

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**RAÍSA MICAELLE FERREIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO**  
**FOTOVOLTAICA EM ESCOLA MUNICIPAL DE ABAETÉ/MG**

**FORMIGA - MG**

**2016**

**RAÍSA MICAELLE FERREIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA EM ESCOLA MUNICIPAL DE ABAETÉ/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Msc. Rafael Vinicius Tayette da Nobrega.

**FORMIGA - MG**

**2016**



**RAÍSA MICAELLE FERREIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA EM ESCOLA MUNICIPAL DE ABAETÉ/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

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

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. MSc. Rafael Vinicius Tayette da Nobrega

---

Prof. MSc. Ana Paula Lima dos Santos

---

Prof. MSc. Gustavo Lobato Campos

Formiga/MG, 01 de dezembro de 2016.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pois Ele tornou possível essa conquista em minha vida.

Agradeço aos meus pais, Edna e Everaldo, e meus irmãos, Jorge e Bernardo, que sempre me apoiaram incondicionalmente ao longo de toda a minha graduação e principalmente nas fases difíceis dela.

Ao Prof.<sup>o</sup> Rafael Vinicius Tayette da Nobrega por toda a orientação, apoio e dedicação ao longo desse trabalho. Aos Prof.<sup>o</sup> Gustavo Lobato Campos e Prof.<sup>a</sup> Ana Paula Lima dos Santos por aceitarem o convite de fazerem parte da minha banca examinadora.

Aos vários amigos que fiz durante a faculdade, pelo companheirismo, ajuda, suporte e incontáveis noites de estudo.

*“História, nossas histórias  
Dias de luta, dias de glória”*

*(Charlie Brown Jr)*

## RESUMO

A diminuição nos níveis de chuva tem afetado a geração de energia elétrica por meio de hidrelétricas, as quais são responsáveis pela maior participação na matriz energética brasileira. Além do mais, mesmo com o avanço das tecnologias, ainda existem milhares de famílias sem acesso à energia elétrica. Contudo, tem-se um cenário propício para o desenvolvimento de sistemas de geração elétrica utilizando fontes renováveis, como a energia solar. Somando-se ao fato da Resolução Normativa nº 687 da ANEEL de 2015 que regulamentou a micro e a mini geração distribuída no Brasil, escolheu-se a realização de estudos de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. A Unidade Consumidora escolhida para a implementação do estudo foi a Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes, localizada na cidade de Abaeté, Minas Gerais. Primeiramente desenvolveu-se o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos e, posteriormente, realizou-se um estudo de viabilidade econômica, levando em conta diferentes cenários econômicos, a fim de obter resultados mais próximos da realidade. Com a realização do estudo, observou-se que três sistemas fotovoltaicos apresentaram excelente tempo de retorno de investimento (*payback*) entre 7 e 8 anos, esses são valores considerados satisfatórios, quando comparado ao tempo de vida útil de um painel fotovoltaico, que é de 25 anos em média. Além de reduzir possíveis custos à Unidade Consumidora, os sistemas fotovoltaicos como fonte de energia renovável, promovem benefícios inestimáveis ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Energia renovável, Energia Solar, Viabilidade Econômica, Sistema Fotovoltaico, Geração Fotovoltaica.

## ABSTRACT

The decrease in rainfall levels has affected the generation of electricity through hydroelectric plants, which are responsible for the greater participation in the Brazilian energy matrix. Moreover, even with the advancement of technologies, there are still thousands of families without access to electricity. However, there is a favorable scenario for the development of electricity generation systems using renewable sources, such as solar energy. In addition to ANEEL's Regulatory Resolution 687 of 2015 regulating the micro and the mini-generation distributed in Brazil, it was decided to carry out economic feasibility studies of photovoltaic systems connected to the electric grid. The Consumer Unit chosen for the implementation of the study was the Irmã Maria de Lourdes Municipal School, located in the city of Abaeté, Minas Gerais. Firstly, the design of photovoltaic systems was developed and, subsequently, an economic feasibility study was carried out, taking into account different economic scenarios, in order to obtain results that are closer to reality. With the realization of the study, it was observed that three photovoltaic systems presented an optimum payback time between 7 and 8 years, which are considered satisfactory values when compared to the useful life of a photovoltaic panel, which is 25 years on average. In addition to reducing potential costs to the Consumer Unit, photovoltaic systems as a source of renewable energy, provide invaluable benefits to the environment.

**Keywords:** Renewable Energy, Solar Energy, Economic Viability, Photovoltaic System, Photovoltaic Generation.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	14
1.1.	Problema.....	15
1.2.	Justificativa.....	16
1.3.	Hipótese.....	16
1.4.	Objetivo Geral .....	17
1.5.	Objetivos Específicos .....	17
1.6.	Estrutura do Trabalho .....	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
2.1.	Energia Solar .....	19
2.2.	Efeito Fotovoltaico .....	20
2.3.	Células Fotovoltaicas .....	21
2.3.1.	Tipos de células fotovoltaicas .....	22
2.4.	Inversores .....	25
2.5.	Sistemas fotovoltaicos.....	26
2.5.1.	Sistemas <i>off-grid</i> .....	26
2.5.2.	Sistemas <i>on-grid</i> .....	28
2.6.	Regulamentação .....	29
2.6.1.	Resolução Normativa da ANEEL – REN n° 482.....	29
2.6.2.	Resolução Normativa da ANEEL – REN n° 687.....	30
3.	METODOLOGIA DESENVOLVIDA .....	32
3.1.	Apresentação da Unidade Consumidora .....	32
3.2.	Análise da Fatura da Unidade Consumidora .....	33
3.3.	Dados de Radiação Solar de Abaeté/MG .....	34
3.4.	Levantamento da Área de Cobertura da Unidade Consumidora .....	35
3.5.	Desenvolvimento do Projeto Fotovoltaico .....	36
3.5.1.	Primeiro Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos .....	37
3.5.2.	Primeiro Dimensionamento do Inversor no Sistema <i>on-grid</i> .....	43
3.5.3.	Segundo Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico .....	46
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	50
4.1.	Estimativa de Custos do Segundo Sistema Fotovoltaico.....	50
4.2.	Análise de Casos Distintos .....	52
4.2.1.	Discussão dos casos viáveis economicamente .....	55
4.3.	Análise de geração de energia excedente para os casos 1, 6 e 8 .....	56
5.	CONCLUSÃO .....	61
6.	TRABALHOS FUTUROS.....	63

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
ANEXO A – FATURAS DA UNIDADE CONSUMIDORA .....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Tipo de Fonte, em 2015. ....	14
Figura 2 - Representação esquemática do efeito fotovoltaico em uma célula. ....	21
Figura 3 - Estrutura de uma célula fotovoltaica. ....	21
Figura 4 - Célula de Silício MonoCristalina. ....	23
Figura 5 - Célula de Silício Policristalina. ....	24
Figura 6 - Célula de Silício Amorfo. ....	24
Figura 7 - Postes de iluminação autônomos alimentados por módulos fotovoltaicos. ....	26
Figura 8 - Kit de energia solar fotovoltaica para irrigação. ....	27
Figura 9 - Componentes de um sistema fotovoltaico off-grid típico. ....	27
Figura 10 - Composição do sistema fotovoltaico on-grid. ....	29
Figura 11 - Mapa de Abaeté - Minas Gerais. ....	32
Figura 12 - Mapa de Radiação Solar Média Diária do Minas Gerais. ....	34
Figura 13 - Detalhe da cobertura do consumidor. ....	36
Figura 14 - Representação esquemática do sistema fotovoltaico conectado à rede. ....	55
Figura 15 - Conta de energia elétrica do Padrão 1 da Unidade Consumidora: Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes na cidade de Abaeté/MG. ....	69
Figura 16 - Conta de energia elétrica do Padrão 2 da Unidade Consumidora: Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes na cidade de Abaeté/MG. ....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas. ....	22
Tabela 2 - Consumo de energia Padrão 1+2. ....	33
Tabela 3 - Dados de Irradiação Solar no plano inclinado segundo a estação de Pompéu MG. ....	35
Tabela 4 - Modelos de painéis fotovoltaicos e suas características.....	37
Tabela 5 - Áreas adotadas para realização dos cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico. ..	38
Tabela 6 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A <sub>1</sub> (20m <sup>2</sup> ). ....	39
Tabela 7 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A <sub>2</sub> (50m <sup>2</sup> ). ....	39
Tabela 8 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A <sub>3</sub> (100m <sup>2</sup> ). ....	40
Tabela 9 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A <sub>4</sub> (200m <sup>2</sup> ). ....	40
Tabela 10 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A <sub>5</sub> (500m <sup>2</sup> ). ....	40
Tabela 11 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A <sub>1</sub> (20m <sup>2</sup> ). ....	41
Tabela 12 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A <sub>2</sub> (50m <sup>2</sup> ). ....	41
Tabela 13 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A <sub>3</sub> (100m <sup>2</sup> ). ....	42
Tabela 14 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A <sub>4</sub> (200m <sup>2</sup> ). ....	42
Tabela 15 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A <sub>5</sub> (500m <sup>2</sup> ). ....	42
Tabela 16 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área A <sub>1</sub> (20m <sup>2</sup> ). ....	44
Tabela 17 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área A <sub>2</sub> (50m <sup>2</sup> ). ....	44
Tabela 18 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área A <sub>3</sub> (100m <sup>2</sup> ). ..	44
Tabela 19 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área A <sub>4</sub> (200m <sup>2</sup> ). ..	45
Tabela 20 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área A <sub>5</sub> (500m <sup>2</sup> ). ..	45
Tabela 21 - Determinação da quantidade de módulos fotovoltaicos.....	47
Tabela 22 - Área a ser instalada o sistema fotovoltaico. ....	48
Tabela 23 - Energia estimada gerada pelo sistema fotovoltaico. ....	48
Tabela 24 - Valor dos módulos fotovoltaicos. ....	50
Tabela 25 - Valor dos inversores solar on-grid. ....	51
Tabela 26 - Levantamento de valores de serviços e mão de obra, dados em porcentagem em relação ao valor do sistema: painéis e inversores. ....	51
Tabela 27 - Custos de implantação para os casos 1, 2, 3 e 4.....	52
Tabela 28 - Custos de implantação para os casos 5, 6, 7 e 8.....	53
Tabela 29 - Valor da energia gerada durante o ano.....	54
Tabela 30 - Payback simples do sistema fotovoltaico.....	54
Tabela 31 - Orçamentos para os sistemas fotovoltaicos dos Casos 1, 6 e 8 aplicados a uma área de 100m <sup>2</sup> . .....	56

Tabela 32 - Orçamento para os sistemas fotovoltaicos dos Casos 1, 6 e 8 aplicados a uma área de 200m <sup>2</sup> . .....	57
Tabela 33 - Orçamento para os sistemas fotovoltaicos dos Casos 1, 6 e 8 aplicados a uma área de 500m <sup>2</sup> . .....	57
Tabela 34 - Energia gerada estimada para as áreas de 100, 200 e 500 m <sup>2</sup> . .....	58
Tabela 35 - Energia gerada em excesso para uma área de 100 m <sup>2</sup> . .....	58
Tabela 36 - Energia gerada em excesso para uma área de 200 m <sup>2</sup> . .....	58
Tabela 37 - Energia gerada em excesso para uma área de 500 m <sup>2</sup> . .....	58
Tabela 38 - Valor da energia gerada durante o ano para uma área de 100 m <sup>2</sup> . .....	59
Tabela 39 - Valor da energia gerada durante o ano para uma área de 200 m <sup>2</sup> . .....	59
Tabela 40 - Valor da energia gerada durante o ano para uma área de 500 m <sup>2</sup> . .....	59
Tabela 41 - Payback simples para as áreas de 100, 200 e 500 m <sup>2</sup> . .....	59
Tabela 42 - Viabilidade econômica para três sistemas fotovoltaicos com perdas.....	63

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia elétrica é um fator determinante para o desenvolvimento econômico e social de um país. O setor elétrico deve promover o desenvolvimento tecnológico que possibilita atingir maior qualidade e eficiência tanto na produção quanto na aplicação dos recursos energéticos e se preocupar em aumentar o número de pessoas com acesso às fontes de energia mais eficientes (ANEEL, 2005).

O Brasil é um país com aproximadamente 206 milhões de habitantes (IBGE,2016), e aproximadamente 190 mil famílias ainda vivem sem energia elétrica, sendo que a maioria dessas famílias reside na zona rural (EXAME, 2016).

A matriz energética do Brasil, apresentada na Figura 1, possui origem majoritariamente renovável, com destaque para geração hidráulica que representa cerca de 64,0% da oferta interna. As fontes renováveis representam aproximadamente 75,5% da oferta interna de eletricidade no Brasil, resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que possuem basicamente origem renovável (EPE, 2016).

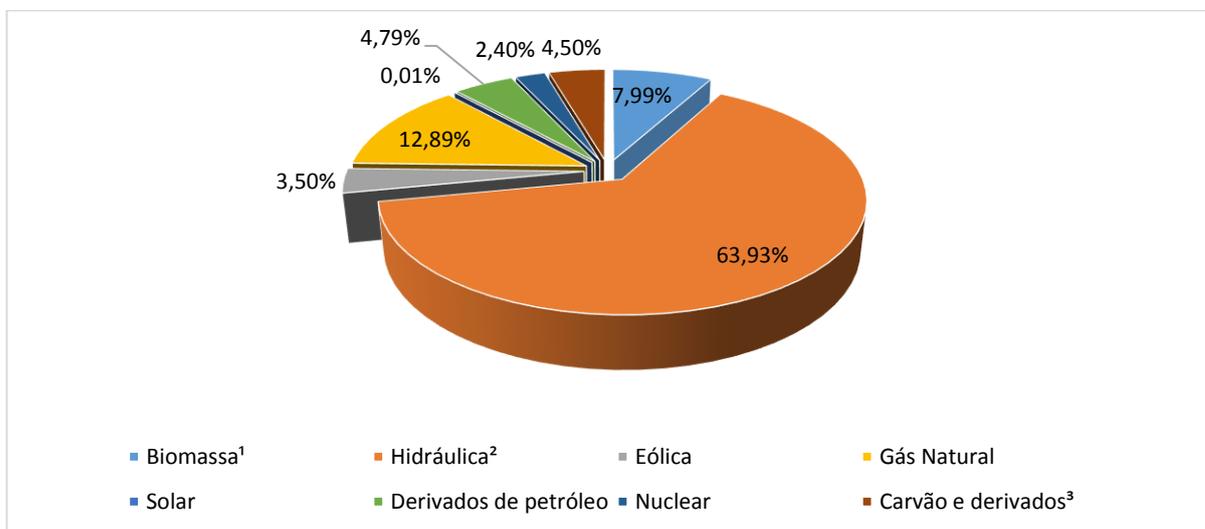


Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Tipo de Fonte, em 2015.

Fonte: (adaptado EPE, 2016).

Com o crescente aumento da quantidade de aparelhos eletroeletrônicos, número de casas com energia elétrica, equipamentos com maior consumo de energia e outros, houve um crescimento na demanda de energia elétrica. Somado a isso, a falta de investimentos no setor

<sup>1</sup> inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações. <sup>2</sup> inclui importação de eletricidade. <sup>3</sup> inclui gás de coqueria.

hidrelétrico, associado às questões ambientais, como os efeitos causados pelas alterações climáticas, o aumento das exigências feitas pelos órgãos regulamentadores ambientais limitando o surgimento de novas hidrelétricas, tem-se um cenário ideal para uma crise energética (CECHINEL; YOSHIBA; SÁ, 2014).

A crise energética e a necessidade de expansão e diversificação da matriz energética nacional colaboram para o aumento da utilização de tecnologias limpas e renováveis, como a energia solar fotovoltaica, que é uma forma de geração de energia capaz de suprir, com inúmeras vantagens sobre as formas tradicionais de geração, determinadas necessidades.

Dessa forma, o Brasil que é um país tropical, apresenta um grande nível de radiação solar durante todo o ano. A utilização desse recurso acarreta diversos benefícios a longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde não há eletricidade, diminuindo a dependência do mercado de petróleo, além de reduzir a emissão de gases poluentes (INPE, 2006).

Em 2015, o Ministério de Minas e Energia, lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), com a intenção de ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis de energia, em especial a solar fotovoltaica. Com o programa espera-se que até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter sua própria energia gerada, resultando em 23.500 MW de energia limpa e renovável, equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu (MME, 2015).

De acordo com ANEEL, de janeiro a março de 2016, foram registradas 3.565 novas conexões de geração distribuída, sendo que 3.494 dessas foram conexões de energia solar fotovoltaica. E em termos de capacidade instalada, a energia solar gerada pelas 3.494 conexões representa 24,1 MW, cerca de 80% da nova capacidade total instalada (BRASIL, 2016).

## **1.1. Problema**

Mesmo nos dias atuais, com o aumento de tecnologias, ainda existem milhares de pessoas sem acesso à energia elétrica. Segundo dados do IBGE, 1,5% dos brasileiros não têm energia elétrica em casa, ou seja, cerca de 2,7 milhões de pessoas. Somente 170 das 5.561 cidades brasileiras têm fornecimento de energia elétrica em todas as casas. Nos demais municípios, uma parcela da população ainda vive no escuro (EXAME, 2015). Com isso, tem-se um cenário

propício para a proposição e desenvolvimento de sistemas de geração elétrica utilizando fontes renováveis, como a energia solar.

## **1.2. Justificativa**

A escassez de chuva tem levado o Brasil a uma situação difícil, já que a crise hídrica vivida atualmente pelo país acarreta em consequências socioeconômicas importantes, prejudicando o abastecimento de água das cidades e da zona rural.

A crise hídrica também está ligada diretamente à crise energética, acarretando dificuldades na geração de energia elétrica, cuja maior parcela geradora é a hidrelétrica. Historicamente, o país optou por construir usinas hidrelétricas, como uma forma de aproveitar seu grande recurso hídrico. Em 2015, por exemplo, cerca de 64% de total da eletricidade gerada no Brasil veio de hidrelétricas (EPE, 2016).

Uma das alternativas para diminuir a dependência da geração hidrelétrica é a utilização de fontes de energia renovável, como a geração fotovoltaica. Além do mais, a implementação de sistemas fotovoltaicos pode aumentar os benefícios ao promover econômica ao consumidor a partir do sistema de compensação de energia proposto na Resolução Normativa da ANEEL nº 687 de 2015 (ANEEL, 2015).

Com isso, durante o estágio realizado na Prefeitura Municipal de Abaeté/MG, no período de dezembro de 2015 a fevereiro de 2016, notou-se a necessidade de propor um projeto de sistema fotovoltaico como geração de energia elétrica na Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes, bem como realizar um estudo de viabilidade econômica para implantação do sistema proposto.

## **1.3. Hipótese**

A questão energética é hoje uma preocupação mundial, pois com as alterações climáticas e o aquecimento global, aumentou-se as discussões sobre a otimização do uso de recursos naturais e a utilização cada vez maior de fontes de energia renováveis, com baixa emissividade gases do efeito estufa e que causam menores impactos ao meio ambiente. Como forma de contribuir com o desenvolvimento de sistemas com tecnologias renováveis, neste trabalho dimensionou-se sistemas de geração solar em uma Escola Municipal, bem como desenvolveu-se o estudo de viabilidade econômica desses sistemas propostos.

#### **1.4. Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um estudo de viabilidade econômica no uso de fontes renováveis de energia, com ênfase na energia solar fotovoltaica como sistema de geração de energia elétrica, e implementá-lo para a Unidade Consumidora denominada Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes, localizada na cidade de Abaeté, Minas Gerais. Para o desenvolvimento do projeto, considerou-se um balanço energético nulo, ou seja, toda energia produzida via sistema fotovoltaico é consumida pela Unidade.

#### **1.5. Objetivos Específicos**

Nesta parte da monografia são apresentados os objetivos específicos:

- Realizar o levantamento bibliográfico relacionado ao sistema fotovoltaico;
- Realizar um estudo sobre normas, regulamentação que regem a instalação de um sistema fotovoltaico;
- Analisar a fatura da Unidade Consumidora para dimensionar o melhor sistema fotovoltaico a ser instalado;
- Elaborar um projeto preliminar para a instalação do sistema fotovoltaico *on-grid*;
- Realizar um levantamento de dados técnicos dos painéis fotovoltaicos;
- Realizar um estudo para levantar os custos de um sistema fotovoltaico *on-grid* completo;
- Desenvolver um estudo de viabilidade econômica para a implantação do sistema fotovoltaico proposto neste trabalho;
- Viabilizar a implantação desse sistema fotovoltaico junto a Unidade Consumidora, incentivando assim, a utilização dessa fonte energética renovável.

#### **1.6. Estrutura do Trabalho**

Este trabalho de conclusão de curso encontra-se organizado em sete capítulos, sendo que o Capítulo 2 apresenta os conceitos teóricos necessários para a compreensão da monografia. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. No Capítulo 4 são apresentados os resultados, bem como discussões pertinentes aos sistemas dimensionados.

As conclusões são apresentadas no Capítulo 5. No Capítulo 6 são apresentados os possíveis trabalhos futuros, utilizando essa monografia como base. E por fim, as referências bibliográficas são apresentadas no Capítulo 7.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos necessários para a compreensão do trabalho proposto. Os conceitos são referentes a energia solar fotovoltaica, bem como a sua implementação em um sistema fotovoltaico completo. Além do mais, são apresentados também, definições e normas que regulamentam os sistemas fotovoltaicos no Brasil.

### **2.1. Energia Solar**

A energia, nas suas mais diversas formas, é fundamental à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou constantemente evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Portanto, a exaustão ou a ausência de um dado recurso tendem a ser compensadas pela emergência dos pares. Em termos de fornecimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso imprescindível para o desenvolvimento socioeconômico (ANEEL, 2005).

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, cuja fonte é inesgotável a curto intervalo de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje um dos caminhos mais prometedores para gerar a energia necessária ao desenvolvimento humano. Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra, ou seja, as fontes de energia são derivadas, em sua maioria, da energia do Sol (PINHO; GALDINHO, 2014).

Desde a Antiguidade, a energia solar é uma fonte de energia utilizada no planejamento agrícola e arquitetônico. Em sua forma natural (passiva), pode ser utilizada para produção de alimentos e na arquitetura. Já na sua forma ativa, com o auxílio de diversas tecnologias pode-se aproveitar a radiação na forma de calor ou eletricidade, podendo ser aplicados no aquecimento e resfriamento de água e de ambientes; na iluminação artificial; no cozimento ao sol; no funcionamento de equipamentos diversos, entre outros (REBOLLAR; RODRIGUES, 2011).

O uso do Sol como fonte direta para a produção de eletricidade é relativamente recente, datando de meados do século passado. Com esta finalidade, distinguem-se duas tecnologias de geração: a fotovoltaica e a heliotérmica (REBOLLAR; RODRIGUES, 2011). A energia solar térmica ou heliotérmica converte o calor da luz do sol em energia elétrica. É utilizada para

aquecimento de água, nos aquecedores solares ou na produção de vapor que pode então ser usado para gerar energia elétrica utilizando turbinas. Já a energia fotovoltaica converte a luz solar diretamente em eletricidade usando células fotovoltaicas.

Na próxima seção é apresentado o efeito fotovoltaico, o grande responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica.

## 2.2. Efeito Fotovoltaico

Observado inicialmente por Heinrich Hertz em 1887, o efeito fotovoltaico também conhecido como fotoelétrico, consiste na emissão de elétrons devido a incidência de luz sobre uma superfície. Os elétrons absorvem a energia contida na luz adquirindo assim, energia suficiente para serem ejetados da superfície do material (YOUNG, 2009).

O efeito fotovoltaico acontece em materiais semicondutores, que são materiais que conduzem eletricidade de maneira mais eficaz que os isolantes e menos que os condutores (BRAGA, 2008). Além disso, esse material é caracterizado por apresentar uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons, uma banda de condução “vazia”, ou seja, sem elétrons, na temperatura de 0 K. Entre essas duas bandas de energia existe uma separação denominada banda proibida ou *gap* (PINHO; GALDINHO, 2014). A existência dessas bandas de energia fornece uma característica importante aos semicondutores, uma vez que eles aumentam sua condutividade com o aumento da temperatura proporcionado pela excitação térmica de elétrons da banda de valência para a banda de condução (PINHO; GALDINHO, 2014).

Entre os semicondutores mais usados para aplicações fotovoltaicas está o silício (Si), devido suas características atômicas e abundância na crosta terrestre. O silício pode ser utilizado de forma intrínseca (pura) ou extrínseca (tipo P ou tipo N) (TOLMASQUIM, 2016) no desenvolvimento de dispositivos semicondutores.

Se uma junção semicondutora PN for exposta a fótons com energia maior que o *gap*, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna, se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando, assim, uma corrente através da junção, este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial a qual é chamada de efeito fotovoltaico. Se as duas extremidades da junção de silício forem conectadas por um condutor, haverá circulação de elétrons, conforme representação esquemática na Figura 2 (TOLMASQUIM, 2016).

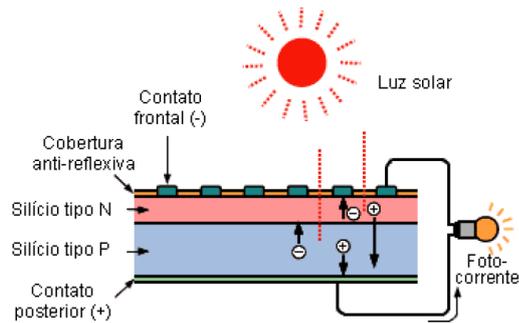


Figura 2 – Representação esquemática do efeito fotovoltaico em uma célula.

Fonte: Adaptado de (ZILLES *et al.*, 2012).

Essa é a base do funcionamento das células fotovoltaicas, cujo funcionamento é apresentado na próxima seção.

### 2.3. Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são dispositivos fabricados com material semicondutor, e são responsáveis pela conversão direta da energia solar em eletricidade. É nelas que ocorrem o efeito fotovoltaico. A Figura 3 mostra a estrutura de uma célula formada por duas camadas de material semicondutor N e P, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior.

As camadas semicondutoras existentes em uma célula podem ser fabricadas com diversos materiais, sendo o mais comum o silício por ser um material abundante e barato. Atualmente, existem inúmeras tecnologias para fabricação dessas células, sendo que as mais comuns encontradas no mercado são as de silício monocristalino (*m-Si*), silício policristalino (*p-Si*) e filme fino ou silício amorfo (*a-Si*) (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

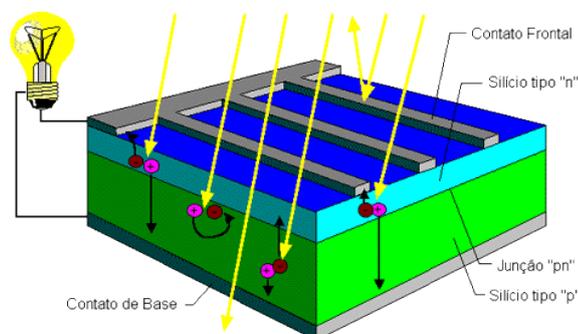


Figura 3 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.

Fonte: (CRESESB, 2016).

A obtenção de células e módulos fotovoltaicos com eficiência maior ou menor se dá através das diferentes tecnologias e materiais empregados na fabricação (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Algumas tecnologias têm custo mais reduzido do que outras, porém, as células apresentam menor eficiência na conversão de energia solar em eletricidade, por conseguinte exigindo uma maior área instalada para a produção de energia.

Como forma de ilustrar a comparação entre algumas tecnologias fotovoltaicas existentes, pode-se visualizar a Tabela 1, onde são mostrados as células e os módulos de silício, amorfo, mono, policristalino e filme fino. Ressaltando que não foram levados em conta as células híbridas, que apresentam as maiores eficiências de conversão, tanto nas experiências em laboratório, como nos produtos disponíveis comercialmente (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

*Tabela 1 - Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas.*

<b>Material da célula fotovoltaica</b>	<b>Eficiência da célula em laboratório (%)</b>	<b>Eficiência da célula comercial (%)</b>	<b>Eficiência dos módulos comerciais (%)</b>
Silício monocristalino	24,7	18	14
Silício policristalino	19,8	15	13
Silício cristalino de filme fino	19,2	9,5	7,5
Silício amorfo	13	10,5	7,5
Silício micromorfo	12	10,7	9,1
Célula solar híbrida	20,1	17,3	15,2
CIS, CIGS	18,8	14	10
Telureto de cádmio	16,4	10	9

Fonte: Fraunhofer ISE, (2004).

Na próxima subseção são apresentados os diferentes tipos de células fotovoltaicas de forma mais detalhada.

### **2.3.1. Tipos de células fotovoltaicas**

Nesta subseção são apresentados os tipos de células fotovoltaicas comerciais mais utilizadas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

### 2.3.1.1. Células de Silício Monocristalino (*m-Si*)

O silício monocristalino é o material mais usado na fabricação de células fotovoltaicas atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular é ideal para potencializar o efeito fotovoltaico. Em testes laboratoriais, o rendimento máximo atinge os 24%, enquanto em utilizações práticas, este valor desce para cerca de 15% (CASTRO, 2002). O silício usado na fabricação das células fotovoltaicas monocristalino (*m-Si*) é obtido pelo método Czochralski ou também pela técnica de fusão zonal flutuante (PINHO, 2014). O método de Czochralski se dá a partir de um banho de silício de alta pureza fundido em reatores sob atmosfera controlada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas (SILVESTRI, 2014). A Figura 4, mostra a estrutura de uma célula fotovoltaica de silício monocristalino.



Figura 4 - Célula de Silício MonoCristalina.  
Fonte: (AMAZÔNIA, 2016).

### 2.3.1.2. Células de Silício Policristalino (*p-Si*)

O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais, representa cerca de 30% do mercado. As descontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de elétrons e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída. Em testes laboratoriais, o rendimento máximo atinge os 18%, enquanto em utilizações práticas, este valor desce para cerca de 12% (CASTRO, 2002). O *p-Si* apresenta menor eficiência de conversão, porém apresenta como vantagem um menor custo de produção, possui perfeição cristalina menor e processamento mais simples que no *m-Si* (SILVESTRI, 2014). A Figura 5, mostra a estrutura de uma célula fotovoltaica de silício policristalino.



Figura 5 - Célula de Silício Policristalina.

Fonte: (AMAZÔNIA, 2016).

### 2.3.1.3. Célula de silício amorfo (*a-Si*)

O silício amorfo não possui estrutura cristalina definida, apresentando defeitos estruturais que, inicialmente, impediriam a sua utilização em células fotovoltaicas, uma vez que os defeitos amplificavam a recombinação dos pares elétron-lacuna. No entanto, se ao silício amorfo for adicionada uma pequena quantidade de hidrogênio, por um processo chamado hidrogenação, os átomos de hidrogênio combinam-se quimicamente de forma a minimizar os efeitos negativos dos defeitos estruturais. Esse tipo de silício representa cerca de 4% do mercado. Em testes laboratoriais, o rendimento máximo atinge os 13%, enquanto em utilizações práticas, este valor desce para cerca de 6% (CASTRO, 2002). Os processos de produção de *a-Si* são baratos pois ocorrem a temperaturas relativamente baixas, o que possibilita que estes filmes finos sejam depositados sobre substratos de vidro ou aço inox (SILVESTRI, 2014). A Figura 6, mostra a estrutura de uma célula fotovoltaica de silício amorfo.



Figura 6 - Célula de Silício Amorfo.

Fonte: (PORTAL SOLAR, 2016)

Na próxima seção são apresentados conceitos referentes aos inversores, componentes fundamentais em sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

## 2.4. Inversores

Os módulos fotovoltaicos, durante todo o processo de conversão de energia solar em energia elétrica, produzem tensão contínua. Com isso, na maioria dos casos, o uso final da energia é limitado, sendo possível aplicar de forma direta somente aos equipamentos alimentados em corrente contínua (CC). Dessa forma, para alimentar aparelhos em corrente alternada (CA), precisará inserir no sistema um inversor de corrente contínua em alternada (FIGUEIRA, 2014).

O inversor também deverá garantir o fornecimento de energia elétrica com a qualidade necessária para que não se produza nenhuma degradação dos equipamentos ligados ao sistema ou prejudique o funcionamento (SILVA, A. L., 2014).

Um dos tipos de inversores conectados à rede mais utilizados são os chamados de inversores *grid-tie*, os inversores de rede transferem a energia gerada diretamente ao quadro de distribuição de eletricidade para ser utilizada pela carga (FIGUREIRA, 2014).

Muitos inversores possuem a tecnologia MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) integrada aos seus sistemas de controle para modificar a tensão CC de entrada do sistema, permitindo ao sistema fotovoltaico alcançar o melhor desempenho e conseqüentemente apresentar maior potência ao comparar com os equipamentos que não dispõe dessa tecnologia (SILVA, A. L., 2014). Os inversores comerciais, na sua maior parte, possuem capacidade de comunicação com os usuários, permitindo com que os usuários possam monitorá-los, obtendo relatórios sobre as condições de funcionamento do sistema, atualizações de *firmware*, além de controlar a ligação com a rede elétrica em sistemas *on-grid* (MIRANDA, 2014).

A escolha do inversor adequado para cada tipo de sistema fotovoltaico, seja ele *on-grid* ou *off-grid*, é feita em função de seu tamanho e dos demais componentes do sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Assim, na próxima seção são apresentados os sistemas fotovoltaicos amplamente utilizados comercialmente no Brasil e no mundo.

## 2.5. Sistemas fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico é um sistema capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Pode ser classificada em sistemas isolados ou *off-grid* e sistemas conectados à rede ou *on-grid*. O emprego desses sistemas varia de acordo com a finalidade do uso final, da avaliação econômica, do nível de confiabilidade e das características específicas do projeto (SILVA, J. J. B., 2014). Na próxima subseção são apresentados conceitos sobre os sistemas *off-grid*.

### 2.5.1. Sistemas *off-grid*

Os sistemas fotovoltaicos *off-grid* ou sistemas isolados são habitualmente empregados em locais onde não há disponibilidade de fornecimento de energia elétrica ou onde deseja-se mantê-lo isolados de outros tipos de sistemas energéticos por questões estratégicas (SILVA, J. J. B., 2014). Exigem pouca manutenção, são silenciosos e não precisam de abastecimento de combustível.

Esse tipo de sistema pode ser utilizado em diversas aplicações, tais como: fornecimento de eletricidade em zonas rurais, iluminação pública, sinalização de estradas, alimentação de sistemas de telecomunicações e carregamento de baterias de veículos terrestres e náuticos (VILLALVA; GAZOLI, 2012). As Figuras 7 e 8 apresentam algumas dessas aplicações dos sistemas fotovoltaicos *off-grid*.



Figura 7: Postes de iluminação autônomos alimentados por módulos fotovoltaicos.

Fonte: (ASOLAR ENERGY, 2016).

Em geral, nos sistemas *off-grid* utiliza-se alguma forma de armazenamento de energia. Quando se pretende usar aparelhos elétricos, esse armazenamento é feito por meio de baterias,

porém, quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento, armazena-se a energia na forma de energia gravitacional (CRESESB, 2016).



Figura 8- Kit de energia solar fotovoltaica para irrigação.

Fonte: (PORTAL SOLAR, 2016).

Os módulos fotovoltaicos fornecem energia elétrica na forma de corrente e tensão contínuas (CC), fazendo-se necessário o uso de inversor CC/CA para algumas aplicações que utilizam corrente e tensão alternadas (CA) (VILLALVA; GAZOLI, 2012). As cargas CC são alimentadas diretamente pela bateria. Em aplicações que demandam o uso de baterias deve ser empregado um dispositivo conhecido como controlador de carga, que tem como função regular a carga da bateria e prolongar sua vida útil, protegendo-a de sobrecargas ou descargas excessivas (VILLALVA; GAZOLI, 2012). A Figura 9 ilustra um sistema *off-grid* típico.



Figura 9: Componentes de um sistema fotovoltaico *off-grid* típico.

Fonte: Acervo do autor (2016).

Com a apresentação das características do sistema *off-grid*, na próxima subseção são apresentados os conceitos relativos aos sistemas *on-grid*.

### **2.5.2. Sistemas *on-grid***

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* ou conectados à rede são aqueles que não necessitam de armazenamento de energia, pois seu objetivo é gerar eletricidade para o consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede elétrica ou mesmo gerar excedente de energia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Toda energia que é produzida nesse tipo de sistema pode ou não ser entregue à carga instalada, uma vez que a energia que for produzida durante o período de maior incidência solar e que não for utilizada na própria instalação pode ser cedida para à rede da concessionária de energia local. Esta injeção de energia excedente na rede pode ser vendida ou acumulada em forma de crédito conforme a legislação do país (SILVA, J. J. B., 2014), (ANEEL, 2015).

Os sistemas *on-grid* podem ser centralizados, constituindo usinas de geração elétrica, ou micro e minissistemas descentralizados de geração distribuída instalados em qualquer tipo de consumidor (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

De acordo com seu tamanho e segundo as definições aplicadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), esses sistemas podem ser classificados em três categorias, sendo elas:

- Microgeração: potência instalada menor ou igual a 75 kW;
- Minigeração: potência instalada entre 75 kW e 5 MW;
- Usinas de eletricidade: potência acima de 5MW. (ANEEL, 2015)

Na próxima subseção são apresentados conceitos referentes a microgeração fotovoltaica, como forma de ilustrar possíveis aplicações dentro da demanda estabelecida pela ANEEL (ANEEL, 2015).

#### **2.5.2.1. Microgeração fotovoltaica**

De acordo com a REN 687/2015, sistema de microgeração é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica,

conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Encaixa-se nesse grupo, os sistemas fotovoltaicos instalados em telhados residenciais, que podem fornecer totalmente o consumo de energia elétrica e tornar as residências autossuficientes. A Figura 10 demonstra um sistema fotovoltaico *on-grid* de microgeração em uma residência.

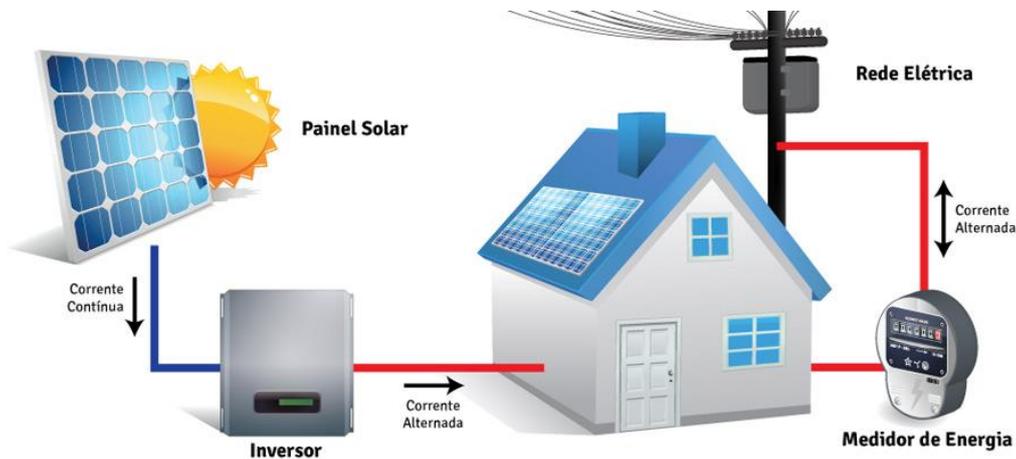


Figura 10 - Composição do sistema fotovoltaico *on-grid*.

Fonte: (REAL SOLAR, 2016).

Na próxima seção é apresentada a regulamentação para implantação dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* no Brasil.

## 2.6. Regulamentação

Para implantação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* deve-se atender às exigências definidas pelas normas, garantindo a confiabilidade e a segurança do sistema. Na próxima subseção são apresentadas resoluções referentes ao sistema *on-grid*.

### 2.6.1. Resolução Normativa da ANEEL – REN n° 482

Publicada em 17 de abril de 2012, a REN n° 482 estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica. Esta resolução permite que a energia gerada a partir de uma central geradora de energia elétrica e que utilize fontes com base em energia renovável com até 1 MW de potência instalada em pequenos ou grandes consumidores se interagem com a rede elétrica. Deste modo, o acoplamento de sistemas fotovoltaicos seja

mais facilmente conectado à rede de distribuição de uma concessionária de energia elétrica, atendendo o consumo demandado e, caso seja gerada energia em excedente, é injetada à rede, por meio de empréstimo gratuito e posteriormente compensada por meio de um sistema de crédito. Diante disso, é possível reduzir a conta de luz a apenas o custo de disponibilidade da rede. Dessa forma, pode-se destacar alguns artigos importantes da REN n° 482.

De acordo com o art. 2° da REN n° 482, é possível que o crédito gerado seja usado por outra unidade consumidora, desde que esta esteja relacionada ao mesmo CPF (Cadastro de pessoa Física) ou CNPJ (Cadastro de Pessoa Jurídica) da unidade consumidora que gera os créditos.

Conforme o art. 3° da REN n° 482, fica sob total responsabilidade das concessionárias de energia elétrica adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional (PRODIST), as normas técnicas brasileiras e, de maneira complementar, as normas internacionais.

Segundo o art. 8° da REN n° 482, são de responsabilidade do interessado implantar o sistema de compensação de energia elétrica, os custos referentes à adequação do sistema de medição necessário.

Esta foi a primeira resolução que regulamentou esse sistema de compensação de crédito de energia elétrica no Brasil. Na próxima subseção é apresentado a nova resolução da ANEEL.

### **2.6.2. Resolução Normativa da ANEEL – REN n° 687**

Publicada em 24 de novembro de 2015, a REN n° 687 altera a REN n° 482 e os Módulos 1 e 3 do PRODIST, aprimorando o que foi estabelecido anteriormente.

A nova resolução traz diversas mudanças como estabelecimento das modalidades de autoconsumo remoto e geração compartilhada, aumentando as possibilidades para geração em terrenos afastados do local de consumo e para vizinhos que queiram participar do sistema de compensação de energia; possibilidade de compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais de grupos empresariais; possibilidade de geração distribuída em condomínios, onde os créditos gerados podem ser compensados nas múltiplas unidades do condomínio; ampliação da potência máxima de 1 MW para 5 MW; ampliação da duração dos créditos de energia elétrica de 36 meses para 60 meses; redução dos prazos de tramitação de pedidos junto as concessionárias de energia elétrica; padronização dos formulários de pedido de acesso para todo

território nacional, além da submissão e acompanhando de novos pedidos pela internet a partir de 2017.

Essas mudanças entram em vigor a partir de março de 2016, e conseqüentemente contribuindo para a aceleração no crescimento da geração fotovoltaica no Brasil.

No próximo capítulo são apresentados a metodologia desenvolvida para o estudo de viabilidade econômica de geração fotovoltaica na Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes na cidade de Abaeté/MG.

### 3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Neste capítulo, são apresentados as informações e dados coletados da Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes na cidade de Abaeté/MG que foram utilizados para realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico, bem como o estudo de viabilidade econômica para implementação do projeto proposto.

#### 3.1. Apresentação da Unidade Consumidora

Abaeté é um município do estado de Minas Gerais, Brasil, localizada próxima à Represa de Três Marias. De acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, sua população é de 22.700 habitantes e possui área de 1.817,067 km<sup>2</sup>. A Figura 11 mostra o mapa da cidade de Abaeté. Segundo o *Google Maps*, Abaeté está localizada na latitude 19,171049° Sul e na longitude 45,431815° Oeste, cujo valor de latitude é necessário para determinar a melhor posição de instalação dos painéis fotovoltaicos.

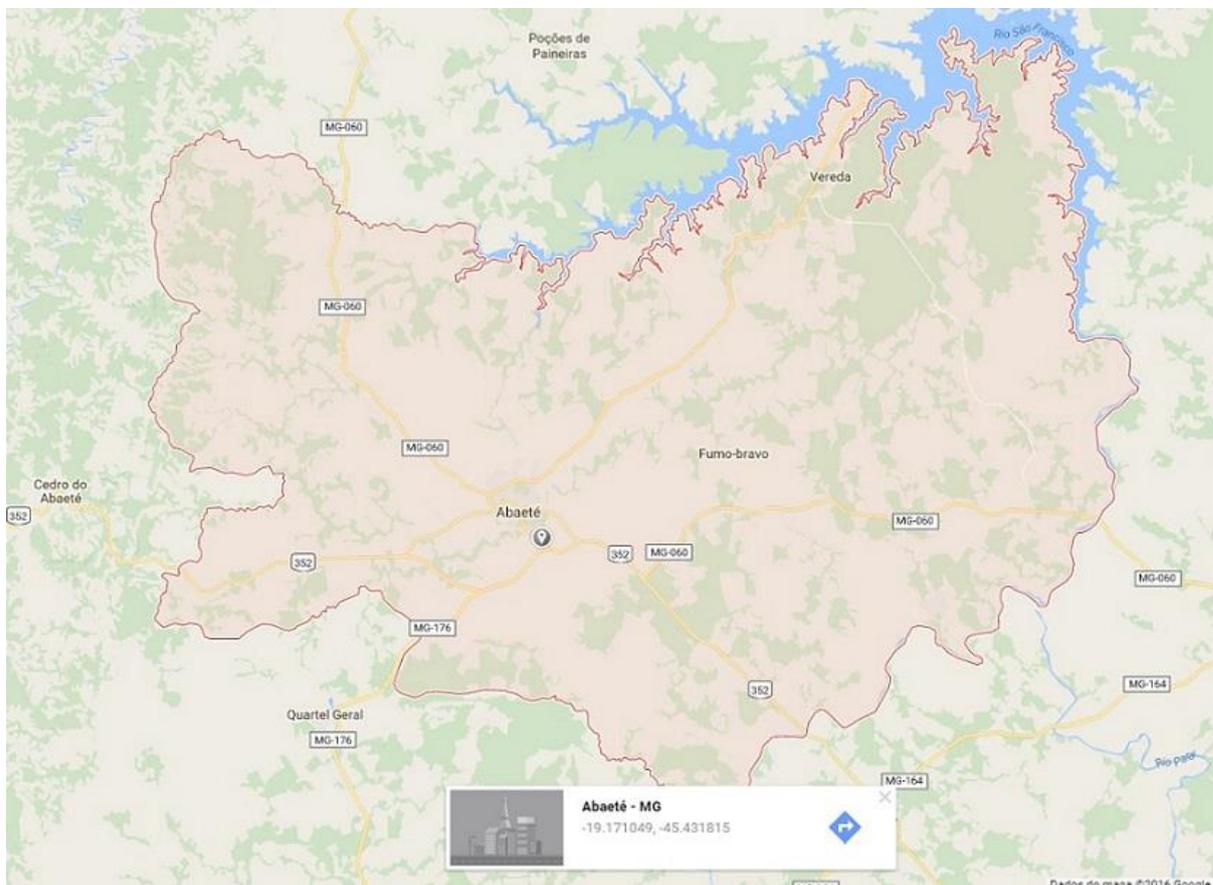


Figura 11 - Mapa de Abaeté - Minas Gerais.  
Fonte: (GOOGLE MAPS, 2016).

A cidade conta com um total de nove escolas, sendo duas escolas particulares, três escolas estaduais e quatro escolas municipais. Diante desse cenário, escolheu-se a Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes, localizada na Rua Pedro Alvares, nº229, bairro São Pedro, devido sua alta demanda de energia elétrica em relação as demais escolas do município. Na próxima seção é realizada a análise da fatura da Escola de forma detalhada.

### 3.2. Análise da Fatura da Unidade Consumidora

A unidade consumidora escolhida para estudo, possui dois padrões de entrada de energia elétrica, desse modo, para realização da análise de consumo foi necessário levantar os valores de fatura de ambos os padrões. A Tabela 2 apresenta os dados de consumo obtidos analisando as faturas de consumo que se encontram no Anexo A.

*Tabela 2 - Consumo de energia Padrão 1+2.*

<b>Mês/Ano</b>	<b>Padrão 1 Consumo kWh</b>	<b>Padrão 2 Consumo kWh</b>	<b>Padrões 1 + 2 Consumo kWh</b>
Set/16	1.583	174	1.757
Ago/16	1.008	109	1.117
Jul/16	1.167	155	1.322
Jun/16	1.448	184	1.632
Mai/16	1.521	183	1.704
Abr/16	1.667	215	1.882
Mar/16	1.566	238	1.804
Fev/16	856	156	1.012
Jan/16	470	30	500
Dev/15	1.624	241	1.865
Nov/15	1.655	225	1.880
Out/15	1.062	179	1.781
Set/16	1.561	184	1.745
<b>Média</b>	<b>1.363,69</b>	<b>174,85</b>	<b>1.538,54</b>
<b>Consumo total em um ano (kWh)</b>			<b>20.001</b>

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Após a apresentação do consumo de energia elétrica da Escola é necessário conhecer o perfil de radiação solar do município de Abaeté/MG.

### 3.3. Dados de Radiação Solar de Abaeté/MG

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) realizou um estudo sobre a energia solar no estado de Minas Gerais originando o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (CEMIG, 2012). O estudo realizado leva em conta diversos fatores como caracterização geográfica, vegetação, clima entre outros.

O mapeamento da produção de energia fotovoltaica para o estado de Minas Gerais foi feito utilizando as figuras de mérito técnico, amplamente citadas na literatura e de grande utilidade na análise de engenharia, para avaliação do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (CEMIG, 2016). Com base nessas informações é apresentado na Figura 12 o mapa de radiação solar média diária.

Por meio das informações apresentadas no Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, observou-se que a cidade de Abaeté, encontra-se na Microrregião de Curvelo e Três Marias, região com incidência de radiação direta diária entre 5,5 e 6,5 kWh/m<sup>2</sup>. Além disso, Minas Gerais possui uma média anual de 1354 kWh/m<sup>2</sup> e 0,79 de rendimento global médio (*Performance Ratio – PR*) demonstrando ser um estado de grandes oportunidades para aplicação das tecnologias fotovoltaicas (CEMIG, 2016).

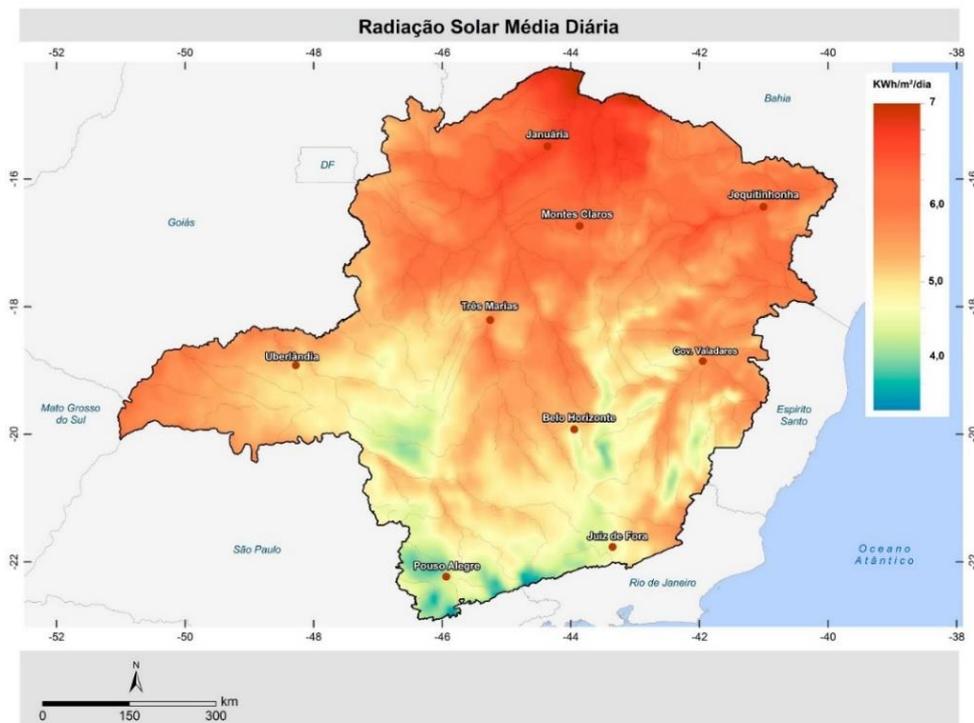


Figura 12 - Mapa de Radiação Solar Média Diária do Minas Gerais.  
Fonte: (CEMIG, 2016).

Com o auxílio do *software* SunData, que se destina ao cálculo da radiação solar diária média para cada mês em qualquer ponto do território nacional, disponível gratuitamente na CRESESB (2016), pode-se obter os dados de radiação solar no plano inclinado e potencial fotovoltaico para a cidade de Abaeté onde se encontra a Unidade Consumidora.

No *software* SunData foi possível determinar os dados de radiação solar para a estação de Pompéu/MG, uma vez que na cidade de Abaeté/MG não possui nenhuma estação atrelada ao *software*. Ressaltando que tais valores são aproximados, uma vez que a cidade de Pompéu/MG se localiza aproximadamente sessenta quilômetros da cidade de Abaeté/MG. A Tabela 3 mostra os dados obtidos pelo *software* SunData, ressaltando que os três meses com os piores índices de radiação solar estão em destaque (fundo vermelho).

Tabela 3 - Dados de Radiação Solar no plano inclinado segundo a estação de Pompéu MG.

Ângulo	Inclinação	Radiação Solar Diária Média Mensal [kWh/m <sup>2</sup> dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	5,67	5,56	5,5	4,67	4,31	3,89	4,28	4,44	4,53	5,42	5,11	5,42	4,9
Ângulo Igual a Latitude	19° N	5,19	5,32	5,61	5,14	5,12	4,79	5,22	5,03	4,73	5,29	4,75	4,91	5,09
Maior Média Anual	19° N	5,19	5,32	5,61	5,14	5,12	4,79	5,22	5,03	4,73	5,29	4,75	4,91	5,09
Maior Mínimo Anual	19° N	5,19	5,32	5,61	5,14	5,12	4,79	5,22	5,03	4,73	5,29	4,75	4,91	5,09

Fonte: (CRESESB, 2016).

Na próxima seção é realizado o levantamento da área de cobertura da Unidade Consumidora.

### 3.4. Levantamento da Área de Cobertura da Unidade Consumidora

Para o levantamento da área de instalação dos painéis fotovoltaicos na cobertura da Escola Municipal, utilizou-se o *software* Google Maps. De posse do *software* em questão pode-se determinar a área de cobertura no valor de 1540 m<sup>2</sup>, aproximadamente, conforme visualizado na Figura 13.

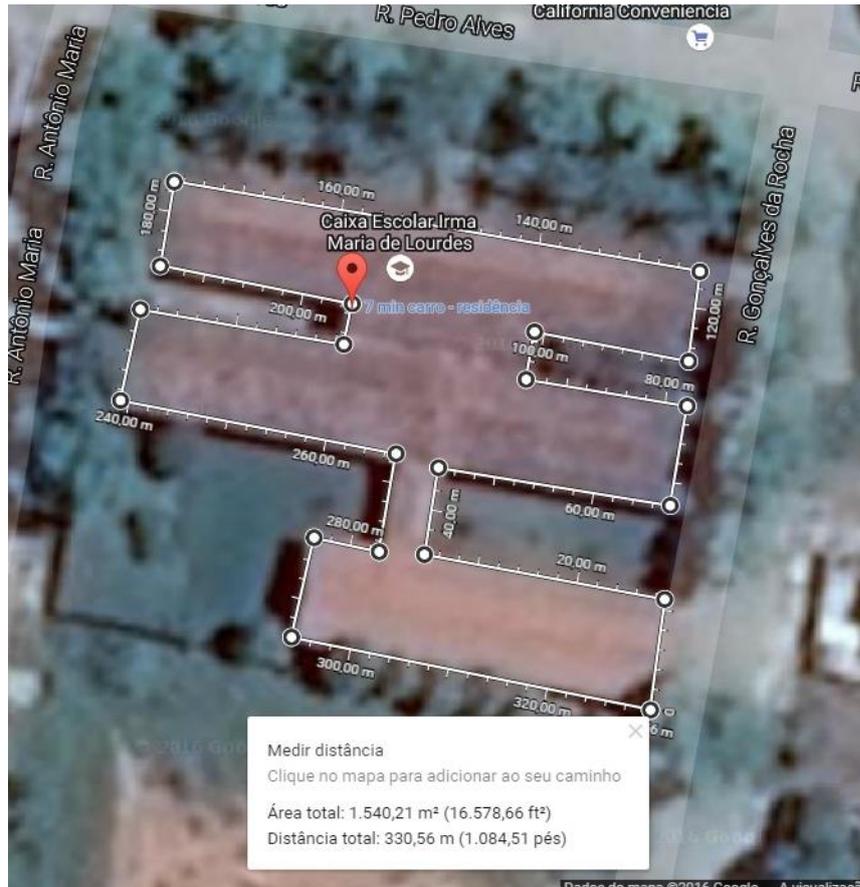


Figura 13 - Detalhe da cobertura do consumidor.  
Fonte: (GOOGLE MAPS, 2016).

Com as informações necessárias, na próxima seção é apresentado o desenvolvimento do projeto fotovoltaico.

### 3.5. Desenvolvimento do Projeto Fotovoltaico

Para o desenvolvimento do projeto fotovoltaico proposto neste trabalho de conclusão de curso, escolheu-se a modalidade de sistema fotovoltaico conhecido como sistema *on-grid*, com o objetivo de reduzir e/ou eliminar o consumo da Escola Municipal da rede elétrica, ou até mesmo, gerar excedente de energia que pode ser entregue à rede, gerando assim crédito com a CEMIG, de acordo com a Resolução Normativa n° 687, de 24 de novembro de 2015 (ANEEL, 2015).

Para a implantação do sistema *on-grid* é necessário o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, bem como o dimensionamento do inversor CC/CA, que são componentes principais do sistema fotovoltaico proposto.

A seguir é apresentado o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos de acordo com a tecnologia dos módulos e da área disponível para a implantação do sistema.

### 3.5.1. Primeiro Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

A seleção do painel fotovoltaico deve ser feita em função do tipo do material que constitui suas células fotovoltaicas, pois como foi visto no referencial teórico (Capítulo 2), cada material apresenta uma eficiência diferente. Além disso, essa eficiência influencia diretamente o cálculo da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para o projeto.

Para realização do estudo, foram selecionados oito painéis (módulos) fotovoltaicos comerciais, com três tecnologias diferentes: silício policristalino (*p-Si*), silício monocristalino (*m-Si*) e silício amorfo (*a-Si*), com potências e eficiências distintas. A Tabela 4 apresenta os módulos selecionados e algumas características.

Tabela 4 - Modelos de painéis fotovoltaicos e suas características.

Tecnologia	Marca do Painel	Modelo	Potência Nominal (W)	Área do Painel (m <sup>2</sup> )	Eficiência do Painel (%)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	265	1,608516	16,47
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	72	0,8833	6,4
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	240	1,6236	14,8
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	115	1,43	8
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	250	1,699722	14,7
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	260	1,6368	15,9
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	95	0,6666	14,3
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	315	1,918828	16,42

Fonte: (NEOSOLARENERGIA, 2016), (MADE-IN-CHINA, 2016), (LIVRE, 2016), (POSHARP, 2016), (SOLAR, 2016).

Analisando a área disponível do consumidor, observa-se que o telhado seria o local ideal para instalação apresentando uma área aproximada de 1540 m<sup>2</sup> como visto na Figura 13. Para realizar um projeto mais detalhado, considerou-se o fato do telhado apresentar duas águas, em função dessa geometria é necessário utilizar apenas um lado do telhado. Dessa forma, escolheu-se cinco áreas distintas que são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Áreas adotadas para realização dos cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Nomeclatura	Área (m <sup>2</sup> )
A <sub>1</sub>	20
A <sub>2</sub>	50
A <sub>3</sub>	100
A <sub>4</sub>	200
A <sub>5</sub>	500

Fonte: (Acervo do autor, 2016)

Após a definição das possíveis áreas a serem implementadas no projeto, foi necessário avaliar a quantidade de radiação solar que incide sobre o painel fotovoltaico para, assim, determinar a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

O valor acumulado de energia solar ao longo de um dia pode ser representando pelo número de horas de sol pleno (HSP), que indica o número de horas equivalentes por dia em que a radiação solar permanece constante e igual a 1 kW/m<sup>2</sup> (FIGUEIRA, 2014).

Para dimensionar os painéis fotovoltaicos, considerou-se que os mesmos possuem inclinação igual à latitude local (em torno de 19° em Abaeté/MG, definido através da Tabela 3) e voltada para o norte geográfico. Para a realização do projeto, utilizou-se os dados de radiação solar obtidos por meio do *software* SunData que foram apresentados na Tabela 3. Considerou-se os três meses com a menor incidência solar para realização dos cálculos (junho, setembro e novembro), pois dessa forma é levado em conta o pior cenário possível de radiação solar, garantindo que o sistema funcionará durante todo ano. Realizou-se a média aritmética dos três piores meses de radiação, com a intenção de obter as horas de sol pleno da unidade consumidora por dia,

$$HSP = \frac{4,79+4,73+4,75}{3} = 4,76 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{dia}, \quad (1)$$

e com o valor obtido na Equação 1, é possível determinar as horas de sol pleno na Unidade Consumidora por ano,

$$HSP = 4,75667 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} 365 \text{ dia} = 1.736,18 \text{ kWh/m}^2. \quad (2)$$

Após o levantamento da área útil para instalação do sistema fotovoltaico, e a determinação dos possíveis módulos a serem utilizados, pode-se determinar o potencial de geração fotovoltaica do sistema proposto. Para isso, primeiramente calcula-se a quantidade de módulos necessários para a instalação do sistema proposto,

$$n^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{A_{inst.}}{A_{mod.}}, \quad (3)$$

onde,  $A_{inst}$  é área a ser instalada em  $m^2$  e  $A_{mod.}$  é área do módulo fotovoltaico  $m^2$ . Utilizando a Equação 3, e as áreas determinadas na Tabela 4, bem como os módulos da Tabela 5, foram calculadas as quantidades de módulos necessários para cada área preestabelecida, e que são apresentadas nas Tabelas 6 a 10.

Tabela 6 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área  $A_1$  ( $20m^2$ ).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada ( $m^2$ )	Nº de módulos
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	20	12,43
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	20	22,64
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	20	12,32
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	20	13,99
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	20	11,77
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	20	12,22
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	20	30,00
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	20	10,42

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 7 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área  $A_2$  ( $50m^2$ ).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada ( $m^2$ )	Nº de módulos
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	50	31,08
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	50	56,61
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	50	30,80
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	50	34,97
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	50	29,42
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	50	30,55
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	50	75,01
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	50	26,06

Fonte: (Acervo do autor, 2016)

Tabela 8 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A<sub>3</sub> (100m<sup>2</sup>).

<b>Tecnologia</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área a ser instalada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº de módulos</b>
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	100	62,17
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	100	113,21
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	100	61,59
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	100	69,93
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	100	58,83
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	100	61,09
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	100	150,02
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	100	52,12

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 9 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A<sub>4</sub> (200m<sup>2</sup>).

<b>Tecnologia</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área a ser instalada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº de módulos</b>
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	200	124,34
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	200	226,42
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	200	123,18
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	200	139,86
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	200	117,67
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	200	122,19
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	200	300,03
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	200	104,23

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 10 - Número de módulos fotovoltaicos necessário para área A<sub>5</sub> (500m<sup>2</sup>).

<b>Tecnologia</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área a ser instalada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº de módulos</b>
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	500	310,85
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	500	566,06
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	500	307,96
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	500	349,65
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	500	294,17
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	500	305,47
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	500	750,08
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	500	260,58

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Após a determinação da quantidade de módulos, calculou-se a energia a ser gerada pelos sistemas fotovoltaicos, por intermédio da Equação 4,

$$P_{inst.} = \frac{n^{\circ} \text{ de módulos} \cdot P_N}{1000}, \quad (4)$$

onde,  $P_{inst.}$  é a potência a ser instalada dada em kWp,  $n^{\circ}$  de módulos representa o número de módulos fotovoltaicos calculados pela Equação 3 e  $P_N$  é a potência nominal do módulo fotovoltaico dado em W. Os valores calculados utilizando a Equação 4 estão apresentados nas Tabelas 11 a 15.

Tabela 11 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área  $A_1$  (20m<sup>2</sup>).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )	Potência a ser instalada (kWp)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	20	3,29
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	20	1,28
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	20	2,96
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	20	1,60
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	20	2,94
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	20	3,18
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	20	2,86
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	20	3,28

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 12 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área  $A_2$  (50m<sup>2</sup>).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )	Potência a ser instalada (kWp)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	50	8,24
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	50	3,20
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	50	7,40
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	50	4,00
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	50	7,35
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	50	7,95
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	50	7,15
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	50	8,21

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 13 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A<sub>3</sub> (100m<sup>2</sup>).

<b>Tecnologia</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área a ser instalada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potência a ser instalada (kWp)</b>
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	100	16,47
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	100	6,40
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	100	14,80
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	100	8,00
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	100	14,70
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	100	15,90
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	100	14,30
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	100	16,42

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 14 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A<sub>4</sub> (200m<sup>2</sup>).

<b>Tecnologia</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área a ser instalada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potência a ser instalada (kWp)</b>
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	200	32,94
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	200	12,80
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	200	29,60
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	200	16,00
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	200	29,40
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	200	31,80
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	200	28,60
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	200	32,84

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 15 - Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado na área A<sub>5</sub> (500m<sup>2</sup>).

<b>Tecnologia</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área a ser instalada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potência a ser instalada (kWp)</b>
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	500	82,35
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	500	32,00
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	500	74,00
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	500	40,00
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	500	73,50
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	500	79,50
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	500	71,50
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	500	82,10

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

De acordo com Silvestri e Takasaki (2014), a potência a ser instalada também poderia ser calculada utilizando a Equação 5,

$$P_{inst.} = \frac{A_{inst.} E_f}{100}, \quad (5)$$

onde,  $E_f$  é a eficiência do painel dado em %. Entretanto, a Equação 5 não foi utilizada para o cálculo da potência instalada, pois, considerou-se que o espaçamento entre os módulos seja igual a zero, além de considerar que todos os módulos se encontram no mesmo plano. Assim, preferiu-se calcular a potência instalada utilizando a Equação 4.

Com o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos para um conjunto de cinco áreas distintas e para oito tipos de painéis diferentes, na próxima subseção é apresentado o dimensionamento do inversor CC/CA necessário para a realização do projeto proposto.

### 3.5.2. Primeiro Dimensionamento do Inversor no Sistema *on-grid*

Para a determinação do inversor deve-se conhecer as especificações do sistema fotovoltaico ao qual será conectado. A potência máxima do inversor deve ser igual ou superior à potência da demanda (FIGUEIRA, 2014).

O cálculo para dimensionar o inversor depende da geração do sistema fotovoltaico, sendo diretamente proporcional a potência nominal do sistema. Dessa forma, para esse dimensionamento foi utilizado a Equação 6 (FIGUEIRA, 2014),

$$0,7P_{inst.} < P_{INV DC} < 1,2P_{inst.}, \quad (6)$$

onde,  $P_{INV DC}$  é a potência do inversor dada em kW. Nas Tabelas 16 a 20 são apresentados os cálculos realizados, em função das áreas distintas a serem instaladas e as possíveis tecnologias de módulos fotovoltaicos.

Tabela 16 – Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área  $A_1$  (20m<sup>2</sup>).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )	Potência a ser instalada (kWp)	$P_{INV DC}$ (kW)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	20	3,29	3,0
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	20	1,28	1,5
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	20	2,96	3,0
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	20	1,60	1,5
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	20	2,94	3,0
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	20	3,18	3,0
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	20	2,86	3,0
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	20	3,28	3,0

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 17 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área  $A_2$  (50m<sup>2</sup>).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )	Potência a ser instalada (kWp)	$P_{INV DC}$ (kW)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	50	8,24	8,2
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	50	3,20	4,0
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	50	7,40	8,2
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	50	4,00	4,0
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	50	7,35	8,2
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	50	7,95	9,0
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	50	7,15	8,2
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	50	8,21	9,0

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 18 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área  $A_3$  (100m<sup>2</sup>).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )	Potência a ser instalada (kWp)	$P_{INV DC}$ (kW)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	100	16,47	17,5
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	100	6,40	8,2
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	100	14,80	15,0
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	100	8,00	8,2
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	100	14,70	15,0
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	100	15,90	17,5
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	100	14,30	15,0
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	100	16,42	17,5

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 19 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área A<sub>4</sub> (200m<sup>2</sup>).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )	Potência a ser instalada (kWp)	$P_{INV DC}$ (kW)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	200	32,94	33,0
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	200	12,80	17,5
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	200	29,60	33,0
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	200	16,00	17,5
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	200	29,40	33,0
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	200	31,80	33,0
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	200	28,60	33,0
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	200	32,84	33,0

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 20 - Dimensionamento do inversor para sistema fotovoltaico instalado na área A<sub>5</sub> (500m<sup>2</sup>).

Tecnologia	Marca	Modelo	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )	Potência a ser instalada (kWp)	$P_{INV DC}$ (kW)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	500	82,35	90,0
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	500	32,00	40,0
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	500	74,00	80,0
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	500	40,00	40,0
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	500	73,50	80,0
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	500	79,50	90,0
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	500	71,50	80,0
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	500	82,10	90,0

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Após esse primeiro dimensionamento do sistema fotovoltaico, notou-se valores de potências instaladas não compatíveis com a área de outros sistemas similares apresentados nos trabalhos de Miranda (2014) e Dassi *et al.*, (2015). Com isso, realizou-se um segundo dimensionamento fotovoltaico baseado no trabalho de Figueira (2014). Na próxima subseção é apresentado esse novo dimensionamento.

### 3.5.3. Segundo Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Para determinação da potência do sistema fotovoltaico a ser implementado, primeiramente, determinou-se o consumo de energia diária da unidade consumidora. Assim, considerou-se os três meses de maior consumo de eletricidade para realização dos cálculos, pois dessa forma o sistema irá atender a demanda tanto nos dias com alto ou baixo consumo de energia. Para os cálculos de consumo, utilizou-se os dados de consumo que foram apresentados na Tabela 2,

$$P_C = \frac{1882+1880+1865}{3} = 1.875,67 \text{ kWh/mês}, \quad (7)$$

e com o valor obtido na Equação 7, foi possível determinar o consumo diário da unidade consumidora,

$$P_C = 1875,66667 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \cdot \frac{1 \text{ mês}}{30 \text{ dia}} = 62,52 \text{ kWh/dia} . \quad (8)$$

Após levantamento do consumo diário da unidade consumidora em análise, e as horas de sol pleno determinada pela Equação 1, pode-se determinar a potência do sistema fotovoltaico a ser implementado,

$$P_{fv} = \frac{P_C}{HSP} = \frac{62,52222}{4,75667} = 13,14 \text{ kW} , \quad (9)$$

onde,  $P_{fv}$  é a potência fotovoltaica do sistema dado em kW,  $P_C$  é o consumo de eletricidade obtido pela Equação 8 dado em kWh/dia e  $HSP$  é a hora de sol pleno diário obtido pela Equação 1 e dado em kWh/m<sup>2</sup>.dia.

Com a determinação da potência do sistema fotovoltaico, determinou-se o número de módulos fotovoltaicos em função dessa potência e da potência nominal dos possíveis módulos fotovoltaicos,

$$N = \frac{P_{fv}}{P_N} , \quad (10)$$

onde,  $P_{fv}$  é a potência fotovoltaica do sistema dado em kW obtida na Equação 9 e  $P_N$  é a potência do módulo fotovoltaico dado em W. Utilizando a Equação 10, a potência fotovoltaica determinada na Equação 9, bem como os módulos da Tabela 4, foram calculadas as quantidades de módulos necessários para cada área preestabelecida, os quais são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Determinação da quantidade de módulos fotovoltaicos.

Tecnologia	Marca	Modelo	$P_{fv}$ (kW)	Nº de módulos
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	13,14	50
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	13,14	183
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	13,14	55
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	13,14	114
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	13,14	53
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	13,14	51
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	13,14	138
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	13,14	42

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Após a determinação da quantidade de módulos, calculou-se a área a ser utilizada para instalação do sistema fotovoltaico levando em consideração o número de módulos e a área de cada módulo,

$$A_{inst.} = A_{mod.} \cdot N , \quad (11)$$

onde,  $A_{inst.}$  é área a ser instalada em  $m^2$ ,  $A_{mod.}$  é área do módulo fotovoltaico  $m^2$  e  $N$  é o número de módulos fotovoltaicos obtido pela Equação 10. Utilizando a Equação 11, bem como os módulos da Tabela 4, calculou-se a área a ser utilizada para implementação do sistema fotovoltaico, apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 - Área a ser instalada o sistema fotovoltaico.

Tecnologia	Marca	Modelo	Nº de módulos	Área a ser instalada (m <sup>2</sup> )
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	50	80,43
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	183	161,64
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	55	89,30
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch µm Si-115	114	163,02
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	53	90,09
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	51	83,48
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	138	91,99
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	42	80,59

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Após a determinação da quantidade de módulos fotovoltaicos, calculou-se também a estimativa de energia gerada pelo sistema de acordo com a Equação 12 (FIGUEIRA, 2014),

$$E = HSP \cdot P_N \cdot N \quad (12)$$

onde,  $E$  é a energia gerada estimada dado em kWh e  $N$  é o número de módulos fotovoltaicos obtido pela Equação 10. Utilizando a Equação 12 e os módulos da Tabela 4, calculou-se a energia estimada gerada pelo sistema fotovoltaico, apresentada na Tabela 23.

Tabela 23 - Energia estimada gerada pelo sistema fotovoltaico.

Tecnologia	Marca	Modelo	Nº de módulos	Energia gerada (kWh/dia)
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	50	63,0259
<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	183	62,6739
<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	55	62,7880
<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch µm Si-115	114	62,3599
<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	53	63,0259
<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	51	63,0734
<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	138	62,3599
<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	42	62,9307

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

O dimensionamento do inversor foi realizado com base na Equação 6 e com a potência do sistema fotovoltaico a ser implementado obtida pela Equação 9. Sendo assim, para esse sistema será necessário um inversor de 15 kW, como apresentado no seguinte cálculo,

$$\begin{aligned} 0,7P_{inst.} &< P_{INV DC} < 1,2P_{inst.} \\ 0,7(13,14) &< P_{INV DC} < 1,2(13,14) \\ 9,2 &< P_{INV DC} < 15,77 . \end{aligned} \tag{13}$$

Após a realização do dimensionamento dos painéis fotovoltaicos e inversores a serem utilizados no projeto proposto, no próximo capítulo são apresentados os resultados e discussões acerca da definição do projeto, assim como o cálculo dos custos associados à implantação de cada caso distinto.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentadas as estimativas de custos de implantação do sistema fotovoltaico, bem como a realização da análise de viabilidade dos cenários distintos estudados neste trabalho.

### 4.1. Estimativa de Custos do Segundo Sistema Fotovoltaico

Para a determinação dos custos envolvidos no estudo de implementação de geração fotovoltaica na Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes, foi feita uma pesquisa do valor comercial dos painéis fotovoltaicos escolhidos para análise, dos inversores e o custo de instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos. A Tabela 24 mostra os valores comerciais dos painéis fotovoltaicos.

Tabela 24 - Valor dos módulos fotovoltaicos.

Casos	Tecnologia	Marca	Modelo	Valor do módulo (R\$)
1	<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CSI CS6P-265P – BR 10000036	899,00
2	<i>a-Si</i>	SINOLTECH	72W/144W	1.116,72
3	<i>m-Si</i>	LENHARO	LMS-0S-240w-M	1.099,90
4	<i>a-Si</i>	Bosch Solar Energy	Bosch $\mu$ m Si-115	1.435,32
5	<i>m-Si</i>	Canadian Solar	CS5P-250M	2.118,49
6	<i>p-Si</i>	Jinko Solar	JKM260P	759,00
7	<i>p-Si</i>	Yingli	YL95p-17b 4/5	409,00
8	<i>p-Si</i>	Canadian Solar	CS6XP-315P	939,00

Fonte: (NEOSOLARENERGIA, 2016), (MADE-IN-CHINA, 2016), (LIVRE, 2016), (INVESTOR, 2016), (POSHARP, 2016), (SOLAR, 2016).

Para a escolha dos inversores, escolheu-se um fabricante e modelo, de acordo com a potência necessária, para se ter uma estimativa do valor total do projeto. Além disso, foi levado em consideração outros fatores, como possuir MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), equipamento responsável por desempenhar a função de encontrar o ponto de máxima potência do painel fotovoltaico e, assim, entregar a potência máxima no sistema, garantido um aumento substancial no rendimento do sistema. A Tabela 25 apresenta os valores dos inversores escolhidos para análise de custos.

Tabela 25 - Valor dos inversores solar on-grid.

Potência do Inversor (kW)	Fabricante	Modelo	Valor (R\$)
1,5	Fronius	Galvo 1.5-1 light	7.890,00
3,0	Fronius	Primo 3.0-1	8.690,00
4,0	Fronius	Primo 4.0-1	9.590,00
8,2	Fronius	Primo 8.2-1	14.190,00
12,5	Fronius	Symo 12.5-3-M light	19.790,00
15,0	Fronius	Symo 15.0-3-M light	22.490,00
17,5	Fronius	Symo 17.5-3-M light	24.890,00
20,0	Fronius	Symo 20.0-3-M light	27.390,00
30,0	Serrana	Cabernet 30000 27 L	33.900,00
33,0	RNA SOLAR	RNA33KTL SI	16.329,60
40,0	RNA SOLAR	RNA40KTL SI	18.370,80
50,0	Grandsolar	TLC50000	42818,28

Fonte: (NEOSOLARENERGIA, 2016), (ALIBABA.COM, 2016), (RNA, 2016), (LIVRE, 2016).

Alguns painéis e inversores são importados, assim, seus valores encontram-se em dólares. Como forma de realizar a estimativa de custo em reais mais precisa, utilizou-se uma calculadora de tributos disponível no sítio: <http://www.tributado.net/>, e que leva em consideração a conversão monetária (com a cotação do dia 04 de novembro de 2016), imposto de importação, ICMS e IOF.

De acordo Dassi *et al.*, (2015), para se calcular o valor total do investimento, além do valor dos equipamentos, módulos e inversores, deve-se levar em consideração, o valor do projeto elétrico, os encargos da empresa responsável pela instalação, o valor da interligação com a rede elétrica já existente, o painel de proteção e o custo da instalação. E ainda, segundo Handyman (2016), deve-se considerar também nesse cálculo o custo da ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) do CREA. A Tabela 26, mostra as taxas cobradas.

Tabela 26 – Levantamento de valores de serviços e mão de obra, dados em porcentagem em relação ao valor do sistema: painéis e inversores.

Suporte de fixação de painéis	R\$ 120,00 cada
Projeto elétrico, encargos da empresa de instalação	20 % do valor (painéis + inversor)
Interligação com a rede existente	2,0 % do valor (painéis + inversor)
Painel de proteção	2,5 % do valor (painéis + inversor)
Instalação elétricas dos painéis	16,4 % do valor (painéis + inversor)
ART	40,0 % do valor (painéis + inversor)

Fonte: (DASSI *et al.*, 2015), (HANDYMAN, 2016).

Após a determinação de custos, na próxima seção são apresentadas as análises de custos para casos distintos visando a viabilidade econômica na implementação de sistemas fotovoltaicos propostos.

#### 4.2. Análise de Casos Distintos

O cálculo do dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto baseou-se na produção de energia elétrica, com o objetivo de fornecer a demanda total para a Unidade Consumidora. Com isso, os diversos módulos fotovoltaicos apresentados nesse trabalho possibilitam oito casos distintos para a realização do estudo de viabilidade econômica desses sistemas. Ressaltando que buscou-se a aproximação do estudo com a situação mais real do ponto de vista econômico. As Tabelas 27 e 28 apresentam os orçamentos para implantação de sistemas fotovoltaicos.

*Tabela 27 - Custos de implantação para os casos 1, 2, 3 e 4.*

<b>Equipamentos e serviços</b>	<b>Caso 1 (R\$)</b>	<b>Caso 2 (R\$)</b>	<b>Caso 3 (R\$)</b>	<b>Caso 4 (R\$)</b>
<b>Orçamento módulo</b>	44.950,00	204.359,76	60.494,50	163.626,48
<b>Orçamento inversor 15kW</b>	22.490,00	22.490,00	22.490,00	22.490,00
<b>Suporte p/ fixação painéis</b>	6.000,00	21.960,00	6.600,00	13.680,00
<b>Projeto elétrico, encargos da empresa, A.R.T</b>	40.464,00	136.109,85	49.790,70	111.669,88
<b>Interligação com a rede existente</b>	1.348,80	4.536,99	1.659,69	3.722,33
<b>Painel de proteção</b>	1.686,00	5.671,24	2.074,61	4.652,91
<b>Instalação elétricas dos painéis</b>	11.060,16	37.203,36	13.609,45	13.772,61
<b>TOTAL (R\$)</b>	<b>127.998,96</b>	<b>432.331,2158</b>	<b>156.718,96</b>	<b>350.364,71</b>

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Baseado nos valores apresentados nas Tabelas 27 e 28, observou-se que os oito casos apresentados, mesmo tendo a mesma potência fotovoltaica ( $P_{fv}$ ), apresentam valores distintos. Pois, o valor do sistema está diretamente relacionado com a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários.

Tabela 28 - Custos de implantação para os casos 5, 6, 7 e 8.

Equipamentos e serviços	Caso 5 (R\$)	Caso 6 (R\$)	Caso 7 (R\$)	Caso 8 (R\$)
<b>Orçamento módulo</b>	112.279,97	38.709,00	56.442,00	39.438,00
<b>Orçamento inversor 15kW</b>	22.490,00	22.490,00	22.490,00	22.490,00
<b>Suporte p/ fixação painéis</b>	6.360,00	6.120,00	16.560,00	5.040,00
<b>Projeto elétrico, encargos da empresa, A.R.T</b>	80.861,98	36.719,40	47.359,20	37.156,80
<b>Interligação com a rede existente</b>	2.695,40	1.223,98	1.578,64	1.238,56
<b>Painel de proteção</b>	3.369,24	1.529,97	1.973,30	1.548,20
<b>Instalação elétricas dos painéis</b>	22.102,27	10.036,63	12.944,84	10.156,19
<b>TOTAL (R\$)</b>	<b>250.158,87</b>	<b>116.828,99</b>	<b>159.347,98</b>	<b>117.067,75</b>

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Normalmente, para a realização da análise de viabilidade econômica são utilizados índices econômicos, permitindo assim, a demonstração do quão é atrativo esse tipo de investimento. Um dos índices mais utilizados para esse tipo de análise é o tempo de retorno de capital, ou simplesmente, *payback* (MIRANDA, 2014), o qual indica o tempo necessário para o lucro acumulado gerado se igualar ao investimento inicial no sistema fotovoltaico. Para a realização do cálculo de *payback*, utilizou-se o cálculo de retorno simples, relação apresentada na Equação 14,

$$payback\ simples = \frac{I}{C_{economizado}}, \quad (14)$$

onde, *payback simples* é o tempo de retorno dado em anos, *I* é o custo de implantação em R\$ e *C<sub>economizado</sub>* é o valor da energia gerada durante o ano em R\$. Antes de calcular o *payback*, é necessário determinar o valor da energia gerada durante o ano, utilizando a Equação 15,

$$C_{economizado} = tarifa \cdot E \cdot 365 \quad (15)$$

onde, *C<sub>economizado</sub>* é o valor da energia gerada durante o ano em R\$/ano, *tarifa* é valor do kWh e *E* é a energia gerada estimada dado em kWh.

A energia atualmente consumida pela escola é fornecida pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Após analisar a fatura de energia elétrica foi possível perceber que o valor do kWh pago era de R\$ 0,69522314 (Anexo A). A CEMIG é a concessionária de energia elétrica local e ela cobra também o transporte da energia até a Unidade Consumidora. A cobrança é referente a utilização da rede da empresa para transportar a energia entre a geração e o consumidor final. Dessa forma, verificou-se, por meio da fatura, que o valor em kWh pago para o transporte da energia é de R\$ 0,02294236, não havendo distinção de valores em horário de ponta e fora da ponta. Dessa forma, tem-se um total de R\$ 0,7181655 por kWh. Utilizando-se a Equação 15 e os dados apresentados na Tabela 23, calculou-se o valor da energia gerada durante o ano, o que é apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 - Valor da energia gerada durante o ano.

Casos	Energia gerada (kWh/dia)	Ceconomizado (R\$/ano)
1	63,0259	16.521,00
2	62,6739	16.428,73
3	62,7880	16.458,64
4	62,3599	16.346,43
5	63,0259	16.521,00
6	63,0734	16.533,46
7	62,3599	16.346,43
8	62,9307	16.496,05

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Utilizando-se a Equação 14 e os dados apresentados nas Tabelas 27, 28 e 29, calculou-se o *payback simples*, que é apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 - Payback simples do sistema fotovoltaico.

Casos	Payback simples
1	7 anos e 9 meses
2	26 anos e 4 meses
3	9 anos e 6 meses
4	21 anos e 5 meses
5	15 anos e 2 meses
6	7 anos
7	9 anos e 9 meses
8	7 anos e 1 mês

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Baseado nos dados apresentados na Tabela 30, assim como os dados dos painéis fotovoltaicos apresentados na Tabela 5, tem-se que os casos que possuem os melhores tempos

de retorno, ou seja, o menor *payback*, são os Casos 1, 6 e 8. Comparando a tecnologia dos painéis fotovoltaicos mais viáveis economicamente verificou-se que ambos apresentam o mesmo tipo de material da célula fotovoltaica, silício policristalino (*p-Si*), com eficiência da ordem de 16%, como mostrado na Tabela 4. Analisando o Caso 2 pode-se verificar que ele é inviável economicamente, pois o seu tempo de retorno é de mais de 26 anos o que excede a vida útil média de um painel que é de 25 anos (DASSI *et al.*, 2015). Com base na Tabela 4, pode-se verificar que a tecnologia do painel fotovoltaico do caso 2 é o silício amorfo (*a-Si*), com eficiência da ordem de 6%. Com isso, observou-se que os casos mais viáveis são os painéis fotovoltaicos mais eficientes, enquanto o caso menos viável é o painel com menor valor de eficiência do estudo realizado.

#### 4.2.1. Discussão dos casos viáveis economicamente

Os casos 1, 6 e 8 são considerados viáveis economicamente, uma vez que os seus tempos de retorno de 7 anos e 9 meses, 7 anos e 7 anos e 1 mês, respectivamente, são considerados relativamente pequenos em comparação com o tempo de vida útil dos painéis (25 anos). Tornando assim a implantação desses três sistemas fotovoltaicos distintos viáveis para a implantação na Unidade Consumidora estudada. O cálculo da potência do sistema fotovoltaico foi realizado levando em consideração os meses de maiores consumos de energia elétrica. Dessa maneira, nos meses em que o consumo for pequeno, o sistema gerará excedente que poderá gerar crédito com a concessionária de energia elétrica conforme a REN n° 687 da ANEEL (ANEEL, 2015).

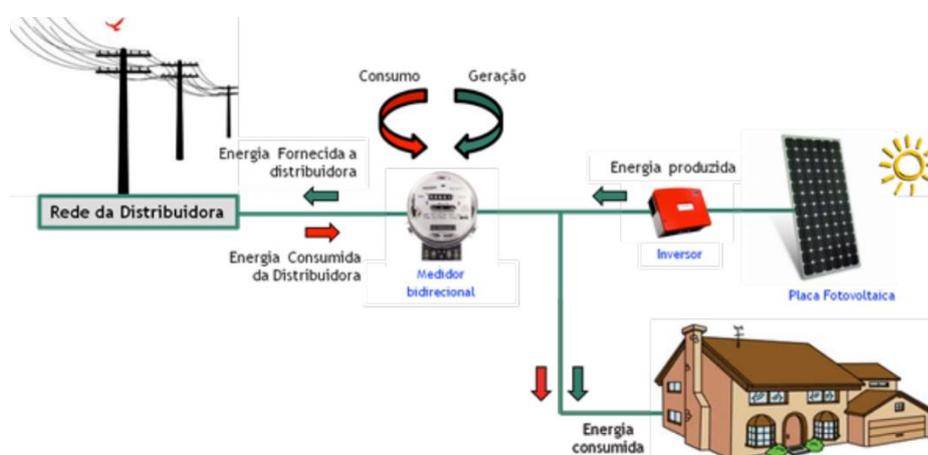


Figura 14 – Representação esquemática do sistema fotovoltaico conectado à rede.  
Fonte: (DASSI *et al.*, 2015).

De acordo com a REN n° 687 da ANEEL, esse crédito gerado, poderá ser utilizado para diminuir a fatura do consumidor ou ainda abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora, conforme ilustração na Figura 14. Sendo assim, como a escola pertence à Prefeitura Municipal de Abaeté/MG, o crédito poderia ser usado em qualquer prédio pertencente à Prefeitura, o que acarretaria uma economia ainda maior. Além disso, com a geração de créditos, o tempo de retorno do sistema poderá diminuir, tornando a implantação dos sistemas fotovoltaicos propostos ainda mais viáveis. Assim, na próxima seção são apresentados a análise da energia gerada excedente pelos sistemas fotovoltaicos viáveis propostos (Casos 1, 6 e 8).

#### 4.3. Análise de geração de energia excedente para os casos 1, 6 e 8

Visto que os componentes dos sistemas fotovoltaicos utilizados nos casos 1, 6 e 8, representam os sistemas fotovoltaicos com maior viabilidade econômica de implantação, realizou-se uma nova análise desses sistemas, só que agora levando em conta a geração de energia em excesso, utilizando as áreas de 100, 200 e 500 m<sup>2</sup>. Nas Tabelas 31, 32 e 33 são apresentados os valores de orçamentos para os sistemas fotovoltaicos propostos nos Casos 1, 6 e 8, aplicados para as áreas de 100, 200 e 500 m<sup>2</sup>.

*Tabela 31 - Orçamentos para os sistemas fotovoltaicos dos Casos 1, 6 e 8 aplicados a uma área de 100m<sup>2</sup>.*

	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 6</b>	<b>Caso 8</b>
<b>Área instalada</b>	100 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>
<b>N° de módulos fotovoltaicos</b>	62	61	52
<b>Orçamento módulo</b>	R\$55.738,00	R\$46.299,00	R\$48.828,00
<b>Orçamento inversor 17,5kW</b>	R\$24.890,00	R\$24.890,00	R\$24.890,00
<b>Suporte p/ fixação painéis</b>	R\$7.440,00	R\$7.320,00	R\$6.240,00
<b>Projeto elétrico, encargos da empresa e ART</b>	R\$48.376,80	R\$42.713,40	R\$44.230,80
<b>Interligação com a rede existente</b>	R\$1.612,56	R\$1.423,78	R\$1.474,36
<b>Painel de proteção</b>	R\$2.015,70	R\$1.779,72	R\$1.842,95
<b>Instalação elétricas dos painéis</b>	R\$13.222,92	R\$11.674,99	R\$12.089,75
<b>TOTAL (R\$)</b>	<b>R\$153.296,05</b>	<b>R\$136.100,86</b>	<b>R\$139.595,86</b>

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 32 -Orçamento para os sistemas fotovoltaicos dos Casos 1, 6 e 8 aplicados a uma área de 200m<sup>2</sup>.

	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 6</b>	<b>Caso 8</b>
<b>Área instalada</b>	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>
<b>Nº de módulos fotovoltaicos</b>	124	122	104
<b>Orçamento módulo</b>	R\$111.476,00	R\$92.598,00	R\$97.656,00
<b>Orçamento inversor 33kW</b>	R\$16.329,60	R\$16.329,60	R\$16.329,60
<b>Suporte p/ fixação painéis</b>	R\$14.880,00	R\$14.640,00	R\$12.480,00
<b>Projeto elétrico, encargos da empresa e ART</b>	R\$76.683,36	R\$65.356,56	R\$68.391,36
<b>Interligação com a rede existente</b>	R\$2.556,11	R\$2.178,55	R\$2.279,71
<b>Painel de proteção</b>	R\$3.195,14	R\$2.723,19	R\$2.849,64
<b>Instalação elétricas dos painéis</b>	R\$20.960,12	R\$17.864,13	R\$18.693,64
<b>TOTAL (R\$)</b>	<b>R\$246.080,33</b>	<b>R\$211.690,03</b>	<b>R\$218.679,95</b>

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 33 -Orçamento para os sistemas fotovoltaicos dos Casos 1, 6 e 8 aplicados a uma área de 500m<sup>2</sup>.

	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 6</b>	<b>Caso 8</b>
<b>Área instalada</b>	500 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>
<b>Nº de módulos fotovoltaicos</b>	311	305	261
<b>Orçamento módulo</b>	R\$279.589,00	R\$231.495,00	R\$245.079,00
<b>Orçamento inversor 3x30 kW</b>	R\$101.700,00	R\$101.700,00	R\$101.700,00
<b>Suporte p/ fixação painéis</b>	R\$37.320,00	R\$36.600,00	R\$31.320,00
<b>Projeto elétrico, encargos da empresa e ART</b>	R\$228.773,40	R\$199.917,00	R\$208.067,40
<b>Interligação com a rede existente</b>	R\$7.625,78	R\$6.663,90	R\$6.935,58
<b>Painel de proteção</b>	R\$9.532,23	R\$8.329,88	R\$8.669,48
<b>Instalação elétricas dos painéis</b>	R\$62.531,40	R\$54.643,98	R\$56.871,76
<b>TOTAL</b>	<b>R\$727.071,80</b>	<b>R\$639.349,76</b>	<b>R\$658.643,21</b>

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Para esses novos cenários calculou-se a energia estimada gerada pelos sistemas fotovoltaicos propostos, de posse da Equação 12, assim como os valores de módulos apresentados na Tabela 5. Os valores de energia estimada gerada por esses sistemas são apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Energia gerada estimada para as áreas de 100, 200 e 500 m<sup>2</sup>.

<b>Energia gerada (kWh/dia)</b>			
<b>Casos</b>	<b>Área instalada 100 m<sup>2</sup></b>	<b>Área instalada 200 m<sup>2</sup></b>	<b>Área instalada 500 m<sup>2</sup></b>
<b>1</b>	78,37	156,73	391,83
<b>6</b>	75,56	151,12	377,79
<b>8</b>	78,09	156,17	390,43

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Com o valor do consumo anual de energia elétrica da Unidade Consumidora que é aproximadamente 20 MWh, pode-se calcular o quanto de energia é gerada em excesso, cujos valores são apresentados nas Tabelas 35, 36 e 37.

Tabela 35 – Energia gerada em excesso para uma área de 100 m<sup>2</sup>.

<b>Área instalada de 100 m<sup>2</sup></b>			
<b>Casos</b>	<b>Energia gerada (MWh/ano)</b>	<b>Energia consumida (MWh/ano)</b>	<b>Excedente gerado (MWh/ano)</b>
<b>1</b>	28,61	20,00	8,61
<b>6</b>	27,58	20,00	7,58
<b>8</b>	28,50	20,00	8,50

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 36 - Energia gerada em excesso para uma área de 200 m<sup>2</sup>.

<b>Área instalada de 200 m<sup>2</sup></b>			
<b>Casos</b>	<b>Energia gerada (kWh/dia)</b>	<b>Energia consumida (MWh/ano)</b>	<b>Excedente gerado (MWh/ano)</b>
<b>1</b>	57,21	20,00	37,21
<b>6</b>	55,16	20,00	35,16
<b>8</b>	57,00	20,00	37,00

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Tabela 37 - Energia gerada em excesso para uma área de 500 m<sup>2</sup>.

<b>Área instalada de 500 m<sup>2</sup></b>			
<b>Casos</b>	<b>Energia gerada (kWh/dia)</b>	<b>Energia consumida (MWh/ano)</b>	<b>Excedente gerado (MWh/ano)</b>
<b>1</b>	143,02	20,00	123,02
<b>6</b>	137,89	20,00	117,89
<b>8</b>	142,51	20,00	122,51

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Desse modo, utilizado a Equação 15 e os dados apresentados nas Tabelas 35, 36 e 37, foi possível calcular o valor da energia gerada durante o ano, cujos valores são apresentados nas Tabelas 38, 39 e 40.

*Tabela 38 - Valor da energia gerada durante o ano para uma área de 100 m<sup>2</sup>.*

<b>Área instalada de 100 m<sup>2</sup></b>		
<b>Casos</b>	<b>Energia gerada (kWh/dia)</b>	<b>C<sub>economizado</sub> (R\$/ano)</b>
<b>1</b>	78,37	20.543,16
<b>6</b>	75,56	19.806,57
<b>8</b>	78,09	20.469,76

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

*Tabela 39 - Valor da energia gerada durante o ano para uma área de 200 m<sup>2</sup>.*

<b>Área instalada de 200 m<sup>2</sup></b>		
<b>Casos</b>	<b>Energia gerada (kWh/dia)</b>	<b>C<sub>economizado</sub> (R\$/ano)</b>
<b>1</b>	156,73	41.083,70
<b>6</b>	151,12	39.613,15
<b>8</b>	156,17	40.936,91

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

*Tabela 40 - Valor da energia gerada durante o ano para uma área de 500 m<sup>2</sup>.*

<b>Área instalada de 500 m<sup>2</sup></b>		
<b>Casos</b>	<b>Energia gerada (kWh/dia)</b>	<b>C<sub>economizado</sub> (R\$/ano)</b>
<b>1</b>	391,83	102.710,5576
<b>6</b>	377,79	99.030,24665
<b>8</b>	390,43	102.343,575

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

Com isso, utilizando a Equação 14 e os dados apresentados nas Tabelas 38, 39 e 40, foi possível calcular o *payback* simples, e seus respectivos valores são apresentados na Tabela 41.

*Tabela 41 – Payback simples para as áreas de 100, 200 e 500 m<sup>2</sup>.*

<b>Payback simples</b>			
<b>Casos</b>	<b>Área instalada 100 m<sup>2</sup></b>	<b>Área instalada 200 m<sup>2</sup></b>	<b>Área instalada 500 m<sup>2</sup></b>
<b>1</b>	7 anos e 5 meses	6 anos	7 anos
<b>6</b>	6 anos e 11 meses	5 anos e 3 meses	6 anos e 6 meses
<b>8</b>	6 anos e 10 meses	5 anos e 3 meses	6 anos e 5 meses

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

De posse de todos os resultados obtidos nessa análise de viabilidade econômica de diferentes sistemas de geração fotovoltaica para implantação na Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes na cidade de Abaeté/MG, são apresentados no próximo capítulo as conclusões dessa monografia.

## 5. CONCLUSÃO

A matriz energética brasileira é composta majoritariamente por geração hidrelétrica. Devido à grande dependência de fatores hídricos, as usinas hidrelétricas têm sua produção decaindo ano a ano. Por exemplo, em 2012 devido ao menor volume de chuvas e, conseqüentemente, à redução dos níveis dos reservatórios de água nas usinas, a geração hidrelétrica diminuiu, acarretando o acionamento das usinas térmicas, para assim, poder suprir o aumento de demanda naquele momento. Contudo, como a geração térmica é mais cara que a hidrelétrica, a conta de energia elétrica para o consumidor final sofreu um aumento considerável.

Nessa perspectiva, a energia solar apresenta um ótimo potencial no território brasileiro, apesar de ser pouco explorada. No município de Abaeté/MG, local onde o estudo proposto foi realizado, constatou-se ótimas condições para a instalação de sistemas de geração solar fotovoltaica, devido aos seus ótimos valores de radiação solar ao longo de todo ano, uma vez que Abaeté apresenta índice de radiação solar superior à média do estado de Minas Gerais (aproximadamente 1.350 kWh/m<sup>2</sup> para Minas Gerais e aproximadamente 1.730 kWh/m<sup>2</sup> para Abaeté). Com isso, escolheu-se desenvolver o estudo na maior escola municipal da cidade, a Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes, uma vez que ela apresenta uma maior demanda de energia elétrica.

Para a realização do estudo, escolheu-se a implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, para isso, foi necessário observar as normas e legislações específicas para esse caso. Uma vez que, ao gerar energia em excesso, tal procedimento pode acarretar uma geração de créditos por parte da Prefeitura Municipal de Abaeté/MG, já que existe a REN nº 687 da ANEEL de 2015, normatizando essa geração.

Para a realização da viabilidade econômica, foram analisados diferentes cenários econômicos, a fim de tornar os resultados mais reais do ponto de vista econômico. Esses cenários apresentaram o modo como implantar o sistema fotovoltaico na Unidade Consumidora em análise, bem como, tornando-se excelentes casos para a redução de custos e diversificação energética, uma vez que, o tempo de retorno (*payback*) do investimento está entre 7 e 8 anos, o que representa um tempo de retorno pequeno em relação à vida útil dos painéis fotovoltaicos, de 25 anos. Caso a energia seja comercializada com a concessionária, esse tempo de retorno diminui ainda mais, mostrando assim, que os sistemas fotovoltaicos apresentados nesse trabalho são viáveis economicamente.

Por fim, pode-se concluir que, além de reduzir os custos e de apresentar uma ótima viabilidade econômica para a Unidade Consumidora analisada, a energia solar fotovoltaica, é

uma das mais importantes fontes de energia renováveis, acarretando também benefícios inestimáveis ao meio ambiente.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

Como possibilidade de trabalho futuro pode-se sugerir um estudo sistemático do sistema fotovoltaico visando a relação entre a geração esperada e a real. Uma parcela da relação entre a geração esperada e a real deve-se a um cálculo de geração de energia mais efetivo, ou seja, um cálculo de geração de energias levando em conta as perdas do sistema, onde a expressão a seguir representa essa consideração,

$$E_{GP} = HSP \cdot A_{inst.} \cdot E_f \cdot (1 - \rho), \quad (16)$$

onde,  $HSP$  é a hora de sol pleno diário obtido pela Equação 2 dado em kWh/m<sup>2</sup>,  $A_{inst.}$  é a área a ser instalada em m<sup>2</sup>,  $E_f$  é a eficiência do painel dado em % e  $\rho$  representa a perda percentual do sistema em %. De acordo com Miranda (2014), um sistema fotovoltaico conectado à rede possui perdas geradas por diversos motivos, tais como, a eficiência do inversor, degradação por incidência inicial da luz, sombreamento, dados incorretos de placa, dentre outros. Dessa forma, a soma do percentual de perda relativo a cada problema citado representa a perda percentual total do sistema, cujo valor é da ordem de 18%.

Como forma de ilustrar a aplicação dessas considerações, aproveitou-se o estudo realizado nesse trabalho para implementar três sistemas fotovoltaicos com área instalada de 250 m<sup>2</sup>, sistemas equivalentes aos Casos 1, 6 e 8, onde os valores de viabilidade econômica são apresentados na Tabela 42. De posse desses valores, pode-se verificar que o *payback* praticamente aumenta em relação ao *payback* dos sistemas apresentados sem as perdas citadas nessa seção. Com isso, tem-se um cenário propício ao desenvolvimento de mais trabalhos nessa linha de pesquisa.

Tabela 42 – Viabilidade econômica para três sistemas fotovoltaicos com perdas.

Área instalada de 250 m <sup>2</sup>			
Caso	Energia gerada (kWh/dia)	C <sub>economizado</sub> (R\$/ano)	Payback simples
1	58,62	15.366,00	16 anos
6	56,59	14.834,20	14 anos e 3 meses
8	58,44	15.319,35	14 anos e 3 meses

Fonte: (Acervo do autor, 2016).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIBABA.COM. **50000W 50KW DC TO AC 160 220 230 240 V PURE SINE WAVE 3 PHASE GRID TIE MPPT SOLAR POWER INVERTER.** Disponível em: <[https://wholesaler.alibaba.com/product-detail/50000W-50KW-DC-TO-AC-160\\_60452568979.html?s=p](https://wholesaler.alibaba.com/product-detail/50000W-50KW-DC-TO-AC-160_60452568979.html?s=p)>. Acesso em: 20 out. 2016.

AMAZÔNIA, Sol na. **Fotovoltaica.** Disponível em: <[http://solnaamazonia.com.br/website/?page\\_id=2](http://solnaamazonia.com.br/website/?page_id=2)>. Acesso em: 02 dez. 2016.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 2. ed. Brasília: Cedoc, 2005. 243 p.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012.** 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2016.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 687, de 24 de novembro de 2015.** 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2016.

ASOLAR ENERGY. **Soluções Fotovoltaicas.** Disponível em: <<http://www.asolar.es/projetos-instalacoes/solucoes-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 29 set. 2016.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica - Fundamentos e Aplicações.** 2008. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL, Portal. **Brasil registrou mais de 3,5 mil conexões de energia em 2016.** 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: 07 nov. 2016.

CASTRO, Rui M. G.. **Introdução à Energia fotovoltaica.** Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2002.

CECHINEL, Aurélio; YOSHIBA, Douglas Ilha; SÁ, João Daniel. **Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de Células Fotovoltaicas para Iluminação a Led da Estuda do Jardim Botânico de Curitiba.** 2014. 127 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase - Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Cemig, 2012. 80 p. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/inovacao/Alternativas\\_Energeticas/Documents/Atlas\\_Solarimetrico\\_CEMIG\\_12\\_09\\_menor.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Atlas_Solarimetrico_CEMIG_12_09_menor.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2016.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Mapa atualizado do Atlas Solarimétrico.** Belo Horizonte: Cemig, 2016. 1 p. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/inovacao/Alternativas\\_Energeticas/Documents/Mapa\\_atualizado\\_do\\_Atlas\\_Solarimetrico.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Mapa_atualizado_do_Atlas_Solarimetrico.pdf)>. Acesso em: 31 out. 2016.

CRESESB. Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia solar: Princípios e Aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 01 set. 2016.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 18 out. 2016.

DASSI, *et al.* **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, XXII. 2015, Foz do Iguaçu.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2016**: ano base de 2015. Rio de Janeiro: Epe, 2016. 292 p. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2016.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2016.

EXAME. **1,5 bilhão de pessoas vive sem energia elétrica no mundo**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/1-5-bilhao-de-pessoas-vive-sem-energia-eletrica-no-mundo/>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

EXAME. **7 cidades onde ter luz em casa é privilégio de poucos**. 2015. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/7-cidades-onde-ter-luz-em-casa-e-privilegio-de-poucos/>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

FIGUEIRA, Fabio Fernandes. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para Alimentar a Sala de Computação da Escola Municipal Tenente Antônio João**. 2014. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

FRAUNHOFER ISE, Universidade de Stuttgart, 26 th IEEE PVSC, NREL, UNSW, **Folhas de dados de vários fabricantes**. Adaptada de “Energia fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação”, Portugal, 2004.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 18 out. 2016.

HANDYMAN, Mr. **Quanto custa o Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid)?**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=cN7W83quv88>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

IBGE. **Projeção da População Brasileira**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 29 out. 2016.

INPE. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, 2006. 60 p. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2016.

INVESTOR, Green World. **Bosch Solar Energy/Panel Price Review – Expensive Solar Acquisitions Ersol,Aleo Fail to Pay Off**. Disponível em:

<<http://www.greenworldinvestor.com/2011/07/06/bosch-solar-energypanel-price-review-expensive-solar-acquisitions-ersolaleo-fail-to-pay-off/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

LIVRE, Mercado. **Inversor Solar On Grid 30000w Triplo Mppt Wifi Dc Switch**. Disponível em: <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-798519778-inversor-solar-on-grid-30000w-triplo-mppt-wifi-dc-switch-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-798519778-inversor-solar-on-grid-30000w-triplo-mppt-wifi-dc-switch-_JM)>. Acesso em: 20 out. 2016.

LIVRE, Mercado. **Painel Placa Célula Solar Fotovoltaica Monocristalina 240w**. Disponível em: <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-719954510-painel-placa-celula-solar-fotovoltaica-monocristalina-240w-\\_JM?source=gps](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-719954510-painel-placa-celula-solar-fotovoltaica-monocristalina-240w-_JM?source=gps)>. Acesso em: 20 out. 2016.

MADE-IN-CHINA. **Painel solar Photovoltaic da Triplo-Junção amorfa flexível do silicone**. Disponível em: <[http://pt.made-in-china.com/co\\_sinoltech/product\\_Flexible-Amorphous-Silicon-Triple-Junction-Photovoltaic-Solar-Panel\\_hoeogiooy.html](http://pt.made-in-china.com/co_sinoltech/product_Flexible-Amorphous-Silicon-Triple-Junction-Photovoltaic-Solar-Panel_hoeogiooy.html)>. Acesso em: 20 out. 2016.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesamo. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**. 2014. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. 2015. 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: 06 nov. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Fronius Galvo 1.5-1 light (1.500W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-galvo-1-5-1-light-1-500w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Grid-tie Fronius Primo 3.0-1 (3.000W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-grid-tie-fronius-primo-3-0-1-3000-w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Fronius Primo 4.0-1 (4.000W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-primo-4-0-1-4000w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Fronius Primo 8.2-1 (8.200W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-primo-8-2-1-8200w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Fronius Symo 12.5-3-M light (12.500W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-12-5-3-m-light-12500w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Fronius Symo 15.0-3-M light (15.000W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-15-0-3-m-light-15000w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Fronius Symo 17.5-3-M light (17.500W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-17-5-3-m-light-17500w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Inversor Fronius Symo 20.0-3-M light (20.000W)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-20-0-3-m-light-20000w.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NEOSOLARENERGIA. **Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian CSI CS6P-265P - BR**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-265wp-canadian-csi-cs6p-265p.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (Org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel, 2014. 530 p.

PORTAL SOLAR. **Kit de energia solar: tudo que você precisa saber**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/kit-de-energia-solar--tudo-o-que-voce-precisa-saber.html>>. Acesso em: 29 set. 2016.

POSHARP. **Bosch  $\mu$ -Si 115 Solar Panel from Bosch Solar Energy**. Disponível em: <<http://www.greenworldinvestor.com/2011/07/06/bosch-solar-energypanel-price-review-expensive-solar-acquisitions-ersolaleo-fail-to-pay-off/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

POSHARP. **Canadian Solar CS5P-250M Monocrystalline Panel**. Disponível em: <<http://www.posharp.com/canadian-solar-cs5p-250m-for-sale-p215.aspx>>. Acesso em: 20 out. 2016.

REBOLLAR, Paola Beatriz May; RODRIGUES, Paulo Roberto (Org.). **Energias Renováveis - Energia Solar**. Brasil: Jelare, 2011. 101 p. Disponível em: <[https://issuu.com/youssefbrasil/docs/energia\\_solar](https://issuu.com/youssefbrasil/docs/energia_solar)>. Acesso em: 27 ago. 2016.

REAL SOLAR. **Os Sistemas**. Disponível em: <<http://real-solar.com/como-funciona.php>>. Acesso em: 02 out. 2016.

RNA. **INVERSOR 33KW ON GRID**. Disponível em: <<http://rnaimports.com/produto/inversor-33kw-on-grid>>. Acesso em: 20 out. 2016.

RNA. **INVERSOR 40KW ON GRID**. Disponível em: <<http://rnaimports.com/produto/inversor-40kw-grid>>. Acesso em: 20 out. 2016.

SILVA, Alex de Lima e. **Protótipo de um Sistema Fotovoltaico Auxiliar com Armazenamento de Energia Elétrica**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento, Curitiba, 2014.

SILVA, Jorge José Barbosa da. **Análise Técnica e Econômica de um Sistema Fotovoltaico como Fonte de Energia Elétrica para Agricultura Familiar**. 2014. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SILVESTRI, Alessandro Frederico; TAKASAKI, Vinícius Garcia. **Estudo de Viabilidade para Implantação de Geração Fotovoltaica em Shopping Centers na Região de Curitiba**. 2014. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SOLAR, Minha Casa. **Painel Solar de 260W Jinko Solar - JKM260P-60**. Disponível em: <<http://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-de-260w-jinko-solar-jkm260p-60-78602>>. Acesso em: 20 out. 2016.

SOLAR, Minha Casa. **Painel Solar de 95W Yingli Solar - YL95P-17B 4/5 SKU 1259**. Disponível em: <<http://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-de-95w-yingli-solar-yl95p-17b-4-5-78976>>. Acesso em: 20 out. 2016.

SOLAR, Minha Casa. **Painel Solar de 95W Yingli Solar - YL95P-17B 4/5**. Disponível em: <<http://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-de-315w-canadian-solar-cs6x-315p-78797>>. Acesso em: 20 out. 2016.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: Epe, 2016. 452 p.

VILLALVA, Marcelo Grandella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. São Paulo: Érica, 2012. 224 p.

YOUNG, Hugh D. **Física IV: ótica e física moderna/ Young e Freedman**; [colaborador A. Lewis Ford]; tradução Claudia Martins; revisão técnica Adair Moysés Luiz. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

ZILLES, R. *et al.* **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2012.

ANEXO A – FATURAS DA UNIDADE CONSUMIDORA



**www.cemig.com.br/atendimento**  
**Cemig Torpedo 20010**  
**Fale com a Cemig 116**

**Distribuição S.A.**

Cemig Distribuição S.A. CNPJ: 04.247.185/0001-18 | Insc. Estadual: 062.392/195/0001 |  
 Av. Bartolomeu, 1.255 - 17ª andar - Pça. Af. - CEP: 35190-131 - Belo Horizonte - MG

Tarifa Social de Energia Básica - TSEB (1ª etapa pela Lei nº 10.438, de 28 de abril de 2002)

**PRONTO ATENDIMENTO**  
 RUA PEDRO ALVES 229 CX  
 SAO PEDRO  
 35620-000 ABAETE, MG  
 CNPJ: 18.236.632/0001-00

Referente a **SET/2016**  
 Código de Débito Automático: **000044056794**

Nº DO CLIENTE **7005802059**

---

**NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº 001468972 - PTA Nº16.000114227.70**

<b>Classes</b>	<b>Subclasse</b>	<b>Dados de Leituras</b>		<b>Dados de Nota Fiscal</b>		<b>Nº DA INSTALAÇÃO</b>
Poder Públicos Municipais	Poder Públicos Municipais	Anterior 18/08	Atual 19/09	Emissão 19/09	Representação 08/10	<b>3005289043</b>

---

<b>Tipo de Medição</b> Energia kWh	<b>Medição</b> AF095.0229022	<b>Letura Anterior</b> 65.184	<b>Letura Atual</b> 66.767
<b>Informações Técnicas</b>		<b>Constante de Multiplicação</b> 1	<b>Consumo kWh</b> 1.583

---

**Informações Gerais**

RECIBO DE QUITAÇÃO DE DÉBITOS Nº 01.2016.  
 A Cemig, em atendimento à Lei nº 12.007, de 29/07/09, declara quitados os débitos do cliente em referência (contato 5104822855), relativos ao fornecimento de energia elétrica a esta unidade consumidora, referente aos meses de 01.01.2011 a 31.12.2015, excetuando eventuais débitos que sejam posteriormente apurados diante de possível verificação de irregularidades ou de resultados de faturamento, que abrangam o período em questão.  
 Tarifa vigente conforme Res. Ansel nº 2.076, de 24/05/2016.  
 Letura realizada conforme calendário de faturamento.  
 AGO/2016 Band. Verde - SET/2016 Band. Verde

**Valores Faturados**

Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	1.583	0,69622314	1.100,52
<b>Tarifas aplicadas (sem impostos)</b>			
Energia Elétrica kWh		0,53122000	

---

<b>Indicadores de Qualidade de Fornecimento</b>			
Rozeta 2			
Mês: 07/2016			
<b>Aparato Mensal</b>	<b>Mensal</b>	<b>Trimestral</b>	<b>Anual</b>
SAC	0,00	5,43	10,86
PEC	0,00	3,30	6,60
SANC	0,00	3,11	-
SANC2	0,00	12,22	-
Tensão Nominal: 127/220 V Mon. x 110/220 V Mon. x 126/252 V Valor Escalado Sist. Distribuição: P0224.39			

---

<b>Informações de Faturamento</b>			
<b>Parcela</b>	<b>Valor R\$</b>	<b>%</b>	<b>Parcela</b>
Energia	405,26	36,22	Exc. Tribuac
Distribuição	246,87	22,32	Tribuac
Transmissão	35,25	3,25	Total
		1.100,52 100,00	

---

<b>Histórico do Consumo</b>			
<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo kWh</b>	<b>Média kWh/Dia</b>	<b>Data de Faturamento</b>
SET/15	1.583	49,46	32
AGO/15	1.038	32,50	30
JUL/15	1.187	40,24	29
JUN/15	1.448	43,37	33
MAY/15	1.521	50,70	30
ABR/15	1.897	52,09	32
MAR/15	1.586	55,32	28
FEB/15	266	28,53	30
JAN/15	470	14,88	32
DEZ/14	1.824	56,00	29
NOV/14	1.905	55,16	30
OCT/14	1.802	50,06	32
SET/14	1.560	52,03	30

---

**VENCIMENTO**  
**22/11/2016**

**VALOR A PAGAR**  
**R\$ 1.100,52**

---

Reservado ao Fisco  
**B204.21AE.4177.92EC.4346.CE29.F384.0963**

<b>Base de cálculo (R\$)</b> 1.100,52	<b>ICMS Alíquota (%)</b> 18	<b>Valor (R\$)</b> 198,09
<b>PASEP (R\$)</b> 10,80	<b>COFINS (R\$)</b> 50,82	

---

Governador CEMIG: (051) 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação Gratuita de telefones fixos e móveis.

---

<b>Unidade de Leituras</b> 13241894	<b>Conta Contrato</b> 000044056794	<b>Vencimento</b> 22/11/2016	<b>Total a Pagar</b> R\$ 1.100,52
--	---------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

Setembro/2016

Figura 15 – Conta de energia elétrica do Padrão 1 da Unidade Consumidora: Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes na cidade de Abaeté/MG.



**Cemig Distribuição S.A.** CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136.0087  
Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

**ESC MUN IRMA MARIA DE LOURDES PMA**  
RUA GONCALVES DA ROCHA 282 CX  
SAO PEDRO  
35620-000 ABAETE, MG  
CNPJ 18.296.632/0001-00

Referente a  
**SET/2016**  
Código de Débito Automático:  
**000044056794**

Nº DO CLIENTE  
**7005802059**

**NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº 001688976 - PTA Nº16.000114527.70**

<b>Classe</b> Poder Público Bifásico	<b>Subclasse</b> Poder Público Municipal	<b>Datas de Leitura</b> ANTERIOR 18/08 ATUAL 19/09 PRÓXIMA 20/10	<b>Datas da Nota Fiscal</b> EMISSÃO 19/09 APRESENTAÇÃO 06/10	<b>Nº DA INSTALAÇÃO</b> <b>3012551518</b>
--	--	--	--	--

<b>Tipo de Medição</b> Energia kWh	<b>Medição</b> APD142009332	<b>Leitura Anterior</b> 3.025	<b>Leitura Atual</b> 3.199	<b>Constante de Multiplicação</b> 1	<b>Consumo kWh</b> 174
---------------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	--	---------------------------

**Informações Gerais**

RECIBO DE QUITAÇÃO DE DÉBITOS Nº 01/2016  
A Cemig, em atendimento à Lei nº 12.007, de 29/07/09, declara quitados os débitos do cliente em referência (contrato 5013436271), relativos ao fornecimento de energia elétrica a esta unidade consumidora, referente aos vencimentos de 01/01/2015 a 31/12/2015, excetuando eventuais débitos que sejam posteriormente apurados diante de possível verificação de irregularidades ou de revisão de faturamento, que abranjam o período em questão.  
Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 2.076, de 24/05/2016.  
Leitura realizada conforme calendário de faturamento  
AGO/2016 Band. Verde - SET/2016 Band. Verde

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	174	0,69522314	120,95
<b>Tarifas aplicadas (sem impostos)</b>			
Energia Elétrica kWh		0,53122000	

**Indicadores de Qualidade de Fornecimento**

Abaeté 2  
Mês: 07/2016

Apurado Mensal	Valores Permitidos		
	Mensal	Trimestral	Anual
DIC 0,00	5,43	10,86	21,73
FIC 0,00	3,30	6,60	13,20
DMIC 0,00	3,11	-	-
DICRI 0,00	12,22	-	-

Tensão Nominal = 127/220 V Min. = 117/202 V Máx. = 133/231 V  
Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$43,16

**Informações de Faturamento**

Parcelas	Valor R\$	%	Parcelas	Valor R\$	%
Energia	44,55	36,83	Enc. Setoriais	16,89	13,96
Distribuição	27,00	22,33	Tributos	28,52	23,58
Transmissão	3,99	3,30	Total	120,95	100,00

**VENCIMENTO**  
**22/11/2016**

**VALOR A PAGAR**  
**R\$ 120,95**

**Histórico do Consumo**

Mês/Ano	Consumo kWh	Média kWh/Dia	Dias de Faturamento
SET/16	174	5,43	32
AGO/16	109	3,63	30
JUL/16	155	5,34	29
JUN/16	184	5,57	33
MAI/16	183	6,10	30
ABR/16	215	6,71	32
MAR/16	238	8,50	28
FEV/16	156	5,20	30
JAN/16	30	0,93	32
DEZ/15	241	8,31	29
NOV/15	225	7,50	30
OUT/15	179	5,59	32
SET/15	184	6,13	30

Reservado ao Fisco  
**ABB7.DBA8.EBA1.10F2.5DED.F9D5.B6D5.8CE7**

Base de cálculo (R\$)	ICMS Alíquota (%)	Valor (R\$)	PASEP (R\$)	COFINS (R\$)
120,95	18	21,77	1,19	5,56

Ouvidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação Gratuita de telefones fixos e móveis.



**Unidade de Leitura**  
13341804

**Conta Contrato**  
000044056794

**Vencimento**  
22/11/2016

**Total a Pagar**  
R\$ 120,95

Setembro/2016

Figura 16 - Conta de energia elétrica do Padrão 2 da Unidade Consumidora: Escola Municipal Irmã Maria de Lourdes na cidade de Abaeté/MG.