

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO NA CIDADE DE LAJEADO, RS.**

Luís Eduardo Fontana

Lajeado, julho de 2015

Luís Eduardo Fontana

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO NA CIDADE DE LAJEADO, RS.**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Lajeado, julho de 2015

Luís Eduardo Fontana

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO NA CIDADE DE LAJEADO, RS.**

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

Prof. Dr. Odorico Konrad – orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Arq. Esp. Rodrigo Spinelli
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dr. Leonardo Zanetti Rocha
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, julho de 2015

RESUMO

O mundo vem passando por um contínuo crescimento na demanda de energia desde o início do século XIX, através da Revolução Industrial, formação dos centros urbanos e aprimoramento da agricultura, sendo a energia um viés para a evolução de uma nação. No atual contexto de desenvolvimento das economias e no abastecimento de países desenvolvidos, os altos índices de concentração e emissão de gases de efeito estufa no ar e a ciência do esgotamento dos combustíveis fósseis são consequências das políticas adotadas, baseadas no consumo do petróleo, do gás natural e do carvão mineral como fontes sobre os quais se apoia a matriz energética mundial. A energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa de fonte limpa e renovável para o suprimento de eletricidade, com possibilidade de aplicação em todo território brasileiro para a alimentação de sistemas isolados, sistemas híbridos e para sistemas conectados à rede elétrica. Logo, a presente monografia tem por objetivo verificar a radiação solar incidente, analisar a geração de energia durante o período referente ao ano de 2014 e avaliar a eficiência energética de um conjunto de módulos fotovoltaicos, com 16,34 m², com inclinação de 24° e face voltada para o norte geográfico, instalado no Centro Universitário Univates, na cidade de Lajeado, RS. Como resultado deste estudo, chegou-se a uma radiação solar horizontal média incidente de 4,14 kWh/m²/dia, entretanto os módulos fotovoltaicos estudados geraram 2.927,10 kWh no ano, correspondendo a uma geração mensal média de 243,93 kWh, apresentando um valor médio de 11,07% para a eficiência.

Palavras-chave: Energia renovável. Energia solar. Energia limpa.

ABSTRACT

The world has been experiencing a continuous growth in energy demand since the beginning of the 19th century, through the Industrial Revolution, urban centers formation and agriculture improvement, being energy a bias to a nation's development. In the current context of development of the economies and the supply of developed countries, the high levels of concentration and emission of greenhouse gases in the air, and the science of the exhaustion of fossil fuels are consequences of the policies adopted, based on the consumption of petroleum, natural gas and coal as mineral sources on which is supported the global energy matrix. The photovoltaic solar energy emerges as an alternative source for clean, renewable energy to the electricity supply, with the application possibility for the whole Brazilian territory on the supply of isolated systems, hybrid systems and for systems connected to the electricity network. Thus, this monograph aims to verify the incident solar radiation, analyze the power generation during the period for the year of 2014 and assess the energy efficiency of a set of photovoltaic modules, with 16.34 m², an inclination of 24° and facing the geographic north, installed at Centro Universitario UNIVATES, in the city of Lajeado, RS. As a result of this study, the average horizontal solar irradiation reached was 4.14 kWh/m²/day, however the photovoltaic modules studied generated 2,297.10 kWh of total energy in the year, presenting a monthly average generation of 243.93 kWh, showing an average efficiency value of 11.07%.

Keywords: Renewable energy. Solar energy. Clean energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo energético primário	20
Figura 2 – Oferta interna de energia do ano de 2014	22
Figura 3 – Estimativa da produção de energia no mundo até o ano de 2100	31
Figura 4 – Média anual da radiação solar global diária	38
Figura 5 – Células solares de silício cristalino, monocristalino e amorfo	42
Figura 6 – Estrutura do módulo fotovoltaico	44
Figura 7 – Radiação solar global diária	45
Figura 8 – Junção PN	47
Figura 9 – Influência da temperatura na corrente do módulo	48
Figura 10 – Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada ...	51
Figura 11 – Diagrama esquemático apresentando uma instalação fotovoltaica conectada à rede, instalada em uma residência	52
Figura 12 – Sistema híbrido de energia	53
Figura 13 – Tempo de equiparação do kWh com a tarifa convencional	56
Figura 14 – Representatividade no investimento inicial de componentes FV	57
Figura 15 – Evolução da capacidade total instalada entre 2000 – 2014	58
Figura 16 – Estação meteorológica instalada na Univates	62
Figura 17 – Software RadiaSol	63
Figura 18 – <i>NASA Surface meteorology and Solar Energy</i>	64
Figura 19 – Módulos fotovoltaicos instalados no prédio 17 da Univates	65
Figura 20 – Radiação solar global horizontal diária média do ano de 2014	70

Figura 21 – Comparação entre a radiação solar diária média na cidade de Lajeado - RS, obtida a partir de diferentes fontes	71
Figura 22 – Radiação solar incidente no conjunto fotovoltaico e pluviometria ocorrida na cidade de Lajeado – RS	73
Figura 23 – Relação entre a radiação solar inclinada e a radiação horizontal	75
Figura 24 – Energia elétrica gerada no mês de janeiro de 2014	76
Figura 25 – Energia elétrica gerada no mês de fevereiro de 2014	77
Figura 26 – Energia elétrica gerada no mês de março de 2014	78
Figura 27 – Energia elétrica gerada no mês de abril de 2014	79
Figura 28 – Energia elétrica gerada no mês de maio de 2014	80
Figura 29 – Energia elétrica gerada no mês de junho de 2014	81
Figura 30 – Produção diária de energia em 13/06/14	82
Figura 31 – Energia elétrica gerada no mês de julho de 2014	83
Figura 32 – Energia elétrica gerada no mês de agosto de 2014	84
Figura 33 – Produção de energia no dia 27/08/14	85
Figura 34 – Relação entre a energia gerada e temperatura média de 2014	86
Figura 35 – Relação entre a energia gerada e os dias de precipitação em 2014.	87
Figura 36 – Energia elétrica gerada no mês de setembro de 2014	88
Figura 37 – Energia elétrica gerada no mês de outubro de 2014	89
Figura 38 – Energia elétrica gerada no mês de novembro de 2014	90
Figura 39 – Energia elétrica gerada no mês de dezembro de 2014	91
Figura 40 – Energia gerada pelos módulos ao longo do ano de 2014	93
Figura 41 – Eficiência energética dos painéis fotovoltaicos da Univates	95
Figura 42 – Aumento na tarifa de energia elétrica pelo Brasil	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução do Consumo Final de Energia no Brasil (em milhares de tep)	21
Tabela 2 – Comparação de custos entre as matrizes energéticas	28
Tabela 3 – Indicadores energéticos e emissões de CO ₂ mundiais, 2009	30
Tabela 4 – Máxima eficiência fotovoltaica	67
Tabela 5 – Valores totais e médios de energia gerada pelos módulos em 2014	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

CA – Corrente alternada

CC – Corrente contínua

CIH – Centro de Informações Hidrometeorológicas da Univates

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica de Salvo Brito

GEE – Gases de Efeito Estufa

g/kWh – Grama por quilowatt-hora

GW – Gigawatt

FV - Fotovoltaico

IEA – *International Energy Agency* - Agência Internacional de Energia

kW – Quilowatt

kWh/m²/ano – Quilowatt-hora por metro quadrado por ano

kWh/m²/dia – Quilowatt-hora por metro quadrado por dia

LAFAE – Laboratório de Fontes Alternativas de Energia

MJ/m² - Megajoule por metro quadrado

MME – Ministério de Minas e Energia

MPPT – *Maximum Power Point Tracking* – Rastreamento do ponto de máxima potência

mV/°C – Milivolt por grau Célsius

MWh – Megawatts-hora

MWp – Megawatts de potência

OB – *Oscilant body* – Corpo oscilante

OWC – *Oscilant water column* – Coluna de água oscilante

PIB – Produto Interno Bruto

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SIN – Sistema Interligado Nacional

Tep – Tonelada equivalente de petróleo

TWh – Terawatts-hora

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Wh/m² - Watt-hora por metro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Energia	17
3.2 Energias renováveis	23
3.3 Energia elétrica	32
3.4 Energia solar	34
3.4.1 Energia solar fototérmica	39
3.4.2 Energia solar fotovoltaica	40
3.4.2.1 Módulo fotovoltaico	42
3.4.2.2 Sistemas de abastecimento e dispositivos utilizados	49
3.4.2.3 Vantagens e tarifação	53
3.4.2.4 Custos	55
3.4.2.5 Situação atual e projeções	57
4 METODOLOGIA	61
4.1 Radiação solar global e horas de insolação	61

4.2 Módulos fotovoltaicos	64
4.3 Eficiência energética dos módulos	66
5 RESULTADOS E ANÁLISES	69
5.1 Radiação solar incidente	69
5.2 Geração de energia elétrica	76
5.2.1 Síntese da produção de energia	93
5.3 Eficiência	95
6 CONCLUSÃO	100
REFERÊNCIAS	103
ANEXOS	107
Anexo I	108

1 INTRODUÇÃO

O início do século XX marcou uma época de transformações jamais vistas pela humanidade. Com o surgimento e desenvolvimento da revolução industrial, bem como o crescimento da produção agrícola, iniciou a até hoje crescente demanda por energia (LOPEZ, 2012).

Desde então, a energia tem estado presente na vida cotidiana, tendo importante papel na vida das sociedades por lhe proporcionar acesso a tecnologias (CRUZ-ARDILA et al., 2013), além de outras inúmeras utilizações do homem, tornando-se um parâmetro econômico e social (BORGES NETO; CARVALHO, 2012) sendo, para Bilgen (2014), essencial para o desenvolvimento econômico e social, além da melhora na qualidade de vida em todos os países. O autor ainda afirma que as fontes de energia podem ser fósseis (petróleo, carvão natural, gás natural, etc.), renováveis (biomassa, hidrelétrica, solar, eólica) e fósseis (urânio, tório, etc).

O ser humano depende da energia elétrica para quase todas as atividades. Desde o trabalho ao lazer, seu emprego está sempre presente. É a mais flexível forma de energia que existe, uma vez que pode ser transformada em luz, calor, informação e movimento, mesmo que longas distâncias afastem o ponto de geração do local de consumo (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Frente a essa comodidade e relação de necessidade estabelecida, a demanda por eletricidade tem crescido exponencialmente ao longo dos últimos anos. Segundo Villalva; Gazoli (2012), em 1980 o consumo mundial de energia elétrica era de 7.000 TWh (terawatts-hora), valor que passará para quase 30.000

TWh até o ano de 2030, segundo levantamento da Agência Internacional de Energia (IEA). A produção de energia elétrica pode ocorrer de muitas formas. No cenário atual, cerca de 80% tem origem na queima de combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo, gás natural e na produção das usinas nucleares (LOPEZ, 2012).

O chamado mundo desenvolvido baseia-se no consumo de combustíveis fósseis para produção de eletricidade (BENITO, 2011). Este tipo de produção de energia, considerada não renovável, faz a extração das reservas e acaba por reduzir as mesmas, que levaram milhões de anos para se formar. Sendo assim, não há tempo para que se reestabeleçam e continuem abastecendo o consumo, como ocorre nos dias de hoje (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Além da exaustão das reservas, o consumo resulta na emissão de gases tóxicos para a atmosfera, trazendo grandes prejuízos ambientais como grandes secas e inundações, cada vez mais perceptíveis no mundo inteiro, caracterizando-se como os maiores problemas da sociedade atual (ANDRADE, 2012). Isso prova que o consumo dos combustíveis fósseis não poderá seguir como principal fonte de energia utilizada pelo homem (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Com isso, torna-se necessária a adoção de fontes de energia renováveis. Estas são as consideradas inesgotáveis para os padrões de consumo humano, baseando-se nas formas de energia que constantemente estão disponíveis para o uso na Terra (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

As energias renováveis representam hoje apenas 13% do consumo mundial. De acordo com Goldemberg; Paletta (2012, p. 11), “Carvão, petróleo e gás foram a base energética do desenvolvimento tecnológico do século XX, mas criaram problemas com os quais nos defrontamos hoje: exaustão das reservas, problemas geopolíticos e poluição”.

Existem muitos meios de geração de energia considerados renováveis. Usinas hidrelétricas, eólicas, de biomassa, oceânicas e geotérmicas são algumas que se encaixam no conceito de que podem ser exploradas continuamente sem nunca acabarem (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Até o momento, a fonte de energia mais abundante e menos poluente conhecida é a solar. Ela pode ser utilizada para o aquecimento de fluidos ou para

geração de energia elétrica, sendo a energia da radiação solar que incide na Terra a cada dia equivalente a toda energia elétrica consumida no mundo durante 27 anos (LOPEZ, 2012).

É possível que se questione até que ponto uma fonte de energia é inesgotável. A ciência aponta que o sol ainda emitirá luz e calor por aproximadamente 8 bilhões de anos, tempo suficiente para que se possa concluir a veracidade da informação (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A geração de energia elétrica a partir da conversão direta da luz solar tem se desenvolvido rapidamente no mercado da geração nos últimos 5 anos (SANTOS; RÜTHER, 2012) colocando a energia solar fotovoltaica como alternativa para este cenário de busca por novas matrizes energéticas. Baseado na diferença de potencial elétrico causado pela incidência da radiação solar sobre materiais semicondutores, tem amplo potencial de aplicação em território nacional (LOPEZ, 2012).

Com o atual desenvolvimento tecnológico, o recurso da energia solar para produção de energia limpa pode ser considerado seguro e confiável. Desta forma, sua disseminação passa a ser variável de aspectos políticos e econômicos (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Tendo aplicações iniciais na alimentação de circuitos eletrônicos de satélites e repetidores de rádio e televisão, bem distantes das redes de distribuição de energia, parece óbvia para Benito (2011) a viabilidade da mesma.

Além de produzir energia de forma limpa e renovável, a energia solar fotovoltaica estimula a produção compartilhada de energia, evitando grandes gastos com redes de distribuição. Ademais, a energia produzida pelos painéis instalados nas residências pode alimentar a rede, abastecendo-a justamente no período em que mais é demandada (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A radiação solar incidente no painel coletor, bem como quantidade de horas de incidência, sua área e eficiência são fatores determinantes da potência e energia geradas (LOPEZ, 2012).

Partindo dessa necessidade de busca por novas fontes de energia, caracteriza-se como fato de suma importância a avaliação da eficiência dos módulos fotovoltaicos.

Neste contexto, torna-se pertinente que se faça essa análise do conjunto instalado no Centro Universitário Univates, na cidade de Lajeado, RS.

Para isso, será considerada a energia gerada pelo mesmo, confrontando-se com os dados de radiação global incidente no local, visando tomar conhecimento dos reais benefícios trazidos pela instalação fotovoltaica, concluindo-se com a análise da eficiência de conversão de energia dos módulos fotovoltaicos objetos de estudo deste trabalho.

A presente monografia é composta por 6 capítulos. A introdução é o primeiro capítulo, seguido pelo objetivo, referencial teórico, metodologia, resultados e análises, sendo finalizado com a conclusão.

2 OBJETIVO

Baseado em uma revisão dos conceitos bibliográficos, o presente estudo visa ampliar os conhecimentos sobre a geração de energia elétrica a partir dos módulos fotovoltaicos, que vem crescendo ao longo dos últimos anos e se consolidando como uma alternativa de energia limpa e renovável.

2.1 Objetivo geral

A partir da determinação dos dados de radiação global incidente, medida com equipamento adequado, avaliar a eficiência da geração de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos instalados no campus da UNIVATES, na cidade de Lajeado, RS.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a radiação solar incidente durante o período analisado na cidade de Lajeado, RS, através dos dados obtidos por um piranômetro instalado no Centro de Informações Hidrometeorológicas da UNIVATES;
- Comparar a radiação solar incidente verificada com a oferecida pelo *software* Radiasol, da UFRGS, e pelo *NASA Surface meteorology and Solar Energy*;

- Avaliar a eficiência da conversão da energia luminosa em energia elétrica pelos módulos fotovoltaicos instalados no prédio 17 do campus da Univates;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o referencial teórico relativo aos assuntos que serão estudados neste trabalho. Primeiramente é feita uma explanação sobre energia, seguida por energias renováveis, energia elétrica, energia solar e concluído com a abordagem sobre energia solar fotovoltaica.

3.1 Energia

A energia sempre esteve presente nas atividades do ser humano. Desde os tempos antigos já era utilizada para cocção de alimentos, aquecimento dos ambientes, operação dos moinhos, tendo expressivo aumento no consumo quando da Revolução Industrial, da expansão dos centros urbanos e do crescimento da agricultura. Nos dias de hoje, onde caracteriza-se como base para toda ciência e tecnologia sendo, ao lado do saneamento, transporte, telecomunicações e águas, elementos componentes da infraestrutura necessária ao modelo vigente de desenvolvimento do ser humano (LOPEZ, 2012).

Sua importância pode ser compreendida a partir do papel que exerce em todas as atividades dos seres humanos. Borges Neto; Carvalho (2012) afirma que duas visões podem ser estabelecidas no sistema energético: uma do ponto de vista de sistema físico, relacionado a física e a engenharia e o outro abrangendo um lado econômico e social, tornando-a um bem que, em combinação com outros serviços,

acabam por interferir na satisfação das necessidades do homem que vive em sociedade.

Uma das primeiras formas de aproveitamento tecnológico de uma fonte primária de energia que o ser humano utilizou foi a energia eólica, com aplicação na moagem de grãos e na navegação, utilizadas desde a antiguidade, antes mesmo da era cristã. Outra fonte utilizada desde os tempos antigos como matriz de energia é a biomassa, sob forma de lenha, sem que houvesse interesse por parte das sociedades na produção sustentável, associando-a a ideia de desmatamento (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Goldemberg; Paletta (2012) pondera que o aumento de consumo exigiu fontes de maior eficiência. Com isso, passou-se a utilizar os combustíveis fósseis em larga escala, fato que segue até os dias de hoje. Porém, a utilização destes cobra um alto valor, visto que a queima do carvão mineral, do petróleo e do gás natural gera impactos ao meio ambiente pelos gases lançados e pela redução das reservas.

A incerteza sobre as reservas globais de energia e sua disponibilidade aumentam as percepções pelo desenvolvimento das fontes de energia limpas e renováveis (BILGEN, 2014). Embora tenham grandes dimensões, as reservas de petróleo, carvão mineral e gás natural diminuem conforme o uso, caracterizando-se como fontes de energia não renováveis. Sendo assim, a certeza de que os recursos são finitos torna irrelevante a determinação de quanto tempo levará para que as mesmas se acabem (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O desenvolvimento econômico tem sido diretamente relacionado ao consumo de energia, sendo esta muito importante para a sobrevivência, influenciando na melhora na qualidade de vida das pessoas, que acaba por resultar no aumento da demanda deste insumo. Atualmente, o consumo energético mundial baseia-se no uso do petróleo e outros combustíveis líquidos, gás natural, carvão mineral, energia nuclear e da hidroeletricidade (BILGEN, 2014).

Não se pode afirmar que exista um caminho ou modelo a ser seguido para atingir o desenvolvimento. Estratégias adotadas por países que tenham atingido esse nível não são passíveis de transposição, devendo o país conhecer suas necessidades e contexto no qual estão inseridos (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Devido ao rápido crescimento da demanda mundial por energia, que ocorre independentemente da fonte trazer os impactos negativos como os combustíveis fósseis trazem, chegou-se a necessidade de produção de energia por meios alternativos, considerando-se na produção meios renováveis para a mesma, visando suprir a demanda (BENITO, 2011). Pode-se citar as políticas empregadas para a redução do uso de combustíveis, em especial do petróleo, largamente utilizado nos transportes, como o uso de aditivos ou a mistura de outros combustíveis, reduzindo-se assim a demanda final do mesmo (BILGEN, 2014).

Sendo assim, o setor energético demanda um planejamento extremamente importante para que se garanta o suprimento energético com um baixo custo, risco de carência, impactos ambientais e socioeconômicos, além de políticas públicas voltadas para esse seguimento. Dentro deste, uma parcela é voltada para o setor da eletricidade, que é essencial para o atual estágio de desenvolvimento da sociedade, oriundo de várias fontes de energia, renováveis ou não (TIEPOLO et al., 2013).

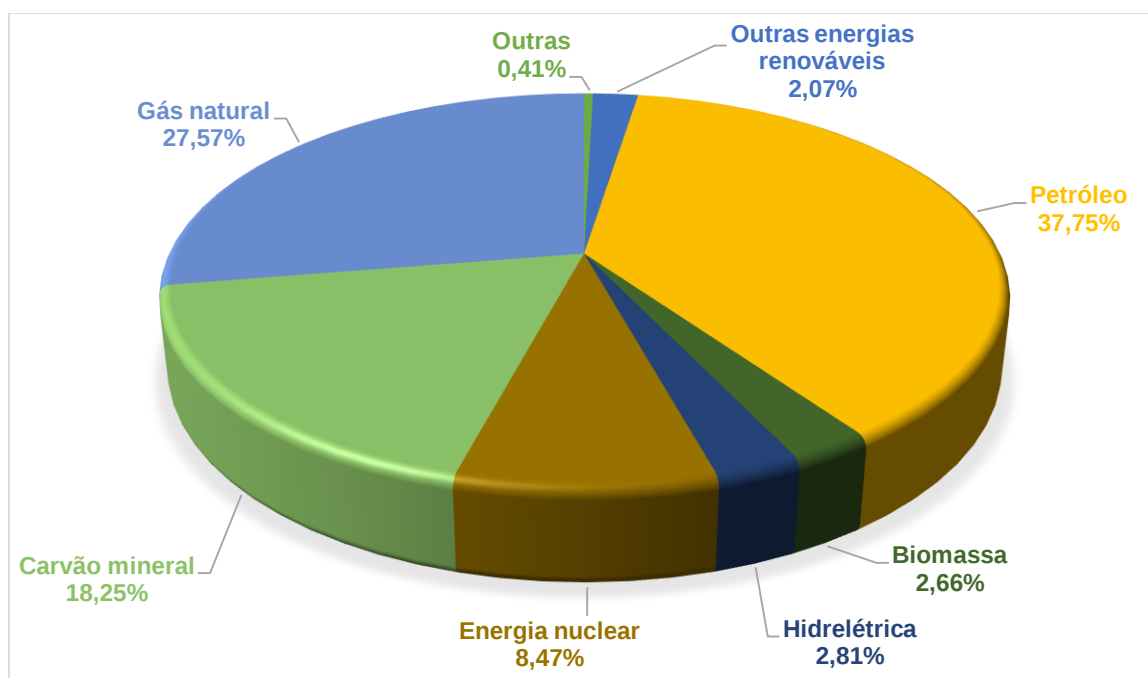
A partir da Eco-92, iniciou-se o incentivo à propagação da conscientização da humanidade com relação as significativas mudanças necessárias. Para que não se perdesse todo o avanço alcançado até o momento, em detrimento dos negativos impactos ambientais produzidos pelas práticas utilizadas, seriam necessárias mudanças para frear o progressivo aumento da concentração dos Gases de Efeito Estufa (GEE). Com isso, tornou-se fundamental a busca e o desenvolvimento de fontes de energia que sejam renováveis, essencialmente pelo fato de não poluírem e de não serem dependentes de fatores geopolíticos (GOLDEMBERG; PALLETA, 2012).

Diante dessa realidade, foram criados os conceitos de energias limpas e renováveis. As fontes de energias renováveis são baseadas no consumo de materiais que não são reconhecidamente limitados, utilizando aqueles que estão em constante renovação, sendo inesgotáveis para padrões humanos de uso. Embora comumente associadas, as fontes de energias limpas são aquelas que não geram prejuízos para o meio ambiente. Porém, a exploração de qualquer fonte de energia provoca alterações no meio ambiente, variando apenas a relevância do mesmo. Pode-se citar, por exemplo, como fonte de energia limpa e não renovável uma usina termonuclear, visto que sua fonte não é renovável porque os minerais radioativos são encontrados

em quantidades limitadas, todavia são limpas porque não emitem carbono para a atmosfera (GAZOLI; VILLALVA, 2012).

O consumo energético mundial primário atualmente é baseado, em grande parte, no uso de combustíveis fósseis, totalizando 83,57% da fonte de energia utilizada nos tempos atuais. Destes, 37,75% correspondem ao uso do petróleo, 27,57% do gás natural e 18,25% do carvão mineral. As fontes não oriundas dos combustíveis fósseis representam 16,43% da matriz, diluídos em energias renováveis, energia nuclear, hidráulica e outras, como representa a figura 1, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA).

Figura 1 – Consumo energético primário



Fonte: adaptado pelo autor com base em IEA (2012).

Vale ressaltar que há uma grande diferença entre a energia gerada e a consumida. Esse fato se dá pelas perdas entre a geração e o ponto final de consumo. Um exemplo disso é a eletricidade gerada na Europa, cuja demanda por energia primária é três vezes maior do que a energia entregue (BILGEN, 2014).

A demanda energética brasileira cresceu de acordo com o grande desenvolvimento econômico que o país experimentou ao longo do século XX. Fatores

como a industrialização e a urbanização fizeram a demanda de aproximadamente 70 milhões de tep, quando da população na casa dos 93 milhões de habitantes, saltar para 190 milhões de tep quando a mesma ultrapassou 170 milhões de habitantes (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Nas últimas 4 décadas, o consumo final de energia no Brasil teve crescimento no fornecimento de energia de 3% ao ano, com significativas alterações estruturais, segundo Bronzatti; Iarozinski Neto (apud Ministério de Minas e Energia, PNE 2030). A Tabela 1 traz as variações entre matriz energética e usos.

Tabela 1 – Evolução do Consumo Final de Energia no Brasil (em milhares de tep)

<i>Fonte</i>	<i>1970</i>	<i>1980</i>	<i>1990</i>	<i>2005</i>	<i>Δ% ao ano 1970-2005</i>
Derivados do petróleo	21.040	44.770	44.944	66.875	3,4
Eletricidade	3.231	10.189	18.123	31.103	6,7
Produtos da cana	3.158	6.221	10.414	20.046	5,4
Lenha	28.345	21.862	15.636	16.119	-2,9
Gás natural	3	329	1.385	9.411	14,5
Outros	3.306	9.506	15.038	21.490	5,5
Total	59.083	92.868	105.540	165.044	3

Fonte: adaptado pelo autor com base em Matriz Energética Nacional 2030 (MME).

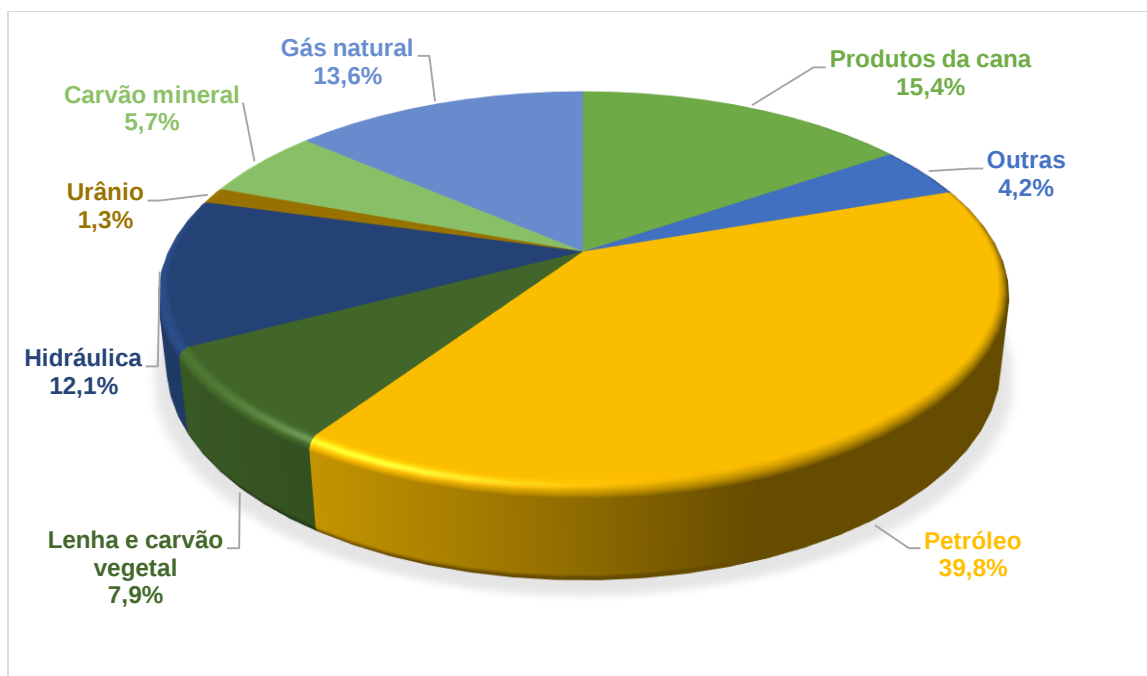
Os produtos da cana incluem o etanol, sendo que a variação negativa registrada no período da lenha foi decorrente dos anos 1970-1990. O crescimento do gás natural se deu com base no período 1980-2005 e os outros, referidos na Tabela 1, incluem o carvão mineral, com 6% do consumo final em 2005.

O boletim do mês de julho de 2014, do Ministério de Minas e Energia indica um crescimento na demanda anual entre 2,5 e 3,5%, com participação das renováveis permanecendo na casa dos 40%, sendo este abaixo dos valores de 2013.

Através da figura 2, fica possível observar que os combustíveis fósseis ocupam menor espaço na matriz brasileira (59,1%) quando comparado ao âmbito mundial. Esse fato está ligado a grande participação da energia hidráulica (12,1%) e o uso de

outras fontes (4,2%), além dos produtos da cana, que tem expressiva participação com 15,4% do total.

Figura 2 – Oferta interna de energia do ano de 2014



Fonte: adaptado pelo autor com base no Boletim Mensal de Energia de Julho de 2014 do Ministério de Minas e Energia.

Para sustentar essa nova demanda de energia, existe um enorme potencial através das energias renováveis, como a solar e a eólica. Esse potencial da energia solar depende de avanços e investimentos tecnológicos, sendo de ampla aplicação em território brasileiro (BRONZATTI; IAROZINSKI NETO, 2008). Seu estudo é importante pela escassez de energias convencionais, exploradas ao longo do último século, que levariam a humanidade a um ponto onde se esgotariam os ditos recursos (CRUZ-ARDILA et al, 2013).

3.2 Energias renováveis

As energias renováveis são aquelas que podem ser usadas continuamente e por longos períodos de tempo, visto que não se acabam por estarem em constante renovação. Alguns exemplos desta são a hidrelétrica, energia eólica, oceânica, solar fototérmica, energia geotérmica e energia solar fotovoltaica. Em linhas gerais, são as que não se apoiam no consumo de recursos que são reconhecidamente limitados e cujo uso não resulta no seu esgotamento (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Além da constante disponibilidade, não geram os problemas de poluição, exaustão de reservas e fatores geopolíticos enfrentados pelas fontes não renováveis. Vem crescendo, no seu conjunto, sendo que se desenvolve mais rapidamente do que o aumento no consumo de energias fósseis, caracterizando-se como a energia do futuro (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012). Outro fator a ser considerado é a importância que tem exercido para os humanos desde o início das civilizações (BILGEN, 2014).

Mesmo que apresente impactos negativos, as fontes renováveis são relativamente limpas e seguras quando comparadas às não renováveis. Nessa linha está o fato de não emitirem os gases do efeito estufa (GEE), apontados como os causadores do aquecimento global e pelas diversas mudanças climáticas observadas em todo globo terrestre (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Benito (2011) afirma que as energias renováveis são sim uma alternativa, devendo-se atentar para que não se crie uma expectativa utópica. Elas podem e devem atender a uma parcela do consumo, com redução dos índices de contaminação, porém ainda são incapazes de atender aos elevados índices de consumo exigido pelas sociedades modernas.

Para Borges Neto; Carvalho (2012), as fontes renováveis de energia podem ter um importante papel na substituição dos combustíveis fósseis, como de fato ocorre nos países em desenvolvimento, onde geradores eólicos auxiliam no crescimento de sistemas energéticos com baixas emissões de carbono.

Com a eminente exaustão das reservas de combustíveis fósseis e os danos que causam ao meio ambiente devido a emissão de poluentes, ficou evidente que não

poderiam continuar sendo as principais fontes de energia utilizadas pelo homem. Eis que surge a discussão pelo desenvolvimento das energias renováveis, principalmente por não poluírem e não dependerem de fatores geopolíticos. Metas previstas pelo Protocolo de Quioto, que por sua vez busca a redução das emissões globais de GEE, combatendo principalmente o uso de combustíveis fósseis, acabam por colocar as energias renováveis em situação favorável de uso e desenvolvimento (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

O emprego das energias renováveis pelo ser humano é bastante antigo, sendo que os primeiros usos tem relação com o transporte, por meio da navegação à vela, além dos moinhos d'água e de vento, caracterizando-se como as primeiras bases de geração hídrica (CRUZ-ARDILA et al., 2013). Existem, atualmente, muitas formas de se obter energias através de fontes renováveis. Abaixo são feitas explanações sobre as energias renováveis existentes e de maior utilização:

➤ Hidrelétrica: baseia-se no represamento da água de um rio nas usinas hidrelétricas ou nas pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), gerando energia potencial gravitacional. A partir disso, a água armazenada transforma-se em energia cinética durante o escoamento pelos condutos e movimenta as pás de uma turbina ligada a um gerador elétrico, resultando na energia elétrica. Ligado a um transformador elétrico, faz a distribuição da eletricidade para a rede elétrica por meio das linhas de transmissão. É considerada energia renovável devido ao ciclo de evaporação e das chuvas, tornando-a fonte inesgotável de eletricidade (VILLALVA; GAZOLI, 2012). O uso de recursos hídricos para a geração de energia elétrica é uma característica que poucos países apresentam devido a disponibilidade dos mananciais, extensão territorial e condições geográficas. Neste cenário e como destaque aparece o Brasil, segundo maior produtor de energia elétrica nesta modalidade, devido à grande disponibilidade de recursos hídricos e políticas adotadas pelos governantes (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

➤ Energia eólica: a energia do vento é utilizada pelos homens há muitos séculos nos transportes e acionamento de mecanismos. Pode ser empregada também, através de turbinas acopladas a geradores elétricos, produzindo energia elétrica, sendo essas turbinas do tipo eixo horizontal ou de eixo vertical. Os grandes parques eólicos fazem uso das turbinas de eixo horizontal, dotadas de sistemas automatizados para o ajuste da orientação das pás de acordo com a direção dos ventos. Já as de

eixo vertical são empregadas para suprir necessidades locais de energia elétrica, instalando-se em residências ou em topos de morro. Essa fonte de energia vem sendo explorada pelo Brasil, com sucesso, desde 2004, com expansão nas regiões nordeste e sul, que apresentam bons regimes de ventos (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

➤ Energia oceânica: fonte de energia oriunda das ondas, marés, correntes, gradientes de salinidade, térmico e aproveitamento da biomassa marinha na aplicação de biocombustíveis, caracterizando-se como fonte limpa e renovável. Por possuir, em média, densidade 835 vezes maior do que o ar, a água do mar tem maior concentração de energia, tornando-se uma fonte que vem recebendo atenção e interesse da comunidade científica e de políticas governamentais devido, principalmente, a esta alta densidade energética, a ampla distribuição mundial dos oceanos e extensas áreas. Os mecanismos de transformação variam dentro de 3 princípios de funcionamento, que são a coluna de água oscilante (OWC), corpo oscilante (OB), e reservatório terminal, onde se enquadram a energia das marés, energia de correntes oceânicas e correntes de marés, conversão de energia térmica do oceano (OTEC) e geração osmótica. Além destes, a energia eólica no mar vem ganhando espaço nas energias associadas aos oceanos. Devido a extensa linha de costa e mar territorial, o Brasil tem um potencial energético estimado na ordem da potência de geração de energia elétrica instalada atualmente (SANTOS, 2013).

➤ Energia solar fototérmica: é uma maneira de se produzir energia elétrica e energia térmica através do aquecimento de fluidos. A notória diferença entre esta e a energia solar fotovoltaica é que a primeira faz uso de dispositivos reflexivos, como espelhos, para concentração de grande quantidade de radiação solar sobre pequena área. Com isso, aquece o líquido de trabalho e passa a ser passível de utilização para movimentação de turbinas convencionais na produção de eletricidade. Apresenta grande vantagem no fato da tecnologia ser disposta de maneira similar à usada nas usinas térmicas convencionais, alterando a matriz energética do combustível fóssil para a energia solar concentrada. Com processos significativos, a energia passou a ser competitiva economicamente, de modo que muitas plantas piloto foram instaladas na década de 1980, comprovando o sucesso da tecnologia. Já a energia térmica, utilizada como aquecedor de água para utilização humana, faz uso de coletores concentradores ou planos para aquecimento, além do reservatório de água quente para armazenamento da mesma, durante o intervalo de tempo entre o aquecimento e

o uso, aplicado, muito pela redução no consumo de energia elétrica, em residências, hotéis, hospitais (LOPEZ, 2012).

➤ Energia geotérmica: baseada no calor do interior da Terra, de maneira que utiliza tubulações que vão até o mesmo para realizar o aquecimento de fluidos. Estes passam por centrais geradoras e, em turbinas a vapor, acionam geradores elétricos, resultando em energia elétrica. Sua aplicação é viável em algumas regiões do planeta, como vulcânicas e aquelas com a presença de gêisers, devido ao fato da Terra ter temperatura elevada a profundidades da ordem de centenas de metros (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

➤ Energia da biomassa: pode ser definida por meio de inúmeros conceitos, porém todos se referem ao uso de todo recurso renovável oriundo da matéria orgânica que possa ser utilizado para produção de energia (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012). O emprego da biomassa pode ocorrer na forma de sólido, líquido ou gasoso, através da queima direta, resultando no aproveitamento do calor gerado pela combustão, carbonização, com a transformação, por exemplo, da lenha no carvão vegetal a partir da pirólise, gaseificação, transformando o combustível sólido em gás e pela hidrólise, que transforma a celulose em açúcar e, após fermentação, modifica-se em etanol (SANTOS, 2013). É variável quanto ao conceito de renovável, uma vez que a queima de combustíveis fósseis acaba por não caracterizá-la como renovável, enquanto a queima de compostos orgânicos, passíveis de reposição por meio de plantio (como vegetais), acabam por não se esgotar, tornando-a fonte de energia limpa e renovável. Limpa porquê o carbono emitido durante a queima é capturado pelas plantas na realização da fotossíntese e renovável pelo replantio dos materiais utilizados como fonte, incluindo a madeira, dejetos agrícolas, cana-de-açúcar, milho e demais materiais vegetais que possam fornecer energia a partir da queima ou da produção de biocombustíveis (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

➤ Energia solar fotovoltaica: através da conversão direta da energia solar em energia elétrica, por meio do efeito fotovoltaico, a energia solar fotovoltaica faz uso de células / painéis constituídos de materiais semicondutores para criar uma diferença de potencial elétrico. A partir desta, começa a ocorrer o fluxo de elétrons de uma extremidade do painel para outra, gerando a corrente elétrica, que é coletada e processada por dispositivos resultando em energia própria para consumo direto, armazenamento ou fornecimento à rede elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012). O

capítulo 3.4.1 abordará de maneira mais aprofundada os princípios e utilizações da energia solar fotovoltaica.

Entretanto, deve-se atentar que a produção de energia pelo uso de fontes renováveis é variável de acordo com a intermitência da incidência dos ventos e/ou radiação solar, fazendo-se necessário também que sistemas secundários ou de armazenamento sejam utilizados. Com isso, a economia gerada e qualidade da energia produzida podem tornar o custo específico do kWh relativamente alto quando comparado aos tradicionais métodos, baixando sua atratividade (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

A energia da biomassa tem grande emprego nas zonas rurais, sendo utilizada para aquecimento de ambientes e cocção de alimentos. Nos países mais pobres, esta fonte é responsável por 70 a 90% da oferta total de energia primária (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

O uso de fontes renováveis de energia colabora para a geração de eletricidade, substituindo os combustíveis fósseis de maneira limpa e segura. O conceito de energia alternativa não é exclusivo das fontes renováveis, mesmo que a maior parte dos sistemas alternativos empregue estas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Além disso, Villalva; Gazoli (2012) ainda cita que o uso de fontes alternativas estimula o desenvolvimento tecnológico, trazendo também benefícios econômicos indiretos a partir da difusão do uso, com a geração de empregos para a fabricação de componentes, estímulos para a investigação científica, além de segmentar a produção de energia, levando oportunidades para diversas localidades.

Ayres; Ayres (2012), por sua vez, alega que o mundo industrial é tão dependente dos combustíveis fósseis que nem um absurdo crescimento das energias renováveis seria capaz de torná-las responsáveis pelo sustento da demanda energética.

Apesar de ainda tímida, a pequena participação na matriz energética mundial vem dando lugar ao crescimento das energias renováveis em todo o planeta, sendo em alguns países consideradas maduras e tendo espaço cultivado nas políticas públicas e investimentos privados (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Ainda pondera que, enquanto em muitos países as metas de utilização não se alteram, na Alemanha as

fontes renováveis têm 20% de participação no suprimento da geração de eletricidade. Mesmo que ainda sejam tímidas e de pouca participação, seu uso vem crescendo em todo planeta. Suprindo parte da demanda em alguns locais, já ocupam espaço nas políticas públicas e nos investimentos privados, podendo os custos equipararem-se a outras fontes de energia em determinados locais.

Fatores determinantes para a escolha, a eficiência, o investimento inicial, a viabilidade técnica e o custo de geração do combustível por MWh são representados na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Comparação de custos entre as matrizes energéticas

<i>Tecnologia</i>	<i>Viabilidade técnica</i>	<i>Investimento (US\$/kW)</i>	<i>Custo de geração (US\$/MWh)</i>	<i>Eficiência (%)</i>
PCHs	Alta	1.000 a 3.000	35 a 102	60 a 85
Eólica	Alta	700 a 1.200	50 a 120	25 a 45
Biomassa	Alta	500 a 2.500	38 a 78	25 a 35
Solar Fotovoltaica	Alta	4.000 a 9.000	250 a 500	10 a 18

Fonte: Lopez (2012).

A Tabela 2 acima traz a comparação de custos entre as energias renováveis, incluídos os gastos com rede de distribuição, sendo importante ressaltar que a Biomassa tem, a exceção das outras, custo com combustível, que fica entre US\$ 20 e 100 por MWh, o que pode torna-la significativamente mais cara do que parece ser (LOPEZ, 2012).

O Brasil, por sua vez, tem no uso de energias renováveis grande parte do apoio de sua matriz energética. Nela, há grande destaque para as fontes alternativas de energia, visto que ocupam 45,5% da mesma, enquanto a média mundial é de 12,9% (BORGES NETO; CARVALHO, 2012). Essa realidade é bastante diferente da mundial, uma vez que a mesma se baseia predominantemente no uso de combustíveis fósseis (80%), tendo aproximadamente 7% de participação com energia nuclear e somente 13% em energias renováveis (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Pelo fato de aplicar largamente o uso de hidrelétricas, o Brasil não tem acelerado na busca e no desenvolvimento das fontes renováveis como no restante do mundo. Entretanto, para apresentar um crescimento econômico necessita de mais energia do que os 105 GW de capacidade instalados até o ano de 2009, que corresponde a 10% da geração de outros países. Embora o potencial de produção hidrelétrica seja de 252 GW, o que não permite que se atinja um patamar de geração de EUA, China e Europa. Com isso, torna-se necessário que se busque novos meios de geração (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Os padrões de consumo de energia elétrica são diferentes, estando diretamente ligados à realidade do país. Segundo Villalva; Gazoli (2012), uma residência comum em um país desenvolvido gasta cerca de dez vezes mais energia do que uma em um país em desenvolvimento, como o Brasil.

A relação entre renda e consumo também expressam um abismo entre o consumo de diferentes regiões do mundo. Enquanto países da Europa Ocidental e EUA consomem 4 e 8 toneladas equivalentes de petróleo (TEP), respectivamente, alguns países da África e da Ásia chegam a consumir 0,2 TEP. Essa grande disparidade de consumo pode ser representada pelo uso da lenha, algo que praticamente não existe mais em países desenvolvidos e, nos em desenvolvimento, tem ampla utilização (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

A Tabela 3 traz os índices de consumo de energia, bem como a emissão de CO₂ por habitante para alguns países. Nela, é possível observar a grande diferença de consumo dentre os citados, bem como grande diferença nos níveis de emissão de CO₂.

Tabela 3 – Indicadores energéticos e emissões de CO₂ mundiais, 2009

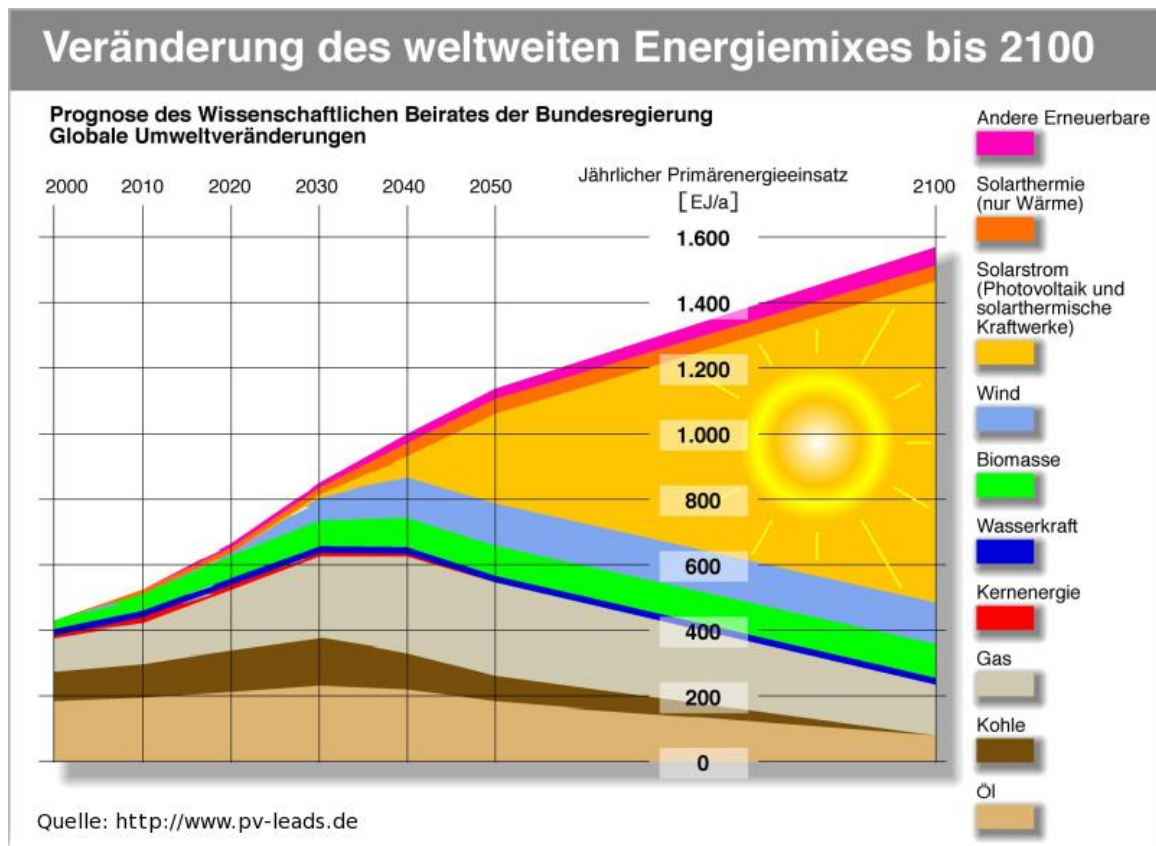
<i>País</i>	<i>Produção (Mtep)</i>	<i>Importação (Mtep)</i>	<i>Consumo (tep/hab)</i>	<i>Eletricidade (kWh/hab)</i>	<i>Emissão (tCO₂/hab)</i>
EUA	1.686,40	559,01	7,03	12.884,00	16,9
Japão	93,79	384,46	3,71	7.788,00	8,38
Alemanha	127,09	202,94	3,89	6.781,00	9,16
Chile	9,3	20,46	1,70	3.228,00	3,84
China	2.085,00	305,00	1,70	2.648,00	5,14
Brasil	230,15	15,65	1,24	2.201,00	1,74
Índia	502,47	181,97	0,58	597,00	2,35
Etiópia	30,37	2,30	0,39	45,00	0,09

Fonte: Borges Neto; Carvalho, (2012).

Lopez (2012) revela um cenário interessante para as energias renováveis, indicando que o aumento na demanda mundial por energia nos próximos 50 anos será suprido pelas energias solar e eólica, com valores superiores a 30%, chegando a 33% em muitas regiões, sem a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento.

Na mesma linha, Villalva; Gazoli (2012) prevê que a participação das fontes renováveis de energia no mundo terá no topo, a partir de 2030, larga participação da energia solar térmica e da fotovoltaica, além de outras fontes renováveis, com o gradual desaparecimento dos combustíveis fósseis, como mostra a figura 3 abaixo.

Figura 3 – Estimativa da produção de energia no mundo até o ano de 2100



Fonte: Gerlicher Solar (2014).

Nela, tem-se a energia solar fotovoltaica com grande participação na produção de energia, sendo dominante a partir de 2050. Também explicita o crescimento de outras fontes renováveis, sendo que fontes como a eólica, da biomassa e hidráulica crescem até 2040, reduzindo suas participações a partir daí. Outro ponto positivo é o desaparecimento das fontes nucleares, de aplicação restrita nos dias de hoje (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Percebe-se também que os combustíveis fósseis (gás natural, carvão e petróleo) têm quedas e acabam por representar pequenas participações.

3.3 Energia elétrica

A energia elétrica caracteriza-se como a forma de energia existente que maior flexibilidade possui. Permite sua transmissão por longas distâncias entre o ponto de geração e o de consumo, podendo ser convertida em luz, calor, informação e movimento. O ser humano depende da energia elétrica para praticamente todas as atividades que desempenha em casa, no trabalho, lazer e em todos os locais, sendo que a vida moderna apoia-se cada vez mais em energia elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

No final do século XIX a atividade econômica no Brasil era significativamente agrária, resultando em uma participação inexpressiva da energia elétrica. Mais tarde, com o início da industrialização, concentração da população nos centros urbanos e com o surgimento da classe média, seu uso teve um grande impulso. Com isso, a partir do ano de 1920 uma quantidade de usinas hidrelétricas instaladas no país, sendo estas administradas por concessões municipais e próximas das regiões de maior demanda, começou a entrar em operação. Devido ao constante aumento na produção e a pressão pela baixa nos custos, processos de fusão entre as operadoras começaram a ocorrer até que, em 1984, o golpe militar passou a organizar estruturas de investimento com os recursos das próprias empresas, de investidores externos e do próprio governo. Isso deu forças e impulsionou o crescimento da Eletrobrás, que priorizou a fonte hidroelétrica e edificou grandes usinas geradoras para todo o país (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Posterior a esse acontecimento, Borges Neto; Carvalho (2012) afirma que ocorreu a criação de órgãos regulamentadores como a ANEEL, embora o poder estivesse com as concessionárias de energia. Com a ocorrência do apagão no início dos anos 2000, o MME voltou ao comando para formular estratégias de abastecimento e projeções de consumo, evitando novas situações caóticas.

A eletricidade é atribuída como um insumo de fundamental importância no desenvolvimento econômico e social. Segundo Lopez (2012), o aporte financeiro trazido pela produção, transmissão e distribuição de energia elétrica, no mundo, é estimado em um trilhão de dólares. Mesmo assim, aproximadamente 30% da população mundial não tem nenhum acesso à eletricidade.

Mesmo que não seja o único vetor para o desenvolvimento, a disponibilidade de eletricidade caracteriza-se como um dos principais itens para que ocorra o avanço socioeconômico de uma região. Porém, há um grande desafio para garantir o acesso à energia elétrica pela população tanto para países em desenvolvimento quanto para países desenvolvidos. Fatores como altos custos de instalação para baixas densidades de consumo acabam por gerar gastos com baixa atratividade financeira, fazendo com que o governo se encarregue da mesma (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

A eletricidade é a forma de energia entregue que maior crescimento teve, a nível mundial. Estima-se que a geração líquida desta aumentará de 20,2 trilhões de kWh em 2010 para 39 trilhões de kWh em 2040, concretizando um crescimento total de 93%, com uma média de 2,2% por ano (BILGEN, 2014).

De acordo com Borges Neto; Carvalho (2012), para atender a essa enorme demanda, a diversificação da matriz elétrica de um país é uma necessidade estratégica. Essa diversificação favorece a não dependência de uma única fonte primária, além de promover a geração distribuída, que por sua vez reduz os custos com as linhas de transmissão e outros de um sistema centralizado.

Os sistemas híbridos de energia, que são aqueles que utilizam duas ou mais fontes para gerar energia, são parte dessa diversificação, levando eletricidade às áreas rurais e isoladas trazendo, por consequência, alta confiabilidade no fornecimento. Esta é uma tarefa de suma importância, visto que essa disponibilidade caracteriza-se como vetor fundamental no desenvolvimento mais vigoroso de uma região. Suas primeiras aplicações ocorreram na década de 80, com a combinação de turbinas eólicas e geradores a diesel. Dentre as associações estão, apesar da certa resistência oferecida, a substituição dos tradicionais sistemas à diesel por formas com base nas fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Com relação à geração de eletricidade, o uso de energias renováveis para produção desta fica destacado pelos índices alcançados, como por exemplo no ano de 2012, onde a divisão se deu com hidrelétricas (76,9%), gás natural (7,9%), biomassa (6,8%), derivados do carvão (3,3%), nuclear (2,7%) e energia eólica (0,9%). Isso mostra que a geração distribuída com fontes renováveis pode ser uma alternativa

para o fortalecimento do sistema energético brasileiro (AKWA et al. 2013). Em esferas mundiais, a transformação em eletricidade a partir das fontes renováveis foi de 4.174 bilhões de kWh, prevendo-se um crescimento médio anual de 2,8%, para que se atinja 9.601 bilhões de kWh em 2040 (BILGEN, 2014).

No Brasil, a expansão prevista para o Sistema Interligado Nacional (SIN) é de 71.087 MW no decênio 2013-2023, o que significa um incremento de 57%, mantendo o perfil fortemente renovável da matriz brasileira, tendo como base as fontes hidrelétrica, eólica, solar e biomassa (MME, 2014).

3.4 Energia solar

A energia solar está relacionada a todas as interações e conversões que o Sol realiza ao interagir com os alvos na Terra. Com poucas exceções, praticamente toda energia utilizada pelo ser humano tem origem no Sol, caracterizando-o como a principal fonte de energia do nosso planeta (VILLALVA; GAZOLI, 2012). É a fonte de energia menos finita e poluente conhecida até o momento, sendo a radiação solar que incide sobre a Terra a cada 3 dias proporcional a toda energia armazenada nas reservas de combustíveis fósseis. Quando no âmbito diário, é equivalente a toda energia consumida no mundo por 27 anos (LOPEZ, 2012).

A biomassa é produzida a partir do Sol, uma vez que a fotossíntese realiza a conversão da energia solar captada em energia química. Afirma-se, também, que a água dos rios, utilizada para mover as turbinas das hidrelétricas, tem relação com os fenômenos ligados ao Sol, como a evaporação, chuvas e degelo, da mesma forma que participa da energia eólica, visto que os ventos são ocasionados pelas diferenças de temperatura e pressão na atmosfera devidas ao aquecimento produzido pelo Sol. Até os combustíveis fósseis são oriundos da energia do Sol, visto que são resultado da decomposição da matéria orgânica de milhões de anos atrás (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Para Lopez (2012, p. 21) “Apenas a energia de reações nucleares nos átomos de certos elementos químicos não tem origem no Sol”.

Os meios técnicos para aplicação da energia solar são mais antigos do que se pode supor. Há muitos anos, foram colocados à disposição, por parte da indústria,

conversores diretos da energia do sol em eletricidade. Porém, é no atual e contaminado ambiente que se desperta para a necessidade de seu uso, para preservar o meio ambiente e aproveitar a radiação que chega a cada dia (BENITO, 2011).

A transmissão da energia do Sol até a Terra, por meio do espaço, se dá pela radiação eletromagnética, com ondas de diferentes comprimentos e frequências. Essa radiação é resultado dos raios que, em um primeiro momento, chegam à Terra em linha reta mas, ao cruzarem a atmosfera, uma parcela deles sofre difusão e a outra segue seu percurso resultando, respectivamente, na radiação difusa e na radiação direta. O calor é a transformação da energia eletromagnética em energia térmica pelos materiais que recebem sua radiação, que também pode ser transformada em energia cinética, dependendo do corpo que incide (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Alguns fenômenos e grandezas da energia solar ainda são destacados por Villalva; Gazoli (2012), dados estes importantes para determinação do aproveitamento do Sol na geração de energia. Dentre esses, deve-se esclarecer que a irradiância é utilizada para quantificar a potência da radiação solar, geralmente expressa em W/m^2 (watt por metro quadrado), caracterizando-se como uma unidade de potência por área. Uma curva padrão que a represente terá formato senoidal, com pico no meio-dia. O ângulo azimutal, por sua vez, é o ângulo de orientação entre os raios solares e o norte geográfico. O meio-dia solar ocorre quando o ângulo azimutal é zero, ou seja, quando o hemisfério sul incide com o norte polar da Terra, assim como reciprocamente ocorre para o hemisfério norte. Entretanto, o meio-dia solar não terá que coincidir com o meio-dia horário, visto que o solar marca a metade do trajeto que o sol faz do instante que nasce até o que se põe.

Existem maneiras de utilização da energia solar. Ao passar pela atmosfera, a maior parte da energia solar manifesta-se na forma de luz visível de raios violeta e infravermelho, sendo passíveis de captação e aproveitamento para energia elétrica e térmica. No caso de aplicações em superfícies escuras, a transformação gerará calor e, se incidirem em células fotovoltaicas, resultarão em eletricidade (LOPEZ, 2012).

Para Lopez (2012), atualmente os sistemas tecnológicos que mais utilizam a energia solar são os de aquecimento de água passivo e fornecimento de energia elétrica para sistemas isolados. Sua aplicação caracteriza-se como excelente fonte de

eletricidade para sistemas de telecomunicação, iluminação, eletrodomésticos, eletrônicos e telefones.

Para o aproveitamento da energia do Sol, é necessário saber qual é a radiação local incidente, visto que esta possibilita determinar quanto de energia se pode obter em determinado local. Segundo Borges Neto; Carvalho (2012), o equipamento utilizado para aferição da radiação global ou difusa é o piranômetro, que realiza o levantamento da radiação difusa através da medição de componentes situados na sombra, sendo vantajoso por permitir leituras em um intervalo de tempo muito amplo, variando desde escalas em minutos até as diárias. Além deste existem o heliógrafo, usado para determinação da duração da insolação, o piranógrafo ou actinógrafo, destinados para medir a radiação solar global ou difusa com baixo custo e o piroeliômetro, demandado para situações de determinação da radiação direta.

Borges Neto; Carvalho (2012) ainda afirma que, como as condições climáticas alteram o valor da irradiação solar, adotou-se uma constante de 1.353 W/m^2 , variando 1,5% para mais ou para menos, feita em função da variação da distância Terra-Sol. Complementar a isso, o conceito de massa de ar (AM) foi criado com a função de ser um referencial de comparação para avaliar o desempenho dos módulos que utilizam a energia solar, sendo AM 1 a situação onde o Sol está perpendicular à superfície terrestre e a AM 0 a radiação solar no topo da atmosfera. Para o Brasil é utilizada a AM 1,5, com valores de irradiância de 1000 W/m^2 .

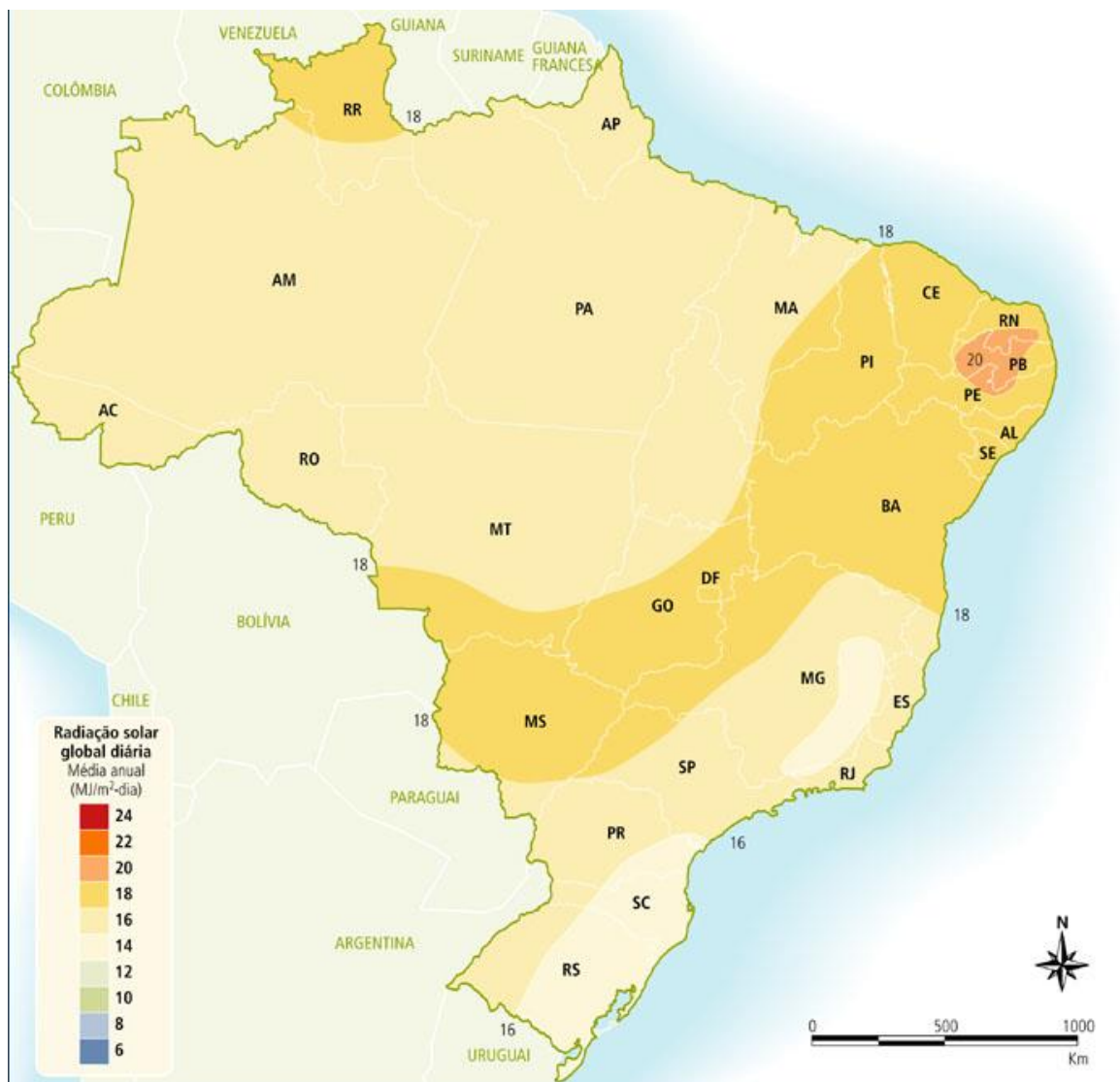
Essa quantidade se equivale, em termos energéticos, a quase um barril de petróleo (BENITO, 2011). A partir desta determinação e da influência de partículas de poeira e água, por absorverem energia, pode-se determinar a insolação equivalente do local. Para regiões com 5 horas diárias solares os valores podem chegar a 5000 W/m^2 (LOPEZ, 2012).

Alguns autores recomendam o acompanhamento da radiação solar por, pelo menos, 11 anos, que equivale a um ciclo solar principal. Além desta, a velocidade e direção dos ventos, temperatura, índices pluviométricos e umidade relativa do ar também devem ser acompanhadas. Mesmo assim, a aquisição de informações sobre o potencial solar ainda pode ser considerada insuficiente. Devido à falta de um número significativo de estações, o sensoriamento remoto vem sendo utilizado, por intermédio de satélites geoestacionários, para levantamento dos dados. Outra causa ligada as

limitações de aquisição de dados é o alto custo envolvido para a aquisição de sistemas (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Com isso, mapas com a radiação global diária são feitos para determinação da radiação local. Um exemplo é a figura 4, que apresenta a média anual em MJ/m² dia no Brasil.

Figura 4 – média anual da radiação solar global diária



Fonte: ANEEL (apud Atlas de Irradiação Solar no Brasil, 1998).

Além dos mapas, calculadoras solares são encontradas na internet para a mesma finalidade. Porém, para a aplicação de sistemas o mais indicado é o

levantamento e acompanhamento feitos a partir do uso de equipamentos vistos na presente seção, uma vez que a precisão deles é maior (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Fato alertado por Villalva; Gazoli (2012) é a intermitência desta fonte de energia, visto que sua disponibilidade é inconstante, de maneira que a energia produzida pode variar muito ao longo das horas, dias, semanas e meses. Com isso, complementa alegando que este tipo de fonte funciona bem quando em complementação a outras fontes regulares, como a energia hidrelétrica, por exemplo.

3.4.1 Energia solar fototérmica

Embora seja claro que o objetivo deste estudo é abordar sobre a geração de energia a partir do sol, a abordagem desta seção, sobre o aquecimento passivo de água a partir da energia solar, é feita com o intuito de distinguir bem as duas fontes e suas finalidades.

De acordo com Lopez (2012), as aplicações solares fototérmicas podem ser em sistemas de concentradores solares, que utilizam superfícies refletivas como espelhos para superaquecer fluidos de trabalho, tornando este o substituto de combustíveis fósseis em termelétricas, aquecimento de ambientes, destilação de água, chaminés solares e conversão da energia térmica dos oceanos. Além dessas aplicações e mais comumente utilizado, aparece o aquecimento de água.

Este tipo de uso da energia solar térmica tem a possibilidade de ser ativo ou passivo, sendo os ativos associados a algum tipo de conversor, como coletores solares, e os passivos relacionados a algum tipo de projeto que aproveite as condições climáticas locais, reduzindo a demanda por energia para condicionamento e iluminação de ambientes (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Os sistemas de aquecimento direto elevam a temperatura da água no interior do coletor, enquanto os sistemas passivos fazem uso de outros fluidos, como o *freon* ou a água destilada, transferindo o calor para a água através de trocadores de calor. Mesmo que o sistema direto seja o mais eficaz, demanda mais manutenção e é afetado pela ação de deposição mineral, tendo a possibilidade de obstruir os dutos,

de maneira que também pode ser danificado por sobreaquecimento ou congelamento se não for dotado de drenos (LOPEZ, 2012).

Composições típicas são formadas pela captação, composta pelo coletor solar, que é conectado ao reservatório; pelo sistema de armazenamento da água aquecida, feito em um reservatório térmico e, a partir daí, pelos pontos de consumo, alimentados pela distribuição dessa água aquecida. Os coletores abertos normalmente são empregados em piscinas, uma vez que apresentam bom rendimento em baixas temperaturas, variando entre 26 e 30°C. Já para aplicações sanitárias são empregados os coletores fechados, que atingem entre 70 e 80°C (SANTOS, 2013).

3.4.2 Energia solar fotovoltaica

Feitas as distinções sobre aquecimento de água a partir da energia solar, a presente seção trata do tema principal do presente trabalho, que é o emprego da energia solar para a geração de eletricidade.

A energia solar fotovoltaica baseia-se no uso de células ou módulos fotovoltaicos, que podem ser definidos como dispositivos semicondutores que produzem corrente elétrica quando expostos à luz, possibilitando o fornecimento de energia elétrica em locais isolados e complementar para sistemas conectados à rede elétrica (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

A conversão direta da energia solar, nas formas de luz e calor, sobre esses materiais caracteriza o efeito fotoelétrico, onde alguns fótons contidos na luz fornecem energia elétrica utilizando células solares, enquanto o efeito fotoelétrico funciona a partir da junção, em condições específicas, de dois metais (LOPEZ, 2012).

Sendo assim, a geração de eletricidade através do efeito fotoelétrico caracteriza-se como um dos principais meios de geração de energia elétrica (AKWA et al., 2013). De acordo com Lopez (2012), o efeito fotoelétrico foi relatado primeiramente por Hertz, em 1887. Segundo Villalva; Gazoli (2012) é aquele que ocorre em materiais metálicos e não metálicos sólidos, líquidos ou gasosos, sendo que o mesmo gera a remoção de elétrons, porém é incapaz de produzir tensão elétrica

sobre o material. Após diversos estudos foi definido por Albert Einstein, resultando este estudo no prêmio Nobel recebido pelo alemão, em 1905.

O efeito fotovoltaico, embora seja comumente associado ao fototérmico, consiste na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica, por meio da criação de um diferencial de potencial elétrico sobre um módulo, constituído de materiais semicondutores intercalados. Na ocorrência da conexão de ambos a dois eletrodos, é gerada uma tensão elétrica e, caso exista um caminho elétrico entre os eletrodos, ocorre uma corrente elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Esse efeito permite que se obtenha energia de forma limpa graças à radiação solar que incide sobre as placas, (BENITO, 2011), sendo a produção de energia variável da radiação solar incidente e das horas diárias de luz solar (LOPEZ, 2012).

Seu desenvolvimento, segundo Lopez (2012), teve início durante a corrida espacial, visto que a mesma era uma forma de produção de energia mais barata do que as demais para esta situação. Com essas aplicações iniciais em circuitos eletrônicos de satélites e de repetidores de rádio e televisão, que se encontram a uma grande distância das redes de distribuição, a indicação para alimentação de sistemas terrestres parece claramente viável de acordo com Benito (2011).

Depois de longo período de esquecimento e de ter sido rotulada como curiosidade científica, apresentou grande desenvolvimento no período entre os anos de 1970 a 1990, iniciando pelo emprego na indústria aeroespacial e seguindo nas aplicações terrestres (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Com a crise energética de 1973 o interesse nas aplicações terrestres teve significativo aumento. Este, porém, foi travado pelos altos custos de geração associados, sendo que para se tornar atrativa necessitaria de uma redução de custo das células usadas nas espaçonaves na ordem de 100 vezes (LOPEZ, 2012).

Inicialmente restrita a pequenos sistemas isolados, a partir de 2012 passou a ser considerada seriamente como alternativa energética para o país a partir da sua inserção na matriz energética nacional, confirmada pela resolução normativa de número 482 da ANEEL. Esta regulamenta e incentiva sistemas de microgeração e de minigeração com a aplicação de fontes renováveis em sistemas conectados à rede elétrica. Pode ser empregada em diversos tipos de composições, como na alimentação de equipamentos elétricos e baterias, sistemas conectados à rede

elétrica e sistemas de abastecimento de ruas, bairros e cidades (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

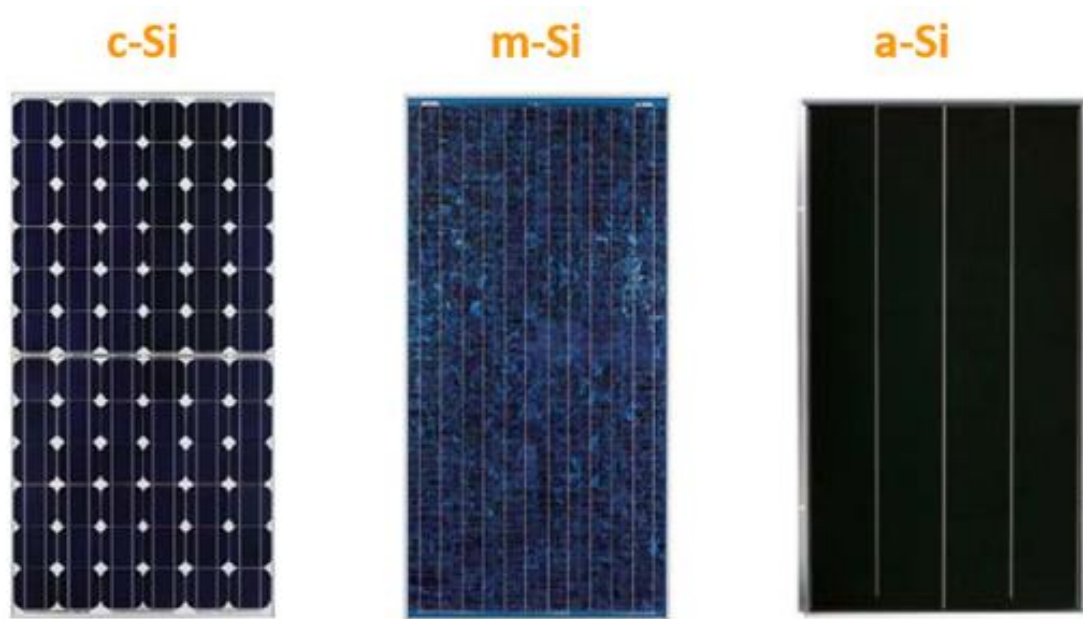
Os sistemas em conexão à rede exigem o uso de circuitos eletrônicos, que tem como função proteger o sistema, força-lo a operar no ponto de máxima potência, converter a corrente contínua em corrente alternada e limitar o carregamento e uso dos dispositivos de armazenamento (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

A seguir são explicados alguns equipamentos utilizados na geração e no tratamento da energia elétrica para que fique com as características exigidas pelos equipamentos e pela rede elétrica.

3.4.2.1 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é um componente que gera energia elétrica quando, sobre sua superfície, incide radiação solar. É constituído por células, fabricadas com materiais semicondutores, e por conectores elétricos. As células podem ser do tipo monocristalina, que tem como característica a coloração azul escura e rendimento energético entre 13 e 18% ou do tipo policristalina, de variadas cores e rendimento inferior, na casa dos 11 aos 14%. Ambas são envolvidas por uma capsula de vidro e uma borda metálica (BENITO, 2011). A figura 5 representa as células de silício cristalino, silício monocristalino e de silício amorfo.

Figura 5 – Células solares de silício cristalino, monocristalino e amorfo



Fonte: adaptado pelo autor com base em Mundo Solar (2014).

Segundo Lopez (2012), cerca de 95% das células são fabricadas utilizando o silício cristalino, tendo rendimento entre 13% e 17%. Mesmo que alguns parâmetros não se apresentem como os melhores, tem técnica difundida na indústria eletrônica.

Além desta, Lopez (2012) afirma que existem as células de película fina, constituídas da sobreposição de filmes de materiais fotossensíveis sobre suportes de custo acessível, como plástico, vidro ou aço inoxidável, tendo menor custo quando comparada com as fabricadas a partir do telureto de cádmio (CdTe), silício amorfo (Si-a) ou disseleneto de cobre índio (CIS, CIGS). As de silício amorfo foram as primeiras a serem fabricadas, tendo difusão pelo uso em calculadoras. Apresentam baixa eficiência, entre 5 e 8%, mas utilizam menos silício por watt produzido. Abaixo traz-se maior número de informações sobre estas, além das demais existentes:

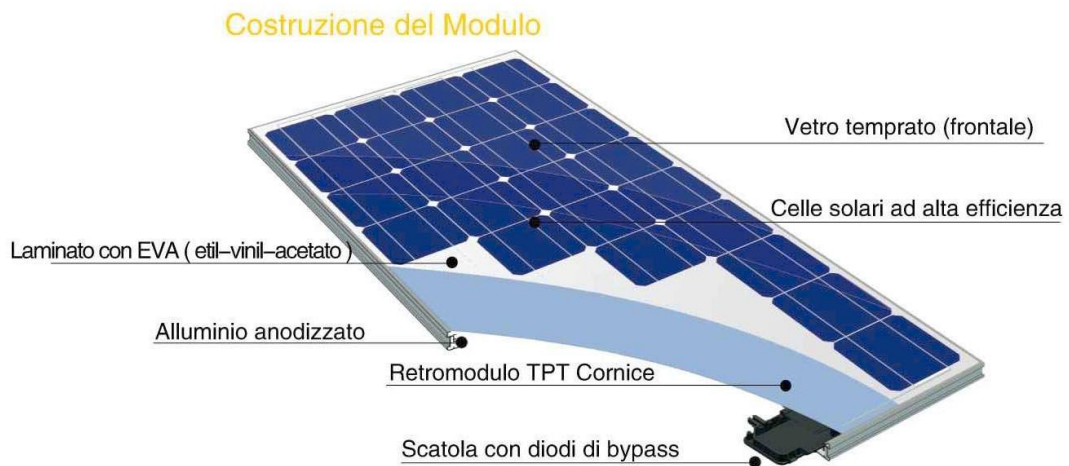
- Células de silício policristalino: apresentam aparência heterogênea, normalmente na cor azul, podendo refletir de acordo com o antirreflexivo empregado, sendo rígidas e quebradiças;
- Células de filme fino: tem tecnologia mais recente, consumindo menos energia no processo de fabricação, além da baixa complexidade. Resulta no melhor aproveitamento da luz solar com baixos níveis de radiação ou radiação difusa, porém tem baixa eficiência, necessitando de maior área de instalação;

- Células híbridas: são resultado da combinação da tradicional célula cristalina com a de filme fino, que recebe uma camada fina de impurezas, denominada camada intrínseca;
- Células de telureto de cádmio (CdTe) e cobre índio gálio selênio (CIGS): são as que apresentam maior eficiência dentro da família dos filmes finos, porém ainda não chegaram a um nível de produção em larga escala, devido a toxicidade do cádmio e pelo fato do telúrio ser raro, resultando em alto custo e pouca aceitação comercial;
- Células de silício microcristalino: tidas como promissora alternativa para o futuro, apresentam as vantagens do silício cristalino e do filme fino, no que diz respeito a tecnologia de fabricação e menor utilização de energia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O autor relata que a eficiência das placas é medida de acordo com as condições estabelecidas pela AM 1,5, que estipula ensaios a 25°C com irradiância de 1000 W/m². Afirma ainda que os termos módulo, placa ou painel são utilizados indistintamente na literatura para descrever um conjunto de células fotovoltaicas envoltas, disponíveis comercialmente.

A estrutura dos módulos fotovoltaicos é composta, basicamente, pelo agrupamento de células, pequenas tiras metálicas que fazem a interligação e fornecem o contato externo, material encapsulante colocado diretamente sobre as células, vidro antirreflexivo temperado para cobertura frontal, cobertura superior e por uma caixa de conexões que se fica na parte posterior do módulo (ZILLES et al, 2012), a exemplo do que se apresenta na figura 6.

Figura 6 – Estrutura do módulo fotovoltaico

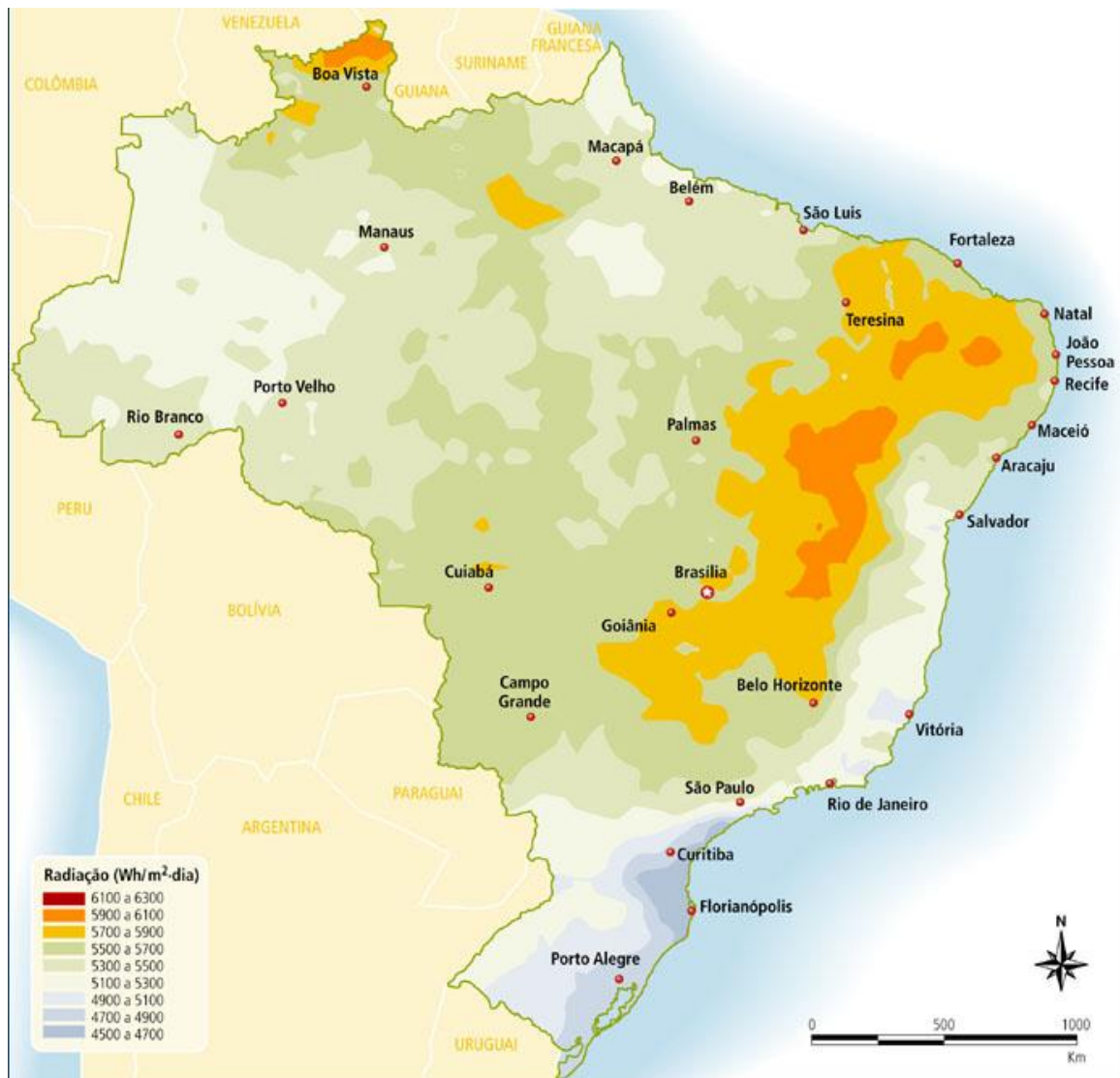


Fonte: EnerStore (2014).

O posicionamento dos módulos é fundamental para a produção de energia. Para este, deve-se levar em conta o movimento diário do Sol, de maneira que se os painéis forem instalados com a face para leste, ocorrerá o aproveitamento apenas para o período da manhã, o mesmo acontecendo no período da tarde para sistemas voltados para o oeste. Com isso, melhores resultados são obtidos quando os módulos são posicionados para o norte, tendo em vista que assim recebe o sol do meio dia, além da iluminação durante todo o dia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A fonte de energia das células fotovoltaicas é a energia proveniente da radiação solar. A insolação atinge valores distintos para diferentes regiões do Brasil. Em dias claros, a insolação total incidente na Terra atinge valores na casa dos 1000 W/m², contando a partir daí a quantidade de horas solares para que se chegue a potência diária por metro quadrado (LOPEZ, 2012). A figura 7 representa a radiação solar global diária no Brasil.

Figura 7 – Radiação solar global diária



Fonte: ANEEL (apud Atlas de Irradiação Solar no Brasil, 1998).

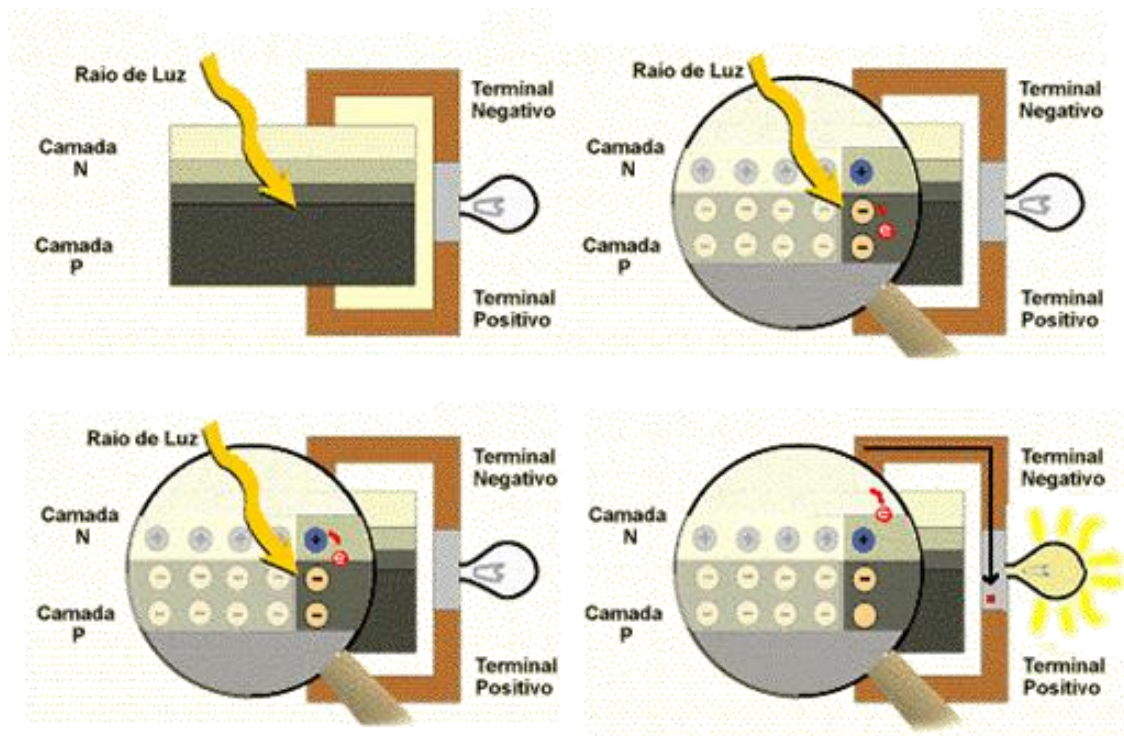
Sendo assim, a determinação da quantidade de energia produzida pelos módulos fotovoltaicos pode ser determinada a partir da insolação ou pela corrente máxima do módulo. O método calculado a partir da insolação demanda a informação sobre a disponibilidade diária de insolação, que pode ser obtida em atlas como o da figura 7 ou por sistemas que realizam leituras desses dados. Sabendo-se a área dos painéis, chega-se a potência gerada, uma vez que a radiação se expressa em Wh/m^2 , sendo válida com o uso de equipamentos MPPT. Já o módulo da corrente máxima determina a produção a partir da premissa de que não é possível ter aproveitamento máximo da energia solar, ficando condicionada ao ponto de operação imposto pela

tensão da bateria. Como as horas diárias de insolação variam, pode-se obter resultados empíricos, demandando ajustes posteriores (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Para que exista a corrente elétrica, é necessário aproveitar as cargas liberadas pela luz. Isso é feito através da circulação de elétrons extraídos do material semicondutor, por meio da junção criada pela presença de materiais dopados, na maioria dos casos pela adição de boro ou fósforo em elementos como o germânio ou o silício, dotando os materiais de cargas positivas e negativas (ZILLES et al, 2012).

Desta forma, o material N tem um excesso de elétrons e o material P apresenta falta deles formando, na junção, um campo elétrico dentro de uma zona de depleção, no interior da célula, também conhecido como barreira potencial. No momento em que duas camadas de materiais P e N entram em contato, realizam a chamada junção semicondutora, com a migração dos elétrons da camada N para a camada P, preenchendo os vazios das lacunas. Sendo a parte superior da camada N de pequena espessura, a luz acaba por penetrar e descarregar a sua energia nos elétrons, possibilitando que ultrapassem a barreira de potencial da camada N para a P. Esses elétrons em movimento são coletados por eletrodos metálicos e, mesmo que uma parte permaneça aprisionada nas lacunas existentes na camada N, o restante fica livre para desenvolver a corrente elétrica pela união das duas camadas (VILLALVA; GAZOLI, 2012), conforme representa a figura 8.

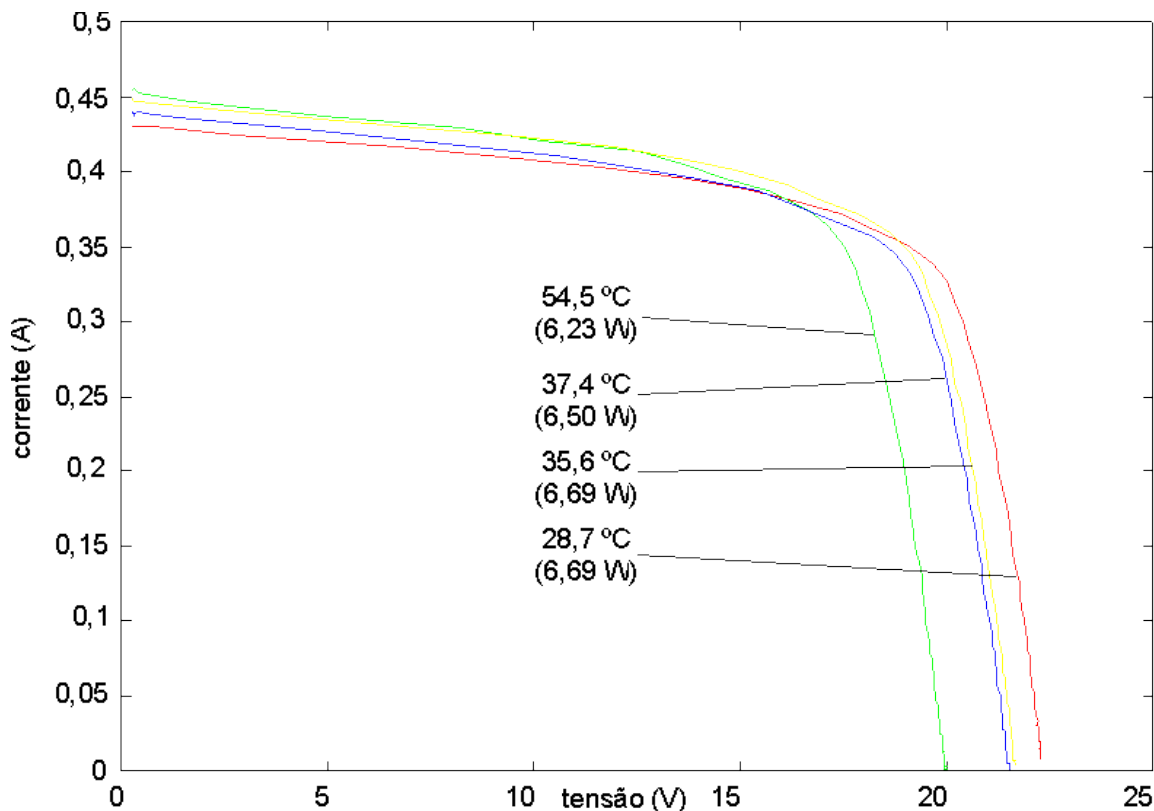
Figura 8 – Junção PN



Fonte: CRESESB (2006).

De acordo com Villalva; Gazoli (2012), o módulo não se comporta como uma convencional fonte elétrica, visto que não apresenta uma tensão de saída constante nos seus terminais, já que esta depende da corrente e vice-versa. Desta maneira, caso seja conectado a um equipamento com alta demanda de corrente, sua tensão tende a cair, sendo que o inverso ocorre quando da conexão a um equipamento de baixa corrente. Além disso, a temperatura também influencia diretamente na tensão oferecida pelo módulo, sendo que ela aumenta quando de baixas temperaturas e baixa quando as temperaturas se elevam. Zilles et al. (2012) traz valores típicos em torno de $-2,3\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ para as células de silício. A figura 9 relata correntes menores para temperaturas mais elevadas.

Figura 9 - Influência da temperatura na corrente do módulo



Fonte: LAFAE – UFRJ.

A capacidade de transformação da energia incidente em energia elétrica, denominada eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos é, assim como qualquer outra fonte de energia, inferior a 100%. Este é o fator mais importante das células fotovoltaicas e é definido pela razão entre a potência elétrica gerada em virtude da radiação solar incidente, chamado de eficiência (ZILLES et al., 2012).

Dentre as características dos painéis, enquadra-se como de suma importância a potência de pico ou máxima potência desempenhada, que se refere a máxima potência que o módulo pode oferecer (VILLALVA; GAZOLI, 2012). O autor destaca que o tipo de associação, caracterizando a formação de arranjos ou conjuntos fotovoltaicos, é feito com a finalidade de obter-se a tensão e a corrente elétrica desejadas. Sendo assim, associações em série provocam aumento na tensão do circuito, permanecendo a corrente com valor igual, enquanto associações em paralelo geram a soma das correntes elétricas, permanecendo as tensões constantes. Existe também a possibilidade da conexão em série e em paralelo, resultando na soma tanto

da tensão quanto da corrente. Este conceito também é válido para a associação das células.

3.4.2.2 Sistemas de abastecimento e dispositivos utilizados

A energia solar fotovoltaica permite tanto o abastecimento de locais isolados quanto a associação à rede elétrica. De acordo com Borges Neto; Carvalho (2012), essa é a caracterização de descentralização da geração de energia elétrica, podendo alimentar desde residências até sistemas centralizados de grande porte.

Os equipamentos utilizados pelo sistema fotovoltaico vão depender da finalidade e do uso. Dentre essas variações estão os sistemas isolados, os sistemas conectados à rede elétrica e os sistemas híbridos (LOPEZ, 2012). Alguns equipamentos são de aplicação para todos estes sistemas vistos acima, na presente seção, e outros destinados apenas a algumas. Sua aplicação e definição são vistos abaixo:

- Controlador de carga: dispositivo empregado nos sistemas dotados de dispositivos de armazenamento, que por sua vez são formados por baterias ou associação delas. Tem como função fazer a correta ligação entre o painel fotovoltaico e a bateria, realizando o gerenciamento da carga, evitando sobrecargas ou descargas profundas (VILLALVA; GAZOLI, 2012);
- Inversor: equipamento necessário para converter a tensão de entrada CC produzida pelos módulos fotovoltaicos em CA, utilizada pelos equipamentos em sua maioria. É empregado entre a fonte de alimentação e os dispositivos consumidores com CA. Podem ser do tipo conectados à rede, conectados à rede com armazenamento de energia por baterias ou autônomos. Os ligados à rede devem ser dotados de sistema que permita a desconexão com a rede para tarefas de manutenção (LOPEZ, 2012);
- Dispositivos de armazenamento: formado por baterias, são necessários para proporcionar o fornecimento constante de energia a partir de sistemas autônomos de geração, devido a intermitente e aleatória incidência da radiação solar impossibilitar que isso ocorra de maneira direta. Promove também a geração durante os períodos

de ausência do sol, como durante as noites e dias chuvosos ou nublados. O fornecimento de energia será proporcional ao dimensionamento do banco e ao tipo de bateria empregada, devido a características de descarga e período de fornecimento (VILLALVA; GAZOLI, 2012);

➤ Medidor: equipamento que pode ser empregado tanto em sistemas isolados como, de uso obrigatório, nos sistemas conectados à rede elétrica. Podem ser empregados para obtenção da produção de energia pelos módulos e na conexão com a rede elétrica. Este último fará uma leitura da energia residual, considerando o que foi consumido e o que foi gerado, cabendo restituição para a situação de produção maior do que o consumo. Essa tarifação é chamada de *net metering* e prevê que a energia gerada pelo consumidor tenha preço igual ao preço da eletricidade comprada da rede (ZILLES et al, 2012);

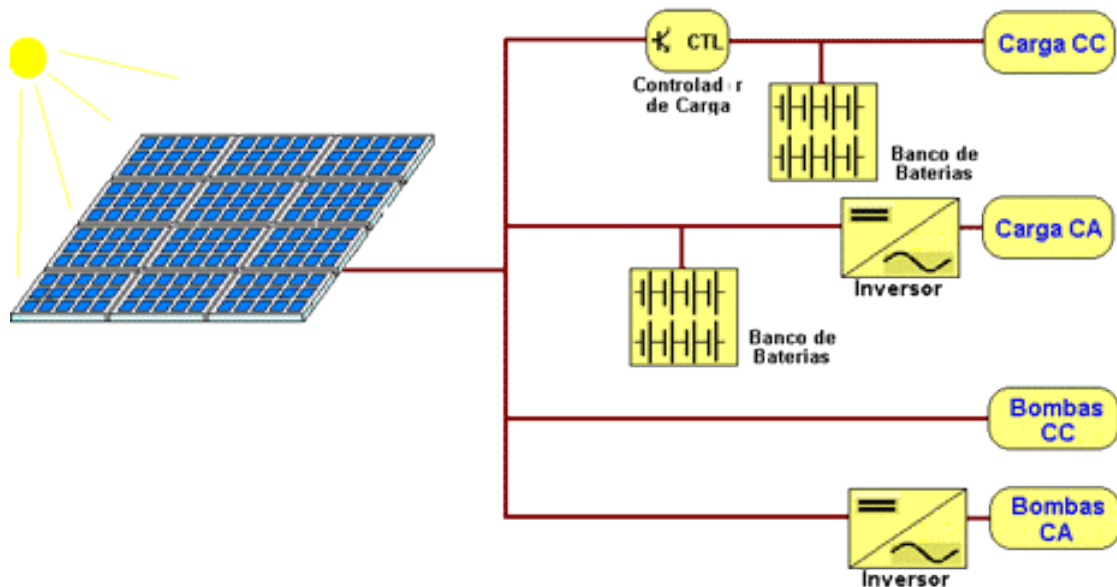
➤ Controlador MPPT: são equipamentos de elevado custo que permitem a otimização da produção do sistema fotovoltaico, uma vez que sua função é fazer o módulo operar sempre em seu ponto de máxima potência (VILLALVA; GAZOLI, 2012);

➤ Diodo de *bypass*: de acordo com Villalva; Gazoli (2012), são dispositivos empregados nas placas, em paralelo às células, destinados a proteção do funcionamento do conjunto, de forma que é ativado quando do sombreamento de uma célula. Com isso, ocorreria uma interrupção do fornecimento, mas a associação do diodo possibilita que a corrente produzida pelas outras células não seja afetada;

➤ *Strings*: conjunto de módulos ligados em série para fornecer tensão de trabalho aos sistemas. A associação de *strings* em paralelo é utilizada para aumentar a potência do sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Seguindo as explicações feitas com relação aos equipamentos demandados, as figuras 10, 11 e 12 abaixo representam esquematicamente exemplos de sistemas que fazem o uso destes equipamentos.

Figura 10 – Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada

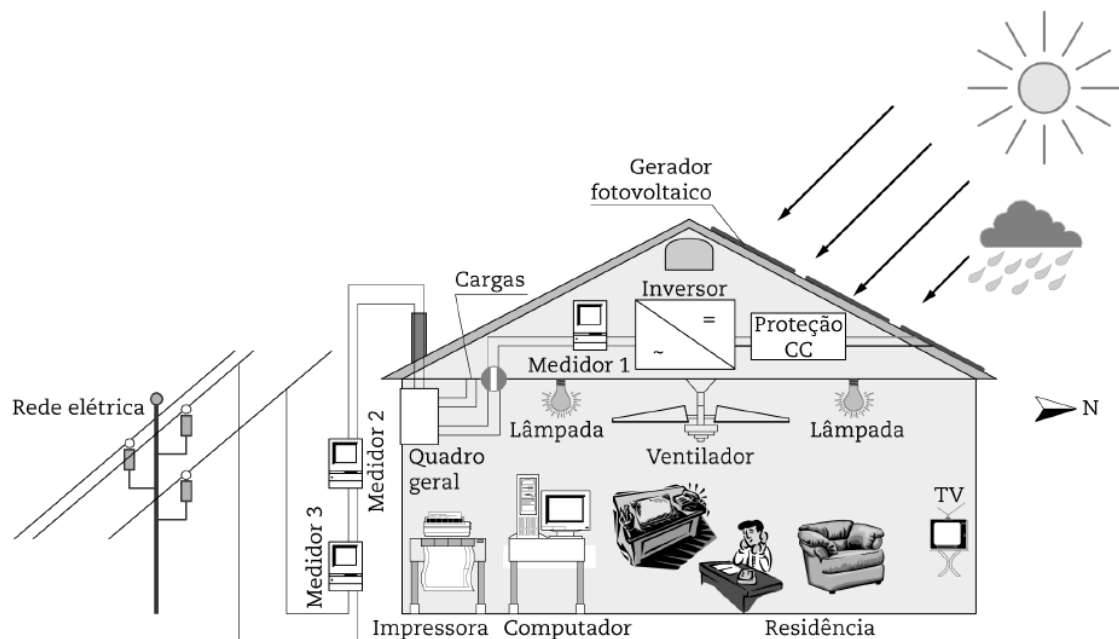


Fonte: Lopez (2012).

A figura 10 representa um exemplo de ligação de sistema autônomo, que faz uso de equipamentos de CC e de CA, composto por módulos fotovoltaicos, dispositivos controladores de carga e banco de baterias. Os sistemas isolados são aqueles compostos pela unidade geradora, equipamento controlador de potência e dispositivo de armazenamento. Para o abastecimento de equipamentos que demandem corrente alternada, é necessária a adoção de inversores, que transformam a corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada (LOPEZ, 2012).

Já a figura 11 representa um sistema conectado à rede elétrica, dotado dos dispositivos de transformação e adequação da energia elétrica, que são os módulos fotovoltaicos, dispositivo de proteção, inversor, medidor da energia gerada e a conexão com a rede elétrica.

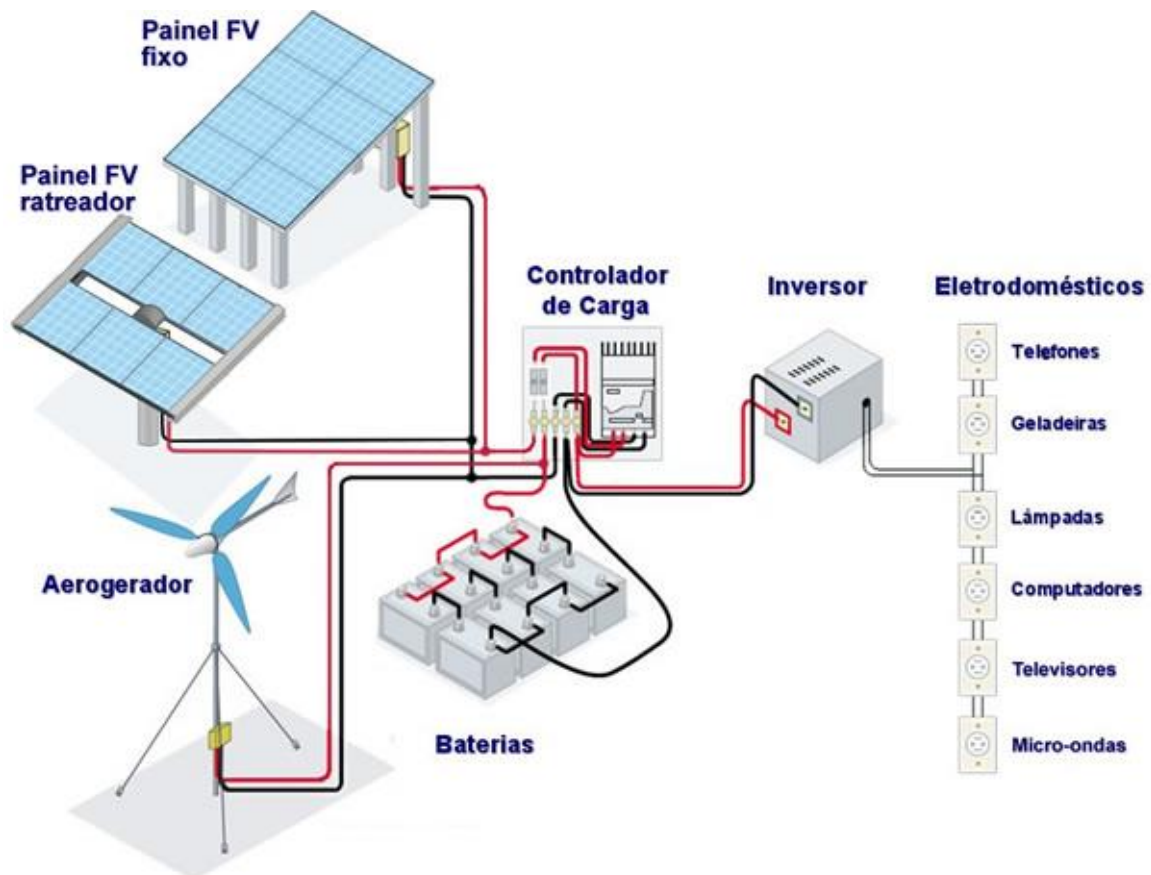
Figura 11 - Diagrama esquemático apresentando uma instalação fotovoltaica conectada à rede, instalada em uma residência



Fonte: Zilles et al. (2012).

Existem ainda os sistemas híbridos de energia, que contribuem para a diversificação no fornecimento de energia, possibilitando um ciclo econômico mais vigoroso para regiões rurais e isoladas (BORGES NETO; CARVALHO, 2012). Seu conceito é baseado na associação de duas ou mais fontes geradoras de energia, oferecendo ao consumidor um sistema confiável. A figura 12 representa um sistema híbrido a partir da associação da energia solar fotovoltaica com a energia eólica.

Figura 12 - Sistema híbrido de energia



Fonte: CRESESB (2013).

Os custos com a instalação desses componentes, bem como as vantagens e tarifação para adesão da tecnologia são tratados nas seções a seguir.

3.4.2.3 Vantagens e tarifação

O emprego de sistemas fotovoltaicos nos meios urbanos pode alterar o cenário do aumento da oferta de energia. Este tradicionalmente é planejado através da implantação de grandes usinas de geração e linhas de distribuição, que por sua vez demandam grande quantidade de tempo entre o início da construção e o fornecimento. O uso dos módulos fotovoltaicos provoca o incremento de energia com o uso de áreas já ocupadas, como telhados, fachadas e coberturas (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Ainda, de acordo com Goldemberg; Paleta (2012), a tecnologia não gera, durante a produção de energia elétrica, qualquer tipo de efluente sólido, líquido ou gasoso e não gera ruídos. A emissão de CO₂ dos sistemas fotovoltaicos varia entre 50 e 60 g/kWh bem abaixo das 400 a 1000 g/kWh gerados pelos combustíveis fósseis. Villalva; Gazoli (2012) traz que o sistema se caracteriza pela produção de eletricidade a um custo muito competitivo para a redução na conta de eletricidade, principalmente considerando-se a inflação que atinge as tarifas elétricas, ficando imune destes aumentos por pelo menos 25 anos, tempo de vida útil do equipamento, favorecendo também a geração distribuída de eletricidade. Existe ainda a virtude de se produzir energia durante o dia, período de maior demanda por parte das indústrias, mas que não é o de maior utilização das residências. Sendo assim, existem os sistemas de bonificação pela energia produzida, que acaba por caracterizar a maior parte das aplicações.

Os sistemas de tarifação foram criados para recompensar a produção de energia pelo produtor. O sistema de tarifação *net metering* baseia-se na medição da energia líquida e é utilizado em alguns países que possuem sistemas residenciais conectados à rede elétrica. Para isso, faz-se uso de um medidor que registra a energia que a residência consome da rede pública e a energia que a mesma produz, resultando, quando o consumo ultrapassar a produção, no pagamento da diferença e, para situações contrárias, em saldo a ser quitado pela distribuidora. De acordo com a resolução nº 482/2012 da ANEEL, o microprodutor de energia tem 36 meses como prazo para utilizar o crédito gerado, sendo que ao final deste período os créditos serão perdidos, sem a possibilidade de remuneração (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Villalva; Gazoli (2012) ainda cita o sistema *feed in*, criado na Europa como forma de incentivo ao uso de energias renováveis. Tem estrutura semelhante ao *net metering*, recebendo maior pagamento pela energia que seu sistema exporta para a rede elétrica, tornando a instalação do sistema bastante vantajosa e rentável. Existe ainda, em alguns países, a premiação para o consumidor por toda energia renovável gerada por fontes alternativas, independentemente de sua exportação para a rede.

3.4.2.4 Custos

Este é, naturalmente, um fator que pode ser considerado como de suma importância no emprego de uma instalação, sendo que altos valores são uma barreira para a disseminação (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012). Lopez (2012) afirma que é variável da radiação solar e da eficiência dos painéis.

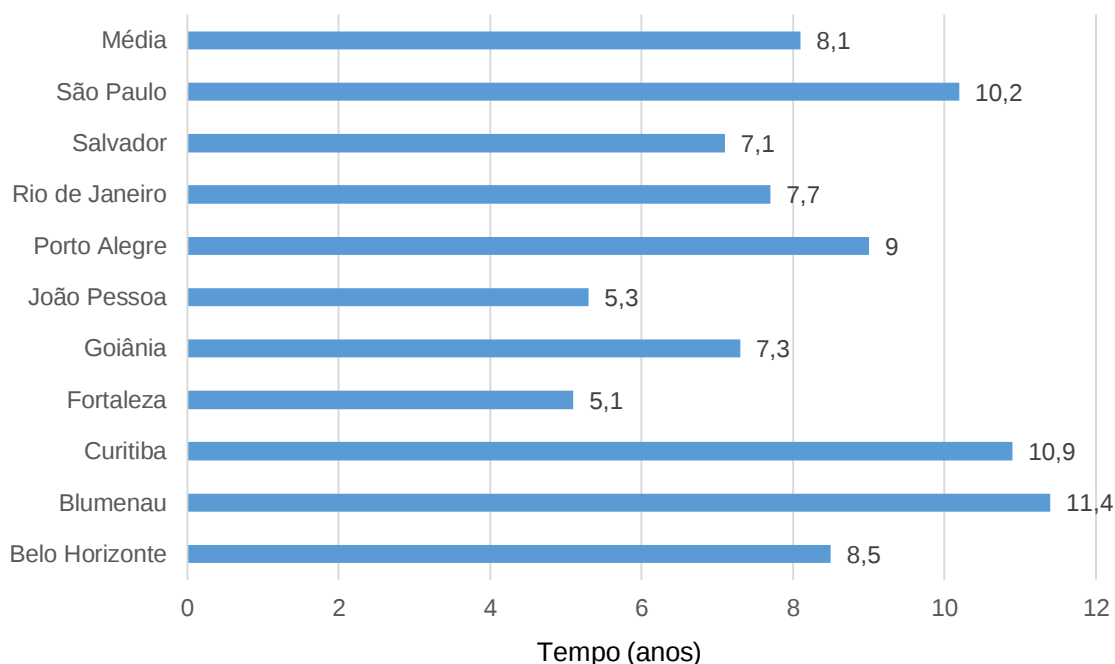
De acordo com Borges Neto; Carvalho (2012), a redução dos custos através do aumento da eficiência tem sido o principal foco dos pesquisadores. O uso de acompanhadores solares é um exemplo, uma vez que o seu emprego provoca ganhos entre 35 e 40% na eficiência apresentada quando deste tipo de composição.

Os custos médios de produção de energia elétrica para sistemas conectados à rede giram entre R\$ 650 e R\$ 900 por MWh (megawatt-hora) gerado, o que em termos práticos significa o dobro ou o triplo da tarifa aplicada ao consumidor. Pode ser considerado alto, a princípio, porém pode-se ressaltar que com o desenvolvimento das técnicas os custos caem 20% a cada vez que a produção dobra, andando na contramão das tarifas elétricas, que tendem apenas a subir. Em termos práticos e considerando-se um fator de redução de 5% ao ano no custo de geração, aplicado a um período de amortização de uma década, ter-se-ia uma redução de 39%, comprovado pelo estudo realizado pela IEA do período entre 1996 e 2006, que sofreu reduções superiores a 40% (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Na mesma via, Tiepolo et al. (2013) afirma que a expansão das aplicações fotovoltaicas no país, que inicialmente era empregada somente em universidades e centros de pesquisa, resultou na redução de custos aproximada de 40% entre 1996 e 2006, atingindo 60% de queda no período entre 2009 e 2011.

Goldemberg; Paleta (2012) estima que a partir de um crescimento de 6% ao ano da tarifa elétrica, de acordo com os últimos 12 anos, a paridade econômica seria atingida, em média, em 8,1 anos. Esse valor é ainda mais animador para cidades como Fortaleza (5,1), João Pessoa (5,3) e Belo Horizonte (6,5), como mostra a figura 14.

Figura 13 – Tempo de equiparação do kWh com a tarifa convencional



Fonte: Goldemberg; Paletta (2012).

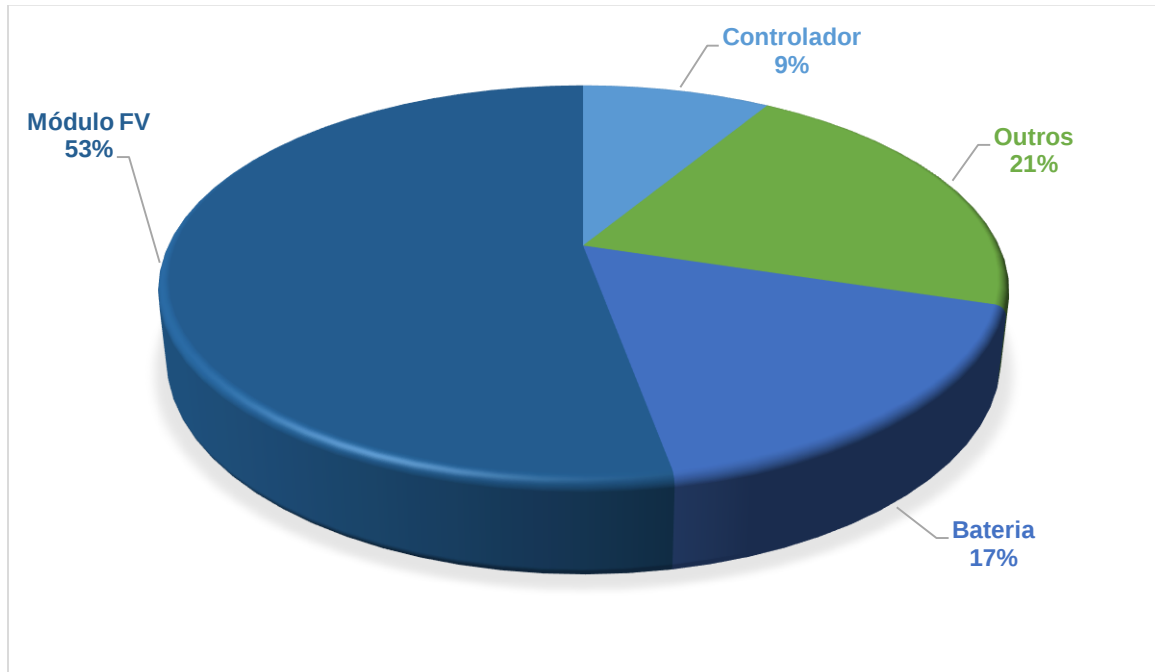
Estimativas realizadas pelo IEA, referentes a setembro de 2010 trazem custo de U\$ 5 por watt para sistemas isolados com até 1 kW e U\$ 13,86/W para um sistema fotovoltaico de 1,98 kWp. Foi avaliado também um sistema fotovoltaico isolado durante 30 anos, chegando-se ao custo de R\$ 3.191,78/MWh, caracterizando-se para sistemas isolados como custo dez vezes superior à energia tradicional. Já para um sistema conectado à rede elétrica, o sistema fotovoltaico apresentou custo de R\$ 1.009,13/MWh, aproximadamente 3 vezes maior que a energia tradicional (LOPEZ, 2012).

O retorno de investimento energético atual para sistemas conectados à rede, segundo Goldemberg; Paletta (2012) é de 2,5 a 3 anos, considerando-se regiões com irradiação solar média de 1700 kWh/m²/ano. Pode-se destacar a redução dos custos com a produção distribuída de energia, que evita custo com grandes redes de distribuição, além do fornecimento imediato (BENITO, 2011). O rápido desenvolvimento de geração de energia dessa fonte tem atenuado os custos, fazendo com que se crie um ciclo virtuoso (MELO, 2013).

Os custos reais de uma instalação fotovoltaica são variáveis de diversos fatores como a quantidade de energia necessária, incidência solar no local da instalação,

complexidade do sistema, entre outros. Os valores relativos a um sistema fotovoltaico isolado podem ser vistos na figura 13.

Figura 14 - Representatividade no investimento inicial de componentes fotovoltaicos



Fonte: adaptado com base em Lopez (2012).

Ainda neste ponto, Tiepolo et al. (2013) indica que os custos de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica são resumidos em 60% do valor direcionado à aquisição dos módulos fotovoltaicos, sendo os 40% restantes divididos entre inversores, transformadores, preparação e instalação da estrutura.

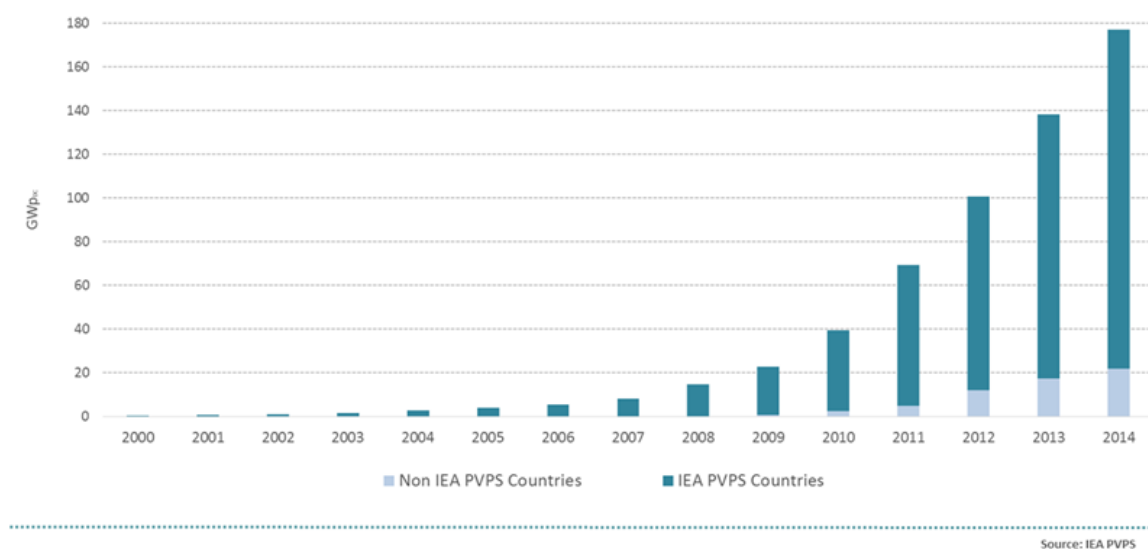
3.4.2.5 Situação atual e projeções

O sistema fotovoltaico vem recebendo crescentes taxas de adesões, principalmente após 1990, quando passou a ocupar lugar cada vez mais expressivo (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012). Diversos países adotaram seu uso, sendo a potência total global instalada aproximada de, até o final do ano de 2014, 177 GW, que podem ser ainda maiores se somadas às instalações residuais de sistemas isolados ou de países não abordados. Dentro desse contexto, destaque para 23

países representam 155 GW do total instalado. Somente no respectivo ano, a potência recebeu um acréscimo de 38,7 GW (IEA-PVPS, 2014).

A figura 15 mostra o total da evolução da capacidade de geração fotovoltaica instalada no mundo, entre os anos de 2000 e 2014, expressando o acelerado crescimento que a tecnologia teve nos últimos anos.

Figura 15 – Evolução da capacidade total instalada entre 2000 – 2014



Fonte: IEA-PVPS (2014).

Ao longo do ano de 2013, as maiores instalações foram na China (11,3 GW), Japão (6,9 GW), EUA (4,75 GW), Alemanha (3,3 GW) e Itália (1,5 GW). Sendo assim, a China quebrou o recorde de instalação em um só ano, que anteriormente pertencia a Itália, que instalara 9,3 GW em 2011 (IEA-PVPS, 2013).

O Brasil instalou 5 MWp, com custo de US\$ 70 milhões para eletrificação de centros de saúde e escolas (67%), bombeamento (30%) e iluminação pública (3%). Todavia, a falta de experiência dos instaladores, falhas de manutenção e incompatibilidade de materiais resultou na deterioração da instalação, permanecendo apenas 50% em funcionamento. Acabou caracterizando-se como mais um combustível para a implantação do programa Luz para Todos (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

O uso descentralizado de geração, ao qual se enquadra a energia solar fotovoltaica, causa uma redução nos custos com transmissão e distribuição de energia. Sendo assim, mesmo que a capacidade de geração instalada no país seja insignificante frente às outras fontes, tem-se 8,5 milhões de km² na zona tropical, entre as latitudes 5°N e 33°S, onde a pior radiação é 40% mais alta do que a melhor radiação incidente na Alemanha (AKWA et al., 2013).

Com relação ao potencial de geração anual levantado, chega-se a um valor de 17.257 GWh somente no estado do Rio Grande do Sul, valor que sobe para 287.505 GWh quando se refere ao Brasil inteiro, o que significa que o potencial é 2,3 vezes superior ao consumo (EPE, 2014).

Na mesma linha, Villalva; Gazoli (2012) afirmam que o potencial de exploração no Brasil é enorme, tendo em vista que o país que mais gera eletricidade a partir da luz do Sol é a Alemanha, onde a melhor insolação é 3500 Wh/m², ou seja, inferior a pior taxa do Brasil, que é de 4500 Wh/m². A partir disso, pode-se projetar um potencial de geração pelo menos dez vezes superior ao dos alemães, chegando-se ao valor de 200 GW de eletricidade produzidos a partir da energia solar, o que é o dobro da energia elétrica produzida atualmente no país.

Afirma ainda Villalva; Gazoli (2012) que a tecnologia aguarda por incentivos dados a outras fontes alternativas para alavancar a inserção no país. O programa criado pelo governo federal para estimular o uso de fontes alternativas (PROINFA) não a incluiu, sendo que fora deixada de lado, também, pelo plano decenal de energia até 2020 do MME. Prova disso é a projeção de que o custo por kW de sistemas residenciais caia de US\$ 4.000,00 em 2010 para US\$ 1.000,00 em 2050, quando espera-se atingir a marca de 2.000 GW instalados (EPE, 2014).

Entretanto, EPE (2014) em seu estudo referente ao período entre 2010 e 2023, ainda afirma que o custo por Wp residencial no Brasil, que era de R\$ 7,70 / Wp no início do período caiu para R\$ 6,30 / Wp em 2015, atingindo o preço de R\$ 4,10 / Wp na projeção final. Durante o mesmo período, projeta-se que o número de consumidores com sistemas fotovoltaicos instalados salte de 381 em para 161.360, o que resulta em um salto na potência instalada acumulada no cenário proposto de 29 MWp para 835 MWp entre o início e o final do período.

O plano decenal de expansão de 2023 aponta que os investimentos para suprir a demanda necessária são de R\$ 1,263 bilhões, equivalente a 2,5% do PIB, sendo que 70% destes serão destinados ao petróleo e ao gás natural (MME, 2014).

Contudo, no primeiro trimestre de 2015 a ANEEL homologou o resultado do Leilão nº 8/2014, que tem por objetivo contratar energia de reserva oriundos das fontes solar fotovoltaica e eólica, para vigorar a partir de 1º de outubro de 2017. Nesse, foi acertada a contratação de 93,8 milhões de MWh, a serem gerados por 62 usinas, igualmente divididas entre solares fotovoltaicas e centrais eólicas localizadas em Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Piauí, Pernambuco, Paraíba, Ceará e Bahia. O valor de R\$ 169,82 por MWh foi acertado como preço médio final (ANEEL, 2015).

Após a revisão bibliográfica abordada neste capítulo, faz-se as considerações sobre a forma de obtenção dos resultados no capítulo seguinte, de número quatro, denominado Metodologia.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo mostra-se a metodologia empregada para a avaliação da eficiência dos módulos, através da obtenção dos resultados de radiação solar global e da avaliação da geração de energia, bem como sua análise e comparação, além da aferição eficiência energética.

4.1 Radiação solar global

Para determinação da radiação solar global foram utilizados os dados da Estação Hidrometeorológica da Univates, obtidos através da estação meteorológica DAVIS Vantage PRO 2, que se encontra sobre o prédio 4, no campus da Univates, a 85 metros de altitude em relação ao nível do mar, nas coordenadas geográficas 29°26'54" S e 51°56'42" O (AKWA et al., 2013).

Figura 16 – Estação meteorológica instalada na Univates



Fonte: o autor.

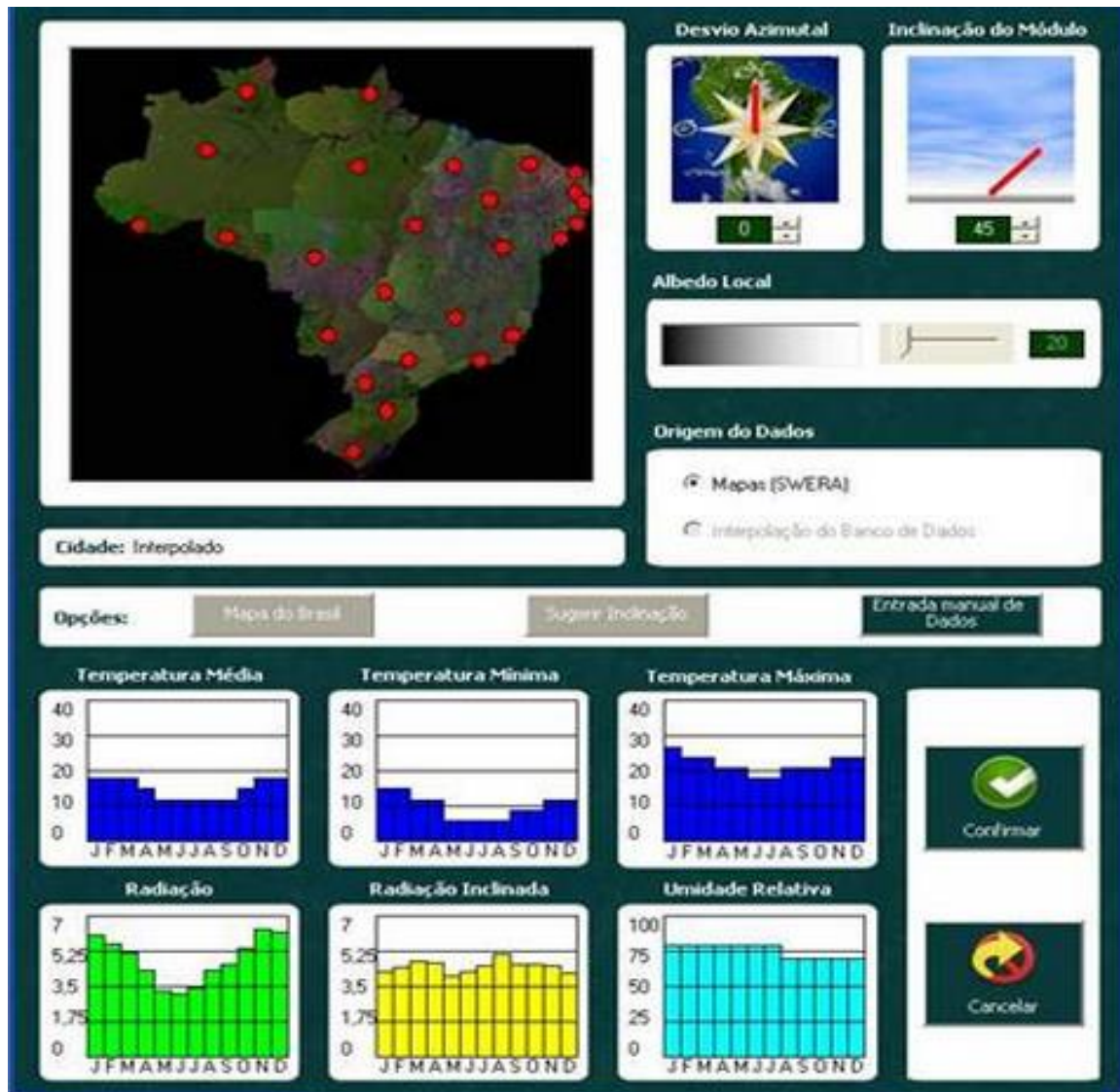
A partir da determinação da radiação solar incidente foi possível estimar a potência de saída dos painéis, considerando-se a eficiência energética dos mesmos, uma vez que é uma variável fundamental no processo. Para aferição dos valores diários utilizou-se a estação meteorológica anteriormente citada, sendo estes armazenados e apresentados no presente trabalho em forma de figura, no capítulo de resultados. O equipamento permite o rastreamento da energia incidente e da quantidade de horas diárias de sol incidentes.

Como visto no capítulo 3, Lopez (2012) traz que a irradiância solar atinge a Terra com valor médio aproximado de 1000 W/m^2 , caracterizando-se, na verdade, como uma padronização para realização de testes de painéis solares, sendo então a radiação solar local variável da quantidade de horas que Sol incide no local e de fatores como moléculas de vapor de água e poeira que, por sua vez, acabam retendo parte da energia.

A comparação da radiação solar aferida no local com os dados fornecidos pelo *software* Radiasol (figura 17), desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOL, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e pelo confronto da mesma com os resultados apresentados pelo *NASA Surface*

meteorology and Solar Energy pelo foi feita por meio da comparação direta dos dados, analisando-se o comportamento e a variação entre os valores.

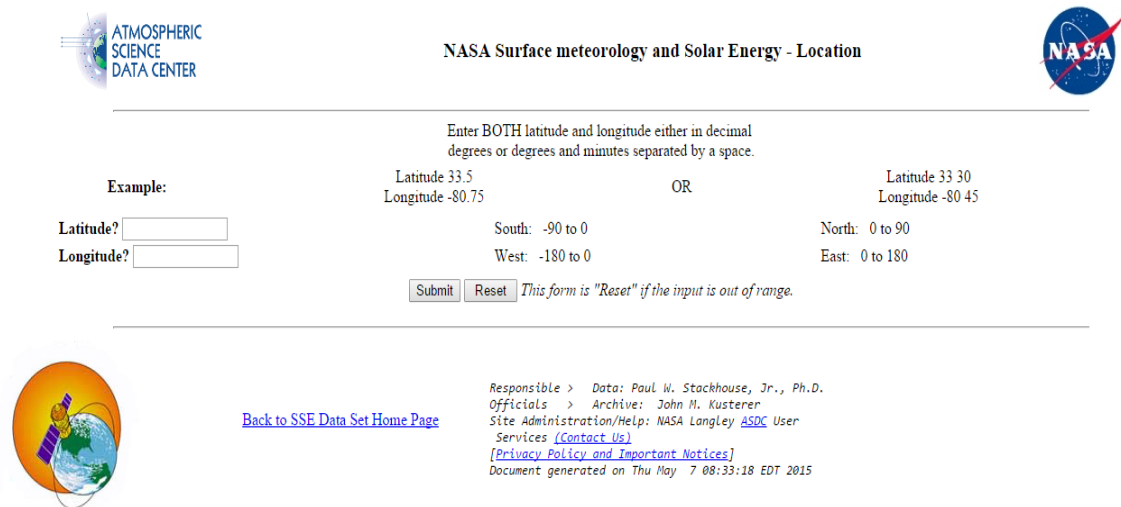
Figura 17 – Software RadiaSol



Fonte: LABSOL – UFRGS.

A outra fonte de obtenção dos valores de radiação solar global acima citada, que é o *NASA Surface meteorology and Solar Energy*, por sua vez fornece os resultados a partir dos dados de entrada de latitude e longitude. A figura 18 apresenta a tela de interface para inserção dos dados requeridos para o usuário

Figura 18 – NASA Surface meteorology and Solar Energy



ATMOSPHERIC
SCIENCE
DATA CENTER

NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location

Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space.

Example: Latitude 33.5 Longitude -80.75 OR Latitude 33 30 Longitude -80 45

Latitude? South: -90 to 0 North: 0 to 90

Longitude? West: -180 to 0 East: 0 to 180

This form is "Reset" if the input is out of range.

[Back to SSE Data Set Home Page](#)

Responsible > Data: Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.
Officials > Archive: John M. Kusterer
Site Administration/Help: NASA Langley ASDC User Services (Contact Us)
[Privacy Policy and Important Notices]
Document generated on Thu May 7 08:33:18 EDT 2015

Fonte: adaptado pelo autor com base em *NASA Surface meteorology and Solar Energy – Location* (2015).

4.2 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos utilizados no presente estudo foram instalados no Campus do Centro Universitário Univates, no prédio 17, em agosto de 2012. O conjunto é formado por 10 módulos da marca Yangli Solar, modelo YL230P-29b, cada um contendo 60 células policristalinas, com potência de saída igual a 230 Wp sob as condições padrões de teste. Totalizam uma superfície de 16,5 m²[sic], com eficiência igual a 14,1% e estimativa de produção mensal entre 250-300 kWh (AKWA et al., 2013), sobre estrutura metálica para sustentação dos mesmos, conectados seguindo projeto elétrico das conexões do sistema. O inversor CC/CA foi fabricado pela SAJ, modelo Sununo-TL 2k, com 2.000 W de potência nominal, corrente de 11 A e tensão alternada de 220 V também faz parte do sistema, que tem potência de pico de 2.300 Wp (KAUFMANN, 2012).

Figura 19 – Módulos fotovoltaicos instalados no prédio 17 da Univates



Fonte: o autor.

A instalação correta dos módulos fotovoltaicos deve considerar o movimento diário do sol. Para a situação de painéis fixos, a fim de se obter otimização na utilização da energia solar, deve-se instalá-los voltados para o norte, onde se terá maior período de incidência solar. Caso se instale com a face voltada para leste ou oeste, o período da tarde e o da manhã ficarão, respectivamente, sem aproveitamento da energia solar. Locais que se encontrem acima da linha do Equador deverão fazer a consideração contrária, de maneira que o melhor resultado será ao sul (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

De acordo com Ziles et al. (2012), é necessário que se oriente os painéis para norte a fim de se obter maximização da energia coletada ao longo do tempo, tendo inclinação igual à latitude local. Sendo a inclinação ótima teórica está em torno dos 23°, voltados a norte. Em simulação com inclinações diferentes, verificou-se que para a mesma área de estudo do presente trabalho, um valor de 67,7 kWh/dia para um

plano horizontal aumentaria para 73,8 kWh/dia com uma inclinação de 24°, caindo para 58,6 kWh/dia para um ângulo de inclinação de 70° (AKWA et al., 2013).

O *software* PVsyst, com difusão na área de estudos, apresenta sugestões de inclinações para diferentes locais de aplicação dos sistemas fotovoltaicos, considerando sua localização. Como os painéis instalados na Univates são fixos, foi possível adotar o resultado oferecido por este *software*, chegando-se a disposição da face virada para norte e 24° de inclinação (KAUFMANN, 2012), sendo posteriormente confirmado Akwa et al. (2013).

Kaufmann (2012) ainda afirma que a conclusão da instalação se deu com a conexão dos módulos a um medidor, que registra a quantidade de energia produzida e a um inversor, que por sua vez altera a corrente contínua para corrente alternada. O sistema está ligado no quadro de energia do prédio, de maneira que a eletricidade gerada pelo mesmo pode ser imediatamente consumida.

4.3 Eficiência energética dos módulos

A eficiência energética dos módulos é um fator determinante no estímulo ao uso dos mesmos. É resultado da razão entre a energia que incidiu nos painéis e a quantidade gerada pelos mesmos no período. Lopez (2012) traz uma Tabela (4) com a eficiência de diversas tecnologias de células fotovoltaicas, expressando a eficiência em laboratório, da célula e módulos comerciais.

Tabela 4 – Máxima eficiência fotovoltaica

<i>Material da célula fotovoltaica</i>	<i>Eficiência da célula fotovoltaica em laboratório</i>	<i>Eficiência da célula comercial</i>	<i>Eficiência dos módulos comerciais</i>
Si monocristalino	24,7%	18%	14%
Si policristalino	19,8%	15%	13%
Si cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Si amorfo	13%	10,5%	7,5%
Si micromorfo	12%	10,7%	7,5%
Célula solar híbrida HCI	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%
Semicondutor III-V	35,8%	27,4%	27%
Célula sensibilizada com colorante	12%	7%	5%

Fonte: Lopez, 2012 (apud Fraunhofer ISE, Universidade de Stuttgart; 26th IEEE PVSC).

Através da análise do histórico de energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, registrada pelo medidor de energia, e do histórico de radiação solar, registrada pela estação do Centro de Informações Hidrometeorológicas (CIH) da Univates, o diagnóstico da eficiência energética do conjunto se deu por meio da razão entre a energia solar que incidiu nas placas e da eletricidade gerada.

Com os custos sendo reduzidos, de acordo com Tiepolo et al. (2013), a atratividade dos painéis passa a aumentar pelas vantagens decorrentes do seu uso. A vida útil de 25 anos (VILLALVA; GAZOLI, 2012), pequenos custos com manutenção e possibilidade de exportação para a rede elétrica incentivam o seu uso. Os autores ainda abordam a obrigação da aquisição, por parte da concessionária de energia, da eletricidade produzida pelos mesmos valores que pagam pela energia oriunda de outras fontes, caracterizando-se como mais uma vantagem que o sistema oferece.

Sendo assim, foi feita a avaliação da quantidade de energia que os módulos de silício policristalino instalados na Univates conseguiram transformar, sendo este dado obtido através das informações registradas ao longo do ano de 2014.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

O presente capítulo aborda sobre os dados obtidos referentes a radiação solar incidente na cidade de Lajeado, RS, além da avaliação sobre energia gerada e a eficiência do conjunto fotovoltaico instalado no prédio 17 do Centro Universitário Univates.

5.1 Radiação solar incidente

A radiação solar incidente e as horas solares são fatores determinantes quando se deseja saber o potencial de geração de energia elétrica, a partir de sistemas fotovoltaicos, de uma região. Embora os termos radiação ou ainda irradiação tenham, por ventura, sido utilizados até aqui, o presente estudo adotou o primeiro como o que se refere a energia solar incidente sobre o conjunto fotovoltaico estudado, que como resultado acabou por produzir eletricidade, a partir dessa interação, graças ao efeito fotoelétrico. A presente seção traz aprofundamentos sobre a energia solar incidente na cidade de Lajeado, RS, através de: informações obtidas pela instituição local, pelo uso de um *software* que abrange nível regional e outro por um sistema que trata de esferas mundiais.

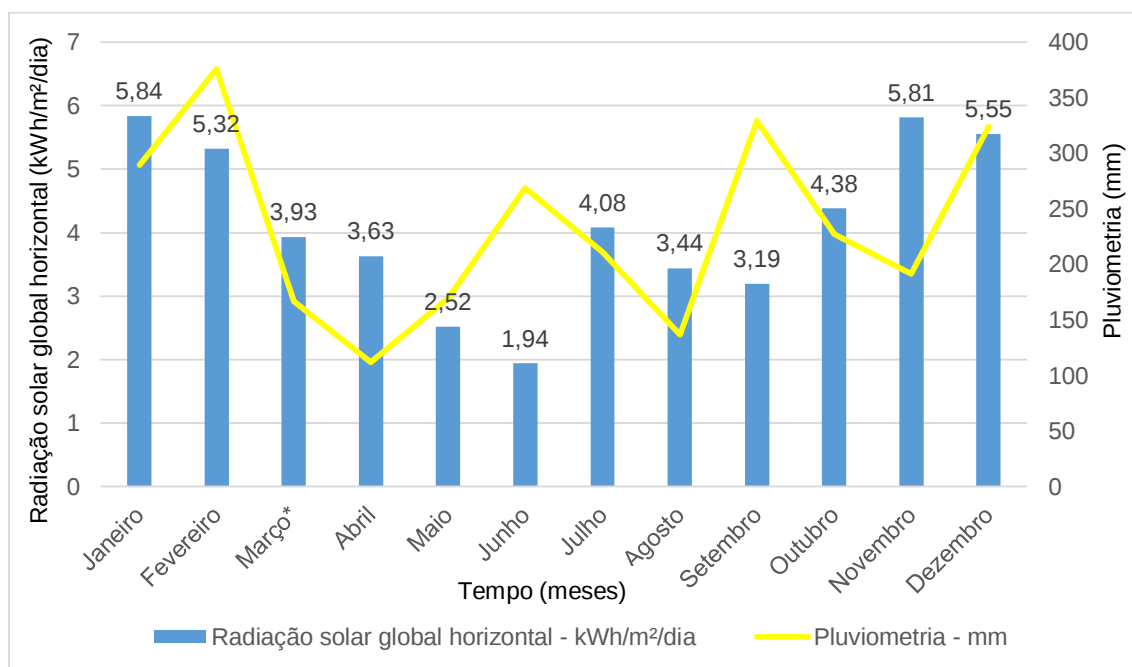
Esta análise leva em conta os dados que foram coletados pelo Centro de Informações Hidrometeorológicas (CIH) da Univates, obtidos através do uso de piranômetro, os fornecidos pelo *software* RadiaSol, desenvolvido pelo Laboratório de

Energia Solar – LABSOL da UFRGS, e os divulgados pelo *NASA Surface meteorology and Solar Energy*.

A coleta dos dados pelo CIH é feita diariamente, com leituras de meia em meia hora, além da diária verificação do registro das incidências pluviométricas, que acabam por interferir, muitas vezes diretamente, na radiação. Estes valores são repassados ao final de cada mês para o laboratório de Biorreatores, Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Águas e Efluentes da Univates, que é o responsável pelo monitoramento do sistema fotovoltaico para fins de registro e obtenção dos resultados, através do confronto da energia produzida pelo conjunto com a quantidade que incidiu nos mesmos.

Os dados da radiação solar global média mensal fornecidos pelo CIH da Univates são representados pela figura 20, que conta ainda com os dados da pluviometria, para contemplar uma análise mais aprofundada de um fator que muitas vezes se relaciona. Dessa forma, chegou-se a um valor médio mensal de 4,14 kWh/m²/dia, como mostrado abaixo (figura 20).

Figura 20 – Radiação solar global horizontal diária média do ano de 2014



* O mês de março não obteve registros durante os dias 7 e 10, referente a uma manutenção no equipamento.

Fonte: adaptado pelo autor com base em Centro de Informações Hidrometeorológicas da Univates.

Como mostra a figura 20, os meses de maior incidência da radiação solar são os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, apresentando valores acima dos 5,3 kWh/m²/dia. Os meses de inverno apresentam uma baixa relativa a menor quantidade de horas solares incidentes, combinada com os dias de pouca incidência de sol, decorrentes de tempos nublados e períodos chuvosos, como por exemplo nos meses de maio e junho, onde as precipitações ultrapassaram os 150 mm/mês. Esses períodos também são os responsáveis pela queda no mês de setembro, onde ter-se-ia como tendência de curva uma parábola voltada para cima com relação ao comportamento da radiação solar. Isso, no entanto, não ocorreu, devido ao grande índice de precipitações no respectivo mês, com volumes que se aproximaram dos 350 mm.

O *software* RadiaSol, também fornece os dados de radiação solar para o local objeto de estudo pelo presente trabalho. Além dele, foi consultado o *NASA Surface meteorology and Solar Energy*, resultando na figura 21, que traz a comparação entre os dados de radiação solar obtido junto a essas fontes, além dos dados lidos pelo CIH da Univates.

Figura 21 – Comparação entre a radiação solar diária média na cidade de Lajeado, RS, obtida a partir de diferentes fontes

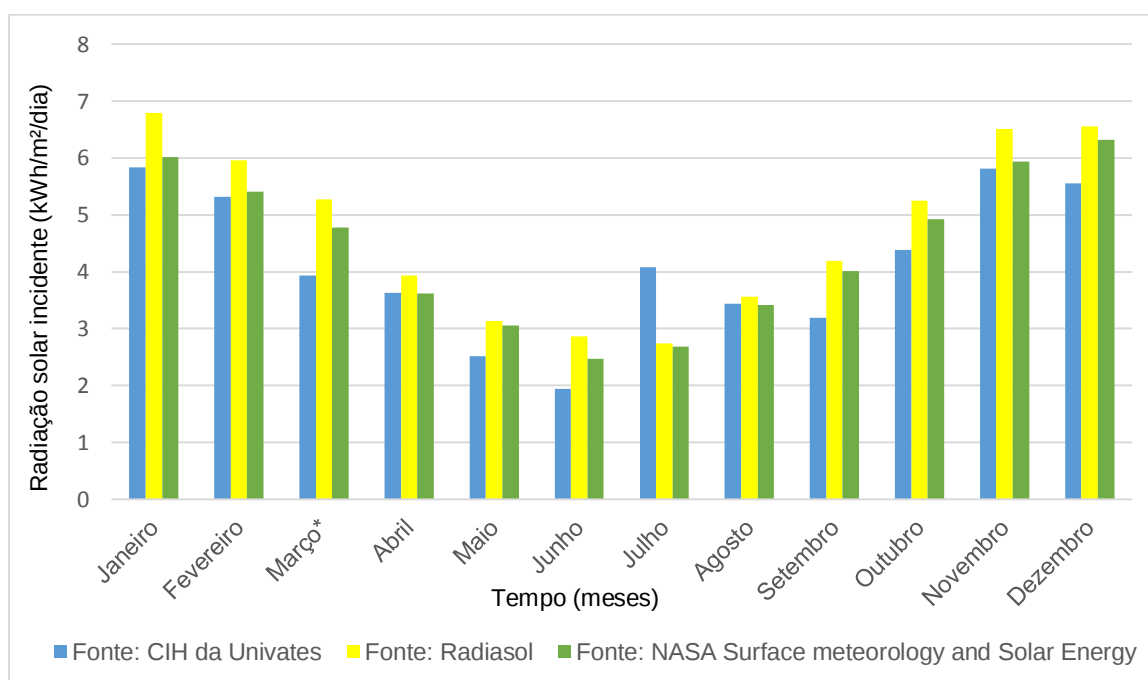


Figura 21 – Radiação solar diária média na cidade de Lajeado, RS, de acordo com o CIH, RadiaSol e NASA

Como mostra a figura 21, a radiação solar aferida no local de acordo com as informações fornecidas pelo CIH da Univates aproximou-se, em forma, da fornecida por outras ferramentas com diferentes áreas de abrangência. Embora isso, a grandeza dos valores, de maneira direta, variou, sendo que a radiação média obtida através do Radiasol foi de 4,73 kWh/m²/dia, representando um valor 14,25% acima da média incidente verificada na instituição, frente a variação média de 6,04% de diferença encontrada para os valores apresentados pelo NASA, uma vez que esta atingiu 4,39 kWh/m²/dia.

Com base nos dados fornecidos pelos centros, percebe-se uma proximidade entre as tendências fornecidas relativas a radiação solar pelas diferentes instituições, mesmo que tenha ocorrido algum destaque pontual em determinados meses, com em julho e em setembro. Vale ressaltar que os dados oferecidos pelo CIH da mesma e também ilustrados no presente estudo pela figura 20 referem-se ao ano de 2014, enquanto os fornecidos pelo RadiaSol e pela NASA podem levar em conta dados referentes a mais tempo, já que um ciclo solar leva 11 anos, conforme apontado por Borges Neto; Carvalho (2012), caracterizando assim uma diferença ligada ao tempo de retorno, passível de interferência e discrepância quando da comparação direta dos mesmos, como por exemplo na queda apresentada pelos valores lidos para o mês setembro e que nos valores obtidos pelo Radiasol e pela NASA não ocorrem.

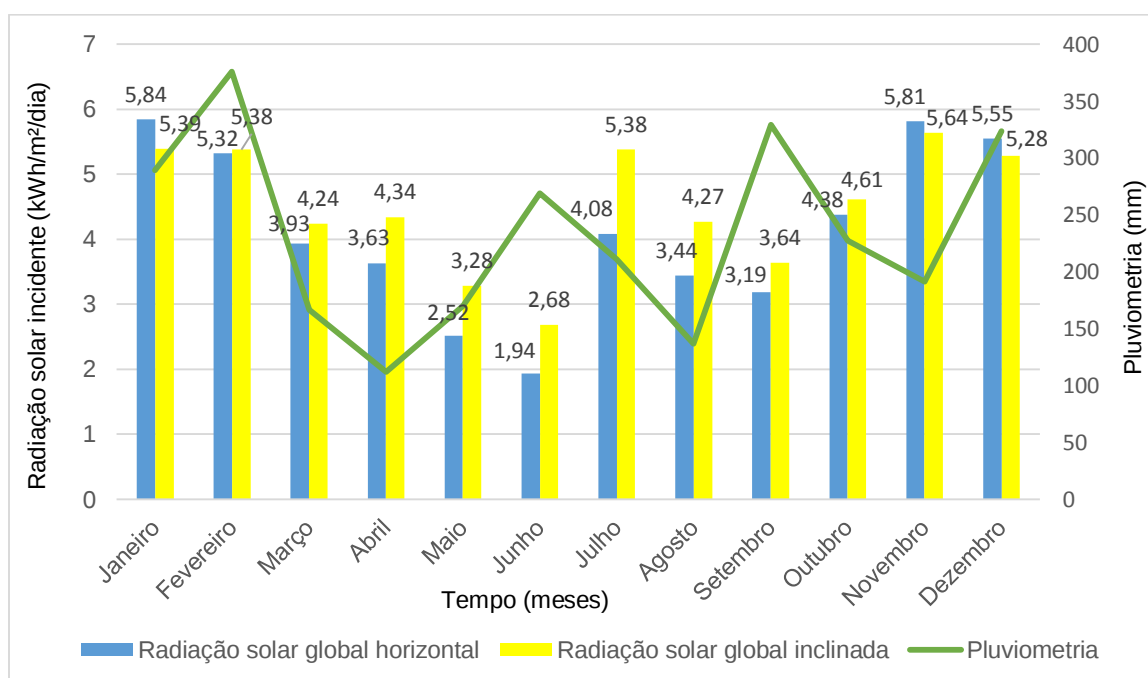
No entanto, a leitura referente a um ano tem como maior objetivo compará-la a energia gerada. Sabe-se que estas ferramentas que podem servir de parâmetro para análises e até mesmo no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, uma vez que este leva em consideração o valor médio. Sendo assim, é possível que se considere como pequena a variação apresentada, ainda mais se levado em conta a intermitência da energia solar.

Tomando como referência estes dados, verifica-se a proximidade destes, apesar de estarem um pouco abaixo, com os fornecidos pelo atlas solarimétrico, que aponta valores entre 4,7 e 4,9 kWh/m²/dia para a região e a semelhança dos valores levantados por Kaufmann (2012), cuja média anual ficou em 4,11 kWh/m²/dia para um período ininterrupto de leitura de 2007 a 2012 da mesma estação meteorológica.

O total anual de radiação solar incidente verificado pelo presente estudo foi de 1.507,74 kWh/m²/ano, valor muito próximo da média anual indicada por Akwa et al. (2013) para o período relativo a 2007 – 2012, na mesma estação hidrometeorológica, que foi de 1.502,07 kWh/m²/ano. Nessa linha, em estudos realizados em estados vizinhos, Santos; R  ther (2012) apontaram a incidência de radia  o com valores de 1.550 kWh/m²/ano em Florianópolis, SC, sendo que o estado do Paraná apresenta potencial ainda maior, com valores entre 1.600 e 2.200 kWh/m²/ano (TIEPOLO et al., 2013). Desta maneira, de acordo com Goldemberg; Paletta (2012), o retorno de investimento energético que ocorre entre 2,5 e 3 anos depois para instala  es com radia  es anuais de 1.700 kWh/m²/ano demoraria um pouco mais para ocorrer nesta região estudada.

Com rela  o a radia  o solar incidente nos painéis e aferida pelo laboratório responsável pelo monitoramento do conjunto fotovoltaico, a figura 22 traz os valores referentes a radia  o horizontal e a inclinada a 24   durante os respectivos meses, correlacionadas com auxílio do software RadiaSol. Além disso, há ainda a inser  o dos dados de pluviometria.

Figura 22 – Radia  o solar incidente no conjunto fotovoltaico e pluviometria ocorrida na cidade de Lajeado – RS



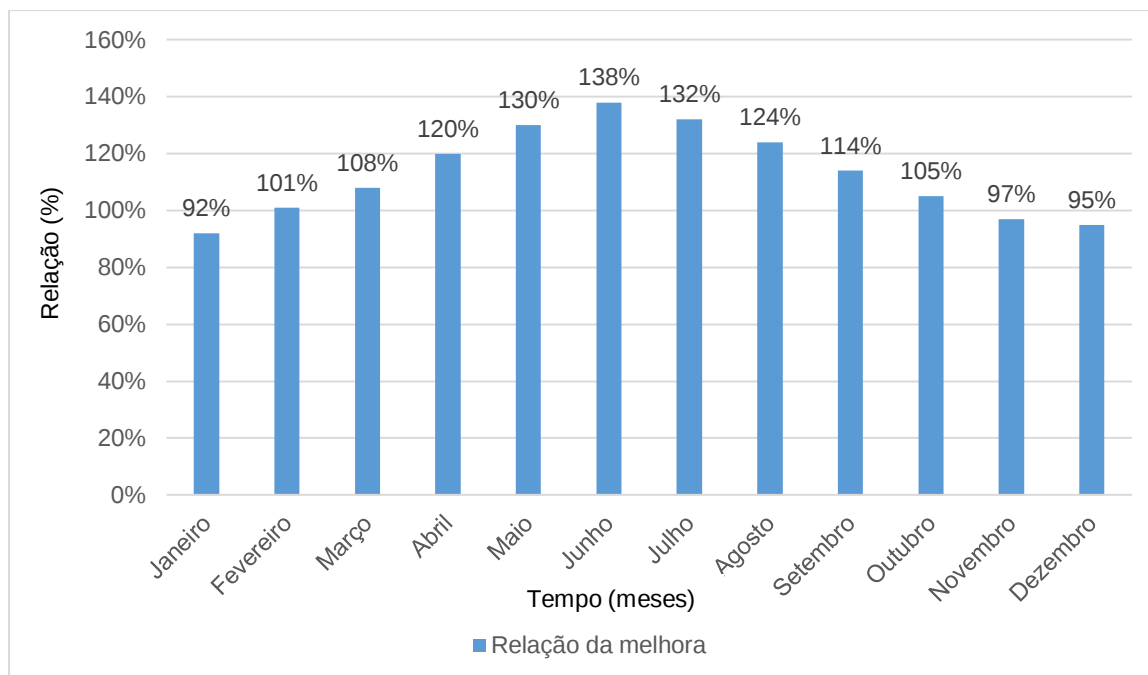
Fonte: o autor.

Como se pode visualizar na figura 22, a radiação solar inclinada incidente apresenta valores na predominância dos meses acima dos encontrados para radiação solar horizontal. Além disso, é possível perceber que a máxima radiação horizontal mensal incidente ocorreu nos meses de janeiro, novembro e dezembro, com valores de 5,84, 5,81 e 5,55 kWh/m²/dia, respectivamente. Outro ponto que pode ser destacado através desta é que quando ocorreu um aumento nas precipitações, invariavelmente a incidência de energia incidente sobre os módulos reduziu.

Por outro lado, fica explícita a grande diferença dos meses acima citados para o mês de junho, que apresentou grande volume de precipitações e, por ser no inverno, menor quantidade de horas solares. Desta maneira, a radiação solar horizontal média para o respectivo mês foi de 1,94 kWh/m²/dia, enquanto sua equivalente inclinada foi de 2,68 kWh/m²/dia, caracterizando-se assim uma melhoria 38,17% devido à inclinação de 24°. Por fim, chega-se a uma média anual diária de 4,14 kWh/m²/dia para a radiação no plano horizontal e 4,51 kWh/m²/dia para a radiação referente ao plano inclinado em 24°, com uma melhora média efetiva de 8,94%, semelhante ao verificado por Kaufmann (2012), onde fora verificado um acréscimo de 9,02% entre os valores horizontais e os inclinados.

A melhoria causada pela inclinação pode ser observada de maneira mais clara na figura 23, que explicita o quanto a inclinação acabou por otimizar o aproveitamento da radiação. Ocorreram algumas perdas durante os períodos de maior incidência, porém deve ser observado que o correto posicionamento dos módulos fixos visa obter a maior quantidade de radiação solar possível ao longo do ano. Outro fato que comprova a melhora é que 9 dos 12 meses do ano, ou seja, 75% dos meses estão acima da linha dos 100%, o que significa que a melhoria realmente ocorreu.

Figura 23 – Relação entre a radiação solar inclinada e a radiação horizontal



Fonte: o autor.

Logo, perde-se nos meses onde a radiação é mais forte, mesmo que o valor não varie tanto como seria caso as placas fossem instaladas na horizontal. Como mostrou a figura 22, o valor da radiação horizontal média incidente nos módulos varia de 5,84 kWh/m²/dia em janeiro para 1,94 kWh/m²/dia em junho, enquanto a radiação solar inclinada incidente apresenta máximos e mínimos nos meses de novembro e junho, respectivamente, com valores na casa dos 5,58 kWh/m²/dia para máximo e 2,26 kWh/m²/dia para mínimo, configurando uma perda de cerca de 8% para o período de melhor produção para um aumento de quase 40% no período de menor incidência solar.

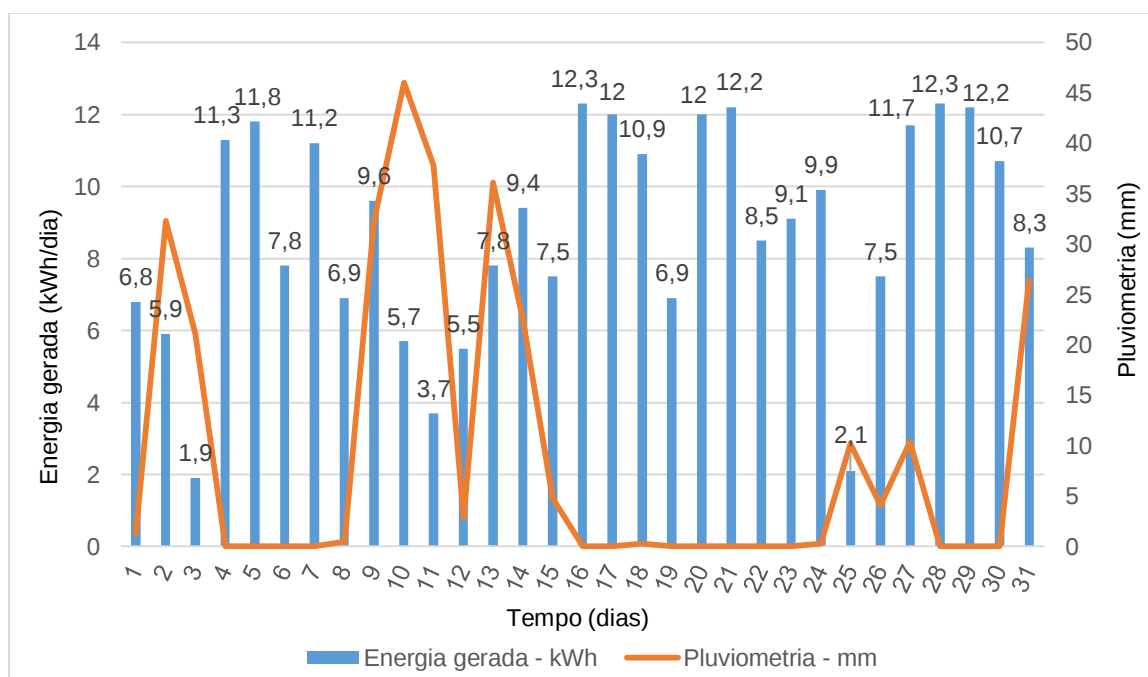
Esse fato foi observado por Akwa et al. (2013), que destacou um decréscimo de 2 a 5% para os meses de verão, contrastando com um aumento de 20 a 35% nos meses de inverno. Por fim, outro aspecto a ser apontado é o total de energia incidente ao longo do ano. Quando se refere ao posicionamento horizontal, este valor foi de 24.636,41 kWh/ano, enquanto o somatório relativo à inclinada foi de 26.888,30 kWh/ano, o que configura um aumento no montante de energia incidente de 9,14% no período.

5.2 Geração de energia elétrica

A análise da geração de energia elétrica pelos módulos fotovoltaicos instalados no prédio 17 do campus da Univates leva em consideração todos os meses do ano de 2014. Tendo realizado a apresentação dos dados de radiação solar na seção anterior, a presente visa relacionar a geração de energia com a incidência das chuvas em cada período das análises. Por fim, serão apresentados o total de energia gerada no ano e a análise da eficiência energética mensal, observando-se em quais meses a energia solar incidente foi melhor aproveitada.

A figura 24 representa a geração de energia elétrica no mês de janeiro, no qual a incidência da radiação solar, como visto na seção anterior, fora bastante abundante.

Figura 24 – Energia elétrica gerada no mês de janeiro de 2014



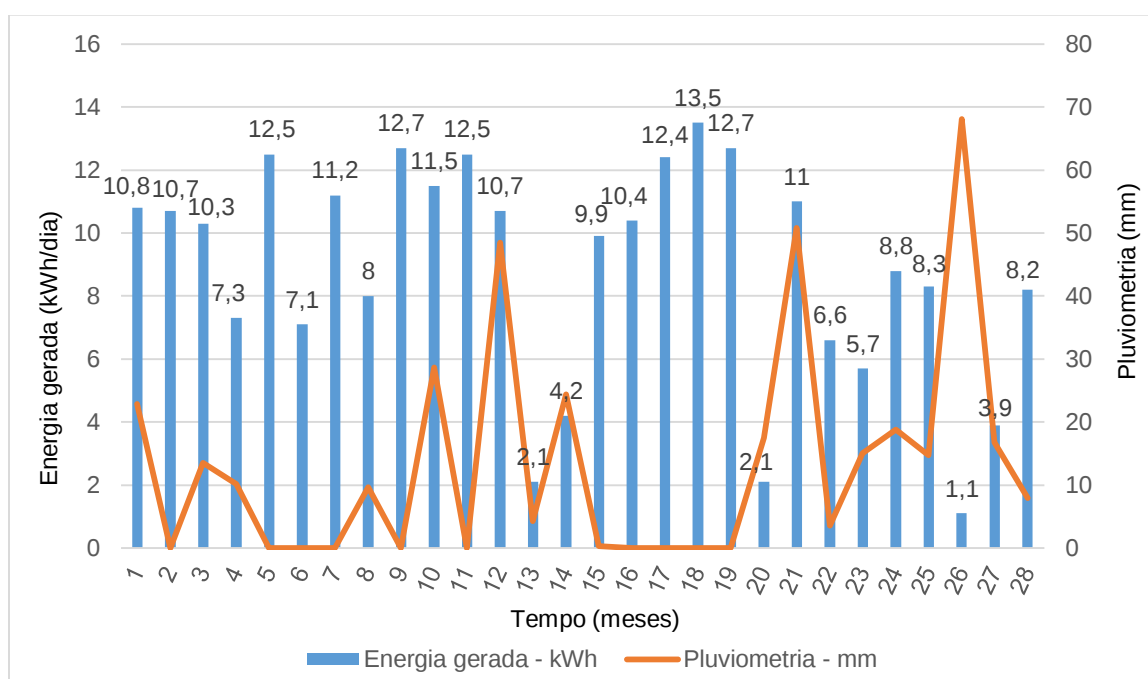
Fonte: o autor.

É possível observar, na figura 24, que a energia gerada e a pluviosidade andaram em caminhos opostos, sendo que a produção de energia aumentou quando não ocorreram precipitações. Entretanto, deve-se atentar para acontecimentos como o dos dias 1, 8 e 19, onde não choveu e a produção foi, de certa forma, pequena

quando comparada às outras, o que significa que foi um dia de baixa incidência de radiação solar, resumindo-se a um dia nublado/escuro. O dia 13 também reporta uma situação adversa, onde mesmo com mais de 35 mm de precipitação a geração de energia chegou próxima dos 8 kWh. A geração de energia neste mês foi de 271,4 kWh, o que corresponde a uma média de 8,75 kWh/dia.

A figura 25 traz a produção diária do mês de fevereiro. A mesma tendência mostrada no mês de janeiro seguiu neste, com produção de energia em alta quando das pluviometrias em baixa. Aqui, porém, a média mensal foi de 8,79 kWh/dia e, dos primeiros 20 dias do mês, apenas 6 (os dias 4, 6, 8, 13, 14 e 20) tiveram valores de geração abaixo da mesma. As exceções ficaram por conta dos dias em que, mesmo com precipitações na casa dos 50 mm, houve produção acima da média - 10,7 e 11 kWh/dia, respectivamente – para as datas de 12 e 21 do mês em questão.

Figura 25 - Energia elétrica gerada no mês de fevereiro de 2014



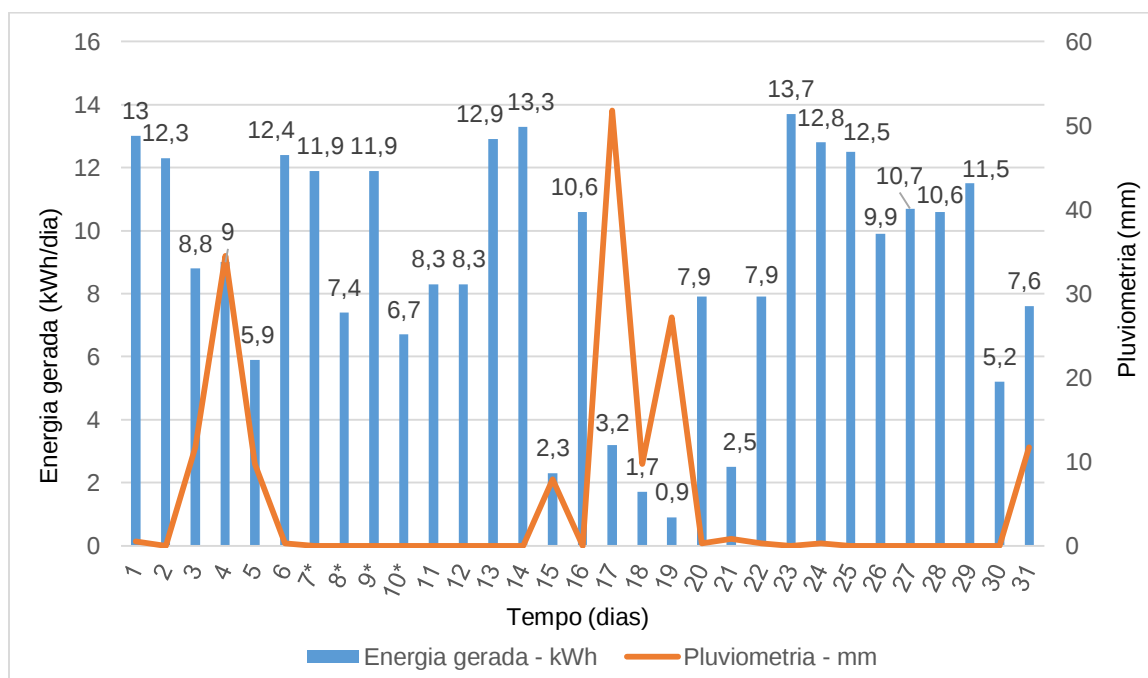
Fonte: o autor.

Essa situação pode estar atrelada ao fato da precipitação ocorrer no período do amanhecer ou do anoitecer, ficando a parte do dia com a incidência da radiação solar de maior potência, resultando então nessa situação de grande produção de

energia e volume de precipitação no mesmo dia. Com isso, a produção total mensal de energia chegou aos 246,2 kWh.

Na figura 26 estão representados os dados relativos a geração no mês de março, com uma ocorrência semelhante a situação vista no anterior. O dia 4 registrou a produção de 9 kWh de energia, coincidindo com quase 35 mm de chuva. Apesar de ter uma significativa redução na quantidade de horas com incidência de radiação solar, a produção diária ainda apresenta valores significativos, como os 13,7 kWh gerados no dia 23, chegando-se a um total mensal de 273,6 kWh, com produção média de 8,83 kWh/dia, valores que podem estar atrelados ao bom espaçamento das precipitações, tendo-se períodos de estiagem bem definidos.

Figura 26 - Energia elétrica gerada no mês de março de 2014



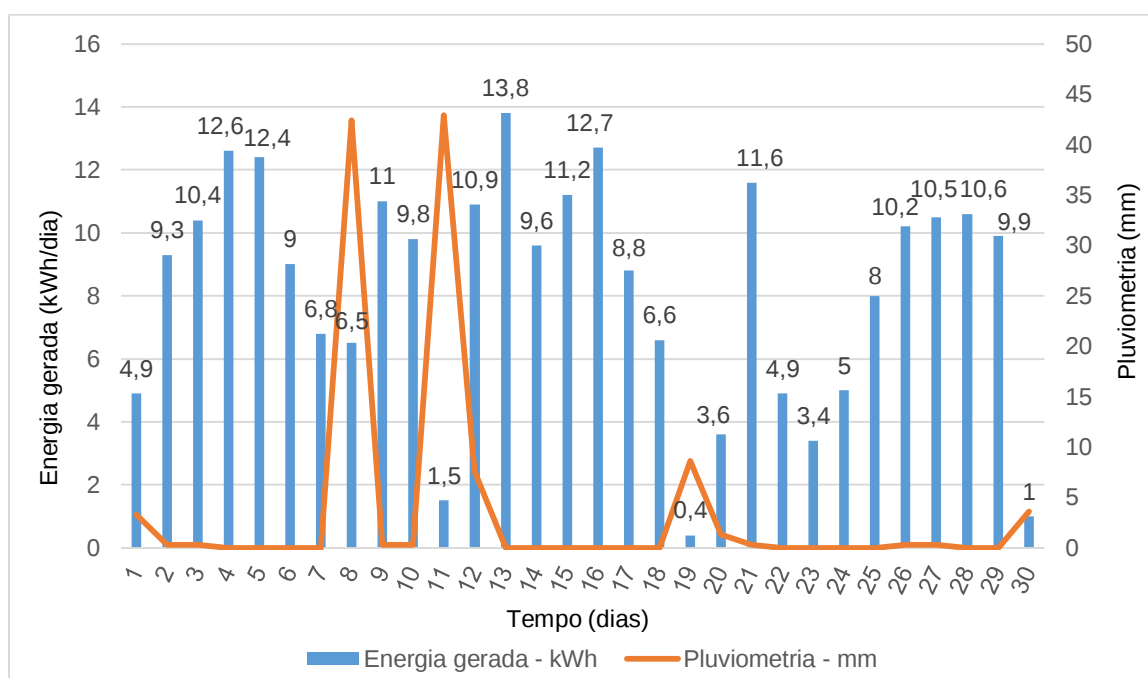
* Os equipamentos passaram por manutenção entre os dias 7 e 10. Com isso, não se obteve o registro das precipitações.

Fonte: o autor.

Vale ressaltar para os valores de alta produção ocorridos no mês, como por exemplo nos dias 1º, 14 e 23, onde foram gerados valores na casa dos 13 kWh, que expressam quase 50% a mais na produção mensal de energia.

O mês de abril é representado pela figura 27, que mostra um período com poucas precipitações e boa produção de energia. Ao contrário dos meses anteriores, em apenas uma oportunidade ocorreu considerável produção de energia e precipitação na mesma data, representada pelo dia 8. No dia 11 ocorreu precipitação de semelhante amplitude, porém com baixíssima produção de energia elétrica. Nos demais, oscilação entre dias de média e alta geração de eletricidade, como o valor mensal pico alcançado para produção diária de 13,8 kWh no dia 13, resultando uma média mensal de 8,23 kWh/dia, tendo 246,9 kWh gerados ao final do mês.

Figura 27 - Energia elétrica gerada no mês de abril de 2014



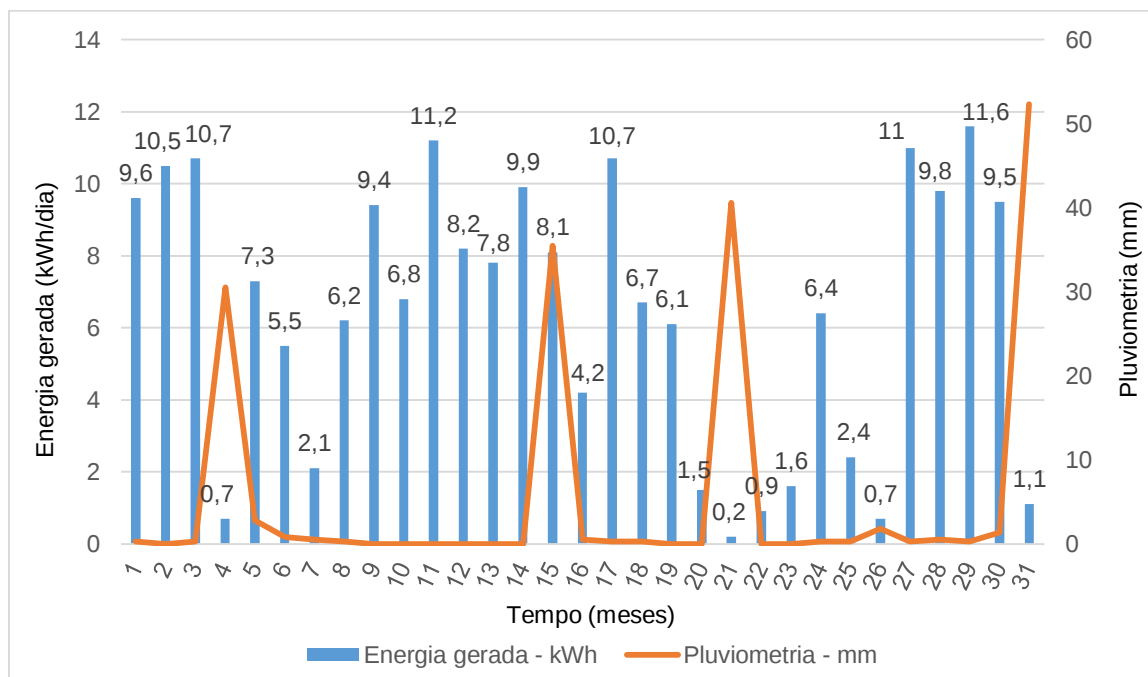
Fonte: o autor.

A produção diária de energia do mês de maio é representada pela figura 29, onde se pode perceber reduções na geração de energia na maioria dos dias. O período compreendido entre os dias 5 e 14 apresenta alternância entre consideráveis e médios níveis de produção de eletricidade, mesmo que sem a incidência de chuvas. Entre os dias 18 e 26 acontece situação mais crítica ainda no que diz respeito a geração de energia elétrica, porém com chuva no dia 21.

Outro fato que ocorrera nos meses anteriores se repete no mês de maio. O dia 15 tem registrada a produção de 8,1 kWh e precipitações de mais de 35 mm,

provavelmente relacionado a incidência de ambos em períodos diferentes. Tratando-se de valores finais mensais, a produção de energia atingiu 198,4 kWh/mês, com a pequena média de 6,4 kWh/dia, como mostra a figura 28 abaixo.

Figura 28 - Energia elétrica gerada no mês de maio de 2014

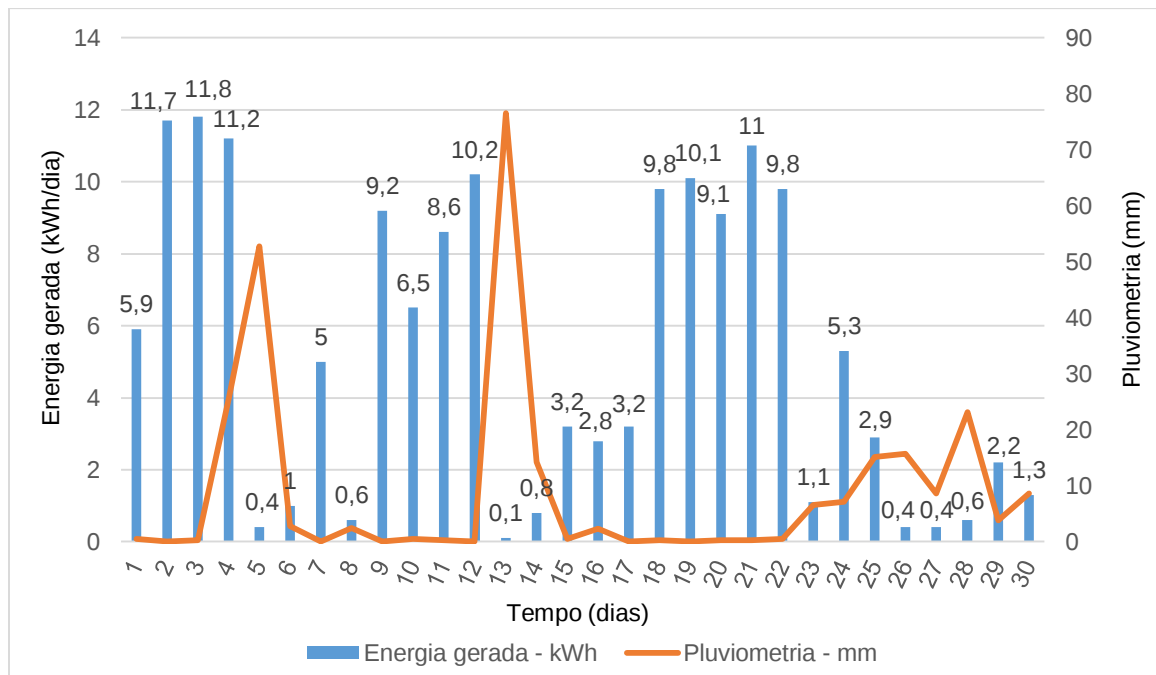


Fonte: o autor.

As condições de geração de eletricidade e precipitações referentes ao mês de junho são representadas pela figura 29. Nela explicita-se que os primeiros 20 dias do mês tem produção equilibrada, com alternância de períodos de maior produção e períodos onde, mesmo sem a presença de chuvas significativas, a geração de energia elétrica é menor.

Pode-se notar também que nos últimos 7 dias do mês a quantidade de energia gerada foi muito pequena, bem como o período de precipitações. Essa caracterização pode estar relacionada a longos períodos nublados e a baixa quantidade horas de incidência do sol durante o dia que resultou, ao final do mês, em 156,2 kWh de energia produzida, com a baixíssima média de 5,21 kWh/dia.

Figura 29 - Energia elétrica gerada no mês de junho de 2014

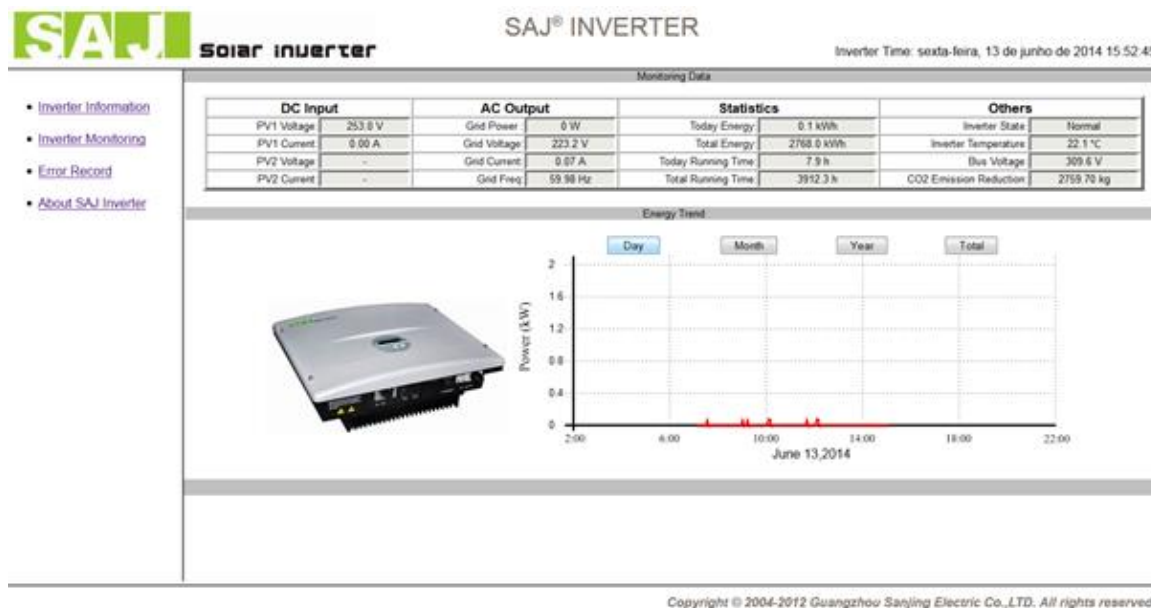


Fonte: o autor.

Sendo assim, fica possível visualizar que esse foi o mês de menor geração de energia, uma vez que em apenas 6 datas a produção superou os 10 kWh/dia, ficando na casa dos 9 kWh/dia em outras 3 oportunidades. Os demais registros mostram que o dia 13 gerou apenas 0,1 kWh, enquanto nos dias 5, 26 e 27 a produção atingiu 0,4 kWh/dia.

Por se tratar do mês de menor incidência da radiação solar, esse resultado, de certa forma, já era esperado. Contudo, a caracterização diária da produção atrelada às precipitações dá exata ideia de como se comportou a geração de energia elétrica no respectivo mês. Sabendo-se que a radiação solar aferida no dia 13 foi de 138 Wh/m², a figura 30 mostra o registro feito pelo sistema que armazena as informações da geração de energia através do inversor, transparecendo o fato de praticamente não ter ocorrido geração de energia na referente data.

Figura 30 – Produção diária de energia em 13/06/14

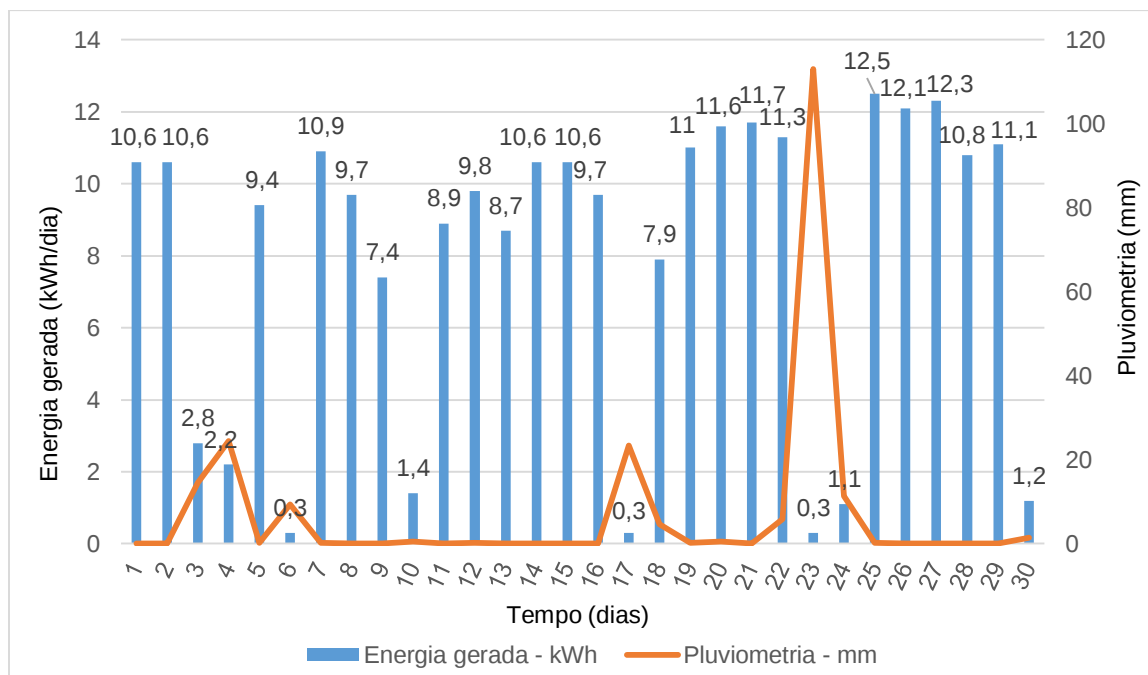


Fonte: Laboratório de Biorreatores, Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Águas e Efluentes da Univates (2014).

Com relação a quantidade de horas solares, Kaufmann (2012) aponta esse aumento médio, saltando de 10,4 horas diárias de radiação global no mês de junho para 10,6 horas no mês de junho. Pode, a princípio, representar pequena diferença, porém se for considerado que a produção mensal verificada neste estudo para o mês de maio também fora significativamente melhor do que junho, analisando a média de horas solares para o dito período encontra-se o valor de 10,8 horas. Com isso, tem-se a comprovação de que essa redução gradual de horas diárias de radiação global acaba tendo grande influência na quantidade de energia produzida, confirmando o que foi abordado por Villalva; Gazoli (2012), porém não sendo exclusivamente determinante.

A figura 31 representa o mês de julho e traz uma melhora significativa em relação ao anterior. Isso deve-se ao aumento nas horas solares diárias e ao pequeno volume de precipitações do mês, que gerou o total de 242,4 kWh de energia elétrica. Se anteriormente poucos valores ficavam acima dos 9 a 10 kWh/dia, agora poucos constam abaixo dessa faixa. Fica registrado ainda o valor de 12,5 kWh gerado no dia 25, sendo a média mensal encontrada para o respectivo mês de 7,96 kWh/dia.

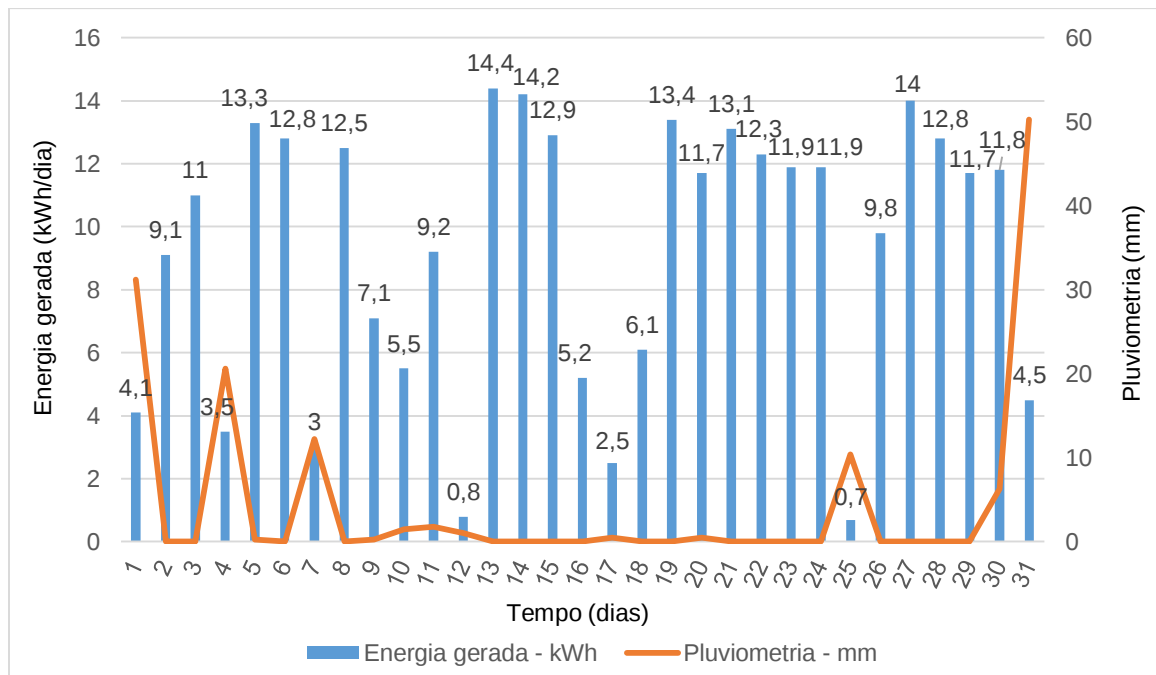
Figura 31 - Energia elétrica gerada no mês de julho de 2014



Fonte: o autor.

Os registros relativos à geração de energia do mês de agosto estão representados na figura 32. Nela é possível observar o longo período de estiagem entre os dias 13 e 24, quando foram verificados os picos de 14,4 e 14,2 kWh/dia nas respectivas datas, o que representa um valor muito bom para um período que não conta com tantas horas diárias de incidência de sol quanto os meses de janeiro (14h), fevereiro (13,3h), novembro (13,8h) e dezembro (14,2h), segundo Kaufmann (2012). Esse bom desempenho diário resultou em grande produção mensal, que atingiu o total de 286,8 kWh/mês, caracterizando uma média diária de 9,25 kWh/dia.

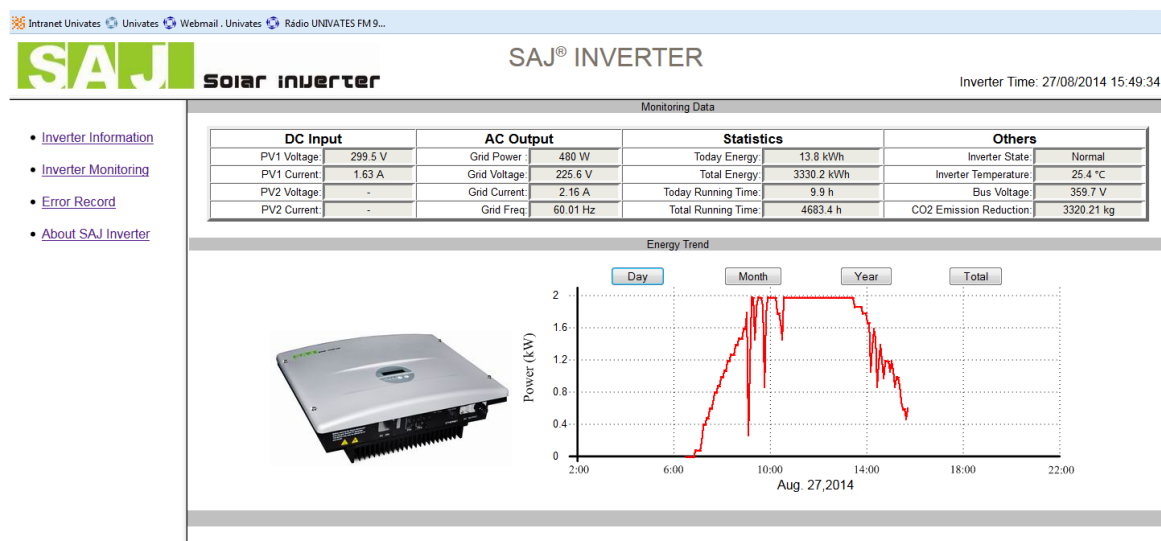
Figura 32 - Energia elétrica gerada no mês de agosto de 2014



Fonte: o autor.

A alta produção do dia 27, onde a radiação solar foi de 3,84 kWh/m² e a energia convertida foi de 14 kWh, é ilustrada pela figura 33, oriunda do software controlador do inversor, onde pode-se perceber que entre as 10 e as 14 horas houve uma produção praticamente constante de 2 kWh por hora.

Figura 33 – Produção de energia no dia 27/08/14



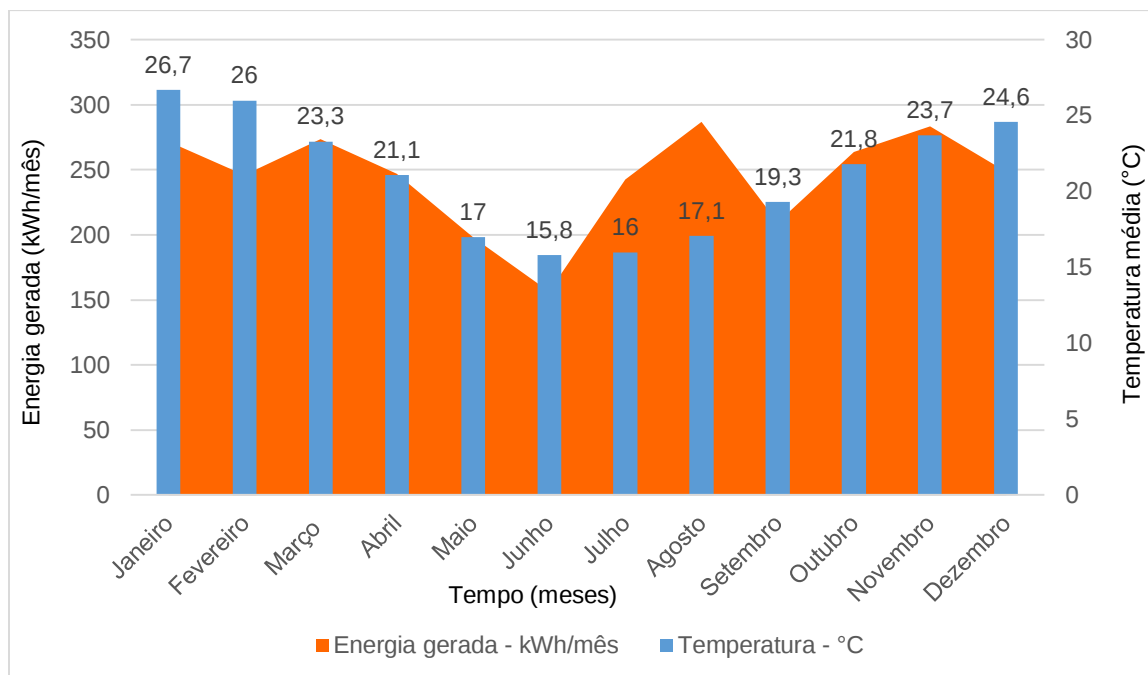
Fonte: adaptado pelo autor com base em Laboratório de Biorreatores, Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Águas e Efluentes da Univates (2014).

Outro fato que pode ter ajudado nesse aumento da produção é a temperatura média associada às poucas precipitações que ocorreram no mês. Para os meses de maior incidência da radiação solar a temperatura também é maior, o que acaba por provocar o aquecimento excessivo dos painéis, além dos períodos chuvosos bloquearem a passagem da radiação solar, prejudicando a produção de eletricidade.

Os valores acima encontrados, relativos a produção diária de agosto, são inferiores aos verificados por Kaufmann (2012), que para as leituras realizadas entre os dias 16 e 24 agosto de 2012 encontrou uma produção média de 11 kWh/dia, bem acima dos 9,25 kWh/dia no mês verificado por este estudo. Contudo, sabe-se que a produção final é o que realmente importa quando se trata desta fonte de energia e que essa variação é natural em virtude da intermitência da energia solar.

Como se pode perceber na figura 35 abaixo, a temperatura média não influenciou tão diretamente na produção total de energia. Embora abordado por Zilles et al. (2012) e ilustrado pela figura 9, para a faixa de variação encontrada no presente trabalho, essa tendência não se apresentou de maneira direta e fundamental, uma vez que ocorrem variações de queda e aumento de produção independentemente da temperatura média ter aumentado ou reduzido.

Figura 34 – Relação entre a energia gerada e a temperatura média no ano de 2014



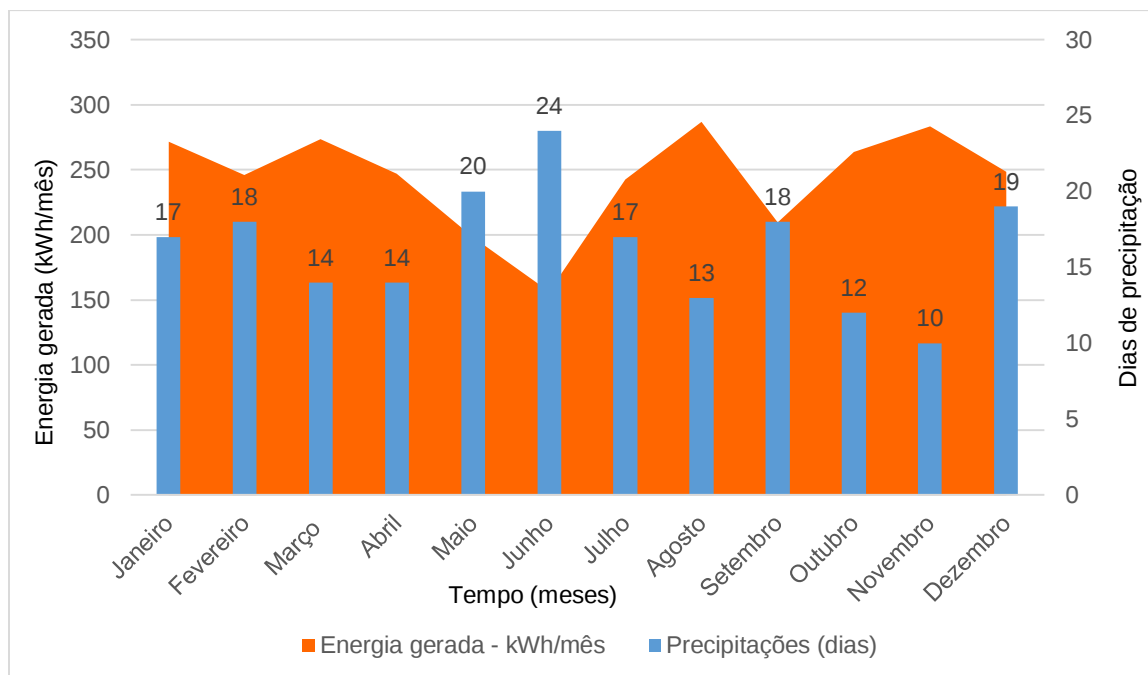
Fonte: o autor.

No entanto na figura 35, onde foram relacionados os fatores da produção de energia e dos dias de precipitação do mês, ocorre uma perceptível interferência das precipitações na produção de eletricidade. Analisando-se esse critério, percebe-se que a queda de janeiro para fevereiro coincidiu com o aumento de um dia de precipitação no segundo mês, mesmo que este tenha 3 dias a menos que o primeiro, porém com geração média semelhante.

Além disso, a mesma ainda mostra a tendência da queda de produção de março até junho, onde ocorreu o salto de precipitações de 14 para 24 dias. Em seguida, tem-se a melhora nos dois próximos meses, onde choveram 17 e 13 dias, respectivamente, para julho e agosto. A queda apontada neste trabalho para o mês de setembro fica aqui atrelada ao aumento de 5 dias chuvosos no respectivo mês.

Por fim, (figura 35) mostra que a tendência permaneceu e nos dois meses seguintes houve aumento na produção de energia e redução nos dias de precipitação, com respectivas 12 e 10 datas com chuva para os crescimentos em outubro e novembro. Para fechar o ano, a queda apresentada mais uma vez coincidiu com o aumento de dias com incidências pluviométricas que, neste caso, chegou a 19 datas.

Figura 35 – Relação entre a energia gerada e os dias de precipitação no ano de 2014

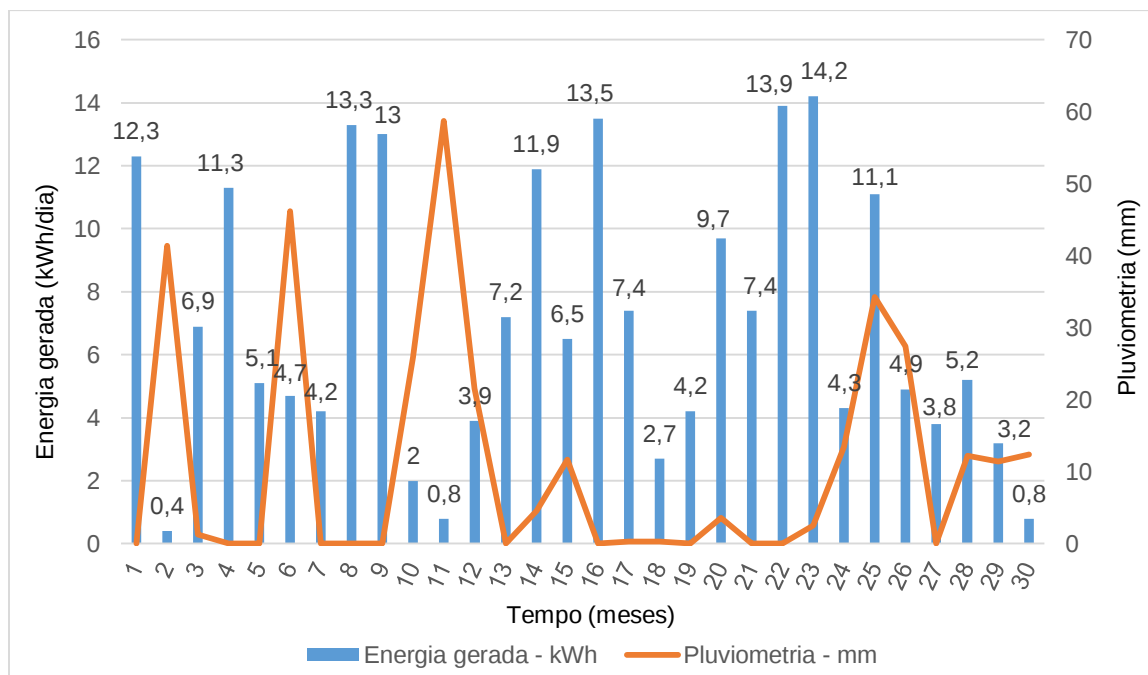


Fonte: o autor.

Sendo assim, a análise das figuras 34 e 35 mostrou haver uma forte relação entre os dias de chuva em um período e a redução da produção de energia, de maneira que na análise do total gerado correlacionado a temperatura média não expressou essa diferença, ainda que seja o principal fator apontado como redutor de direta alteração. Independentemente do volume, o fato da queda pode estar relacionado aos períodos nublados, às precipitações distribuídas ou a ocorrência de boas produções de energia quando das chuvas concentradas. Contudo o fato ocorrido foi que, quando choveu, reduziu a produção. Do ponto de vista da temperatura, as altas acabam por influenciar na produção diária, dificultando assim sua visualização quando da análise mensal.

Para representação dos dados registrados no mês de setembro utiliza-se a figura 36. Nela tem-se uma mescla de dias de alta e baixa geração de energia, apresentando em algumas datas a ocorrência de grandes precipitações, sem que se possa indicar períodos com uma tendência específica clara. As precipitações, por exemplo, foram abundantes no mês, com incidência concentrada na primeira quinzena.

Figura 36 - Energia elétrica gerada no mês de setembro de 2014

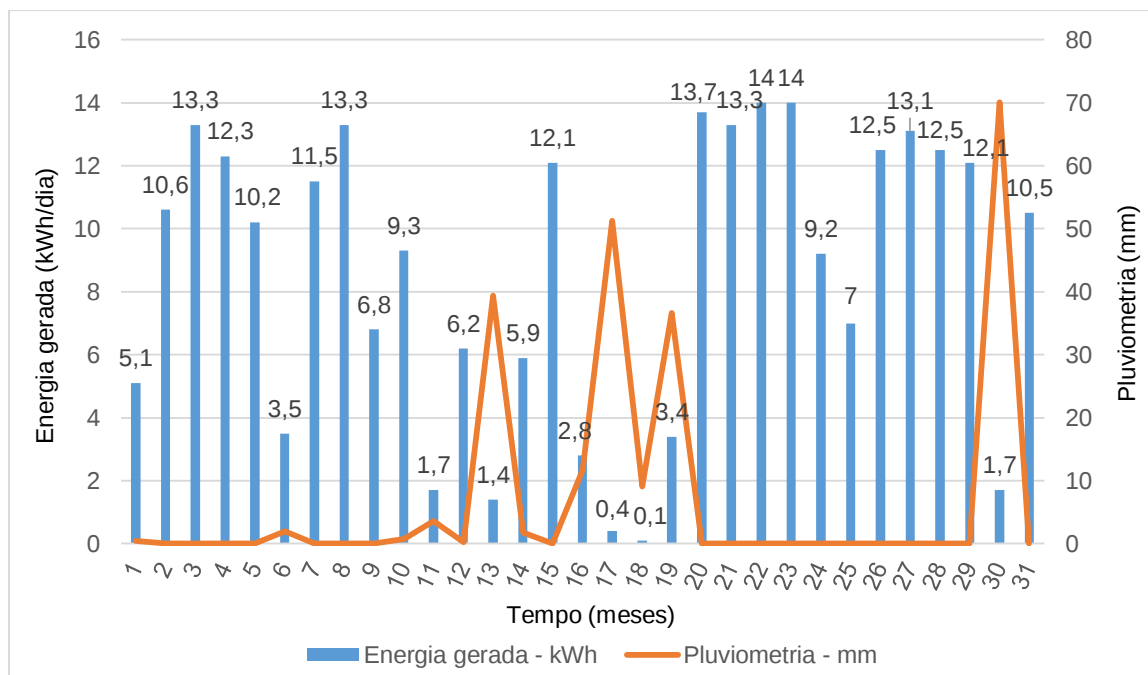


Fonte: o autor.

Vale ressaltar nos dias 22 e 23, onde a geração de energia registrou respectivos 13,9 e 14,2 kWh/dia, valores que tiveram semelhança com outras três datas que também apresentaram números superiores aos 13 kWh/dia. Por outro lado, os dias 2, 8 e 30 tem destaque pelos baixos valores produzidos, com 0,4 e 0,8 kWh/dia para as duas últimas, respectivamente, resultando em uma produção mensal final o valor de 209,8 kWh, apresentando uma baixa média de 6,99 kWh/dia.

O mês de outubro apresentou concentração das precipitações entre os dias 10 e 20, tendo a geração de energia atingido maiores valores no período entre os dias 20 e 29. Destes, apenas os dias 24 e 25 tiveram valores abaixo dos 10 kWh/dia, estando os demais acima dos 12 kWh/dia, como mostra a figura 37.

Figura 37 - Energia elétrica gerada no mês de outubro de 2014

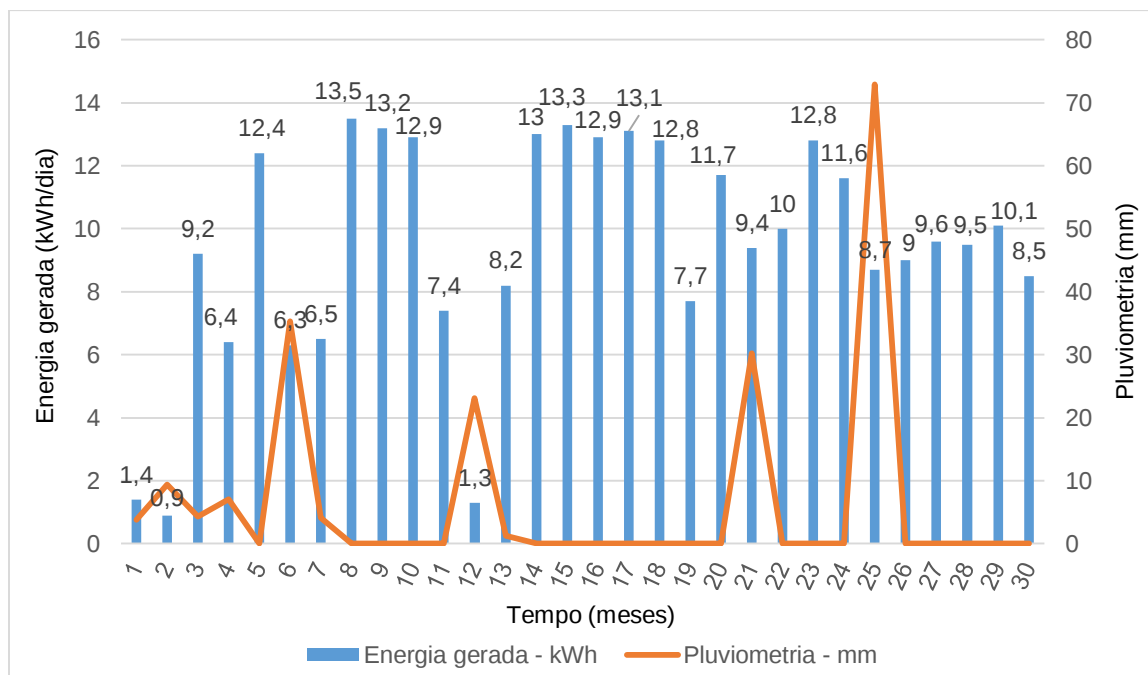


Fonte: o autor.

No geral, pode-se julgar que o mês de outubro, teve significativa melhora quando comparado ao mês de setembro, apresentando 15 datas com valores inferiores a 10 kWh/dia e 16 que ultrapassaram essa marca, chegando-se em dois dias consecutivos ao pico de 14 kWh. Como resultado, ao final do mês atingiu-se a média de 8,5 kWh/dia e a produção total mensal de 263,5 kWh.

Seguindo a linha de aumento na produção mensal de energia, a figura 38 representa a geração de energia no mês de novembro. Nela pode-se perceber que houveram maiores períodos de geração acima dos 12 kWh/dia, como entre os dias 8 e 10 e entre 14 e 18 do respectivo mês. Porém, ocorreu um grande volume de precipitações no dia 25, o que causou uma queda na geração diária. No final do mês, o total de energia gerada foi de 283,3 kWh, uma média de 9,44 kWh gerados diariamente.

Figura 38 - Energia elétrica gerada no mês de novembro de 2014

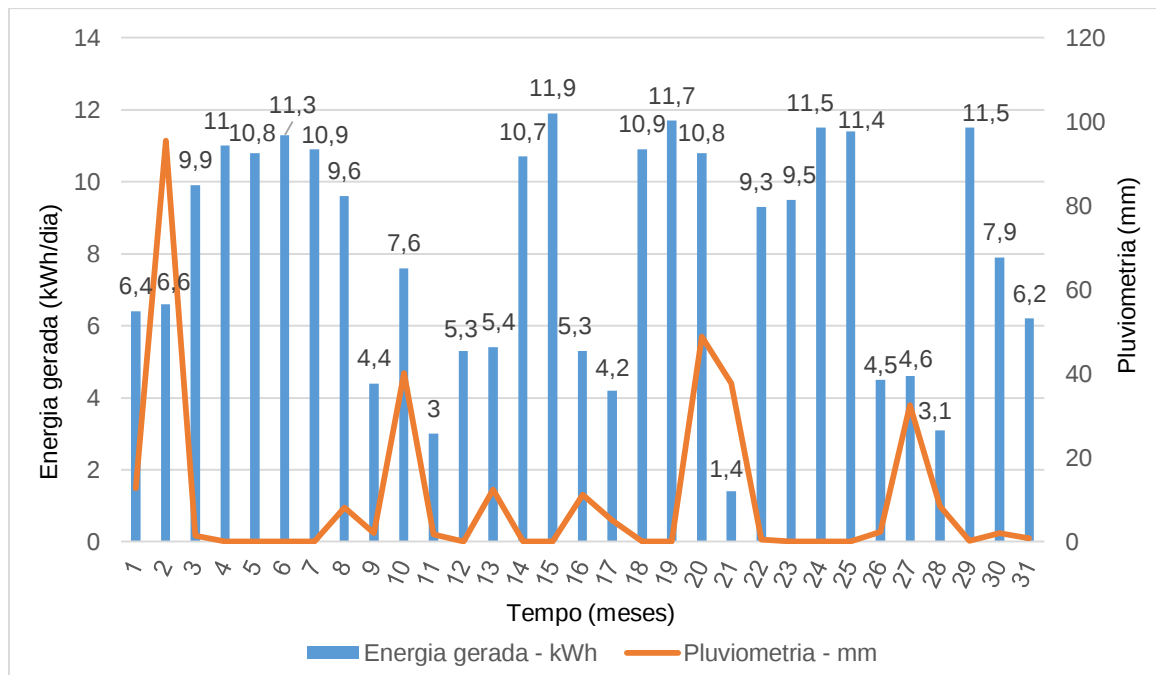


Fonte: o autor.

Outro fato que ocorreu neste mês foi a incidência de uma considerável geração de energia na mesma data onde ocorreu bom volume de precipitações. Este exemplo se refere ao dia 25, onde gerou-se 8,7 kWh e a pluviosidade registrada ficou acima dos 70 mm.

A figura 39 traz a produção no mês de dezembro, um dos meses de maior radiação solar incidente. Devido as altas temperaturas e ao grande número de dias com precipitação, a geração de energia ficou aquém do que se poderia esperar, onde teve-se menos energia produzida quando comparado a outros meses do mesmo ano, uma vez que a média no respectivo mês foi de 8,02 kWh/dia, com produção total de 248,6 kWh/mês, o que o torna inferior aos dois meses anteriores.

Figura 39 - Energia elétrica gerada no mês de dezembro de 2014



Fonte: o autor.

É possível observar que as precipitações foram bastante espaçadas, tendo maior volume somente no dia 2, com valores acima dos 80 mm. Com isso, períodos entre os dias 9 e 13 e entre 26 e 28 registraram baixa geração de energia, mesmo com o pequeno volume de precipitações, ratificando o que foi anteriormente verificado com relação interferência das chuvas, mesmo que de pequena intensidade, na geração de energia elétrica.

Outro aspecto relevante é a relativa baixa produção de energia. O mês de agosto, como na figura 32, registrou 14 kWh/dia de geração para 3,84 kWh/m² de radiação solar incidente. No dia 6 de dezembro, registrou-se 8,36 kWh/m² desta para uma produção de 11,3 kWh/dia, caracterizando quase 20% menos com mais do que o dobro de energia incidente, confrontando-se com o que fora afirmado por Akwa *et al* (2013), que trouxe que os momentos com alta geração solar são coincidentes com aqueles momentos de alta geração de energia. Contudo, pontualmente confirma-se que quando do aumento das temperaturas a produção diminui.

5.2.1 Síntese da produção de energia

Em detrimento da análise mensal resultar em um extenso conteúdo, a presente seção tem como objetivo trazer uma síntese com os dados referentes a produção de energia dos módulos fotovoltaicos objetos deste estudo.

Com isso, tem-se a Tabela 5 representando o total de energia gerada mensalmente pelos painéis fotovoltaicos objetos deste estudo. Nela percebe-se que em alguns meses, onde a radiação solar não está entre as mais potentes do ano, teve-se destacada produção de energia, como em agosto e em março, por exemplo, chegando-se a uma média mensal anual de 243,93 kWh/mês.

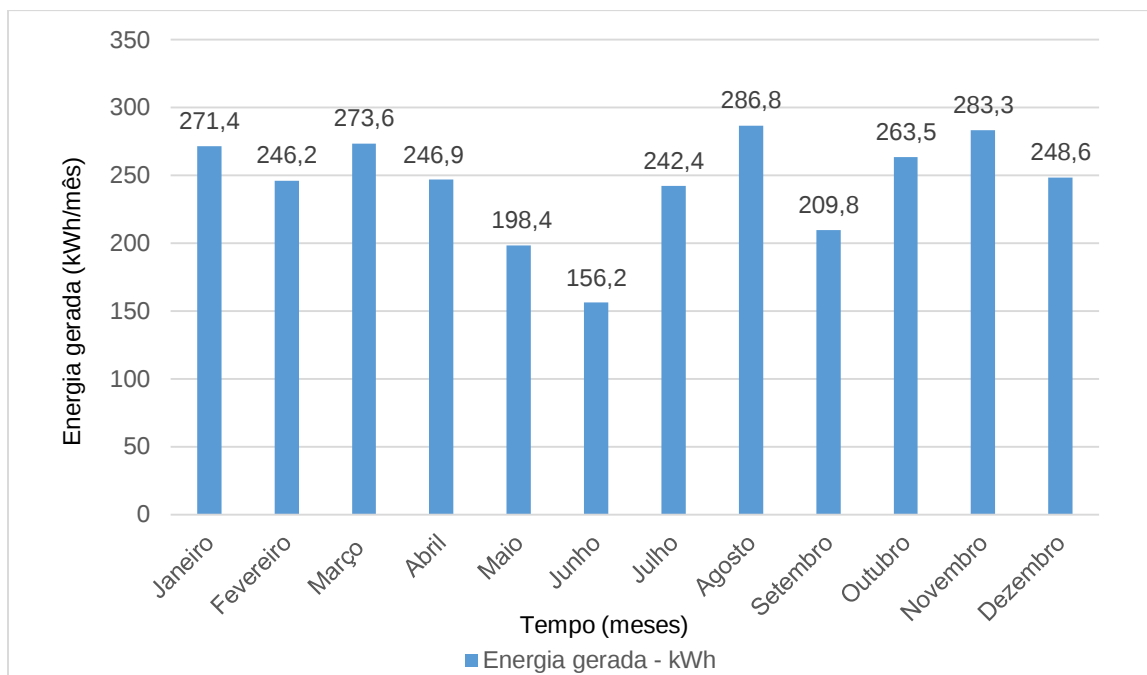
Tabela 5 – Valores totais e médios de energia gerada pelos módulos em 2014

<i>Mês</i>	<i>Total de energia gerada (kWh/mês)</i>	<i>Média de energia gerada (kWh/dia)</i>
Janeiro	271,4	8,75
Fevereiro	246,2	8,79
Março	273,6	8,83
Abril	246,9	8,23
Maiο	198,4	6,4
Junho	156,2	5,21
Julho	242,2	7,96
Agosto	286,8	9,25
Setembro	209,8	6,99
Outubro	263,5	8,5
Novembro	283,3	9,44
Dezembro	248,6	8,02
Geração média	243,93	8,03

Fonte: o autor.

Para fins de representação visual, a distribuição da energia gerada no ano, ao longo dos meses é representada pela figura 40. Nela percebe-se a direta relação com a figura 20, da seção 5.1, referente à radiação solar global horizontal incidente na cidade de Lajeado, RS.

Figura 40 – Energia gerada pelos módulos ao longo do ano de 2014



Fonte: o autor.

As representações da Tabela 5 e da figura 40 trazem alguns itens importantes a serem destacados. Os dois primeiros meses seguiram a tendência apresentada na seção 5.1, com a incidência da radiação solar decrescendo do mês de janeiro para o mês de fevereiro. Porém, essa queda foi interrompida pela elevada produção de energia ocorrida no mês de março, com valores que ultrapassaram até mesmo o mês de janeiro, ainda que este tenha apresentado radiação solar inferior apenas a novembro.

Em seguida, tem-se a queda esperada para os meses seguintes, formando salto expressivo do mês de junho para o mês de julho, saindo dos 156,2 kWh/mês para 242,4 kWh/mês, o que expressa um crescimento de 55,19%. A crescente continua e atinge, então, o mês de maior produção anual, referente ao mês de agosto, com a produção mensal total de 286,8 kWh.

A linha ascendente volta a decrescer com considerável queda no mês de setembro, mesmo que tenha se mantido acima dos 200 kWh/mês, com média diária de 6,99 kWh/dia, inferior ao aferido por Kaufmann (2012), cuja média mensal para o período fora de 8 kWh/dia. A produção mensal volta a crescer posteriormente até o

mês de novembro, com a maior média de produção diária (9,44 kWh/dia), cuja excelente produção ultrapassou dezembro, com 283,3 kWh contra 248,6 kWh mensais.

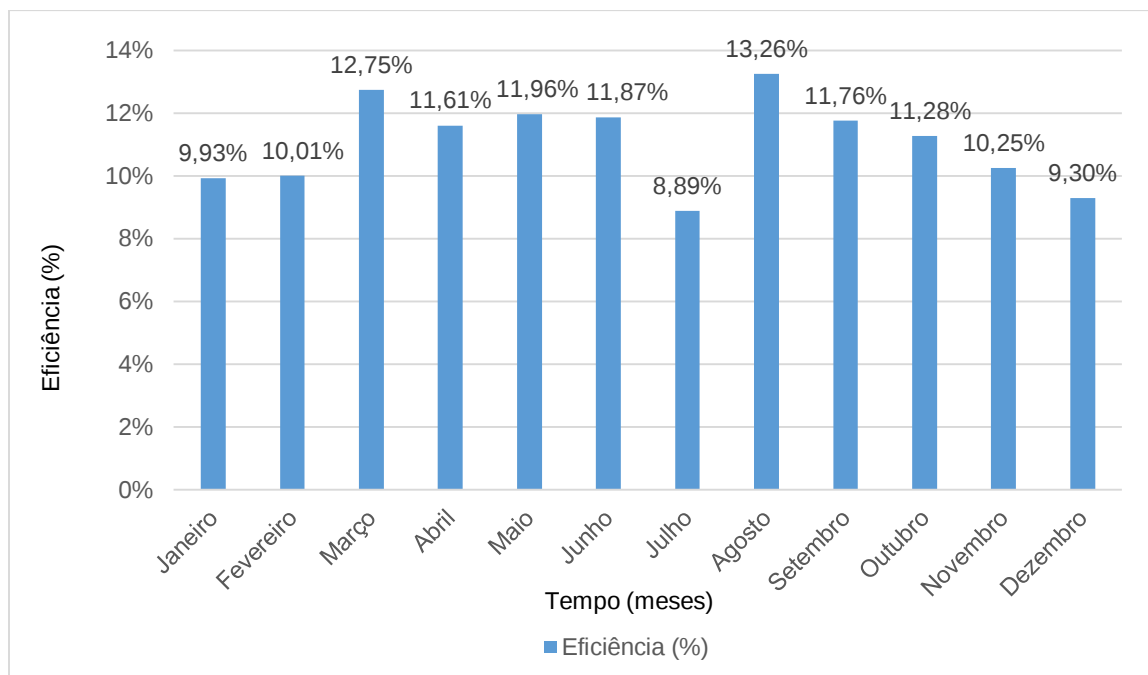
Estes resultados diferem do que fora afirmado por Akwa et al. (2013), uma vez que sua estimativa era de geração entre 250-300 kWh/mês, ratificado pela média de 243,93 kWh/mês.

Pode-se também extrair a quantidade total de energia que foi gerada pelos painéis ao longo do ano de 2014. A energia convertida pelos 16,34 m² de módulos fotovoltaicos durante esse período foi de 2.927,10 kWh, ou seja, quase 3 MWh no ano.

5.3 Eficiência

A presente seção trata sobre a razão entre o que se poderia esperar pelos valores de radiação solar registrados e apresentados na seção 5.1 deste trabalho e a energia que de fato foi convertida, abordada ao longo da seção 5.2. É denominada a eficiência de conversão energética e expressa a relação entre a quantidade de energia solar que incidiu nos módulos fotovoltaicos e a quantidade de eletricidade gerada, respeitando as condições reais de trabalho dos painéis. A figura 41 representa a eficiência mensal da conversão energética dos painéis no período, cuja média foi de 11,07%.

Figura 41 – Eficiência energética dos painéis fotovoltaicos da Univates



Fonte: o autor.

Fazendo-se a análise da figura 41, contempla-se a compreensão dos dados mensais de geração de energia acima apresentados. Sendo assim, a crescente produção que ocorreu do mês de fevereiro para o mês de março fica diretamente relacionada ao alto aumento que a eficiência energética teve no respectivo período.

Outro fator que é notável é a manutenção da eficiência acima dos 11,5% durante os meses de março, abril, maio e junho. Contudo, do último para julho teve-se queda acima dos 25% na eficiência, chegando a singelos 8,89%, evidenciando que se a mesma tivesse sido mantida, obviamente a produção teria sido ainda melhor, devido ao fato da oferta de energia solar no respectivo mês ter superado em considerável quantia os 4 meses anteriores e os 2 seguintes.

O mês de agosto foi o mês de maior geração de energia e o que maior eficiência apresentou, com 13,26%. Sendo assim, a eficiência comercial de 14,1% (AKWA et al., 2013), não foi atingida em nenhum momento, assim como a trazida por Lopez (2012) para os módulos policristalinos, apresentada na Tabela 4. Esse fato pode estar relacionado a um posicionamento incorreto ou a ocorrência de sombreamento, que alteram diretamente o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos.

O INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – tem um programa chamado de Programa Brasileiro de Etiquetagem, onde faz a avaliação da qualidade dos mesmos. Sendo assim, lançou na segunda metade de 2014 uma tabela de classificação de acordo com a eficiência energética dos módulos fotovoltaicos (INMETRO, 2015).

De acordo com as informações trazidas no manual de eficiência, a classificação do módulo utilizado no presente trabalho é A, com eficiência de 14,1% e produção média de energia de 28,76 kWh/mês. Sabendo-se que o conjunto é composto por 10 módulos, a tendência seria de uma produção média mensal de 287,6 kWh/mês, valor que praticamente foi atingido no mês de agosto, no qual a eficiência também chegou perto da grandeza atribuída aos mesmos.

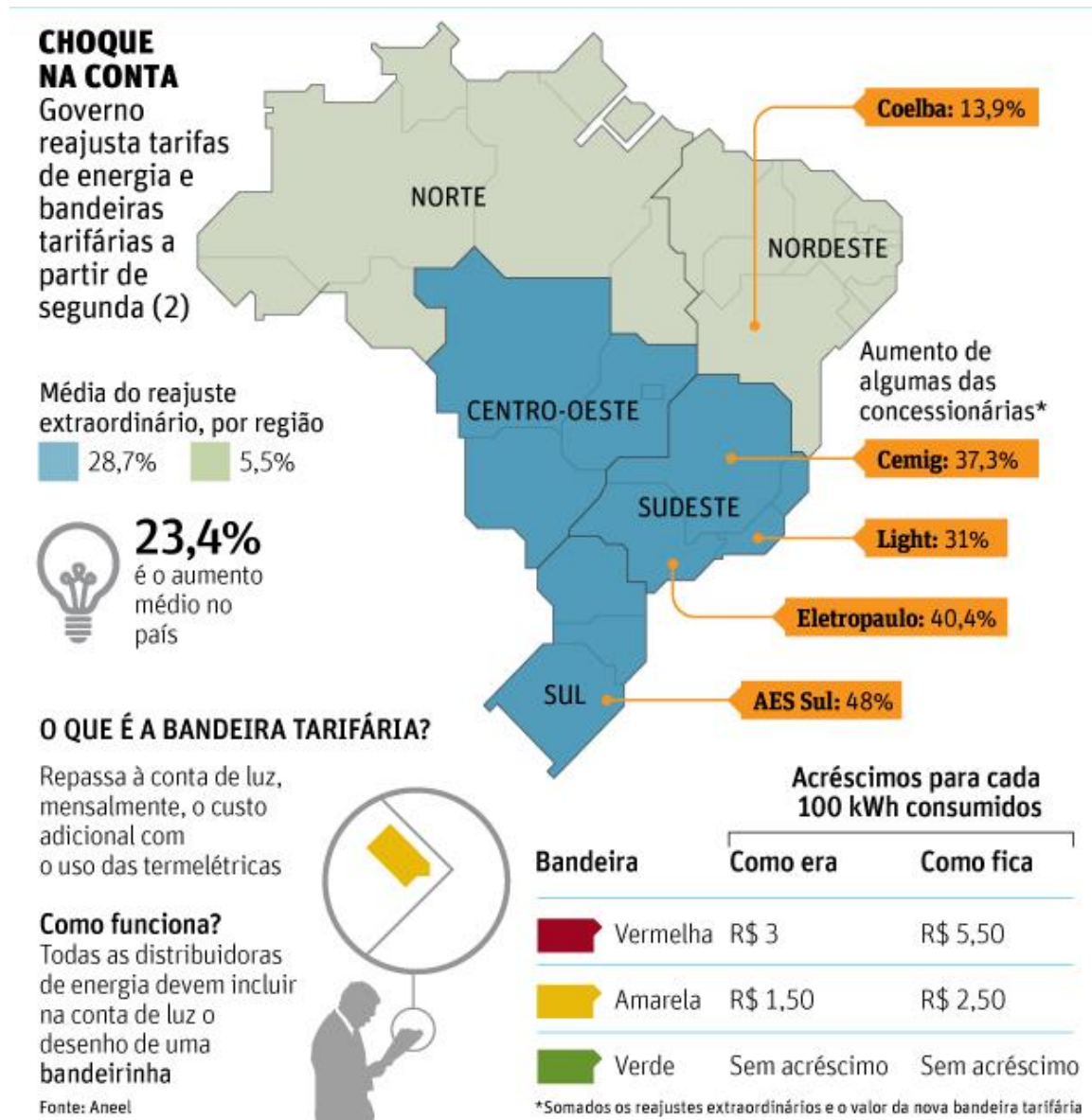
É importante que se ressalte que um possível estudo quanto a um novo posicionamento desses painéis poderia trazer um aumento na produção de energia, uma vez que se em apenas 1 dos 12 meses do ano os valores medidos pelo INMETRO foram alcançados, significa que algumas ocorrências estão em desacordo com o bom funcionamento do conjunto. Estas podem estar sendo provocadas por sombreamento, posicionamento errado ou até mesmo pela instalação em local inadequado.

Embora não esteja entre os objetivos traçados pelo presente estudo, o tempo de retorno do investimento sempre é um dos primeiros aspectos a serem abordados quando o assunto é a energia solar fotovoltaica é tratado. Aqui não se fazem abordagens mais profundas pelo fato da análise do tempo necessário para que o valor investido retorne levar em conta muitas variáveis, de diferentes áreas, como o custo do capital investido, os que compõem os valores de geração e distribuição de energia, gerando consequentemente um instável valor cobrado do consumidor final.

Neste âmbito, pode-se citar dois fatos ocorridos nos últimos três anos. Em janeiro de 2013, enquanto o restante do mundo aplicava correções baseadas no aumento das tarifas, o governo brasileiro tomou uma atitude contrária e baixou os custos para os consumidores residenciais, em no mínimo 18%, podendo chegar para os de alta tensão a até 32% (ANEEL, 2013). Na sequência, foram aplicadas correções positivas nos demais períodos. Porém, no início do ano de 2015, foram anunciados reajustes que chegaram aos 48% para uma das fornecedoras do estado, como mostra

a figura 42, e que atende a parte da população da cidade de Lajeado, RS, concretizando elevada alta na conta de energia elétrica dos brasileiros.

Figura 42 – Aumento na tarifa de energia elétrica pelo Brasil



Fonte: Borba (2015).

Sabendo-se que a análise direta de investimentos leva em conta uma taxa de atratividade, ou seja, que se comprove que empregar o dinheiro em algo que realmente seja vantajoso financeiramente em detrimento de fundos de poupança ou aplicações, por exemplo. Para uma análise direta, pode-se lançar o seguinte

questionamento: “quantos investimentos dariam retorno certo de 48% de um mês para o outro?”.

Este é um cenário possível na aplicação fotovoltaica, levando-se em conta que a taxa de atratividade seja amortizada pelos aumentos anuais ocorrentes nos reajustes tarifários de eletricidade, restando como grande atrativo financeiro o alto custo de compra de energia que, para estas aplicações, seria amortizado pela produção própria de energia.

Outra maneira de estimar essa variável tão importante para os investidores é tomar como exemplo um sistema fotovoltaico comercializado por uma empresa que atende o mercado local, em uma cidade vizinha. A mesma oferece um sistema que gera 375 kWh/mês, dotado de módulos, inversores, projeto, ART, instalação e estrutura de fixação por R\$ 22.200,00.

Tomando como base o valor médio cobrado pelo kWh, referente ao mês de junho de 2015, que é de R\$ 0,75, variando entre R\$ 0,65 a R\$ 0,85, chega-se a necessidade de geração de 29.600 kWh (2,96 GWh). Como o sistema abordado no parágrafo acima gera 4.500 kWh por ano, o tempo de retorno para essa situação seria de 6 anos e 7 meses, aproximadamente.

Essas rápidas considerações sobre o retorno de investimento não são uma análise aprofundada, deixando-se aqui o registro da possibilidade e necessidade de um estudo que abranja todas as variáveis envolvidas no processo. Contudo, busca incentivar e mostrar para os investidores e interessados no assunto que o sistema é, atualmente, viável economicamente, uma vez que sua vida útil anunciada de 25 anos vem aumentando, chegando-se a 30 anos, como os divulgados pela empresa responsável pela instalação de 1.000 módulos sobre os prédios 20, 21 e 22 do Centro Universitário Univates.

Dentro deste foco de atração de investimentos, o MME publicou no dia 17/03/15 a Portaria nº 70, que define as diretrizes para o leilão de contratação de energia de reserva, com início de suprimento em 1º de novembro de 2018. São válidas para este, que visa alimentar o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) apenas as fontes solar fotovoltaica e eólica, comprovando o foco do país sustentar cada vez mais a sua matriz energéticas em fontes limpas e renováveis de energia. Esse fato tende a

aumentar a oferta da tecnologia em território nacional, baixando os respectivos custos dos equipamentos, por consequência.

6 CONCLUSÃO

A energia solar fotovoltaica está se caracterizando como uma alternativa real e viável para a geração de energia. Apesar da pequena difusão da tecnologia em território nacional, a grande adesão de países como a Alemanha, China, Japão, Itália e Estados Unidos fazem com que se credencie e se concretize entre as fontes de energia utilizadas no país.

Sendo assim, pode-se afirmar que o presente estudo é de grande valia por apresentar dados reais detalhados da geração de energia de um sistema fotovoltaico instalado na cidade de Lajeado, RS, além da verificação da radiação solar, referentes ao ano de 2014.

Quanto a radiação solar, foram alcançados resultados satisfatórios e próximos, dentro de fontes com precisão e abrangência bastante diferentes, avalizando que os dados medidos localmente aproximam-se daqueles que são fornecidos por programas através de interpolações, comprovando sua confiabilidade. Sendo assim, considera-se que os dados apresentados podem ser utilizados como parâmetros em trabalhos futuros que abordem e disseminem a pesquisa nesta área.

A produção de energia elétrica detalhada trouxe a possibilidade da realização da análise diária, de cada mês, confrontando-se a radiação solar e a pluviometria com a produção dos módulos. Com isso, averiguou-se que houve meses onde, mesmo com alta taxa de radiação solar, a energia gerada foi inferior a de outros com índices inferiores, estando os períodos de pluviometria diretamente ligados às quedas de produção de energia. No final, chegou-se ao total de 2.927,1 kWh produzidos pelos

16,34 m² de módulos fotovoltaicos no ano de 2014, representados por uma média mensal de 243,93 kWh.

Essa relação foi explicada pela eficiência dos módulos, cujo valor máximo ficou nos 13,26% apresentados em agosto. No período estudado, a ocorrência de eficiências acima da média ocorreu 7 vezes tendo, por outro lado, o mês de julho com destaque negativo, alcançando apenas 8,89%. Apesar de tudo, a eficiência média atingida foi de 11,07%, caracterizando-se como inferior à informada pelo fabricante e aferida pelo INMETRO. Esse fato pode estar atrelado a fatores relacionados a instalação e condições locais, onde ocorrem sombreamentos e, por consequência, aproveitamentos inferiores às condições ideais para a situação.

Acerca dos resultados gerados neste trabalho, conclui-se que o presente estudo atingiu os seus objetivos, uma vez que foi possível cumprir com as expectativas de trazer para o conhecimento acadêmico os resultados detalhados referentes a essa fonte de energia limpa, alternativa e renovável.

Quanto a análise financeira, a realidade pode parecer ainda distante ou onerosa para o investidor. Contudo, ficou evidente que para valores já praticados no país o retorno ocorre antes de chegar-se ao final da vida útil do equipamento, o que leva a crer que quem optar pelo sistema terá, além da contribuição ambiental, o seu capital de volta dentro da vida útil do equipamento.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Determinação do tempo de retorno de investimento do sistema, a partir da análise detalhada das variáveis envolvidas;
- Mudança de posicionamento dos módulos fotovoltaicos, no ímpeto de avaliar a produção de eletricidade;
- Novo estudo com os demais dados de geração dos painéis para fins de confronto de dados;
- Teste com diferentes módulos fotovoltaicos, para fins de comparação entre os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 7 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), 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> Acesso em: 8 abr. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), 2015. **Leilão de Energia de Reserva tem resultado homologado pela ANEEL.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8362&id_area=>>. Acesso em: 19 maio 2015.

AKWA, João V.; KONRAD, Odorico; KAUFMANN, Gustavo V.; MACHADO, Cezar A. **Evaluation of the photovoltaic generation potential and real-time analysis of the photovoltaic panel operation on a building facade in southern Brazil.** Energy and Buildings, V 69, p. 426-433, 2013.

ANDRADE, Edgar E.R. **Metodologia de implantação e avaliação de sistemas solar térmico e fotovoltaico:** estudo de caso. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

AYRES, Robert U.; AYRES, Edward H. **Cruzando a fronteira da energia:** dos combustíveis fósseis para um futuro de energia limpa. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BENITO, Tomás P. **Práticas de energia solar fotovoltaica.** Porto: Editora Publindústria, 2011.

BILGEN, Semih; **Structure and enviromental impact of global energy consumption.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, V 38, p. 890-902, 2014.

BORBA, Júlia. Após alta de 32%, Aneel prevê novo reajuste médio de 10% na energia. **Folha de S. Paulo**, Brasília, 3 mar. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/03/1597178-apos-alta-de-32-aneel-preve-novo-reajuste-medio-de-10-na-energia.shtml>>. Acesso em: 12 maio 2015.

BORGES NETO, Manuel R.; CARVALHO, Paulo C.M. **Geração de Energia Elétrica**: fundamentos. São Paulo: Editora Érica, 2012.

BRONZATTI, Fabricio L.; IAROZINSKI NETO, Alfredo. **Matrizes energéticas no Brasil**: cenário 2010 - 2030. Rio de Janeiro: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos**: planejamento, elaboração e apresentação. 2. Ed Lajeado: Univates, 2012. E-book. Disponível em: <www.univates.br>. Acesso em: 15 ago. 2014.

CRUZ-ARDILA, Juan C.; CARDONA-GÓMEZ, Juan C.; HERNÁNDEZ-PORRAS, Diego M. **Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa**, Cali – COL, v. 9, n. 2, p. 234-248, 2013.

ENERSTORE. **Aziende e installatori**. Disponível em: <<http://www.enerstore.it/wp/>>. Acesso em: 14 out. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2014. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada).pdf)>. Acesso em: 7 jun 2015.

GOLDEMBERG, José; PALETTA, Francisco C. **Energias renováveis**. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.

GOOGLE. **Programa Google Earth**. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2012. Disponível em: <<http://www.eia.gov/oiaf/aeo/tablebrowser/#release=AEO2014ER&subject=0-AEO2014ER&table=1-AEO2014ER®ion=0-0&cases=full2013-d102312a,ref2014er-d102413a>> Acesso em: 19 maio 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS PROGRAMME (IEA-PVPS), 2013. **Snapshot of Global PV 1992-2013**. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2013_-_final_3.pdf> Acesso em: 16 maio 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS PROGRAMME (IEA-PVPS), 2014. **Snapshot of Global PV Markets**. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2014.pdf> Acesso em: 16 maio 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2014. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 13 out. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Disponível em:

<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Fotovoltaico_Modulo.pdf> Acesso em: 18 mar. 2015.

KAUFMANN, Gustavo V. **Avaliação do potencial de geração fotovoltaica e análise em tempo real da operação de um painel fotovoltaico instalado na cidade de Lajeado/RS**. Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

LABSOL – UFRGS. **Programa RadiaSol**. Laboratório de Energia Solar GESTE-PROMEC. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 13 out. 2014.

LOPEZ, Ricardo A. **Energia Solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MELO, Arthur A. Monitoramento tecnológico das energias renováveis por meio dos documentos patentários depositados no Brasil. **Revista Geintec**, São Cristóvão, SE, v. 3, n. 2, p. 1-11, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), 2014. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Disponível em:

<<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PDE2023.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2015.

MUNDO SOLAR, 2014. Disponível em: < <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/paneles-solares/>>. Acesso em: 26 out. 2014.

NASA. **NASA Surface meteorology and Solar Energy**. Disponível em: < <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>>. Acesso em: 7 maio 2015.

SANTOS, Ísis P.; RÜTHER, Ricardo. **The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil**. Energy and Buildings, V 50, p. 290-297, 2012.

SANTOS, Marco A. **Fontes de energia nova e renovável**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TIEPOLO, Gerson M.; URBANETZ JR, Jair; CANCELIERI JR, Osiris; VIANA, Trajano. **Photovoltaic Generation Potential of Paraná State, Brazil – a Comparative Analysis with European Countries**. Energy Procedia, V 57, p 725-743, 2013.

TOLMASQUIM, Maurício T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz Energética Brasileira: uma perspectiva**. São Paulo: CEBRAP, 2007.

VILLALVA, Marcelo G.; GAZOLI, Jonas R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson N.; GALHARDO, Marcos A.B.; OLIVEIRA, Sérgio H.F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEXOS

Anexo I – relatório do resultado de análise de plágio

Resultado da análise

Arquivo: TCC II (1).docx

Estatísticas

Expressões suspeitas na Internet: 2,1%

Percentual de expressões localizadas na internet

Suspeitas validadas: 0%

Confirmada existência dos trechos nos endereços encontrados

Sucesso da análise: 99,99%

Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Endereços mais relevantes encontrados:

Endereço (URL)	Ocorrências	Semelhança
http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia	13	8,7 %
http://www.notapositiva.com/trab_estudantes/trab_estudantes/eductecnol/7energia.htm	9	8,99 %
http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar	9	4,09 %
http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar	9	4,27 %
http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf	8	-
http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_renovavel	6	6,87 %

Fonte: Programa Plagius