** estes não têm a necessidade de armazenamento de energia elétrica. Todo o arranjo de geração é ligado a inversores, e após ligado à rede (FIGURA 16) de modo que esse sistema é um complemento ao fornecido pela rede pública. A potência gerada é consumida diretamente pelas cargas locais, e o excedente é absorvido pela rede elétrica que a disponibiliza para outros consumidores (RÜTHER, 2004).

Figura 16 – Sistemas conectados à rede



Fonte: CRESESB (2006, p. 218).

A seguir são descritos os componentes básicos de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica para sistemas ligados à rede pública.

#### 4.1 Painel fotovoltaico

Os painéis solares, que fazem a captação da energia são projetados para situações extremas, sendo resistente ao sol, à chuva e outros intempéries, devendo ter vida útil de 30 anos ou mais (RÜTHER, 2004).

Apesar do Brasil estar entre os líderes de produção de silício, atualmente não tem produção de silício de grau solar, somente de grau metalúrgico. Algumas empresas e grupos acadêmicos vêm desenvolvendo, a nível de laboratório, o processo de purificação do silício, onde são impostos alguns desafios como o controle de impurezas (ABINEE, 2012).

A tensão de circuito aberto de cada célula fotovoltaica é pequena, por volta de 0,5 a 0,6 volts para células de silício cristalino. Se o módulo de silício cristalino é de 30 volts, conseqüentemente é constituído por 60 células de 0,5 volts conectados em série. Assim, a quantidade de módulos varia conforme o projeto e a quantidade que se quer produzir, um exemplo de alta geração fotovoltaica é na UNIVATES, com cerca

de 1.000 placas instaladas gerando o total de 237,12 KWpico (FIGURA 17) (UNIVATES, 2015).

Os módulos podem ser ligados em série ou paralelo, dependendo da corrente e tensão desejadas. Isto deve ser definido em função do inversor, tendo que observar a faixa operante do mesmo, e assim, definir como vai ser feita a instalação dos módulos (ABINEE, 2012).

A potência nominal de uma célula fotovoltaica, é a potência de pico (ou potência máxima), obtida sob condição padrão de teste (CPT), daí que vem o sufixo “pico” (ou “p”) à unidade de potência utilizada (ABINEE, 2012).

Também deve-se levar em conta o sombreamento dos painéis por serem compostos de células em série. Quando ocorre sombreamento de uma ou mais células, as mesmas recebem menos radiação, e conseqüentemente sua corrente é menor, o que limita a corrente de todo o conjunto. Este sombreamento pode acontecer por sombra de algum poste, arvore, ou até mesmo sujeira sobre o vidro do módulo. Esse efeito de redução de corrente se propaga por todos os módulos conectados em série, diminuindo a eficiência do sistema (CRESESB, 2004).

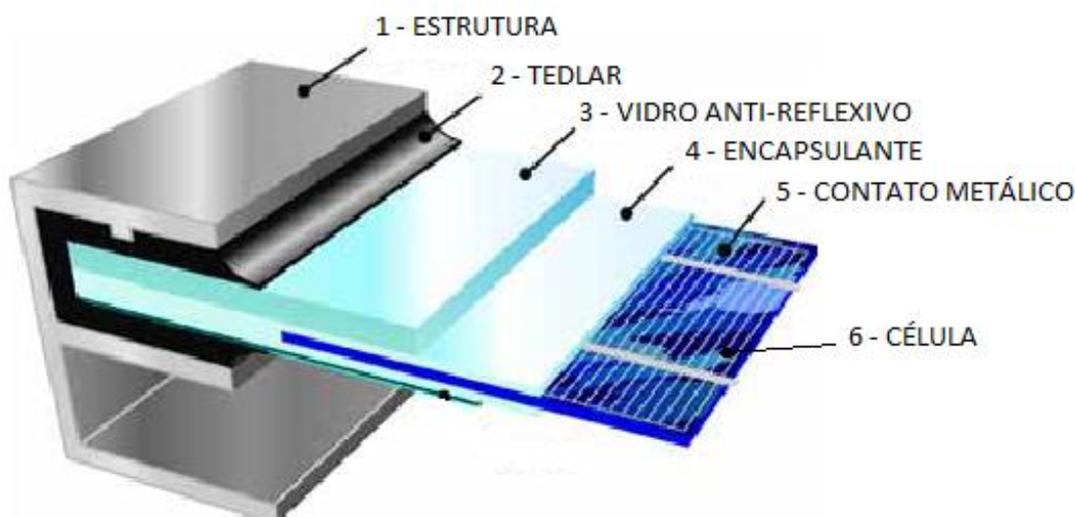
Figura 17 – Placas fotovoltaicas instaladas na UNIVATES



Fonte: UNIVATES (2015, texto digital).

A Figura 18 mostra a composição dos módulos fotovoltaicos. A estrutura (1) na maioria dos módulos é feita de alumínio que tem a função de unir todos os materiais. O *tedlar* (2) é uma camada de plástico, na parte frontal é utilizado um vidro antirreflexivo (3), o encapsulante (4) é uma camada isolante de polímero transparente, que protege os contatos metálicos (5), e a célula (6) (GREENPRO, 2004).

Figura 18 – Estrutura de módulo fotovoltaico

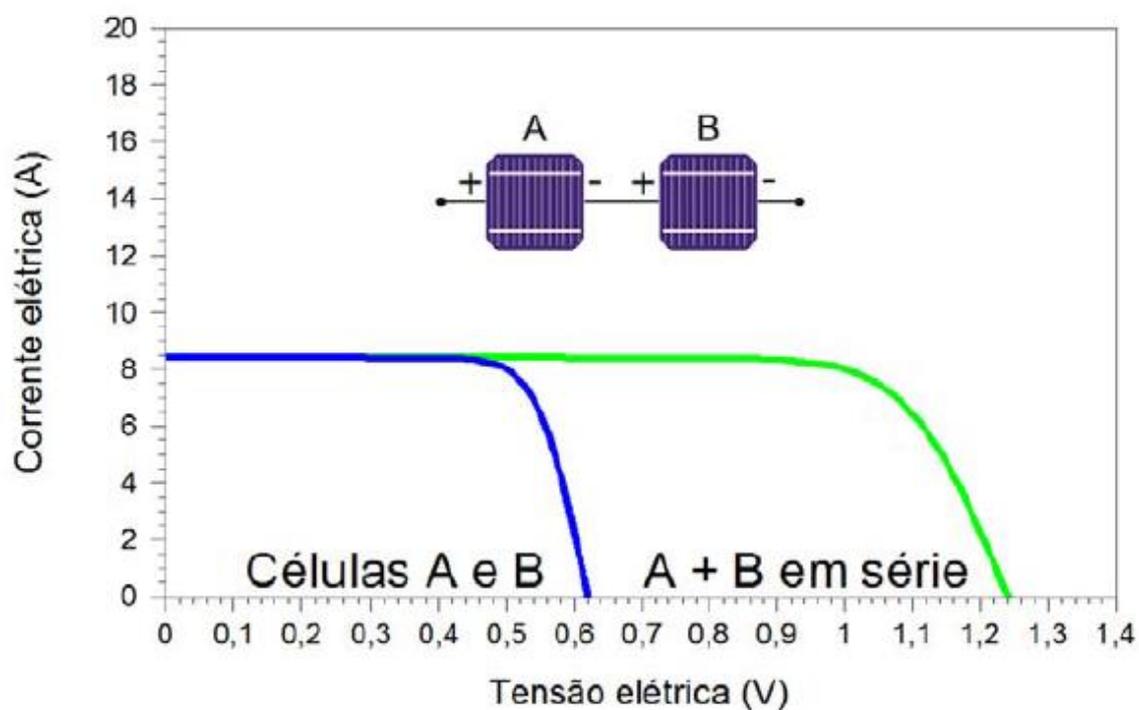


Fonte GREENPRO (2004, p. 314).

Os painéis fotovoltaicos podem ser instalados em série ou paralelo. A seguir são apresentadas as diferentes associações.

- **Associação em série de módulos fotovoltaicos:** nesse tipo de conexão, o terminal de um dispositivo fotovoltaico é conectado ao terminal de carga contrária de outro dispositivo, e assim por diante. Quando a ligação é em série, as tensões são somadas e a corrente elétrica não é afetada (GTES, 2004) (FIGURA 19).

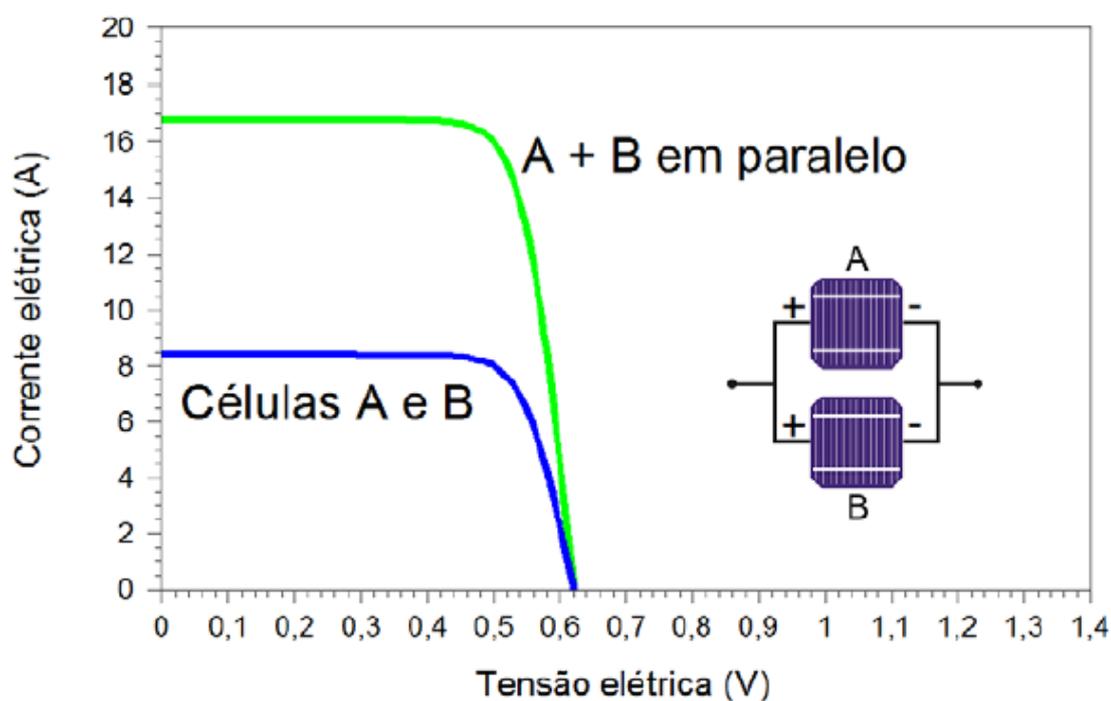
Figura 19 – Associação de módulos em série



Fonte: GTES (2004, p. 49).

- **Associação em paralelo de módulos fotovoltaicos:** Nesse tipo de ligação, os terminais positivos e negativos dos dispositivos são ligados entre si, respectivamente. As correntes elétricas são somadas permanecendo sem que haja a alteração na tensão (GTES, 2004) (FIGURA 20).

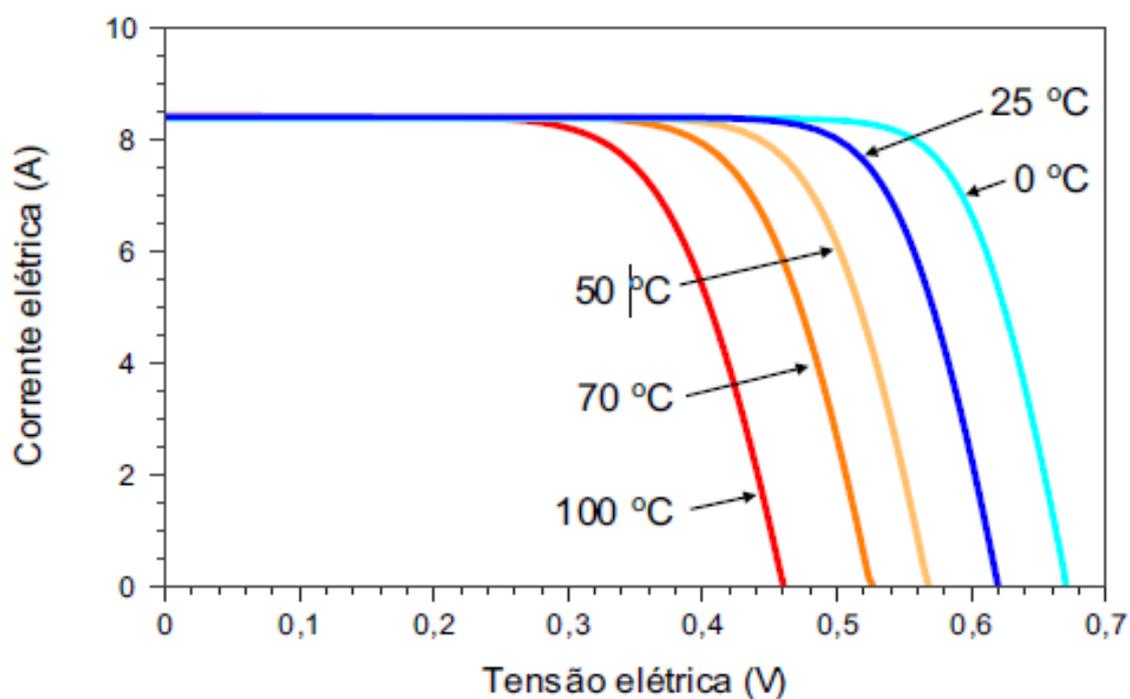
Figura 20 – Associação de módulos em paralelo



Fonte: GTES (2004, p. 50).

A temperatura também influencia na eficiência dos geradores fotovoltaicos, de modo que com o aumento da irradiância incidente, ou da temperatura ambiente, se produz um aumento da temperatura da célula, e conseqüentemente reduz a sua eficiência (FIGURA 21). Isso ocorre pelo fato de que a tensão da célula diminui com o aumento da temperatura (GTES, 2004).

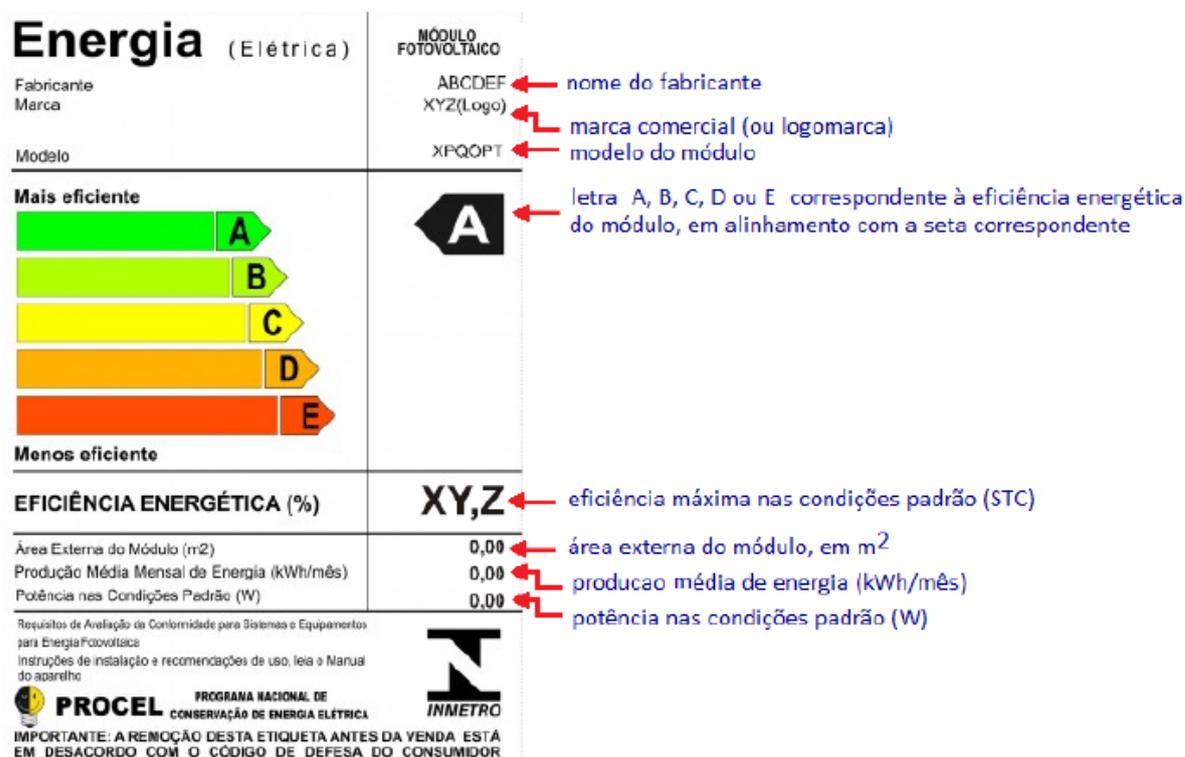
Figura 21 – Tensão elétrica em função da temperatura



Fonte: GTES (2004, p. 50).

As placas fotovoltaicas comercializadas no Brasil, devem ser ensaiados de acordo com o RAC do Inmetro, e apresentar registro, que pode ser consultado na página do Inmetro na internet ([www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br)), na parte posterior da placa com a etiqueta do Inmetro, conforme Figura 22.

Figura 22 – Etiqueta do Inmetro fixada nos módulos



Fonte: CRESESB (2014, p. 154).

As categorias de eficiência das placas vão de A até E, que são testadas pelo Inmetro mostrando sua categoria (TABELA 2).

Tabela 2 – Classe de eficiência de módulos fotovoltaicos no Brasil conforme Inmetro

CLASSE	FAIXA
A	Maior que 13,5%
B	Maior que 13% a 13,5%
C	Maior que 12% a 13%
D	Maior que 11% a 12%
E	Maior ou igual a 11%

Fonte: INMETRO (2011, texto digital).

## 4.2 Inversor

Como os painéis fotovoltaicos geram corrente contínua, se faz necessário o uso do inversor ou conversor CC-CA para que se obtenha corrente alternada. Os inversores criam uma onda de forma quadrada, onde passa por um filtro para obter uma forma de onda senoidal como a da rede elétrica pública possibilitando a interconexão. Aparelhos elétricos domésticos, funcionam em corrente alternada, e então os inversores têm o papel de alterar a corrente produzida pelos painéis fotovoltaicos que geram corrente contínua. Além de fazer o papel da transformação de corrente, o inversor é encarregado de elevar a tensão de 12 ou 24 V para 220 V (CRESESB, 2014).

Para muitas aplicações de sistemas fotovoltaicos, não é necessário o uso de inversores com filtro, assim o sistema utiliza onda quadrada que pode alimentar lâmpadas incandescentes e pequenos motores. Esse inversor tem custo inferior e maior eficiência por não precisar de filtro que causa pequenas perdas (LOUREIRO, 2009).

Os inversores comumente utilizados são de dois tipos. Um deles é o Comutado pela própria rede, onde o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede, outro é o Auto Comutados, em que um circuito eletrônico no inversor controla e sincroniza seu sinal ao sinal da rede (RÜTHER, 2004). Segundo Rüter (2004), um diferencial de 1% na eficiência do inversor pode resultar 10% de energia a mais gerada no ano.

Uma função de segurança que o inversor deve exercer, é de não colocar energia na rede quando ela está desligada. Mesmo tendo geração de energia, o conversor não manda energia para a rede quando desligada. Isto é feito para que não ocorra energização da rede quando desconectada do sistema de geração central, o que oferece sérios riscos aos operadores da rede (RÜTHER, 2004).

## 5 LEGISLAÇÃO E NORMAS DA ABNT

Segundo R  ther (2004), o sistema brasileiro se encaminha para a condi  o de mercado livre, sendo que o produtor independente de energia obt  m mais benef  cios se tornando mais vantajosa a utiliza  o do sistema.

A autoprodu  o de energia com venda de excedentes est   normatizada pela ANEEL n   390, de 15 de dezembro de 2009, que tem por base Lei n   9.074, de 7 de julho de 1995. A Resolu  o n   389/2009 cont  m procedimentos para requisi  o de autoriza  o e registro para pessoa f  sica e jur  dica.

Se falando em normatiza  o, a ABNT (Associa  o Brasileira de Normas T  cnicas) tem algumas normas referentes aos sistemas fotovoltaicos, sendo as mais importantes:

A NBR 11704/2008 aborda a caracter  stica do sistema, podendo ser classificado em isolado ou conectado    rede. Quanto a sua configura  o pode ser classificada em puro ou h  brido. A NBR IEC 62116/2012, fornece o procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de preven  o de ilhamento usadas em sistemas fotovoltaicos conectados    rede p  blica (CRESESB, 2014).

A NBR 16149/2013 traz as recomenda  es espec  ficas para a liga  o do sistema fotovoltaico com a rede el  trica. A NBR 11876/2010, fala sobre a especifica  o dos m  dulos geradores de energia. Na Resolu  o n   482 da ANEEL, de 17 de abril de 2012, tem por objetivo reduzir as barreiras para a conex  o de gera  o de pequeno porte que vai at   1 MW, sendo que o ponto principal dessa

resolução foi o sistema de compensação de energia quando o sistema está produzindo mais que o consumido na unidade, é injetado na rede da concessionária. A quantidade injetada pode ser gasta nos meses subsequentes ou até mesmo em outras unidades que tenham o mesmo cadastro na rede elétrica (CRESESB, 2014).

## 6 METODOLOGIA

Nesta etapa do trabalho, serão empregados os métodos de obtenção de dados de horas diárias de insolação, e radiação global. Serão apresentadas as localizações do centro meteorológico, e das duas unidades de produção a serem avaliadas. Também a especificação dos materiais usados nos sistemas de produção, e dados de radiação.

Os dados de radiação e insolação serão coletados no centro meteorológico do Centro Universitário Univates. Em função do acesso restrito dos sistemas fotovoltaicos, os dados serão coletados a cada dez dias, onde teremos a produção semanal de cada uma das unidades.

### 6.1 Sistema instalado na Univates

O sistema instalado na UNIVATES é composto por 10 módulos fotovoltaicos, conforme a Figura 23, com área de 1,65 m<sup>2</sup> cada. A inclinação utilizada foi de 24<sup>0</sup>, dado definido com o uso do programa *PVsyst* utilizado para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Sua potência total instalada é de 2.300 Wpico. O conjunto de painéis foi instalado sobre a marquise do Prédio das Engenharias do Centro Universitário UNIVATES. O inversor CC/CA utilizado foi o *Sununo-TL 2K* da marca SAJ (FIGURA 24) e trabalha com tensão alternada 220 V e corrente de 11 A, possuindo potência nominal de 2.000 W (KAUFMANN, 2012).

Figura 23 – Placas fotovoltaicas



Fonte: Do autor (2015).

Figura 24 – Inversor instalado na UNIVATES.



Fonte: Do autor (2015).

## 6.2 Sistema instalado em residência na cidade de Lajeado

O presente sistema residencial, é composto por 16 placas fotovoltaicas, cada uma com potência de 240 Watts (FIGURA 25). A inclinação das placas são de  $26^{\circ}$ , que conforme Rütther (2004) são a situação ideal, viradas para o norte, e a potência instalada é de 3.800 Wpico.

O sistema foi instalado em dois arranjos, cada qual contendo oito módulos fotovoltaicos ligados em série. Os dois arranjos ligados em paralelo no inversor para melhor eficiência, sendo que o inversor é da marca *Santerno Sunway M Plus* que trabalha em corrente alternada de 220 V e 8,7 A e possui potência nominal de 3.200 W. O sistema está instalado na residência desde outubro de 2013.

Figura 25 – Placas fotovoltaicas



Fonte: Do autor (2015).

Figura 26 – Inversor instalado na residência.



Fonte: Do autor (2015).

### 6.3 Localização dos sistemas e Centro Meteorológico

A Figura 27, com a imagem de satélite obtida através do *software* Google Earth, mostra a localização entre as unidades produtoras e a estação meteorológica. O Prédio 17 da UNIVATES, onde estão instaladas as 10 placas fotovoltaicas, está a 1.300 metros de distância em linha reta do Centro Meteorológico. O sistema de 16 placas fotovoltaicas instaladas em residência na cidade de Lajeado, está a 2.800 metros de distância do Centro Meteorológico.

Como a estação meteorológica tem precisão em seus dados de radiação em um raio de 30 km, os dados de radiação coletados serão válidos para as duas localidades onde estão instalados os sistemas. Com os dados de radiação e horas de insolação, será possível fazer comparação com a produção das placas fotovoltaicas.

Figura 27 – Localização dos sistemas fotovoltaicos e Centro Meteorológico



Fonte: Adaptado pelo autor do Google Earth (2015).

### 6.4 Medição de radiação e horas de insolação

Para medição de dados de radiação e insolação diária, utilizou-se a estação meteorológica do modelo *DAVIS Vantage PRO 2*, instalada na Univates (FIGURA 28). A qual está instalada a 85 metros de altitude em relação ao nível do mar, nas coordenadas geográficas  $29^{\circ} 26' 39''$  S e  $51^{\circ} 57' 26''$ . A estação opera desde 2003, os

dados de radiação e insolação fornecidos são precisos em um raio de 30 km, e coleta dados de meia em meia hora nas 24 horas do dia (KAUFMANN, 2012).

Figura 28 – Estação meteorológica *DAVIS Vantage PRO 2*



Fonte: Davisnet (2014, texto digital).

## 6.5 Tratamento de dados

Os dados serão tratados a partir de planilhas eletrônicas, nas quais serão inseridos os dados de radiação e insolação diária oferecidos pelo centro hidrometeorológico da UNIVATES . Será comparado a relação entre os valores de radiação solar e produção fotovoltaica, e a partir dessas informações será montado uma base de dados para que se demonstre ao final do trabalho a real situação da produção de energia fotovoltaica na cidade de Lajeado/RS.

Para a conversão de dados de radiação solar incidente em um plano horizontal para um plano inclinado (caso dos painéis), foi utilizado o *software* livre *RADIASOL 2* desenvolvido pelo LABSOL da UFRGS (FIGURA 29).

Com o auxílio desse *software* é possível obter facilmente os dados de radiação solar em um plano inclinado, pois os cálculos para obtenção desses dados, devido a sua, se torna um procedimento trabalhoso.

Figura 29 – *Software* RADIASOL 2



Fonte: UFRGS (2015, *software*).

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados de radiação incidente na cidade de Lajeado/RS, a produção de energia elétrica resultante dos sistemas fotovoltaicos analisados, e a correlação entre dados de geração de energia elétrica e radiação solar incidente em um plano inclinado, tomando como base os dados obtidos para a cidade de Lajeado.

### 7.1 Radiação solar incidente

A radiação solar incidente e as horas de insolação, são fatores muito importantes quando se fala em obtenção de energia fotovoltaica. Com base nesses dados podemos decidir se é viável o investimento em placas solares para obtenção de energia elétrica em determinada região. Nesta seção será aprofundada as informações sobre a energia solar incidente na cidade de Lajeado/RS através de *software*, e leituras feitas por estação instalada na instituição local.

Para análise foram obtidos valores fornecidos pelo *software* RadiaSol desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e valores coletados pelo Centro de Informações Hidrometeorológicas da Univates, obtidos através de piranômetro.

O piranômetro instalado na UNIVATES, faz leituras diárias de radiação a cada trinta minutos, e contabiliza a incidência pluviométrica que tem influência relevante quando falamos em radiação solar.

Tendo em vista que os dois sistemas fotovoltaicos do presente estudo estão instalados na mesma cidade, tendo distância curta de aproximadamente três quilômetros, os dados de radiação obtidos pelo piranômetro da Univates foram usados como base de dados para estudo dos dois sistemas.

Conforme estudos realizados por Kaufmann (2012), para a obtenção de dados de radiação pelo Centro de Informações Hidrometeorológicas (CIH) da UNIVATES foram coletados dados do ano de 2007 a 2012. Com base nessas informações, foram feitas as médias de radiação a cada mês. A Tabela 3 traz os valores de radiação obtidos pelo CIH e do software RadiaSol para comparativo.

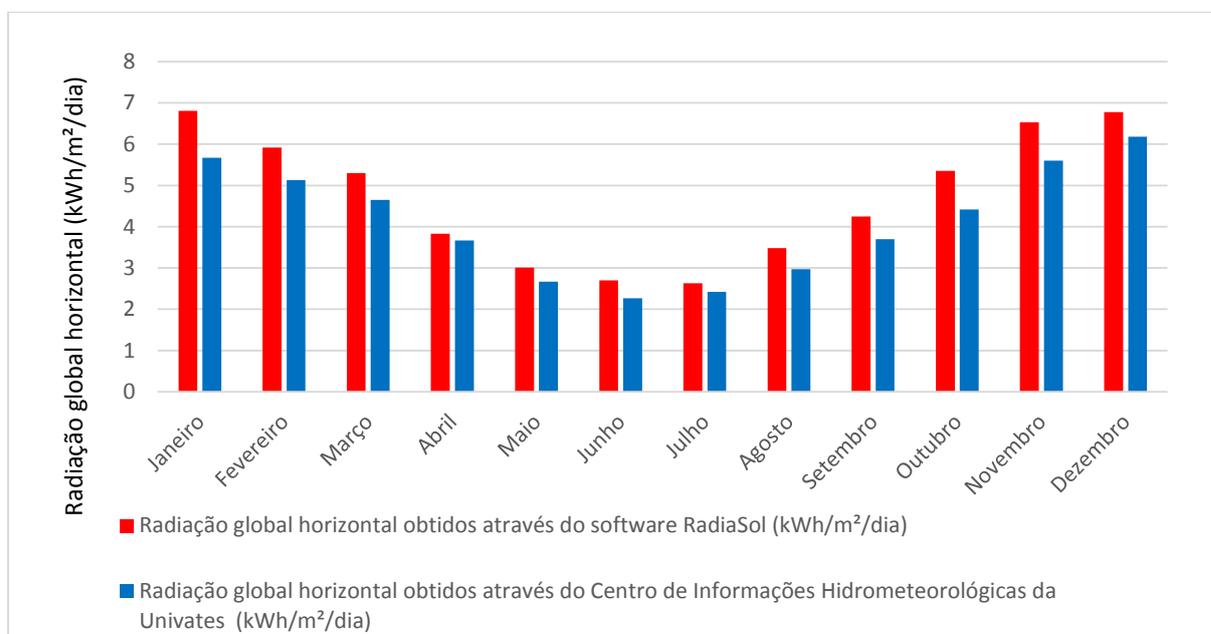
Tabela 3 – Radiação global horizontal

Mês	Software RadiaSol (kWh/m <sup>2</sup> /dia)	Centro de Informações Hidrometeorológicas da Univates (kWh/m <sup>2</sup> /dia)	Diferença percentual de RadiaSol para os dados obtidos através CIH da Univates (%)
Janeiro	6,81	5,67	20
Fevereiro	5,92	5,13	15
Março	5,3	4,65	13
Abril	3,83	3,67	4
Mai	3,01	2,67	12
Junho	2,7	2,27	19
Julho	2,63	2,42	8
Agosto	3,48	2,97	17
Setembro	4,25	3,70	15
Outubro	5,35	4,42	21
Novembro	6,53	5,60	16
Dezembro	6,78	6,18	9
Média	4,71	4,11	14,5

Fonte: Do autor (2015).

Observa-se que os valores das duas fontes pesquisadas têm diferença como mostra a Tabela 3. Como a diferença é pequena o uso do software RadiaSol se mostra seguro para obtenção de dados de radiação para a região estudada resultando em uma média de radiação de 4,71 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Através dos estudos de Kaufmann (2012), o mês de maior radiação global foi dezembro com 6,18 kWh/m<sup>2</sup>/dia, e o de menor radiação foi junho com 2,27 kWh/m<sup>2</sup>/dia. A média anual resultou em 4,11 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Conforme estudos de Fontana (2014), que coletou dados do CIH da UNIVATES no ano de 2014, a média anual resultou em 4,14 kWh/m<sup>2</sup>/dia, valor bem próximo ao obtido por Kaufmann (2012). A Figura 30 demonstra os valores de radiação obtidos pelo CIH da UNIVATES e os valores do software RadiaSol.

Figura 30 – Dados de radiação através do CIH (2007 a 2012) e software RadiaSol



Fonte: Do autor (2015).

Como se pode observar na Figura 30, a radiação incidente nos meses janeiro, fevereiro, novembro e dezembro são maiores que os demais. Os meses de inverno apresentam menos horas de insolação diária, combinada com incidência de chuvas e dias nublados. Já os meses de verão apresentam mais horas de insolação menos dias chuvosos e nublados.

As leituras e dados obtidos de valores de radiação para o presente trabalho, tem objetivo de compara-las com a energia gerada pelos conjuntos fotovoltaicos.

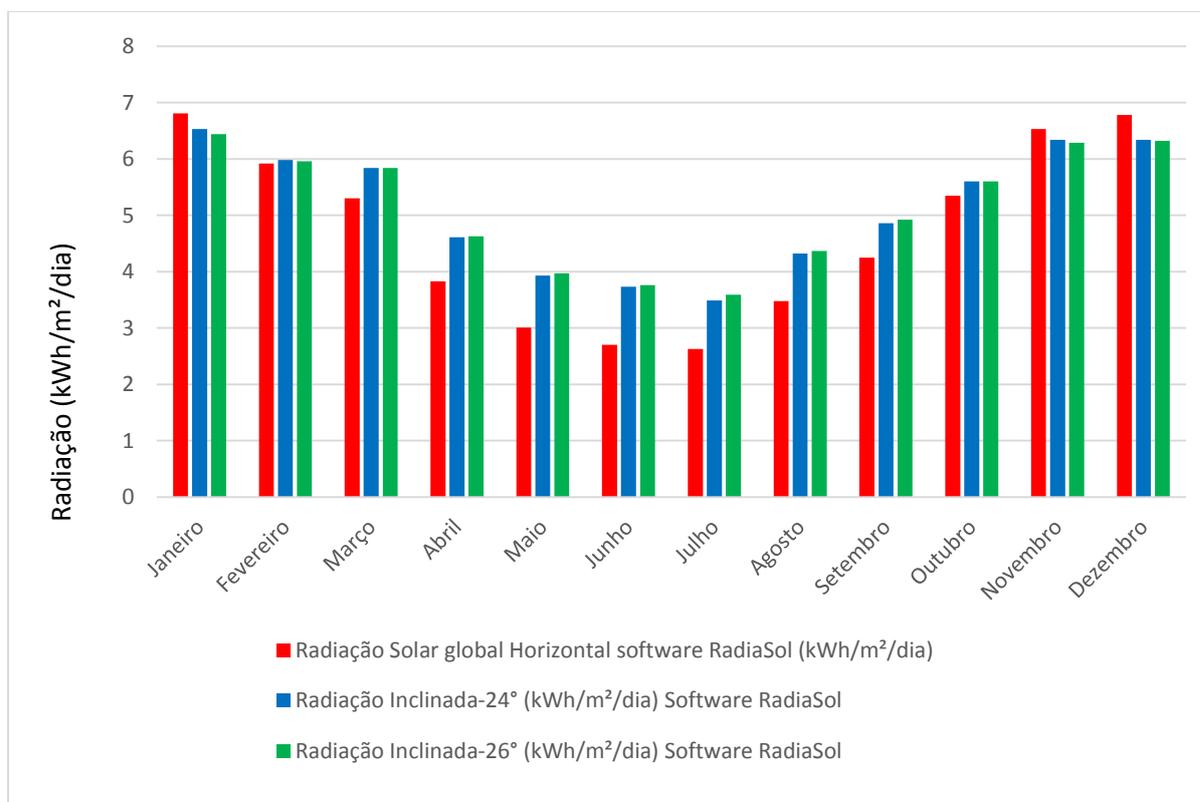
Essas ferramentas podem ser usadas como parâmetro para o estudo de viabilidade e até dimensionamento de sistemas fotovoltaicos ligados a rede elétrica, levando-se em conta o valor médio de radiação podendo ocorrer variações de valores como observado anteriormente.

Com o uso do software RadiaSol conseguimos fazer a comparação da radiação solar global horizontal e a radiação inclinada dos dois sistemas fotovoltaicos abordados no presente estudo. Como pode ser observado na Figura 31, na maioria dos meses a radiação inclinada resulta em valor maior a radiação global horizontal. Observa-se que as diferentes inclinações uma de  $24^\circ$  e outra de  $26^\circ$  não tem diferenças significativas, com vantagem de 0,21% na inclinação de  $26^\circ$ , o que pode ser insignificante estatisticamente (não foi realizada avaliação estatística). A inclinação se destaca nos meses mais nublados e chuvosos como por exemplo o mês de junho, que recebeu radiação global horizontal de  $2,7 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  enquanto as suas equivalentes inclinadas foram de  $3,73$  e  $3,76 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  caracterizando-se uma melhoria de 39,3% com inclinação de  $26^\circ$ .

Nos meses de janeiro, novembro e dezembro a incidência global horizontal ficou acima das inclinadas. Além disso é possível perceber que a máxima radiação global horizontal acontece nos meses de janeiro, dezembro e novembro chegando a marca de  $6,81$ ,  $6,78$  e  $6,53 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ , respectivamente.

Com base nos dados do software RadiaSol a média anual de radiação global horizontal resultou em  $4,71 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ , com inclinação de  $24^\circ$  média de  $5,13 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  e com inclinação de  $26^\circ$  média de  $5,14 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  resultando em acréscimo de 8,80 e 9,01% respectivamente, próximo a valores encontrados por Kaufmann (2012) e Fontana (2014).

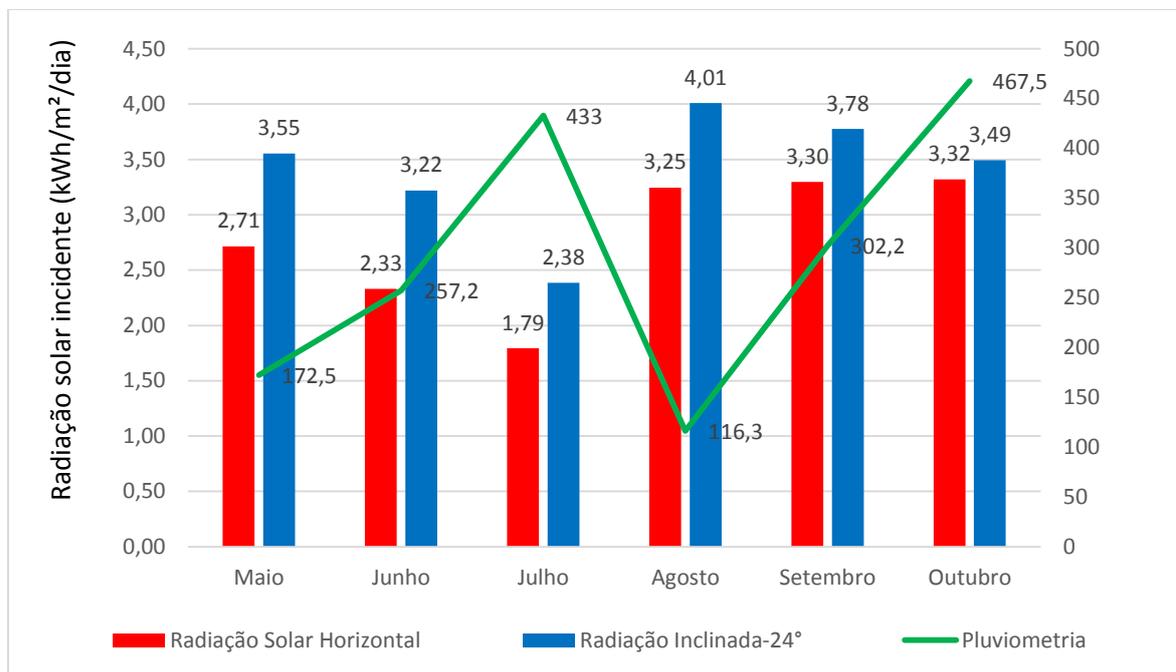
Figura 31 – Dados de radiação global horizontal e inclinada



Fonte: Do autor (2015).

A Figura 32 representa os dados de radiação coletados de maio a outubro correspondentes aos meses de coleta de dados. Os dados foram obtidos através do CIH da Univates. Se compararmos com os dados obtidos através de uma média feita no CIH de 2007 a 2012 Tabela 3, observa-se que os dados de radiação são bem próximos, tendo valores mais baixos nos meses de julho e outubro. Essa redução na radiação pode ser relacionada com o volume de chuva que ocorreu nos dois períodos. Percebe-se que nos meses que o índice pluviométrico foi elevado ou acima da média, os valores de radiação ficaram reduzidos se considerado a média de oferta de radiação. O mês de maior radiação e consequentemente produção de energia elétrica foi agosto, que registrou radiação acima da média registrando baixos índices de pluviometria.

Figura 32 – Dados de radiação no período de estudo



Fonte: Do autor (2015).

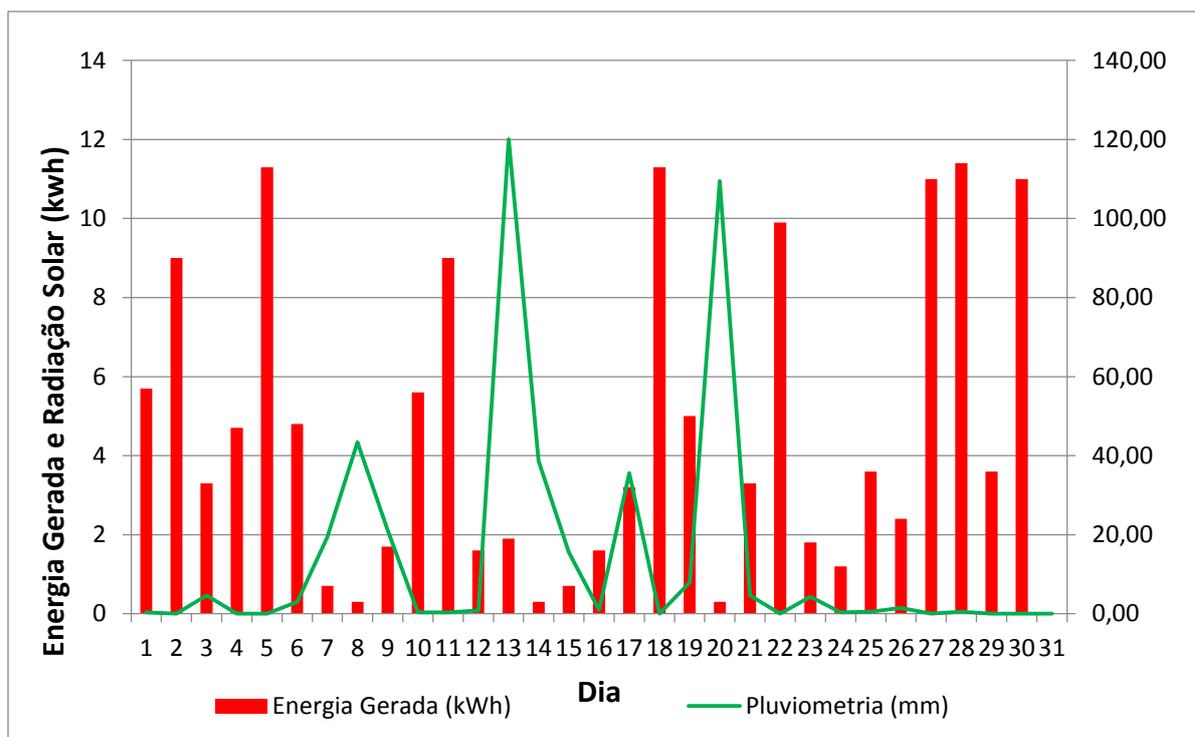
## 7.2 Energia elétrica gerada a partir dos sistemas fotovoltaicos

A produção dos sistemas fotovoltaicos, foram analisados desde o dia primeiro de maio até trinta de outubro de 2016. Em função do difícil acesso a um dos sistemas, as coletas de dados de produção foram feitas a cada dez dias.

Notou-se no período de estudos que o mês de julho teve baixa produção de energia, considerando-se que a incidência de radiação solar foi abaixo da média. Valores encontrados por Kaufmann (2012) e Fontana (2014), foram de 2,42 kWh/m²/dia e 4,08 kWh/m²/dia respectivamente, acima dos encontrados no presente estudo que atingiu a marca de 1,79 kWh/m²/dia. Conclui-se por comparação, que nos dias em que houve baixa produção de energia elétrica, foram os dias em que houveram chuvas na região fazendo com que a radiação solar direta não atingisse o painel solar, produzindo somente pela radiação difusa captada, tendo baixa produção. Na Figura 33 são apresentados os dados de produção do sistema com valores de pluviosidade. Para representar claramente a baixa produção no mês de julho de 2015,

foram coletados dados diários de produção e pluviometria do sistema instalado na Univates. Nota-se que nos dias de maior intensidade de chuvas, o sistema produz um valor bem inferior aos dias sem a presença de chuvas.

Figura 33 – Relação Energia Gerada e Pluviometria mês de julho de 2015



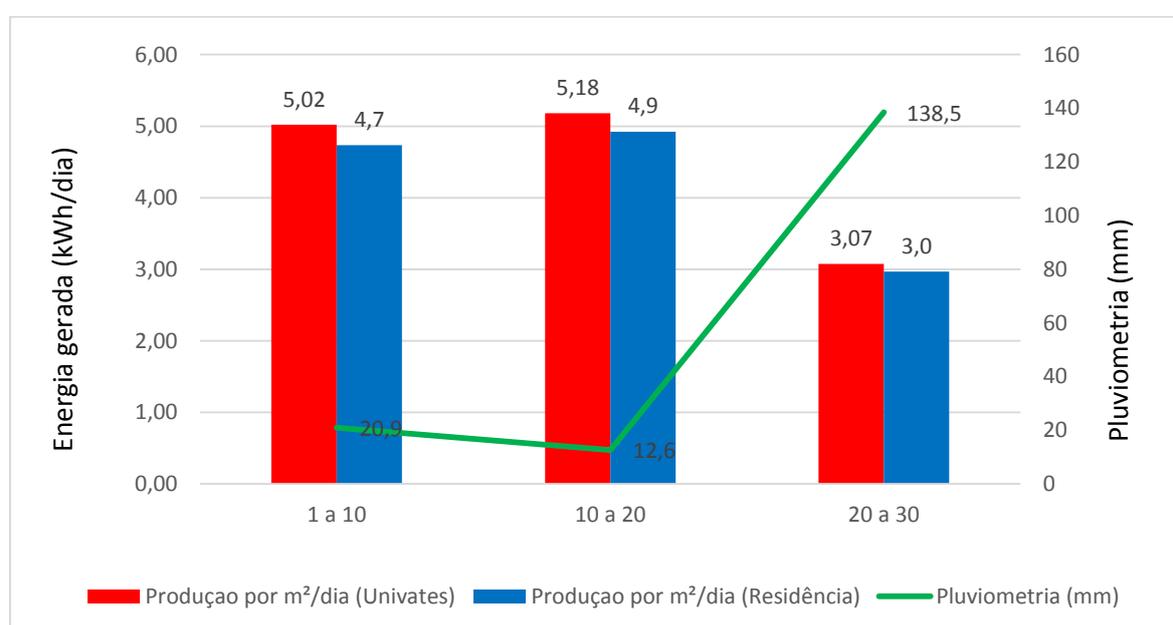
Fonte: Do autor (2015).

Os dois sistemas fotovoltaicos têm algumas características diferentes. O sistema residencial possui dezesseis placas fotovoltaicas com potência de 240 Watts cada, instaladas com inclinação de 26°. O Sistema instalado na Univates possui dez placas fotovoltaicas com potência de 230 Watts cada e tem inclinação de 24°. O sistema instalado na residência tem área total de 26,4 m<sup>2</sup> de placas fotovoltaicas, e o sistema instalado na Univates tem 16,5 m<sup>2</sup>. Para fazer a comparação dos dois sistemas, foi analisado a produção por metro quadrado da placa fotovoltaica de cada sistema.

A Figura 34 mostra a produção de um metro quadrado de cada sistema durante trinta dias do mês de maio de 2015 sendo feitas leituras a cada dez dias resultando três leituras. O gráfico mostra que o sistema da Univates está produzindo de 4 a 6 % a mais que o sistema residencial. Essa diferença pode ser explicada em função da

diferença de inclinação das placas dos dois sistemas, níveis de poeira sobre as placas, e perdas na instalação que serão explicadas no decorrer do presente trabalho. Juntamente com a produção de energia, observa-se a pluviometria que ocorreu no mês de maio. A produção teve queda significativa na última leitura onde os níveis de chuva chegaram a 138,5 mm diminuindo a produção de energia elétrica. Observa-se que a maior produção ocorreu entre os dias 10 e 20 do mês de maio, tendo baixa incidência de chuva.

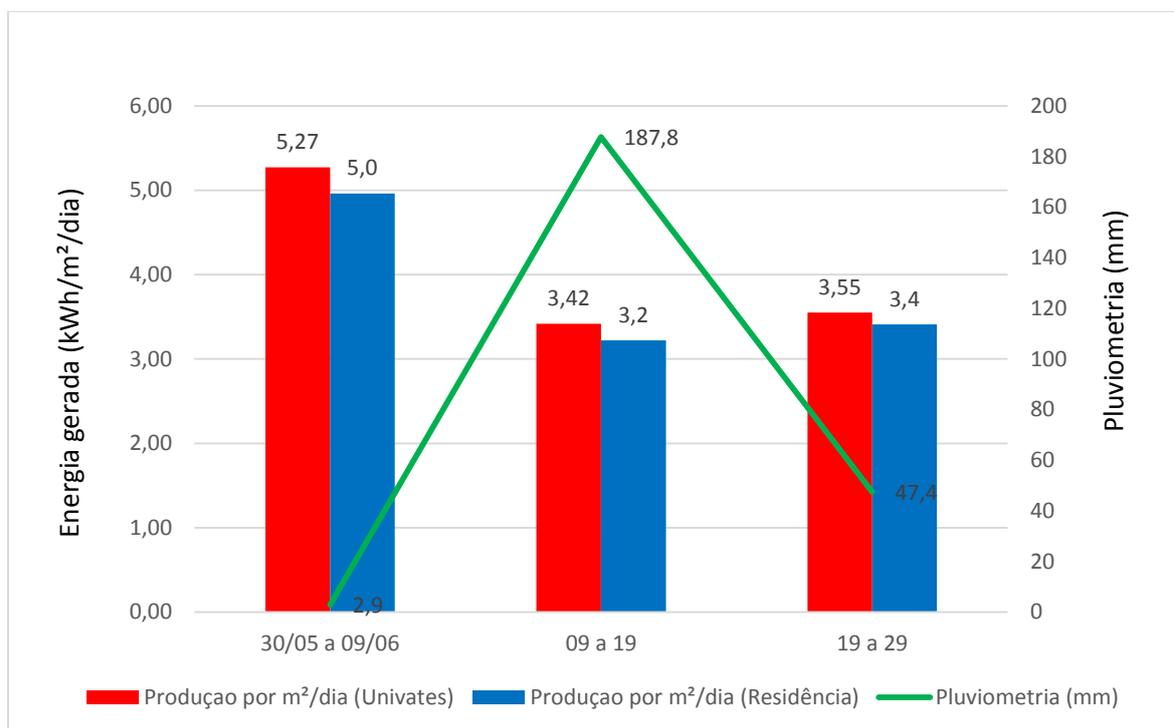
Figura 34 – Produção de energia elétrica do mês de maio de 2015



Fonte: Do autor (2015).

A geração de eletricidade do mês de junho, está representada pela Figura 35. Pode-se observar que a produção nos primeiros dez dias de leitura foram acima dos demais dias do mês. Isso se deve a pouca incidência de chuvas na primeira leitura. Ao contrário, na segunda leitura a produção de energia elétrica teve redução. Nesse período ocorreram chuvas intensas chegando a marca de 187,8 mm. Na terceira leitura, apesar de não haver um volume pluviométrico considerado alto, dos dez dias de coleta de dados da terceira leitura houve sete dias chuvosos, fato que limitou a produção de energia nesse período.

Figura 35 – Produção de energia elétrica do mês de junho de 2015



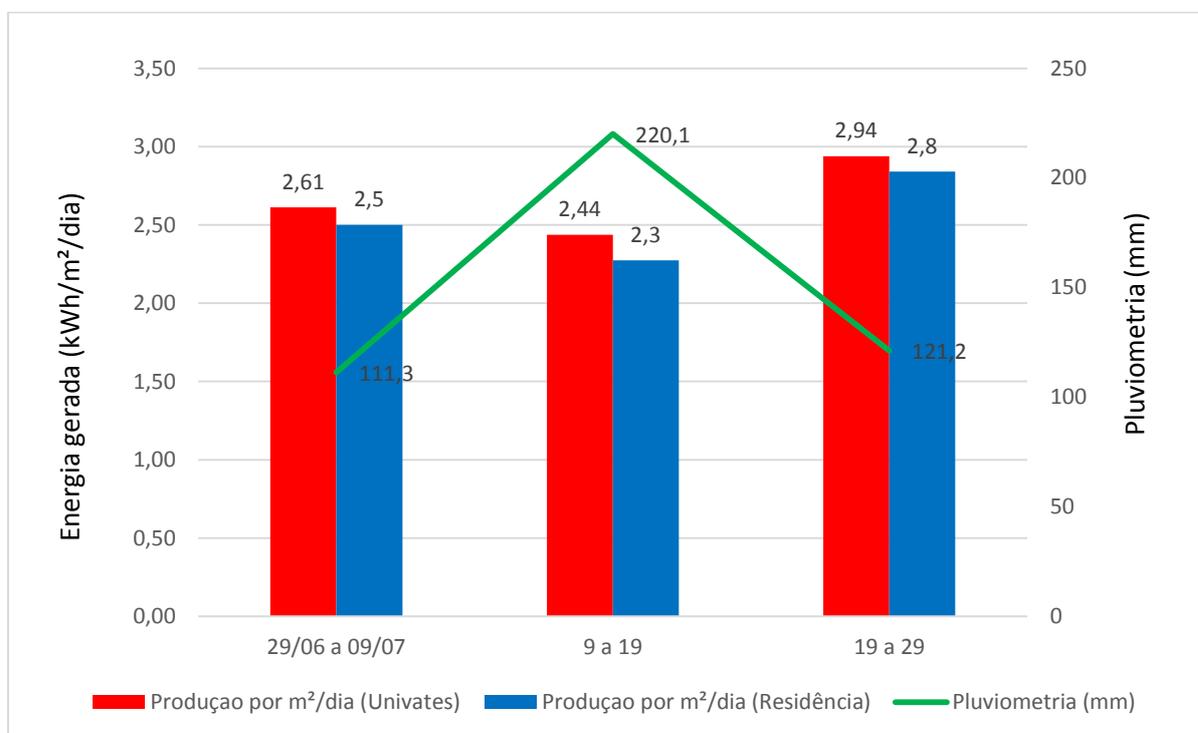
Fonte: Do autor (2015).

Os resultados de produção de energia elétrica do mês de julho são apresentados na Figura 36. Observa-se a baixa produção de energia no mês de julho, onde ocorreram chuvas intensas ao longo de todo o período. No somatório de pluviosidade obteve-se o valor de 433 mm de chuva ao longo do mês de julho. No período de trinta dias de leitura, tivemos vinte e um dias chuvosos, o que faz com que o sistema fotovoltaico não produza energia elétrica esperada. Em comparação com o mês de maio, o sistema instalado na Univates produziu o total de 219 kWh, já no mês de julho produziu somente 150 kWh 31,5 % a menos que no mês de maio. No sistema instalado na residência, a produção em maio foi de 333 kWh, e no mês de julho foi de 201 kWh 39% a menos que a produção do mês anterior. Essa redução de julho em relação ao mês de maio também se deve a incidência de radiação solar, que é menor se observarmos a Figura 30.

Em estudos realizados por Fontana (2014) no mês de julho de 2014 obteve produção de 242,4 kWh de energia elétrica lidos no sistema fotovoltaico da Univates, o mesmo do presente estudo. Contou com um período de poucas precipitações tendo somente sete dias chuvosos. A leitura feita em 2015, demonstra que o sistema

produziu 150,5 kWh o que representa 61% a menos que no mesmo período do ano de 2014.

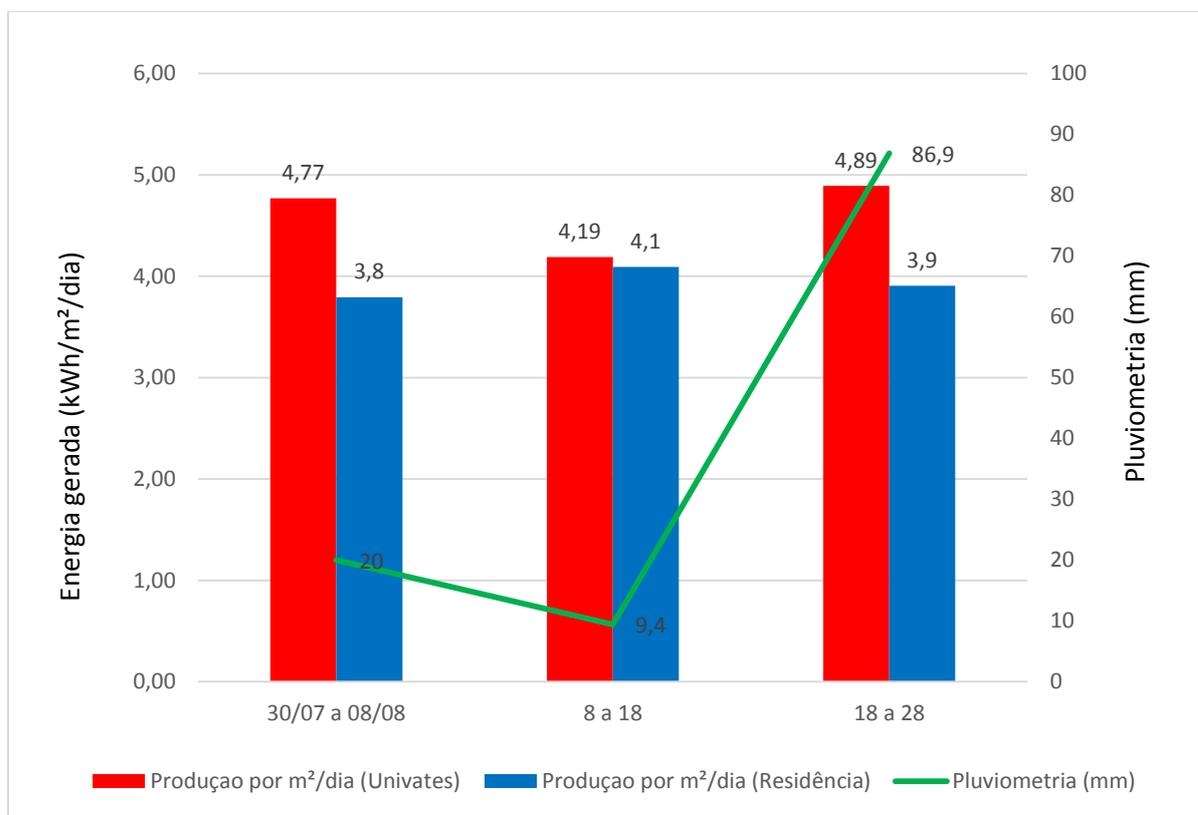
Figura 36 – Produção de energia elétrica do mês de julho de 2015



Fonte: Do autor (2015).

A Figura 37 mostra a produção de energia elétrica do mês de agosto. Observa-se a maior produção se comparado com o mês de julho. A baixa incidência de chuvas foi fundamental para a produção de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos. Na terceira leitura feita no mês de agosto, observa-se que o índice pluviométrico teve um aumento considerável se observado as outras duas leituras do mesmo mês. Mesmo com essa quantidade considerável houve boa produção de energia elétrica, isso se explica por que a chuva ocorreu em somente dois dias, produzindo plenamente no restante dos oito dias da leitura. Os sistemas tiveram picos de produção em alguns dias que chegaram a marcas muito próximas a dos meses de maior produção como janeiro, fevereiro, novembro e dezembro.

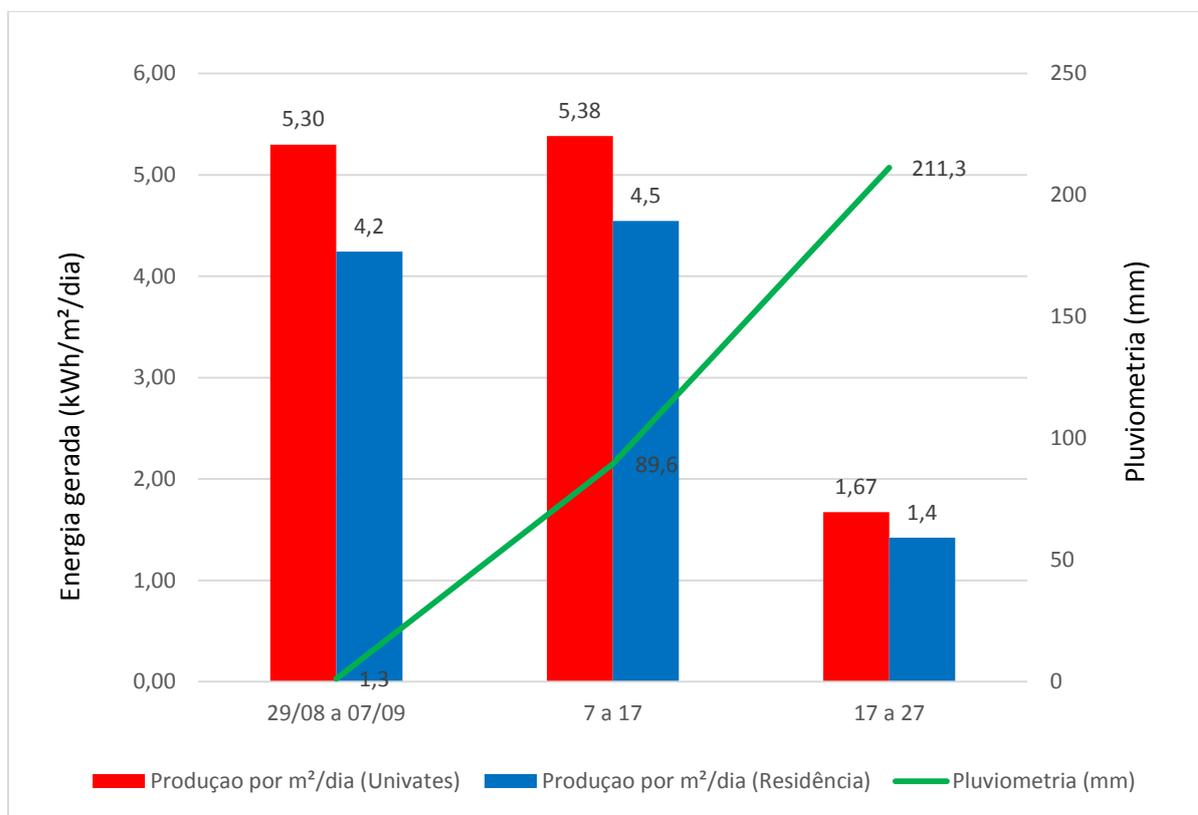
Figura 37 – Produção de energia elétrica do mês de agosto de 2015



Fonte: Do autor (2015).

A Figura 38 traz a produção de energia elétrica gerada no mês de setembro. Como podemos observar, os sistemas do objeto de estudo tiveram sua melhor produção dentro dos seis meses de coleta de dados nas duas primeiras leituras do mês de setembro. Na primeira leitura tivemos somente 1,3 mm de chuva acontecendo em dois dias, combinado com dias sem nebulosidade explicam a boa produção dos sistemas. Na segunda leitura apesar de termos um índice pluviométrico maior chegando a 89,6 mm com cinco dias de chuva, o sistema produziu mais energia elétrica que na primeira leitura. A ocorrência de chuva pontualmente nesse caso, não fez com que a produção de energia diminuísse. Já na terceira leitura ocorreram chuvas intensas chegando a marca de 211,3 mm sendo nove dias chuvosos e somente um sem chuva. Com a presença de altos índices pluviométricos e conseqüentemente baixa radiação, os sistemas tiveram a produção mais baixa do presente estudo superando as leituras feitas no mês de julho que teve índice pluviométrico aproximado.

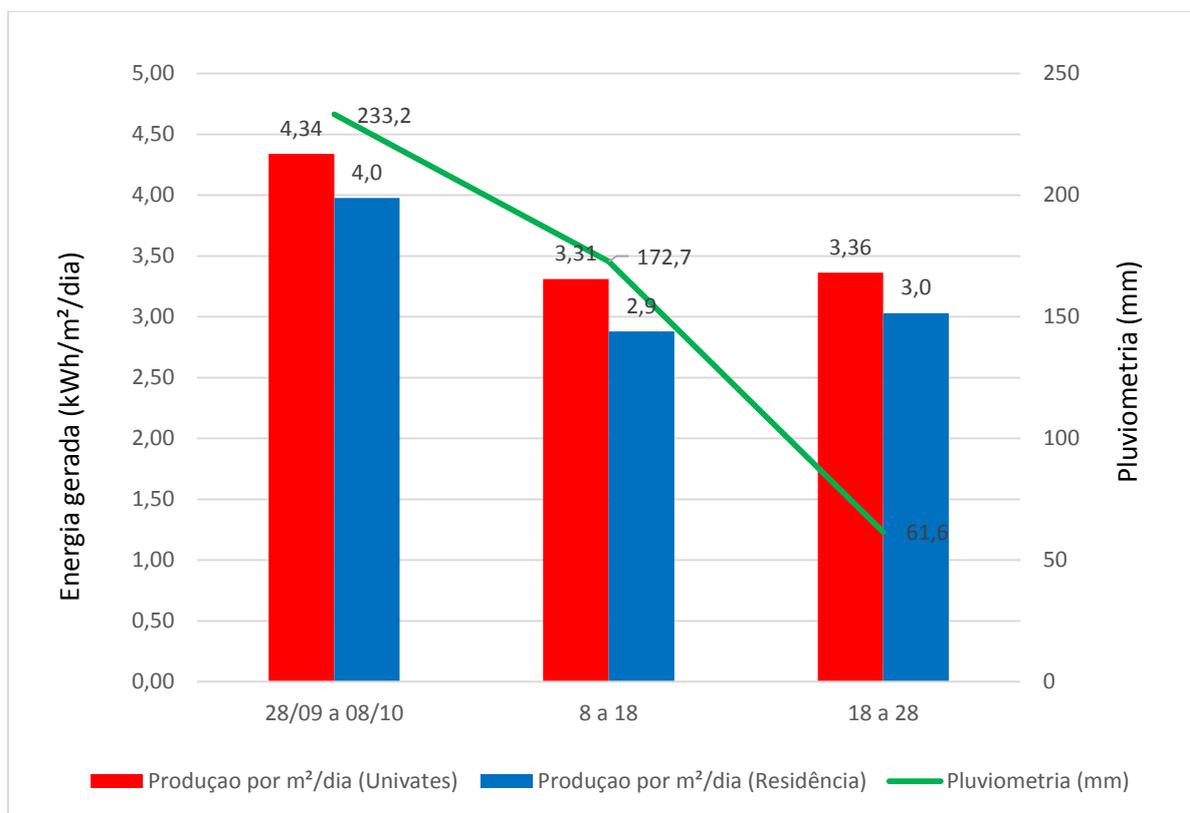
Figura 38 – Produção de energia elétrica do mês de setembro de 2015



Fonte: Do autor (2015).

A produção de energia elétrica referente ao mês de outubro está representada na Figura 39. Estudos de Fontana (2014) registraram a produção de 263,5 kWh/m²/dia para o sistema da Univates no mesmo período de 2014. Em 2015 o mesmo sistema produziu 178,7 kWh/m²/dia no mesmo período o que corresponde uma baixa de 32% na produção de energia elétrica referente ao ano anterior. Isso se deve a alta ocorrência de chuvas na região, que sofreu com cheias em todo estado. No dia 17 do mês de outubro, o Rio Guaíba registrou a segunda maior cheia da história. A baixa produção de energia foi provocada em decorrência de alta pluviosidade e dias nublados. Nos primeiros dez dias de leitura, observamos o grande índice pluviométrico, e mesmo assim tivemos mais produção de energia elétrica comparados com as outras duas leituras do mesmo mês. Esse fato pode ter ocorrido por que em dez dias de leitura choveram somente quatro, e os outros seis tiveram boa produção. O mês de outubro registrou 467,5 mm de chuva, o que fez com que os dois sistemas fotovoltaicos estudados registraram a menor eficiência entre os seis meses de coleta de dados.

Figura 39 – Produção de energia elétrica do mês de outubro de 2015



Fonte: Do autor (2015).

### 7.3 Síntese da produção de energia dos sistemas fotovoltaicos

Com o objetivo de sintetizar os resultados de produção de energia, nesta seção será abordado a resultante mensal de energia elétrica produzida pelos dois sistemas fotovoltaicos objeto do presente estudo. Lembrando que os sistemas não são idênticos, então os resultados são somente para leitura e não comparação entre sistemas.

Tabela 4 – Síntese da produção de energia elétrica

Mês	Total de energia gerada no sistema da Univates (kWh/mês)	Energia gerada por m <sup>2</sup> do sistema da Univates (kWh/mês/m <sup>2</sup> )	Total de energia gerada no sistema da residência (kWh/mês)	Energia gerada por m <sup>2</sup> do sistema da residência (kWh/mês/m <sup>2</sup> )
Maio	219,00	13,27	333,30	12,60
Junho	202,00	12,24	306,00	11,60
Julho	131,80	7,99	201,00	7,60
Agosto	228,50	13,85	311,20	11,80
Setembro	203,80	12,35	269,50	10,20
Outubro	181,7	11,01	261,00	9,89
Total		70,71		63,69

Fonte: Do autor (2015).

Observando-se a Tabela 4 e a Figura 40 nota-se que a produção de energia elétrica como esperado decaiu do mês de maio para junho e de junho para julho sucessivamente. Esse fato é explicado pela diferença de radiação incidente mostrada na Figura 30 da seção 7.1.

Em agosto tivemos a melhor produção do sistema no período de estudo. Esse fato deve-se a menor incidência de chuvas e dias nublados, combinado com o aumento de radiação incidente no presente mês. Em estudos de Fontana (2014) o mês de agosto também foi o mês de maior produção de energia elétrica.

Setembro que tem média de radiação maior do que o mês de agosto, acabou produzindo menos que o mês anterior, pelo grande índice pluviométrico apresentado prejudicando a produção de energia elétrica.

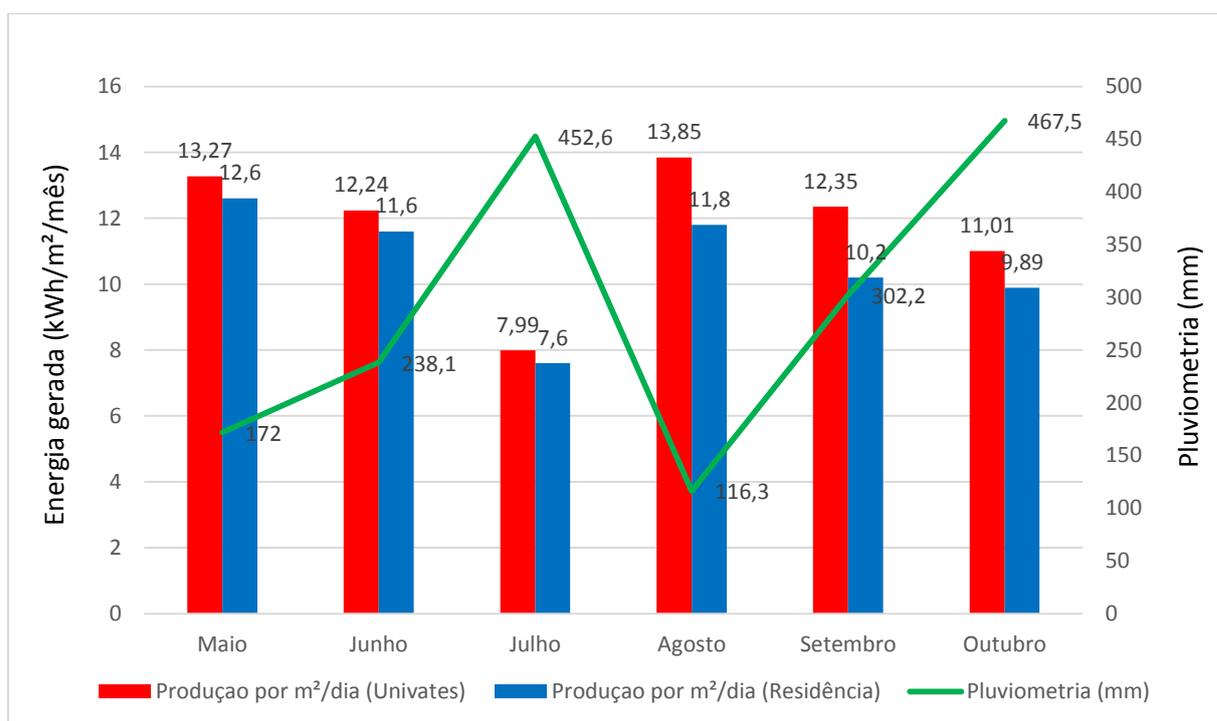
A produção de energia elétrica resultante do mês de outubro, foi prejudicada pelo alto índice pluviométrico no período, onde ocorreram cheias em todo estado do Rio Grande do Sul. A combinação de chuvas intensas e dias nublados com baixa radiação direta acarretaram a baixa produção de energia elétrica.

Podemos considerar que nos meses de setembro e outubro, a produção de energia elétrica ficou abaixo do esperado como consta nos níveis de radiação da

Figura 30. As marcas pluviométricas do mês de setembro atingiram duas vezes a média de chuvas esperadas para o mês. No mês de outubro, a precipitação chegou a marca de quatro vezes a média esperada para o mês.

O total de produção de energia elétrica do sistema da Univates com seus 16,5m<sup>2</sup> de placas do mês de maio ao mês de outubro obteve a marca de 1166,8 kWh. Já o sistema residencial com seus 26,4m<sup>2</sup> de placas produziu 1681,7 kWh.

Figura 40 – Síntese da produção de energia elétrica



Fonte: Do autor (2015).

#### 7.4 Perdas de energia elétrica em função dos inversores

Quando vamos escolher conversores para um sistema fotovoltaico temos que observar vários fatores, como potência, conexão com o computador, eficiência entre outros. No presente trabalho os inversores são de modelo, marca e potência diferente como comentado anteriormente.

Quando fala-se em eficiência de inversores, quer dizer qual a sua capacidade em transformar a energia gerada pelo painel fotovoltaico de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) com menores perdas.

Podemos observar nos gráficos de produção de energia elétrica que o sistema da Univates em todas as leituras teve produção maior que o sistema instalado na residência. A possível explicação disso se dá quando observarmos a eficiência dos dois inversores. O inversor instalado na residência tem 92% de eficiência e o instalado na Univates tem eficiência de 97%.

Mesmo observando que as placas fotovoltaicas instaladas na residência são mais potentes (240 Watts) do que as instaladas na Univates (230 Watts), temos que observar a eficiência do inversor, que é o coração da instalação fotovoltaica. Como no caso do presente estudo, temos uma eficiência mais alta com o sistema instalado na Univates pois o inversor tem maior eficiência, mesmo tendo placas de menor potência no seu sistema.

### **7.5 Produção de energia fotovoltaica na fatura de energia elétrica**

Como comentado anteriormente, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica funcionam de forma que quando o sistema está produzindo energia elétrica e não está consumindo, essa energia gerada é injetada na rede pública ficando como créditos a serem usados posteriormente. Se a instalação elétrica da residência está consumindo no momento da geração pelo sistema fotovoltaico, esta parte da energia não passa pelo contador da operadora de energia elétrica.

Como observado na Figura 41, foram consumidos 275 kWh pela residência. O sistema fotovoltaico injetou na rede da concessionária o valor de 218 mais 44 kWh, parte produzida durante o mês de setembro, e parte de créditos acumulados de outros meses que foram descontados dos 275 kWh consumidos. Como podemos observar, o valor de bandeira vermelha permanece, os descontos de créditos em energia são utilizados somente para tarifa onde não tem adição de valor tarifário no kWh.

Para o controle de energia gasta por mês em residências ou empresas que utilizam sistemas fotovoltaicos, não basta olhar somente o valor total da fatura de energia elétrica. Como comentado neste capítulo, se há gasto de energia enquanto o sistema fotovoltaico está produzindo, esse valor gasto não é contabilizado no contador de energia elétrica da concessionária. Se quiser obter o valor total de kWh gasto em um sistema elétrico integrado com placas fotovoltaicas, temos que fazer o seguinte cálculo: Primeiramente tem-se que olhar no inversor quanto ele produziu no período de leitura, subtrair o que foi injetado na rede elétrica. Resultado disso adicionamos o consumo de energia que consta na fatura de energia elétrica.

Figura 41 – Fatura de energia elétrica sistema residencial

BAIRRO MONTANHA 95900-000 LAJEADO - RS CNPJ/CPF: Inscr.Est./CI:		GF: 4	SEU Nº DE CONTA CONOSCO UC:	VENCIMENTO 13/10/2015			
			IDENTIFICAÇÃO:	MATRICULA 66352/01-3			
			CLASSE DE CONSUMO RESIDENCIAL	LE 501			
<b>Dados de Faturamento</b>			<b>ITENS FATURADOS (R\$)</b>				
Emissão:	28/09/2015	Apresentação:	28/09/2015				
Mês/Ano Faturamento	09/2015						
Leitura Atual	26/09/2015		7097,000	Consumo de energia			
Leitura Anterior	26/08/2015		6822,000	Qtde. Tarifa Valor ICMS Pis/Cofins			
Consumo Faturado (kWh)	X 1,000 =		275	CONSUMO			
Consumo Diário (kWh)			8,87	275 0,37323 102,85 35,31 3,31			
Dias de consumo			31	CRÉDITO SALDO GERAÇÃO			
Ocorrência do mês	Lido		87	44 0,37323 -16,42 0,00 0,00			
Próxima leitura prevista	30/10/2015		218	CRÉDITO SALDO GERAÇÃO			
Leitura Atual (kVArh)			87	87 0,37323 32,46 11,18 1,05			
Leitura Anterior (kVArh)			100	COMP.CUSTO DISPONIBILIDADE			
kVArh				ADIC. BANDEIRA VERMELHA			
Fator de Potência(%)				100 0,04660 4,66 1,60 0,15			
<b>Histórico de Consumo</b>				<b>Subtotal</b>			
Mês/ano	Dias	Ocorrência	Pagto.	Valor	Leitura	kWh	
09/2014	29	Lido	10/10/14	34,14	3475	178	
10/2014	31	Lido	10/11/14	34,04	3645	170	
11/2014	32	Lido	10/12/14	35,51	3932	287	
12/2014	31	Lido	12/01/15	35,77	4240	308	
01/2015	31	Lido	10/02/15	41,15	4638	398	
02/2015	31	Lido	10/03/15	48,51	4976	338	
03/2015	28	Lido	10/04/15	45,53	5254	278	
04/2015	29	Lido	11/05/15	44,37	5439	185	
05/2015	31	Lido	10/06/15	45,02	5676	237	
06/2015	31	Lido	10/07/15	91,64	6144	468	
07/2015	32	Lido	10/08/15	222,48	6660	516	
08/2015	30	Lido	10/09/15	66,74	6822	162	
			<b>Total da fatura</b>				<b>104,35</b>
			<b>Valor TUSD:</b>	<b>Valor TE:</b>			
			Tributos	Base R\$: 192,37	Alíquota do ICMS: 25 %	VALOR R\$: 48,09	
			<b>PIS (R\$)</b> 1,15		<b>COFINS (R\$)</b> 3,36		

Fonte: Do autor (2015).

A Figura 41 mostra a fatura de energia elétrica da residência que foi utilizada no presente estudo. Para obter a quantidade de energia gasta na residência, foi feito o cálculo acima citado. O sistema fotovoltaico produziu 340 kWh no período de medição, subtraímos 218 kWh que o sistema injetou na rede da concessionária, e adicionamos os 275 kWh que foi a energia elétrica utilizada por meio da rede pública. Os 44 kWh que constam na fatura de energia elétrica, são créditos acumulados de

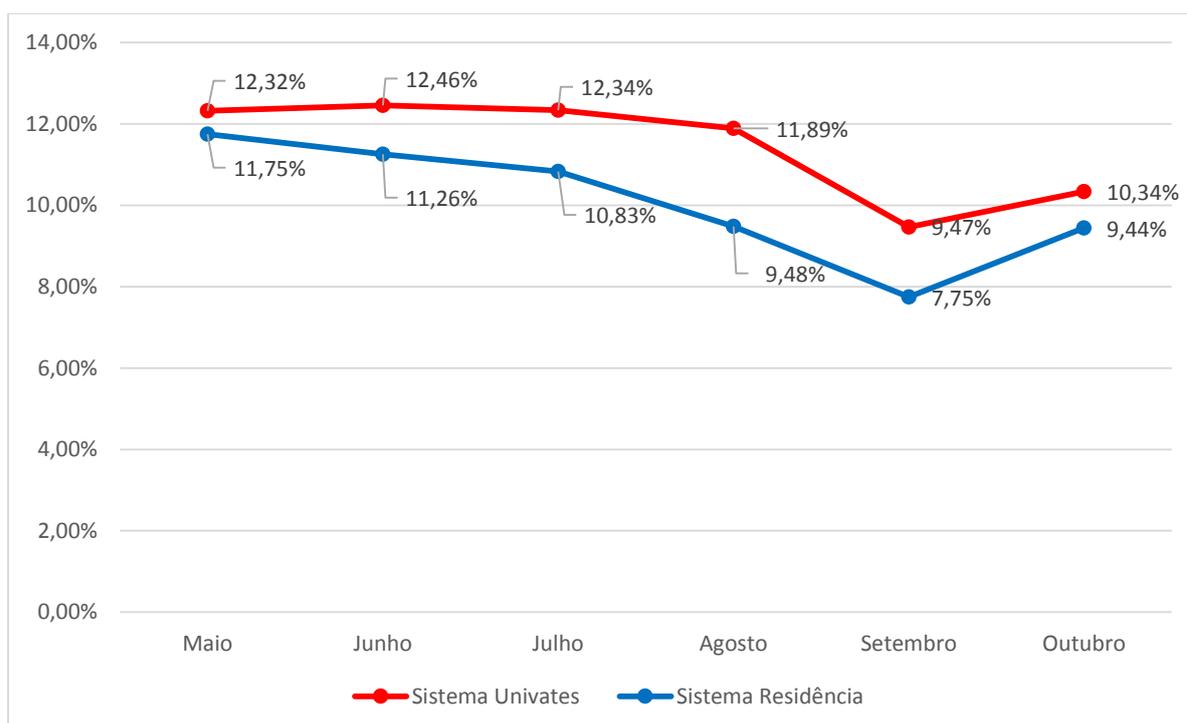
outros meses. O resultado de consumo total da residência no período de 26 de agosto até 26 de setembro foi de 397 kWh.

Pontualmente na fatura do mês de setembro de 2015, a presente residência objeto de estudo pagou o valor de R\$ 104,35 para a concessionária de energia elétrica. Caso não houvesse o sistema fotovoltaico instalado, o valor seria de R\$ 263,16 o que representa 150 % a mais que o valor pago.

## 7.6 Eficiência

A presente seção tem como objetivo tratar sobre a razão entre a radiação incidente nos módulos fotovoltaicos e a capacidade que eles têm de absorver e converter essa radiação em energia elétrica. A Figura 42 mostra a eficiência a cada mês dos dois sistemas analisados. A média de eficiência do sistema da Univates foi de 11,47%, enquanto a média do sistema residencial ficou em 10,09%. No mesmo período do ano de 2014 estudos de Fontana (2014) registraram eficiência de 11,50% para o sistema da Univates, bem próximo aos resultados do presente estudo.

Figura 42 – Eficiência dos módulos fotovoltaicos



Fonte: Do autor (2015).

Analisando a Figura 42, observamos que a menor eficiência dos dois sistemas ocorreu no mês de setembro, fato inesperado se olharmos os valores de radiação incidente na Figura 30. O mês de setembro deveria ter maior eficiência que nos meses de maio e junho devido a oferta de radiação, mas devido a chuvas intensas ficou abaixo do esperado. Se a oferta de radiação tivesse sido mantida de agosto para setembro, obviamente os sistemas produziram ainda mais.

Para o sistema da Univates o mês de maior eficiência foi julho, que mesmo com alto índice pluviométrico teve eficiência considerável com a marca de 12,46%. O sistema residencial teve sua maior eficiência no mês de maio atingindo a marca de 11,75%.

Observamos na Figura 42 que a eficiência do sistema residencial obteve marcas de eficiência menores que o sistema da Univates. Alguns fatores podem explicar essa diferença de valores, lembrando que os módulos fotovoltaicos dos dois sistemas são de classe A conforme Tabela 2. Os inversores dos dois sistemas têm característica diferente no quesito eficiência. Como abordado no item 7.4 o inversor da Univates tem eficiência de conversão de 97% enquanto o sistema residencial possui inversor de 92%. Essa diferença na eficiência do inversor é importante ser observada, ou seja, quanto maior a eficiência do inversor mais o sistema produzirá. Como podemos observar no resumo de produção de energia elétrica por metro quadrado na Figura 39, observamos que o sistema da Univates em todas as leituras produziu mais do que o sistema residencial.

Como levantado no item 4.1 Figura 22, o INMETRO – Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – tem um programa de etiquetagem que classifica a eficiência dos módulos. Como mostra a Tabela 2, o INMETRO classifica os módulos fotovoltaicos de A a E. Os módulos das duas instalações do presente estudo utilizam placas de classe A com eficiência acima de 13,5%. Conforme os resultados, o mais próximo foi 12,46% atingido pelo sistema da Univates no mês de junho.

Conforme os manuais dos módulos fotovoltaicos o sistema da Univates possui placas com 14 % de eficiência e a residência módulos com 14,5%, podemos deduzir que os sistemas podem estar em desacordo em alguns quesitos assim não atingido a

eficiência esperada. Alguns itens possíveis são: posicionamento inadequado, instalação inadequada gerando perdas, possíveis sombreamentos, perdas em função de sujeira acumulada nas placas, perdas nas conexões e inversores.

Apesar de não ser o objetivo do trabalho o tempo de retorno do investimento sempre é uma das primeiras questões a ser levantada. Como são muitas as variáveis quando falamos em investimento e tempo de retorno não serão feitas abordagens aprofundadas.

Se falando em tempo de retorno, no início de 2013 ao contrário de outros países o governo brasileiro tomou a decisão de baixar o preço da energia para seus consumidores em cerca de 18% para residências e chegando a 32% para consumidores de alta tensão (ANEEL, 2013). No início de 2015 foram aplicados reajustes que chegaram a 48% na região de Lajeado RS.

Se falando em atratividade e tempo de retorno de investimento, com os reajustes nas tarifas de energia elétrica, o tempo de retorno se torna ainda mais curto quando falamos em energia fotovoltaica. Então se analisarmos o aumento de 48% na tarifa de energia, pode-se afirmar que é alternativa viável de investimento rendendo mais que fundos de poupança ou aplicações.

Exemplificando de forma simples, um orçamento feito para um supermercado na cidade de Lajeado RS, considerando a instalação de um sistema que gera 2400 kWh/mês, contendo 80 módulos de 250W cada, inversor com 99% de eficiência, projeto e ART, estrutura de fixação e mão de obra por R\$ 103.600,00.

Considerando valor médio cobrado pelo kWh de R\$ 0,75, podendo oscilar de R\$ 0,65 a R\$ 0,85, obtém-se a necessidade de geração de 138.133 kWh (138 GWh). O tempo de retorno para essa instalação produzindo 28.800 kWh/ano seria de aproximadamente 5 anos. Os módulos fotovoltaicos têm vida útil de 25 anos, após esse período continua produzindo porém com eficiência menor.

Essas rápidas considerações sobre investimento e tempo de retorno, tem um grande campo de estudos onde envolvem inúmeras variáveis do processo. Apesar das rápidas considerações, pode-se afirmar uma alternativa viável tanto no âmbito financeiro quanto ambiental.

## 8 CONCLUSÃO

Atualmente as energias renováveis tem conquistado grande espaço na geração de energia elétrica. Uma das alternativas é a energia fotovoltaica que vem crescendo nos últimos anos em função dos reajustes nas tarifas de energia elétrica e conscientização ambiental. Com o alto potencial de geração de energia, investidores irão implantar a primeira fábrica de módulos fotovoltaicos na Serra Gaúcha, um ponto muito importante para difusão dessa tecnologia no país.

O presente trabalho é de grande importância por revelar os índices de radiação na cidade de Lajeado, RS reforçando estudos já realizados na mesma área, relacionando com a geração de energia elétrica de dois sistemas fotovoltaicos no período de maio a outubro de 2015.

No que se refere a radiação solar, após o tratamento de dados notou-se a proximidade de valores obtidos em estudos realizados anteriormente na instituição. Os dados obtidos através de software que utiliza interpolação de dados se mostraram satisfatórios se comparados com dados reais obtidos através do Centro Hidrometeorológico instalado na instituição. Através dessas informações foi possível comprovar a confiabilidade do software, que pode ser usado como parâmetro para análise de radiação de determinada região.

A eficiência dos dois sistemas não atingiu a marca esperada. O registro de maior eficiência ocorreu no sistema da Univates no mês de julho com 12,46%, abaixo dos 13,5% aferidos pelo INMETRO que classifica os módulos fotovoltaicos do presente estudo como classe A. A menor marca de eficiência ocorreu no sistema

residencial no mês de outubro com apenas 7,75% que pode ser explicada pela alta incidência de chuva e dias nublados. Entende-se que os dois sistemas do presente estudo poderiam passar por uma revisão averiguando-se posição dos módulos, possíveis sombreamentos, limpeza dos módulos e perdas no cabeamento. Com isso seria possível fazer com que os sistemas produzissem ainda mais.

A produção dos sistemas fotovoltaicos possibilitou a análise real de geração de energia elétrica, a qual pôde ser relacionada com a radiação incidente e índice pluviométrico, dois fatores que estão ligados diretamente com valores de produção fotovoltaica. Percebeu-se que mesmo em meses onde a oferta de radiação é alta, a produção dos sistemas não correspondeu ao esperado devido a altos índices pluviométricos no período. Dentro dos seis meses de coleta de dados, o sistema residencial atingiu a produção de 63,69 kWh/mês/m<sup>2</sup>, já o sistema da Univates produziu 70,71 kWh/mês/m<sup>2</sup>. Essa diferença se deu principalmente pelas características dos inversores, sendo o instalado na Univates com 97% de eficiência e da residência com 92%.

Sobre os resultados alcançados no presente estudo, conclui-se que foi obtido êxito quanto aos objetivos. Foram gerados dados importantes para o desenvolvimento de estudos futuros fazendo com que se aprofunde ainda mais o conhecimento na área de geração de energia limpa e renovável.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que sistemas fotovoltaicos podem ser instalados na cidade de Lajeado para a produção de energia elétrica em residências e empresas, de forma que através de breve análise financeira notou-se que o investimento retorna antes do fim da vida útil dos equipamentos, colaborando com o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. [s.l.]: [s.n.], 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia solar**. 2012. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia solar**. 2013. **ANEEL anuncia redução das tarifas de energia elétrica**. Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=6426&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=6426&id_area=90)>. Acesso em: 05 nov. 2015.

AZEVEDO, Reinaldo. **Dilma e energia e o vento: ela não aprende nada nem esquece nada**. 2015. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/tag/energia-eletrica/> >. Acesso em: 17 mar. 2015.

BERMANN, Célio. **Crise ambiental e as energias renováveis**. São Paulo: USP, 2008. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2008/.../bermanncrise.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade**. Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BRITO, Miguel C. **Eletricidade Solar**. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2001. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/p2.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2015

CABRAL, Isabelle; VIEIRA, Rafael. **Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro**: uma abordagem no período recente. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO, 2012. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-003.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2015

COLLE, Sérgio; PEREIRA, Enio Bueno. **A energia que vem do Sol**. Santa Catarina: UFSC. Disponível em: <[http://www.fisica.uems.br/arquivos/fismeioamb/energia\\_solar.doc](http://www.fisica.uems.br/arquivos/fismeioamb/energia_solar.doc)>. Acesso em: 16 mar. 2015.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Slavo Brito. **Tutorial de geração heliotérmica**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_heliotermica\\_2012.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_heliotermica_2012.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2015.

\_\_\_\_\_. **Energia solar princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/energia\\_solar\\_principios\\_aplicacoes\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/energia_solar_principios_aplicacoes_2006.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2015.

DAVISNET. **Weather is important when your life is on the line**. 2014. Disponível em: <<http://www.davisnet.com>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

EPE. Empresa de Pesquisas Energéticas. **Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil**: condicionantes e impactos. Brasil: EPE, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

FONTANA, Luís Eduardo. **Avaliação da eficiência energética de um sistema fotovoltaico na cidade de Lajeado, RS**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado: UNIVATES, 2015.

GOLDEMBERG, José; PALETTA, Francisco Carlos. **Energias e renováveis**. São Paulo: Blucher, 2012. Disponível em: <<http://www.blucher.com.br/editor/amostra/06088.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2015.

GOMES, Caio Peixoto. Energia solar: utilização como fonte de energia alternativa. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**. v. 2, n. 1, p. 159-163, 2012. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/viewFile/2411/1299>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

GOOGLE EARTH. **Mapa de Lajeado-RS**. 2015. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica**: manual sobre tecnologias, projeto e instalação. 2004. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/.../guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2015.

GTES. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL, 2004. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf)>. Acesso em: 4 mar. 2015.

\_\_\_\_\_. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL, 2014. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 4 mar. 2015.

HONSBERT, Cristiana; BOWDEN, Stuart. **Photovoltaic education network**: light generated current. [s.l.]: PV Education, 2015. Disponível em: <<http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/light-generated-current>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

IEE. Instituto de Energia e Ambiente Universidade de São Paulo. **Brasil Energia**. 2011. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2011>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001652.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica**: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico. Brasília: IPEA, 2013.

ITAIPU. **Participação nos mercados**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/participacao-nos-mercados>>. Acesso em: 12 ago. 2015

KAUFMANN, Vinícius Gustavo. **Avaliação do potencial de geração solar fotovoltaica e análise em tempo real da operação de um painel fotovoltaico instalado na cidade de Lajeado/RS**. 2012. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado: UNIVATES, 2012.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Labsol**. Software. 2015. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 18 abr. 2015.

LOUREIRO, Mario. **Simulador de Energia Fotovoltaica: Manual de Manuseamento Manual de Práticas**. Portugal: Mario Loureiro, 2009. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net>>. Acesso em: 16 abr. 2015.

MOURAO, Ronaldo Rogerio de Freitas. **Sol e energia no terceiro milênio**. São Paulo: Scipione, 2002.

PORTO, Laura. **Energias renováveis**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfra/galerias/arquivos/apresentacao/VI.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Florianópolis, 2004.

SAUER, Ildo Luís; QUEIROZ, Mozart Schmitt; MIRAGAYA, José Carlos Gameiro; MASCARENHAS, Ricardo Campos; QUINTINO, Anário Rocha Júnior. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobras. **Bahia Análise e Dados**. Salvador, v. 16, n. 1, p. 9-22, jun. 2006. Disponível em: <[http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao\\_rural/tc\\_02.pdf](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/tc_02.pdf)>. Acesso em: 13 mar. 2015.

TIBA, Chigueru. **Atlas Solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciencia, 2003.

UNIVATES. Centro Universitário Univates. **Notícias e fotos**. 2015. Disponível em: <[www.univates.br](http://www.univates.br)>. Acesso em: 15 mar. 2015.

URBANETZ, Jair Junior; CASAGRANDE, Eloy Fassi Junior.- **Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica do Escritório Verde da UTFPR**. Curitiba: escritório verde 2012. Disponível em: <[http://www.escriptorioverdeonline.com.br/wp-content/uploads/2012/08/Artigo-CBPE\\_Urbanetz\\_Casagrande.pdf](http://www.escriptorioverdeonline.com.br/wp-content/uploads/2012/08/Artigo-CBPE_Urbanetz_Casagrande.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2015.

VIANA, Trajano. **Energia solar fotovoltaica**: geração de energia a partir do sol. Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis/SC: UFSC, 2011.

VICHI, Flavio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial 2009. **Quim. Nova**. v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a19v32n3.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

VILLALVA, Marcelo Gradella, GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicação**. São Paulo: Érica, 2013.