

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
DEBORAH SILVA PINHEIRO**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS À REDE EM RELAÇÃO AO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM PROPRIEDADES RURAIS**

**FORMIGA – MG  
2017**

**DEBORAH SILVA PINHEIRO**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS À REDE EM RELAÇÃO AO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

**Orientador:** Prof. Dr. Renan Souza Moura

**FORMIGA – MG**

**2017**

Pinheiro, Deborah Silva

621.3      Análise da viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos  
P654a      conectados à rede em relação ao consumo de energia elétrica em  
propriedades rurais / Deborah Silva Pinheiro. -- Formiga : IFMG, 2017.  
66p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura  
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Consumo de energia elétrica. 2. Sistema fotovoltaico.  
3. Viabilidade econômica. I. Título.

CDD 621.3

**DEBORAH SILVA PINHEIRO**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS À REDE EM RELAÇÃO AO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica  
do Instituto Federal de Minas Gerais como  
requisito para obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Elétrica.

Avaliado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Nota: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Renan Souza Moura - Orientador

---

Prof. Dr. Carlos Renato Borges dos Santos - Membro

---

Prof. Dr. Ricardo Carrasco Carpio - Membro

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, por ter me dado ânimo, força, coragem e sabedoria para superar todas as dificuldades que surgiram durante esta caminhada; e a Nossa Senhora, por todas as graças e intercessões concedidas a mim.

Ao meu orientador, Renan Souza Moura, pela paciência, incentivo, conhecimentos compartilhados e por sempre transmitir tranquilidade durante a orientação, tornando possível a conclusão deste trabalho.

A empresa Porto Solar Brasil, em especial ao Matheus Horta Siqueira, por todo suporte, prontidão e dedicação em me auxiliar no desenvolvimento desta monografia.

A minha família, por todo apoio e amor incondicional. Em especial a minha avó/mãe, Maria José, pelas inúmeras orações; ao meu pai, Moacir, por não medir esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante; e ao meu irmão, Brenno, por todo companheirismo de sempre.

Aos meus amigos, em especial ao “Quarteto Fantástico”, que, através da amizade, solidariedade e momentos de descontração nas horas de estudo, fizeram com que esta jornada se tornasse mais fácil.

Enfim, a todos que colaboraram para a realização e a conclusão deste trabalho, seja de forma direta ou indireta, o meu muito obrigado.

*“Buscai em primeiro lugar o Reino de Deus e a sua justiça, e todas as coisas vos serão dadas por acréscimo.”*

*(Mt 6, 33)*

## RESUMO

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede são uma forte alternativa para a descentralização da matriz elétrica brasileira, tendo em vista o alto índice de radiação solar durante todo o ano no Brasil e alguns incentivos do governo em prol da utilização desses sistemas. Assim sendo, este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em propriedades rurais, analisando o comportamento da viabilidade em relação ao consumo de energia elétrica. Para isso, foi feito um estudo de caso em cinco propriedades rurais com a mesma referência de radiação solar e com diferentes consumos de energia, realizando o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, bem como o levantamento do custo estimado e a viabilidade econômica de cada sistema. A partir dos resultados da análise econômica, concluiu-se que quanto maior o consumo de energia elétrica de uma instalação rural, mais viável é a utilização de sistemas fotovoltaicos; apresentando um menor tempo de retorno do capital investido, um maior ganho ao final da vida útil do sistema e uma melhor taxa interna de retorno do investimento.

**Palavras-Chave:** consumo de energia elétrica, sistema fotovoltaico, viabilidade econômica.

## ABSTRACT

On-grid photovoltaic systems are an alternative strong for Brazilian electric grid decentralization, given the high solar radiation rate during all year in Brazil and the government stimulus in using this kind of system. Thus, this completion of course work presents a study about economic viability of on-grid photovoltaic systems in rural properties, analyzing the behavior of viability versus the energy consumption. In order to do that, it was made a case study in five rural properties having the same reference solar radiation rate but different energy consumption profiles, and then the photovoltaic systems scaling coupled with the estimated costing and the economic viability of each system were made. From the economic analysis results, it was concluded that the higher the energy consumption of a rural property, more feasible is the use of photovoltaic systems; presenting a lower invested capital return time, a higher gain at the end of the system life cycle and a better internal rate of return of investment.

**Keywords:** energy consumption, photovoltaic system, economic viability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz elétrica brasileira em 2016.....	11
Figura 2: Bandeiras tarifárias no Brasil. ....	12
Figura 3: Irradiação anual média no Brasil e na Europa. ....	19
Figura 4: Número de sistemas fotovoltaicos em geração distribuída no Brasil. ....	20
Figura 5: Corte transversal de uma célula fotovoltaica de silício.....	22
Figura 6: Sistema fotovoltaico off-grid. ....	24
Figura 7: Sistema fotovoltaico híbrido. ....	25
Figura 8: Sistema fotovoltaico on-grid. ....	26
Figura 9: Conexão de células fotovoltaicas em paralelo. ....	27
Figura 10: Conexão de células fotovoltaicas em série. ....	27
Figura 11: Curvas características de módulos fotovoltaicos. ....	28
Figura 12: Kit gerador fotovoltaico PHB – 0,975 kWp. ....	42
Figura 13: Kit gerador fotovoltaico PHB – 1,30 kWp. ....	44
Figura 14: Kit gerador fotovoltaico PHB – 2,60 kWp. ....	46
Figura 15: Kit gerador fotovoltaico PHB – 3,25 kWp. ....	48
Figura 16: Kit gerador fotovoltaico PHB – 15,60 kWp. ....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados das propriedades rurais. ....	36
Tabela 2: Dados da irradiação solar média diária de Oliveira/MG. ....	37
Tabela 3: Comparação entre alguns módulos fotovoltaicos da JinkoSolar. ....	38
Tabela 4: Consumo de energia elétrica da primeira propriedade rural.....	40
Tabela 5: Custo do sistema fotovoltaico da primeira propriedade rural.....	42
Tabela 6: Consumo de energia elétrica da segunda propriedade rural.....	43
Tabela 7: Custo do sistema fotovoltaico da segunda propriedade rural.....	44
Tabela 8: Consumo de energia elétrica da terceira propriedade rural.....	45
Tabela 9: Custo do sistema fotovoltaico da terceira propriedade rural.....	46
Tabela 10: Consumo de energia elétrica da quarta propriedade rural. ....	47
Tabela 11: Custo do sistema fotovoltaico da quarta propriedade rural. ....	48
Tabela 12: Consumo de energia elétrica da quinta propriedade rural.....	49
Tabela 13: Custo do sistema fotovoltaico da quinta propriedade rural.....	51
Tabela 14: Fluxo de caixa do estudo de caso 1. ....	54
Tabela 15: Fluxo de caixa do estudo de caso 2. ....	55
Tabela 16: Fluxo de caixa do estudo de caso 3. ....	55
Tabela 17: Fluxo de caixa do estudo de caso 4. ....	56
Tabela 18: Fluxo de caixa do estudo de caso 5. ....	57
Tabela 19: Viabilidade econômica de cada sistema fotovoltaico.....	58

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Problema .....	14
1.2 Justificativa .....	15
1.3 Hipótese.....	15
1.4 Objetivos.....	16
1.4.1 Objetivo Geral .....	16
1.4.2 Objetivos Específicos .....	16
1.5 Estrutura do Trabalho .....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Energia Solar Fotovoltaica.....	18
2.2 Efeito Fotovoltaico .....	21
2.2.1 Células Fotovoltaicas .....	21
2.3 Sistemas Fotovoltaicos .....	23
2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados .....	23
2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos .....	24
2.3.3 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.....	25
2.4 Componentes Básicos de um SFCR .....	26
2.4.1 Módulos Fotovoltaicos.....	26
2.4.2 Inversores <i>Grid-Tie</i> .....	30
2.4.3 Medidores Bidirecionais .....	30
2.5 Resoluções Normativas .....	31
2.5.1 Resolução Normativa nº 687.....	31
3 METODOLOGIA.....	34
3.1 Estudo de Caso 1 .....	40
3.2 Estudo de Caso 2 .....	43
3.3 Estudo de Caso 3 .....	45
3.4 Estudo de Caso 4 .....	47
3.5 Estudo de Caso 5 .....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5 CONCLUSÃO.....	60
5.1 Trabalhos Futuros.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica exerce um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de um país, o que a torna indispensável nos dias de hoje. Entretanto, face aos atuais problemas ambientais em que o mundo atravessa, se torna cada vez mais necessário adotar formas de geração de eletricidade com baixa emissão de gases de efeito estufa e pequenos impactos ao meio ambiente. Nesse sentido, destacam-se as energias renováveis (SANTANA, 2014) (TOYAMA *et al.*, 2014) (MIRANDA, 2014).

As fontes de energias renováveis, além de causarem menos impactos ambientais quando comparadas às não renováveis, possuem algumas outras vantagens, como a alta disponibilidade dos recursos, a facilidade de sua utilização e o fato de que estarão disponíveis na natureza por um longo período de tempo (MIRANDA, 2014) (PORTAL BRASIL, 2014).

No Brasil, país que possui um alto potencial de recursos renováveis disponíveis, a matriz elétrica é predominantemente renovável, com destaque para a energia hidráulica, que corresponde a 64% da produção de eletricidade do país. A Figura 1 apresenta o balanço energético do Brasil em 2016, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (MIRANDA, 2014) (FERRAZ, 2016).

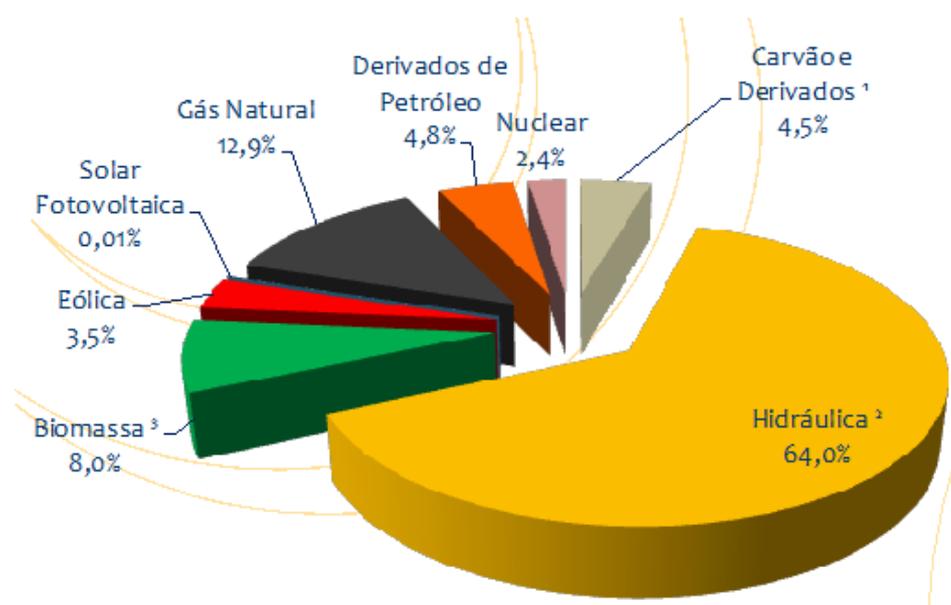


Figura 1: Matriz elétrica brasileira em 2016.

Fonte: (FERRAZ, 2016).

Entretanto, apesar do Brasil apresentar uma matriz elétrica predominantemente sustentável, o setor elétrico brasileiro possui um alto grau de dependência em relação à geração de energia proveniente das hidrelétricas, o que o torna vulnerável diante de uma escassez de recursos hídricos (MELO, 2016).

Nos últimos anos, a quantidade de chuvas no Brasil diminuiu rigorosamente e o país enfrentou uma das maiores crises hídricas da história. Em janeiro de 2015, como consequência dessa crise, ocorreu um desligamento de emergência no sistema elétrico que abastecia parte do país, resultando em um apagão que atingiu 10 estados brasileiros e o Distrito Federal (MELO, 2016) (O ECONOMISTA, 2015).

Diante dessa crise hídrica, foi necessário aumentar a produção de energia elétrica proveniente das termoeletricas, que é uma energia mais poluente e com um custo de produção maior, resultando em um aumento na conta de energia elétrica da população (O ECONOMISTA, 2015).

Assim sendo, em 2015, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou o sistema de bandeiras, com o intuito de indicar aos consumidores o custo da produção de energia no país e, assim, permitir que os mesmos adotem medidas de economia, para evitar que suas contas de energia fiquem mais caras nos momentos em que esse custo está em alta. Esse sistema pode ser visualizado na Figura 2 (G1, 2017).



Figura 2: Bandeiras tarifárias no Brasil.

Fonte: (G1, 2017).

Segundo o diretor-geral da ANEEL, devido à falta de chuvas, a quantidade de água que chegou aos reservatórios das hidrelétricas, em setembro de 2017, foi a mais baixa para o mês em 86 anos. Dessa forma, o governo foi obrigado a reduzir a produção de energia pelas hidrelétricas e aumentar o uso das termelétricas. Em razão disso, em outubro de 2017, entrou em vigor a bandeira tarifária vermelha patamar 2, sendo a primeira vez, desde que o sistema de bandeiras foi criado, que a taxa de R\$ 3,50 foi cobrada (G1, 2017).

Em face disso, e tendo em vista que estimativas indicam que a demanda de energia elétrica vai triplicar até o ano de 2050, se torna necessário uma diversificação do setor elétrico brasileiro com outras fontes de energias renováveis, de forma que o Brasil aumente sua confiabilidade no fornecimento de energia e, ao mesmo tempo, mantenha uma matriz elétrica predominantemente renovável (O GLOBO, 2014) (MIRANDA, 2014).

Uma maneira de diversificar a matriz elétrica do Brasil de forma sustentável é a adoção da geração distribuída (GD), onde o consumidor pode gerar a própria energia elétrica a partir de geradores de pequeno porte que utilizem fontes renováveis, e, ainda, fornecer o excedente para a rede (MIRANDA, 2014) (ANEEL, 2016).

A geração distribuída, além de permitir uma economia e rentabilidade aos consumidores, reduz gastos do governo com transmissão e distribuição de energia elétrica, reduz o carregamento das redes, possibilita o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas, causa baixo impacto ambiental e contribui para a diversificação da matriz elétrica (MIRANDA, 2014) (ANEEL, 2016).

Assim, diante de todos os benefícios oriundos da adoção da geração distribuída, o Ministério de Minas e Energia lançou, em 2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), a fim de ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, em especial a solar fotovoltaica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Neste contexto, e sabendo que o Brasil possui um alto índice de radiação solar durante todo o ano, a energia solar fotovoltaica se apresenta

como uma forte alternativa para a ascensão da geração distribuída no Brasil. Segundo a ANEEL, de janeiro a maio de 2016 foram registradas 3.565 novas conexões de geração distribuída no Brasil, sendo 3.494 correspondentes à energia solar fotovoltaica (MIRANDA, 2014) (PORTAL BRASIL, 2016).

Entretanto, o alto custo de instalação de um sistema fotovoltaico e a preocupação se haverá retorno financeiro em tempo viável é ainda uma das maiores barreiras no momento de se optar por essa energia. Essa preocupação é ainda mais evidente em instalações pertencentes à classe rural, uma vez que o preço do kWh cobrado pela concessionária de energia já é relativamente baixo se comparado às instalações pertencentes à classe residencial (JRUBENS, 2016) (CARTA CAPITAL, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho visa analisar a viabilidade econômica na implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em propriedades rurais, analisando a influência que o consumo de energia elétrica das propriedades exerce sobre a viabilidade econômica desses sistemas.

Com isso, pretende-se avaliar se a utilização de sistemas fotovoltaicos torna-se mais viável, ou menos viável economicamente, à medida que o consumo de energia elétrica das propriedades rurais aumenta.

## **1.1 Problema**

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, o déficit de chuvas no Brasil vem aumentando cada vez mais nas últimas décadas. Além disso, conforme pesquisas recentes, o aumento das emissões de gases de efeito estufa, juntamente com a elevação da temperatura, tende a agravar ainda mais esse déficit (FAPESP, 2015).

Outro problema é que, segundo estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (PEN), o consumo de energia elétrica triplicará até 2050, exigindo que sejam feitos novos investimentos no setor elétrico brasileiro, de forma a aumentar a oferta de energia no país e, conseqüentemente, atender a esse crescimento da demanda (O GLOBO, 2014).

Além disso, de acordo com a PEN, com o aumento da demanda de energia elétrica nos setores da indústria e de transportes, ocorrerá um crescimento significativo nas emissões de gases de efeito estufa, o que poderá

ocasionar uma diminuição ainda maior na quantidade de chuvas (O GLOBO, 2014) (COOPER *et al.*, 2013).

Dessa forma, tendo em vista que a matriz elétrica brasileira é composta, predominantemente, por geração de eletricidade proveniente de hidrelétricas, o sistema elétrico brasileiro estará sujeito a interrupções no fornecimento de energia se não forem tomadas atitudes para diversificar sua matriz elétrica.

## **1.2 Justificativa**

A utilização da geração distribuída (GD) no Brasil apresenta-se como uma ótima alternativa na diversificação da matriz elétrica brasileira. Isso porque, além de contribuir para a redução da demanda energética, gera economia para os consumidores, que se tornam geradores de sua própria energia, podendo injetar o excedente gerado na rede e serem recompensados por isso (MIRANDA, 2014) (ANEEL, 2016).

Além disso, a energia elétrica gerada em uma GD pode ser proveniente de fontes renováveis de energia, o que gera menos impactos ambientais, menos emissão de gases de efeito estufa e contribui para a sustentabilidade energética (MIRANDA, 2014) (ANEEL, 2016).

O Brasil possui um alto potencial para geração de energia elétrica a partir de fonte solar, apresentando níveis de radiação solar superiores aos de países como a Alemanha, França e Espanha, cujo aproveitamento da energia solar já é largamente difundido (NASCIMENTO, 2017).

Nesse sentido, visando determinar as principais vantagens e dificuldades no uso da energia solar fotovoltaica e, assim, contribuir para que essa energia seja cada vez mais disseminada no país, torna-se importante a realização de estudos sobre a viabilidade econômica no uso de sistemas fotovoltaicos como geração distribuída.

## **1.3 Hipótese**

Considerando a importância da energia elétrica nos dias atuais e tendo em vista a preocupação cada vez maior com o meio ambiente, o presente trabalho realizou um estudo sobre a relação entre a viabilidade econômica de

sistemas fotovoltaicos em propriedades rurais com o consumo de energia elétrica das mesmas.

Dessa forma, foram feitos os seguintes questionamentos: “o consumo de energia elétrica de uma propriedade rural exerce alguma influência sobre o resultado da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico?”, “quanto maior o consumo de energia elétrica de uma propriedade rural, menor ou maior é a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico?”.

Para responder a esses questionamentos, foi feito um estudo sobre a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em propriedades rurais com diferentes consumos médios de energia por mês e, então, realizada uma comparação entre a viabilidade econômica e o consumo de energia elétrica.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desta monografia é analisar a relação existente entre a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em propriedades rurais e o consumo de energia elétrica dessas propriedades.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Para consolidar o objetivo geral, são necessários alguns objetivos específicos, tais como:

- Realizar uma revisão bibliográfica para conhecer o estado da arte da energia solar fotovoltaica;
- Estudar sobre as características de um sistema fotovoltaico conectado à rede;
- Escolher criteriosamente as propriedades rurais para os estudos de caso;
- Coletar as contas de consumo de energia elétrica das propriedades rurais;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico de cada propriedade;

- Realizar o levantamento do custo estimado de cada sistema fotovoltaico;
- Comparar e analisar os resultados dos indicadores econômicos dos sistemas fotovoltaicos.

### **1.5 Estrutura do Trabalho**

Esta monografia é constituída por cinco capítulos. O Capítulo 2 inclui itens imprescindíveis para a compreensão deste trabalho, como informações gerais sobre a energia solar fotovoltaica, conceitos e características dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, e a regulamentação que rege esses sistemas. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada, contendo detalhes do desenvolvimento do trabalho. Os resultados obtidos são descritos e discutidos no Capítulo 4. E, por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta um levantamento bibliográfico sobre os conceitos da energia solar fotovoltaica, sendo necessário para uma melhor compreensão deste trabalho. Dessa forma, são abordados os aspectos gerais da energia solar fotovoltaica, as classificações dos sistemas fotovoltaicos, bem como as informações sobre os componentes básicos desses sistemas conectados à rede. Por fim, são apresentadas as normas que regulamentam estes sistemas no Brasil.

### **2.1 Energia Solar Fotovoltaica**

Energia solar é a energia proveniente da luz e do calor do Sol, a qual é propagada através do espaço interplanetário sob forma de onda eletromagnética, denominada radiação solar, e incide sobre a atmosfera terrestre (VANNI, 2008) (MARTINS, 2016) (PORTAL SOLAR, 2016).

Estima-se que a radiação solar anual sobre a atmosfera seja de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia, o que corresponde a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste mesmo período. Entretanto, somente parte dessa radiação atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera (CRESESB, 2008).

A energia solar pode ser aproveitada, principalmente, de duas formas: energia solar térmica e energia solar fotovoltaica. A primeira caracteriza-se pelo aproveitamento da radiação solar sob forma de calor, enquanto a segunda corresponde a conversão direta da radiação solar em energia elétrica. Neste trabalho foi estudada apenas a energia solar fotovoltaica, visto que constitui uma forma complementar de geração de energia elétrica, podendo ser utilizada tanto em locais isolados quanto em lugares atendidos pela rede convencional de energia elétrica (VANNI, 2008) (PORTAL SOLAR, 2016).

O Brasil, dada a sua localização geográfica, apresenta uma média anual de irradiação solar bastante uniforme e superior a de países europeus, como mostra a Figura 3 a seguir. Entretanto, mesmo possuindo uma localização privilegiada, a produção de energia elétrica a partir da radiação solar é relativamente baixa quando comparada a esses países (NUNES, 2011) (INPE, 2017).

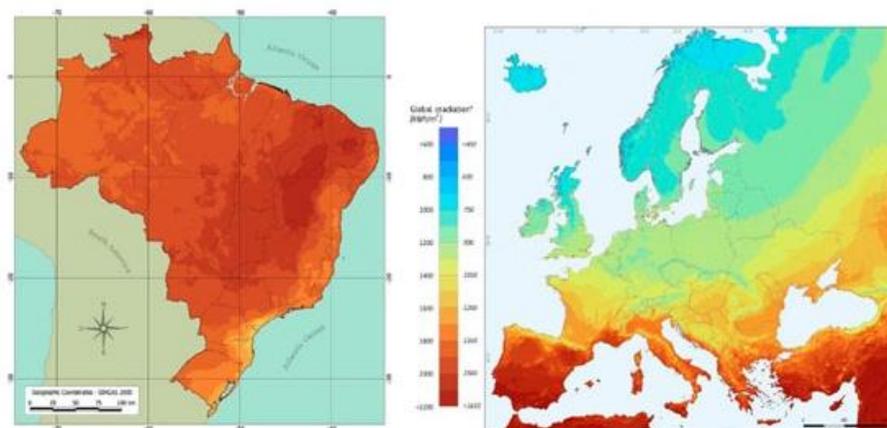


Figura 3: Irradiação anual média no Brasil e na Europa.

Fonte: (INPE, 2017).

Em 2015, a Alemanha apresentou uma capacidade total instalada de energia solar fotovoltaica de 39,7 GWp, enquanto o Brasil, no final de 2016, apresentou apenas 81 MWp, sendo 24 MWp de geração centralizada e 57 MWp de geração distribuída (NASCIMENTO, 2017) .

Segundo NASCIMENTO (2017), políticas de incentivo à energia solar fotovoltaica são essenciais para o desenvolvimento dessa tecnologia, principalmente por meio de modelos regulatórios de comercialização da energia elétrica gerada.

No Brasil, no ano de 2012, foi criada a resolução normativa nº 482, com o intuito de estabelecer condições para o acesso da geração distribuída à rede convencional de energia elétrica e à compensação de energia (ANEEL, 2012).

Além disso, diante da crise hídrica que tem assolado o Brasil nos últimos anos, o governo vem adotando planos de incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica, como a criação do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) e a redução do imposto sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica (ANEEL, 2012) (SIQUEIRA, 2015) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

A Figura 4, apresentada a seguir, mostra a evolução dos sistemas fotovoltaicos no Brasil como geração distribuída até maio de 2016, e a previsão até o final desse ano. Essa evolução tem como causa, principalmente, a criação da resolução normativa nº 482, em 2012, e as medidas de incentivo adotadas pelo governo (SIQUEIRA, 2015).

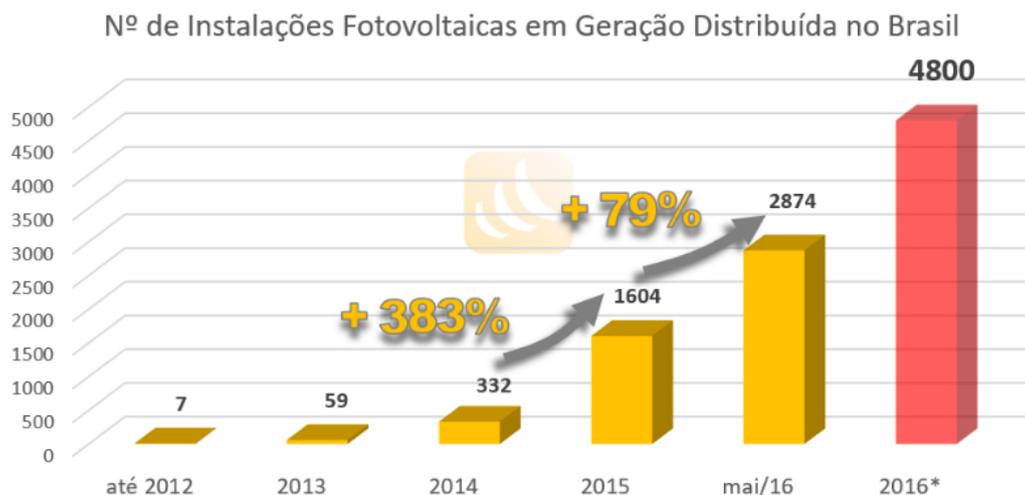


Figura 4: Número de sistemas fotovoltaicos em geração distribuída no Brasil.

Fonte: (GBC BRASIL, 2016).

Essa evolução também pode ser explicada pelas inúmeras vantagens que a energia solar fotovoltaica apresenta, dentre elas destacam-se (PORTAL SOLAR, 2016):

- Recurso totalmente renovável;
- Seu uso não polui o meio ambiente;
- Não emite nenhum som durante o processo de conversão de energia;
- Fácil instalação;
- Necessita de poucas manutenções durante a vida útil do sistema;
- Pode ser usada em áreas isoladas da rede convencional de energia elétrica.

Entretanto, o alto custo de aquisição dos sistemas fotovoltaicos e a falta de maiores incentivos no Brasil ainda são umas das maiores desvantagens dessa energia. Porém, considerando a vida útil dos sistemas como 25 anos, o custo torna-se mais competitivo, além de que o governo já propõe planos para estimular ainda mais o uso desses sistemas (PORTAL SOLAR, 2016) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Na próxima seção são apresentados os conceitos teóricos do processo de conversão de energia de um sistema fotovoltaico.

## 2.2 Efeito Fotovoltaico

Efeito fotovoltaico é o fenômeno que ocorre quando a luz solar incide sobre um material semicondutor, com propriedades específicas, e produz eletricidade. Isso ocorre porque a radiação solar emite fótons que, ao entrar em contato com o semicondutor, faz com que os elétrons da camada mais externa saltem para a banda de condução, gerando corrente elétrica no interior do material. Entretanto, para se aproveitar essa corrente, é necessário fazer um processo denominado dopagem (CRESPI, 2015) (CECHINEL *et al.*, 2014).

O efeito fotovoltaico foi observado, primeiramente, pelo físico francês Becquerel, em 1839, quando verificou que eletrodos de platina ou de prata, se expostos à luz, produziam uma pequena diferença de potencial (CÂMARA, 2011).

Em sistemas fotovoltaicos, os materiais semicondutores, necessários para o processo de conversão de energia, são encontrados nas células fotovoltaicas (MARTINS, 2016).

Na próxima subseção é apresentada a base de funcionamento dessas células.

### 2.2.1 Células Fotovoltaicas

Células fotovoltaicas são constituídas por materiais semicondutores e desenvolvidas para produzir eletricidade através do efeito fotovoltaico. Esses materiais apresentam bandas de energia totalmente preenchidas por elétrons, denominadas bandas de valência, e bandas totalmente “vazias”, denominadas bandas de condução. A energia entre essas duas bandas é chamada de *gap* (MARTINS, 2016) (CRESESB, 2008).

O primeiro material semicondutor utilizado em células fotovoltaicas foi o silício (Si), sendo o material mais utilizado até hoje, devido as suas características atômicas, sua abundância na superfície da Terra e por ser menos tóxico que os outros elementos. O silício pode ser encontrado na forma cristalina, policristalina ou amorfa (CRESPI, 2015) (FERREIRA, 2016) (NUNES, 2011).

Os átomos de silício se caracterizam por possuir quatro elétrons que, quando se ligam aos elétrons vizinhos, formam uma rede cristalina. Dessa forma, se for adicionado ao silício um dopante doador de elétrons (tipo n), como é o caso do fósforo, um elétron ficará em excesso, uma vez que esse dopante tem como característica possuir cinco elétrons de ligação. Assim, com pouca energia térmica, o elétron já consegue saltar para a banda de condução (CRESESB, 2008).

Em contrapartida, se for adicionado ao silício um dopante aceitador de elétrons (tipo p), que tem como característica possuir apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, faltará um elétron para realizar as ligações por completo com os átomos de silício. Essa falta de elétron é denominada lacuna e, para preenchê-la, um elétron vizinho tende a saltar para a posição da mesma, fazendo com que a posição anterior do elétron se torne também uma lacuna (CRESESB, 2008).

A junção pn é formada quando se adicionam, de um lado do silício puro, átomos de dopante tipo n e, do outro lado, átomos de dopante tipo p, como é mostrado na Figura 5. Assim, os elétrons livres do lado n saltam para o lado p, onde as lacunas os capturam, fazendo com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o eletricamente negativo, e uma redução de elétrons no lado n, tornando-o positivo. Essas combinações de elétrons e lacunas provocam o surgimento de um campo elétrico permanente, o que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p (CRESESB, 2008).

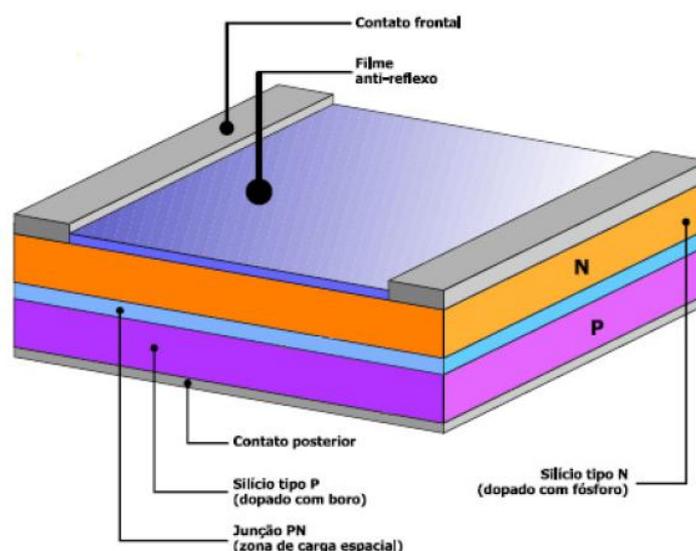


Figura 5: Corte transversal de uma célula fotovoltaica de silício.

Fonte: Adaptado de CÂMARA (2011).

O funcionamento básico de uma célula fotovoltaica se dá quando uma junção pn é exposta a fótons com energia superior ao *gap*, ocasionando a formação de pares elétron-lacuna e, por consequência, o surgimento de uma corrente elétrica contínua através da junção. Esse fato resultará no efeito fotovoltaico, que, como já foi descrito, nada mais é que o surgimento de uma diferença de potencial. Assim, se os dois lados do silício forem conectados por um fio, haverá circulação dessa corrente, cujo valor é diretamente proporcional a intensidade de luz incidente sobre a célula fotovoltaica (CRESESB, 2008) (NUNES, 2011).

Na próxima seção são apresentadas, brevemente, as classificações dos sistemas fotovoltaicos.

## **2.3 Sistemas Fotovoltaicos**

O conjunto de equipamentos utilizados na conversão da energia solar em energia elétrica é denominado sistema fotovoltaico. Esses sistemas podem ser classificados de diversas maneiras, porém as principais classificações são: isolados, híbridos e conectados à rede. A definição da melhor configuração a ser utilizada depende da aplicação e da disponibilidade dos recursos energéticos (MARTINS, 2016) (FIGUEIRA, 2014).

Na próxima subseção são apresentadas as características principais dos sistemas fotovoltaicos isolados.

### **2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados**

Sistemas isolados, também conhecidos como sistemas autônomos ou sistemas *off-grid*, são independentes da rede convencional de energia elétrica, necessitando de algum dispositivo para o armazenamento da energia gerada (CUNHA, 2006).

O armazenamento pode ser feito por meio de baterias, as quais são carregadas pelos módulos fotovoltaicos durante o período de insolação. Além disso, essas baterias devem ser conectadas a um controlador de carga e descarga para evitar possíveis danos (CRESESB, 2008).

Nestes sistemas, para se alimentar as cargas de baixa tensão e corrente contínua (CC), basta conectar os equipamentos direto ao regulador de carga e descarga. Já, para a alimentação das cargas em corrente alternada (CA), é necessário a instalação de um inversor (CRESESB, 2008).

A Figura 6 apresenta as características de um sistema fotovoltaico isolado.

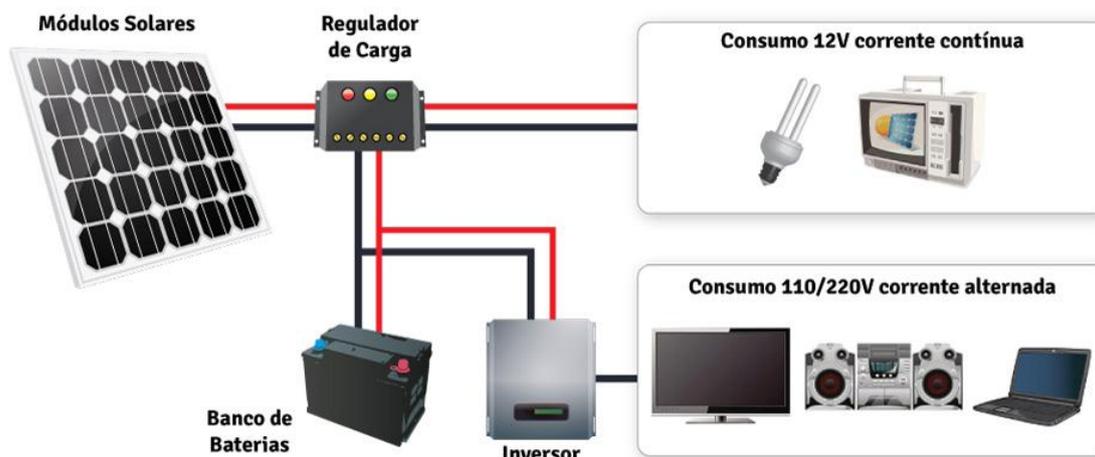


Figura 6: Sistema fotovoltaico *off-grid*.

Fonte: (REAL SOLAR, 2016).

Na próxima subseção são apresentadas as características principais dos sistemas fotovoltaicos híbridos.

### 2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Sistemas híbridos podem ser tanto isolados quanto conectados à rede, o que os diferencia é o fato de serem formados por mais de uma fonte de energia, dentre elas destacam-se a energia solar, eólica, diesel, entre outras (CRESESB, 2008) (BOSO *et al.*, 2015).

O uso de várias fontes de geração de energia elétrica torna estes sistemas mais complexos, sendo necessário o controle de potência de todas as fontes. Dessa forma, são mais utilizados em sistemas de médio e grande porte (CRESESB, 2008).

A Figura 7, mostrada a seguir, apresenta as características de um sistema fotovoltaico híbrido.



Figura 7: Sistema fotovoltaico híbrido.

Fonte: (CRESESB, 2008).

Na próxima subseção são apresentadas as características principais dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

### 2.3.3 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Sistemas conectados à rede, também conhecidos como sistemas *on-grid*, são interligados à rede convencional de energia elétrica, podendo ser de pequeno, médio ou grande porte, diferenciando-se somente pela potência instalada (JÚNIOR *et al.*, 2014).

Estes sistemas permitem que a energia produzida excedente, ou seja, quando os módulos fotovoltaicos geram energia superior à demanda do consumidor, seja injetada na rede convencional de energia, gerando um crédito energético para os consumidores. Por outro lado, quando a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos é insuficiente para atender toda a demanda, a rede convencional supre a diferença de energia que falta (BOSO *et al.*, 2015).

Dessa forma, sistemas fotovoltaicos conectados à rede são uma forma de complementar a energia proveniente das concessionárias, sendo imprescindível o uso de inversores nesses sistemas, os quais devem atender a critérios rígidos de qualidade e segurança. Nesse sentido, o uso de um medidor bidirecional, para realizar um balanço entre a energia gerada e a consumida, também se torna essencial. Já o uso de dispositivos armazenadores de energia

não é mais necessário, visto que toda a energia produzida pode ser injetada na rede (JÚNIOR *et al.*, 2014).

A Figura 8 apresenta as características de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

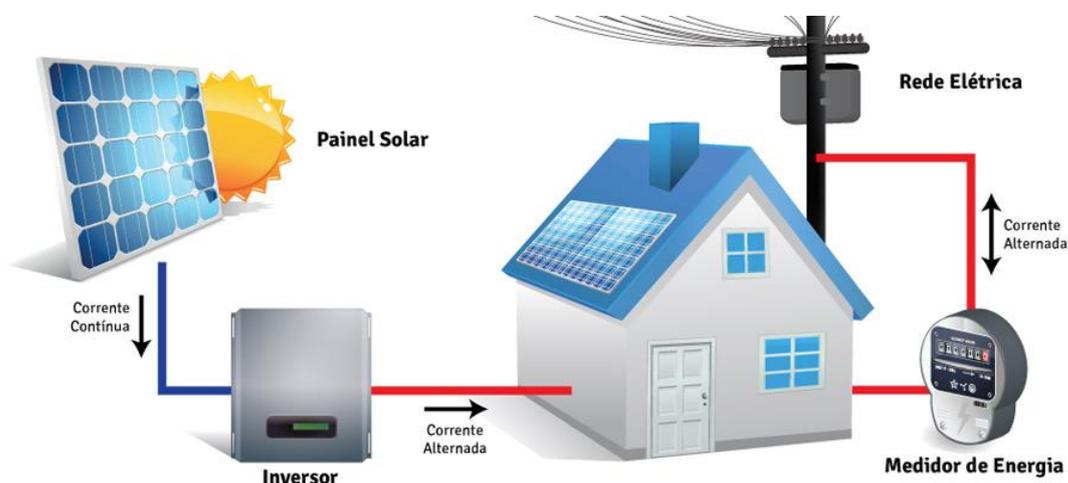


Figura 8: Sistema fotovoltaico *on-grid*.

Fonte: (REAL SOLAR, 2016).

Na próxima seção são apresentados os principais componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR).

## 2.4 Componentes Básicos de um SFCR

### 2.4.1 Módulos Fotovoltaicos

Módulos fotovoltaicos, também conhecidos como painéis fotovoltaicos, geram energia elétrica em corrente contínua e são formados por conexões, em série ou em paralelo, de células fotovoltaicas. Isso porque uma só célula gera valores de tensão e corrente de saída muito baixos, no máximo 0,7 V e 3 A, respectivamente, sendo necessária a realização de conexões para se atingir os valores de tensão ou corrente desejáveis (NUNES, 2011) (CRESESB, 2008) (PORTAL SOLAR, 2016).

Ao se realizar a conexão das células fotovoltaicas em paralelo, como mostra a Figura 9 a seguir, a corrente resultante do módulo será a soma das correntes de cada célula, já a tensão resultante permanecerá com o mesmo

valor da tensão de uma só célula. Dessa forma, devido aos valores baixos de tensão, este tipo de conexão não é muito utilizado, a não ser para fins mais específicos (CRESESB, 2008).

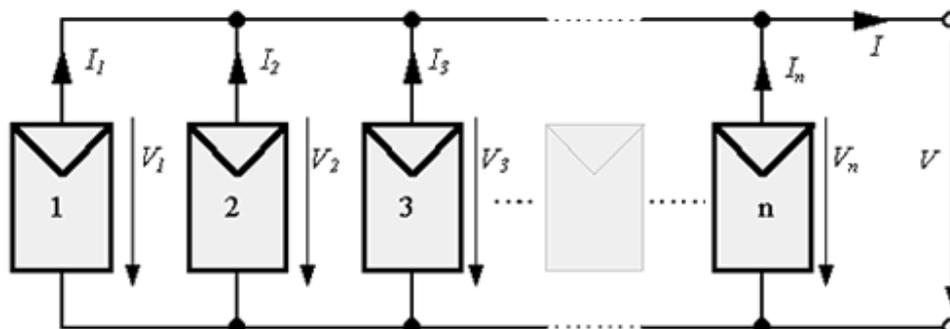


Figura 9: Conexão de células fotovoltaicas em paralelo.

Fonte: (CRESESB, 2008).

Ao se realizar a conexão das células fotovoltaicas em série, como mostra a Figura 10, a tensão resultante do módulo será a soma das tensões de cada célula, já a corrente resultante permanecerá com o mesmo valor da corrente de uma só célula. Normalmente, combinam-se as células fotovoltaicas de forma que o módulo gere uma tensão final de 12 V, cujo valor é compatível com a tensão de baterias, possibilitando, quando necessário, o carregamento das mesmas (CRESESB, 2008).

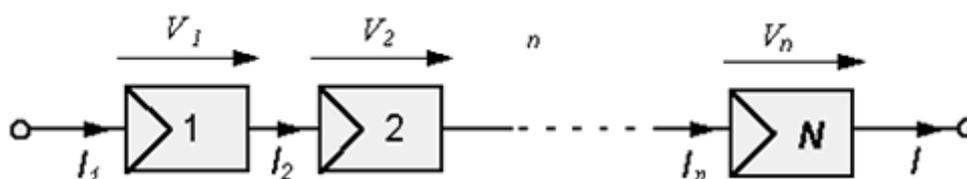


Figura 10: Conexão de células fotovoltaicas em série.

Fonte: (CRESESB, 2008).

Além das células fotovoltaicas, os módulos contêm também diodos *bypass* e de bloqueio. Os primeiros são responsáveis por oferecer um caminho alternativo para a corrente elétrica, caso alguma célula apresente um pior desempenho, além de limitar a dissipação de calor da célula defeituosa. Geralmente, não se utiliza um diodo *bypass* para cada célula, uma vez que tornaria o preço final do módulo fotovoltaico ainda mais caro (CRESESB, 2008).

Os diodos de bloqueio são responsáveis por impedir que correntes reversas passem pelo módulo, as quais podem surgir ao conectar o módulo diretamente em uma bateria. Essas correntes podem ocasionar a perda total do fluxo de energia do módulo fotovoltaico, o que torna indispensável a utilização desses diodos (CRESESB, 2008).

Normalmente, a potência dos módulos fotovoltaicos é avaliada pela potência de pico dos mesmos; enquanto a funcionalidade dos módulos é caracterizada por seus parâmetros elétricos, dentre os quais se destacam (CRESESB, 2008):

- Potência Máxima ( $P_{MAX}$ );
- Tensão de Potência Máxima ( $V_{MP}$ );
- Corrente de Potência Máxima ( $I_{MP}$ );
- Tensão de Circuito Aberto ( $V_{OC}$ );
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{SC}$ ).

Esses parâmetros são verificados por meio das curvas de Corrente *versus* Tensão ( $I \times V$ ) e de Potência *versus* Tensão ( $P \times V$ ), disponibilizadas nos manuais dos módulos fotovoltaicos. A Figura 11 apresenta um exemplo dessas curvas (MARTINS, 2016).

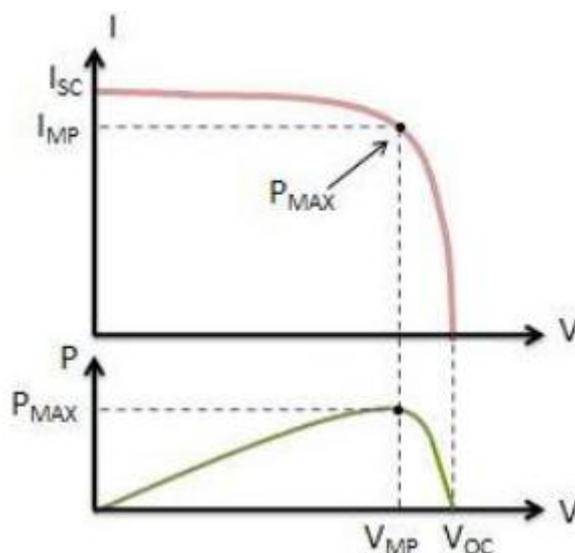


Figura 11: Curvas características de módulos fotovoltaicos.

Fonte: (MARTINS, 2016).

Os parâmetros elétricos são influenciados por alguns fatores, como a intensidade de luz e a temperatura sobre as células fotovoltaicas. A incidência luminosa é diretamente proporcional à geração de corrente elétrica pelo módulo, já o fator temperatura é inversamente proporcional, afetando a eficiência do módulo (CRESESB, 2008) (PORTAL SOLAR, 2016).

Um sistema fotovoltaico pode ser formado por apenas um módulo fotovoltaico ou por vários, os quais também podem ser conectados em série, paralelo ou das duas formas, dependendo da necessidade (FIGUEIRA, 2014) (MIRANDA, 2014).

Os módulos que serão utilizados nos sistemas fotovoltaicos devem ser escolhidos conforme alguns aspectos, onde os principais são: garantia, eficiência, tipo, fabricante, tolerância de potência, diodo *bypass*, coeficiente de temperatura e custo dos módulos fotovoltaicos (PORTAL SOLAR, 2016).

Para se determinar o local, a orientação e a inclinação dos módulos para a instalação do sistema fotovoltaico, devem ser consideradas as condições que permitem um melhor aproveitamento da radiação solar, gerando, assim, mais energia elétrica durante o ano (SUN ENERGY, 2016).

No Brasil, os módulos fotovoltaicos apresentam maior geração de energia quando orientados para o norte geográfico, visto que o Sol nasce no leste, sobe se inclinando ao norte e se põe no oeste. Dessa forma, deve-se escolher um local de instalação que não tenha sombras e que permita que os módulos fiquem orientados para essa direção. Entretanto, caso não haja locais propícios para tal direção, pode-se optar por instalar os módulos voltados para o nordeste ou noroeste, apresentando perdas de 3% a 8%, ou com face para o leste ou oeste, apresentando perdas que variam entre 12% e 20%. Já a orientação para o sul geográfico apresenta perdas muito significativas, não sendo recomendada a instalação dos módulos nessa direção, salvo para propriedades localizadas no norte do Brasil (PORTAL SOLAR, 2016).

O ângulo de inclinação dos módulos deve ser igual à latitude do local em que se deseja instalá-los. Entretanto, caso não haja possibilidade de instalação com esse ângulo, deve-se sempre optar por um ângulo menor que o da latitude, nunca maior, devido à localização do Brasil em relação ao Sol (PORTAL SOLAR, 2016).

### 2.4.2 Inversores *Grid-Tie*

A conversão da energia solar em elétrica, pelos módulos fotovoltaicos, produz corrente contínua. No entanto, a maioria dos equipamentos comercializados no mercado são alimentados por corrente alternada. Dessa forma, faz-se necessária a utilização de um inversor *grid-tie*, cujo papel principal é converter o sinal elétrico contínuo, proveniente dos módulos, em sinal alternado (FIGUEIRA, 2014).

Inversores *grid-tie*, também denominados inversores de rede, são ainda utilizados para sincronizar a energia proveniente dos módulos fotovoltaicos com a energia disponibilizada pela concessionária. Desse modo, o inversor é responsável por controlar a energia que alimentará as cargas, seja por meio do sistema fotovoltaico ou por meio da rede convencional de energia elétrica, caso o sistema não produza energia suficiente (PORTAL SOLAR, 2016) (FIGUEIRA, 2014).

Além dessas funções, inversores *grid-tie* devem proporcionar proteção contra sobrecargas, desvios na frequência ou tensão, e ilhamentos. Os ilhamentos ocorrem quando a energia proveniente da concessionária é cortada, para a realização de manutenções, por exemplo, e os sistemas de geração distribuída continuam injetando energia na rede. Esse fato pode colocar em risco a saúde dos operadores da rede elétrica, além de danificar aparelhos dos consumidores conectados à mesma. Dessa forma, é essencial incorporar sistemas anti-ilhamento aos inversores (CÂNDIDO, 2010) (REIS, 2014).

### 2.4.3 Medidores Bidirecionais

Medidores bidirecionais são responsáveis pela leitura da energia recebida da concessionária e da energia injetada na rede, pelo sistema de geração distribuída (FIGUEIRA, 2014).

Dessa forma, para que seja contabilizado o fluxo de energia injetado e o consumido da rede e, assim, garantir a compensação de créditos na conta de energia elétrica do consumidor, faz-se necessária a utilização desses medidores (MARTINS, 2016).

Na próxima seção são apresentadas as resoluções normativas que definem os aspectos gerais para o acesso dos sistemas fotovoltaicos à rede convencional de energia elétrica.

## **2.5 Resoluções Normativas**

Resoluções normativas são atos administrativos que tem a finalidade de regularizar questões específicas. Nesse sentido, a ANEEL estabelece algumas resoluções normativas para regularizar a instalação de sistemas de geração distribuída à rede convencional de energia e, assim, garantir uma maior confiabilidade e segurança nesses sistemas (FERREIRA, 2016).

Dessa forma, em abril de 2012, entrou em vigor a Regulamentação Normativa (REN) nº 482, com a finalidade de estabelecer os aspectos gerais para o acesso da microgeração e da minigeração distribuída à rede de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia (ANEEL, 2012).

Entretanto, no ano de 2015, a REN 482/2012 passou por um processo de revisão, dando origem, em novembro do mesmo ano, à Resolução Normativa nº 687 (ANEEL, 2015).

Assim sendo, para melhor entender como os sistemas fotovoltaicos de microgeração distribuída são tratados pelas concessionárias de energia elétrica, são apresentadas, na próxima subseção, algumas das disposições estabelecidas na REN 687/2015.

### **2.5.1 Resolução Normativa nº 687**

Segundo o Artigo 1º desta resolução, a microgeração distribuída caracteriza-se por ser uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW. E, segundo o Artigo 2º, os custos de eventuais melhorias na rede de distribuição, em função da conexão da microgeração distribuída, são de total responsabilidade da distribuidora, a qual deve arcar integralmente com os mesmos (ANEEL, 2015).

Segundo esta resolução, no sistema de compensação de energia elétrica, a energia ativa injetada na rede pela microgeração distribuída é cedida em forma de empréstimo gratuito à concessionária local, para, posteriormente,

ser compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Dessa forma, conforme o Artigo 4º desta regulamentação, o consumidor passa a ter um crédito de energia ativa com validade de 60 meses, a partir da data do faturamento (ANEEL, 2015).

Assim, na fatura do consumo de energia elétrica para unidades consumidoras com microgeração distribuída, deve ser considerada a energia consumida, deduzidos a energia injetada na rede e eventuais créditos acumulados, por posto tarifário, sobre os quais devem incidir todas as componentes da tarifa. Além disso, para consumidores do grupo B, que é o caso das propriedades rurais analisadas neste trabalho, deve ser cobrado nas faturas, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade de energia elétrica (ANEEL, 2015).

O valor mínimo faturável, referente ao custo de disponibilidade de energia, varia conforme a classe da unidade consumidora (ANEEL, 2000):

- Monofásica e bifásica a dois condutores: valor em moeda corrente equivalente a 30 kWh;
- Bifásica a três condutores: valor em moeda corrente equivalente a 50 kWh;
- Trifásica: valor em moeda corrente equivalente a 100 kWh.

Dessa forma, mesmo que o sistema de microgeração distribuída gere mais energia do que a consumida, a unidade consumidora ainda terá que pagar um valor referente à taxa mínima, de acordo com a sua classe, o que impossibilita que a fatura de energia seja “zerada” (ASTRA SOLAR, 2016).

Segundo o Artigo 6º da REN 687/2017, a fatura dos consumidores que possuem microgeração distribuída deve conter, a cada ciclo de faturamento (ANEEL, 2015):

- Informação da participação da unidade consumidora no sistema de compensação de energia elétrica;
- Saldo anterior de créditos em kWh;
- Energia elétrica ativa consumida, por posto tarifário;
- Energia elétrica ativa injetada, por posto tarifário;
- Histórico da energia elétrica ativa consumida e da injetada nos últimos 12 ciclos de faturamento;

- Total de créditos utilizados no ciclo de faturamento, discriminados por unidade consumidora;
- Total de créditos expirados no ciclo de faturamento;
- Saldo atualizado de créditos;
- Próxima parcela do saldo atualizado de créditos a expirar;
- Ciclo de faturamento em que ocorrerá.

Além desses aspectos, segundo o Artigo 7º, a responsabilidade técnica e financeira do sistema de medição para microgeração distribuída é da distribuidora, a qual deve ater-se às especificações técnicas dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Além disso, como descrito no Artigo 9º, a distribuidora também é responsável pela coleta de informações das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica e pelo envio dos dados para registro junto à ANEEL (ANEEL, 2015).

No próximo capítulo é apresentada a metodologia desenvolvida neste trabalho.

### 3 METODOLOGIA

Para se avaliar a relação existente entre a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede e o consumo de energia elétrica em propriedades rurais, foi feito um estudo de caso em cinco propriedades com consumos de energia diferentes.

Dessa forma, para que fosse possível determinar o custo do sistema fotovoltaico de cada propriedade e, assim, realizar a análise da viabilidade econômica, foi necessário calcular a potência de pico de cada sistema.

Nesse cálculo, o nível médio diário de irradiação solar do local de instalação do sistema é de suma importância. Além disso, esse cálculo leva em consideração o consumo diário médio de energia elétrica da propriedade e a taxa de desempenho do sistema fotovoltaico, como mostra a Equação 1 (CALDAS *et al.*, 2016),

$$P_{fv} = \frac{E/TD}{HSP_{ma}} \quad (1)$$

em que:

$P_{fv}$ : potência de pico do sistema fotovoltaico [W<sub>p</sub>];

$E$ : consumo diário médio do local analisado [Wh/dia];

$TD$ : taxa de desempenho do sistema [adimensional];

$HSP_{ma}$ : horas de sol pleno em média diária a uma intensidade de 1000 W/m<sup>2</sup> [kWh/m<sup>2</sup>].

A taxa de desempenho é a relação entre o desempenho real e o máximo desempenho teórico possível, simbolizando as perdas do sistema fotovoltaico. Dentre essas perdas, destacam-se as perdas no processo de conversão da tensão contínua para a alternada, as perdas devido a sombreamentos ou sujeiras sobre o módulo, as perdas nos condutores, as possíveis reduções de potência do módulo devido a altas temperaturas, entre outras (CALDAS *et al.*, 2016) (MARTINS, 2016).

Usualmente, o valor adotado para essa taxa compreende-se entre 0,70 e 0,80. Neste trabalho foi adotado o valor de 0,75, uma vez que, segundo CALDAS *et al.* (2016), é o valor recomendado por fabricantes de módulos fotovoltaicos (MARTINS, 2016).

Como já foi dito, o cálculo das potências de pico dos sistemas fotovoltaicos é essencial para se determinar a viabilidade econômica dos sistemas. Dessa forma, para uma correta análise da relação entre a viabilidade econômica e o consumo de energia elétrica nas propriedades rurais em estudo, é imprescindível que o resultado do cálculo da potência de pico de cada sistema ( $P_{fv}$ ) dependa somente do consumo diário médio de energia elétrica das propriedades ( $E$ ), não sendo influenciado por outros fatores (CALDAS *et al.*, 2016).

Nesse sentido, sabendo que o valor adotado para a taxa de desempenho ( $TD$ ) foi o mesmo para todas as propriedades, bastou verificar se as horas de sol pleno em média diária ( $HSP_{ma}$ ) de cada local eram as mesmas. Este foi um dos critérios utilizados para a seleção das propriedades rurais que seriam estudadas.

O nível de irradiação solar diária mensal de determinadas cidades é fornecido pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), através do programa SunData, que foi criado para servir como ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (CRESESB, 2016).

Nesse programa, a busca por localidades é feita por meio da latitude e longitude do local de interesse. Entretanto, como algumas cidades não são listadas no programa, o CRESESB sugere que sejam utilizados, para o dimensionamento dos sistemas, os dados da cidade mais próxima à localidade de interesse (CRESESB, 2016).

Dessa forma, por meio do *software* GoogleMaps, foram obtidas as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de cada propriedade rural e, com o apoio do programa SunData, foi verificado se a cidade mais próxima de cada propriedade era a mesma; garantindo, assim, que os dados das horas de sol pleno em média diária ( $HSP_{ma}$ ) eram iguais para todas as propriedades rurais.

Além do critério de irradiação solar média diária, o consumo de energia elétrica de cada localidade também foi determinante para a escolha da propriedade rural a ser estudada. Isso porque, para se analisar a relação entre a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos e o consumo de energia elétrica, é necessário que as propriedades apresentem consumos consideravelmente diferentes. Este foi o outro critério utilizado para a seleção das propriedades rurais.

O consumo de energia de cada propriedade foi verificado por meio da conta de energia elétrica disponibilizada pelos proprietários, cuja concessionária

responsável é a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). A conta de energia fornece o histórico de consumo durante o último ano, apresentando o consumo de kWh total e a média de kWh/dia, em cada mês.

As contas de energia elétrica analisadas neste trabalho foram referentes a agosto de 2017, dessa forma, apresentam o histórico de consumo desde o mês de agosto de 2016 até o mês de referência. A partir desses dados, para cada propriedade rural, foi realizada a média de kWh/mês consumidos no último ano, a fim de se verificar se os consumos de energia elétrica das propriedades eram consideravelmente diferentes.

Após a verificação dos dois critérios de seleção, foram determinadas as propriedades que seriam estudadas neste trabalho. A Tabela 1 apresenta, brevemente, as cinco propriedades rurais selecionadas, sendo apresentados os seguintes dados de cada propriedade: nome do proprietário, cidade a qual a propriedade rural pertence, cidade mais próxima à propriedade cujos dados de irradiação solar são especificados pelo programa SunData, e o consumo médio mensal da propriedade. É importante ressaltar que, com o intuito de preservar a identidade dos proprietários, foram divulgadas somente as iniciais de seus nomes.

Tabela 1: Dados das propriedades rurais.

<b>Estudo de Caso</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Cidade Pertencente</b>	<b>Cidade mais Próxima</b>	<b>Consumo Médio (kWh/mês)</b>
1	J. L. S.	Formiga/MG	Oliveira/MG	42,69
2	H. P.	Formiga/MG	Oliveira/MG	153,85
3	S. F. F.	Formiga/MG	Oliveira/MG	280,62
4	M. G. S.	Formiga/MG	Oliveira/MG	361,54
5	A. F. P.	Candeias/MG	Oliveira/MG	1683,08

Fonte: Próprio Autor.

Como se pode notar, as propriedades rurais listadas acima apresentam uma diferença significativa nos consumos médios de energia elétrica por mês, atendendo a um dos critérios de seleção.

O outro critério, correspondente à irradiação solar média diária, também foi atendido. Isso porque, inserindo as coordenadas geográficas de cada propriedade no programa SunData, observou-se que a cidade mais próxima de todas as propriedades, cujos dados de irradiação solar são fornecidos pelo programa, é Oliveira/MG, cuja latitude e longitude são 20,6° e 44,827222°, respectivamente (CRESESB, 2016).

Dessa forma, para o cálculo da potência de pico dos sistemas fotovoltaicos, foram utilizados os dados de irradiação solar, no ângulo igual à latitude, de Oliveira/MG. Esses dados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados da irradiação solar média diária de Oliveira/MG.

<b>Mês</b>	<b>Irradiação Solar Diária Média (kWh/m<sup>2</sup>.dia)</b>
Janeiro	5,17
Fevereiro	5,30
Março	5,40
Abril	5,14
Maio	5,41
Junho	5,10
Julho	5,61
Agosto	5,74
Setembro	5,09
Outubro	5,17
<b>Novembro</b>	<b>4,94</b>
Dezembro	5,01

Fonte: (CRESESB, 2016).

Como se pode verificar na tabela acima, o mês que apresentou o menor nível de irradiação solar diária média em Oliveira/MG foi o mês de novembro, o qual está destacado na tabela. Assim sendo, para o cálculo da potência de pico dos sistemas fotovoltaicos, foi utilizada a irradiação solar desse mês, uma vez que, conforme FIGUEIRA (2014), para garantir que o sistema funcione durante todo o ano, é fundamental que se considere o pior caso de irradiação solar.

Ainda com o intuito de que o resultado da viabilidade econômica não fosse influenciado por outros fatores, optou-se por utilizar o mesmo modelo de módulos e a mesma marca de inversores nos sistemas fotovoltaicos das propriedades. Dessa

forma, o preço final de cada sistema seria influenciado somente pela potência de pico requerida por cada propriedade; sendo possível, assim, comparar os resultados da viabilidade econômica em relação ao consumo de energia elétrica das propriedades.

Assim sendo, a fim de se determinar o módulo e o inversor a serem utilizados no dimensionamento dos sistemas, foi feita uma pesquisa em alguns sites nacionais de empresas do ramo fotovoltaico, sendo escolhido o site da PHB Solar.

A PHB é uma empresa de referência no mercado brasileiro de energia fotovoltaica e comercializa módulos de alguns dos fabricantes mais renomados do mundo. Dessa forma, para a escolha do fabricante, foram avaliados itens como: características elétricas do módulo, garantia contra defeitos de fabricação, custo-benefício e sua disponibilidade no mercado; sendo selecionado o fabricante JinkoSolar (PHB, 2017).

O JinkoSolar foi considerado o maior fabricante de módulos fotovoltaicos em 2016 e, além da qualidade de seus módulos, concede a eles uma garantia de 25 anos na geração de energia (PHB, 2017) (PVTECH, 2016).

A Tabela 3 apresenta as características elétricas de alguns modelos de módulos fotovoltaicos desse fabricante, em que o modelo escolhido foi o JKM325PP-72-V STC, destacado na tabela. Os principais critérios utilizados nessa escolha foram a potência máxima e a eficiência do modelo (PHB, 2017).

Tabela 3: Comparação entre alguns módulos fotovoltaicos da JinkoSolar.

Modelo	Potência Máxima (Pmax)	Tensão de Potência Máxima (Vmp)	Corrente de Potência Máxima (Imp)	Tensão de Circuito Aberto (Voc)	Corrente de Curto Circuito (Isc)	Eficiência
JKM310PP-72-V STC	310 Wp	37,0 V	8,38 A	45,9 V	8,96 A	15,98%
JKM315PP-72-V STC	315 Wp	37,2 V	8,48 A	46,2 V	9,01 A	16,23%
JKM320PP-72-V STC	320 Wp	37,4 V	8,56 A	46,4 V	9,05 A	16,49%
<b>JKM325PP-72-V STC</b>	<b>325 Wp</b>	<b>37,6 V</b>	<b>8,66 A</b>	<b>46,7 V</b>	<b>9,10 A</b>	<b>16,75%</b>

Fonte: (JINKO SOLAR, 2017).

A PHB também possui a vantagem de fabricar seus próprios inversores, sendo a primeira, no Brasil, a fabricar inversores solares conectados à rede

certificados pelo INMETRO, os quais ainda possuem garantia de 5 anos contra defeitos de fabricação e assistência técnica (PHB, 2017).

Além disso, segundo REIS *et al.* (2015), os inversores PHB apresentam uma melhor condição de distorção harmônica em relação aos inversores da Fronius, que é um renomado fabricante de inversores *grid-tie*. A distorção harmônica, no âmbito da geração distribuída, é uma das questões mais importantes, uma vez que pode ocasionar a diminuição da qualidade de energia, prejudicando sistemas e, mais especificamente, cargas eletrônicas (PHB, 2017) (SOL CENTRAL, 2016).

Dessa forma, tendo em vista os benefícios de um equipamento fabricado nacionalmente, as garantias fornecidas e a qualidade dos inversores PHB, optou-se por utilizar inversores dessa marca nos sistemas fotovoltaicos das propriedades rurais.

Entretanto, para se instalar um sistema fotovoltaico são necessários, além de módulos e inversores, alguns itens auxiliares, como: estrutura de sustentação, cabos, conectores, entre outros. Nesse sentido, para que seja feito um levantamento real do preço de cada sistema, é imprescindível que sejam cotados todos esses materiais (PHB, 2017).

A PHB, além de vender os materiais individualmente, comercializa kits com todos os equipamentos necessários para se instalar um sistema de geração fotovoltaica. Os kits, além de proporcionarem praticidade ao cliente, apresentam um preço mais atrativo em relação à compra de cada item separadamente. Dessa forma, a estimativa de custo do sistema fotovoltaico de cada propriedade foi feita baseando-se nos preços de kits com módulos JKM325PP-72-V STC.

A PHB dispõe de kits com diferentes valores de potência de pico para venda, conseguindo atender, assim, desde consumidores que necessitam de kits com baixas potências até os que necessitam de potências mais altas. Dessa forma, cada kit possui os equipamentos e as quantidades necessárias para a sua potência de pico, como por exemplo: quantidades de módulos e inversores equivalentes à potência. Assim sendo, a escolha do kit de gerador fotovoltaico para os sistemas em estudo foi baseada na potência de pico calculada para cada sistema fotovoltaico, sendo escolhido o kit que possuía a potência de pico maior e mais próxima à calculada.

É importante ressaltar que os medidores bidirecionais, apesar de serem essenciais nos sistemas fotovoltaicos, não são incluídos nos kits, uma vez que a

responsabilidade financeira do sistema de medição, para microgeração distribuída, é inteiramente da distribuidora (ANEEL, 2015).

Além da cotação de todos os materiais necessários para a instalação de um sistema fotovoltaico, devem ser cotados também o frete, a mão de obra da instalação e o projeto elétrico para ser apresentado à CEMIG.

Dessa forma, como a PHB não oferece esses serviços, foi realizada uma consultoria com a empresa Porto Solar Brasil, a fim de se cotar os serviços com o valor real praticado no mercado brasileiro.

A Porto Solar Brasil, com sede em Porto Seguro/BA e filiais em Belo Horizonte/MG e São Paulo/SP, conta com uma equipe de engenheiros especialistas no dimensionamento, projeto e instalação de sistemas fotovoltaicos, os quais foram essenciais na conclusão do orçamento de cada sistema (PORTO SOLAR BRASIL, 2016).

Para isso, foram passadas as seguintes informações a um dos representantes da empresa Porto Solar Brasil: potência de pico de cada kit, especificações dos equipamentos, quantidades de módulos e inversores, e os locais de instalação.

Nas próximas seções são apresentados os cálculos da potência de pico do sistema fotovoltaico de cada propriedade, bem como o kit escolhido e a estimativa do custo total de cada sistema.

### 3.1 Estudo de Caso 1

A propriedade rural do primeiro estudo de caso, cujo dono é o Sr. J. L. S., fica localizada na comunidade Fazenda Velha, pertencente ao município de Formiga/MG, e sua classe é rural monofásica. A Tabela 4 apresenta o histórico de consumo de energia desta propriedade no último ano.

Tabela 4: Consumo de energia elétrica da primeira propriedade rural.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Agosto/2016	51
Setembro/2016	49
Outubro/2016	19

continua...

continuação

Tabela 4: Consumo de energia elétrica da primeira propriedade rural.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Novembro/2016	48
Dezembro /2016	45
Janeiro/2017	33
Fevereiro/2017	42
Março/2017	40
Abril/2017	58
Mai/2017	41
Junho/2017	40
Julho/2017	47
Agosto/2017	42
<b>Média Mensal</b>	<b>42,69</b>

Fonte: Próprio Autor.

Como já foi mencionado, apesar do consumo médio mensal dessa propriedade ser equivalente a 42,69 kWh, não é viável que o sistema fotovoltaico gere toda essa energia. Isso porque, segundo a ANEEL (2015), deve ser cobrada uma taxa mínima na fatura, referente ao custo de disponibilidade da energia elétrica. Esse custo, devido à classe desta propriedade, equivale a um consumo de 30 kWh/mês. Dessa forma, foi subtraída essa taxa mínima do consumo médio mensal, que se tornou 12,69 kWh (CALDAS *et al.*, 2016) (ANEEL, 2000).

De posse do consumo médio mensal considerando a taxa mínima, foi calculado o consumo médio diário para ser utilizado no cálculo da potência de pico do sistema. Para isso, dividiu-se o valor da média mensal por 30,4, que corresponde ao número médio de dias que tem um mês; esse cálculo resultou no valor de 0,42 kWh/dia. Os 30,4 foram encontrados dividindo-se os 365 dias do ano por 12 meses.

Feito isso, e a partir dos dados fornecidos anteriormente, foi realizado o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico por meio da Equação 1, como mostrado abaixo.

$$P_{fv} = \frac{E/TD}{HSP_{ma}} = \frac{0,42/0,75}{4,94} = 0,11 \text{ kWp}$$

Dessa forma, sabendo-se a potência de pico do sistema, foi feito um levantamento dos kits de geradores fotovoltaicos fornecidos pela PHB, com módulos da JinkoSolar de 325 Wp. A partir desse levantamento, foi realizada, então, uma análise para determinar a potência do kit que mais se enquadrava no sistema desta propriedade, sendo escolhido o kit de gerador fotovoltaico PHB de 0,975 kWp. As especificações de cada componente e do custo desse kit estão apresentadas na Figura 12.

Opções de Parcelamento no Cartão				
Parcelas	TOTAL	Vir. Parcela		
3x sem juros	R\$ 4.813,34	R\$ 1.604,45	CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	10 m
<b>Financiamento Santander</b>			CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2	10 m
4x parcelas	R\$ 4.815,21	R\$ 1.203,80	CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 6,00MM2	10 m
6x parcelas	R\$ 4.914,62	R\$ 819,10	CONECTOR MC4 FEMEA 4-6MM2 (12-10AWG)	1 P\$
9x parcelas	R\$ 5.066,06	R\$ 562,90	CONECTOR MC4 MACHO 4-6MM2 (12-10AWG)	1 P\$
12x parcelas	R\$ 5.220,53	R\$ 435,04	INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)	4 cj
18x parcelas	R\$ 5.582,14	R\$ 310,12	END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)	4 cj
24x parcelas	R\$ 5.928,38	R\$ 247,02	<b>HOOK DE ACO KIT # (A DEFINIR NO PEDIDO DE COMPRA)</b>	4 cj
30x parcelas	R\$ 6.372,02	R\$ 212,40	<b>GRAMPO DE ATERRAMENTO</b>	2 cj
36x parcelas	R\$ 6.762,44	R\$ 187,85	<b>ABRACADEIRA CABOS</b>	3 cj
<b>Pagamento à Vista</b>			<b>CLIP DE ATERRAMENTO</b>	4 P\$
Outras condições solicitar o simulador Santander * Sujeito a aprovação de crédito			PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (3,15M) GS	2 P\$
Depósito Antecipado	R\$ 4.572,67	5% desconto	STB01-1000V/01,STRING BOX CC+CA )	1 cj
			PHB1500-NS,INVERSOR FOTOVOLTAICO - Wi-fi	1 cj
			MODULO FOTOVOLTAICO 325WP; (JKM325PP-72-V) JINKO	3 P\$

Figura 12: Kit gerador fotovoltaico PHB – 0,975 kWp.

Fonte: Adaptado de PHB (2017).

Como se pode notar, a PHB oferece várias formas de pagamento, entretanto, para o levantamento de preço do sistema fotovoltaico desta, e das demais propriedades, foi utilizada somente a forma de pagamento à vista.

A estimativa de custo total do sistema fotovoltaico desta propriedade, incluindo equipamentos, frete, mão de obra e projeto elétrico, está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Custo do sistema fotovoltaico da primeira propriedade rural.

Materiais/Serviços	Preço (R\$)
Kit Gerador Fotovoltaico – 0,975 kWp	4.572,67
Frete + Mão de Obra + Projeto Elétrico	2.000,00
<b>Total</b>	<b>6.572,67</b>

Fonte: Próprio Autor.

Nas próximas seções, os cálculos iniciais, referentes ao consumo médio mensal considerando a taxa mínima e ao consumo médio diário, foram realizados de maneira semelhante aos feitos nesta seção.

### 3.2 Estudo de Caso 2

A propriedade rural do segundo estudo de caso, cujo dono é o Sr. H. P., fica localizada na comunidade Serrinha, pertencente ao município de Formiga/MG, e sua classe é rural bifásica a dois condutores. A Tabela 6 apresenta o histórico de consumo de energia desta propriedade no último ano, bem como o consumo médio mensal considerando a taxa mínima e o consumo médio diário.

Tabela 6: Consumo de energia elétrica da segunda propriedade rural.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Agosto/2016	108
Setembro/2016	166
Outubro/2016	171
Novembro/2016	169
Dezembro /2016	169
Janeiro/2017	178
Fevereiro/2017	60
Março/2017	197
Abril/2017	209
Maio/2017	125
Junho/2017	212
Julho/2017	227
Agosto/2017	9
<b>Média Mensal</b>	<b>153,85</b>
<b>Média Mensal Considerando a Taxa Mínima</b>	<b>123,85</b>
<b>Média Diária</b>	<b>4,07</b>

Fonte: Próprio Autor.

De posse dessas informações, e a partir dos dados fornecidos anteriormente, foi realizado o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico por meio da Equação 1, como mostrado a seguir.

$$P_{fv} = \frac{E/TD}{HSP_{ma}} = \frac{4,07/0,75}{4,94} = 1,10 \text{ kWp}$$

Dessa forma, sabendo-se a potência de pico do sistema, foi feito um levantamento dos kits de geradores fotovoltaicos fornecidos pela PHB, com módulos da JinkoSolar de 325 Wp. A partir desse levantamento, foi realizada, então, uma análise para determinar a potência do kit que mais se enquadrava no sistema desta propriedade, sendo escolhido o kit de gerador fotovoltaico PHB de 1,30 kWp. As especificações de cada componente e do custo desse kit estão apresentadas na Figura 13.

Opções de Parcelamento no Cartão				
Parcelas	TOTAL	Vir. Parcela		
3x sem juros	R\$ 5.428,41	R\$ 1.809,47	CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	10 m
<b>Financiamento Santander</b>			CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2	10 m
			CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 6,00MM2	10 m
4x parcelas	R\$ 5.430,52	R\$ 1.357,63	CONECTOR MC4 FEMEA 4-6MM2 (12-10AWG)	1 P\$
6x parcelas	R\$ 5.542,63	R\$ 923,77	CONECTOR MC4 MACHO 4-6MM2 (12-10AWG)	1 P\$
9x parcelas	R\$ 5.713,43	R\$ 634,83	INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)	6 cj
12x parcelas	R\$ 5.887,64	R\$ 490,64	END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)	4 cj
18x parcelas	R\$ 6.295,45	R\$ 349,75	<b>HOOK DE ACO KIT # (A DEFINIR NO PEDIDO DE COMPRA)</b>	8 cj
24x parcelas	R\$ 6.685,94	R\$ 278,58	EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS	2 cj
30x parcelas	R\$ 7.186,27	R\$ 239,54	<b>GRAMPO DE ATERRAMENTO</b>	2 cj
36x parcelas	R\$ 7.626,57	R\$ 211,85	<b>ABRACADEIRA CABOS</b>	4 P\$
<b>Outras condições solicitar o simulador Santander * Sujeito a aprovação de crédito</b>			<b>JUMPER DE ATERRAMENTO</b>	2 cj
			<b>CLIP DE ATERRAMENTO</b>	6 P\$
<b>Pagamento à Vista</b>			PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (2,10M) GS	4 P\$
Depósito Antecipado	R\$ 5.156,99	5% desconto	STB01-1000V/01,STRING BOX CC+CA )	1 cj
			PHB1500-NS,INVERSOR FOTOVOLTAICO - Wi-fi	1 cj
			MODULO FOTOVOLTAICO 325WP; (JKM325PP-72-V) JINKO	4 P\$

Figura 13: Kit gerador fotovoltaico PHB – 1,30 kWp.

Fonte: Adaptado de PHB (2017).

A estimativa de custo total do sistema fotovoltaico desta propriedade, incluindo equipamentos, frete, mão de obra e projeto elétrico, está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Custo do sistema fotovoltaico da segunda propriedade rural.

Materiais/Serviços	Preço (R\$)
Kit Gerador Fotovoltaico – 1,30 kWp	5.156,99
Frete + Mão de Obra + Projeto Elétrico	2.800,00
<b>Total</b>	<b>7.956,99</b>

Fonte: Próprio Autor.

### 3.3 Estudo de Caso 3

A propriedade rural do terceiro estudo de caso, cujo dono é o Sr. S. F. F., assim como no primeiro caso, fica localizada na comunidade Fazenda Velha e pertence à classe rural monofásica. A Tabela 8 apresenta o histórico de consumo de energia desta propriedade no último ano, bem como o consumo médio mensal considerando a taxa mínima e o consumo médio diário.

Tabela 8: Consumo de energia elétrica da terceira propriedade rural.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Agosto/2016	253
Setembro/2016	320
Outubro/2016	293
Novembro/2016	298
Dezembro /2016	270
Janeiro/2017	259
Fevereiro/2017	276
Março/2017	342
Abril/2017	277
Maio/2017	256
Junho/2017	264
Julho/2017	231
Agosto/2017	309
<b>Média Mensal</b>	<b>280,62</b>
<b>Média Mensal Considerando a Taxa Mínima</b>	<b>250,62</b>
<b>Média Diária</b>	<b>8,24</b>

Fonte: Próprio Autor.

De posse dessas informações, e a partir dos dados fornecidos anteriormente, foi realizado o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico por meio da Equação 1, como mostrado abaixo.

$$P_{fv} = \frac{E/TD}{HSP_{ma}} = \frac{8,24/0,75}{4,94} = 2,22 \text{ kWp}$$

Dessa forma, sabendo-se a potência de pico do sistema, foi feito um levantamento dos kits de geradores fotovoltaicos fornecidos pela PHB, com módulos da JinkoSolar de 325 Wp. A partir desse levantamento, foi realizada, então, uma análise para determinar a potência do kit que mais se enquadrava no sistema desta propriedade, sendo escolhido o kit de gerador fotovoltaico PHB de 2,60 kWp. As especificações de cada componente e do custo desse kit estão apresentadas na Figura 14.

Opções de Parcelamento no Cartão				
Parcelas	TOTAL	Vir. Parcela		
3x sem juros	R\$ 10.343,18	R\$ 3.447,73	CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	25 m
<b>Financiamento Santander</b>			CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2	25 m
			CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 6,00MM2	25 m
4x parcelas	R\$ 10.347,20	R\$ 2.586,80	CONECTOR MC4 FEMEA 4-6MM2 (12-10AWG)	2 P\$
6x parcelas	R\$ 10.560,81	R\$ 1.760,14	CONECTOR MC4 MACHO 4-6MM2 (12-10AWG)	2 P\$
9x parcelas	R\$ 10.886,25	R\$ 1.209,58	INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)	14 Cj
12x parcelas	R\$ 11.218,18	R\$ 934,85	END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)	4 Cj
18x parcelas	R\$ 11.995,22	R\$ 666,40	<b>HOOK DE ACO KIT # (A DEFINIR NO PEDIDO DE COMPRA)</b>	12 Cj
24x parcelas	R\$ 12.739,24	R\$ 530,80	EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS	2 Cj
30x parcelas	R\$ 13.692,57	R\$ 456,42	<b>GRAMPO DE ATERRAMENTO</b>	2 Cj
36x parcelas	R\$ 14.531,51	R\$ 403,65	<b>ABRACADEIRA CABOS</b>	8 P\$
<b>Outras condições solicitar o simulador Santander * Sujeito a aprovação de crédito</b>			<b>JUMPER DE ATERRAMENTO</b>	2 Cj
			<b>CLIP DE ATERRAMENTO</b>	14 P\$
<b>Pagamento à Vista</b>			PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (4,20M) GS	4 P\$
Depósito Antecipado	R\$ 9.826,02	5% desconto	STB01-1000V/01,String BOX CC+CA	1 Cj
			PHB3000-SS,INVERSOR FOTOVOLTAICO	1 Cj
			MODULO FOTOVOLTAICO 325WP; (JKM325PP-72-V) JINKO	8 P\$

Figura 14: Kit gerador fotovoltaico PHB – 2,60 kWp.

Fonte: Adaptado de PHB (2017).

A estimativa de custo total do sistema fotovoltaico desta propriedade, incluindo equipamentos, frete, mão de obra e projeto elétrico, está apresentada na Tabela 9.

Tabela 9: Custo do sistema fotovoltaico da terceira propriedade rural.

Materiais/Serviços	Preço (R\$)
Kit Gerador Fotovoltaico – 2,60 kWp	9.826,02
Frete + Mão de Obra + Projeto Elétrico	5.000,00
<b>Total</b>	<b>14.826,02</b>

Fonte: Próprio Autor.

### 3.4 Estudo de Caso 4

A propriedade rural do quarto estudo de caso, cuja dona é a Sra. M. G. S., também fica localizada na comunidade Fazenda Velha e sua classe é rural monofásica. A Tabela 10 apresenta o histórico de consumo de energia desta propriedade no último ano, bem como o consumo médio mensal considerando a taxa mínima e o consumo médio diário.

Tabela 10: Consumo de energia elétrica da quarta propriedade rural.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Agosto/2016	358
Setembro/2016	390
Outubro/2016	445
Novembro/2016	407
Dezembro /2016	396
Janeiro/2017	374
Fevereiro/2017	359
Março/2017	342
Abril/2017	293
Maio/2017	275
Junho/2017	345
Julho/2017	318
Agosto/2017	398
<b>Média Mensal</b>	<b>361,54</b>
<b>Média Mensal Considerando a Taxa Mínima</b>	<b>331,54</b>
<b>Média Diária</b>	<b>10,91</b>

Fonte: Próprio Autor.

De posse dessas informações, e a partir dos dados fornecidos anteriormente, foi realizado o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico por meio da Equação 1, como mostrado abaixo.

$$P_{fv} = \frac{E/TD}{HSP_{ma}} = \frac{10,91/0,75}{4,94} = 2,94 \text{ kWp}$$

Dessa forma, sabendo-se a potência de pico do sistema, foi feito um levantamento dos kits de geradores fotovoltaicos fornecidos pela PHB, com módulos da JinkoSolar de 325 Wp. A partir desse levantamento, foi realizada, então, uma análise para determinar a potência do kit que mais se enquadrava no sistema desta propriedade, sendo escolhido o kit de gerador fotovoltaico PHB de 3,25 kWp. As especificações de cada componente e do custo desse kit estão apresentadas na Figura 15.

Opções de Parcelamento no Cartão				
Parcelas	TOTAL	Vir. Parcela		
3x sem juros	R\$ 11.520,51	R\$ 3.840,17	CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	30 m
<b>Financiamento Santander</b>			CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2	30 m
			CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 6,00MM2	30 m
4x parcelas	R\$ 11.524,98	R\$ 2.881,24	CONECTOR MC4 FEMEA 4-6MM2 (12-10AWG)	2 P\$
6x parcelas	R\$ 11.762,91	R\$ 1.960,49	CONECTOR MC4 MACHO 4-6MM2 (12-10AWG)	2 P\$
9x parcelas	R\$ 12.125,39	R\$ 1.347,27	INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)	16 cj
12x parcelas	R\$ 12.495,10	R\$ 1.041,26	END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)	8 cj
18x parcelas	R\$ 13.360,59	R\$ 742,25	<b>HOOK DE ACO KIT # (A DEFINIR NO PEDIDO DE COMPRA)</b>	16 cj
24x parcelas	R\$ 14.189,30	R\$ 591,22	EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS	4 cj
30x parcelas	R\$ 15.251,14	R\$ 508,37	<b>GRAMPO DE ATERRAMENTO</b>	4 cj
36x parcelas	R\$ 16.185,58	R\$ 449,60	<b>ABRACADEIRA CABOS</b>	10 P\$
Outras condições solicitar o simulador Santander * Sujeito a aprovação de crédito			<b>JUMPER DE ATERRAMENTO</b>	4 cj
<b>Pagamento à Vista</b>			<b>CLIP DE ATERRAMENTO</b>	16 P\$
Depósito Antecipado	R\$ 10.944,48	5% desconto	PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (2,10M) GS	4 P\$
			PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (3,15M) GS	4 P\$
			STB01-1000V/01_STRING BOX CC+CA	1 cj
			PHB3000-SS_INVERSOR FOTOVOLTAICO	1 cj
			MODULO FOTOVOLTAICO 325WP; (JKM325PP-72-V) JINKO	10 P\$

Figura 15: Kit gerador fotovoltaico PHB – 3,25 kWp.

Fonte: Adaptado de PHB (2017).

A estimativa de custo total do sistema fotovoltaico desta propriedade, incluindo equipamentos, frete, mão de obra e projeto elétrico, está apresentada na Tabela 11.

Tabela 11: Custo do sistema fotovoltaico da quarta propriedade rural.

Materiais/Serviços	Preço (R\$)
Kit Gerador Fotovoltaico – 3,25 kWp	10.944,48
Frete + Mão de Obra + Projeto Elétrico	6.500,00
<b>Total</b>	<b>17.444,48</b>

Fonte: Próprio Autor.

### 3.5 Estudo de Caso 5

A propriedade rural do quinto e último estudo de caso, cujo dono é o Sr. A. F. P., fica localizada na comunidade Borges, pertencente ao município de Candeias/MG, e sua classe é rural bifásica a três fios.

Devido à sua classe, o valor mínimo cobrado na fatura, referente ao custo de disponibilidade de energia elétrica, é equivalente a um consumo de 50 kWh/mês. A Tabela 12 apresenta o histórico de consumo de energia desta propriedade no último ano, bem como o consumo médio mensal considerando a taxa mínima e o consumo médio diário.

Tabela 12: Consumo de energia elétrica da quinta propriedade rural.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Agosto/2016	1600
Setembro/2016	1600
Outubro/2016	3760
Novembro/2016	1840
Dezembro /2016	1880
Janeiro/2017	0
Fevereiro/2017	1880
Março/2017	1920
Abril/2017	0
Maio/2017	1960
Junho/2017	2000
Julho/2017	1760
Agosto/2017	1680
<b>Média Mensal</b>	<b>1683,08</b>
<b>Média Mensal Considerando a Taxa Mínima</b>	<b>1633,08</b>
<b>Média Diária</b>	<b>53,72</b>

Fonte: Próprio Autor.

De posse dessas informações, e a partir dos dados fornecidos anteriormente, foi realizado o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico por meio da Equação 1, como mostrado a seguir.

$$P_{fv} = \frac{E/TD}{HSP_{ma}} = \frac{53,72/0,75}{4,94} = 14,50 \text{ kWp}$$

Dessa forma, sabendo-se a potência de pico do sistema, foi feito um levantamento dos kits de geradores fotovoltaicos fornecidos pela PHB, com módulos da JinkoSolar de 325 Wp. A partir desse levantamento, foi realizada, então, uma análise para determinar a potência do kit que mais se enquadrava no sistema desta propriedade, sendo escolhido o kit de gerador fotovoltaico PHB de 15,60 kWp. As especificações de cada componente e do custo desse kit estão apresentadas na Figura 16.

Opções de Parcelamento no Cartão				
Parcelas	TOTAL	Vlr. Parcela		
3x sem juros	R\$ 55.616,40	R\$ 18.538,80	CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	100 m
			CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2	100 m
			CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 6,00MM2	100 m
Financiamento Santander			CONECTOR MC4 FEMEA 4-6MM2 (12-10AWG)	8 P\$
4x parcelas	R\$ 55.637,98	R\$ 13.909,50	CONECTOR MC4 MACHO 4-6MM2 (12-10AWG)	8 P\$
6x parcelas	R\$ 56.786,63	R\$ 9.464,44	INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)	88 cj
9x parcelas	R\$ 58.536,54	R\$ 6.504,06	END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)	16 cj
12x parcelas	R\$ 60.321,33	R\$ 5.026,78	HOOK DE ACO KIT # (A DEFINIR NO PEDIDO DE COMPRA)	72 cj
18x parcelas	R\$ 64.499,57	R\$ 3.583,31	EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS	16 cj
24x parcelas	R\$ 68.500,28	R\$ 2.854,18	GRAMPO DE ATERRAMENTO	8 cj
30x parcelas	R\$ 73.626,39	R\$ 2.454,21	ABRACADEIRA CABOS	48 P\$
36x parcelas	R\$ 78.137,49	R\$ 2.170,49	JUMPER DE ATERRAMENTO	16 cj
Outras condições solicitar o simulador Santander * Sujeito a aprovação de crédito			CLIP DE ATERRAMENTO	88 P\$
Pagamento à Vista			PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (4,20M) GS	24 P\$
Depósito Antecipado	R\$ 52.835,58	5% desconto	STB02-600V/06,5STRING BOX CC+CA	3 cj
			PHB5000D-NS,INVERSOR FOTOVOLTAICO - Wi-fi	3 cj
			MODULO FOTOVOLTAICO 325WP; (JKM325PP-72-V) JINKO	48 P\$
			QDCA/45,CJ.QUADRO DE PROT. CA - SOLAR (32A DJ. AC)	3 cj

Figura 16: Kit gerador fotovoltaico PHB – 15,60 kWp.

Fonte: Adaptado de PHB (2017).

Mesmo que a taxa mínima cobrada na fatura desta propriedade fosse igual a das outras (30 kWh), o kit de gerador fotovoltaico escolhido seria o mesmo. Isso porque, como o consumo de energia elétrica desta propriedade é relativamente alto, a diferença de 20 kWh na taxa mínima não altera significativamente o resultado da potência de pico; o que não aconteceria com as outras propriedades. Dessa forma, a estimativa de custo deste sistema fotovoltaico não foi influenciada pela diferença na taxa mínima cobrada.

Essa estimativa de custo, incluindo equipamentos, frete, mão de obra e projeto elétrico, está apresentada na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13: Custo do sistema fotovoltaico da quinta propriedade rural.

<b>Materiais/Serviços</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Kit Gerador Fotovoltaico – 15,60 kWp	52.835,58
Frete + Mão de Obra + Projeto Elétrico	19.500,00
<b>Total</b>	<b>72.335,58</b>

Fonte: Próprio Autor.

No próximo capítulo são apresentadas as análises de viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos, bem como a relação entre a viabilidade e o consumo de energia elétrica nas propriedades rurais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as análises de viabilidade econômica, foram utilizados os indicadores econômicos *payback* e taxa interna de retorno (TIR), que são alguns dos indicadores mais utilizados em empresas que desejam avaliar a viabilidade de seus investimentos (MARTINS, 2016).

O *payback* indica o tempo de retorno sobre o investimento inicial e, embora seja um método simples, fornece uma idéia do risco do projeto. Neste indicador, quanto mais rápido for o retorno, mais atrativo será o investimento (MARTINS, 2016).

Já a TIR representa a rentabilidade relativa de um investimento e deve ser comparada com uma taxa mínima de atratividade (TMA). Esta taxa indica qual o retorno mínimo esperado de um investimento e, usualmente, utiliza-se como TMA a taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC). Dessa forma, o investimento somente é considerado economicamente atrativo se a TIR superar a TMA (MARTINS, 2016).

O valor da TMA adotado neste trabalho foi de 9,15% ao ano, uma vez que corresponde ao último valor da taxa SELIC divulgado pelo Banco Central do Brasil (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017).

Para a análise do *payback* e da TIR de cada sistema, foram feitos os fluxos de caixa anuais dos sistemas fotovoltaicos ao longo de 25 anos, tendo em vista a vida útil dos módulos fotovoltaicos da JinkoSolar, os quais apresentam uma perda de 20% na sua eficiência ao decorrer desses anos. Em cada fluxo de caixa, foram calculados a geração média anual de energia elétrica do sistema fotovoltaico e o consumo médio anual de energia da propriedade em estudo (PHB, 2017).

Para se calcular a geração média anual de cada sistema, utilizou-se, novamente, a Equação 1, porém com a variável  $E$  isolada, como mostrado abaixo.

$$E = P_{fv} \cdot HSP_{ma} \cdot TD$$

No campo da potência de pico dessa equação foi inserido, para cada estudo de caso, o valor da potência do kit escolhido. Já nos demais campos foram inseridos os mesmos valores anteriores: 4,94 para as horas de sol pleno em média diária e 0,75 para a taxa de desempenho.

A partir dessa fórmula, obteve-se a média de energia gerada por dia por cada sistema fotovoltaico. Dessa forma, para se determinar a geração média de energia elétrica por ano de cada sistema, multiplicou-se cada resultado por 365, equivalente a quantidade de dias do ano.

Além disso, como os módulos fotovoltaicos da JinkoSolar perdem 20% de sua eficiência ao longo de 25 anos, foi considerada uma degradação no rendimento dos painéis de 0,8% ao ano. Essa perda na eficiência afeta diretamente a geração de energia do sistema fotovoltaico, fazendo com que a geração diminua ao longo dos anos. Dessa forma, para se obter um valor mais próximo da realidade, multiplicou-se o valor da geração de energia anual pela eficiência do módulo de cada ano (PHB, 2017).

Já, para se determinar o consumo médio anual de cada propriedade, multiplicou-se o consumo médio mensal dos estudos de casos considerando a taxa mínima, calculado na metodologia deste trabalho, por 12, que equivale à quantidade de meses do ano.

Para se estimar, então, a economia anual com a instalação de cada sistema, foi necessário analisar se a geração anual do sistema fotovoltaico era maior ou menor que o consumo anual da propriedade considerando a taxa mínima.

Nos casos em que a geração foi maior, a economia anual foi estimada multiplicando-se o consumo, considerando a taxa mínima, pela tarifa de energia elétrica. Isso porque, apesar do sistema gerar mais energia do que a propriedade gasta, a mesma somente irá usufruir diretamente do que consome, economizando o valor que pagaria caso não tivesse o sistema fotovoltaico. Neste caso, a energia gerada a mais será injetada na rede, porém irá gerar apenas crédito para a propriedade (ANEEL, 2015).

Já nos casos em que a geração foi menor, a economia anual foi estimada multiplicando-se os kWh gerados pelo sistema fotovoltaico pela tarifa de energia, uma vez que a unidade consumidora deverá pagar a parte do consumo que não foi suprida pelo sistema. Neste caso, não foi considerada a utilização de eventuais créditos da unidade consumidora para suprir o restante do consumo.

O valor do kWh adotado neste trabalho foi baseado no preço cobrado pela CEMIG nas faturas de energia elétrica das propriedades rurais, no mês de agosto de 2017, sendo equivalente a R\$0,47864395. Entretanto, esse valor sofre reajustes anuais, sendo necessário considerá-los nos cálculos da economia anual. Dessa

forma, foi considerado um aumento de 4,5% no valor da tarifa por ano, conforme estabelecido pela ANEEL (MARTINS, 2016).

Feito isso, o fluxo de caixa anual de cada investimento foi calculado subtraindo-se a economia proporcionada pelo sistema a cada ano do investimento inicial. Os fluxos de caixa de cada sistema fotovoltaico, realizados com o auxílio do *software* Excel, estão apresentados nas Tabelas 14, 15, 16, 17 e 18 a seguir.

Tabela 14: Fluxo de caixa do estudo de caso 1.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
0						-R\$ 6.572,67
1	100,00%	1319	152	R\$ 0,48	R\$ 72,89	-R\$ 6.499,78
2	99,20%	1308	152	R\$ 0,50	R\$ 76,17	-R\$ 6.423,61
3	98,40%	1297	152	R\$ 0,52	R\$ 79,60	-R\$ 6.344,02
4	97,60%	1287	152	R\$ 0,55	R\$ 83,18	-R\$ 6.260,84
5	96,80%	1276	152	R\$ 0,57	R\$ 86,92	-R\$ 6.173,92
6	96,00%	1266	152	R\$ 0,60	R\$ 90,83	-R\$ 6.083,09
7	95,20%	1255	152	R\$ 0,62	R\$ 94,92	-R\$ 5.988,17
8	94,40%	1245	152	R\$ 0,65	R\$ 99,19	-R\$ 5.888,98
9	93,60%	1234	152	R\$ 0,68	R\$ 103,65	-R\$ 5.785,33
10	92,80%	1224	152	R\$ 0,71	R\$ 108,32	-R\$ 5.677,01
11	92,00%	1213	152	R\$ 0,74	R\$ 113,19	-R\$ 5.563,82
12	91,20%	1202	152	R\$ 0,78	R\$ 118,29	-R\$ 5.445,53
13	90,40%	1192	152	R\$ 0,81	R\$ 123,61	-R\$ 5.321,92
14	89,60%	1181	152	R\$ 0,85	R\$ 129,17	-R\$ 5.192,75
15	88,80%	1171	152	R\$ 0,89	R\$ 134,98	-R\$ 5.057,76
16	88,00%	1160	152	R\$ 0,93	R\$ 141,06	-R\$ 4.916,71
17	87,20%	1150	152	R\$ 0,97	R\$ 147,41	-R\$ 4.769,30
18	86,40%	1139	152	R\$ 1,01	R\$ 154,04	-R\$ 4.615,26
19	85,60%	1129	152	R\$ 1,06	R\$ 160,97	-R\$ 4.454,29
20	84,80%	1118	152	R\$ 1,10	R\$ 168,22	-R\$ 4.286,07
21	84,00%	1108	152	R\$ 1,15	R\$ 175,78	-R\$ 4.110,29
22	83,20%	1097	152	R\$ 1,21	R\$ 183,70	-R\$ 3.926,59
23	82,40%	1086	152	R\$ 1,26	R\$ 191,96	-R\$ 3.734,63
24	81,60%	1076	152	R\$ 1,32	R\$ 200,60	-R\$ 3.534,03
25	80,80%	1065	152	R\$ 1,38	R\$ 209,63	-R\$ 3.324,41

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 15: Fluxo de caixa do estudo de caso 2.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
0						-R\$ 7.956,99
1	100,00%	1758	1486	R\$ 0,48	R\$ 711,36	-R\$ 7.245,63
2	99,20%	1744	1486	R\$ 0,50	R\$ 743,37	-R\$ 6.502,26
3	98,40%	1730	1486	R\$ 0,52	R\$ 776,82	-R\$ 5.725,43
4	97,60%	1716	1486	R\$ 0,55	R\$ 811,78	-R\$ 4.913,65
5	96,80%	1702	1486	R\$ 0,57	R\$ 848,31	-R\$ 4.065,34
6	96,00%	1688	1486	R\$ 0,60	R\$ 886,48	-R\$ 3.178,86
7	95,20%	1674	1486	R\$ 0,62	R\$ 926,38	-R\$ 2.252,48
8	94,40%	1660	1486	R\$ 0,65	R\$ 968,06	-R\$ 1.284,42
9	93,60%	1646	1486	R\$ 0,68	R\$ 1.011,63	-R\$ 272,79
10	92,80%	1631	1486	R\$ 0,71	R\$ 1.057,15	R\$ 784,36
11	92,00%	1617	1486	R\$ 0,74	R\$ 1.104,72	R\$ 1.889,08
12	91,20%	1603	1486	R\$ 0,78	R\$ 1.154,43	R\$ 3.043,51
13	90,40%	1589	1486	R\$ 0,81	R\$ 1.206,38	R\$ 4.249,90
14	89,60%	1575	1486	R\$ 0,85	R\$ 1.260,67	R\$ 5.510,57
15	88,80%	1561	1486	R\$ 0,89	R\$ 1.317,40	R\$ 6.827,97
16	88,00%	1547	1486	R\$ 0,93	R\$ 1.376,68	R\$ 8.204,65
17	87,20%	1533	1486	R\$ 0,97	R\$ 1.438,63	R\$ 9.643,29
18	86,40%	1519	1486	R\$ 1,01	R\$ 1.503,37	R\$ 11.146,66
19	85,60%	1505	1486	R\$ 1,06	R\$ 1.571,02	R\$ 12.717,68
20	84,80%	1491	1486	R\$ 1,10	R\$ 1.641,72	R\$ 14.359,41
21	84,00%	1477	1486	R\$ 1,15	R\$ 1.704,68	R\$ 16.064,08
22	83,20%	1463	1486	R\$ 1,21	R\$ 1.764,42	R\$ 17.828,50
23	82,40%	1449	1486	R\$ 1,26	R\$ 1.826,09	R\$ 19.654,60
24	81,60%	1435	1486	R\$ 1,32	R\$ 1.889,74	R\$ 21.544,34
25	80,80%	1420	1486	R\$ 1,38	R\$ 1.955,42	R\$ 23.499,75

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 16: Fluxo de caixa do estudo de caso 3.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
0						-R\$ 14.826,02
1	100,00%	3516	3007	R\$ 0,48	R\$ 1.439,49	-R\$ 13.386,53
2	99,20%	3488	3007	R\$ 0,50	R\$ 1.504,27	-R\$ 11.882,26
3	98,40%	3460	3007	R\$ 0,52	R\$ 1.571,96	-R\$ 10.310,29
4	97,60%	3432	3007	R\$ 0,55	R\$ 1.642,70	-R\$ 8.667,59
5	96,80%	3404	3007	R\$ 0,57	R\$ 1.716,62	-R\$ 6.950,97
6	96,00%	3375	3007	R\$ 0,60	R\$ 1.793,87	-R\$ 5.157,10

continua...

continuação

Tabela 16: Fluxo de caixa do estudo de caso 3.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
7	95,20%	3347	3007	R\$ 0,62	R\$ 1.874,59	-R\$ 3.282,51
8	94,40%	3319	3007	R\$ 0,65	R\$ 1.958,95	-R\$ 1.323,56
9	93,60%	3291	3007	R\$ 0,68	R\$ 2.047,10	R\$ 723,55
10	92,80%	3263	3007	R\$ 0,71	R\$ 2.139,22	R\$ 2.862,77
11	92,00%	3235	3007	R\$ 0,74	R\$ 2.235,49	R\$ 5.098,26
12	91,20%	3207	3007	R\$ 0,78	R\$ 2.336,09	R\$ 7.434,34
13	90,40%	3179	3007	R\$ 0,81	R\$ 2.441,21	R\$ 9.875,55
14	89,60%	3150	3007	R\$ 0,85	R\$ 2.551,06	R\$ 12.426,62
15	88,80%	3122	3007	R\$ 0,89	R\$ 2.665,86	R\$ 15.092,48
16	88,00%	3094	3007	R\$ 0,93	R\$ 2.785,83	R\$ 17.878,31
17	87,20%	3066	3007	R\$ 0,97	R\$ 2.911,19	R\$ 20.789,49
18	86,40%	3038	3007	R\$ 1,01	R\$ 3.042,19	R\$ 23.831,68
19	85,60%	3010	3007	R\$ 1,06	R\$ 3.179,09	R\$ 27.010,77
20	84,80%	2982	3007	R\$ 1,10	R\$ 3.293,61	R\$ 30.304,39
21	84,00%	2953	3007	R\$ 1,15	R\$ 3.409,35	R\$ 33.713,74
22	83,20%	2925	3007	R\$ 1,21	R\$ 3.528,84	R\$ 37.242,58
23	82,40%	2897	3007	R\$ 1,26	R\$ 3.652,18	R\$ 40.894,77
24	81,60%	2869	3007	R\$ 1,32	R\$ 3.779,48	R\$ 44.674,24
25	80,80%	2841	3007	R\$ 1,38	R\$ 3.910,83	R\$ 48.585,08

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 17: Fluxo de caixa do estudo de caso 4.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
0						-R\$ 17.444,48
1	100,00%	4395	3978	R\$ 0,48	R\$ 1.904,28	-R\$ 15.540,20
2	99,20%	4360	3978	R\$ 0,50	R\$ 1.989,97	-R\$ 13.550,24
3	98,40%	4325	3978	R\$ 0,52	R\$ 2.079,52	-R\$ 11.470,72
4	97,60%	4290	3978	R\$ 0,55	R\$ 2.173,09	-R\$ 9.297,63
5	96,80%	4254	3978	R\$ 0,57	R\$ 2.270,88	-R\$ 7.026,74
6	96,00%	4219	3978	R\$ 0,60	R\$ 2.373,07	-R\$ 4.653,67
7	95,20%	4184	3978	R\$ 0,62	R\$ 2.479,86	-R\$ 2.173,81
8	94,40%	4149	3978	R\$ 0,65	R\$ 2.591,46	R\$ 417,65
9	93,60%	4114	3978	R\$ 0,68	R\$ 2.708,07	R\$ 3.125,72
10	92,80%	4079	3978	R\$ 0,71	R\$ 2.829,93	R\$ 5.955,65

continua...

continuação

Tabela 17: Fluxo de caixa do estudo de caso 4.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
11	92,00%	4043	3978	R\$ 0,74	R\$ 2.957,28	R\$ 8.912,94
12	91,20%	4008	3978	R\$ 0,78	R\$ 3.090,36	R\$ 12.003,30
13	90,40%	3973	3978	R\$ 0,81	R\$ 3.225,08	R\$ 15.228,38
14	89,60%	3938	3978	R\$ 0,85	R\$ 3.340,39	R\$ 18.568,77
15	88,80%	3903	3978	R\$ 0,89	R\$ 3.459,54	R\$ 22.028,30
16	88,00%	3868	3978	R\$ 0,93	R\$ 3.582,65	R\$ 25.610,95
17	87,20%	3832	3978	R\$ 0,97	R\$ 3.709,83	R\$ 29.320,78
18	86,40%	3797	3978	R\$ 1,01	R\$ 3.841,21	R\$ 33.161,99
19	85,60%	3762	3978	R\$ 1,06	R\$ 3.976,89	R\$ 37.138,88
20	84,80%	3727	3978	R\$ 1,10	R\$ 4.117,01	R\$ 41.255,90
21	84,00%	3692	3978	R\$ 1,15	R\$ 4.261,69	R\$ 45.517,59
22	83,20%	3657	3978	R\$ 1,21	R\$ 4.411,05	R\$ 49.928,64
23	82,40%	3622	3978	R\$ 1,26	R\$ 4.565,23	R\$ 54.493,87
24	81,60%	3586	3978	R\$ 1,32	R\$ 4.724,35	R\$ 59.218,22
25	80,80%	3551	3978	R\$ 1,38	R\$ 4.888,54	R\$ 64.106,76

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 18: Fluxo de caixa do estudo de caso 5.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
0						-R\$ 72.335,58
1	100,00%	21096	19597	R\$ 0,48	R\$ 9.379,97	-R\$ 62.955,61
2	99,20%	20927	19597	R\$ 0,50	R\$ 9.802,06	-R\$ 53.153,55
3	98,40%	20759	19597	R\$ 0,52	R\$ 10.243,16	-R\$ 42.910,39
4	97,60%	20590	19597	R\$ 0,55	R\$ 10.704,10	-R\$ 32.206,29
5	96,80%	20421	19597	R\$ 0,57	R\$ 11.185,78	-R\$ 21.020,51
6	96,00%	20252	19597	R\$ 0,60	R\$ 11.689,14	-R\$ 9.331,36
7	95,20%	20084	19597	R\$ 0,62	R\$ 12.215,16	R\$ 2.883,79
8	94,40%	19915	19597	R\$ 0,65	R\$ 12.764,84	R\$ 15.648,63
9	93,60%	19746	19597	R\$ 0,68	R\$ 13.339,26	R\$ 28.987,89
10	92,80%	19577	19597	R\$ 0,71	R\$ 13.925,57	R\$ 42.913,45
11	92,00%	19409	19597	R\$ 0,74	R\$ 14.426,77	R\$ 57.340,22
12	91,20%	19240	19597	R\$ 0,78	R\$ 14.944,87	R\$ 72.285,09
13	90,40%	19071	19597	R\$ 0,81	R\$ 15.480,40	R\$ 87.765,49
14	89,60%	18902	19597	R\$ 0,85	R\$ 16.033,86	R\$ 103.799,35

continua...

continuação

Tabela 18: Fluxo de caixa do estudo de caso 5.

Ano	Eficiência	Geração Média Anual (kWh)	Consumo Médio Anual (kWh)	Tarifa Anual (R\$/kWh)	Economia Anual Estimada	Fluxo de Caixa
15	88,80%	18733	19597	R\$ 0,89	R\$ 16.605,78	R\$ 120.405,13
16	88,00%	18565	19597	R\$ 0,93	R\$ 17.196,71	R\$ 137.601,84
17	87,20%	18396	19597	R\$ 0,97	R\$ 17.807,19	R\$ 155.409,03
18	86,40%	18227	19597	R\$ 1,01	R\$ 18.437,79	R\$ 173.846,82
19	85,60%	18058	19597	R\$ 1,06	R\$ 19.089,09	R\$ 192.935,91
20	84,80%	17890	19597	R\$ 1,10	R\$ 19.761,67	R\$ 212.697,58
21	84,00%	17721	19597	R\$ 1,15	R\$ 20.456,12	R\$ 233.153,70
22	83,20%	17552	19597	R\$ 1,21	R\$ 21.173,06	R\$ 254.326,77
23	82,40%	17383	19597	R\$ 1,26	R\$ 21.913,10	R\$ 276.239,87
24	81,60%	17215	19597	R\$ 1,32	R\$ 22.676,87	R\$ 298.916,74
25	80,80%	17046	19597	R\$ 1,38	R\$ 23.465,00	R\$ 322.381,74

Fonte: Próprio Autor.

Por meio das tabelas apresentadas acima, é possível identificar o sistema fotovoltaico que apresenta o retorno do investimento inicial (*payback*) mais rápido e o sistema com maior ganho total. Entretanto, para uma melhor visualização e comparação, as informações de cada sistema foram organizadas de forma mais simplificada na Tabela 19, que apresenta também o resultado da TIR de cada sistema e a TMA adotada como referência neste trabalho. As taxas internas de retorno (TIR) foram calculadas com o auxílio do *software* Excel.

Tabela 19: Viabilidade econômica de cada sistema fotovoltaico.

Estudo de Caso	Consumo Médio Mensal Considerando a Taxa Mínima (kWh)	<i>Payback</i>	Ganho Total do Sistema Fotovoltaico	TIR	TMA
1	12,69	-	-	-	9,15%
2	123,85	10 anos	R\$ 23.499,75	12%	9,15%
3	250,62	9 anos	R\$ 48.585,08	13%	9,15%
4	331,54	8 anos	R\$ 64.106,76	14%	9,15%
5	1633,08	7 anos	R\$ 322.381,74	16%	9,15%

Fonte: Próprio Autor.

Dessa forma, verifica-se que o sistema fotovoltaico que apresenta o melhor *payback*, o maior ganho total e, também, a melhor TIR é o sistema do estudo de

caso 5, que é a propriedade que tem o maior consumo de energia elétrica dentre as estudadas.

Além disso, conforme os dados da Tabela 19, percebe-se que o *payback*, o ganho total do sistema e a TIR se tornam melhores à medida que o consumo de energia elétrica aumenta. Assim sendo, pode-se constatar que há sim uma relação entre a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos e o consumo de energia de uma propriedade rural; sendo que quanto maior o consumo de energia elétrica de uma propriedade, mais rápido é o retorno do capital investido, maior é o ganho total com o sistema fotovoltaico e melhor é a taxa interna de retorno do investimento.

Entretanto, embora o caso 5 tenha apresentado a melhor viabilidade econômica dentre os demais, os outros casos estudados, com exceção do estudo de caso 1, também apresentaram sistemas viáveis economicamente. Isso porque, quando o *payback* dos sistemas é comparado com o tempo de vida útil dos painéis (25 anos), o tempo de retorno dos investimentos torna-se satisfatório; além de que a TIR calculada para os sistemas foi maior que a TMA adotada como referência neste trabalho, indicando que os investimentos são economicamente atraentes.

O estudo de caso 1 foi o único sistema que não apresentou retorno do capital investido e, por consequência, nenhum ganho com o sistema e nenhuma taxa interna de retorno. Isso pode ser explicado pelo fato da propriedade em questão ter um consumo de energia elétrica muito baixo.

Devido a este fato, a potência de pico calculada para o sistema fotovoltaico desta propriedade foi, também, muito baixa. Dessa forma, tendo em vista que a menor potência de pico disponível nos kits com módulos de 325 Wp era muito maior que a potência de pico calculada, o sistema fotovoltaico deste estudo de caso ficou superdimensionado. Nas demais propriedades, apesar dos kits também apresentarem maior potência de pico do que a calculada, essa diferença não foi tão significativa como no estudo de caso 1. Isso explica o fato da geração de energia elétrica anual do sistema fotovoltaico desta propriedade ter sido muito maior que o consumo de energia da mesma, não sendo inferior em momento algum, como pode ser visualizado na Tabela 14.

De posse dos resultados obtidos e discutidos, são apresentadas, no próximo capítulo, as conclusões desta monografia.

## 5 CONCLUSÃO

A partir deste trabalho, conclui-se que quanto maior o consumo de energia elétrica de uma propriedade rural, mais rápido é o retorno do capital investido, maior é o ganho ao final da vida útil do sistema fotovoltaico e melhor é a taxa interna de retorno do investimento. Dessa forma, pode-se dizer que quanto maior a demanda de energia elétrica de uma propriedade rural, mais viável economicamente é a instalação de um sistema fotovoltaico.

Conclui-se também que, mesmo com tarifas de energia elétrica menores para a classe rural, a instalação de sistemas fotovoltaicos em propriedades rurais, ainda sim, pode ser viável economicamente. Entretanto, para propriedades que possuem um consumo de energia elétrica muito baixo, pode não se justificar o uso da energia solar fotovoltaica. Assim sendo, deve sempre ser feita uma análise de viabilidade econômica, a fim de se verificar se o investimento compensará economicamente ou não.

Além disso, verifica-se que, apesar do governo reduzir alguns impostos na compra de determinados equipamentos voltados para a energia solar fotovoltaica, os mesmos ainda apresentam valores relativamente altos, o que torna maior o tempo de retorno do investimento.

Porém, espera-se que, à medida que os sistemas fotovoltaicos forem se consolidando no mercado nacional, os custos dos equipamentos se tornem cada vez mais acessíveis à população. Somando essa diminuição nos custos com o aumento constante do preço da energia elétrica, acredita-se que ocorrerá uma considerável diminuição no tempo de retorno dos investimentos, tornando a energia solar fotovoltaica ainda mais atrativa.

### 5.1 Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, cita-se as seguintes possibilidades:

- Relacionar a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos com o consumo de energia elétrica utilizando casos não reais, a fim de se obter uma diferença mais linear entre os consumos;

- Analisar a relação entre a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos e o consumo de energia elétrica em outros cenários, como: residências urbanas, comércios e indústrias;
- Desenvolver um *software* que relacione a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos com o consumo de energia elétrica nas propriedades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. **Geração distribuída**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 456**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 57 p. 2000.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 12 p. 2012.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 687**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 25 p. 2015.
- ASTRA SOLAR. **Posso zerar minha conta de energia?**. Disponível em: <<http://astrasolar.com.br/conta-de-energia/zerar-conta-de-energia/>>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico das taxas de juros**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.
- BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; FILHO, L. R. A. G. **Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil**. ANAP Brasil, v. 8, n. 12, p. 57-66, 2015.
- CALDAS, Helder Henri Silva e; MOISÉS, Antonio Luis Silva. **Geração fotovoltaica distribuída: estudo de caso para consumidores residenciais de Salvador-BA**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5, n. 1, 2016.
- CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011.
- CÂNDIDO, D. B. **Desenvolvimento de Sistemas Estáticos Distribuídos – “Multi String”, para Aplicação em Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2010. 149 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul. 2010.
- CARTA CAPITAL. **Por que a energia solar não deslança no Brasil**. Disponível em: <<https://www.cartacapital.com.br/blogs/outras-palavras/por-que-a-energia-solar-nao-deslanca-no-brasil-3402.html>>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.
- CECHINEL, Aurélio; YOSHIDA, Douglas Iha; SÁ, João Daniel. **Estudo da viabilidade econômica da implantação de células fotovoltaicas para iluminação a LED da estufa do Jardim Botânico de Curitiba**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

COOPER, Ellison; JUNIOR, Martins; MORALLES, W. **Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências**. Trabalho de Conclusão de Curso, Setor de Tecnologia–Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

CRESESB. **Tutorial de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutorial\\_solar](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutorial_solar)>. Acesso em: 28 de agosto de 2017.

CRESPI, Mariane Hartmann. **Análise energética e de custo do potencial fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica do complexo aeroportuário de Joinville**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina.

CUNHA, José Luiz De Paula Alves da. **Eletrificação de edificações rurais isoladas utilizando energia solar fotovoltaica**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Lavras.

FAPESP. **Déficit de chuvas no Brasil vem aumentando nas últimas décadas**. Disponível em: <[http://agencia.fapesp.br/deficit\\_de\\_chuvas\\_no\\_brasil\\_vem\\_aumentando\\_nas\\_ultimas\\_decadas/21532/](http://agencia.fapesp.br/deficit_de_chuvas_no_brasil_vem_aumentando_nas_ultimas_decadas/21532/)>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

FERRAZ, C. **O avanço da energia solar fotovoltaica no Brasil - boas ou más notícias?**. Grupo de Economia da Energia. Rio de Janeiro, 2016.

FERREIRA, R. M. **Estudo de viabilidade econômica para implantação de geração fotovoltaica em escola municipal de Abaeté/MG**. 2016. 73 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG. Formiga, 2016.

FIGUEIRA, Fabio Fernandes. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para Alimentar a Sala de Computação da Escola Municipal Tenente Antônio João**. Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2014.

G1. **Aneel anuncia bandeira vermelha e taxa extra de R\$ 3,50 nas contas de luz em outubro**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/aneel-anuncia-bandeira-vermelha-e-taxa-extra-de-r-350-nas-contas-de-luz-em-outubro.ghtml>>. Acesso em: 12 de outubro de 2017.

GBC BRASIL. **Setor fotovoltaico: alternativa para um Brasil em crise**. Disponível em: <<http://carolinamagno.com.br/energia-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29 de agosto de 2017.

INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar ganha nova edição após dez anos.** Disponível em: <<http://www.inpe.br/informativo/08/nota03>>. Acesso em: 28 de agosto de 2017.

JINKO SOLAR. **Datasheet.** Disponível em: <<https://www.jinkosolar.com/ftp/1500V%20EN-MKT-330PP-72-V.pdf>>. Acesso em: 26 de setembro de 2017.

JRUBENS. **Tarifas CEMIG.** Disponível em: <[http://www.jrubens.eng.br/download/tarifas\\_cemig.pdf](http://www.jrubens.eng.br/download/tarifas_cemig.pdf)>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

JÚNIOR, Emerson Shinji Ikuta; GOYA, Fernando Takeo. **Estudo da viabilidade técnico-econômica de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em diferentes cenários de geração.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MARTINS, F. C. **Análise de viabilidade econômica e dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede: estudo de caso.** 2016. 82 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG. Formiga, 2016.

MELO, N. R. **Dimensionamento e simulação de uma microrrede em um condomínio residencial utilizando geração eólica e solar.** 2016. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG. Formiga, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar.** Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030)>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia solar no Brasil e mundo.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c?version=1.3>>. Acesso em: 29 de agosto de 2017.

MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede.** Projeto de Graduação—UFRJ/Escola Politécnica/Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas.** 2017.

NUNES, Otacilio José de Macêdo. **Estudo da viabilidade da eletrificação alternativa de uma unidade de consumo residencial de Fortaleza-CE a partir de um sistema fotovoltaico.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual do Ceará.

O ECONOMISTA. **Crise hídrica afeta distribuição de água e energia elétrica no país.** Disponível em: <<https://www.oeconomista.com.br/crise-hidrica-afeta-distribuicao-de-agua-e-energia-eletrica-no-pais/>>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

O GLOBO. **Governo prevê que consumo de energia vai triplicar até 2050.** Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/governo-preve-que-consumo-de-energia-vai-triplicar-ate-2050-14555167>>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

O SETOR ELÉTRICO. **Segurança e confiabilidade em sistemas fotovoltaicos.** Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/seguranca-e-confiabilidade-em-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 05 de setembro de 2017.

PHB. **A PHB Solar.** Disponível em: <<http://www.phb.com.br/solar.aspx>>. Acesso em: 25 de setembro de 2017.

PHB. **Tabela de preços kits PBH.** Disponível em: <<http://www.phb.com.br/downloads/Tabelapre%C3%A7osKitsPHBTELHADO-OUTUBRO2017V1JINKO325W.pdf>>. Acesso em: 04 de outubro de 2017.

PORTAL BRASIL. **Brasil registrou mais de 3,5 mil conexões de energia em 2016.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/07/brasil-registrou-mais-de-3-5-mil-conexoes-de-energia-em-2016>>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

PORTAL BRASIL. **Potencial hidrelétrico brasileiro está entre os cinco maiores do mundo.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/potencial-hidreletrico-brasileiro-esta-entre-os-cinco-maiores-do-mundo>>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

PORTAL SOLAR. **Energia solar fotovoltaica.** Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br>>. Acesso em: 28 de agosto de 2017.

PORTO SOLAR BRASIL. **A Porto Solar Brasil.** Disponível em: <<https://www.portosolarbrasil.com.br/quem-somos>>. Acesso em: 02 de outubro de 2017.

PVTECH. **How did JinkoSolar surpass market leader Trina Solar in 2016?.** Disponível em: <<https://www.pv-tech.org/editors-blog/how-did-jinkosolar-surpass-market-leader-trina-solar-in-2016>>. Acesso em: 27 de setembro de 2017.

REAL SOLAR. **Os sistemas.** Disponível em: <<http://real-solar.com/como-funciona.php>>. Acesso em: 13 de setembro de 2017.

REIS, Fernando Soares dos; JUNIOR, Vanderlei Amaral Vieira. **Estudo da gestão de ilhamento em sistemas fotovoltaicos – métodos ativos.** 2014. Seminário Interno de Avaliação da Iniciação Científica. Faculdade de Engenharia, PUCRS, Departamento de Engenharia Elétrica. 2014.

REIS, G. L.; SILVA, R. M.; MATA, P. C. A.; SILVA, W. W. A. G.; MARTINS, A. L. N.; ALMEIDA, J. E. L.; SOUZA, C. V. **Comparative analysis of power quality in commercial inverters applied to photovoltaic systems**. In: Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), 2015 IEEE 13th Brazilian. IEEE, 2015. p. 1-8.

SANTANA, Felipe Souza. **Projeto de um sistema de geração fotovoltaica para a UFRJ**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SIQUEIRA, Lucas Matias de. **Estudo do dimensionamento e da viabilidade econômica de microgerador solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora.

SOL CENTRAL. **Inversores Fronius**. Disponível em: <<http://www.solcentral.com.br/produtos/inversores/inversores-fronius/#more-508>>. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

SUN ENERGY. **Funcionamento da energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.sunenergy.eco.br/funcionamento.php?menu=funcionamento>>. Acesso em: 06 de setembro de 2017.

TOYAMA, Alain Heizo; JUNIOR, Natalino das Neves; ALMEIDA, Nelson Geraldo de. **Estudo de viabilidade econômica da implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia para diferentes regiões no estado do Paraná**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VANNI, Silvia Regina. **Estudo de viabilidade econômica de fontes alternativas de energia de uma comunidade típica da região Nordeste do Brasil**. 2008. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - autarquia associada à Universidade de São Paulo.