



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES
FOTOVOLTAICO NA REGIÃO DE CARUARU

ADÉLIO JOSÉ DE ANDRADE DIAS
Orientador: Prof.^a. M.sc. LARISSA MARIA FALCÃO

Caruaru, 2016.

ADÉLIO JOSÉ DE ANDRADE DIAS
**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES
FOTOVOLTÁICO NA REGIÃO DE CARUARU**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof.^a. M.sc. Larissa Maria Falcão

Caruaru, 2016.

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

D541e Dias, Adélio José de Andrade.
Estudo sobre a viabilidade de aplicação de painéis solares fotovoltaico na região de Caruaru. / Adélio José de Andrade Dias. – 2016.
68f. il. ; 30 cm.

Orientadora: Larissa Maria Argollo de Arruda Falcão
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2016.
Inclui Referências.

1. Energia solar. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Análise econômica. I. Falcão, Larissa Maria Argollo de Arruda (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2016-109)

ADÉLIO JOSÉ DE ANDRADE DIAS

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES
FOTOVOLTÁICO NA REGIÃO DE CARUARU**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Área de concentração: Construção Civil

A banca composta pelos professores abaixo, considera O ALUNO ADÉLIO JOSÉ DE ANDRADE DIAS APROVADO COM A NOTA _____.

Caruaru, ____ de julho de 2016.

Banca examinadora:

Prof.^a. Ms. Larissa Maria Falcão _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Dr^o. Flávio Eduardo Gomes Diniz _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr^o. Humberto Correia Lima Junior _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a DEUS por ter me dado força e saúde para superar as dificuldades que enfrentei para chegar até aqui.

A Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, CAMPUS CARUARU, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Aos meus pais, Antônio Vicente de Andrade Dias e Cornélia Maria de Andrade Dias, e a meus irmãos pelo amor e pelo incentivo incondicional.

Agradeço a minha família, Pedro Antônio e Janaina Cristina pelo apoio, amor e incentivo incondicional.

Agradeço a minha orientadora Larissa Maria Falcão por gentilmente ter me ajudado e me guiado no decorrer deste trabalho, me dando todo suporte necessário.

Agradeço também aos meus amigos e colegas da universidade que sempre torceram por mim e me apoiaram no decorrer da universidade.

Certamente este parágrafo não irá atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àqueles que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão. Agradeço em especial a Anderson Borba, Álvaro Mafra, Antônio Cláudio, Cássio Luiz, Evandro Guilherme, Geymison Erick, Hellen Correia, José Weslen, Marcelo Correia, Maxmiliano Felipe e Vagner Oliveira pelo apoio, incentivo e amizade que criamos no decorrer dos quase 6 anos de universidade.

Gostaria de deixar registro também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio. Agradeço em especial a meu pai, Antônio Vicente de Andrade Dias, por quem sempre terei um apreço eterno onde quer que ela esteja.

Enfim, um muito obrigado a todos que me apoiaram diretamente e indiretamente em mais esta jornada!

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade da implementação de sistemas fotovoltaicos na região de Caruaru, a fim de realizar uma análise de viabilidade entre dois padrões de residência: um prédio popular padrão normal (PP-N), e uma residência padrão normal (R1-N). O padrão PP-N consiste em um tipo de residência multifamiliar de 4 pavimentos e 4 apartamentos por andar, no qual foi implementado um sistema único de geração de energia fotovoltaica e comparado com o custo de implementação do sistema fotovoltaico no padrão R1-N. A análise tem foco na relação dos custos de implementação e no tempo de retorno do investimento para os dois projetos.

No estudo, foi verificado que a implementação do sistema fotovoltaico implementado no padrão PP-N apresentou melhor custo x benefício e menor tempo de retorno do investimento com relação ao sistema implementado no padrão R1-N, com os custos de R\$ 280.859,09 para o PP-N e R\$ 26.085,01 para o padrão R1-N. Porém o custo que utilizou-se na comparação foi 16 vezes menor para o padrão PP-N, pois esse padrão de residência multifamiliar possui 16 apartamentos com o mesmo consumo de energia da residência R1-N, resultando em um custo por apartamento de R\$ 17.553,69. Comparando os resultados verifica-se que o custo de implementação do sistema no padrão PP-N é R\$ 8531,32 mais barato que o padrão R1-N, além de apresentar um tempo de retorno de 7 anos.

Palavras-chave: Energia Solar. Placas Fotovoltaicas. Análise Econômica.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the feasibility of the implementation of photovoltaic systems in Caruaru region in order to conduct a feasibility analysis between two residence patterns: a popular standard normal building (PP-N), and a normal standard residence (R1-N). The PP-N standard consists of a type of multi-family residence 4 floors and 4 apartments per floor, which was a single implementation of photovoltaic power generation system and compared with the cost of implementing the photovoltaic system on the standard R1-N. The analysis focuses on the relationship between the implementation costs and time of return on investment for the two projects.

In the study, it was found that the implementation of photovoltaic system implemented in PP-N standard presented the best cost-benefit ratio and shorter turnaround time of investment with respect to the system implemented in the R1-N standard, the cost of R \$ 280,859.09 for PP-N and R \$ 26,085.01 for the standard R1-N. But the cost used in the comparison was 16 times lower for the standard PP-N, because this pattern of multi-family residence has 16 apartments with the same consumption of R1-N residence, resulting in a cost per apartment of R \$ 17,553.69. Comparing the results it is apparent that the cost of implementing the system in standard PP-C \$ 8,531.32 R is cheaper than the standard N-R1, besides presenting a return time of 7 years.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic Plates. Economic Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo e número de consumidores no Brasil por tipo.	20
Figura 2: Consumo de energia entre 1997 e 2007 (MWh).	22
Figura 3: sistema de energia solar térmica.	27
Figura 4: Sistema de energia termossolar.	27
Figura 5: Sistema de captação de energia solar através de painéis fotovoltaicos.	29
Figura 6: Mapa de radiação solar do Brasil (MW)	30
Figura 7: Movimento de rotação e translação da terra.	31
Figura 8: média sazonal da radiação solar.	31
Figura 9: Perdas de radiação solar.	32
Figura 10: Sistema fotovoltaico autônomo.	34
Figura 11: Elementos do sistema FV autônomo	35
Figura 12: Sistema Solar fotovoltaico Conectado.	38
Figura 13: Esquema do Sistema FV Conectado à Rede.	39
Figura 14: Localização de Caruaru-PE	41
Figura 15: Índice Solarimétrico de Caruaru (KWh/m ² .dia).	43
Figura 16: Média anual de insolação no Brasil, (horas).	44
Figura 17: Edifício modelo de 4 pavimentos.	45
Figura 18: cálculo da tarifa de energia.	49
Figura 19: Suportes de alumínio para fixação dos painéis.	53
Figura 20: Kit de montagem dos painéis.	55
Figura 21: Cabos, Conectores e Chave seccionadora.	56
Figura 22: Medidor bidirecional.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cálculo do custo/kWh pago pelo consumidor.	49
Tabela 2: Simulação do consumo para o padrão R1-N.	50
Tabela 3: Transformação das unidades de consumo.	51
Tabela 4: Irradiação solar mensal na região de Caruaru	52
Tabela 5: Cálculo da potência do sistema.	52
Tabela 6: Cálculo da potência para eficiência de 90%.	53
Tabela 7: Número de painéis para a residência padrão R1-N.	53
Tabela 8: Potência do inversor para R1-N.	54
Tabela 9: Custo de implementação para R1-N.	57
Tabela 10: Economia gerada pelo sistema R1-N.	57
Tabela 11: Análise do investimento para R1-N.	59
Tabela 12: Quantidade de painéis instalados no sistema único.	60
Tabela 13: Custo dos inversores para cada padrão de residência.	60
Tabela 14: Custo de implementação do sistema único.	61
Tabela 15: Economia gerada pelo sistema único.	61
Tabela 16: Análise do investimento para o sistema único.	62
Tabela 17: Custo por kWh para cada projeto padrão.	62
Tabela 18: Análise do tempo de retorno para diferentes tipos de investimento.	63
Tabela 19: Relação dos custos de implementação entre o sistema individual e o único.	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Inter-relação entre economia mundial e consumo energético.	19
Gráfico 2: PIB e Oferta interna de Energia 1990 a 2012.	19
Gráfico 3: Matriz energética do Brasil em 2011.	23
Gráfico 4: Distribuição das parcelas dos custos do sistema elétrico.	24
Gráfico 5: Produção mundial de células fotovoltaicas.	29
Gráfico 6: Potência instalada de células fotovoltaicas no mundo (MW).	29
Gráfico 7: Efeito causado pela variação da irradiância solar.	33
Gráfico 8: Produto interno bruto de Caruaru.	42
Gráfico 9: Tipos de ondas dos inversores.	47
Gráfico 10: Irradiação solar mensal na região de Caruaru.	52
Gráfico 11: custo de implementação x tempo de retorno.	64

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BIG – Banco de Informação de Geração

CELPE – Companhia Elétrica de Pernambuco

CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

CUB – Custo Unitário Básico

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CC – Corrente Contínua

CA – Corrente Alternada

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

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV - Fotovoltaico

GEE – Gases do Efeito Estufa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IEA – International Energy Agency

ICMS - Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação

MPPT – Maximum Power Point Tracking

MC4 – Multi-Contact 4

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PIS - Programa de Integração Social

SIN – Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Motivação	16
1.3	Objetivos.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Panorama energético frente ao desenvolvimento da população	18
2.2	Consumo energético	21
2.3	Panorama Energético Brasileiro	22
2.4	Energia Solar	25
2.5	Radiação Solar	30
2.6	Sistema fotovoltaico	33
3	METODOLOGIA DO TRABALHO.....	41
3.1	Características do local	41
3.2	Levantamento Solarimétrico de Caruaru – PE	42
3.3	Caracterização do Usuário.....	44
3.4	Dimensionamento do Sistema FV	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	Cálculo da tarifa de energia	49
4.2	Cálculo do consumo de energia elétrica das residências	49
4.3	Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	51

4.4	Inversores de corrente.....	53
4.5	Custo do Sistema Fotovoltaico	54
4.6	Cálculo da energia gerada pelo sistema.....	57
4.7	Análise do investimento	58
4.8	Implementação do sistema para todo o edifício	59
4.9	Custo do sistema fotovoltaico único.....	61
4.10	Análise do investimento	61
4.11	Relação entre o custo de implementação nos padrões R1-N e PP-N	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS	67

1.1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia da terra. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do sol (CEPEL, 2014).

No Brasil, devido a sua localização geográfica e suas dimensões continentais, possui uma grande quantidade de recursos naturais capazes de produzir energia limpa e renovável em quase todas as suas regiões.

Durante todo o século XX, a significativa oferta de energia obtida principalmente a partir dos combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral, deu suporte ao crescimento e às transformações da economia mundial, com notáveis prejuízos ambientais, em especial contribuindo com a emissão de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa. Entretanto, nos primeiros anos do século XXI percebeu-se a necessidade de modelos de desenvolvimento sustentáveis de geração de energia (ANEEL, 2009).

Por conta do esgotamento de fontes de energia como petróleo e gás natural e devido à exagerada emissão de gases poluidores na atmosfera, o mundo passou a se organizar na busca por alternativas em energia renovável para compor a matriz energética dos países.

No Brasil, onde a maior parte da energia elétrica é produzida através das hidroelétricas, poderá enfrentar problemas graves no fornecimento de energia, entre eles um possível novo racionamento, caso os reservatórios das principais hidroelétricas baixem a 10% de armazenamento de água. De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), as reservas de hidroelétricas do Sudeste e Centro-Oeste, que juntas respondem por cerca de 70% da capacidade de geração de energia no país, registram atualmente nível de 17,43% (Fábio Amato, Jornal O Globo).

Frente a escassez de recursos naturais e ao acelerado crescimento da população, torna-se de extrema importância que haja um melhor aproveitamento das fontes de energia renováveis, visando contribuir energeticamente com as fontes já existentes como também reduzir consideravelmente os danos causados ao ambiente pela exploração das fontes não renováveis, com o intuito de suprir a demanda crescente por

energia de forma sustentável e duradoura, garantindo para as gerações futuras recursos essenciais para uma vida com qualidade.

Uma das fontes mais confiáveis de energia que dispomos hoje é a energia solar, seja por possuir uma fonte inesgotável de energia, o Sol, seja por ser uma fonte limpa com impactos ambientais mínimos. A energia solar é gerada de forma distribuída, evitando perdas e custos com linhas de transmissão, podendo ser integrada ao projeto arquitetônico da edificação (ZOMER, 2010).

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da mini geração distribuída de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e auto sustentabilidade.

Em um cenário favorável, em 2050 cerca de 92,7% da eletricidade produzida no Brasil pode ter origem em fontes renováveis, a geração hidrelétrica correspondendo a 45,65% da matriz energética, seguida pela energia eólica com 20,38%, biomassa com 16,6% e a energia solar com 9,26% de participação. Este cenário é capaz de evitar custos decorrentes da ampliação do uso de combustíveis fósseis, além de trazer benefícios sociais e econômicos, como a criação de empregos verdes e o estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias (GREENPEACE, 2010).

1.2 Justificativa

Fatores como crescimento populacional e da economia de um país, exigem uma demanda crescente por suprimento energético, influenciando diretamente no crescimento da geração de energia elétrica. Em contrapartida essa demanda por energia elétrica não justifica o uso indiscriminado de recursos esgotáveis e geradores de poluição, como por exemplo exploração do petróleo e seus derivados.

Como a cidade de Caruaru está situada em uma região onde, segundo o Atlas de Irradiação Solar no Brasil (2000), recebe em média 5700 a 5900 Wh/m² de radiação solar por dia, seria bastante racional pensar em se utilizar alguma tecnologia de captação dessa radiação na região. Por se tratar também de uma região próxima da linha do equador, onde não se observa grandes variações na duração solar do dia ao longo do ano, e também devido ao clima característico da região, pode se obter uma maior eficiência na geração de energia através da radiação solar.

Uma das alternativas que vem se mostrando viável com o passar do tempo, pela melhoria da tecnologia envolvida e conseqüentemente diminuição dos custos, é a

transformação da energia solar em elétrica através do uso de placas fotovoltaicas. Com a utilização das placas para a conversão da energia solar, pode-se integrar o sistema de painéis ao usual, oferecendo assim uma redução no consumo de energia elétrica.

1.3 Motivação

É extremamente importante para o aluno de graduação em engenharia civil conhecer os sistemas de geração de energia renováveis, visto que o mercado carece de alternativas para as opções existentes. O profissional de engenharia civil tem que estar capacitado a tomar decisões técnicas mais eficientes e visando sempre o conceito de sustentabilidade.

Como já mencionado anteriormente, com o mercado cada vez mais competitivo e informatizado, torna-se indispensável o estudo sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração de energia elétrica que possibilitem maior custo benefício e sustentabilidade. Desta maneira, a utilização de painéis fotovoltaicos para conversão de energia solar em elétrica vem mostrando ser bastante eficiente, e como a região de Caruaru é bastante favorecida pelo seu clima, topografia e por se tratar de uma cidade em constante crescimento, o sistema de painéis fotovoltaicos poderia ser implementado em condomínios e edificações.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Fazer uma análise comparativa do custo de instalação de placas fotovoltaicas em residências unifamiliares de padrões R1-B, R1-N e R1-A, com um sistema único implementado em um edifício na cidade de Caruaru - PE, relacionando o custo de instalação com o custo global da obra e analisar o tempo de recuperação do investimento aplicado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Situar Caruaru como local apropriado para a geração de energia solar;
- Estimar o consumo energético médio de residências padrão R1-B, R1-N e R1-A na cidade e analisar o tempo de retorno do investimento;
- Justificar a implementação de um sistema único através de uma análise comparativa de custos;
- Realizar orçamento do edifício sem e com o sistema implementado;
- Avaliação da viabilidade técnica e econômica da instalação do sistema fotovoltaico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Panorama energético frente ao desenvolvimento da população

A expansão acentuada do consumo de energia, embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, tem aspectos negativos. Um deles é a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia. Outro é o impacto ao meio ambiente produzido por essa atividade. Finalmente, um terceiro são os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas.

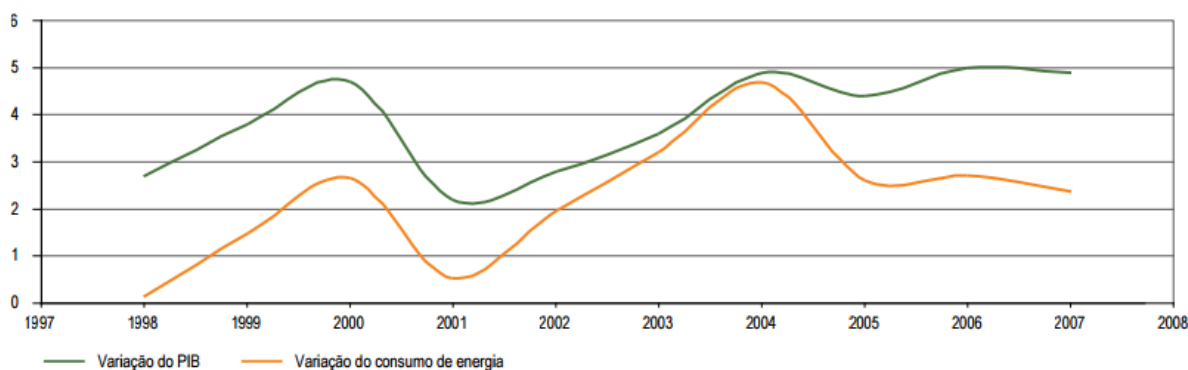
Segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica).

As atividades industriais, comerciais, de serviços, estão hoje concentradas nos grandes centros urbanos juntamente com uma significativa parcela do setor residencial, justificando a grande necessidade de recursos energéticos que vem crescendo entre 2 a 3% ao ano, proporcionada pelo aumento de consumidores e pelo aumento de massa edificada.

Em Caruaru de acordo o censo de 2010 (IBGE, 2010), cerca de 90,6% (aproximadamente 285.000 habitantes) da população vive em meio urbano, situação que exerce uma enorme pressão sobre serviços de infraestrutura, justificando também o aumento do consumo energético. De acordo com ROMERO (2012), “o crescimento populacional, e em consequência dos grandes centros urbanos, exige um maior crescimento econômico, com o imperativo de retirar milhões de pessoas da pobreza”. Este contexto vem provocando nas últimas décadas mudanças econômicas, sociais e ambientais.

Essa inter-relação foi o principal motivo do acentuado crescimento no consumo mundial de energia verificado nos últimos anos. Como é mostrado no Gráfico 1 abaixo, de 2003 a 2007 a economia mundial viveu um ciclo de vigorosa expansão, refletida pela variação crescente do PIB: 3,6% em 2003; 4,9% em 2004; 4,4% em 2005; 5% em 2006 e 4,9% em 2007, segundo série histórica produzida pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2008).

Gráfico 1: Inter-relação entre economia mundial e consumo energético.

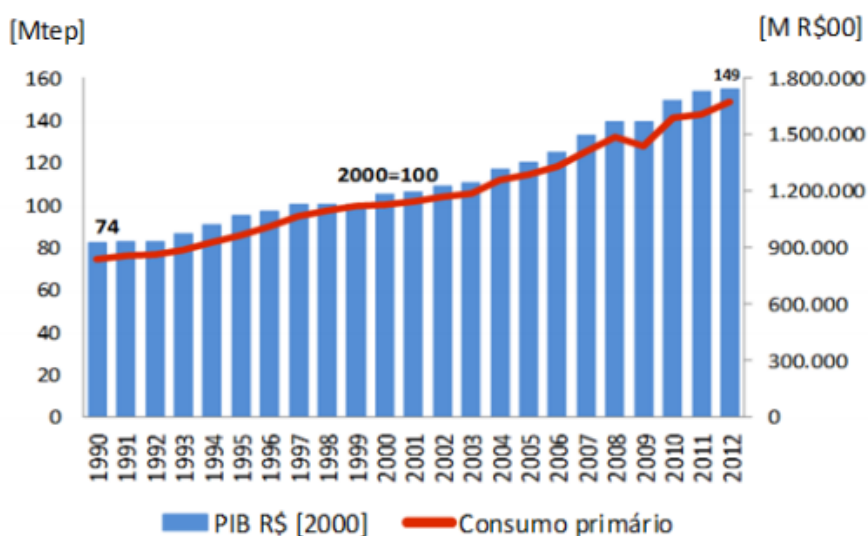


Fonte: IPEA, (2008).

“A demanda crescente pelo uso de recursos energéticos lançam mão de uma série de desafios: controle do petróleo e gás, problema do aquecimento. Havendo assim, a necessidade de aumentar a produção de energia sem provocar maiores impactos ambientais”. (*Greenpeace*, 2010)

No Brasil, como apresentado no Gráfico 2, durante o período compreendido entre 1990 e 2010, a intensidade energética da economia mostrou comportamento levemente ascendente nas últimas duas décadas. Neste período, o PIB (Produto Interno Bruto) evoluiu de R\$ 922,4 bilhões em 1990 para R\$ 1.682,2 bilhões em 2010, apresentando um aumento de 82,4% em 20 anos. Na primeira metade da década de 1990, o PIB cresceu, em média, a uma taxa anual de 3,0% enquanto que o suprimento energético aumentou 2,8%. Este período caracterizou-se por altas taxas de inflação (com média superior a 1.000 % a.a., cuja origem remonta desde a segunda metade da década de 1980), afetando a economia como um todo (EPE, 2013)

Gráfico 2: PIB e Oferta interna de Energia 1990 a 2012.



Fonte: EPE, (2013).

Justificando a abordagem inicial, crescimento populacional e consequentemente da demanda energética, é mostrado na Figura 1 o aumento do consumo e dos consumidores de energia elétrica no Brasil no período de 2009 a 2013, os dados são distribuídos por tipo de consumidor.

Figura 1: Consumo e número de consumidores no Brasil por tipo.

	2009	2010	2011	2012	2013	$\Delta\%$ (2013/2012)	Part. % (2013)
Consumo (GWh)	384.306	415.683	433.034	448.105	463.335	3,4	100
Residencial	100.776	107.215	111.971	117.646	124.896	6,2	27,0
Industrial	161.799	179.478	183.576	183.475	184.609	0,6	39,8
Comercial	65.255	69.170	73.482	79.226	83.695	5,6	18,1
Rural	17.304	18.906	21.027	22.952	23.797	3,7	5,1
Poder público	12.176	12.817	13.222	14.077	14.608	3,8	3,2
Iluminação pública	11.782	12.051	12.478	12.916	13.512	4,6	2,9
Serviço público	12.898	13.589	13.983	14.525	14.847	2,2	3,2
Consumo próprio	2.319	2.456	3.295	3.288	3.372	2,5	0,7
Consumidores (mil)	65.528	67.907	70.323	72.377	74.818	3,4	100
Residencial	55.949	58.006	59.907	61.697	63.862	3,5	85,4
Industrial	537	554	558	573	584	2,0	0,8
Comercial	4.795	4.902	5.120	5.271	5.445	3,3	7,3
Rural	3.613	3.785	4.055	4.129	4.200	1,7	5,6
Poder público	491	507	521	536	544	1,4	0,7
Iluminação pública	70	74	79	83	87	4,6	0,1
Serviço público	63	68	71	76	84	10,2	0,1
Consumo próprio	11	12	12	12	12	2,9	0,0

Fonte: EPE, (2013).

Contrapondo à demanda energética crescente, o Brasil vem passando por crise no suprimento energético, seja pela crise hídrica vivida no momento, seja pela falta de planejamento estratégico do setor elétrico.

Em 2013, houve um incremento na produção de energia elétrica de cerca de 3,2% sobre o montante gerado em 2012. Sobre o total gerado houve queda de 5,9% da geração hidroelétrica, comparando o mesmo período, em decorrência da estiagem prolongada (EPE, 2013). A queda foi compensada por um aumento na geração termelétrica, sobretudo proveniente de gás natural, que expandiu 47,6% em relação a 2012. Gás natural, petróleo e derivados responderam por 80% do incremento da oferta interna de energia em 2013 (Balanço Energético Nacional, 2014). Esse cenário inevitavelmente provocou aumento nas emissões de GEE (gases do efeito estufa), sendo estimado em 82,5% o crescimento em relação aos níveis de 2012, emissões oriundas das usinas que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN). (EPE, 2013)

2.2 Consumo energético

O ser humano depende da energia elétrica para quase tudo, em casa, no trabalho, no lazer e em todos os lugares onde se apoia o modo de vida moderno. Há um custo muito alto a ser pago pelo conforto promovido pelo uso da energia elétrica, entrando nesta contabilidade, geração, transmissão, ambiental e social (VILLALVA, 2012). De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2015), o Brasil em 1973 era o 11º país em produção de energia primária e o 7º em níveis de consumo, em 2012 o Brasil já era 10º em termos de produção e o 6º na posição de maiores consumidores. A nível mundial, em 1980 o consumo era cerca de 7.000.000 GWh (gigawatts-hora) de eletricidade, para 2030 a previsão de consumo vai para 30.000.000 GWh, exigindo grandes investimento no setor para fazer frente a tal magnitude de consumo, de modo que a tendência apresentada pela demanda por energia supera a capacidade de geração do país, exigindo desta forma maiores investimentos em geração, transmissão e diversificação das fontes de geração energética (VILLALVA, 2012).

Segundo Villalva (2012) a eletricidade pode ser produzida de muitas formas. Atualmente a maior parte da energia produzida no planeta tem origem na queima de combustíveis fósseis e na energia nuclear, apenas uma pequena parte tem origem em fontes renováveis. Diferentemente o Brasil possui potencialidades em alguns segmentos que o faz destacar-se no ramo de energia renovável.

Segundo Gomes et al (2002), diferentemente do consumo, a capacidade instalada não apresenta o mesmo ritmo de crescimento, com a velocidade de expansão se apresentando de forma mais lenta.

Em 2001 a economia brasileira passou por um racionamento de energia, basicamente devido à atrasos das obras estruturantes e a não construção das obras previstas nos planos decenais de energia, somado a estes pontos o nível de armazenamento dos reservatórios das regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste apresentavam nível de 32%, devido ao índice pluviométrico desfavorável nas regiões Nordeste e Sudeste (SILVA, 2008), caracterizando uma crise principalmente pela forte dependência da energia elétrica ofertada por usinas hidrelétricas.

Com o crescimento acelerado da economia, o Brasil retoma o aumento do consumo de energia elétrica, como observado na Figura 2 (ANEEL, 2008). No acumulado de cinco anos que vão de 2002 a 2007, o consumo de energia elétrica pelo setor residencial aumentou 25%.

Figura 2: Consumo de energia entre 1997 e 2007 (MWh).

Identificação	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Gás natural	4.196	4.305	4.893	6.384	7.552	9.202	10.184	11.448	12.663	13.625	14.731
Carvão mineral	2.101	2.084	2.525	2.841	2.759	3.016	3.294	3.594	3.519	3.496	3.743
Linha	12.919	13.296	13.500	13.627	13.699	14.390	15.218	15.752	16.119	16.414	16.310
Bagaço de cana	16.674	16.684	16.687	13.381	15.676	17.495	19.355	20.273	21.147	24.208	26.745
Lixívia	1.946	2.069	2.246	2.291	2.280	2.456	2.976	3.144	3.342	3.598	3.842
Outras recuperações	436	460	641	709	775	804	904	874	907	709	761
Gás de coque	1.382	1.320	1.155	1.247	1.219	1.178	1.259	1.342	1.328	1.289	1.387
Coque de carvão mineral	6.695	6.538	5.829	6.506	6.327	6.673	6.688	6.817	6.420	6.137	6.716
Eleticidade	25.333	26.394	27.144	28.509	26.626	27.642	29.430	30.955	32.267	33.536	35.443
Carvão vegetal	4.379	3.986	4.401	4.814	4.409	4.609	5.432	6.353	6.248	6.085	6.247
Alcool etílico	6.910	6.783	6.798	5.820	5.377	5.776	5.794	6.445	6.963	6.395	8.612
Outras secundárias - álcool	97	58	78	77	75	78	38	50	37	48	56
Subtotal derivados de petróleo	69.157	71.303	70.918	71.450	71.869	71.210	69.049	71.177	71.726	72.706	76.449
Óleo diesel	27.569	28.541	29.084	29.505	30.619	31.694	30.885	32.657	32.382	32.816	34.836
Óleo combustível	12.301	11.997	10.544	9.500	8.469	8.239	7.223	6.513	6.574	6.126	6.498
Gasolina	14.215	14.834	13.828	13.319	13.051	12.468	13.162	13.607	13.638	14.494	14.342
Gás liquefeito de petróleo	7.116	7.335	7.661	7.844	7.742	7.402	6.996	7.182	7.121	7.199	7.433
Nafta	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0
Querosene	2.931	3.202	2.988	3.180	3.286	3.161	2.221	2.369	2.578	2.401	2.632
Gás canalizado	108	111	94	85	35	26	0	0	0	0	0
Outras secundárias de petróleo	4.914	5.279	6.715	8.014	8.664	8.216	8.562	8.848	9.433	9.670	10.709
Total	152.226	155.280	156.815	157.657	158.643	164.530	169.622	178.221	182.687	188.245	201.043

Fonte: ANEEL, (2008).

2.3 Panorama Energético Brasileiro

Com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, mais de 7 mil quilômetros de fronteira marítima e condições climáticas favoráveis, o Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo: hidráulico, biomassa, irradiação solar e a força dos ventos, recursos suficientes para garantir a autossuficiência energética do país (ANEEL, 2002).

Mesmo apresentando um vasto potencial energético, o Brasil explora em quantidades consideradas basicamente duas fontes, a hidráulica e o petróleo, que têm sido extensivamente aproveitadas. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2002), cerca de 90% do suprimento de energia elétrica do país provem de geração hidráulica, e o petróleo representa mais de 30% da matriz energética nacional.

Ainda segundo a ANEEL (2002), a conjuntura atual do setor elétrico brasileiro: crescimento da demanda, escassez da oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais, à expansão do sistema indica que o suprimento futuro de energia elétrica exigirá maior aproveitamento de fontes alternativas, como a energia eólica e solar.

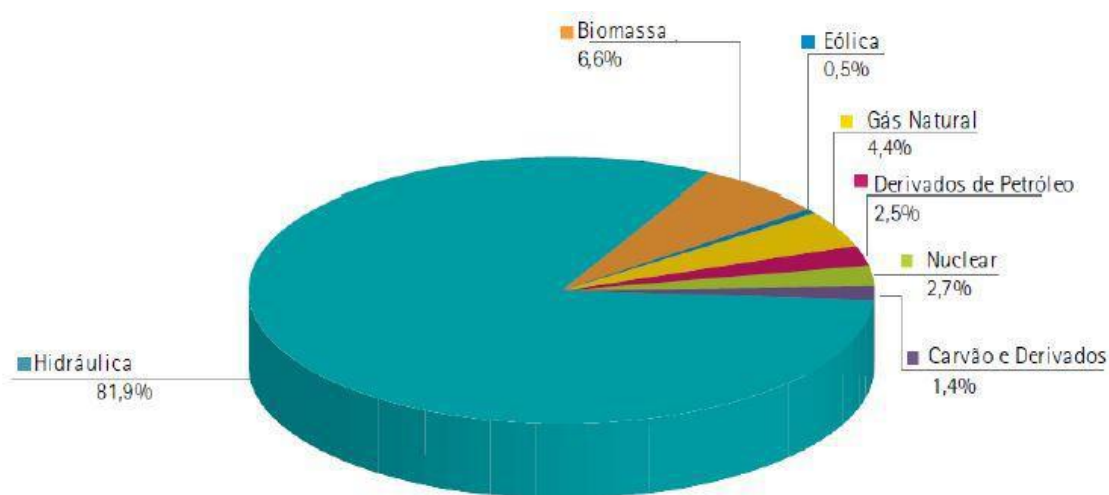
Com grande destaque no cenário mundial, o Brasil ocupa, segundo o EPE (2012) (Empresa de Pesquisa Energética), o terceiro posto de potencial de geração de energia

elétrica por hidrelétricas, superado apenas por China e Estados Unidos. No entanto a quantidade de energia hidráulica disponível efetivamente depende de outros fatores relevantes: topografia, o regime de chuvas, a tecnologia e, também, o período de efetivo funcionamento da instalação quando integrada a um sistema elétrico.

Esta forte dependência pela energia hidráulica, vem provocando nos últimos anos risco eminente de abastecimento energético e comprometimento das metas de redução dos gases do efeito estufa (GEE), pois com as condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período de 2012 até o presente, provocaram redução da oferta de energia hidráulica. Em 2013 o decréscimo foi de 5,4% segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2014).

É mostrado no Gráfico 3 a oferta interna de energia por fonte, ano base 2011, deixando vidente a dependência do Brasil em relação aos recursos hídricos para geração de energia elétrica.

Gráfico 3: Matriz energética do Brasil em 2011.



Fonte: Ministerio de Minas e Energia, (MME 2014).

No relatório do Balanço Energético Nacional de 2014, MME (2014), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) relata que o aumento de 3,6% do consumo final de eletricidade no Brasil foi atendido a partir da expansão da geração térmica, especialmente das usinas movidas a carvão mineral (75,7%), gás natural (47,6%), bagaço de cana (19,2%), cuja participação na matriz energética brasileira cresceram de 1,6 – 2,6%, de 7,9 – 11,3%, e de 4,2 – 4,9%, respectivamente. Esta situação torna a

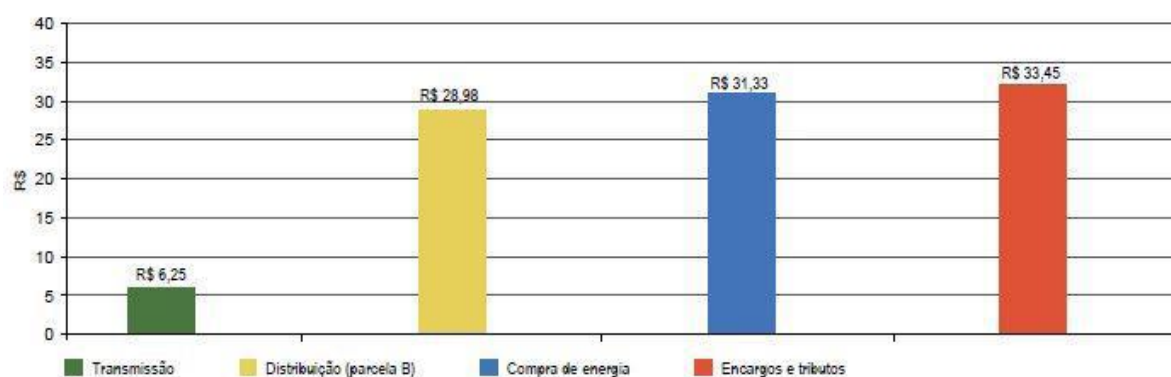
matriz energética brasileira mais poluente, na contramão dos esforços por um mundo mais limpo.

Para geração e transmissão de energia elétrica o Brasil conta com um sistema (conjunto composto por linhas de transmissão e ativos de distribuição), uma imensa “rodovia elétrica”, além de sistemas isolados que se concentram principalmente na região Amazônica, no Norte do país (ANEEL, 2008).

De acordo com a ANNEEL (2008), a manutenção do sistema descentralizado gera naturalmente um custo, pago através de faturas mensais pelos consumidores medida em kWh (quilowatt-hora). O valor final pago pelo cliente corresponde à soma de três componentes:

1. Encargos do setor elétrico (destino específicos) e os tributos determinados por lei (parcela do governo);
2. Parcela que fica com as distribuidoras, para investimentos em expansão e manutenção da rede;
3. Remuneração dos acionistas e cobertura de custos, é observado no Gráfico 4 a distribuição das parcelas do custo do sistema elétrico brasileiro no ano de 2008.

Gráfico 4: Distribuição das parcelas dos custos do sistema elétrico.



Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica, (ANEEL, 2008).

A grande extensão da rede de transmissão no Brasil é explicada pela configuração do segmento de geração, constituído, na maior parte, de usinas hidrelétricas instaladas em localidades distantes dos centros consumidores. A principal característica desse segmento é a sua divisão em dois grandes blocos: Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange quase a totalidade do território brasileiro, e os Sistemas Isolados, instalados principalmente na região Norte, como mostra a figura. ANEEL (2008).

De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG,2008), da ANEEL, o Brasil contava, em novembro de 2008, com 1.768 usinas em operação, que

correspondiam a uma capacidade instalada de 104.816 MW (megawatts) – número que exclui a participação paraguaia na usina de Itaipu. Do total de usinas, 159 eram hidrelétricas, 1.042 térmicas abastecidas por fontes diversas (gás natural, biomassa, óleo diesel e óleo combustível), 320 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), duas nucleares, 227 centrais geradoras hidrelétricas e uma solar.

Diante do quadro atual de restrições ambientais, crise hídrica, aumento das distâncias entre os grandes centros urbanos e as bacias com potencial para geração hidráulica, os custos de implantação de novas usinas geradoras subiram significativamente (ZOMER, 2010).

Segundo Mattuella (2005), as privilegiadas condições geográficas e climáticas brasileiras para a exploração de recursos renováveis para novos investimentos em energia são pontos positivos para mudanças e diversificação na matriz energética nacional, favorecendo decisões políticas, diante das condições técnicas, no sentido de atribuir um novo planejamento de infraestrutura energética para promover um crescimento sustentável da economia.

Vale ressaltar que, apesar das usinas hidrelétricas serem consideradas geradoras limpas pela não emissão de GEE (Gases do Efeito Estufa), elas causam grandes impactos ambientais por conta da inundação de grandes áreas, comprometendo a fauna e flora de vasta região, altera o fluxo dos rios, além de causar problemas sociais de grandes proporções, no que se refere a alocação de populações residentes na área (VIANA, 2010).

Durante a conferência internacional Brazil Energy and Power 11, houve consenso claro em afirmar que, para garantia do equilíbrio e segurança ao sistema elétrico, o Brasil terá de fazer investimento estratégico consistente nos próximos anos, voltando a expansão da oferta de fontes renováveis, entre outras, eólica, biomassa e solar.

2.4 Energia Solar

A energia solar é hoje uma das melhores alternativas para a captação de energia. A vantagem do uso de energia solar é que, além de ser renovável, a energia gerada a partir dos painéis solares é considerada limpa, já que, durante sua produção, não há emissão de gases poluentes. Mas, como toda história tem dois lados, existem vantagens e desvantagens em relação à adoção desta como substituta dos atuais combustíveis

fósseis. O maior beneficiado com a adoção de uma fonte energética sustentável certamente é o meio ambiente (ANEEL, 2008).

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. (ANEEL, 2008)

A energia solar é abundante e pode ser utilizada de diversas maneiras. A forma mais simples de aproveitar essa energia é através de soluções de arquitetura que privilegiem a iluminação solar ou o controle natural da temperatura. Há também a possibilidade de se utilizar de sistemas de captação da energia solar para depois utilizá-la (ANEEL, 2008).

Villalva (2012) diz que o Brasil possui um enorme potencial para o emprego de fontes renováveis na produção de energia elétrica, mediante desenvolvimento tecnológico e investimentos no setor, para melhor aproveitamento destes recursos governos e cidadãos devem se empenhar para intensificar o uso de fontes de energia renováveis.

De acordo com os estudos no Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), o Brasil possui diversas fontes alternativas para expansão da oferta de energia, livres de emissões de CO₂, a partir da biomassa, centrais eólicas e energia solar.

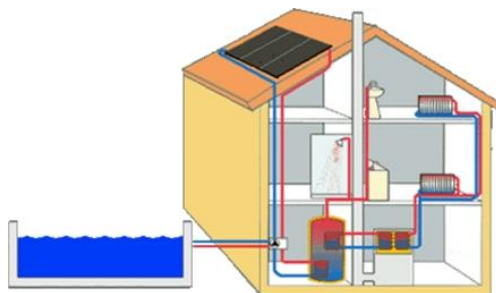
As fontes de energia solar e térmica, que hoje são apenas consideradas alternativas e têm pouca participação na matriz energética mundial, serão as principais fontes de energia para o futuro da humanidade. A energia emitida pelo Sol pode ser utilizada para produzir eletricidade pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica (VILLALVA, 2012).

“Há também os sistemas solares térmicos, que são empregados para realizar aquecimento ou para produzir eletricidade a partir da energia térmica do Sol” (ANEEL, 2002). Hoje existem três tipos principais de sistema de energia solar: Sistema Solar Térmico, Sistema Solar Fotovoltaico e Sistema Termossolar.

2.4.1 Energia solar térmica

Como é mostrado na Figura 3, nesse sistema a energia solar é captada através das placas solares ou coletores, onde transferem o calor da radiação para a água do sistema. São sistemas mais simples e econômicos geralmente utilizados para aquecimento da água de chuveiros elétricos.

Figura 3: Sistema de energia solar térmica.

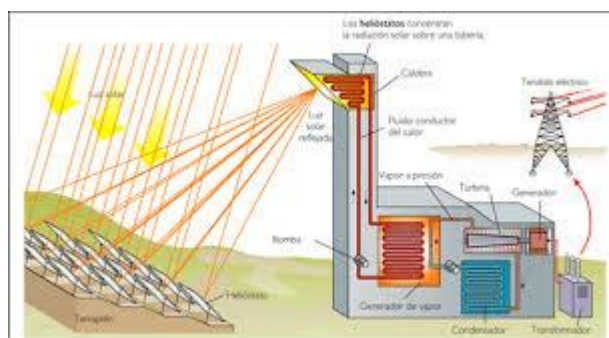


Fonte: Neosolar. Disponível em <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em 07 de maio de 2015.

2.4.2 Energia Termossolar ou Energia Solar Concentrada

Nesse sistema o processo de obtenção da energia solar se dá através de espelhos que são posicionados de modo a direcionar toda radiação concentrada captada para coletores, como ilustrada na Figura 4.

Figura 4: Sistema de energia termossolar.



Fonte: Neosolar. Disponível em <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em 07 de maio de 2015.

A energia coletada pelo sistema é transformada em energia elétrica através de turbinas acionadas pelo vapor da água aquecida no sistema. Este tipo é o menos difundido dos meios de captação de energia solar devido ao alto custo e complexidade.

2.4.3 Fotovoltaica

No sistema fotovoltaico a energia solar é captada e convertida em eletricidade através do processo de conversão direta da luz (Efeito Fotovoltaico) pelas células fotovoltaicas, como é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Sistema de captação de energia solar através de painéis fotovoltaicos.

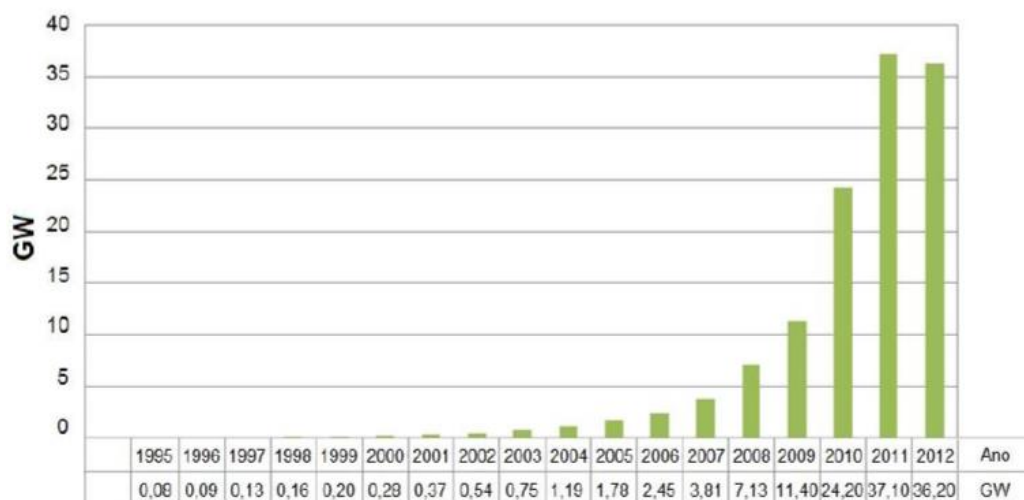


Fonte: Neosolar. Disponível em <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em 07 de maio de 2015.

Embora abundante na Terra, a energia solar para produção de energia elétrica ainda é pouco utilizada. Nos países desenvolvidos este cenário vem mudando, porque fortes incentivos foram concedidos para a instalação de sistemas fotovoltaicos. (Manual de Engenharia Fotovoltaica, 2014, p. 54)

Ainda segundo o Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014, p. 55), a constante evolução da produção mundial de células fotovoltaicas tem apresentado resultados bastantes significativos, tendo sido produzidos, em 2012, cerca de 36,2 GWp através da energia solar. Esta potência equivale a mais de duas vezes e meia a potência da usina hidroelétrica de Itaipu, a maior central de produção de energia elétrica do Brasil. Nos últimos onze anos, o crescimento anual médio da indústria de células e módulos fotovoltaicos foi de 54,2%, como apresentado no Gráfico 5.

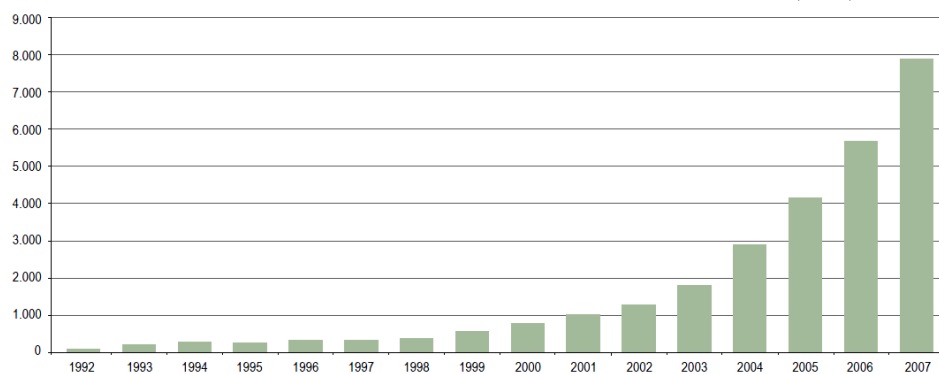
Gráfico 5: Produção mundial de células fotovoltaicas.



Fonte: Manual de Engenharia Fotovoltaica, (2014).

No mundo, a evolução da potência solar instalada para produção de eletricidade, mesmo com a participação da energia solar ainda é pouco expressiva na matriz mundial. É apresentado no Gráfico 6 o crescimento em Mega Watt da potência instalada de células fotovoltaicas.

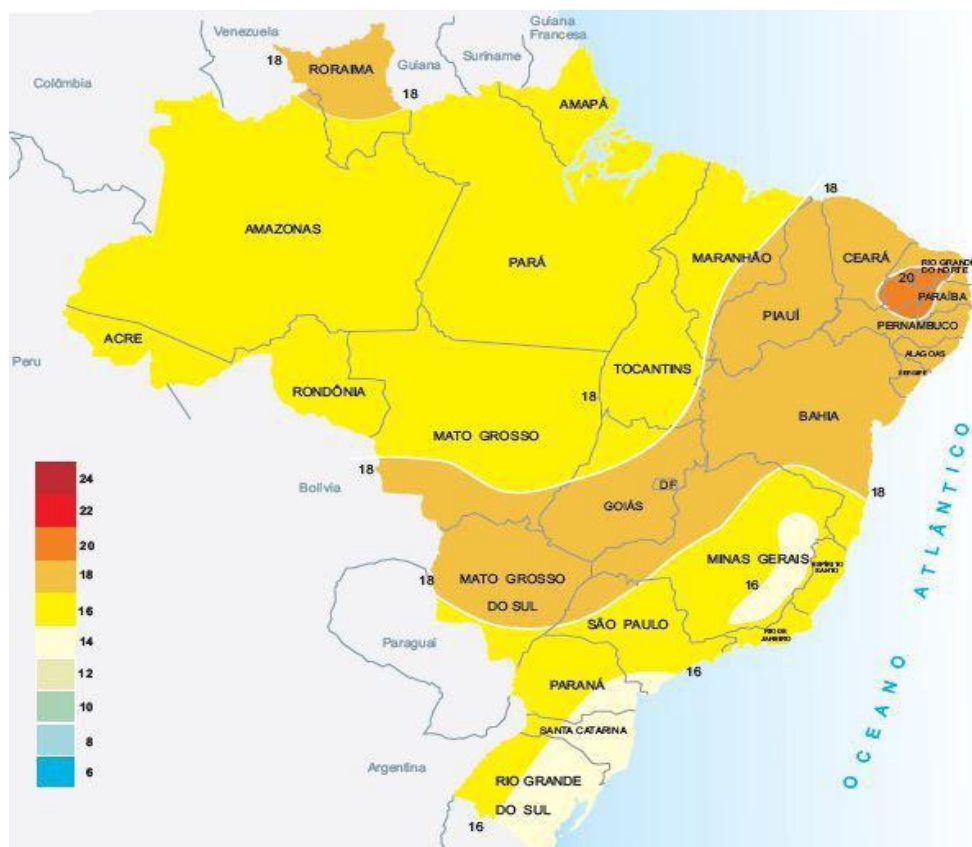
Gráfico 6: Potência instalada de células fotovoltaicas no mundo (MW).



Fonte: IEA, (2007).

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2000), o Atlas Solarimétrico do Brasil em 2000 demonstra que o Nordeste brasileiro na maior parte do seu território apresenta média anual de radiação solar de 16 MJ/m².dia que corresponde a 4,44 kWh, evidenciando a potencialidade de geração de energia solar. É mostrado na Figura 6 que o território brasileiro apresenta vasta exposição à luz solar, indicando a potencialidade de uso desse recurso inesgotável.

Figura 6: Mapa de radiação solar do Brasil (MW)



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

Diante desse panorama favorável, a geração de energia elétrica, por meio da tecnologia de painéis fotovoltaicos, foi um dos temas de interesse do VIII Citenel. Foi debatido sobre as alternativas de fontes energéticas renováveis, especialmente solar e eólica, e suas aplicações com o poder público e consumidores. Essa proposta se destina a diversos estados brasileiros, mas é na região nordeste, que elas apresentam maior potencial de desenvolvimento, em função das condições climáticas favoráveis.

O Ministério de Minas e Energias (MME) prevê que até o fim de 2015 as energias renováveis correspondam a 42,5% de toda a matriz energética brasileira em 2015. O destaque fica para o crescimento da participação das energias renováveis alternativas à geração hidrelétrica, como a eólica, a solar e a biomassa. Em dez anos, esse tipo de energia renovável cresceu 30%, passando de 2,8% de toda a oferta de energia interna em 2004 para 4,1% em 2014 (MME, 2015).

2.5 Radiação Solar

Segundo a ANEEL (2012), além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada

energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução), como ilustrado na Figura 7.

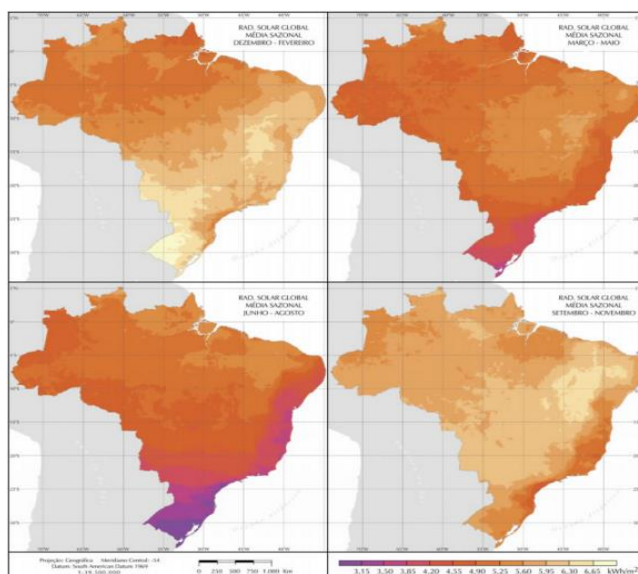
Figura 7: Movimento de rotação e translação da terra.



Fonte: ANEEL, (2012).

Devido ao movimento de translação da terra, as variações climáticas são influenciadas pela distância que a terra fica do sol. No verão, os dias são mais longos e há mais radiação solar, já no inverno os dias são mais curtos e há menos radiação solar, como mostrado na Figura 8.

Figura 8: Média sazonal da radiação solar.



Fonte: EPE, (2012)

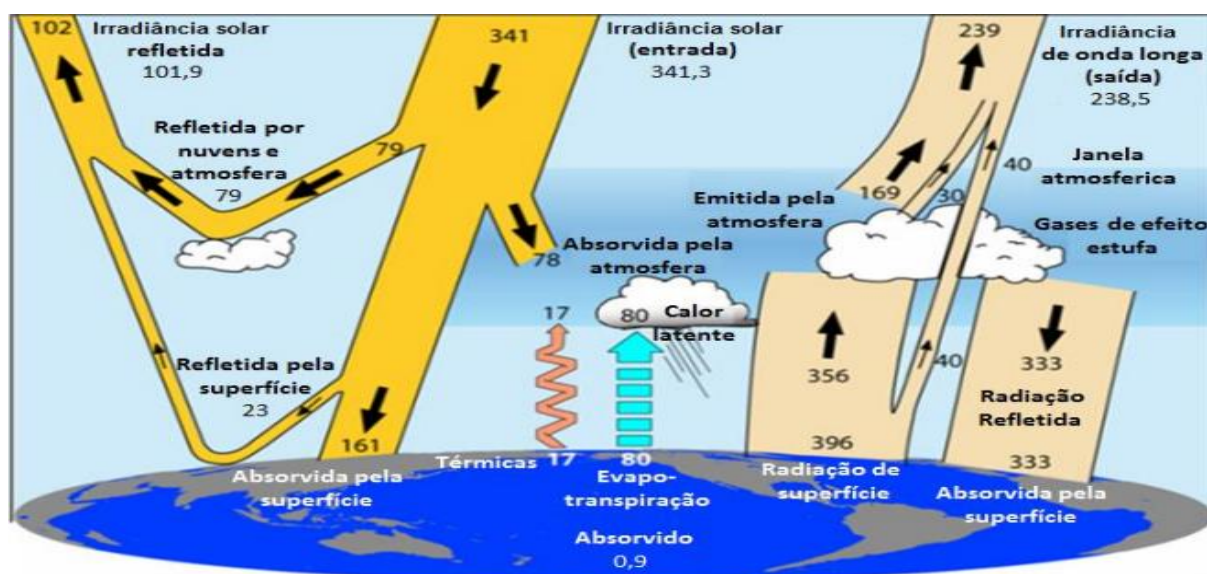
A densidade da energia total incidente, quando medida num plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre recebe o nome de “constante solar” e corresponde ao valor de 1.367 W/m^2 . Considerando que o raio médio da Terra é 6.371 km , e considerando o valor da irradiância de 1.367 W/m^2 incidindo sobre a área projetada da Terra, conclui-se que a potência total disponibilizada pelo Sol à Terra, no topo da atmosfera, é de aproximadamente 174 mil TW (terawatts), (Manual de Engenharia Fotovoltaica, 2014, p. 76)

Ainda segundo o Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014, p. 77), cerca de 54 % da energia solar que incide no topo da atmosfera chega efetivamente à superfície terrestre, os 46% restantes são absorvidos ou refletidos diretamente pela atmosfera. Ou seja, da potência total disponibilizada pelo Sol à Terra, cerca de 94 mil TW possui potencial de ser aproveitada na geração de energia.

Além do fenômeno de rotação e translação da terra, existem outros fatores que podem afetar diretamente o rendimento da captação de energia solar, que são as perdas da radiação, como mostrado na Figura 9. Basicamente existem três processos que explicam a perda da radiação solar:

- Absorção – radiação absorvida pela camada de ozônio presente na estratosfera.
- Reflexão – parte da radiação que é refletida no topo das nuvens e na superfície.
- Difusão – gases e partículas presentes na atmosfera que dispersão a radiação solar.

Figura 9: Perdas de radiação solar.



Fonte: Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014).

Como ilustrado na figura 9, quase metade da radiação solar é refletida através das nuvens. Como a região nordeste não apresenta grande volume de nuvens, um dos fatores que influenciam no processo de seca da região, as perdas da radiação são bem

menores que em outras regiões do país, isso explica o porquê da região nordeste do Brasil apresentar os maiores índices de potencialidade em geração de energia solar.

2.6 Sistema fotovoltaico

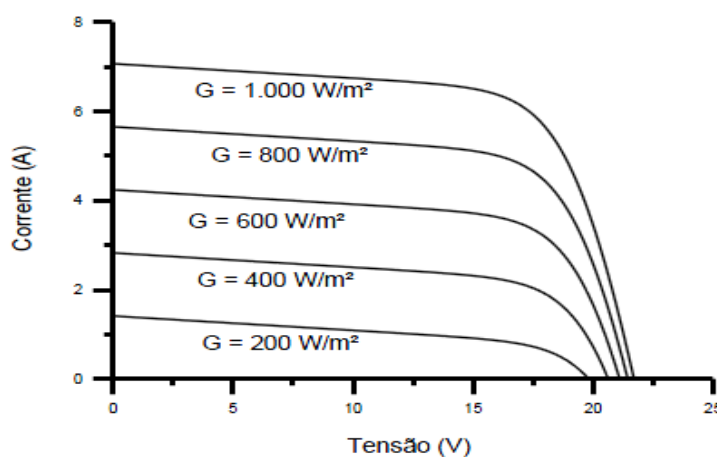
O sistema fotovoltaico define-se como um conjunto de equipamentos reunidos cuja finalidade é transformar a energia solar em energia elétrica, disponibilizando-a para utilização em cargas contínuas ou alternadas, seja em períodos que haja incidência solar ou não.

Apesar de ser uma tecnologia relativamente recente, a energia com geração fotovoltaica se mostra vantajosa. Uma das principais vantagens está relacionado a flexibilidade de promover uma geração distribuída, ou seja, permite que a geração ocorra no ponto do consumo (MELO, 2010).

Existem fatores que afetam diretamente as características elétricas dos sistemas fotovoltaicos, influenciando diretamente o desempenho dos painéis. Fundamentalmente o principal seria a irradiância solar.

Segundo o Manual de Engenharia FV (2014, p.148), a corrente elétrica gerada pelo módulo aumenta com o aumento da irradiância solar, como mostrado no Gráfico 7.

Gráfico 7: Efeito causado pela variação da irradiância solar.



Fonte: Manual de Engenharia Fotovoltaica, (2014).

Mesmo a tecnologia fotovoltaica sendo relativamente recente, ela já se mostra extremamente vantajosa. Além de promover uma geração de energia limpa e renovável, também permite promover uma geração distribuída, ou seja, a sua geração ocorre no

ponto do consumo, disponibilizando assim energia elétrica para pontos isolados e distantes de redes de distribuição (VILLALVA, 2012).

Os sistemas fotovoltaicos apresentam duas formas distintas de geração de energia: isolados ou autônomos e os sistemas conectados à rede, diferenciados pela existência ou não de um acumulador de energia. Os sistemas conectados à rede dispensam os bancos de baterias (acumuladores de energia), reduzindo os custos de instalação do sistema (DIAS, 2006). Os Sistemas Isolados são utilizados em locais remotos ou onde o custo de se conectar à rede elétrica é elevado. São utilizados em casas de campo, refúgios, iluminação, telecomunicações, bombeio de água, etc. Já os Sistemas Conectados à Rede, substituem ou complementam a energia elétrica convencional disponível na rede elétrica.

2.6.1 *Sistemas Isolados (Off-grid)*

Os sistemas isolados ou autônomos para geração de energia solar fotovoltaica são caracterizados por não se conectar à rede elétrica. Em geral são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica, podendo fornecer energia elétrica em qualquer lugar onde a energia elétrica não esteja disponível. Esta solução é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes lugares (PORTAL ENERGIA, 2004).

Figura 10: Sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: Portal energia – manual técnico, (2004).

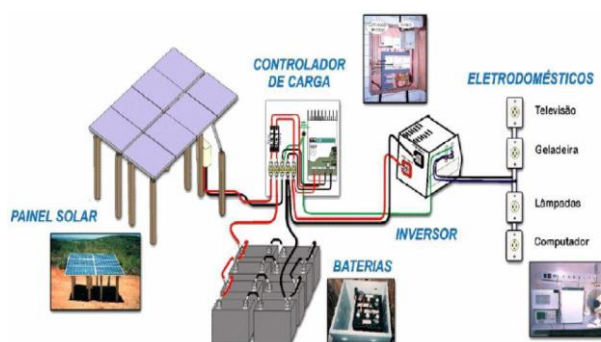
Nesse tipo de sistema, existem variações nas quantidades produzidas de acordo com a situação climática (chuvas, neblina), além de que durante a noite não existe produção alguma, o que obriga que existam meios de armazenamento da energia

produzida durante o dia em locais onde os painéis solares não estejam ligados à rede de transmissão de energia. O armazenamento da energia produzida é feito através de baterias que garantem o abastecimento em períodos sem sol (PORTAL ENERGIA, 2004).

Com custos iniciais mais elevados que os sistemas on-grid, devido a necessidade de armazenamento da energia produzida, os sistemas off-grid podem ainda ser de pequeno ou de grande porte. Os de pequeno porte são aqueles que geram sua energia em menor escala, mas que ainda são independentes da energia elétrica convencional, já os sistemas off-grid de grande porte são indicados para aqueles clientes com altas demandas energéticas, e que assim como aqueles consumidores de pequeno porte, também estão situados em localizações de difícil acesso à rede (PORTAL ENERGIA, 2004).

Os módulos fotovoltaicos, que convergem a energia solar em energia elétrica, produzem energia na forma de corrente e tensão contínuas (CC), os subsistemas de condicionamento e controle de potência pode ser formado pelo controlador de carga, o inversor, e o seguidor do ponto de máxima potência (MPPT), elementos encarregados de controlar a energia enviada às cargas e ao sistema de armazenamento (VERA, 2009). É ilustrado na Figura 11 a disposição dos elementos presentes no sistema fotovoltaico autônomo.

Figura 11: Elementos do sistema FV autônomo.



Fonte: Vera, (2009).

O controlador de cargas é usado para regular a carga da bateria e prolongar sua vida útil, protegendo-a de sobrecargas excessivas. Alguns modelos de controladores ainda tem a função de maximizar a produção de energia do painel fotovoltaico através do recurso denominado MPPT (Maximum Power Point Tracking – rastreamento do ponto de máxima potência). O inversor pode alimentar lâmpadas, aparelhos eletrodomésticos, computadores e qualquer tipo de equipamento que normalmente é alimentado pelas redes residenciais de tensão alternada, (VILLALVA, 2012).

Os sistemas isolados de geração de energia solar fotovoltaica, de maneira simplificada, são compostos de quatro componentes:

- Painéis solares ou placas solares: Geram a energia elétrica que abastece as baterias. Tem a propriedade de transformar a radiação solar em corrente elétrica contínua. Um sistema pode ter apenas um painel ou vários painéis interligados entre si.
- Controladores de carga: Garantem o correto abastecimento das baterias evitando sobrecargas e descargas profundas, aumentando sua vida útil.
- Inversores: Tem a função de transformar corrente contínua (CC) em corrente alternada (AC), e elevar a tensão, por exemplo, de 12V para 127V. Em alguns casos pode ser ligado a outro tipo de gerador ou à própria rede elétrica para abastecer as baterias.
- Baterias: Armazenam a energia elétrica para ser utilizada nos momentos em que o sol não esteja presente e não haja outras fontes de energia.

O número de módulos empregados depende da necessidade de energia dos consumidores, ou seja, é necessário fazer um dimensionamento adequado.

2.6.2 *Sistemas conectados à rede (Grid - Tie)*

De acordo com Melo (2010), os sistemas conectados à rede elétrica, dispensam o uso de acumuladores de energia, pois atuam em paralelo à rede elétrica, podendo ser integrada à edificação ou próximo ao ponto de consumo. O objetivo neste caso é reduzir ou eliminar o consumo da rede pública, ou mesmo gerar excedente de energia.

URBANETZ (2010) coloca como principais vantagens desse tipo de sistema, a produtividade elevada, pois toda a energia produzida é consumida, seja pela unidade geradora ou por outro consumidor ligado à rede. Outra vantagem é ausência de baterias acumuladoras, diminuindo o custo, tanto de aquisição como manutenção do sistema.

No dia 17 de Abril de 2012, a ANEEL aprovou uma nova Resolução normativa que regulamentou as formas necessárias para que os consumidores de energia elétrica possam ser também geradores de energia, iniciando assim, a era da Micro e Mini Geração Distribuída no Brasil. Aos consumidores de eletricidade é permitido gerar parte ou todo o potencial elétrico que consomem, utilizando geradores que trabalham junto com a rede de distribuição, em regime de troca de energia.

O sistema de “troca de energia” entre consumidor e distribuidora de eletricidade não prevê a compra de energia; mas sim o armazenamento dos créditos energéticos, por um período de até 3 anos. Ou seja, o foco da regulamentação não é a criação de micro usinas de venda de energia elétrica (como aconteceu em vários países, principalmente na Europa), mas a possibilidade do consumidor ser também gerador da sua própria energia (como acontece nos Estados Unidos). Ainda assim, devida à altíssima disponibilidade solar, algumas localidades (vários estados inteiros inclusive) no Brasil se beneficiarão financeiramente de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, por conta dos valores da energia elétrica praticado pelas distribuidoras locais (devido, principalmente, às dificuldades de levar a sua rede em tais localidades) (ANEEL, 2012).

Em alguns países os consumidores são incentivados a produzir excedente de energia e são remunerados pela eletricidade que exportam. Rodríguez (2002) destaca os diferentes tipos de incentivos tarifários:

- Net meeting: a tarifação ocorre pela medição da energia líquida gerada, ao final de cada ciclo é medida a diferença do que foi consumido do que foi gerado, se o consumo for menor que a produção a gerado crédito. Este sistema de tarifação é mais comum nos Estados Unidos;
- Feed in: criado na Europa para incentivar o uso de energias renováveis, há dois medidores. Há a premiação com a instalação do sistema de energia fotovoltaica em sua residência, além disso recebe também pela energia exportada para a rede elétrica. O pagamento pela energia exportada é maior do que o preço da energia consumida da rede pública, tornando a instalação de um sistema fotovoltaico com tarifação feed in muito vantajosa e rentável.

A instalação de um sistema conectado à rede deve seguir a norma específica da concessionária local de distribuição de energia elétrica. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser centralizados, constituindo usinas, ou micro e minissistemas descentralizados de geração distribuída instalados em qualquer tipo de consumidor. São assim classificados em três categorias:

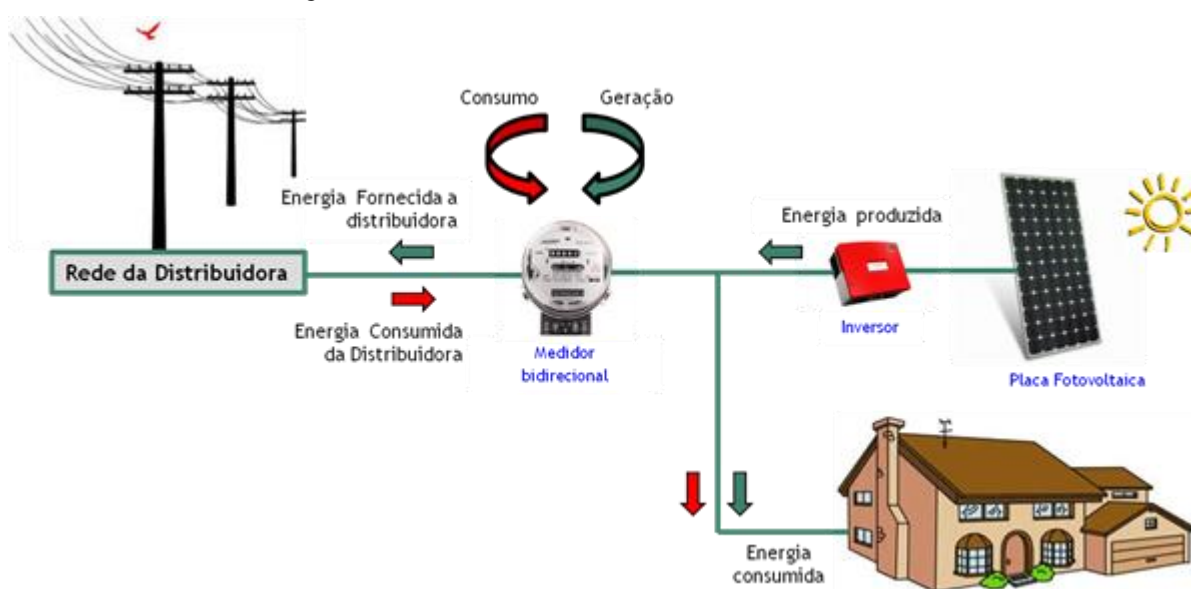
- Microgeração: potência instalada até 100 kW;
- Minigeração: potência instalada entre 100 kW e 1 MW;
- Usinas de eletricidade: potência acima de 1 MW.

Melo (2010) aponta que a energia fotovoltaica apresenta um custo alto, no entanto esses custos vêm diminuindo ao longo dos anos devido à vários fatores, como programas de incentivos à sua implantação, aperfeiçoamento de processos de

fabricação, diversidade de tecnologia, eficiência dos módulos e a procura por energia sustentável.

A implantação de sistemas de geração de energia fotovoltaica pelas unidades consumidoras no Brasil, vem sendo estimuladas pela possível economia no consumo energético do que por eventuais ganhos diretos. Basicamente o sistema fotovoltaico conectado à rede é composto por painéis fotovoltaicos e inversores de energia, funcionando de forma conjunta com a rede de distribuição, onde esta passa a ser uma bateria infinita para o sistema, armazenando e fornecendo energia. Está ilustrado na Figura 12 a forma simplificada do funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Figura 12: Sistema Solar fotovoltaico Conectado.



Fonte: <<http://www.viridian.com.br/tecnologia/energia+solar+fotovoltaica/4>>. Acesso em 02 de dezembro de 2015.

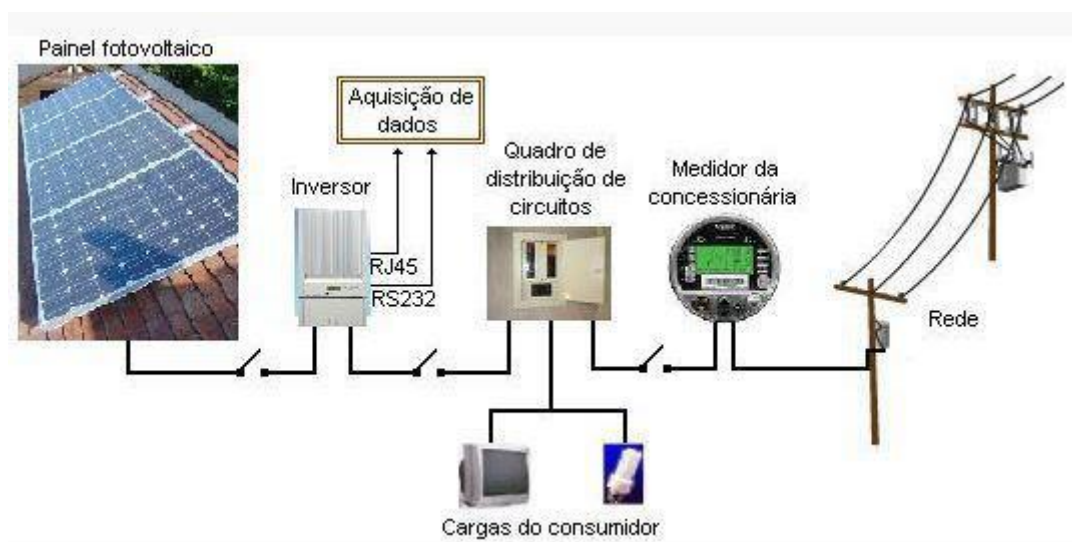
Como já comentado para os sistemas autônomos, os inversores têm a finalidade de transformar uma corrente contínua em corrente alternada. Como módulos fotovoltaicos geram corrente contínua, para utilizar equipamentos eletrônicos convencionais, deve-se utilizar um inversor CC/CA. Os inversores utilizados têm como principais funções:

- Rastreamento do Ponto de Máximo de Potência (MPPT – Maximum Power Point Tracking) – Através do controle da corrente, esse sistema realiza ajustes para manter os painéis sempre operando perto do seu ponto de maior potência.

-
- Converter a corrente CC gerada pelo painel fotovoltaico em CA.
 - Desconexão e isolamento: Desconectar o arranjo fotovoltaico da rede caso os níveis de corrente não estejam dentro da faixa aceitável dos padrões da rede elétrica, e isola o gerador fotovoltaico da rede quando a mesma não estiver energizada, evitando possíveis acidentes com operadores.
 - Relatório de Status – Os inversores registram grandezas elétricas (corrente, potência, energia diária e acumulada), e parâmetros meteorológicos e térmicos (irradiância no plano dos geradores e a temperatura de operação dos painéis).

O esquema do sistema fotovoltaico conectado à rede é ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Esquema do Sistema FV Conectado à Rede.



Fonte: Engenharia Solenerg. Disponível em < <http://www.solenerg.com.br/blog/curso-de-projetista-de-sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-em-setembro2013/>>. Acesso em 02 de dezembro de 2015.

Os inversores são essenciais para os sistemas conectados à rede elétrica, sem os quais não seria possível fazer a injeção da energia produzida pelos módulos na rede elétrica (VILLALVA, 2012), funcionando também como unidade protetora contra choques elétricos, promovendo o desligamento dos sistemas na ocasião de falta de energia fornecida pela distribuidora (GRABOLLE, 2010). A escolha adequada para um determinado projeto depende da potência gerada e dos módulos que são empregados.

De acordo com a resolução (nº 0129/2012) proposta pela ANEEL, para os sistemas de medição instalados, a contabilização da energia gerada e consumida na instalação que possua micro ou minigeração distribuída, o sistema de medição deve ter a “funcionalidade de medição bidirecional de energia elétrica ativa”. Descreve que a

medição para microgeradores (potência instalada de até 100 kW) deve ser bidirecional, com a seguinte nota explicativa: “O medidor bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede”.

Os medidores usados são bidirecionais, ou seja, registram medições nas duas direções, quando a produção de energia pelo sistema local for maior que o consumo, o medidor registra o que está sendo injetado na rede, e quando o consumo é maior que a produção, a energia da rede de distribuição é inserida na unidade consumidora e registrado pelo medidor. (RODRÍGUEZ, 2002)

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

3.1 Características do local

Caruaru é um município brasileiro do estado de Pernambuco, localizado na região do Agreste do estado, a uma distância de 136,86 km da capital pernambucana. Ocupa uma área de 920,611 km², sendo que 16,65 km² estão em perímetro urbano. Possui uma população total de 314.912 habitantes (censo de 2010), sendo que desse total cerca de 90,6% (aproximadamente 285.000 habitantes) da população vive em meio urbano, o que torna Caruaru a cidade do interior do estado mais populosa.

O clima de Caruaru, segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, é o BSh que o classifica como semiárido. Possui uma precipitação média anual de 764 milímetros, concentrados entre março e julho. O município está localizado sobre o Planalto da Borborema a uma altitude de 553m, o que impede a chegada de precipitações mais abundantes, e minimiza o volume de nuvens sobre a região.

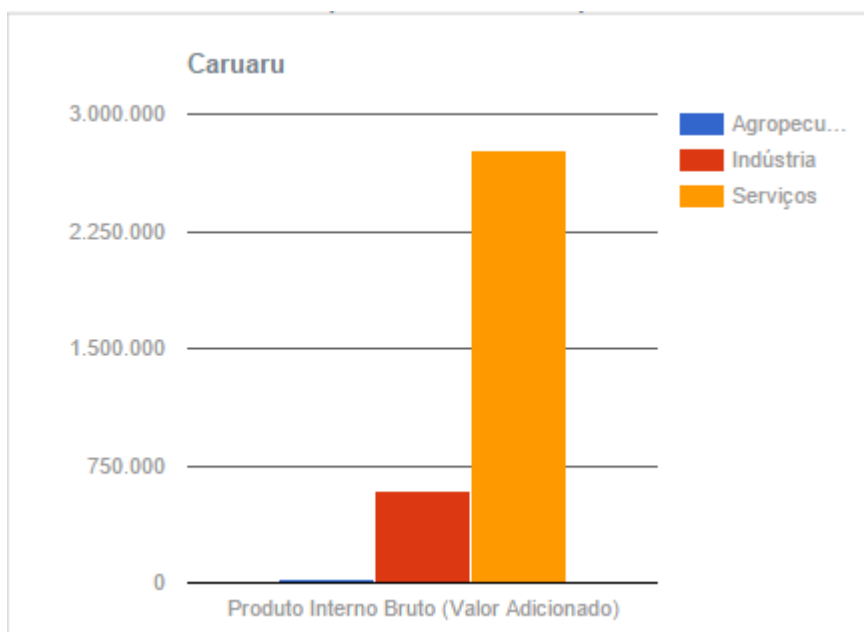
Figura 14: Localização de Caruaru-PE



Fonte: Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Caruaru>>. Acesso em 14 de Junho de 2016

Caruaru apresenta como principais fontes de renda os serviços, a indústria, agropecuária e o turismo típico das épocas de festas juninas. Com maior ênfase na área dos serviços, devido a grande área comercial, maior parcela da economia da região, pode-se assim explicar o seu rápido desenvolvimento. No Gráfico 8 é ilustrado a atual situação econômica de caruaru.

Gráfico 8: Produto interno bruto de Caruaru.



Fonte: IBGE, (2010).

Nos últimos 15 anos Caruaru apresentou um crescimento populacional bastante elevado, de 231 mil para 313 mil habitantes, passando a ser a 4ª maior cidade do Estado e a 75º do país, com uma população circulante de 1,5 milhões. Junto com a população e a renda da cidade, cresceu também a economia, sendo hoje Caruaru um dos mais importantes polos de desenvolvimento do estado de Pernambuco. A cidade de Caruaru se encontra numa situação privilegiada geograficamente falando, pois é cortada por uma intensa malha rodoviária, o que proporciona distancias menores e consequentemente um melhor escoamento da produção e do comercio em condições estratégicas. Caruaru exerce uma forte influência comercial em mais de 40 municípios, com um crescimento médio de 8%, com isso passando a ser uma das 25 cidades que mais crescem no Brasil (IBGE, 2010).

3.2 Levantamento Solarimétrico de Caruaru – PE

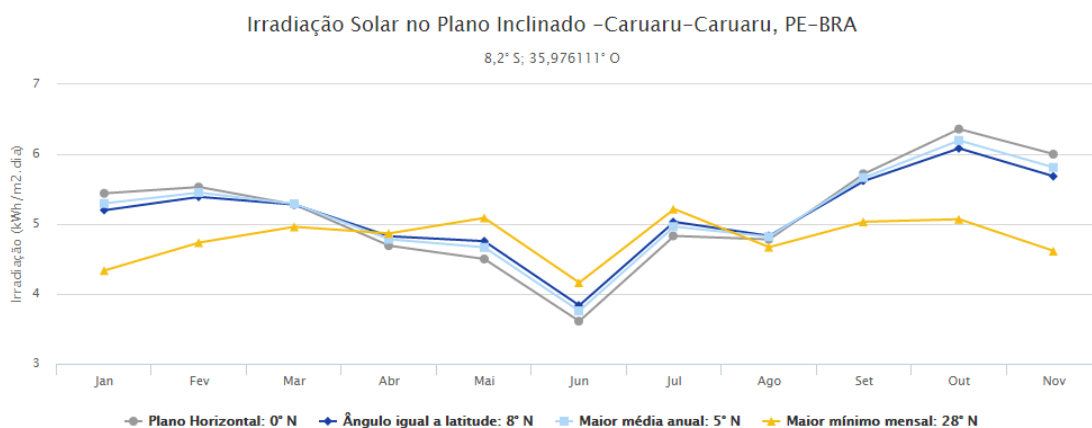
Para avaliar o potencial de geração de energia solar na cidade de Caruaru/PE foi utilizada a ferramenta no site do CRESEB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito) inserindo a Latitude 8°17'00" S e Longitude 35°58'34" O para visualizar o Índice Solarimétrico local. Para encontrar as coordenadas geográficas foi utilizado o aplicativo do Google Earth. Os dados do CRESEB foram utilizados como

fontes para a confecção do Atlas Solarimétrico do Brasil. NA Figura 15 é apresentado o valor do índice solarimétrico para a região de Caruaru.

Figura 15: Índice Solarimétrico de Caruaru (KWh/m².dia).

Estação: Caruaru
Município: Caruaru , PE - BRA
Latitude: 8,2° S
Longitude: 35,976111° O
Distância do ponto de ref. (8,283333° S; 35,976111° O): 9,3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,44	5,53	5,28	4,69	4,50	3,61	4,39	4,83	4,78	5,72	6,36	6,00	5,09	2,75
✓	Ângulo igual a latitude	8° N	5,20	5,39	5,28	4,83	4,76	3,84	4,67	5,03	4,83	5,62	6,08	5,68	5,10	2,25
✓	Maior média anual	5° N	5,30	5,45	5,29	4,78	4,67	3,76	4,57	4,96	4,82	5,67	6,20	5,81	5,11	2,44
✓	Maior mínimo mensal	28° N	4,34	4,74	4,96	4,87	5,09	4,16	5,08	5,22	4,67	5,03	5,07	4,61	4,82	1,05

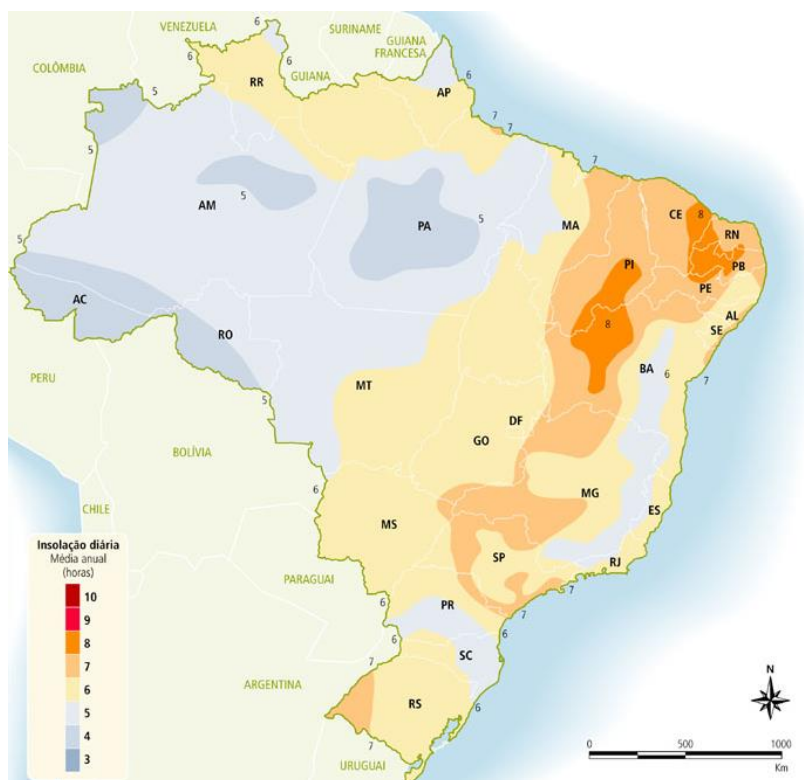


Fonte: CRESEB, Disponível em < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em 05 de Dezembro de 2015.

Para o presente estudo foram dimensionados sistemas fotovoltaicos conectados à rede local de distribuição. Não foi utilizado o sistema autônomo pelo fato de que na região de Caruaru todas as residências receberem energia da concessionária CELPE, e também pelo fato de que cada vez mais se torna menos viável o armazenamento dessa energia.

Para o dimensionamento do sistema conectado à rede (*On-Grid*) foi utilizado o valor referência da “Maior média anual” inclinado a 5° N, 5,11 kWh/m².dia, de modo a ser mais conservador no dimensionamento do sistema, já que a energia é assegurada pela rede e podendo ter uma margem de segurança no fornecimento de energia elétrica. De acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil (ANEEL, 2000) o período de insolação na Região do Agreste Pernambucano é de cerca de 6 horas.

Figura 16: Média anual de insolação no Brasil, (horas).



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil. Recife: Editora Universitária da UFPE, (2000).

Para o dimensionamento do sistema, o consumo de energia foi obtido através de uma simulação feita para cada tipo de residência, levando em consideração o tipo de projeto-padrão e a classe econômica do proprietário.

3.3 Caracterização do Usuário

O estudo se caracteriza por analisar o custo de implementação do sistema fotovoltaico em residência padrão R1-N na forma individualizada de geração, comparando com o custo de implementação de forma conjunta. Para isso, foi utilizado como modelo um edifício residencial padrão PP-N, caracterizadas segundo a ABNT 12.721/2006

Na cidade de Caruaru muitos imóveis apresentam o padrão do modelo, como ilustrado na Figura 17, e que na sua grande maioria carecem de sistemas que proporcionem uma melhora na qualidade de vida dos habitantes. A ideia do presente projeto foi apresentar uma alternativa que primeiramente viabilizasse a implementação do sistema, trazendo vantagens tanto para o empreendedor como para o consumidor, como também uma alternativa para os problemas energéticos que o país enfrenta

atualmente, levando o conceito de sustentabilidade para a região de Caruaru, que apesar de possuir grande potencial de energia solar ainda é pouco difundido.

Figura 17: Edifício modelo de 4 pavimentos.



Fonte: <<http://www.reformais.com.br/tags/planta-baixa>> visitado em 14 de Junho de 2016.

A tipo de residência utilizado no estudo foi o R1-N (*PADRÃO NORMAL*), com 2 apartamentos com área de aproximadamente 106,44 m² e que possui 3 dormitórios, sendo um suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda e garagem. Para o edifício foi utilizado o padrão PP-N, que é um prédio Popular de padrão normal composto com garagem, pilotis e 4 pavimentos tipo, sendo que cada pavimento tipo possui um Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar com três dormitórios, sendo um suíte, sala estar/jantar, banheiro social, cozinha e área de serviço com banheiro e varanda.

3.4 Dimensionamento do Sistema FV

Para estar de acordo com a Resolução nº 482 da ANEEL, que estabelece os critérios de microgeração e minigeração de unidades consumidoras, o consumidor deve instalar um medidor bidirecional, para o caso da geração individual de energia. A tarifação será feita sobre o valor líquido consumido pela unidade, ou seja, o consumidor

será cobrado pela energia efetivamente consumida, no caso se a produção energética for menor que a energia consumida. O medidor bidirecional deve ser indicado pela concessionária local em obediência às normas vigentes.

Para o sistema FV conectado à rede na cidade de Caruaru deve ser usado o índice solarimétrico de 5,11 kWh/m².dia.

3.4.1.1 Associação de Painéis Solares

Os painéis solares geram a eletricidade em corrente contínua e portanto, fornecem energia polarizada, ou seja, um polo é POSITIVO e o outro polo é NEGATIVO. Em sua grande maioria, são fabricados para atender a uma tensão nominal de 12 ou 24 Volts, mas geram 17 ou 34 Volts quando ligados no sistema. Na instalação dos painéis a associação deles obedecem a Lei de Ohm, ou seja:

a) Se conectarmos um painel a outro em PARALELO - (positivo com positivo e negativo com negativo), a cada painel adicionado, a tensão se mantém e as correntes se somam;

b) Se conectarmos um painel a outro em SÉRIE - (positivo de um painel com o negativo do outro), a cada painel adicionado a corrente se mantém e as tensões se somam.

Como cada célula produz apenas cerca de 0,5 Volts no seu ponto de máxima potência, os painéis serão instalados em serie para aumentar a voltagem no sistema.

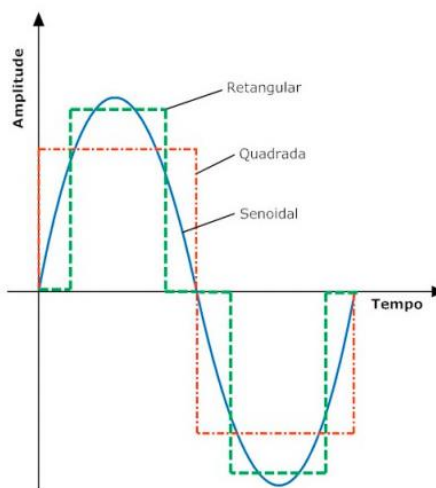
3.4.1.2 Dimensionamento do inversor

Como a energia proveniente dos painéis é em corrente contínua (CC) e muitos dos equipamentos que utilizamos são fabricados para corrente alternada (AC) os inversores são utilizados para modificar a tensão de entrada (Ex.: 12 Volts) em tensões de saída 110 ou 220 Volts, assim como a corrente contínua em alternada (senoidal). O inversor deve ser dimensionado para uma potência igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos ligados em série.

Os inversores são classificados quanto a forma de onda de saída que produz, sendo os principais tipos: onda quadrada; senoidal modificada ou retangular; e onda senoidal pura. No presente estudo foi aplicado o inversor com onda de saída senóide modificada, que são inversores que geram uma forma de onda retangular. Tem ótimo

custo x benefício e pode ser aplicado na maioria das cargas de consumo, exceto motores e equipamentos indutivos não retificados na entrada. Observe no Gráfico 9 que a forma de onda retangular é a que mais se aproxima da senoidal pura.

Gráfico 9: Tipos de ondas dos inversores.



Fonte: <<http://www.solcentral.com.br/produtos>>, visitado em 14 de Junho de 2016.

Os Inversores de Onda Quadrada são os mais simples e econômicos, porém só servem para pequenas aplicações. Os Inversores de Onda Senoidal Pura produzem uma onda senoidal praticamente perfeita, porém ainda apresentam um custo mais elevado que os de onda senoidal modificada.

O levantamento dos custos dos equipamentos foi feito no mercado virtual, tendo em vista que a região de Caruaru não possui pontos de venda dos equipamentos usados em sistemas de geração de energia solar. Na totalização dos custos foi considerado frete e mão-de-obra, pela falta dos serviços na região.

O orçamento geral da obra foi calculado com base no custo unitário básico de construção (CUB/m²), que está de acordo com a NBR 12.721:2006, para o tipo de residência unifamiliar analisado R1-N e para o edifício modelo padrão PP-N. Para o estudo foi utilizado o CUB do Sinduscon-PE do mês de maio de 2016.

Para se estabelecer uma projeção tarifária praticada pela distribuidora CELPE, foi contemplado o valor do reajuste da tarifa de energia elétrica, que é de 10% ao ano. Percentual que é adicionado ao valor de economia gerada pelo sistema FV nos meses de janeiro de cada ano.

Foi realizada uma análise do tempo de retorno do investimento para o sistema solar fotovoltaico conectado à rede, dos sistemas instalados isoladamente. A segunda

análise seria verificar o custo de investimento de um sistema fotovoltaico único para o edifício, com relação ao custo total da obra. E para finalizar, uma análise comparativa entre o custo do sistema isolado com o sistema único para cada residência.

A construção de uma residência e instalação de um sistema solar, demanda recurso para implantação do sistema de geração própria de energia. Portanto foi avaliado o tempo necessário para recuperar o recurso gasto na instalação do sistema FV, com base na economia da conta mensal de energia ao longo do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise a ser considerada no estudo foi a de instalação do sistema fotovoltaico isolado para a residência padrão R1-N. Nessa análise se busca avaliar a viabilidade de instalação do sistema FV avaliando o tempo de retorno do investimento.

4.1 Cálculo da tarifa de energia

No cálculo da tarifa de energia a ser cobrada pela concessionária, são atribuídos os tributos referentes estabelecido pelas leis federais, que incluem ICMS, PIS e o COFINS, e que entram na base de cálculo da tarifa de energia elétrica. O resultado final dessa equação será utilizado para o cálculo do consumo de energia mensal nas residências, como apresentado na tabela 1.

Figura 18: Cálculo da tarifa de energia.

$$\text{Valor a ser cobrado do consumidor} = \frac{\text{Valor da tarifa publicada pela ANEEL}}{1 - (\text{PIS} + \text{COFINS} + \text{ICMS})}$$

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica Aneel (2012).

Tabela 1: Cálculo do custo/kWh pago pelo consumidor.

TARIFA A SER COBRADA POR kWh			
TARIFA (R\$/kWh)	ICMS (%)	PIS (%)	COFINS (%)
0,40	25	0,42	1,95
CUSTO FINAL DO CONSUMIDOR			0,544183

Fonte: Do Autor, (2016).

Portanto o custo cobrado pela concessionária por kWh será de 0,544183 R\$.

4.2 Cálculo do consumo de energia elétrica das residências

Para análise do consumo de energia elétrica, foi realizado uma estimativa do que possivelmente estaria sendo utilizado em cada tipo de residência, podendo ocorrer variações com a realidade. Para o cálculo do consumo de energia, será utilizado a

potência dos equipamentos e o seu tempo de uso. Esses resultados foram consultados na internet para os diferentes tipos de residência, levando em consideração seus níveis.

Equipamentos como geladeira e ar condicionado possuem controladores de temperatura, termostatos, que tem a função de desligar o compressor quando determinada temperatura é atingida. Portanto o tempo de uso real desses equipamentos foram registrados com relação ao tempo que eles permanecem ligados, e que de acordo com o equipamento esses valores podem sofrer alterações dependendo do seu uso.

No estudo foi considerado alguns coeficientes que ponderam o tempo de uso de geladeira e ar condicionado, de forma a estimar o consumo com mais eficiência desses equipamentos. Para a geladeira foi utilizado um coeficiente de 0,25, e para ar condicionado 0,33. Na Tabela 2, é apresentado uma simulação do consumo de energia elétrica para a residência padrão R1-N.

Tabela 2: Simulação do consumo para o padrão R1-N.

Simulação do consumo R1-N					
CÔMODO:	COZINHA	TARIFA:		0,544	R\$/kWh
Item	Quantidade	Potência (W)	Tempo de Uso (Min/Dia)	kWh/mês	R\$/mês
Geladeira	1	130	600	39	21,22
sandueira	1	750	10	3,75	2,04
Liquidificador	1	300	5	0,75	0,41
Microondas	1	1200	10	6	3,27
Fogão	1	6000	1	3	1,63
				PARCIAL	R\$ 28,57
CÔMODO:	SALA	TARIFA:		0,544	R\$/kWh
Item	Quantidade	Potência	Tempo de Uso (Min/Dia)	kWh/mês	R\$/mês
TV	1	75	300	11,25	6,12
DVD	1	50	120	3	1,63
SOM	1	80	60	2,4	1,31
				PARCIAL	R\$ 9,06
CÔMODO:	BANHEIRO	TARIFA:		0,544	R\$/kWh
Item	Quantidade	Potência	Tempo de Uso (Min/Dia)	kWh/mês	R\$/mês
Chuveiro	3	4400	18	39,6	21,55
secador	1	2000	1	1	0,54
				PARCIAL	R\$ 22,09
CÔMODO:	DORMITÓRIOS	TARIFA:		0,544	R\$/kWh
Item	Quantidade	Potência	Tempo de Uso (Min/Dia)	kWh/mês	R\$/mês
NOTEBOOK	2	60	500	15	8,16
VENTILADOR	2	120	600	36	19,59
Ar-condicionado	1	3000	120	180	97,95
				PARCIAL	R\$ 125,71
CÔMODO:	ÁREA DE SERVIÇO	TARIFA:		0,544	R\$/kWh
Item	Quantidade	Potência	Tempo de Uso (Min/Dia)	kWh/mês	R\$/mês
MÁQUINA DE LAVAR	1	350	3	0,53	0,29
				PARCIAL	R\$ 0,29

CUSTO TOTAL MENSAL(R\$)	R\$ 185,72
CONSUMO (Kwh/MÊS):	341,28

Fonte: Do Autor, (2016).

Como mostrado na Tabela 2, o custo e o consumo pode variar, de acordo fatores como por exemplo o tempo de uso desses equipamentos e a instalação de equipamentos

com elevada tensão. Os valores utilizados no estudo representam uma média do tempo de uso da população, e produtos como ar-condicionado e ventiladores podem sofrer variação do seu tempo de uso dependendo da região do país.

4.3 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos do sistema Grid Tie (Conectado à rede), alguns fatores são relevantes, como: o consumo médio mensal em kWh, o local da residência para se obter a irradiação e a quantidade de energia a ser gerada. Outro fator importante para esse dimensionamento é a quantidade de energia que o sistema deve produzir. Este dado é também muito importante, pois influencia na eficiência do sistema e também no seu custo de implementação, não podendo ultrapassar os 100%, pois não seria interessante gerar energia para concessionária, visto que a mesma só retorna o excedente em forma de crédito na conta de luz, não valendo a pena encarecer o custo de implementação do sistema fotovoltaico. Para esta análise será considerado que as placas gerarão 90% da energia para todos os tipos de residência.

Para o dimensionamento das placas, primeiro se verifica o valor do consumo de energia elétrica médio para a residência padrão R1-N. Depois transforma a unidade de kWh/mês para Wh/dia, que é a unidade que se utiliza diretamente para o cálculo da potência gerada no sistema. Para isso é necessário multiplicar o valor de kWh/mês por 1000 e dividir por 30, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Transformação das unidades de consumo.

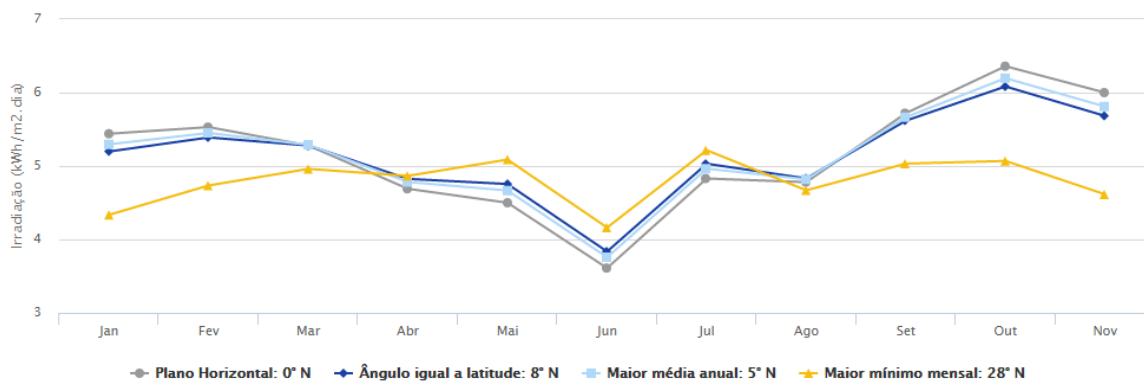
CONSUMO MENSAL DAS RESIDENCIAS	kWh/mês	Wh/dia
R1-N	341,3	11375,8

Fonte: Do Autor, (2016).

Agora o próximo passo é identificar o índice solarimétrico da região de Caruaru. Com o auxílio da ferramenta no site da CRESESB, foi inserido como dados de entrada a Latitude 8°17'00" S e a Longitude 35°58'34" O. No gráfico gerado pelo site percebe-se que todas as curvas têm comportamento parecido, bastando apenas escolher a que mais se adapta ao projeto. Para o estudo, que tem como objetivo gerar o máximo de energia durante todo o ano. Foi escolhido a curva com inclinação de 5° N e que apresenta a

maior média anual entre todas as curvas apresentadas, com o valor de radiação igual a 5,11 kWh/m²/dia.

Gráfico 10: Irradiação solar mensal na região de Caruaru.



Fonte: CRESEB, Disponível em < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em 05 de Dezembro de 2015.

Tabela 4: Irradiação solar mensal na região de Caruaru.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	t
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Plano Horizontal	0° N	5,44	5,53	5,28	4,69	4,50	3,61	4,39	4,83	4,78	5,72	6,36	6,00	5,09	
Ângulo igual a latitude	8° N	5,20	5,39	5,28	4,83	4,76	3,84	4,67	5,03	4,83	5,62	6,08	5,68	5,10	
Maior média anual	5° N	5,30	5,45	5,29	4,78	4,67	3,76	4,57	4,96	4,82	5,67	6,20	5,81	5,11	
Maior mínimo mensal	28° N	4,34	4,74	4,96	4,87	5,09	4,16	5,08	5,22	4,67	5,03	5,07	4,61	4,82	

Fonte: CRESEB, Disponível em < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em 05 de Dezembro de 2015.

Em seguida, com os dados do consumo diário e com o índice solarimétrico da região, se calcula a potência necessária para o sistema dividindo o consumo diário (Wh/dia) pelo índice solarimétrico (kWh/dia.m²). O resultado se dá em Watts pela área de painéis, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Cálculo da potência do sistema.

índice solarimétrico	5,1	kWh/m ² .dia.
CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SISTEMA	CONSUMO DIÁRIO (Wh/dia)	POTÊNCIA DO SISTEMA (Watts)
R1-N	11375,8	2226,19

Fonte: Do Autor, (2016).

Com o valor da potência total que o sistema precisa gerar, altera-se o valor para 90%, de forma a se obter a potência para o qual o sistema FV será dimensionado. O valor para a eficiência de 90% é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Cálculo da potência para eficiência de 90%.

DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS (R1-N)		
Potência necessária do sistema	2226,2	watts
Para uma eficiência de 90%	2003,6	watts

Fonte: Do Autor, (2016)

Basta agora dividir a potência referente a 90% pela potência de cada painel a ser instalado. No estudo foi adotado painéis com 255W, e os resultados são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Número de painéis para a residência padrão R1-N.

Determinação do Nº de Placas (R1-N)		
Potência necessária por painel	2226,2	watts
Para uma eficiência de 90%	2003,6	watts
Qtde de placas de 255 watts	8	placas

Fonte: Do Autor, (2016).

A instalação dos painéis foi projetada na cobertura do prédio, e para isso foram utilizados suportes de alumínio que servem para fixação dos painéis e para inclinação do sistema, como ilustra a figura 19. Para o estudo foi considerado uma inclinação de 5° N.

Figura 19: Suportes de alumínio para fixação dos painéis.



Fonte: Guia Neoenergia, (2016).

4.4 Inversores de corrente

Para instalação de um sistema fotovoltaico, é indispensável a aplicação de um inversor de corrente. Ele tem a função de transformar a corrente contínua com que é

alimentado pelos painéis, em corrente alternada a ser consumida pelos aparelhos domésticos das residências.

No mercado existem diversas marcas e tipos de inversores, que basicamente são classificados pelo tipo de onda que produz e pela potência de entrada gerada pelo sistema. Para o presente estudo foram selecionados inversores com o tipo de onda senoidal modificada, que são inversores que apresentam um excelente custo x benefício. Na Tabela 8 é apresentado o inversor utilizado no sistema R1-N, como também a potência gerada pelo sistema.

Tabela 8: Potência do inversor para R1-N.

INVERSOR INSTALADO PARA R1-N		
TIPO DE ONDA:	RETANGULAR	
POTÊNCIA DO SISTEMA (kWh/mês):		307,1
POTÊNCIA GERADA PELO SISTEMA DE PLACAS EM SÉRIE (Watts):		2040
INVERSOR ADOTADO PARA R1-N:	Inversor Fronius Galvo 2.0-1 light (2.000W)	R\$ 8.690,00

Fonte: Do Autor, (2016).

O inversor foi escolhido de acordo com a potência de pico do sistema, um dimensionamento bastante prático que consiste em comparar a potência gerada pelos painéis com a do inversor. A maioria dos inversores permitem que os valores possam variar um pouco devido a potência de pico do sistema dificilmente ser atingida.

4.5 Custo do Sistema Fotovoltaico

Os custos para implementação de um sistema fotovoltaico, com já foi comentado, dependem de diversos fatores. No caso da região de Caruaru além do custo dos equipamentos foi acrescentado o frete (equivalente a 10% do valor total do sistema), visto que na região ainda não possui um comercio específico.

Foi realizado um levantamento com base no mercado virtual para o padrão R1-N, com o intuito de tornar o levantamento o mais real possível. A quantidade de painéis como também o inversor já foram dimensionados, o que falta agora é dimensionar os kits de instalação dos painéis e os materiais necessários para aplicação do sistema.

Os kits de montagem dos painéis são dimensionados para a instalação de 3 a 4 painéis cada kit, e são constituídos de:

- Trilhos de alumínio;
- Grampos de fixação intermediária;
- Grampos de fixação terminal para painéis fotovoltaicos;
- Parafusos de inox M10x200 com dupla rosca para a fixação na estrutura do telhado;
- Porcas M8 em aço inox.

Na Figura 20 é ilustrado os trilhos de alumínio e o esquema do parafuso de rosca dupla que serve para se aplicar a inclinação nos painéis fotovoltaicos.

Figura 20: Kit de montagem dos painéis.



Fonte: Guia prático de energia solar, (Neoenergia, 2015).

Outro item importante também considerado no custo de instalação são os disjuntores, cabos e conectores. Cabeamento e conectores são específicos para sistemas fotovoltaicos e usados para as conexões entre os painéis e inversores (lado CC) e também entre os inversores e a rede elétrica (lado AC). Os cabos têm seção de 4 mm² ou 6 mm² e os conectores seguem o padrão conhecido como MC4 (Multi-Contact 4).

Para a instalação dos painéis fotovoltaicos no padrão R1-N, foi utilizado cabos de 4 mm², que foram escolhidos de acordo com a amperagem do sistema e a distância de instalação, e quadro elétrico com chave seccionadora de 16 A. Na Figura 21 é ilustrado os cabos, conectores e chave seccionadora fotovoltaica.

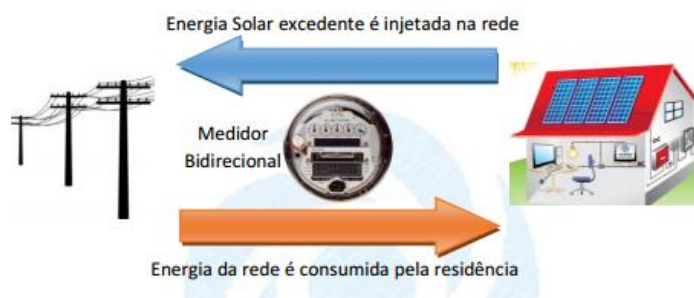
Figura 21: Cabos, Conectores e Chave seccionadora.



Fonte: Guia prático de energia solar, (Neoenergia, 2015).

Na Figura 22 é apresentado o relógio bidirecional ou medidor bidirecional, que mede a energia consumida da rede e a energia que é gerada pelo sistema solar. Esse relógio é instalado pela própria empresa concessionária, e o valor varia entre R\$100,00 e R\$ 200,00 de acordo com estudos.

Figura 22: Medidor bidirecional.



Fonte: Guia prático de energia solar, (Neoenergia, 2015).

Na Tabela 9 abaixo, é apresentado o custo de implementação do sistema fotovoltaico para o padrão R1-N.

Tabela 9: Custo de implementação para R1-N.

Custo para Implantação do sistema solar fotovoltaico PARA UM CONSUMO DE R1-N			
Material	Quant. (un.)	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6P-255P	8	R\$ 849,00	R\$ 6.792,00
Kit de montagem Thesan	2	R\$ 839,00	R\$ 1.678,00
Relógio Bidirecional	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Disjuntores, Cabos e Conexoes	TOTAL		R\$ 2.091,40
INVERSOR FOTOVOLTAICO	1	R\$ 8.690,00	R\$ 8.690,00
Instalação dos Materiais	2 instaladores (R\$ 120,00 por pessoa)		R\$ 1.200,00
TOTAL (com acréscimo de 10%)			22716,54

Fonte: Do Autor, (2016).

4.6 Cálculo da energia gerada pelo sistema

O Cálculo da energia gerada pelo sistema fotovoltaico é necessário para realizar o estudo da viabilidade econômica de implementação, para os diferentes padrões de residência estudado. Para isso utiliza-se o valor da energia gerada pelo sistema por ano multiplicada pela taxa cobrada pela concessionária, obtendo o montante anual economizado pelo consumidor.

Abaixo na Tabela 10 é apresentado o consumo e o valor a ser pago pelo consumidor da energia fornecida pela concessionária, e os valores da energia produzida pelo sistema fotovoltaico para uma eficiência de 90%, juntamente com a economia gerada pela produção de energia solar anual. Por último foi realizado uma diferença entre o valor anual cobrado pela concessionária e o que foi economizado pelo sistema, resultando no valor real que o consumidor pagará anualmente.

Tabela 10: Economia gerada pelo sistema R1-N.

ECONOMIA GERADA PELO SISTEMA R1-N		
Fornecimento da energia pela concessionária		
Consumo anual de energia	4095,3	KWh
Valor anual	2228,59	R\$
Sistema Fotovoltaico		
Quantidade de energia gerada no projeto por ano	3685,77	KWh
Valor da Economia Anual	2005,73	R\$
Valor a ser pago por ano	222,86	R\$

Fonte: Do Autor, (2016).

De acordo com o resultado apresentado na tabela 9, pode-se saber o valor do retorno anual do investimento através da economia que o sistema fotovoltaico fornece. Com esse valor realiza-se a análise do investimento e seu tempo de retorno.

4.7 Análise do investimento

Para análise do investimento, basicamente foi utilizado o valor economizado pelo sistema anualmente e o custo de implementação. Ao valor da energia gerada pelo sistema fotovoltaico foi acrescido uma taxa referente ao reajuste anual da tarifa pela concessionária. Essa taxa de reajuste teve um valor de 10 % sobre o total do valor economizado, e é aplicada anualmente sempre no mês de janeiro a partir do ano seguinte a instalação do sistema.

O período de tempo da análise foi igual ao período de garantia do sistema, aproximadamente 20 anos. Juntamente com o custo de implementação do sistema, foi adicionado um custo de manutenção que deverá ser realizado num período de 10 anos, e seu valor foi trazido para a data atual através do conceito de Valor Presente como mostra a equação. A taxa de juros aplicada foi 7,27%, valor médio do rendimento da poupança em 2015.

$$VP = \frac{Ft}{(1+i)^n}$$

Onde:

Ft – Capital a ser trazido para data atual;

i – taxa de juros;

n – tempo em anos.

A partir desses dados, foi analisado o tempo que o sistema passa para retornar o valor inicial do investimento. Na Tabela 11, é apresentado o cálculo para o padrão de residência R1-N.

Tabela 11: Análise do investimento para R1-N.

ANÁLISE DO INVESTIMENTO PARA RESIDÊNCIA TIPO R1-N					
Período (Ano)	Ano	Valor da Economia com Reajuste de 10% a.a (R\$)	Manutenção (20% a.10a) (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	Retorno do Investimento (R\$)
0	2016		3368,47	-22716,54	-26085,01
1	2017	2005,73		2005,73	-24079,28
2	2018	2206,31		2206,31	-21872,98
3	2019	2426,94		2426,94	-19446,04
4	2020	2669,63		2669,63	-16776,41
5	2021	2936,59		2936,59	-13839,82
6	2022	3230,25		3230,25	-10609,56
7	2023	3553,28		3553,28	-7056,28
8	2024	3908,61		3908,61	-3147,68
9	2025	4299,47		4299,47	1151,79
10	2026	4729,41	4543,31	186,11	1337,89
11	2027	5202,35		5202,35	6540,25
12	2028	5722,59		5722,59	12262,84
13	2029	6294,85		6294,85	18557,69
14	2030	6924,33		6924,33	25482,02
15	2031	7616,77		7616,77	33098,79
16	2032	8378,44		8378,44	41477,23
17	2033	9216,29		9216,29	50693,52
18	2034	10137,92		10137,92	60831,43
19	2035	11151,71		11151,71	71983,14
20	2036	12266,88	4543,31	7723,57	79706,71

Fonte: Do Autor, (2016).

Como observado na Tabela 11, o tempo de retorno para o investimento R1-N foi de 9 anos, e com um custo inicial de R\$ 26.085,01 já com o valor das manutenções previstas para o sistema.

4.8 Implementação do sistema para todo o edifício

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico único para todo o edifício, iremos considerar que a potência requerida para o dimensionamento do sistema único será igual a 16 vezes a potência da residência padrão R1-N, com isso há uma redução no número total de painéis, apresentando uma vantagem com relação ao custo do sistema. O sistema fotovoltaico único possui também a vantagem de se utilizar apenas um inversor, reduzindo o custo com equipamentos e mão de obra de instalação.

4.8.1 Dimensionamento do sistema Fotovoltaico para o edifício

Como já foi dito, o sistema único contará com a potência de 16 residências padrão R1-N, resultando na quantidade total de painéis necessários para o projeto, como apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: Quantidade de painéis instalados no sistema único.

DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS		
Consumo médio mensal	5460,4	kWh/mês
Dias do mês considerado	30	dias
Consumo Diário	182013,3333	Wh/dia
Eficiência do Projeto	90	%
Índice Solaramétrico	5,1	kWh/m ² .dia.
Determinação do Nº de Placas		
Potência necessária por painel	35619,0	watts
Para uma eficiência de 90%	32057,1	watts
Qtde de placas de 255 watts	126	placas

Fonte: Do Autor, (2016).

Um fator importante no custo final de um sistema fotovoltaico é a potência do inversor que será utilizado, pois ela influencia bastante no custo final do sistema. Isso pode ser verificado quando comparamos o valor do inversor instalado para o padrão R1-N com o instalado no padrão PP-N, como mostrado a Tabela 13.

Tabela 13: Custo dos inversores para cada padrão de residência.

INVERSOR ADOTADO PARA R1-N:	R\$ 8.690,00	INVERSOR ADOTADO PARA PP-N:	R\$ 56.780,00
--	---------------------	--	----------------------

Fonte: Do autor, (2016).

Para a instalação do sistema fotovoltaico no padrão R1-N percebe-se que o custo varia bastante quando se compara com o padrão PP-N, porém vale salientar que o valor de R\$ 56.780,00 foi referente a dois inversores de 17500 W instalados para todo o edifício. Uma forma mais apropriada de se comparar os valores, seria multiplicar por 16 o valor do inversor adotado para o padrão R1-N, que totalizaria R\$ 139.040,00, com o custo dos inversores do padrão PP-N. Dessa forma, comparando esses valores observa-se a diferença de implementação do sistema entre os padrões R1-N e PP-N.

4.9 Custo do sistema fotovoltaico único

O levantamento do custo para o sistema fotovoltaico único foi realizado da mesma forma que no dimensionamento do sistema R1-N, como mostrado na Tabela 14.

Tabela 14: Custo de implementação do sistema único.

Custo para Implantação do sistema solar fotovoltaico único			
Material	Quant. (un.)	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6P-255P	126	R\$ 849,00	R\$ 106.974,00
Kit de montagem Thesan 3P	2	R\$ 639,00	R\$ 1.278,00
Kit de montagem Thesan 4P	30	R\$ 839,00	R\$ 25.170,00
Disjuntores, Cabos e Conexões	TOTAL		R\$ 29.553,00
INVERSOR FOTOVOLTAICO	2	R\$ 28.390,00	R\$ 56.780,00
Relógio Bidirecional	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Instalação dos Materiais	4 instaladores (R\$ 120,00 por pessoa)		R\$ 2.400,00
TOTAL (com acréscimo de 10%)			R\$ 244.590,50

Fonte: Do Autor, (2016).

4.10 Análise do investimento

Como já era esperado, pelo fato de termos considerado o valor da potência utilizada no dimensionamento do sistema 16 vezes a potência gerada no padrão R1-N, o valor da energia gerada pelo sistema fotovoltaico no padrão PP-N também foi 16 vezes, como apresentado na tabela 15.

Tabela 15: Economia gerada pelo sistema único.

ECONOMIA GERADA PELO SISTEMA Único		
Fornecimento da energia pela concessionária		
Consumo anual de energia	21878,4	KWh/ano
Valor anual	11905,85	R\$
Sistema Fotovoltaico		
Quantidade de energia gerada no projeto por ano	19690,6	KWh
Valor da Economia Anual	10715,26	R\$
Valor a ser pago por ano	1190,58	R\$

Fonte: Do autor, (2016).

A análise do investimento foi realizada de maneira igual ao processo anterior, e mostra o quanto passa a ser viável o investimento, visto que o tempo de retorno foi

menor que o padrão R1-N. Na Tabela 16 é apresentado a análise do investimento para o padrão PP-N.

Tabela 16: Análise do investimento para o sistema único.

ANÁLISE DO INVESTIMENTO PARA PROJETO PADRÃO PP-N					
Período (Ano)	Ano	Valor da Economia com Reajuste de 10% a.a (R\$)	Manutenção (20% a.10a)	Fluxo de Caixa (R\$)	Retorno do Investimento (R\$)
0	2016		36268,59	-244590,5	-280859,09
1	2017	32091,72		32091,72	-248767,37
2	2018	35300,90		35300,90	-213466,47
3	2019	38830,99		38830,99	-174635,48
4	2020	42714,09		42714,09	-131921,40
5	2021	46985,49		46985,49	-84935,90
6	2022	51684,04		51684,04	-33251,86
7	2023	56852,45		56852,45	23600,59
8	2024	62537,69		62537,69	86138,28
9	2025	68791,46		68791,46	154929,74
10	2026	75670,61	48918,10	26752,51	181682,25
11	2027	83237,67		83237,67	264919,92
12	2028	91561,44		91561,44	356481,36
13	2029	100717,58		100717,58	457198,94
14	2030	110789,34		110789,34	567988,28
15	2031	121868,27		121868,27	689856,55
16	2032	134055,10		134055,10	823911,65
17	2033	147460,61		147460,61	971372,26
18	2034	162206,67		162206,67	1133578,93
19	2035	178427,34		178427,34	1312006,26
20	2036	196270,07	48918,10	147351,97	1459358,23

Fonte: Do Autor, (2016).

Uma justificativa para se implementar o sistema fotovoltaico na geração de quantidades maiores de energia solar seria a relação existente entre o custo do sistema e a quantidade de energia gerada, isso faz com que quanto maior for o investimento menos se paga por kW gerado, como apresentado na Tabela 17. Dessa forma ainda podemos destacar que pelo fato de se ter investido em um sistema único de maior capacidade, passou-se a pagar menos por cada kW gerado pelo sistema, e com isso, adiantasse o tempo de retorno do investimento, como ilustrado na Tabela 18.

Tabela 17: Custo por kWh para cada projeto padrão.

CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA FV PARA PADRÃO R1-N	R\$ 22.716,54
POTÊNCIA DO SISTEMA (kWh/mês):	307
RELAÇÃO ENTRE CUSTO/GERAÇÃO (R\$/kWh)	R\$ 73,96
CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA FV PARA PADRÃO PP-N	R\$ 244.590,50
POTÊNCIA DO SISTEMA (kWh/mês):	4914
RELAÇÃO ENTRE CUSTO/GERAÇÃO (R\$/kWh)	R\$ 49,77

Fonte: Do Autor, (2016).

Tabela 18: Análise do tempo de retorno para diferentes tipos de investimento.

Tipo de projeto	Custo do Investimento	Tempo de retorno (anos)
R1-N	R\$ 26.085,01	9
PP-N	R\$ 280.859,09	7

Fonte: Do Autor, (2016).

4.11 Relação entre o custo de implementação nos padrões R1-N e PP-N

Relação entre o custo de implementação do sistema fotovoltaico pode ser observada quando comparamos o padrão R1-N com o PP-N. Para realizar essa análise foi considerado o custo de implementação no padrão PP-N dividido por 16, pelo motivo de se ter esse número de apartamentos no edifício. Logo percebe-se que o sistema implementado no padrão PP-N oferece um excelente custo x benefício quando comparamos com a implementação do sistema no padrão R1-N, como mostra a Tabela 19.

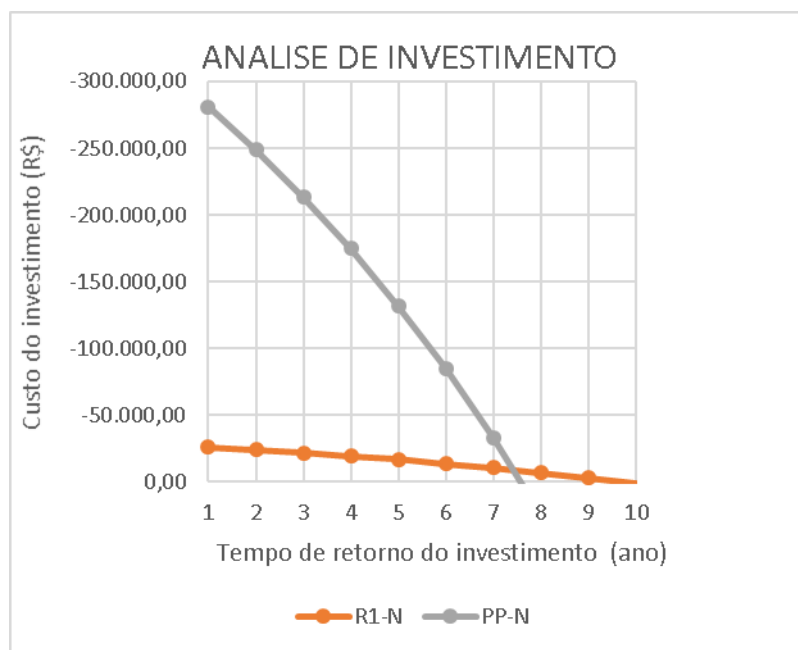
Tabela 19: Relação dos custos de implementação entre o sistema individual e o único.

R1-N	PP-N
R\$ 26.085,01	R\$ 17.553,69

Fonte: Do Autor, (2016).

Isso mostra o quanto viável seria a instalação de sistemas fotovoltaicos para geração conjunta de energia elétrica. Também vale salientar que o valor do investimento está relacionado com seu tempo de retorno, pois a relação entre o custo de implementação do sistema fotovoltaico e o total de energia gerado mensalmente passa a ser cada vez menor, ou seja, passa a ser cada vez mais viável a ideia de se implementar o sistema fotovoltaico na geração de quantidades cada vez maiores de geração de energia solar. No Gráfico 11 é apresentado a relação entre o custo do investimento com seu tempo de retorno.

Gráfico 11: Custo do investimento x Tempo de retorno.



Fonte: Do Autor, (2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em todo o mundo se levantam questões sobre formas de se buscar por tecnologias sustentáveis em diferentes aspectos e formas de uso, que proporcionem melhor qualidade de vida para a população. Esse trabalho foi focado em estudar a viabilidade de implementação de um sistema único de painéis fotovoltaicos implementado no padrão PP-N para captação de energia solar, comparando seu custo com o de um sistema fotovoltaico implementado em residência padrão R1-N. A cidade de Caruaru possui condições climáticas e geográficas excelentes, oferecendo assim um vasto potencial de geração de energia elétrica que ainda é pouco explorado. Para implementação desse sistema aqui na região, o foco do trabalho foi de analisar a viabilidade econômica do investimento comparando os custos entre os padrões R1-N e PP-N.

Primeiramente foi calculado o custo com a implementação do sistema no padrão R1-N, que foi de R\$ 22.716,54, e o tempo de retorno do investimento (9 anos), para ser feita uma comparação com o custo de implementação do padrão PP-N. O resultado foi bastante expressivo, pois, como foi exposto, o custo do inversor influencia muito, se tornando uma vantagem para o sistema implementado no padrão PP-N que possui dois inversores de 17.500 W, com o custo de R\$ 56.780,00. O custo do inversor utilizado no padrão R1-N foi de R\$ 8.690,00, porém a comparação foi feita a partir do número total de apartamentos que o padrão PP-N possui, passando a ser multiplicado por 16 o valor do inversor utilizado na residência R1-N.

Com um custo de R\$ 244.590,50, o sistema implementado no padrão PP-N obteve um tempo de retorno de 7 anos após o investimento, apresentando um retorno mais rápido que o padrão R1-N. Isso é possível porque, como foi mostrado, o custo por kWh diminui quando se aumenta o valor do investimento, passando de R\$ 73,96/ kWh no padrão R1-N, para R\$ 46,77 /kWh no padrão PP-N.

A partir desses resultados, foi comparado o valor pago pela implementação do sistema fotovoltaico para os dois padrões apresentados (R1-N e PP-N). A diferença dos valores foi muito vantajosa com relação a implementação do sistema no padrão PP-N, que seria pago pela implementação do sistema numa residência padrão R1-N o valor de R\$ 26.085,01, passou para R\$ 17.553,69, para mesma quantidade de energia gerada.

Com essa análise comprovamos o quanto viável é a implementação de sistemas fotovoltaicos para residências multifamiliares, passando a se pagar menos para se ter a mesma quantidade de energia elétrica gerada pelo sistema. Outra maneira de reforçar essa ideia, também apresentada nesse trabalho, é a análise do tempo de retorno do investimento, que foi de 7 anos, enquanto que o sistema implementado no padrão R1-N teve um tempo de retorno de 9 anos

A energia solar se mostra cada vez mais atrativa, principalmente pelos avanços tecnológicos, mas ainda encontra um forte empecilho, o alto custo dos equipamentos. Se faz urgente a necessidade de o país promover o seu engajamento no cenário mundial dos grandes produtores de energia solar, pois sua imensidão territorial e suas condições climáticas são favoráveis para o crescimento do setor, diminuindo assim a forte dependência pela energia de fonte hídrica.

Mais investimentos e incentivos públicos são necessários, incentivos que possam tornar mais viável a geração distribuída de energia por sistemas alternativos. Políticas de precificação da energia solar poderiam ser adotadas e promover remuneração dos usuários/produtores de energia.

Como sugestão para trabalhos futuros pode ser feita uma análise da viabilidade do uso da energia solar fotovoltaica para geração de energia em projetos de habitação do governo Minha Casa Minha Vida, juntamente com a ideia de se poder vender a quantidade de energia excedente.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.721/2006 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios e edifícios - Procedimento.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3ª ed. Brasília, 2008.

ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília, 2002.

ANEEL. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012. ANEEL. Brasília, 2012.

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

CUB, Custo Unitário Básico de Construção. Disponível em:
<<http://www.cub.org.br/projetos-padrao>>. Acesso em 14 de junho de 2016.

EPE. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira. In: Empresa Energética Brasileira.2. Disponível em:
<www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em 08 Outubro de 2015.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 – ano base 2013. In: Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em:
<www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>. Acesso em 22 de Outubro de 2015.

EPE. Plano Nacional de Energia 2030/Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2007.

G1. País pode ter ‘problemas’ se represas de usinas chegarem a 10%, diz Braga. G1 Brasília, Distrito Federal, 23 de janeiro de 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/01/pais-pode-ter-problemas-se-represas-de-usinas-chegarem-10-diz-braga.html>>. Acesso em 22 de Outubro de 2015.

GOMES et al. O Setor Elétrico. BNDES, 2002. Disponível em:
<<http://www.bndes.gov.br>>. Acessado em 22 de Outubro de 2015.

GREENPEACE. Revolução Energética: A Caminho do Desenvolvimento Limpo. Brasil. Disponível em:
<www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.pdf>. Acesso em 2 de Dezembro de 2015.
IBGE. Censo 2010. Disponível em:
<<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=260410>>. Acesso em 2 de Dezembro de 2015.

IEA. Energy Atlas. Disponível em: <energyatlas.iea.org/?subject=-1002896040#>. Acesso em 26 de Novembro de 2015.

IMEC, Instituto Mineiro de Engenharia. Disponível em:
<<http://www.imecmg.org.br/30/>>. Acesso em 14 de junho de 2016.

Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. cepel-det-cresesb, 2014.

MATTUELLA, JUSSARA M. LEITE. Fontes Energéticas Sustentáveis: Um Estudo Sobre a Viabilidade do Aproveitamento da Energia Eólica em três Localidades, no RS.

MME. Balanço Energético Nacional 2012 [do] EPE. Rio de Janeiro, 2012.

NEOSOLAR ENERGIA, Disponível em:
<<http://www.neosolar.com.br/?gclid=CPSQip2u4MkCFRMHkQoduDYCGQ>>. Acesso em 22 de Outubro de 2015.

RODRÍGUEZ, CARLOS ROBERTO CERVANTES. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Campinas, 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamentos de Sistemas Energéticos). Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, THAYSE CRISTINA TRAJANO DA. Cenários de Oferta e Demanda de Energia Elétrica: Simulações do Possível Racionamento até 2011. Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – PPGE). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

UNFPA. Relatório sobre a População Mundial 2011. Brasil, 2011. Disponível em:
<<http://www.unfpa.org.br/Arquivos/swop2011.pdf>>. Acesso em 23 de Outubro de 2015.

URBANETZ JÚNIOR, Jair. Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análises dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Florianópolis, 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – PPGEC). Universidade Federal de Santa Catarina.

VERA, Luís Horácio. Análise do impacto do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos. Porto Alegre, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – PROMEC). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIANA, Gustav Ives Mendes Nicácio. Um Modelo para Projeções para Demanda por Energia Elétrica, 2009-2017 e a Evolução do Custo Social e Tarifa Ótima para o Brasil. Maceió, 2010. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade Federal de Alagoas.

VILLALVA, Marcelo Gradella. GAZOLI, Jonas Rafael. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Érica, 2012.

ZOMER, Clarissa Debiazi. Megawatt Solar: Geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica. Estudo de caso: Edifício sede da Eletrosul, Florianópolis – Santa Catarina. Florianópolis, 2010. 177 p.