

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO DOCTUM DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM
RESIDÊNCIA DA CIDADE DE CARATINGA-MG**

**TÉRCIO AUGUSTO RODRIGUES LIMA
MAURÍCIO LIMA MOREIRA**

CARATINGA-MG

2016

**TÉRCIO AUGUSTO RODRIGUES LIMA
MAURÍCIO LIMA MOREIRA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM
RESIDÊNCIA DA CIDADE DE CARATINGA-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.
Professor Orientador: Engenheiro Eletricista Daniel Mageste Butters.

CARATINGA-MG

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS DA CIDADE DE CARATINGA

Nome completo do aluno: TÉRCIO AUGUSTO RODRIGUES LIMA / MAURÍCIO LIMA MOREIRA

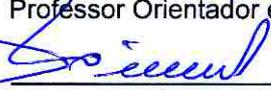
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Rômulo Campos Braga, Daniel Mageste Butters e João Moreira de Oliveira Júnior, às 21 horas e 30 minutos do dia 11 de julho de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: Aprovado (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: Ótima (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: SIM () NÃO

Caratinga, 11 de julho de 2016



Professor Orientador e Presidente da Banca



Professor Avaliador 1



Professor Avaliador 2

Tercio Augusto R. Lima

Aluno(a)

Maurício Lima Moraes

Coordenador(a) do Curso

À Deus por todas as bênçãos concedidas, à nossa família, aos nossos familiares e amigos, e à todo o corpo docente do curso que contribuíram de alguma forma, através dos anos, para que esse sonho se realizasse...

AGRADECIMENTOS

TÉRCIO AUGUSTO DE LIMA RODRIGUES

À Deus, por todas as bênçãos concedidas em minha vida. À minha esposa Karina e ao meu filho Enzo, por todo seu amor, paciência e compreensão nessa fase tão importante da minha vida, por sempre me incentivar a seguir em frente mesmo em momentos difíceis. Aos meus pais Jorge e Dalva e aos meus irmãos Vinícius e Victor, por serem juntamente com minha família, meu alicerce para que eu chegasse até aqui. Ao meu orientador, Professor Daniel Butters, pelos ensinamentos e demonstrações conferidas à nós no desenvolver desse trabalho. Ao meu grande amigo Maurício, estivemos sempre unidos nessa jornada, e agora a terminamos lado a lado. Enfim, a todos os amigos que apoiaram e tornaram esse sonho possível.

Muito Obrigada!

MAURÍCIO LIMA MOREIRA

Primeiramente agradeço à Deus por me dar forças para que eu chegasse até aqui. À minha família, minha mãe, meu pai e minha irmã, que também fazem parte dessa vitória. Ao Tércio, meu parceiro de trabalho e grande amigo. Ao meu orientador, Professor Daniel Butters, que sempre demonstrou interesse e boa vontade ao nos auxiliar, dando as devidas sugestões possibilitando que chegássemos ao término.

Muito Obrigada!

*“Se fui capaz de ver mais longe, é porque
me apoiei em ombros de gigantes”*
(SIR ISAAC NEWTON)

LIMA, Tércio. MOREIRA, Maurício. **VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS DA CIDADE DE CARATINGA-MG**. Caratinga, 2016. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

O Brasil é um país com recursos diversos para a geração de energia elétrica, inclusive para a geração de energia limpa. Com a recente questão energética no Brasil, vem a necessidade de analisar novas formas de geração de energia que sejam viáveis para satisfazer a demanda recente de maneira renovável. No presente projeto é analisada a viabilidade econômica de instalação de painéis fotovoltaicos em uma residência de médio porte, na cidade de Caratinga, estado de Minas Gerais, como maneira de comprovar a viabilidade do investimento. No decorrer deste foram explicadas todas as variáveis que foram consideradas relevantes pelos desenvolvedores para a análise, como os modelos de painéis disponíveis, componentes necessários para a instalação, tecnologias disponíveis e indicadores utilizados nos cálculos. A viabilidade do projeto foi devidamente explicada e comprovada ao final do estudo.

Palavras-chave: Painel Fotovoltaico. Energia Renovável. Viabilidade Econômica. Irradiação Solar no Brasil.

LIMA, Tércio. MOREIRA, Maurício. **VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS DA CIDADE DE CARATINGA-MG.** Caratinga, 2016. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

Brazil is a country with many resources for the generation of electricity, including the generation of clean energy. With the recent energy issue in Brazil, comes the need to consider new forms of energy generation that are viable to meet the recent demand for renewable way. In this project we analyze the economic feasibility of installing photovoltaic panels in a medium-sized house in the city of Caratinga, Minas Gerais, as a way to prove the validity of the investment. During this were explained all the variables that were considered relevant by the developers for analysis, as models of available panels, components required for installation, available technologies and indicators used in the calculations. The feasibility of the project was duly explained and proven at the end of the study.

Key-words: Photovoltaic Panels. Renewable energy. Economic Viability. Solar Irradiation in Brasil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Radiação Solar Global Anual	16
Figura 2 – Distribuição irradiação solar	17
Figura 3 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.	18
Figura 4 – Silício Monocristalino.	19
Figura 5 – Silício Policristalino.	20
Figura 6 – Fitas de Silício.	21
Figura 7 – Silício Amorfo.	22
Figura 8 – Planta Baixa do Caso-Exemplo	27
Figura 9 – Visão de Satélite	28
Figura 10 – Radiação Solar Mensal	30
Figura 11 – Inclinação dos Painéis	31
Figura 12 – Gráfico de comparação de geração total com perdas e consumo mensal . . .	34
Figura 13 – Etapas de Acesso de Microgeradores ao Sistema de Distribuição Cemig . .	35
Figura 14 – Gráfico do <i>PAYBACK</i>	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Consumo Anual	26
Tabela 2	– Radiação solar para latitude 19,798514°S e longitude 42,144537°O	29
Tabela 3	– Dados do Pannel CS6P-260P	31
Tabela 4	– Especificações dos Painéis Solares no projeto	32
Tabela 5	– Dados do Inversor	32
Tabela 6	– Geração Esperada para o caso-exemplo	33
Tabela 7	– Investimento Total	36
Tabela 8	– PAYBACK	37
Tabela 9	– Estudo Econômico	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS
AC	CORRENTE ALTERNADA
ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
CEMIG	COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS
CRESESB	CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA ELÉTRICA E EÓLICA SÉRGIO BRITO
DC	CORRENTE CONTÍNUA
DIF	IRRADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL
DNI	IRRADIAÇÃO NORMAL DIRETA
EPE	EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA
GHI	IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL
GT	GERAÇÃO TOTAL
GTP	GERAÇÃO TOTAL COM PERDAS
IGPM	ÍNDICE GERAL DE PREÇOS DO MERCADO
INMETRO	INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNO- LOGIA
IRT	REAJUSTE TARIFÁRIO ANUAL
SIN	SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
TIR	TAXA INTERNA DE RETORNO
VPL	VALOR PRESENTE LÍQUIDO

LISTA DE SÍMBOLOS

η	Letra grega Eta
ρ	Letra grega Rô
Σ	Letra grega Sigma - simbolo para a operação matemática Somatório.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVO	14
1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	14
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.1 RADIAÇÃO SOLAR	15
2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO	16
2.3 TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS	17
2.3.1 PRIMEIRA GERAÇÃO	18
2.3.2 SEGUNDA GERAÇÃO	19
2.3.3 TERCEIRA GERAÇÃO	21
2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	22
2.4.1 MÓDULOS E PAINÉIS	23
2.4.2 INVERSOR	23
3 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	25
3.1 EXPOSIÇÃO DO CASO-EXEMPLO	25
3.2 MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR	28
3.3 POSICIONAMENTO DOS PAINÉIS SOLARES	29
3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	30
3.4.1 PAINEL SOLAR	30
3.4.2 INVERSOR	32
3.4.3 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ESPERADA	33
3.5 REQUISITOS PARA CONEXÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	34
4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	36
4.1 <i>PAYBACK</i>	36
4.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO	38
4.3 TAXA INTERNA DE RETORNO	39
5 CONCLUSÃO	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXO A Dados Técnicos do Painel Solar	43
ANEXO B Dados Técnicos do Inversor	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A questão energética no Brasil atualmente vem sendo uma preocupação devido às mudanças climáticas e ao aquecimento global, diante disso muito se tem discutido sobre a utilização dos recursos naturais e fontes de energia com baixa emissão de gases de efeito estufa, e pequenos impactos ambientais. O setor elétrico nacional é característico pela grande participação de fontes renováveis e grande parte dela de origem hídrica.

Em 2013, o Brasil enfrentou e ainda enfrenta crises energéticas envolvendo o SIN, que é um Sistema de Geração e Transmissão Nacional, evidenciando problemas relacionados à disponibilidade de recursos e oferta de energia. Desde então, são discutidas algumas propostas, a partir das quais o governo adotou medidas emergenciais de investimento nos setores de energia elétrica, tentando reverter este cenário (FILHO, 2014).

Segundo a EPE (2012), em alguns países, muitos incentivos foram dados para que as pessoas gerassem energia elétrica a partir de suas residências, utilizando sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Os programas de incentivo geralmente são justificados por questões ambientais, segurança energética, geração de empregos, desenvolvimento de tecnologia e de uma cadeia produtiva. Estes programas variam de acordo com o país e com a fonte de energia.

Segundo Gama (2014), a energia solar fotovoltaica ainda possui custo de geração bastante alto, em relação a tipos convencionais, devido principalmente ao preço dos painéis solares. Isto porque o processo de manufatura dos mesmos ainda é bastante alto, embora estímulos para utilização de energia fotovoltaica venham contribuindo para a redução nestes custos.

Os painéis fotovoltaicos podem ser utilizados conectados à rede ou em sistemas isolados, no entanto, Gama (2014) afirma que esse último é o mais aplicado, porque embora seja alto seu custo de instalação, mostra-se vantajoso comparado aos custos da extensão das redes, por em geral serem aplicados em regiões de difícil acesso para instalação e manutenção de linhas de transmissão.

De acordo com Miranda (2014), o Brasil apresenta condições favoráveis a energia solar não somente devido à sua localização intertropical, mas também pela grande disponibilidade de recursos naturais e territoriais, e pelas características do seu sistema elétrico.

A implantação de painéis fotovoltaicos diante de alguns estudos se mostra teoricamente viável, mesmo em um cenário de normalização das taxas de energia, considerando ser possível gerar economia mesmo que em longo prazo, partindo do pressuposto de a energia solar ser teoricamente mais barata, por não necessitar ser extraída, refinada e nem transportada para o local da geração, como é feito pelo sistema convencional, evitando custos, sendo ainda a energia

solar um processo mais simples, sem emissão de gases poluentes, impactos ambientais ou ruídos e com necessidade mínima de manutenção.

Contudo, os custos envolvendo todas estas etapas necessárias para a geração de energia devem ser computados no momento em que se compara a energia solar com as outras fontes. Devido à sua simplicidade, esta forma renovável de obter eletricidade possui vantagens econômicas.

Já em relação ao custo do painel, neste momento de crise econômica do Brasil, com a alta do dólar, a viabilidade econômica de sua implantação deverá ser analisada ao longo da pesquisa, mas com potencial de ser viável pelo menos no atual momento do país, devido à crise hídrica, que elevou o custo da energia elétrica.

1.2 OBJETIVO

Nesse trabalho foi dimensionado um projeto de painel fotovoltaico que tem como finalidade a geração de energia solar suficiente para o suprimento de demanda de uma residência de tamanho médio, situada na cidade de Caratinga, estado de Minas Gerais. Foi analisada sua viabilidade econômica explicitando detalhadamente todas as variáveis analisadas no desenvolvimento deste, como por exemplo o custo da tarifa atualmente, preço dos equipamentos utilizados, dentre outros.

1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

No capítulo 2 são apresentadas as informações básicas para o início da pesquisa. Nele é possível reconhecer a capacidade do Brasil de geração de energia fotovoltaica, detalhando todos os fatores que contribuem para isso. São explicitadas também todas as tecnologias que atualmente são utilizadas na produção dos painéis e todas as suas características. Ao final também se pode notar explicações de funcionamento do inversor de frequência, painéis e módulos.

No capítulo 3 está exposto o caso-exemplo em detalhes, mostrando características que foram levadas em consideração sobre o local que foi escolhido para que o estudo fosse realizado. Assim, ao final do capítulo está concluída a capacidade de geração de energia pelo local, bem como todo o dimensionamento do painel solar, do inversor e tudo o que será exigido pela concessionária para a conexão do sistema à rede.

No capítulo 4 são demonstrados todos os índices utilizados para a análise de viabilidade econômica, bem como o resultado das análises feitas a partir do seu cálculo, explicando se o estudo se revelou viável.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo serão apresentados os conceitos básicos de um sistema de geração energética fotovoltaico, bem como tudo que o norteia, suas partes funcionais, sua dinâmica de geração, e as possibilidades de materiais que podem ser utilizados dependendo das preferências do desenvolvedor.

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

O Brasil de maneira geral, tem irradiação solar global elevada, algo que varia em torno de 4.200 a 6.700 kWh/m²/ano, quantidade maior que a verificada em outros países que já instituíram a utilização da energia solar, países como Alemanha 900 a 1.250 kWh/m²/ano, França 900 a 1.650 kWh/m²/ano e Espanha 1.200 a 1.850 kWh/m²/ano (SILVA, 2015).

Ao observar a Figura 1, podemos perceber que apesar de bastante uniforme, a radiação solar no território brasileiro tem algumas regiões ainda mais favorecidas, que abrange os estados: Minas Gerais, Bahia, Goiás, Tocantins, Piauí, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba e São Paulo.

Para a geração de energia fotovoltaica a radiação solar de maior interesse é a Irradiação Global Horizontal (GHI), que é decomposta em duas outras, a Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e Irradiação Normal Direta (DNI). A primeira corresponde a parcela de radiação que chega a superfície dispersa e diminuída por reflexões causadas por poeira, vapor d'água, nuvens e outros fatores, e a segunda corresponde a parcela de radiação que chega a superfície sem nenhum tipo de reflexão. Portanto, em dias claros a principal radiação é a DNI e em dias nublados a DIF. Todas estas informações são ilustradas na Figura 2 (TOLMASQUIM et. al., 2012).

Outro fator de muita importância para esse estudo é a posição variável da Terra em relação ao sol durante todo o ano que irá determinar a incidência da radiação e a posição dos painéis solares, em relação ao norte e em relação ao plano horizontal. Um posicionamento ideal desses painéis promoverá um aproveitamento do máximo possível de radiação solar, já que estes são fixos e não acompanham o posicionamento solar (TOLMASQUIM et. al., 2012).

No Brasil especificamente os painéis devem estar posicionados para o norte “verdadeiro”, e a angulação pode ser ajustada ou para atender uma boa média durante todo o ano (inclinação corresponde a ângulos próximos da latitude do local da instalação), ou pode ser reajustada de tempos em tempos para que em cada época utilize o máximo de radiação possível (TOLMASQUIM et. al., 2012).

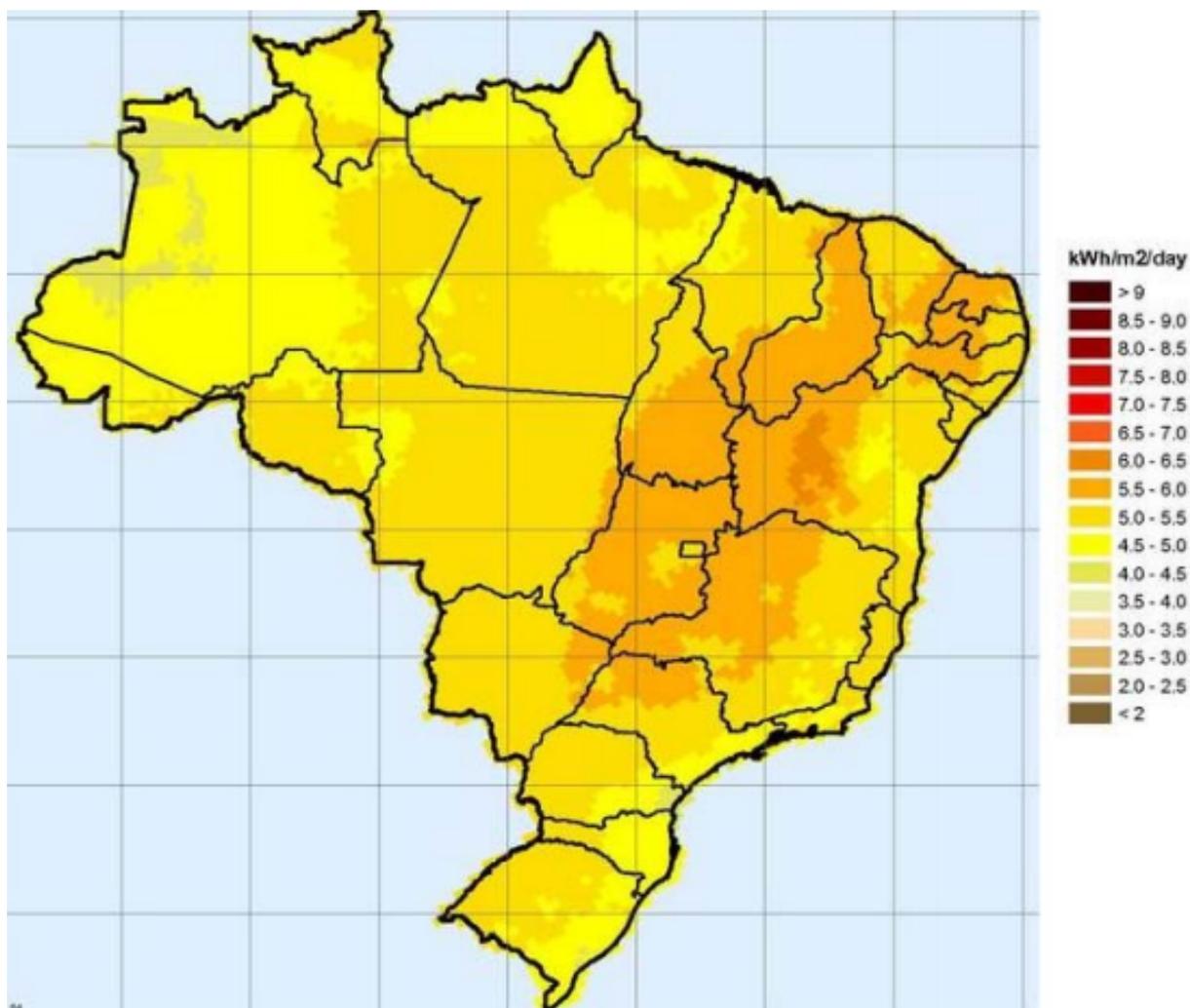


Figura 1: Radiação Solar Global Anual. Fonte: Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).

2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Antes de se descobrir o silício, cientistas já haviam observado outros elementos que tinham essa propriedade de produzir corrente elétrica, como exemplos estão o selênio e o cádmio, mas nos dias atuais, o silício é o tipo de célula mais utilizado para a geração de energia elétrica, e seu princípio básico de funcionamento é bastante simples (CASTRO,2012).

O efeito fotovoltaico é basicamente a capacidade de converter a luz solar em energia elétrica, o que acontece em nível atômico. Esse efeito foi descrito primeiramente por Alexandre Edmond Becquerel em 1839, e mais tarde foi confirmado por Albert Einstein em um artigo de 1905, que ganhou um Prêmio Nobel posteriormente, no ano de 1921. (CASTRO, 2012).

O silício é formado por quatorze elétrons e quatorze prótons, e em sua camada mais externa possui quatro elétrons. Quando são formados os cristais de silício, os átomos são alinhados em forma de teia e formam quatro ligações covalentes com o átomos vizinhos,

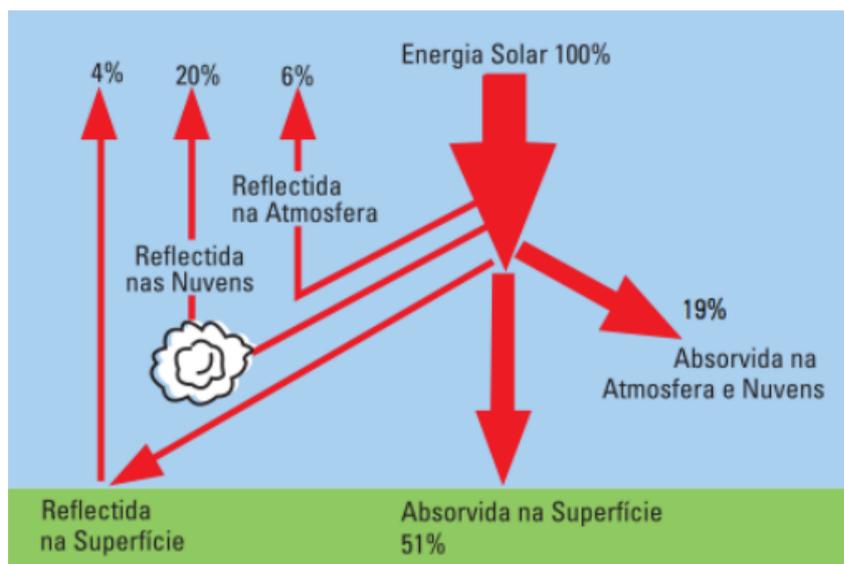


Figura 2: Distribuição irradiação solar. Fonte: GREENPRO 2004.

formando uma ligação estável. É necessário então que haja um estímulo com a energia suficiente, no caso um fóton solar, para que o elétron passe da camada de valência para a camada de condução, criando um ‘buraco’ que se comporta como uma carga positiva, criando corrente elétrica (CASTRO, 2012).

No entanto, em seu estado mais puro, o silício não seria capaz de criar corrente elétrica, não sem a geração de um campo elétrico, já que seus elétrons se recombinariam para se estabilizarem no caso de um elétron passar da camada de valência para a camada de condução. Assim, é necessária a dopagem do silício, introduzindo elementos estranhos no intuito de alterar suas propriedades elétricas, criando as camadas tipo p e as camadas tipo n, através dos dopantes mais comuns boro e fósforo, respectivamente utilizados para criar as camadas citadas (CASTRO, 2012).

Um cristal dopado é denominado semicondutor, e na região da junção p-n, onde os materiais se encontram, é formado o campo elétrico, separando os elétrons excitados por fótons que são acelerados para um terminal negativo e os ‘buracos’ são acelerados para um terminal positivo. Desse modo, ligando os terminais a um circuito fechado exteriormente por uma carga, haverá uma corrente elétrica unidirecional. Um esquema da célula fotovoltaica é representado na Figura 3 (CASTRO, 2012).

2.3 TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

O sistema de produção de energia fotovoltaica tem como principal tecnologia ainda hoje as células de silício, a mais amplamente utilizada, mas essa não é a única apesar de ser a mais tradicional. Outras tecnologias como a de filme fino vão ganhando cada vez mais visibilidade já que prometem um processo de fabricação que poupa significativamente a matéria-

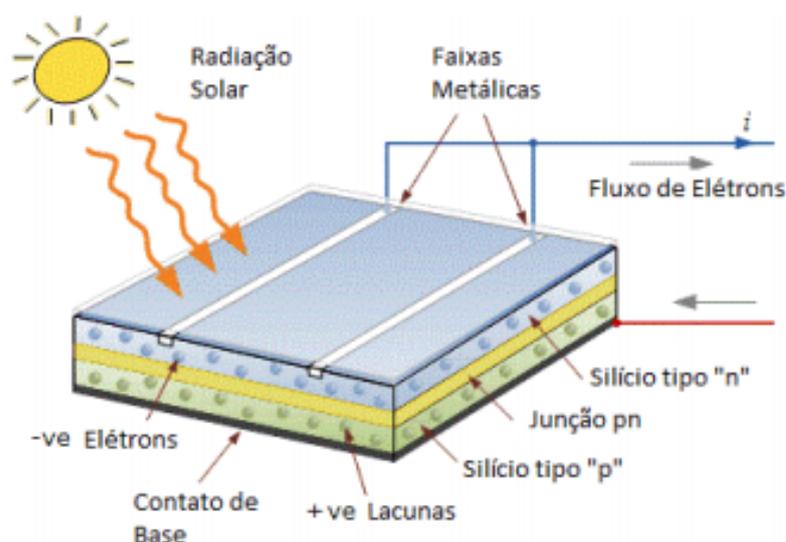


Figura 3: Corte transversal de uma célula fotovoltaica (Eletronics Tutorials, 2008).

prima, e também existem as tecnologias emergentes que vem sendo investigadas e prometem se desenvolver em médio prazo (CASTRO, 2012).

2.3.1 PRIMEIRA GERAÇÃO

Tecnologia Fotovoltaica de primeira geração, ou convencional, são compostas pelas células de silício cristalino e dominam o mercado mundial com cerca de 87%. Essas células se dividem em três grupos principais: silício monocristalino, multicristalino (policristalino) e fitas de silício (CASTRO, 2012).

Silício Monocristalino – representado na Figura 4, é a célula mais difundida e mais comercializada para a conversão direta de energia solar em energia elétrica, sua técnica é bastante difundida e utilizada. Na sua fase inicial de produção é necessária a extração do cristal dióxido de silício, este é desoxidado, purificado e solidificado, alcançando um grau de pureza de 99%, o que ainda não é suficiente para que esse silício seja utilizado no sistema fotovoltaico, já que para esse fim o nível de pureza deve ser de 99.9999%. Para a obtenção das características necessárias o processo de Czochralski é o mais utilizado, onde o silício é fundido com pequenas quantidades de dopante, boro para obtenção do tipo p, e fósforo para obtenção do tipo n, ambos os processos feito sobre rígido controle de temperatura. De todos os tipos de células fotovoltaicas a base de silício, as monocristalinas são as que oferecem maior eficiência podendo chegar aos 18%(SILVA,2008).

Silício Policristalino – apesar de seu processo de purificação ser similar ao do silício monocristalino, seu processo de produção é menos rigoroso e mais barato. Elas podem ser preparadas através de corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme em substrato, ou

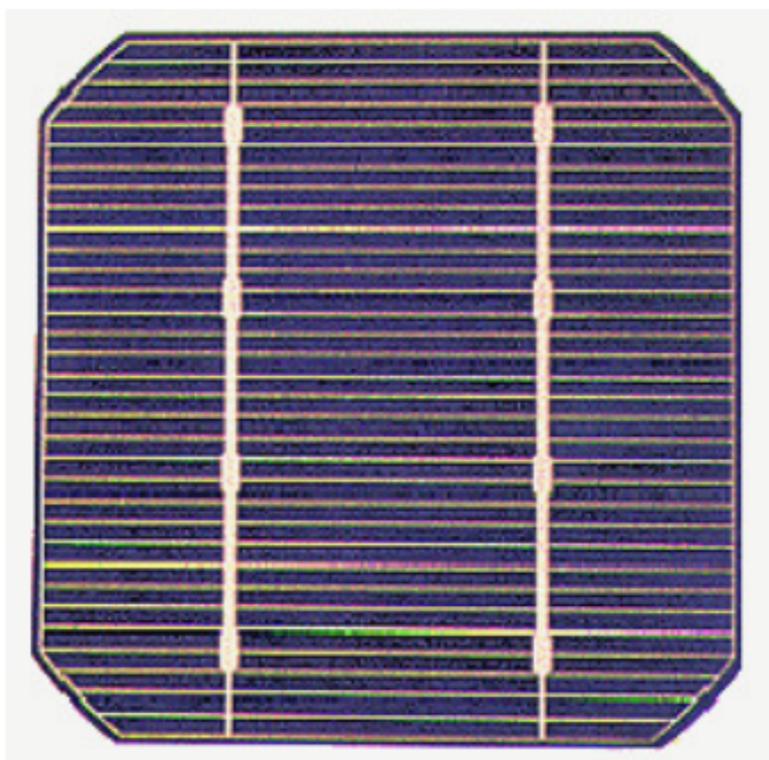


Figura 4: Silício Monocristalino. Fonte: CRESESB/CEPEL (1999)

por transporte de vapor ou por policristalino imersão. Por essa técnica, sua eficiência cai e não costuma passar dos 12.5%. A Figura 5 o exemplifica (SILVA,2008).

Fitas de Silício – Processo no qual o silício é fundido e puxado dando origem a uma fita, que corresponde a movimentação no mercado de 3%. Ememplificada na Figura 6, é mais um tipo de processo que barateia os custos de produção de células de silício, tudo através de uma técnica segura, confiável, estável e eficiente, sem desperdícios causados pelo corte de blocos sólidos de silício das outras técnicas mais tradicionais (CASTRO,2012).

2.3.2 SEGUNDA GERAÇÃO

Por causa de todos os problemas relacionados a produção de células fotovoltaicas a partir dos cristais de silício, os quais se referem ao seu alto custo de produção, técnicas complexas aplicadas, sua disponibilidade limitada e sua alta demanda energética de produção, a indústria começou a almejar outras alternativas que se tornassem mais viáveis tanto na disponibilidade de materiais quanto nas tecnologias de produção, buscando assim, materiais absorvedores de luz mais eficientes e semicondutores menos espessos, o que reduziria muito o custo (CASTRO, 2012).

Começou então a tecnologia de filmes finos com material semicondutor em substratos de grande área, de metal, vidro ou plástico, sendo eles adaptados a produção de grande escala.

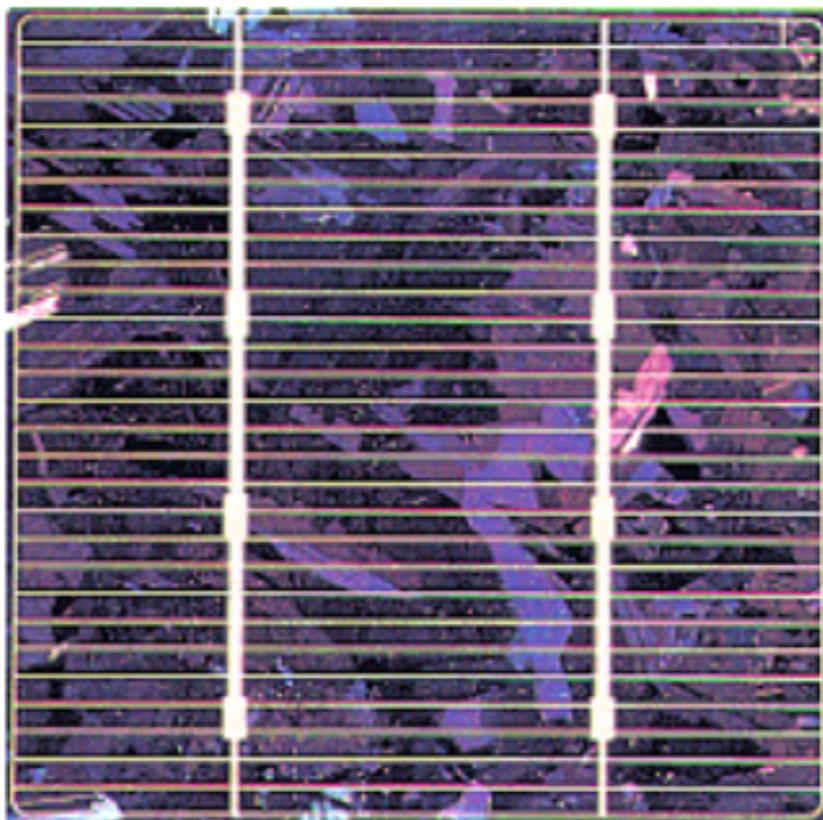


Figura 5: Silício Policristalino. Fonte: CRESESB/CEPEL (1999)

Nessa nova tecnologia os materiais mais utilizados são o Telureto de Cádmio, correspondendo a 8% do mercado, o silício amorfo, correspondendo a 5% do mercado, e o Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio, correspondendo a menos de 1% do mercado. Com todas essas novas características dessa tecnologia os filmes finos vêm vivenciando um aumento da sua circulação no mercado dos últimos anos, mas ainda não se sabe se ela irão chegar ao 85% de mercado detidos pelo silício cristalino de 1ª geração (CASTRO, 2012).

Telureto de Cádmio – São o tipo mais difundido das tecnologias da 2ª geração, com rendimentos que vão a 11%, mas ainda se encontram em processo de desenvolvimento devido a investigação quando a toxicidade do cádmio, o que o tornaria ambientalmente inviável, e a disponibilidade de telúrio, que é um material raro e dificulta a produção em larga escala (CASTRO, 2012).

Silício Amorfo – Sem uma estrutura cristalina, os seus defeitos estruturais são minimizados através de um processo que se chama hidrogenização, onde é adicionada uma certa quantidade de hidrogênio ao silício, e esses átomos se combinam quimicamente, reduzindo os efeitos negativos e defeitos estruturais. Sua eficiência varia de 11-12%. Na Figura 7 pode ser observado um exemplo de placa desse tipo. (CASTRO, 2012).

Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio – É atualmente a mais eficiente das tecnologias de filmes finos apresentando 11-13%, não apresentam componentes tóxicos e não degradam facil-



Figura 6: Fitas de Silício. Fonte: Site Inovação Tecnológica 2004.

mente a exposição a luz solar. O que encarece essa técnica é que para a camada de absorção são utilizados cinco elementos, o que dificulta a obtenção de uniformidade na deposição destes ao longo do substrato, além da dificuldade de encontrar o elemento Índio (CASTRO,2012).

2.3.3 TERCEIRA GERAÇÃO

Essa tecnologia tem um olhar para o futuro. Tecnologia emergente, ainda está em processo de investigação e estudo, é uma nova geração dos filmes finos. Aqui listaremos os com maior potencial de desenvolvimento.

Células Sensibilizadas por Corante – Também conhecida com células de Gratzel, são formadas por dióxido de titânio. Não se sabe ainda onde essa tecnologia vai chegar, mas seu modo de produção barato promete avanços.

Células Orgânicas – Com eficiência máxima de 7-8%, elas utilizam pigmentos orgânicos ao invés de junções do tipo p-n, mas não é um tipo promissor para o futuro.

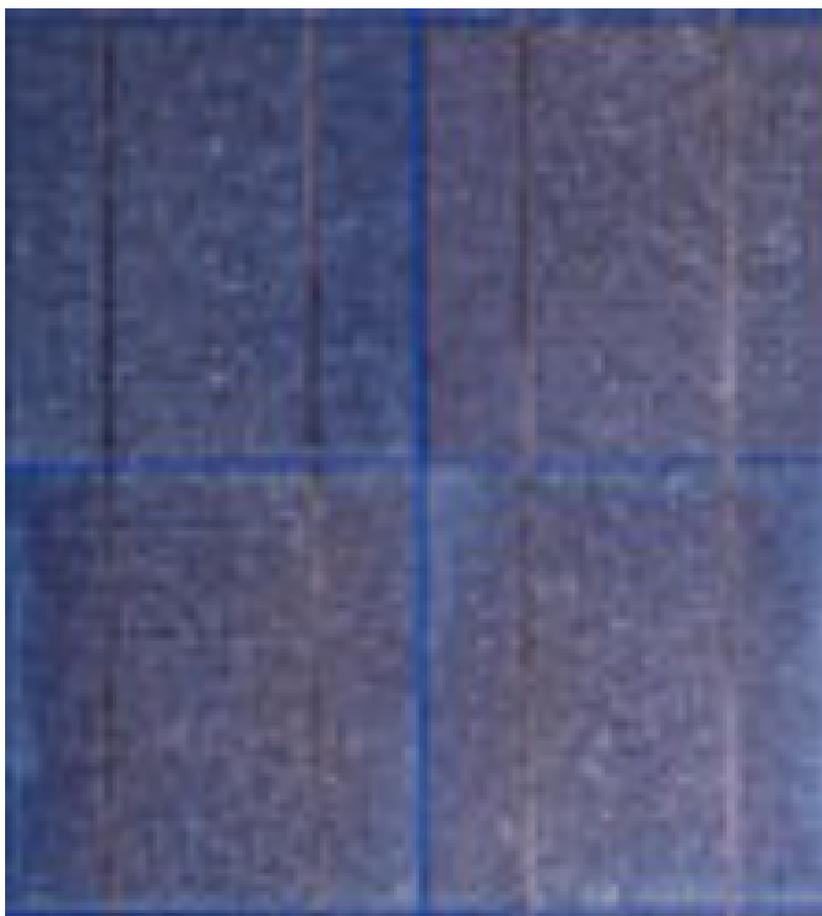


Figura 7: Silício Amorfo. Fonte: CRESESB/CEPEL (1999)

Nanoantenas – Apesar de estar apenas em processo de investigação é uma tecnologia que promete revolucionar o processo de captação de energia solar. Utilizando “antenas” para a captação de energia solar durante o dia e radiação da Terra durante a noite, foi necessário o desenvolvimento de nanotecnologia para seu desenvolvimento. Com possibilidade da fabricação em larga escala, através da confecção de rolos, e sua independência do silício, elas podem alcançar uma eficiência de até 80% e é promissora, se todos os problemas que a envolve, como a ressonância, foram solucionados.

2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A aplicação desse modelo possibilitará prever a quantidade de energia que poderá ser gerada a partir do sistema, para isso é necessário dispor da representação do módulo em si e também de seus equipamentos de interface. Ainda além da representação matemática, é necessário também conhecer todas as condições da instalação do sistema fotovoltaico, como o ambiente, temperaturas, níveis de radiação solar, todas as características que condicionam o módulo.

2.4.1 MÓDULOS E PAINÉIS

Pelo fato de que uma célula sozinha não consegue suprir sua função (máximo de 2W), é necessário que formemos os módulos e painéis. Um módulo, nada mais é do que um agrupamento de células que são ligadas em série ou em paralelo afim de que sejam capazes de atingir a tensão e a potência desejada, do mesmo modo que os painéis consistem em um agrupamento de módulos com o mesmo fim.

Nos painéis fotovoltaicos, quando adquiridos, geralmente já estão especificadas informações úteis e importantes como:

- Potência-pico (W_p);
- Tensão a potência máxima (V);
- Corrente a potência máxima (A);
- Tensão de circuito aberto (V);
- Corrente de curto-circuito (A);
- Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto ($V/^{\circ}C$ ou $\%/^{\circ}C$);
- Coeficiente de temperatura da corrente de curto circuito ($A/^{\circ}C$ ou $\%/^{\circ}C$);
- Coeficiente de temperatura da potência ($W/^{\circ}C$ ou $\%/^{\circ}C$);
- Temperatura do módulo nas condições normais de temperatura (*Normal Operating Cell Temperature* - NOCT) ($^{\circ}C$).

É importante ressaltar que em um módulo de silício cristalino a potência decresce 0,5% a cada grau de aumento da temperatura, enquanto na tecnologia de filmes finos esse decréscimo é bastante menor.

2.4.2 INVERSOR

Ligando o módulo à rede, existem equipamentos de regulação e interface que tem como objetivo a otimização da geração de energia e a adaptação do sistema às condições impostas pela rede de energia elétrica, o principal deles é o inversor.

O gerador fotovoltaico entrega à rede o máximo de potência que ele pode gerar naquele instante, o que varia é claro, já que ele depende de fatores ambientais principalmente, como o nível de radiação solar por exemplo.

A função do inversor basicamente é transformar a corrente contínua (DC) que é gerada pelo gerador fotovoltaico em corrente alternada (AC), já que esta é a utilizada para a alimentação doméstica. No caso da geração de energia fotovoltaica on grid (ligada à rede), o inversor desempenha mais uma função, que é sincronizar as duas correntes alternadas que chegam do

sistema fotovoltaico e da concessionária de energia elétrica. Se essa sincronização não for efetuada adequadamente, poderá ser desencadeado um curto circuito.

Ao se ver como grandes blocos, o inversor de um sistema fotovoltaico é constituído de:

- Entrada DC (onde se ligam os terminais do módulo);
- Unidade processadora do algoritmo de seguimento de potência máxima);
- Conversor DC/DC;
- Ponte conversora DC/AC;
- Filtros;
- Equipamentos de monitoramento e proteção.

3 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nesse capítulo serão abordadas questões referentes a montagem do sistema fotovoltaico no local escolhido. Será especificado cada detalhe do projeto, levando em consideração todas as características locais e como elas favorecem o sistema fotovoltaico.

3.1 EXPOSIÇÃO DO CASO-EXEMPLO

A geração distribuída tem como definição a utilização, isolada ou integrada, de recursos modulares de pequeno porte pelas concessionárias e consumidores, em aplicações que beneficiam o sistema elétrico ou consumidores específicos. Esse termo também tem ligação com outras expressões usadas, como: autogeração, geração *in situ*, cogeração e geração exclusiva.

Esse tipo de geração também oferece diversas vantagens ao setor elétrico, já que quando a unidade de geração está próxima a carga, isso permite que as perdas na distribuição de energia sejam reduzidas, e assim favorece outras formas de geração de energia, com a escolha do melhor recurso local, ou requerimentos específicos da carga.

Até o momento não é possível, nem permitido ao consumidor, gerar lucro através da venda do que é gerado por ele em excesso para a concessionária de energia. Na última resolução da ANEEL 687/2015, aprovada no fim de novembro de 2015, é possível converter o excedente apenas em créditos na conta de luz, que expiram ao decorrer de cinco anos. Então, é necessário que o projeto seja devidamente dimensionado para que este gere somente o que será demandado, levando em consideração sempre o decaimento da eficiência do painel fotovoltaico ao decorrer de sua vida útil.

Espera-se que ao passar dos anos outras tecnologias sejam encontradas para que seja possível diminuir as variações negativas no consumo adotado para o painel, melhorando sua eficiência, mas em âmbito residencial, essas variações tendem a ser bastante pequenas.

O projetista deve, durante o dimensionamento, analisar os equipamentos a serem utilizados no sistema de geração fotovoltaico, a fim de que o consumidor final não invista muito em um sistema superdimensionado.

Para o estudo foi escolhido utilizar-se de uma residência para a incorporação da geração de energia fotovoltaica através da geração distribuída, para que seja possível analisar a viabilidade econômica da implantação deste para um cidadão comum, família de tamanho médio, incentivando que a energia limpa pode estar presente em quase todas as localidades, tanto comerciais e empresariais quanto em residenciais.

Em geral a vida útil em média do sistema fotovoltaico é de 25 anos, com sua eficiência estando sujeita a cair de 100% para 90% em um tempo médio de uso de 10-15 anos, decaindo

ainda para 80% até os 25 anos após a implantação do sistema, daí a necessidade de um bom dimensionamento no programa, para que mesmo no decaimento a energia necessária ainda seja suprida (MIRANDA, 2014).

Em sistema doméstico, como o que será citado no caso-exemplo, as variações são pouco significativas em relação ao consumo médio, o que facilita os cálculos de viabilidade econômica, falando de maneira geral.

O exemplo que será utilizado a seguir é de uma residência, uma casa, localizada no bairro Limoeiro, na cidade de Caratinga, estado de Minas Gerais, coordenadas geográficas na latitude 19,798514°S e longitude 42,144537°O, a imagem de satélite do local é demonstrada na Figura 9.

O local em geral comporta quatro pessoas, onde no primeiro pavimento encontra-se a garagem, no segundo pavimento a área de vivência da família, que inclui quatro quartos, sala, cozinha, dois banheiros e varanda, e no terceiro pavimento fica situado o terraço, com uma banheiro, uma cozinha e área de lavanderia, tudo isso será mostrado detalhadamente na planta baixa da residência, Figura 8.

Aqui também consta o consumo médio de energia elétrica da residência mês a mês, no período de 12 meses, explicitando na Tabela 1 o mês referente, a quantidade de energia consumida em KWh/mês, o preço da tarifa no determinado momento, e o preço final pago a concessionária de energia elétrica. Basicamente o consumo se baseia na iluminação, utilização de eletrodomésticos em geral, como lavadora de roupas, ferro de passar, chuveiro elétrico, secador de cabelos, entre outros e eletroeletrônicos, como aparelho celular, tablete, televisores e outros aparelhos de comum utilização.

Tabela 1: Consumo Anual

Mês	Consumo (kWh/mês)	Tarifa (R\$)	Gasto (R\$)
Jan/2015	214	0,785153	168
Fev/2015	229	0,785153	180
Mar/2015	171	0,785153	134
Abr/2015	195	0,785153	153
Mai/2015	215	0,785153	169
Jun/2015	205	0,785153	161
Jul/2015	184	0,785153	144
Ago/2015	153	0,785153	120
Set/2015	188	0,785153	148
Out/2015	211	0,785153	166
Nov/2015	192	0,785153	151
Dez/2015	210	0,785153	165
TOTAL =	2367		1858

Vale também ressaltar que o pico de utilização de energia elétrica acontece durante a noite, já que esse é o período onde toda a família se encontra reunida em casa, apesar de haver utilização em pequenas quantidades durante o dia. Sendo assim, a maior parte da energia gerada,

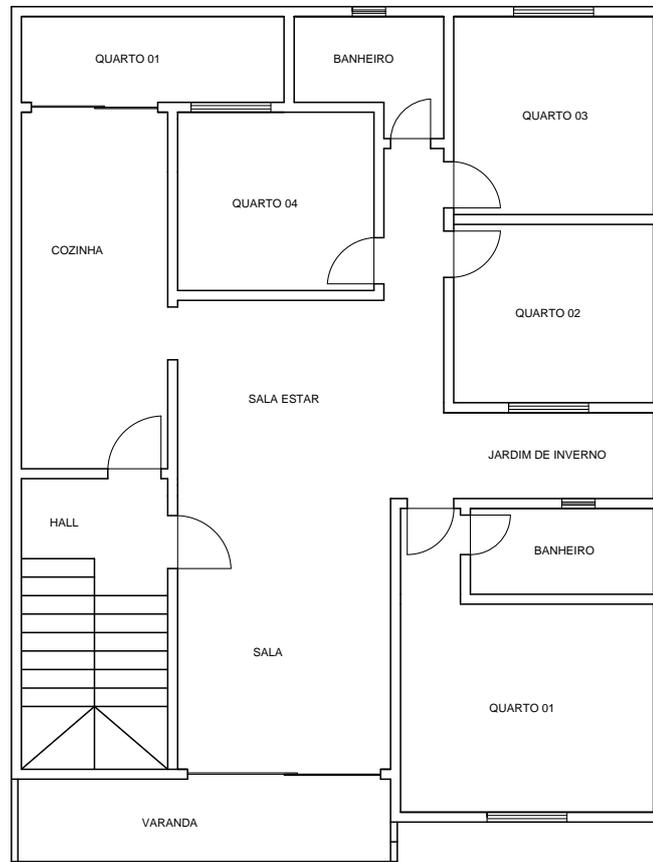


Figura 8: Planta Baixa do Caso-Exemplo

já que ela é gerada com a radiação solar durante o dia, será revertida a concessionária, que mais tarde, no período da noite onde não há produção por parte do sistema fotovoltaico, abastecerá a residência na forma de "bonificação" da energia cedida à ela durante o dia.

Dessa forma também é de suma importância ressaltar que o telhado da casa onde serão afixadas os painéis solares está livre de interferências, ou seja, não há projeção de sombra de outros prédios e residências durante o período em que efetivamente ocorre a produção de energia, a partir da radiação solar, assim os mesmos serão posicionados em local de ótima geração de energia.



Figura 9: Visão de Satélite - Google Earth

3.2 MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

A partir de informações obtidas da CRESESB/CEPEL, as medições relacionadas a intensidade da radiação do local referido pelas coordenadas geográficas que são pertinentes para a pesquisa de viabilidade econômica serão explicadas e analisadas. O *SunData*, é uma base de dados que tem como função realizar as medições da radiação solar diária média mensal de cada localidade, e é uma ferramenta de apoio da CRESESB para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Na Tabela 2 estão os dados obtidos.

Através da utilização do software *Radiasol 2*, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, obtivemos as variações da incidência da radiação solar da localidade, juntamente com suas derivadas, como irradiação global horizontal, a com maior importância na análise, e também a irradiação normal direta, irradiação difusa horizontal e a irradiação inclinada, como é mostrado na Figura 10.

Analisando então os dados da Figura 10 e da Tabela 2, constatou-se que durante o inverno a incidência solar diminuiu consideravelmente, afetando conseqüentemente o processo de geração de energia a partir dele, reduzindo a eficiência do sistema. Durante o verão, naturalmente ocorrerá o inverso, essa estação assim se torna propícia para a maior eficiência do sistema, tendo as melhores médias mensais de irradiação solar. Esse acontecimento é associado ao movimento da Terra em relação ao Sol que é diferente em todas as estações do ano, o que afeta a duração do dia, no inverno os dias são mais curtos que no verão, diminuindo a disponibilidade de radiação solar (CRUZ, 2012).

Além da quantidade de irradiação solar disponível, também é de crucial importância levar em consideração as condições atmosféricas momentâneas da localidade, dias ensolarados e

Tabela 2: Radiação solar para latitude 19,798514°S e longitude 42,144537°O

Ângulo	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]			
	Plano Horizontal	Ângulo igual a latitude	Maior média anual	Maior mínimo mensal
Mês/Inclinação	0° N	20° N	18° N	29° N
JAN	5,81	5,29	5,36	4,92
FEV	5,78	5,52	5,56	5,25
MAR	5,31	5,42	5,43	5,31
ABR	4,44	4,90	4,87	4,96
MAI	4,00	4,77	4,71	4,97
JUN	3,39	4,15	4,09	4,38
JUL	4,03	4,94	4,87	5,20
AGO	4,61	5,29	5,24	5,44
SET	4,39	4,59	4,59	4,55
OUT	4,78	4,66	4,69	4,48
NOV	5,11	4,73	4,78	4,44
DEZ	5,22	4,72	4,78	4,39
Média =	4,74	4,91	4,91	4,86
Delta =	2,42	1,36	1,47	1,06

sem nuvens possibilitam uma geração de energia ampla e muito regular, enquanto a presença de nuvens de chuva por exemplo, causam imprevisibilidade de produção de energia, já que acabam naturalmente refletindo grande parte dessa radiação.

3.3 POSICIONAMENTO DOS PAINÉIS SOLARES

Para obter a máxima eficiência na conversão de energia pelo sistema fotovoltaico o que se tem de mais importante é o posicionamento das placas para a captação de radiação. A orientação dessas placas são feitas apontando para azimute norte (hemisfério sul) ou azimute sul (hemisfério norte) com inclinação em torno da latitude geográfica do local da instalação. Essas preocupações devem ser observadas por causa do movimento aparente do sol durante as diferentes estações do ano.

Ainda a partir da utilização do software Radasol 2, que não somente auxilia na obtenção de informações sobre a radiação incidente em determinadas cidades do Brasil mas também possui uma ferramenta que ajuda na obtenção da inclinação correta do painel, foram obtidas as informações que aparecem na Figura 11.

Depois de analisadas todas essas informações, foi concluído que a melhor inclinação para os painéis solares a serem instalados na residência de Caratinga, devido ao seu posicionamento geográfico, é a inclinação de 29°, conforme visto na Tabela 6. Esta angulação foi escolhida porque favorece não somente o período de verão, onde a irradiação solar é ampla, mas também o período de inverno, quando a irradiação solar diminui drasticamente, mas com os 29° a produção

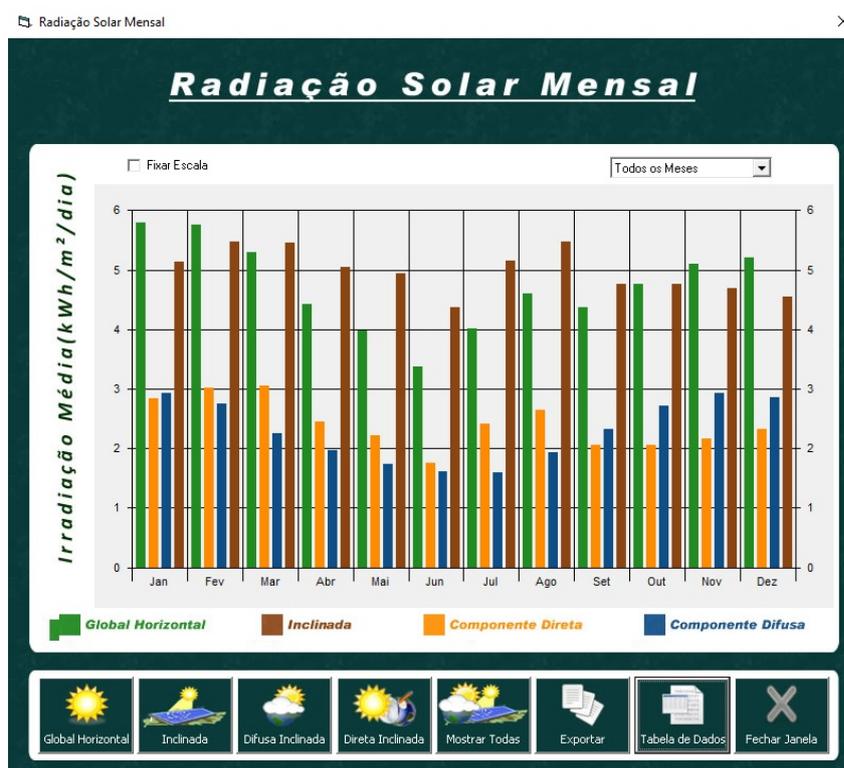


Figura 10: Radiação Solar Mensal - Radiasol 2

de energia permanece relativamente eficiente.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

3.4.1 PAINEL SOLAR

Com base em todas as informações já expostas anteriormente do desenvolvimento desse projeto, levando em consideração todas tecnologias de células fotovoltaicas, eficiência dos painéis, custo, entre outras características analisadas, foi escolhido o modelo de painel solar que mais se mostrou apropriado para a instalação na residência, que é o caso-exemplo desse trabalho.

Foi escolhido o modelo CS6P-260P, da empresa canadense fabricante Canadian Solar, detalhado na Tabela 3, especificado na Tabela 4. Esse modelo possui 260 Wp. Abaixo está descrita uma Tabela com os principais dados referentes ao painel escolhido, em Anexos ao fim desse trabalho são expostas maiores informações referentes ao mesmo.

Para o caso-exemplo utilizado, a Tabela 4 traz informações a respeito da quantidade e painéis utilizados, peso total do conjunto, potência total máxima de pico, tensão total série dos painéis. Essas informações serão fundamentais para o dimensionamento dos equipamentos que ainda serão instalados, como por exemplo inversores e condutores.

Todo o custo gerado pela compra das partes do módulo e sua instalação são detalhadas

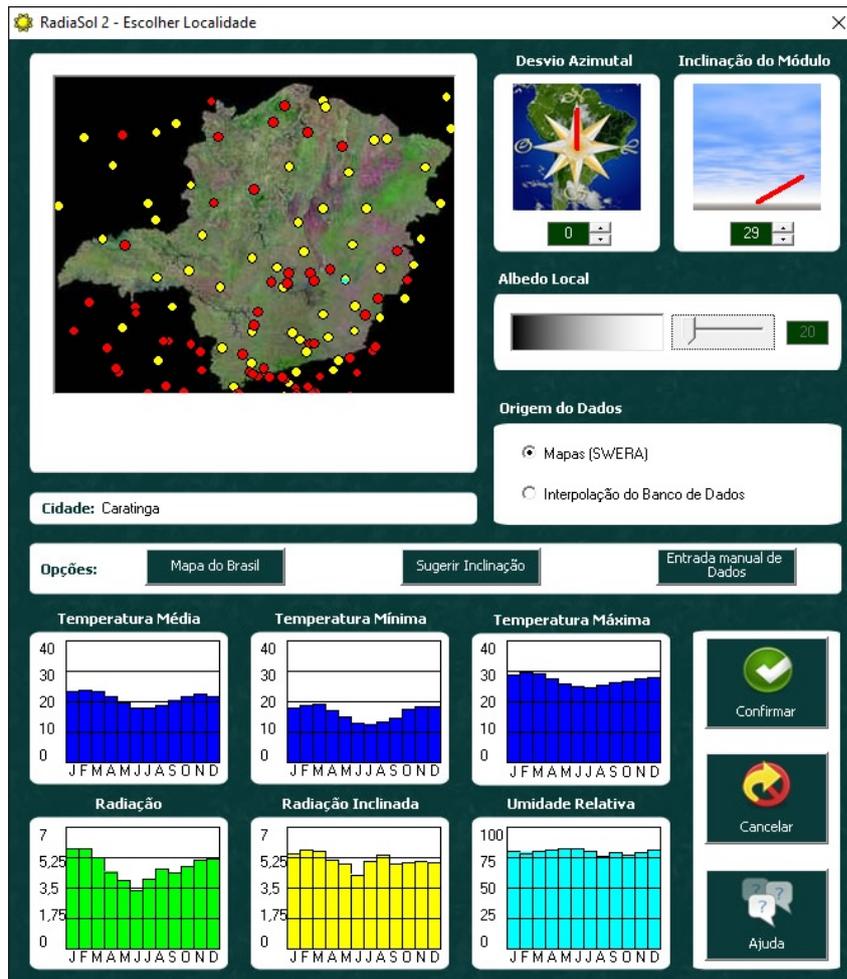


Figura 11: Inclinação dos Painéis Solares - Radiasol 2

Tabela 3: Dados do Painel CS6P-260P

Dados do Painel	
Fabricante	CanadianSolar
Modelo	CS6P-260P
Tecnologia	Policristalino
Potência Nominal (W)	260
Perda de potência anual (%)	0,7
Área do painel (m)	1,609
Peso (Kg)	20
Tensão de pico	29,55
Coefficiente de temperatura (%/°C)	-0,41
Classificação INMETRO	A
Vida útil (ANOS)	25
Valor (R\$)	1272

Tabela 4: Especificações dos Painéis Solares no projeto

Especificação dos Painéis Solares no projeto	
Fabricante	CanadianSolar
Modelo	CS6P-260P
Tecnologia	Policristalino
Potência Nominal (W)	260
eficiência do modulo(%)	16,16
Quantidade de painéis	6
Peso total (Kg)	177,30
Potência total (Wp)	1560
Custo total (R\$)	7632
Tensão total da série de painéis (V)	177,30
Tensão corrigida (V)	188,68

no capítulo subsequente, Capítulo 4, já que nele será analisada a viabilidade econômica desse sistema fotovoltaico, sendo que o preço deste foi obtido a partir dos valores médios de mercado em meados de fevereiro/2016 para o consumidor final.

3.4.2 INVERSOR

O inversor, assim como o painel, foi escolhido através da análise de todas as características mencionadas, levando em consideração o caso no qual ele está sendo inserido. Os dados dessa escolha estarão mais a frente nos Anexos, com todos os detalhes sobre o modelo escolhido.

O modelo de inversor escolhido para a utilização no caso-exemplo é PHB1500-SS, da fabricante brasileira PHB, detalhes mostrados na Tabela 5. Além do custo-benefício da marca ser satisfatório, o item possui certificação do INMETRO, empresa de verificação de qualidade, o que é crucial para a instalação do sistema fotovoltaico atualmente, já que a concessionária de energia exige certo padrão industrial do inversor antes de autorizar sua utilização na rede.

A seguir as principais do inversor escolhido foram listadas na Tabela 5:

Tabela 5: Dados do Inversor

Dados do Inversor	
Fabricante	PHB
Modelo	PHB1500-SS
Máxima Potência DC (W)	1800
Tensão máxima DC (V)	400
Máxima Potência AC (W)	1650
Tensão Nominal AC (Vrms)	220-240
Valor (R\$)	1272
Eficiência (%)	97

3.4.3 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ESPERADA

Aqui são calculadas a geração total (GT) e a geração total com perdas (GTP) para o caso-exemplo utilizado. Na Tabela 6 é demonstrada a geração esperada do caso exemplo, e na Figura 12 são comparadas a GT e a GTP. Primeiramente, para o cálculo da geração total foi utilizada a seguinte equação:

$$GT = \sum_{t=0}^n I_o \cdot A \cdot \eta$$

Na referida fórmula o n representa número de dias do mês, I_o representa radiação média diária do mês em questão (kWh/m².dia), A representa área total dos painéis utilizados e η representa a eficiência do painel.

Já para o cálculo da geração total com perdas foi considerada a perda de aproximadamente 20%, considerando variáveis como por exemplo desvio no rendimento nominal do módulo, temperatura no módulo, sombreamento, sujeira no módulo entre outras. Para o cálculo de geração total com perdas foi utilizada a seguinte equação:

$$GTP = \sum_{t=0}^n I_o \cdot A \cdot \eta \cdot (1 - p)$$

o p se refere a perda percentual do sistema.

Tabela 6: Geração Esperada para o caso-exemplo

Geração Esperada para o Caso-Exemplo					
Mês	29°	Geração Total Mensal	Geração Total Mensal (PERDAS)	Consumo Total Mensal	Geração Percentual
Jan	4,92	230,256	184,205	214	86,0771028
Fev	5,25	245,7	196,56	229	85,83406114
Mar	5,31	248,508	198,806	171	116,2608187
Abr	4,96	232,128	185,702	195	95,23179487
Mai	4,97	232,596	186,077	215	86,54744186
Jun	4,38	204,984	163,987	205	79,99365854
Jul	5,2	243,36	194,688	184	105,8086957
Ago	5,44	254,592	203,674	153	133,1202614
Set	4,55	212,94	170,352	188	90,61276596
Out	4,48	209,664	167,731	211	79,49336493
Nov	4,44	207,792	166,234	192	86,58020833
Dez	4,39	205,452	164,362	210	78,26761905
Total		2727,972	2182,378	2367	92,20016899

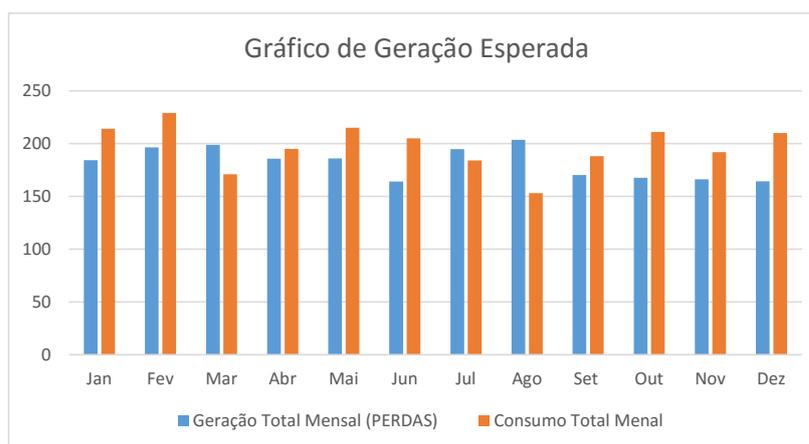


Figura 12: Gráfico de comparação de geração total com perdas e consumo mensal

3.5 REQUISITOS PARA CONEXÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

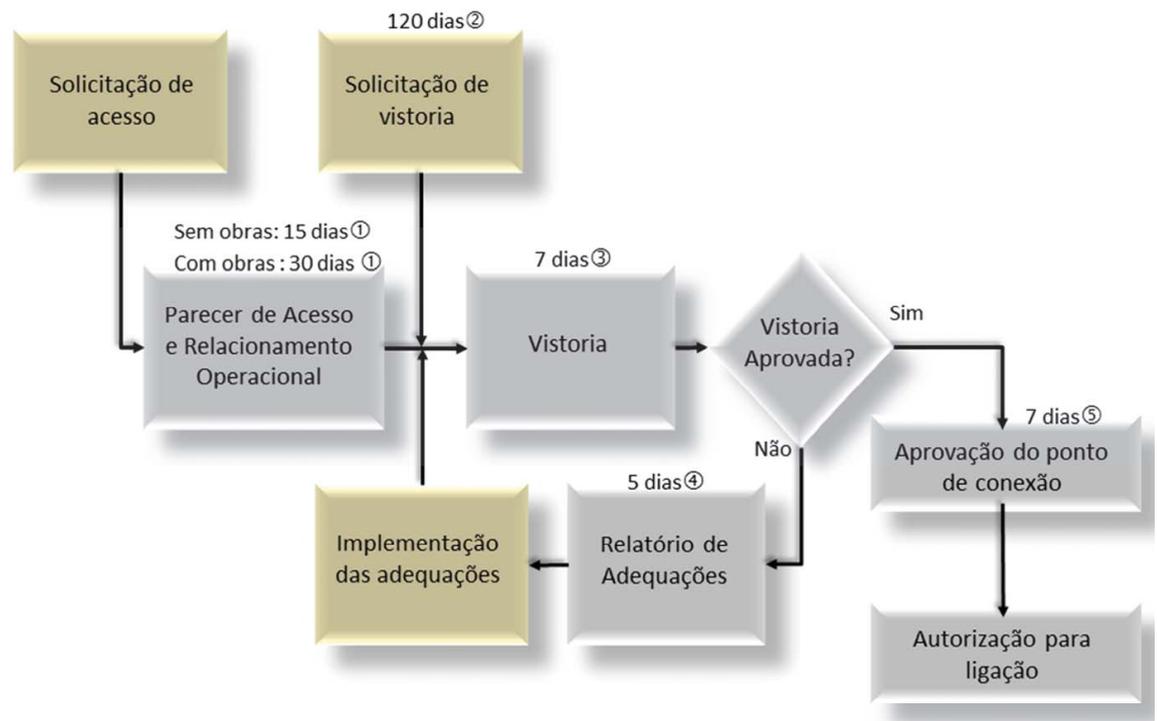
Com o projeto em mãos e tudo planejado de acordo com os itens anteriormente descrito, é necessário entrar junto à concessionária de energia elétrica, no caso específico deste projeto a CEMIG, com o pedido para conexão do sistema à rede elétrica da mesma. Para que isso ocorra, diante da entrada do pedido serão analisadas algumas variáveis, de tal modo que o projeto atenda a todos esses pré-requisitos. As seguintes etapas na Figura 13 são seguidas durante esse processo de conexão, todas elas descritas de maneira completa na Norma Técnica ND5.30, ressaltando nesse caso especificamente.

A etapa de solicitação de acesso representa o pedido formal do acessante à CEMIG, esse pedido passa obrigatoriamente por análise na companhia, e depois é encaminhado a ANEEL para fins de registro. Os formulários encontram-se no site da companhia elétrica, e junto com ele existe uma lista de documento necessários que devem ser anexados ao formulário para o envio do mesmo, isso tudo de acordo com a potência da microgeração distribuída.

O parecer de acesso é um documento que obrigatoriamente é apresentado pela CEMIG ao acessante, como forma de informar a ele as condições técnicas e comerciais de acesso e os requisitos técnicos da instalação, isso não gera ônus ao acessante. O prazo para que seja emitido o parecer de acesso pela CEMIG varia de 15 a 30 dias, dependendo se haverá necessidade de melhorias no sistema de distribuição ou não.

O relacionamento operacional é celebrado entre a concessionária e o acessante, é específico dos projetos de baixa tensão, e são enviados ao acessante em anexo ao parecer de acesso.

As obras são realizadas após a celebração de relacionamento operacional entre as partes, são então executadas obras necessárias, vistoria das instalações e ligação do microgerador. Além das normas da CEMIG, para a realização deste é necessário que o projeto siga também as normas



- (1) a partir da solicitação de acesso por parte do acessante.
 (2) a partir da emissão do parecer de acesso.
 (3) a partir da solicitação de vistoria por parte do acessante.
 (4) a partir da realização da vistoria.
 (5) após a aprovação da vistoria.

Figura 13: Etapas de Acesso de Microgeradores ao Sistema de Distribuição Cemig - Norma Técnica ND5.30

da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). As obras serão divididas em obras de responsabilidade da CEMIG quando disser respeito à melhorias da rede elétrica, e obras de responsabilidade do acessante quando disser respeito à componentes de uso restrito de instalação de pontos de acesso, essa última só deve ser realizadas mediante prévia autorização da CEMIG.

A solicitação de vistoria é feita após a conclusão das obras necessárias à instalação do microgerador, ela deve ser realizada em até 120 dias a contar a partir da emissão do parecer de acesso pela CEMIG. Então em um prazo de até 7 dias será realizada a vistoria, se constatadas pendências, em um prazo de até 5 dias será encaminhada ao acessante uma lista para que sejam sanadas as pendências, se não houver pendências, após um prazo de 7 dias da vistoria, ocorrerá a autorização para a instalação do microgerador.

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Nesse capítulo são expostas todas os indicadores utilizados no estudo da viabilidade, bem como os cálculos dessas variáveis realizados especificamente para o caso-exemplo, mostrando a viabilidade do projeto.

Para que seja possível a realização de um estudo de viabilidade econômica é necessário recorrer a tarifa aplicada pela concessionária de energia local. No presente estudo serão utilizados os seguintes indicadores econômicos para análise de projeto: *payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), estes foram selecionados para que em conjunto possibilitem um resultado mais claro em relação a viabilidade econômica do projeto, já que cada um deles isoladamente possuem características vantajosas e desvantajosas, e em conjunto complementarão informações entre si. O trabalho referencia todas as fórmulas matemáticas utilizadas para cada indicador.

Durante esse estudo de viabilidade foram consideradas algumas informações, dentre as quais estão o reajuste da tarifa de energia elétrica, a qual é reajustada a partir do índice IRT (Reajuste Tarifário Anual) e é dependente da IGPM (Índice Global de Preço do Mercado), assim é possível fazer uma estimativa de preço desta, a qual no estudo foi considerado o reajuste de 5% ao ano. Também para este fim, foi considerado o decaimento de produção de energia pelo sistema fotovoltaico em 0.8% ao ano. (MIRANDA, 2014).

Na Tabela 7, é demonstrado o custo total do equipamento e da instalação do sistema fotovoltaico, e a partir desses valores será possível posteriormente calcular o retorno econômico a partir da micro-geração de energia.

4.1 PAYBACK

“Quanto tempo o investidor precisa esperar até que os fluxos de caixa acumulados dos projetos igualem ou superem o investimento inicial? ”. Esta é a pergunta que o *payback* tenta responder, ou no caso específico dessa análise de viabilidade, após quanto tempo de uso do

Tabela 7: Investimento Total

Investimentos			
Fabricante	Modelo	Descrição	Custo Total
CanadianSolar	CS6P-260P	Painel Solar	7632
PHB	PHB1500-SS	Inversor	6584
-	-	Instalação	5000
-	-	Projeto	3000
Total			22216

sistema fotovoltaico a residência começará a ter energia elétrica “grátis”? (CAVALCANTE,2016).

Esse recurso é utilizado para uma análise geral, mas é bastante limitado. Ele não leva em consideração correção monetária, riscos relacionados ao projeto ou financiamento. Em contrapartida ele é muito utilizado por ter vantagens, que é de fácil estudo e entendimento e por possibilitar estudos de viabilidade de forma rápida (CAVALCANTE,2016).

A fórmula utilizada no cálculo de *payback* é a mostrada a seguir:

$$Payback = n, \text{ talque } \sum_{t=0}^n FC_n = I_o$$

Na fórmula, *n* se refere ao número de anos, *I_o* se refere ao investimento inicial, *R* se refere ao valor atual e *FC_n* se refere ao fluxo de caixa do ano referência (*Rn*).

Na Tabela 8, é demonstrado o *payback* relacionado ao projeto, considerando apenas o valor nominal, e no gráfico, representado na Figura 14 mostra a variação no fluxo de caixa através dos anos.

Tabela 8: PAYBACK

ANO	Geração Com Depreciação e Perdas	Tarifa Elétrica	Gasto Economizado	Fluxo de Caixa
1	2.118,00	0,82441	1.746,10	-20568,74
2	2.103,17	0,86563	1.820,57	-18948,44
3	2.088,34	0,90891	1.898,12	-17354,74
4	2.073,52	0,95436	1.978,88	-15787,28
5	2.058,69	1,00208	2.062,97	-14245,71
6	2.043,87	1,05218	2.150,52	-12729,68
7	2.029,04	1,10479	2.241,66	-11238,85
8	2.014,21	1,16003	2.336,55	-9772,87
9	1.999,39	1,21803	2.435,31	-8331,41
10	1.984,56	1,27893	2.538,12	-6914,14
11	1.969,74	1,34288	2.645,12	-5520,73
12	1.954,91	1,41002	2.756,47	-4150,85
13	1.940,08	1,48052	2.872,34	-2804,18
14	1.925,26	1,55455	2.992,91	-1480,42
15	1.910,43	1,63228	3.118,35	-179,24
16	1.895,61	1,71389	3.248,86	1099,67
17	1.880,78	1,79959	3.384,62	2356,59
18	1.865,95	1,88956	3.525,84	3591,85
19	1.851,13	1,98404	3.672,72	4805,73
20	1.836,30	2,08324	3.825,47	5998,53
21	1.821,48	2,18741	3.984,31	7170,54
22	1.806,65	2,29678	4.149,47	8322,04
23	1.791,82	2,41162	4.321,19	9453,31
24	1.777,00	2,53220	4.499,71	10564,65
25	1.762,17	2,65881	4.685,28	11656,31

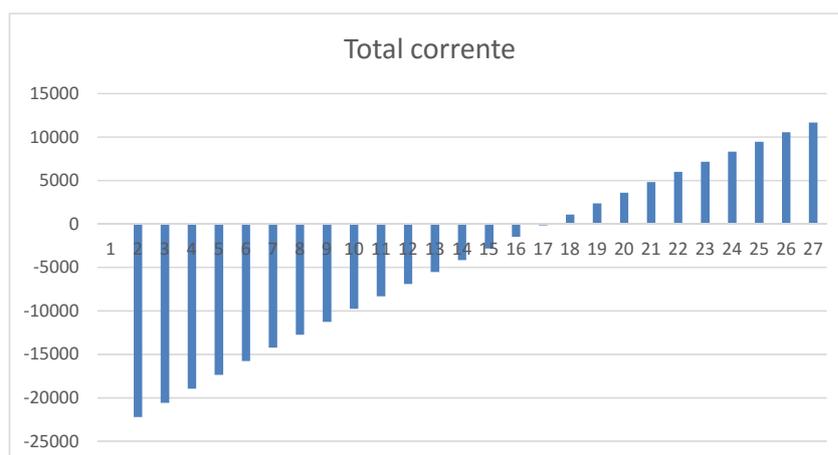


Figura 14: Gráfico do *PAYBACK*

Ao analisarmos os dados, desconsiderando o reajuste monetário através dos anos, o cálculo do *payback* mostrou que ao longo de 15 anos o investimento inicial seria reconstituído pelo proprietário, sendo assim, os próximos 10 anos seriam apenas de "lucro", estimando que a vida útil do painel seriam os 25 anos previstos.

4.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Este é o indicador mais utilizado para cálculo de viabilidade econômica e consiste na soma dos benefícios líquidos do projeto atualizados devidamente (utilização da taxa de desconto relevante). A fórmula geral para o seu cálculo é a seguinte:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t}$$

Na fórmula BN_t representa o benefício líquido correspondente ao momento t de vida do projeto, r representa a taxa de desconto por período, e n representa o momento final do projeto.

Ao final da análise do indicador se o VPL for negativo o projeto não é aconselhável, se o VPL é positivo o projeto se torna viável.

Estão entre as vantagens da utilização desse indicador o fato de que ele permite a incorporação da taxa de desconto adequada, só possibilita um resultado, não gerando ambiguidade diferentemente de outros indicadores disponíveis, e ele permite escolha entre outras opções escolhendo o de maior VPL, que será o com maior rentabilidade. Em contrapartida sua limitação é quando “projetos repetitivos” são comparados, projetos com diferente vida útil ou duração (BOTTEON, 2009).

4.3 TAXA INTERNA DE RETORNO

Sempre que se fizer referência ao cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) é necessário que se leve em conta se esta é anual, mensal etc. Para que um projeto se mostre adequadamente viável é preciso que a TIR seja maior que sua taxa de desconto, caso essas duas variáveis sejam iguais, se torna indiferente executar o projeto ou não, e em um terceiro caso de que a TIR seja menor que a taxa de desconto o projeto se torna inviável.

O cálculo da TIR implica que o $VPL=0$, a fórmula é a seguinte:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1 + \rho)^t} = 0$$

onde a ρ é a TIR.

A vantagem para a utilização da TIR é que ela não requer o conhecimento da taxa de desconto relevante, quando identificá-la não é tarefa fácil, no entanto é necessário conhecer a taxa de desconto para que comparando com a TIR, seja possível determinar a viabilidade do projeto. Já as suas desvantagens são de que pode haver mais do que uma TIR e ainda pode haver problemas na seleção de projetos excludentes.

Na Tabela 9, é possível visualizar o estudo econômico do projeto, destacando que a taxa de desconto considerada foi de 6% ao ano:

Foi possível então concluir, a partir da análise da tabela, que foi obtido um $VPL = R\$33.872,31 - R\$22.216,00 = R\$11.656,30$, e um valor de TIR 10,08%, analisando então esses números, podemos verificar a viabilidade desse projeto, observando que o TIR mostra uma rentabilidade maior do que os números da poupança.

Tabela 9: Estudo Econômico

ANO	Geração Com Depreciação e Perdas	Tarifa Elétrica	Gasto Economizado	Valor Presente (Desconto = 6%)
1	2.118,00	0,82441	1.746,10	1.647,26
2	2.103,17	0,86563	1.820,57	1.620,30
3	2.088,34	0,90891	1.898,12	1.593,70
4	2.073,52	0,95436	1.978,88	1.567,46
5	2.058,69	1,00208	2.062,97	1.541,57
6	2.043,87	1,05218	2.150,52	1.516,03
7	2.029,04	1,10479	2.241,66	1.490,83
8	2.014,21	1,16003	2.336,55	1.465,98
9	1.999,39	1,21803	2.435,31	1.441,46
10	1.984,56	1,27893	2.538,12	1.417,27
11	1.969,74	1,34288	2.645,12	1.393,41
12	1.954,91	1,41002	2.756,47	1.369,88
13	1.940,08	1,48052	2.872,34	1.346,66
14	1.925,26	1,55455	2.992,91	1.323,77
15	1.910,43	1,63228	3.118,35	1.301,18
16	1.895,61	1,71389	3.248,86	1.278,90
17	1.880,78	1,79959	3.384,62	1.256,93
18	1.865,95	1,88956	3.525,84	1.235,26
19	1.851,13	1,98404	3.672,72	1.213,88
20	1.836,30	2,08324	3.825,47	1.192,80
21	1.821,48	2,18741	3.984,31	1.172,01
22	1.806,65	2,29678	4.149,47	1.151,50
23	1.791,82	2,41162	4.321,19	1.131,28
24	1.777,00	2,53220	4.499,71	1.111,33
25	1.762,17	2,65881	4.685,28	1.091,66
				33.872,31

5 CONCLUSÃO

Como foi visto a partir dos cálculos e análises aplicadas durante o desenvolvimento desse projeto, a instalação do sistema fotovoltaico para a geração de energia se mostrou viável. A relação entre a vida útil do sistema fotovoltaico e o investimento do proprietário se mostrou favorável, frisando que o mesmo teria 10 anos para usufruir da energia elétrica gerada pelo sistema sem nenhum tipo de custo adicional, falando de maneira geral.

Levando em consideração o estudo, é possível supor que assim como o proprietário da residência utilizada mostrou interesse no projeto, outros indivíduos poderiam vir a se interessar pela instalação do micro-gerador de energia elétrica. Sendo assim, um maior incentivo por parte do Estado aos interessados por projetos como esse poderia desenvolver substancialmente o mercado dessa tecnologia de produção de energia limpa, já que o país em si já predispõe de características favoráveis para isso.

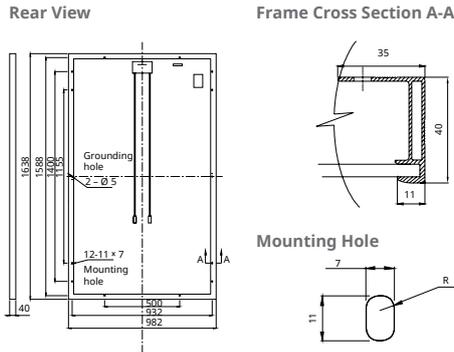
A utilização da energia fotovoltaica ainda tem um aspecto negativo, que é seu elevado custo de instalação, como citou MIRANDA (2014), entretanto, o projeto exposto demonstrou a sua viabilidade, que além do retorno do investimento é possível obter dela rentabilidade. Sendo assim, prevê-se nos próximos anos um desenvolvimento dessa tecnologia, que além de possibilitar a diversificação da matriz energética, traria também o desenvolvimento da indústria, geração de empregos e renda.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

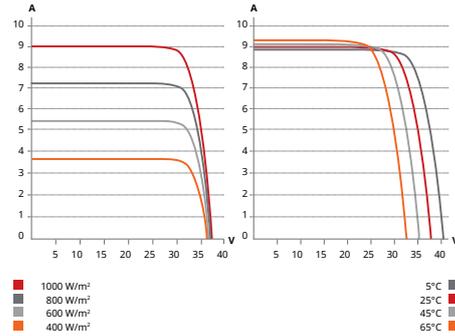
- ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL.** Brasil, Ano 2000.
- BOTTEON, Claudia.** *Indicadores de Rentabilidade.* Brasil. BOTTEON, 2009.
- CASTRO, Rui.** *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica.* Portugal. CASTRO, 2011.
- CAVALCANTE, Francisco. ZEPPELINI, Paulo.** *Payback: Calculando o Tempo Necessário para Recuperar o Investimento.* Brasil. CAVALCANTE, 2016.
- CEMIG.** *Companhia Energética de Minas Gerais.* Normas técnicas. Brasil. https://www.cemig.com.br/atendimento/Clientes/Paginas/norma_tecnica.aspx
- CRESESB/CEPEL.** *Centro de Referência para Energia Solar e Eólica.* <http://www.cresesb.cepel.br/> Brasil. CRESEB/CEPEL.
- CRUZ, Arthur.** *Usina Solar Fotovoltaica de Juiz de Fora.* Brasil. CRUZ, 2012.
- EPE.** *Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia.* Brasil. EPE. <http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano>
- FILHO, Wilson. AZEVEDO, Abílio.** *Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens.* Brasil. FILHO, 2013
- GAMA, Jaqueline.** *Painel Fotovoltaico de Baixo Custo.* Brasil. GAMA, 2014.
- MIRANDA, Arthur.** *Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede.* Brasil. MIRANDA, 2014.
- NIEDZIALKOSKI, Rosana.** *Desempenho de Painéis Solares Mono e Policristalinos em um Sistema de Bombeamento de Água.* Brasil. NIEDZIALKOSKI, 2013.
- SILVA, Everton. PÉTRIS, Gustavo. PEREIRA, Luis.** *Tutorial de Célula Solar.* Brasil. SILVA, 2008.
- SILVA, Rutelly.** *Energia Solar no Brasil: dos Incentivos aos Desafios.* Brasil. SILVA, 2015.
- TARIFAS RESIDENCIAIS VIGENTES.** <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>
- TOLMASQUIM, Mauricio.** *et. al. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.* Brasil. TOLMASQUIM, 2012.

ANEXO A DADOS TÉCNICOS DO PAINEL SOLAR

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6P-255P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

Electrical Data CS6P	255P	260P
Nominal Max. Power (Pmax)	255 W	260 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.2 V	30.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.43 A	8.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.4 V	37.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.00 A	9.12 A
Module Efficiency	15.85%	16.16%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C	
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000V (UL)	
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)	
Max. Series Fuse Rating	15 A	
Application Classification	Class A	
Power Tolerance	0 ~ + 5 W	

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA / NOCT*

Electrical Data CS6P	255P	260P
Nominal Max. Power (Pmax)	185 W	189 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.5 V	27.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.71 A	6.80 V
Open Circuit Voltage (Voc)	34.4 V	34.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.29 A	7.39 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, +96.5 % module efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this Datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

MODULE / MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1638×982 × 40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	MC4 or MC4 comparable
Stand. Packaging	24 pcs, 480 kg (quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	672 pcs (40' HQ)

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43% / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34% / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.065% / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

PARTNER SECTION



ANEXO B DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR



1º INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO NACIONAL CERTIFICADO PELO *INMETRO* Concessão 000150/2015

Dados Técnicos

Modelo	PHB1500-SS	PHB3000-SS	PHB4600-SS
Dados da Entrada CC			
Max. Potência Fotovoltáica[W]	1800	3200	5400
Max. Tensão CC [V]	450	500	580
Faixa de Operação SPMP (MPPT) [V]	125-400	125-450	125-550
Tensão CC de Partida [V]	125	125	125
Corrente CC Máxima [A]	12	18	20
Número de Strings em Paralelo	1	2	2
Conector CC	SUNCLIX, MC IV (opcional)		
Consumo em Standby [W]	5		
Dados da Saída CA			
Potência CA Nominal [W]	1500	3000	4600
Max. Potência CA [W]	1650	3000	5100
Max. Corrente CA [A]	8	15	25
Saída Nominal CA	60Hz; 220Vca		
Faixa de Operação CA	57.5-62Hz; 176-242Vca		
THD	<5%		
Fator de Potência	unitário		0.95 indutivo...0.95 capacitivo
Conexão CA	Monofásica / Bifásica		
Eficiência			
Max. Eficiência	97.0%	97.0%	97.8%
Eficiência SPMP (MPPT)	>99.5%	>99.5%	>99.5%
Segurança do Equipamento			
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado		
Proteção Anti-ilhamento	AFD (Active Frequency Drift)		
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, G83/1,	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, NRS 097-2-1,	
	AS4777.2/3, EN62109-2, EN50438, CNCA/CTS 0004-2009A	AS4777.2/3, EN62109-2, EN50438, CNCA/CTS 0004-2009A, G59/2,	
Concessão INMETRO	000150/2015		
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116		
Normas de Referência			
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2,		EN 61000-6-1, EN 61000-6-2,
	EN 61000-6-3, EN 61000-6-4		EN 61000-6-3, EN 61000-6-4
Segurança	IEC 62109-1, AS3100, CNCA/CTS0006-2010		IEC 62109-1, AS3100, CNCA/CTS0006-2010
Dados Gerais			
Dimensões (L*A*P) [mm]	355*380*130		390*417*142
Peso Líquido [kg]	12		18
Ambiente de Operação	Interno ou Externo		
Montagem	Fixação em parede		
Temperatura de Operação	-20-60°C (acima 45°C com derate)		
Umidade relativa	0-95%		
Altitude [m]	2000		
Grau de Proteção IP	IP65		
Topologia	Sem Transformador		
Ventilação	Convecção Natural		
Nível de Ruído [dB]	<25		
Display	4" LCD (Português)		
Comunicação	USB2.0 e RS485 (Wi-Fi opcional)		
Cor	Vermelho	Cinza	Azul
Garantia [anos]	5/10/15/20/25 (a combinar)		

Suporte Técnico

A PHB mantém uma estrutura de equipamentos calibrados, "setups" de testes e técnicos treinados, para proporcionar aos seus clientes um rápido serviço de reparo.

Atende a todas as tensões do PRODIST

Atenta as divergências da rede Brasileira, a PHB oferece um software que permite alterar as faixas de operação, que permite a instalação em qualquer parte do território nacional.

Para obter mais informações sobre qualquer um de nossos produtos ou serviços, visite-nos na Web em:

www.phb.com.br

Tel: 3835-8300

Email: engenharia@phb.com.br