



Faculdade de Pindamonhangaba



Dalcione Marcos de Oliveira

Erika Helen dos Santos

Luiz Carlos Silidonio Junior

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
RESIDENCIAL GRID TIE**

Pindamonhangaba – SP

2015



Faculdade de Pindamonhangaba



Dalcione Marcos de Oliveira

Erika Helen dos Santos

Luiz Carlos Silidonio Junior

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL GRID TIE

Artigo científico apresentado como parte de requisitos para a obtenção do Diploma de Bacharel pelo Curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Pindamonhangaba.

Orientador: Prof. Me. Weliton Santos de Abreu.

Pindamonhangaba – SP

2015

Junior, Luiz Carlos Silidonio; Oliveira, Dalcione Marcos de; Santos, Erika Helen

Implantação de um sistema de energia solar residencial grid tie / Dalcione Marcos de Oliveira; Erika Helen dos Santos; Luiz Carlos Silidonio Junior / Pindamonhangaba-SP : FAPI Faculdade de Pindamonhangaba, 2015.

33f. : il.

Artigo Científico (Graduação em Engenharia de Produção) FAPI-SP.

Orientador: Prof. Me. Weliton Santos de Abreu.

1 Viabilidade. 2 Grid tie. 3 Dimensionamento. 4 Residencial 5 Energia solar. 6 Fotovoltaico.

I Implantação de um sistema de energia solar residencial grid tie. II Luiz Carlos Silidonio Junior; Dalcione Marcos de Oliveira; Erika Helen dos Santos.



Faculdade de Pindamonhangaba



DALCIONE MARCOS DE OLIVEIRA

ERIKA HELEN DOS SANTOS

LUIZ CARLOS SILIDONIO JUNIOR

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL GRID TIE

Artigo científico apresentado como parte de requisitos para a obtenção do Diploma de Bacharel pelo Curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Pindamonhangaba.

Data: 08 de Dezembro de 2015

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

Orientador, Prof. Me Weliton Santos de Abreu, Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura _____

Prof. Dr. João Bosco Gonçalves, Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura _____

Prof. Esp. Alessandra Maria Nerozi Aguiar, Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura _____

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL GRID TIE

Dalcione Marcos de Oliveira¹

Erika Helen dos Santos²

Luiz Carlos Silidonio Junior³

Weliton Santos de Abreu⁴

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da implantação de sistema gerador fotovoltaico em modalidade denominada *grid tie*, constituído por placas captoras de luz solar que agregam o progresso tecnológico entre os parques industriais nacionais, assim como políticas socioeconômicas brasileiras de geração de energia e desenvolvimento. Destacando as possibilidades técnicas e econômicas sobre um sistema residencial, determinado por dimensionamento de sistema doméstico interligado com a concessionária local, contribuindo com a matriz energética nacional partindo de pesquisa bibliográfica e documental sobre o sistema, delineando o cenário de geração de energia, caracterizado por microgeradores residenciais, com o objetivo de prover economia à população e incentivo à busca de fontes sustentáveis de geração de energia.

Palavras-chave: *Grid tie*. Dimensionamento. Residencial. Energia solar. Fotovoltaico.

¹ Bacharel em Engenharia de Produção, FUNVIC Faculdade de Pindamonhangaba SP. e-mail: oliveidal@hotmail.com

² Bacharel em Engenharia de Produção, FUNVIC Faculdade de Pindamonhangaba SP. e-mail: erikahelen85@gmail.com

³ Bacharel em Engenharia de Produção, FUNVIC Faculdade de Pindamonhangaba SP. e-mail: luizsilidoniojr@yahoo.com.br

⁴ Mestre em Gestão e Desenvolvimento Regional. Orientador e Professor do curso de Engenharia de Produção, FUNVIC Faculdade de Pindamonhangaba SP. e-mail: welitondeabreu@ig.com.br

IMPLEMENTATION OF A SOLAR POWER SYSTEM RESIDENTIAL *GRID TIE*

ABSTRACT

This work presents an analysis from the study for implementation of photovoltaic solar energy called *grid tie*, compound by obtainers plates of sunlight that aggregate technology progress between national industrial parks and Brazilian socioeconomic politics of energy generation and development. Highlighting the technical and economics possibilities, about a residential system, by simply dimensioning of domestic network system interconnected with a local power plant, contributing to the national energetic scenario powered by of bibliographic and documental research about the grid tie system, outlining the power generation scenario, characterized by residential microgenerators, in order to provide economy to the population and encourages new research of sustainable sources of energy generation.

Keywords: *Grid tie*. Dimensioning. Residential. Solar energy. Photovoltaic.

Este trabalho foi escrito na forma de artigo científico a ser submetido à revista Faculdade de Extrema – FAEX – cujo, as normas estão em anexo. A parte textual corresponderá ao artigo científico escrito conforme a instrução da revista escolhida.

1. INTRODUÇÃO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E nos últimos anos, o cenário de geração de energia elétrica nacional tem apresentado significativas alterações em função da exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso natural. Tais alterações tendem a ser compensadas pelo surgimento de fontes alternativas.

O Brasil possui uma matriz energética ampla de geração de energia elétrica, através de fontes de usinas termelétricas, termonucleares, eolielétricas, fotovoltaico (que representa menos que 1% do total) e a hidráulica que ainda é a maior participação na geração de energia, conforme informações da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

A região sudeste, polo-industrial e comercial, destaca-se negativamente no atual cenário de geração de energia elétrica, pois além da estiagem reduzir a capacidade de geração de energia, conforme BOLETIM LEGISLATIVO Nº 27, a falta de investimento em novas tecnologias nas usinas hidráulicas, principal matriz geradora de energia elétrica, diminui seu potencial energético (GOMES, 2013).

Portanto como alternativa, foi analisada a possível implantação de um sistema de geração de energia elétrica a partir de placas fotovoltaicas, energia esta gerada por irradiação solar sendo uma fonte de energia sustentável e abundante, assim como ocorre em países europeus, mais precisamente na Alemanha, berço desta tecnologia, sendo amplamente disseminada, por ser uma fonte de energia limpa e inesgotável, com grande crescimento e muito promissora quanto à sua oferta e com menor impacto ambiental.

Segundo FARRET (2010, p.91):

O Brasil é privilegiado no seu potencial energético solar, que é em torno de 2.500MW, cinco vezes maior que o dos Estados Unidos e, acentuadamente, maior que a maioria dos países do primeiro mundo. Assim, são amplas as possibilidades de aproveitamento energético do Sol, destacando-se o térmico e o fotovoltaico.

A energia solar pode ser dividida, basicamente, em duas: calor e luz. E, por definição, a energia térmica, oriunda do calor, captada pelos coletores para obter

aquecimento da água podem ser utilizadas em alguns processos industriais, em residências, comércios como hotéis e clubes. A energia fotovoltaica, produzida através da irradiação solar, possui placas constituídas por células fotovoltaicas que, por sua vez, funcionam por meio da combinação de dois materiais semicondutores. As superfícies das placas são tratadas, na parte em que recebem a luz solar, ao atingir a célula, os fótons presentes na luz, colidem com os átomos do material e excitam os elétrons, proporcionando a geração de eletricidade. Quanto maior e intensa for a radiação do sol, maior será o fluxo de geração de eletricidade. Essa questão será detalhada adiante, na parte em que será demonstrada a aplicabilidade do uso de painéis fotovoltaicos em residências através do dimensionamento de sistema interligado à rede pública de distribuição, proporcionando redução no consumo junto à matriz e, por consequência, no valor da conta de energia elétrica.

O desenvolvimento socioeconômico está ligado diretamente à disponibilidade de recursos energéticos, desse modo, um sistema de geração de energia elétrica mais próxima ao ponto de consumo, tende a ser um importante recurso, quando analisamos as perdas totais de até 30% que ocorrem nas linhas de transmissão e distribuição do sistema energético do Brasil, (OLIVEIRA, 2009). Somado à oscilação atual do custo de capacidade de produção de energia elétrica no Brasil pela indisponibilidade de bacias hidrográficas. Assim o estudo direciona o seu foco a outro recurso natural disponível, a radiação solar incidente no Brasil, que é bem superior quando comparada a países da Europa. Pois enquanto os países europeus detêm os níveis de irradiação solar anual na ordem 900 a 1.250 kWh/m², em qualquer região brasileira, os valores registrados variam na ordem de 1.500 a 2.500 kWh/m². Dados como esse, demonstram que as condições brasileiras são muito favoráveis para o aproveitamento de energia solar, o que justifica sua inserção como fonte complementar para a matriz energética brasileira. Isto é, através da utilização de sistema fotovoltaico interligado à rede de distribuição, fator que pode contribuir para a redução de pico diurno de energia elétrica. E é neste contexto que o trabalho contribuiu demonstrando a implantação de um sistema de energia solar residencial, conectado à rede da concessionária, como também a possível redução do custo da conta de energia elétrica, por meio de crédito, características do sistema denominado *grid tie*.

2. METODOLOGIA

O estudo apresenta a implantação do sistema *grid tie*, proporcionando a redução de custo da conta de energia elétrica, por meio da geração de energia em placas fotovoltaicas acopladas eletricamente ao sistema convencional de fornecimento.

A opção pelo sistema *grid tie* ocorreu em função da possibilidade de parceria com a distribuidora local de energia elétrica, pois a tecnologia similar denominada *off grid* utiliza para armazenamento da produção de energia elétrica um sistema de banco de baterias estacionárias e controlador de carga, que eleva o custo do investimento. Além do que, o custo de manutenção do sistema se torna relativamente maior em função da vida útil do banco de baterias estacionárias estar em aproximadamente 7 (sete) anos, ou seja, quando comparado a vida útil das placas fotovoltaicas, que estão entorno de 25 anos, há no mínimo três substituições das baterias ao longo do período, enquanto o *grid tie* utiliza somente a limpeza das placas fotovoltaicas como manutenção. Outro ponto relevante é quanto ao armazenamento do banco de baterias, que exige um local adequado, devido a possibilidade de haver além de vazamentos de gases e ou produtos tóxicos a questão de intempéries.

A pesquisa de implantação do sistema *grid tie* foi exposta através da abordagem direta, sendo os componentes fornecidos pela empresa NEOSOLAR e o sistema dimensionado a partir da planta residencial de um usuário inserido socialmente na classe C e de estrutura familiar com 4 (quatro) pessoas, localizada no interior de São Paulo, no município de Pindamonhangaba.

Na pesquisa bibliográfica, buscou-se respaldo nos documentos públicos da agência nacional de energia elétrica – ANEEL, no Balanço Energético Nacional – BEN, em Normas Regulamentadoras e manuais orientativos da concessionária EDP Bandeirante que atua especificamente na região do Vale do Paraíba. Com o objetivo de apoiar os resultados disponibilizados no dimensionado e de amparar os dados de consumo e tarifas, para base de cálculos de redução de custo da conta de energia elétrica e protocolando a base de tarifa mínima por vínculo à concessionária.

3. REFERÊNCIAL TEORICO

3.1. Aplicação da Energia Solar

Diariamente toneladas de energia chegam ao nosso planeta de forma gratuita e limpa, os raios solares. Quase todas as fontes de energias - hidráulica, eólica, biomassa, combustíveis fósseis e energia dos oceanos - são de formas indiretas provenientes do sol. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada para aquecimento de fluidos e geração de energia elétrica (CRESESB, 2006).

3.2. Análise do Sistema Energético no Brasil

Segundo dados BEN, as centrais de serviço público e autoprodutores atingiram 590,5 TWh de produção de energia elétrica no Brasil em 2014, resultado 3,4% maior ao ano de 2013. Permanecem como as principais contribuintes, com 84,1% da geração total, as centrais de serviço que, embora tenha tido uma redução de 4,5% com relação ao ano de 2013, a principal fonte geradora de energia continua sendo a hidráulica.

A geração de autoprodutores – APE – em 2014 teve uma participação com 15,9% do total produzido, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, atingindo um montante de 94,0 TWh. Desse total, 52,2 TWh são produzidos e consumidos simultaneamente, ou seja, pela própria instalação geradora usualmente denominada como APE não injetada à rede elétrica. A autoprodução não injetada agrega as mais diversas instalações industriais que produzem energia para consumo próprio, há exemplos nos setores de papel e celulose, siderurgia, açúcar e álcool, química, entre outros; além do setor energético.

O gráfico 1 a seguir apresenta a oferta interna de eletricidade no Brasil em 2014.

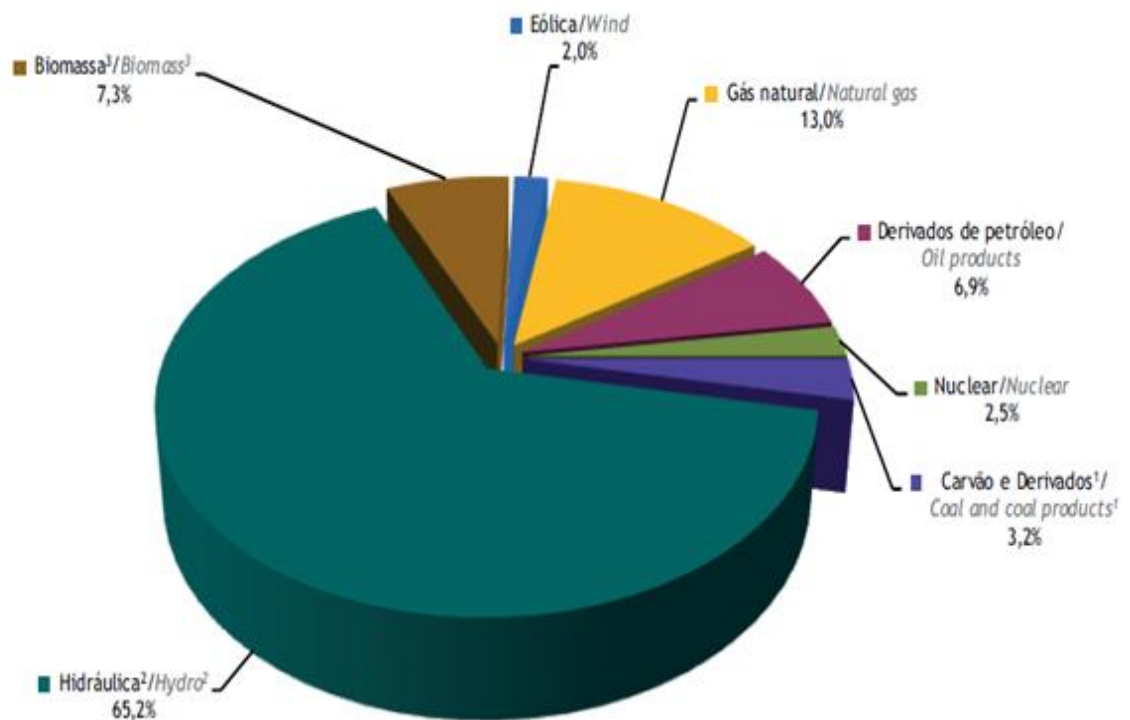


Gráfico 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN – 2015, ano base 2014)

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 74,5% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável, as demais fontes somadas representam 25,5%.

E, conforme detalhamento do Gráfico 1, o consumo do setor residencial apresentou crescimento de 5,7%, já o industrial registrou uma queda de 2,0% no consumo de eletricidade em relação ao ano anterior. Os demais setores – público, agropecuário, comercial e transportes – quando analisados em bloco apresentaram variação positiva de 7,0% em relação ao ano anterior. Destacando um crescimento do setor energético de 4,8%.

Em 2014, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil - centrais de serviço público e autoprodutoras - alcançou 133.914 MW, acréscimo de 7.171 MW, segundo dados da BEN (2014).

Na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 44,3%, enquanto as centrais térmicas responderam por 18,1% da

capacidade adicionada. Por fim, as usinas eólicas e solares, foram as responsáveis pelos 37,6% restantes, de aumento no âmbito nacional, percentual o qual gera um questionamento importante, entre os setores públicos e privados, quanto ao direcionamento e incentivo governamental em investimento de geração de energia renovável e limpa.

Atualmente, há uma autoprodução de energia elétrica injetada à rede pública, cuja nomenclatura *on grid* ou *grid tie*, denominação oriunda do próprio inversor utilizado. A ANEEL a partir de abril de 2012 protocolou uma resolução normativa de número 482, na qual estabelece condições gerais para acesso de microgeração e de minigeração de energia elétrica e cria maneiras para compensar essa produção. Hoje, qualquer pessoa ou empresa pode gerar sua própria energia para consumo. O sistema adotado no Brasil é conhecido internacionalmente como *net-metering*. Assim, o consumidor-produtor de energia paga em sua conta de energia apenas a diferença entre o seu consumo e a sua produção. O excedente de produção (se houver) é convertido em créditos que serão abatidos da sua conta dentro do próprio mês ou em até 36 meses, garantido à adequação as sazonalidades de produção e consumo. Os créditos excedentes podem ser utilizados em outras unidades consumidoras desde que atendidas pela mesma distribuidora de energia e sob mesmo nome do titular que recebeu o crédito.

3.3. Energia Elétrica Fotovoltaica

A energia solar, hoje, se apresenta como uma alternativa diante do cenário energético do país. Para a completa compreensão do termo fotovoltaico, que é a junção das palavras: Foto no grego, significa o que tem raiz e luz; e voltaica vem da palavra volt, unidade de potencial elétrico, elemento básico deste sistema – a célula.

Para isso são utilizadas duas camadas de materiais (células solares) semicondutores, uma positiva e outra negativa. Ao atingir a célula, os fótons presentes na luz excitam os elétrons, proporcionando a geração de eletricidade. Quanto mais intensa for a radiação do sol sobre a placa, maior será o fluxo de geração de eletricidade. O material mais comum utilizado na fabricação da placa

é o silício, matéria prima, abundante, para a produção de células solares. A eletricidade produzida pelas células solares é em regime contínuo, e pode ser armazenada em banco de baterias estacionárias ou usada imediatamente. Já para a utilização em regime alternado, se faz necessária a utilização de inversores de frequência.

3.4. Componentes do Sistema Grid tie

Para implantação do sistema conectado à rede elétrica de uma residência, são necessários os seguintes componentes básicos: painéis solares, relógio bidirecional e um inversor *grid tie*, conforme pode ser ilustrado na figura abaixo:

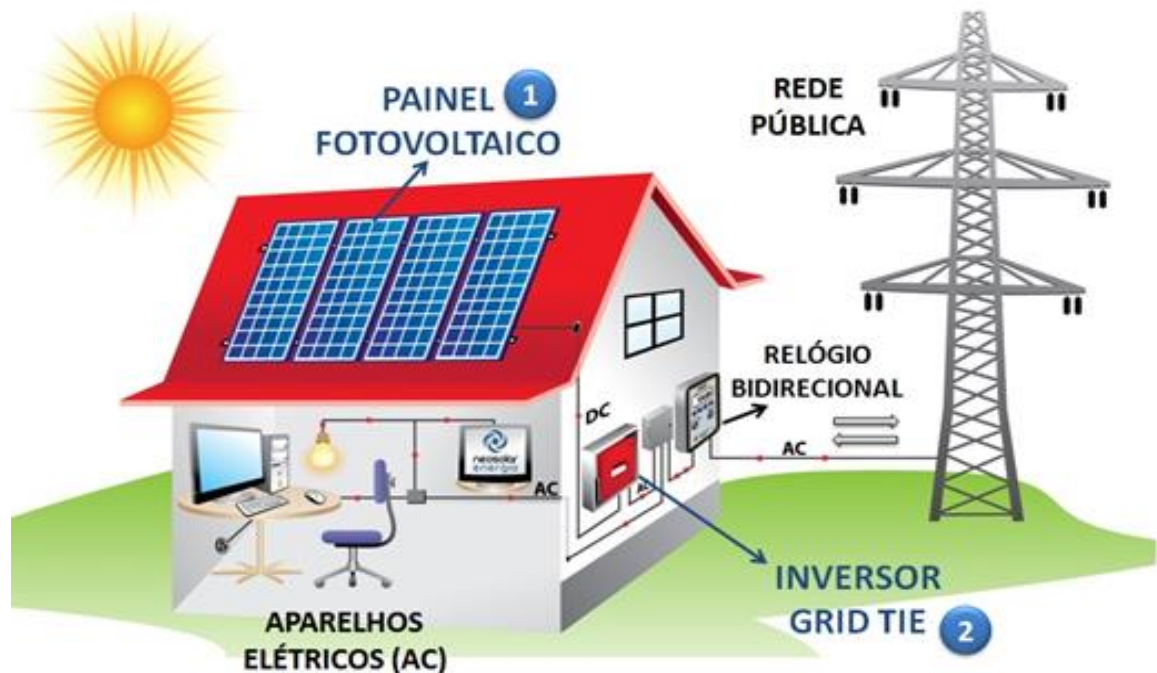


Figura 1 – Sistema conectado à rede elétrica (grid tie)

Fonte: NEOSOLAR, 2015

3.4.1. Tipos de Células

O silício usado na fabricação das células fotovoltaicas pode ser monocristalino (m-Si) ou policristalino (p-Si). O primeiro é obtido pelo método

Czochralski (Si-Cz) ou também pela técnica de fusão zonal flutuante (Si-FZ, *Float Zone*). No silício policristalino (p-Si), em vez de se formar um único cristal, o material é solidificado em forma de um bloco composto de pequenos cristais, com dimensões da ordem de centímetros (CRESESB, 2014).

3.4.1.1. Silício Monocristalino

A célula de silício monocristalino (Figura 2) é historicamente a mais usada e comercializada para converter energia solar em energia elétrica e o processo para sua fabricação inicia-se extraíndo cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza da ordem de 98% a 99%, sob o ponto de vista energético é eficiente e com baixo custo. As células de silício monocristalinas, são as que apresentam a maior eficiência cuja a variação é de 15% a 18% (CRESESB, 2006).

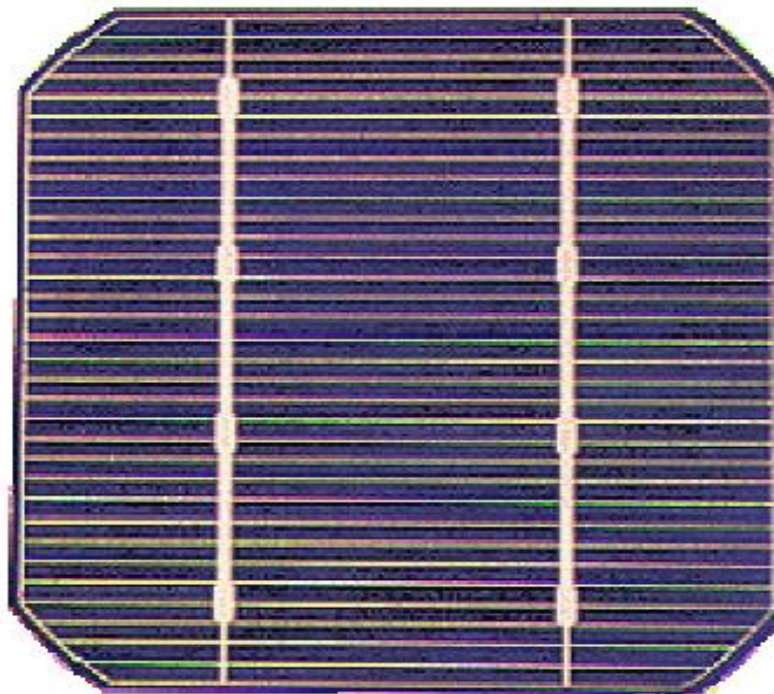


Figura 2 – Célula de Silício Monocristalino

Fonte: CRESESB, 2006

3.4.1.2. Silício Policristalino

As células de silício policristalino (Figura 3) são produzidas a partir de blocos de silício obtidas pela fusão do silício puro em moldes especiais. Exigem um processo mais simples e a eficiência, no entanto, é menor comparando com as células de monocristalino. Sua eficiência máxima esta em torno de 12,5% em escalas industriais (CRESESB, 2006).

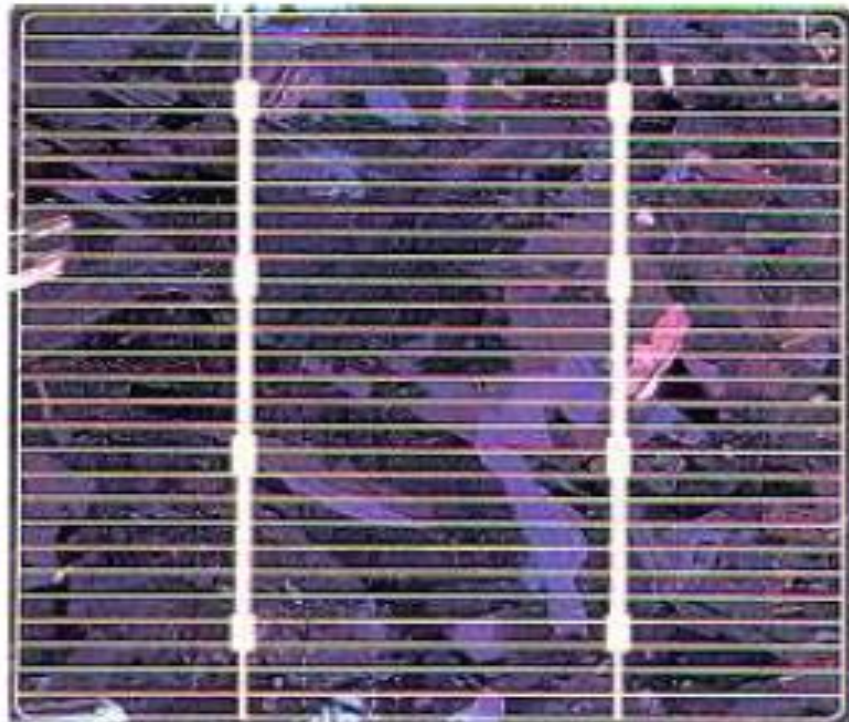


Figura 3 – Célula de Silício Policristalino

Fonte: CRESESB, 2006

A escolha da placa ideal se faz analisando as reais necessidades elétricas da sua residência. Já as placas de policristalinas desempenham o mesmo papel de produção mais em menor escala.

3.4.2. Módulos Fotovoltaicos

É a unidade básica do gerador fotovoltaico, composto por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de

gerar energia elétrica. A quantidade de células conectadas em serie determina a tensão em que o módulo ira operar e a quantidade de células conectadas em paralelo, determina a capacidade de corrente do módulo.

Nos terminais dos módulos expostos à radiação solar, apresenta uma tensão contínua. Os valores de tensão (V), corrente (A), e potência (W) de um módulo são especificados pelo fabricante e são medidos através de referência de condição padrão para ensaio (ABNT, 2006).

3.4.3. Inversores Grid Tie

São dispositivos eletrônicos que permitem interligar o sistema fotovoltaico com a rede de distribuição e injetar o excedente de energia produzido para a rede de distribuição no qual o sistema esta implantado, conforme figura 4. Sua principal característica é interligar a rede da distribuidora e sincronizar com a frequência (60 Hz) e a tensão de saída (CA) e se desconectar quando a mesma estiver em reparo ou houver falha na rede.

Funciona convertendo tensão fornecida pelo gerador em corrente contínua (CC) para a forma de corrente alternada (CA).



Figura 4 – Inversor Grid Tie

Fonte: NEOSOLAR, 2015

3.4.4. Medição Bidirecional de Registro Independente

A energia consumida e a injetada na rede de distribuição são registradas separadamente pelo medidor bidirecional ou dois medidores que medem a energia em cada sentido. Apenas o registro em apenas um sentido será realizado, dependendo da diferença instantânea entre demanda e a potência gerada pelo sistema fotovoltaico. Toda a energia medida é energia líquida, ou seja, a energia gerada menos a energia consumida, exemplificado nas figuras 5 e 6, respectivamente.

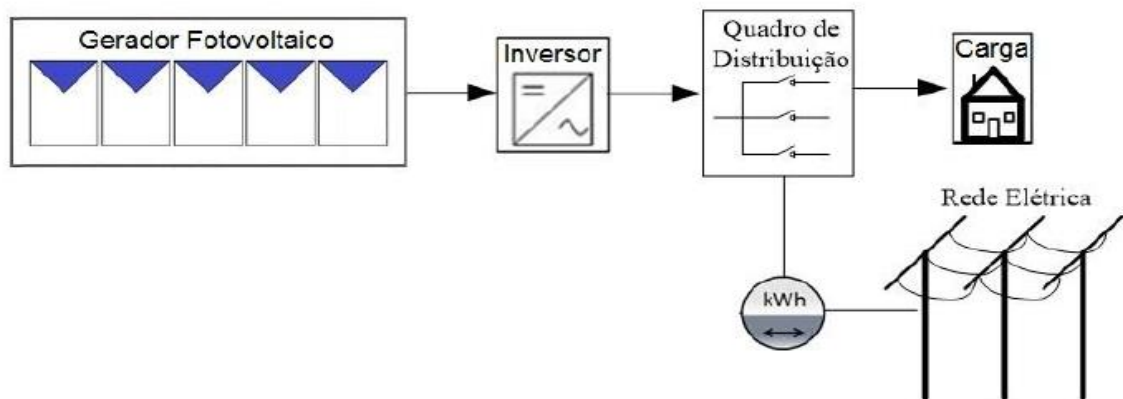


Figura 5 – Medição Bidirecional com Registros Independentes (um medidor bidirecional)

Fonte: SECURED, 2014

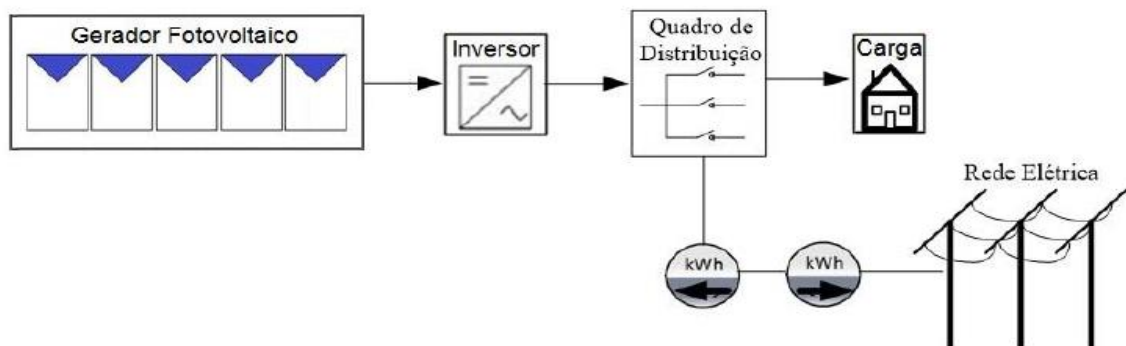


Figura 6 – Medição Bidirecional com Registros Independentes (dois medidores unidirecionais)

Fonte: SECURED, 2014

3.4.4.1. Medições Simultâneas

Quando se deseja ter informações mais precisas sobre a produção e consumo de energia do sistema fotovoltaico, adota-se esse tipo de medição. A medição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico é independente da medição de energia consumida pela unidade consumidora, ou seja, toda a energia gerada é medida e consumida, pode ser vista na Figura 7. Os balanços energéticos são realizados posteriormente pela distribuidora, este tipo de medição também é previsto na resolução da ANEEL.

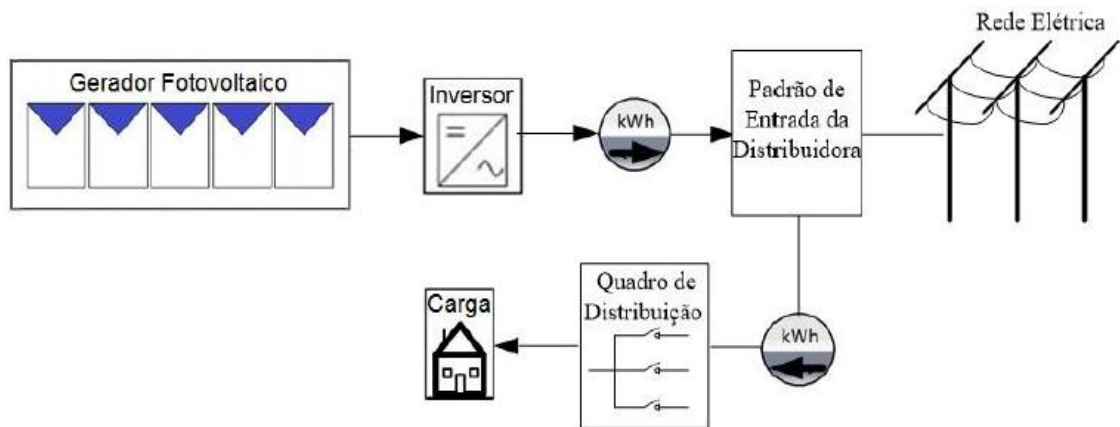


Figura 7 – Medição Simultânea

Fonte: SECURED, 2014

4. ANÁLISE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL

4.1. Características da Planta

É importante ressaltar que cada projeto deve ser analisado separadamente, devido suas particularidades. Para este caso em questão, foi simulada a aplicação de painéis fotovoltaicos interligados à rede local de distribuição de energia elétrica, a uma residência de 70m², operando num sistema bifásico e tomando como referência o mês de maior consumo dos últimos 12 meses entre período de dezembro de 2014 a novembro de 2015, esse valor foi disponibilizado

através de uma consulta no histórico de consumo da residência no banco de dados da concessionária EDP – Bandeirante e pode ser observado na Tabela 1 e Gráfico 2 a seguir:

Tabela 1 – Histórico de Consumo

Mês/Ano	Data Leitura	Leitura	Consumo Faturado	Nº de dias/faturamento	Média kWh/dia
11/2015	12/11/2015	47.797	310	29	10,7
10/2015	14/10/2015	47.487	337	32	10,5
09/2015	12/09/2015	47.150	355	30	11,8
08/2015	13/08/2015	46.795	373	29	12,9
07/2015	15/07/2015	46.422	388	32	12,1
06/2015	13/06/2015	46.034	349	31	11,3
05/2015	13/05/2015	45.685	314	30	10,5
04/2015	13/04/2015	45.371	307	32	9,6
03/2015	12/03/2015	45.064	293	29	10,1
02/2015	11/02/2015	44.771	297	29	10,2
01/2015	13/01/2015	44.474	314	33	9,5
12/2014	11/12/2014	44.160	276	28	9,9

Fonte: EDP – Bandeirante

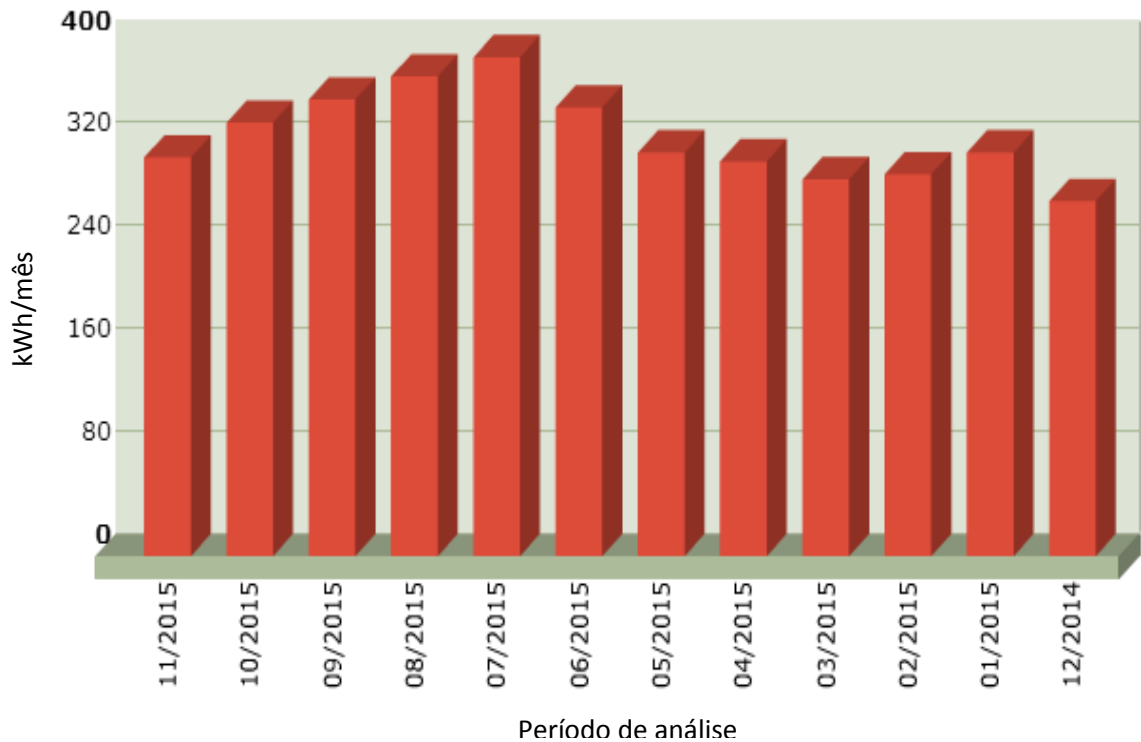


Gráfico 2 – Histórico de consumo

Fonte: EDP – Bandeirante

Em cada região do país há uma incidência grande de irradiação solar, determinando as melhores condições de aproveitamento ou não. Nesta análise de implantação foi considerada a irradiação na cidade de Pindamonhangaba, localizada no Vale do Paraíba no interior de São Paulo, e utilizada uma inclinação dos módulos fotovoltaicos de 40° N, devido ser a maior mínimo mensal em irradiação do pior período do ano, conforme mostrado na Tabela 2 e no Gráfico 3 abaixo:

Tabela 2 – Irradiação Solar Diária Média Mensal - kWh/m²

Estação: Pindamonhangaba

Município: Pindamonhangaba, SP - BRA

Latitude: 22,9° S

Longitude: 45,461666° O

Distância do ponto de ref. (22,923889° S; 45,461667° O): 2,7 Km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,00	4,61	4,61	3,81	3,28	2,78	3,22	3,78	4,03	4,22	5,06	5,17	4,13	2,39
<input type="checkbox"/>	Ângulo igual a Latitude	23° N	4,55	4,41	4,73	4,26	3,99	3,49	4,03	4,40	4,26	4,12	4,65	4,64	4,29	1,23
<input type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	4,63	4,46	4,74	4,23	3,92	3,42	3,95	4,35	4,25	4,15	4,73	4,73	4,30	1,32
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	40° N	3,94	3,97	4,47	4,27	4,21	3,75	4,32	4,53	4,12	3,77	4,07	3,97	4,12	0,77

Fonte: CRESESB, 2015

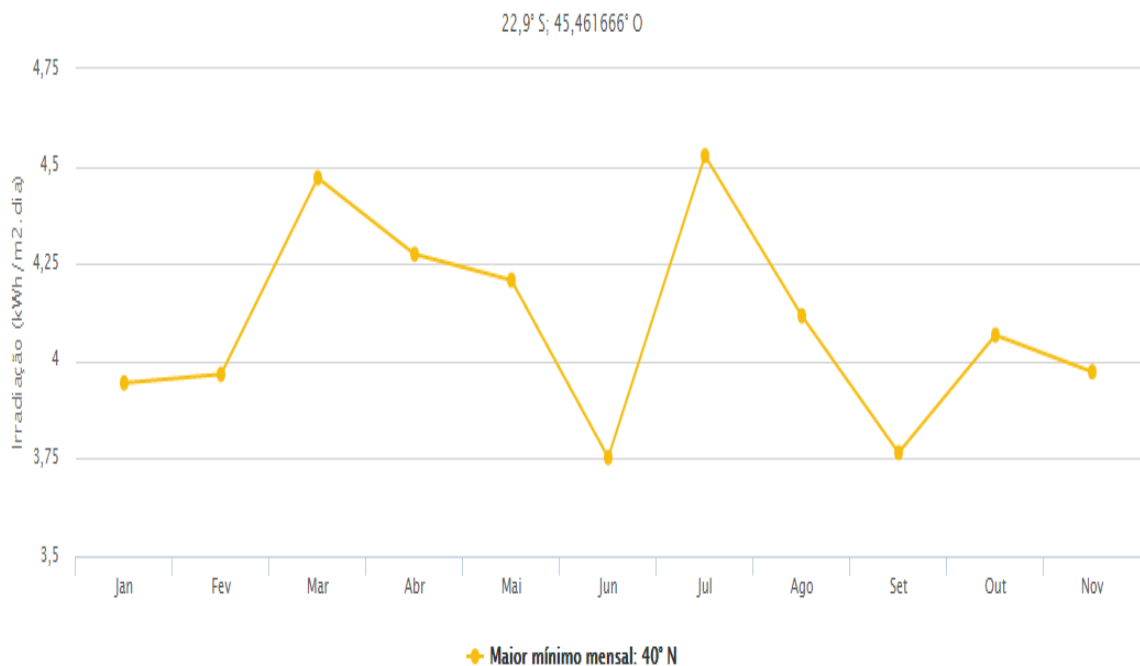


Gráfico 3 – Irradiação Solar Diária Média em Pindamonhangaba – kWh/m²

Fonte: CRESESB, 2015

4.2. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

4.2.1. Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, como visto no gráfico 2, o consumo utilizado foi o do mês de julho de 2015 com um valor de 388kWh. Para efeito de cálculo da potência mínima do gerador (Wp) o valor de consumo foi simplificado para 390kWh.

Foi utilizado o modelo de placa KD250GH-4FB2, segundo dados do fabricante em condições ideais de insolação, este modelo é capaz de produzir 250W. A partir dos dados da residência, calculamos a potência mínima do gerador (Wp), conforme equação 1.

$$Potência\ mínima\ gerador(kWp) = \frac{consumo\ kWh/mês}{horas\ de\ sol\ dia\ x\ 30\ dias\ x\ Fps} \quad (1)$$

Onde:

Potência mínima do gerador (Wp): potência mínima total de um conjunto de módulos que será utilizada para produzir energia que for solicitada pela carga.

Consumo mês (kWh/mês): valor de consumo arredondado, considerando o mês de maior consumo, conforme Gráfico 2.

Horas de sol pleno (horas/dia): São as horas plenas de sol, as quais dependem do nível de nebulosidade e da latitude do local de implantação. Considerar maior mínimo mensal do mês mais crítico para poder instalar os módulos. O módulo deve ter uma inclinação que privilegie o pior mês. Considerar entre 3,5 e 5 horas/dias de sol pleno (CRESESB, 2015).

Fator de perdas e segurança (Fps): Aspecto através do qual é preciso considerar a redução da geração do módulo diante da tolerância na fabricação, degradação, a temperatura de trabalho, possível poeira existente, sombras no local e, até mesmo, desalinhamentos no sistema. Foi considerado valor típico de 0,8.

$$Potência\ mínima\ gerador\ (kWp) = \frac{390kWh}{5h \times 30\ dias \times 0,8} = 3,25kWp$$

Após calcular a potência mínima do gerador para o sistema fotovoltaico, foi dimensionada a quantidade de placas que serão necessárias para suprir a demanda da residência, conforme equação 2.

$$Número\ de\ módulos = \frac{potência\ mínima\ gerador}{potência\ do\ módulo} \quad (2)$$

$$Número\ de\ módulos = \frac{3,25kWp}{0,25kW} = 13\ módulos$$

Serão necessários 13 módulos de 250W de potência para cada um, ocupando uma área total no telhado da residência de aproximadamente 22m².

4.2.2. Dimensionamento do Inversor

A potência mínima do gerador calculada foi de 3,25kWp, com um acréscimo de 15% como fator de segurança, obtém um novo valor de 3,74kWp. Em pesquisa realizada no mercado, o inversor que atende às necessidades calculadas para potência mínima do gerador (Wp), foi o modelo *grid tie* 4,6kW PHB Solar – PHB4600-SS.

4.2.3. Outros Equipamentos

Os demais equipamentos necessários para implantação do sistema são: cabos elétricos, conectores, *string box* (quadro de proteção e isolamento para lado CC e CA), estruturas de alumínio para fixação em telhados, emendas de alumínio e mão de obra para instalação.

5. CUSTO DO INVESTIMENTO E ANÁLISE ANUAL DA REDUÇÃO NA CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA

Após definição da potência mínima do gerador e a quantidade de módulos necessários para produção de energia, deve-se definir os demais equipamentos necessários para aplicação do pleno funcionamento do sistema, assim como a mão de obra para implantação. A Tabela 3 apresenta os equipamentos e investimento total para realização da instalação de um sistema de geração de energia residencial na modalidade denominada *grid tie*.

Tabela 3 – Custos dos Equipamentos, Componentes e Mão de obra para instalação

<i>Quantidade</i>	<i>Descrição dos equipamentos</i>	<i>Valor Unitário (R\$)</i>	<i>Valor Total (R\$)</i>
13 unidades	Módulos Fotovoltaicos de 250W(p), modelo KD250GH-4FB2 Kyocera	1.263,85	16.430,05
01 unidade	Inversor central com potência de 4,6KW PHB Solar – PHB4600-SS	8.390,00	8.390,00
40 metros	Cabo fotovoltaico com espessura de 6mm, modelo TECSUNPT+AZ	15,90	636,00
02 pares	Conectores fotovoltaicos do tipo MC4, modelo MC40406	19,90	39,80
01 unidade	String box CC+CA, modelo STB02-600V/02	1.890,00	1.890,00
04 unidades	Estruturas em alumínio para fixação em telhados, modelo CK-990x4	860,00	3.440,00
06 unidades	Emendas para estrutura em alumínio, modelo CK-FT-SKA	20,00	120,00
01 serviço	Mão de Obra para instalação	3.094,59	3.094,59
Custo Total do Investimento			34.040,44

Assim foi obtido o custo de investimento total para implantação do sistema no valor de R\$ 34.040,44. Sendo importante considerar a cotação do dólar comercial*, pois os principais componentes apresentados, placas fotovoltaicas e o inversor central, são equipamentos importados devido a maior confiabilidade

* US\$1,00 equivalente a R\$3,85 – cotação de outubro de 2015.

dos fornecedores estrangeiros e representam aproximadamente 73% do custo total do investimento.

Baseado na resolução 456/2000 da ANEEL, que estabelece o custo de disponibilidade, presente nas tarifas aplicáveis ao faturamento de unidades consumidoras de baixa tensão, e que estipulou como valor mínimo para a unidade consumidora residencial bifásica, a cobrança equivalente a 50kWh ao mês, valor este cobrado para ter a disponibilidade de energia proveniente da concessionária na residência.

Para análise da redução de custo da conta de energia elétrica, foram utilizados dados de consumo faturado, conforme Tabela 1, e da tarifa disponibilizada pela concessionária EDP – Bandeirante disposta na Tabela 4, na qual obteve-se o custo total da conta de energia elétrica no período de 12 meses. Assim, comparativamente, considerando a redução a partir da implantação do sistema *grid tie*.

Tabela 4 – Análise comparativa do custo total da conta de energia elétrica

MÊS DE REFERÊNCIA	VALOR TARIFA (R\$/kWh)	CONSUMO (kWh)	VALOR DA CONTA (R\$)	COBRANÇA EQUIVALENTE (kWh)	VALOR DA CONTA APÓS INSTALAÇÃO (R\$)
dez/14	0,51612319	276	R\$ 142,45	50	R\$ 25,81
jan/15	0,56687898	314	R\$ 178,00	50	R\$ 28,34
fev/15	0,60707071	297	R\$ 180,30	50	R\$ 30,35
mar/15	0,60825939	293	R\$ 178,22	50	R\$ 30,41
abr/15	0,66912052	307	R\$ 205,42	50	R\$ 33,46
mai/15	0,76910828	314	R\$ 241,50	50	R\$ 38,46
jun/15	0,73681948	349	R\$ 257,15	50	R\$ 36,84
jul/15	0,70822165	388	R\$ 274,79	50	R\$ 35,41
ago/15	0,71254692	373	R\$ 265,78	50	R\$ 35,63
set/15	0,75132394	355	R\$ 266,72	50	R\$ 37,57
out/15	0,76738872	337	R\$ 258,61	50	R\$ 38,37
nov/15	0,78916129	310	R\$ 244,64	50	R\$ 39,46
TOTAL	-	-	R\$ 2.693,58	-	R\$ 410,10

Fonte: EDP – Bandeirante

Assim a partir dos dados dispostos na tabela 3, foi definido o custo de energia elétrica total do período de R\$ 2.693,58, assim como o custo considerando a implantação do sistema *grid tie* no mesmo período de R\$ 410,10. Provendo um abatimento na conta de energia elétrica de R\$ 2.283,48. Gerando

aproximadamente uma redução de 85% no custo de energia elétrica da residência.

A partir de uma projeção entre o período de análise e o investimento do sistema *grid tie*, utilizando uma ferramenta técnica da engenharia econômica e financeira *payback* simples, projeta-se o retorno financeiro do investimento após a sua implantação.

Assim, foi considerado um sistema em plena operação, ou seja, utilizando somente energia solar durante todo ano, com projeção financeira, conforme equação 3.

$$\textit{payback simples} = \frac{\textit{Investimento}}{\textit{Lucro no período}} \quad (3)$$

$$\textit{payback simples} = \frac{R\$ 34.040,44}{R\$ 2.283,40} = 14,91 \textit{ anos}$$

Considerando a metodologia de análise de retorno financeiro, *payback* simples, que consiste na apuração do tempo necessário para que o valor do investimento seja recuperado e o período de vida útil do sistema que é de 25 anos, considera-se o investimento viável, já que aproximadamente a partir de 15 anos o investimento estará quitado, provendo somente de abatimento mensal da conta de energia elétrica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de compilar as informações sobre a modalidade do sistema *grid tie*, foi dimensionada uma rede doméstica para geração de energia elétrica, a partir da implantação da tecnologia, na qual se destacaram as possibilidades técnicas do cenário caracterizado como microgerador em uma residência localizada na cidade de Pindamonhangaba.

Através de pesquisa bibliográfica, verificou-se que as placas fotovoltaicas, um dos principais componentes do sistema, não são produzidas no Brasil,

provocando assim um aumento significativo no investimento devido à taxa cambial e impostos.

A implantação de sistema para microgeração de energia elétrica residencial, ainda é pouco divulgada no cenário nacional. Porém é impreterível destacar os aspectos qualitativos, como redução de impactos ambientais, oriundos da geração de partículas CO₂ para a atmosfera a partir de Usinas Termelétricas e ou desmatamentos oriundos da construção de Usinas Hidrelétricas.

A análise financeira baseada na ferramenta *payback* simples, constatou a quitação do investimento de implantação do sistema *grid tie* a partir de 15 anos, o que isoladamente não justifica quantitativamente a aquisição, pois se trata de um investimento relativamente alto, quando se considera a classe social a qual o estudo foi direcionado. Porém avaliando a redução do custo da conta de energia elétrica do período de análise (doze meses) na ordem de 85%, possibilitando aplicação do montante na aquisição de outro bem de consumo, ou a aplicação em um fundo monetário; atrelado a questões de sustentabilidade e a eliminação da emissão de resíduos poluentes de efeito estufa para a atmosfera, sugere-se que o investimento é atrativo, tanto no âmbito privado como socioeconômico.

Enfim o presente trabalho pretende ampliar o conhecimento geral de geração de energia através de fontes naturais e sustentáveis. E incentiva trabalhos futuros na área, em detrimento ao grande potencial de geração de energia que o país dispõe. Assim como, a ampliação do estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação do sistema em indústrias de pequeno, médio e grande porte e, em estabelecimentos prestadores de serviços.

REFERÊNCIAS

ANEEL¹- Agência nacional de energia elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>> Acesso em: 10 set. 2015.

ANEEL²- Agencia nacional de energia elétrica. **Atlas de Energia**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 13 set. 2015.

ANEEL³- Agência nacional de energia elétrica. **Atlas de Energia**. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

ANEEL⁴- Agência nacional de energia elétrica. **Cadernos temáticos ANEEL micro e minigeração distribuída sistema de compensação de energia elétrica**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>> Acesso em: 24 set. 2015.

BEN- Balanço energético nacional, 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf> Acesso em: 17 set. 2015.

BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. **Engenharia econômica**. Tradução José Carlos B. dos Santos, Rebelatto. São Paulo: McGraw- Hill, 2008.

CABRERA, Luiz Carlos. **Afinal, o que é sustentabilidade?** . Revista Você S/A, 05/2009. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo_474382.shtml> Acesso em: 05 set. 2014.

CASARIN, A.A. **ANEEL aprova regulamentação para energia solar fotovoltaica**, 2012. Disponível em: <<http://www.htforum.com/forum/threads/aneel-aprova-regulamentacao-para-energia-solar-fotovoltaica.189676/>> Acesso em: 15 out. 2015.

CERQUEIRA, G. A. *et al.* A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (**Boletim Legislativo nº 27, de 2015**). Disponível em:< www.senado.leg.br/estudos > Acesso em: 17 nov. 2015.

CRESESB¹- Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio Brito. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br> Acesso em: 12 set. 2015.

CRESESB²- Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf> Acesso em: 13 set. 2015.

COSTA, Ricardo C.; PRATES, Cláudia P. T. **O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético**, 2015. Disponível em: <http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4210/BNDES_O-papel-das-fontes-renov%C3%A1veis-de-energia-no-desenvolvimento-do-setor-energ%C3%A9tico-e-barreiras-%C3%A0-sua-penetra%C3%A7%C3%A3o-no-mercado-2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 13 set. 2015.

GALEMBECK, Fernando. **Inovação para a sustentabilidade**. Quim. Nova, v. 36, n. 10, p. 1600-1604, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n10/18.pdf>> Acesso em: 12 set. 2014.

GOMES, Elisa de Podestá, “**Potencial de repotenciação de usinas hidrelétricas no Brasil e sua viabilização**”, Campinas, SP, Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2013. IBGE – Estimativa da População Residente em Pindamonhangaba – 2014. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2014/estimativa_dou_2014.pdf> Acesso em: 27 out. 2015.

JANNUZZI, Gilberto de Martino. **Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado, uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil**. Campinas, SP: Autores Associados, 2000.

KYOCERA SOLAR, Loja virtual, 2015. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/>> Acesso em: 18 set. 2015.

MINHA CASA SOLAR, Loja virtual, 2015. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/>> Acesso em: 29 out. 2015.

NEOSOLAR ENERGIA, Loja virtual, 2015. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/inversor-grid-tie>> Acesso em: 08 out. 2015.

NEOSOLAR ENERGIA, Loja virtual, 2015. Disponível em:
<<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controladores-de-carga>> Acesso em: 08 out. 2015.

OLIVEIRA, Marcelo Escobar de; **Avaliação de metodologias de cálculo de perdas técnicas em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Conhecimento: Automação, 2009.

PORTUGAL JR., Pedro dos Santos; REYDON, Bastiaan Philip; PORTUGAL, Nilton dos Santos. **A sustentabilidade ambiental como direcionador estratégico ao processo de reindustrialização no Brasil**. Economia e Sociedade, Campinas, v. 21, Número Especial, p. 889-907, dez. 2012. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/ecos/v21nspe/v21nspea08.pdf>> Acesso em: 10 out. 2015.

SANTOS, Marco Aurélio. **Fontes de energia nova e renovável**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, pag.104 a 125.

SOLAR ENERGY, Loja virtual, 2015. Disponível em:
<<http://solarenergy.com.br/sobre/>> Acesso em: 17 set. 2015.

TEIXEIRA, Alexandre de Almeida; CARVALHO, Matheus Costa; LEITE, Leonardo Henrique de Melo, **Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial**. Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 117-136. (2011). Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/689>> Acesso em: 30 set. 2015.

ANEXO A – Normas para Estruturação e Envio do Artigo (ABNT)



Normas para Estruturação e Envio do Artigo para a Revista Científica E-Locução (ISSN 2238-1899).

- Título e subtítulo (se houver);
- Nome(s) do(s) autor(es);
- Resumo na língua do texto;
- Palavras-chave na língua do texto.
- Título e subtítulo (se houver) em língua inglesa;
- Resumo em língua inglesa;
- Palavras-chave em língua estrangeira
- Texto de desenvolvimento do artigo (introdução, desenvolvimento e considerações finais);
- Referências.

a) Formatação:

- Fonte Arial 12;
- Alinhamento: justificado;
- Espaçamento entre linhas: 1,5;
- Margem esquerda e superior: 3cm, direita e inferior: 2cm;
- Citação direta com mais de três linhas: fonte Arial 10; recuo de 4cm à esquerda, justificado, espaço simples sem aspas.

b) Título e subtítulo:

- (se houver): em negrito, centralizado e diferenciado tipograficamente ou separado por dois pontos.

c) Resumo (NBR 6028):

- No máximo 250 palavras e logo em seguida apresentar as palavras mais representativas do conteúdo do texto no mínimo três palavras-chave.

d) Nome do autor e coautores:

- Completos (e por extenso); em maiúsculo; com nota de rodapé: uma breve apresentação contendo formação e nome da Instituição.

e) Gráfico, tabelas e figuras:

- Seguir NBR 14724.

f) Referências:

- Seguir NBR 6023.

Os artigos deverão ser encaminhados em formato doc. Para o e-mail:

pesquisa@faex.edu.br

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor. Autorizo também a divulgação do arquivo no formato PDF no banco de monografias da Biblioteca institucional.

Dalcione Marcos de Oliveira

Erika Helen dos Santos

Luiz Carlos Silidonio Junior

Pindamonhangaba, dezembro de 2015.