

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
FELIPE BERNARDES ARAÚJO ROCHA

**VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL**

FORMIGA

2018

FELIPE BERNARDES ARAÚJO ROCHA

VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTÁICO
INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. esp. Laurêmia Soares da
Silva Faria

FORMIGA-MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

R672 Rocha, Felipe Bernardes Araújo.
Viabilidade técnico-econômica de um sistema fotovoltaico interligado à
rede elétrica em uma edificação comercial / Felipe Bernardes Araújo Rocha.
– 2018.
51 f.

Orientadora: Laurêmia Soares da Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Amortização do investimento. 2. Economia gerada pelo sistema.
3. Módulo fotovoltaico. I. Título.

CDD 621.3

Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Felipe Bernardes Araújo Rocha

VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTÁICO
INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL

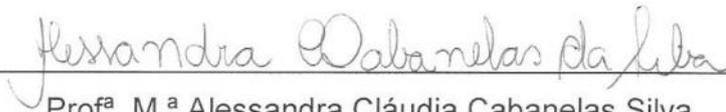
Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil do UNIFOR-MG, como requisito
parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. esp. Laurêmia Soares
da Silva Faria

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Esp. Laurêmia Soares da Silva

Orientadora



Prof^ª. M.^a Alessandra Cláudia Cabanelas Silva.

UNIFOR-MG



Carina Batista Leal.

Engenheira Civil

Formiga, 01 de novembro de 2018

RESUMO

Frente a crise energética que nos impõe a procurar outras fontes de energia, como meio alternativo, a energia solar se destaca, onde o mercado relacionado a este tipo de tecnologia vem rompendo barreiras e ganhando cada vez mais espaço dentre as demais. Foi desenvolvido um estudo teórico, explicando sobre o processo fotovoltaico, incluindo seus componentes, as diferentes tecnologias fotovoltaicas comercialmente disponíveis e suas eficiências, os sistemas conectados à rede elétrica e os sistemas autônomos, os fatores que influenciam a eficiência dos módulos, entre outros. Portanto, este trabalho estuda a energia fotovoltaica e suas aplicações, onde o objeto de estudo foi um ponto comercial, dotado de um SFCR, analisando a viabilidade técnica e econômica de sua implantação, por meio de faturas das contas de energia elétrica e comparando o antes e depois da instalação do mesmo, permitindo gerar quadros e gráficos capazes de expressar a amortização do investimento ao longo do tempo.

Palavras Chave: Amortização do investimento. Economia gerada pelo sistema. Módulo fotovoltaico.

ABSTRACT

Against the energy crisis that imposes on us to seek other sources of energy, as alternative means, the solar energy stands out, where the market related to this type in technology has been breaking barriers and gaining increasingly space between the others. Was developed a theoretical study, explaining about the photovoltaic process, including their components, the different technologies photovoltaics commercially available and their efficiencies, the systems connected to the electric grid and autonomous systems, the factors influencing efficiency of modules, among others. Therefore, this work studies the photovoltaic energy and their applications, at were the object study was a commercial point, equipped whit of a grid connected photovoltaic system, analyzing of the technical and economical viability of your implantation, by means through invoices of the power bills and comparing the before and after installing the same, allowing generate tables and graphics able to express the amortization of investment over time.

Keywords: Amortization of investment. Generated economy by the system. Modules photovoltaics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica	19
Figura 2 - conexão em série	22
Figura 3 - conexão em paralelo.....	22
Figura 4 - Caixa para a conexão de strings em paralelo.....	24
Figura 5 - transmissão e distribuição de energia elétrica.....	30
Figura 6 - Posicionamento dos módulos fotovoltaicos	35
Figura 7 - Mapa geográfico brasileiro de acordo com os índices de radiação solar horizontal	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Radiação solar média mensal considerada no projeto	36
Gráfico 2 - Radiação solar global horizontal média (KWh/m²)	36
Gráfico 3 - Temperaturas do local	37
Gráfico 4 - Irradiação média mensal (horas de sol equivalente/dia – média)	37
Gráfico 5 - Energia consumida versus energia gerada no estabelecimento em 2018	Erro! Indicador não definido.
Gráfico 6 - Valores das contas de energia elétrica antes e após o SFCR	Er
.....	Er

ro! Indicador não definido.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Eficiências teóricas e medida das células fotovoltaicas	18
Quadro 2 - Economia gerada pelo sistema fotovoltaico ao longo de seis meses	Erro! Indicador não definido.
Quadro 3 - Simulações de pagamento	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
CA	Corrente Alternada
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CC	Corrente Contínua
CdS	Sulfeto de Cádmio
CdTe	Telureto de Cádmio
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
CO2	Gás Carbônico
DPS	Dispositivo de Proteção de Surto
DVS	Dispositivo de Seccionamento Visível
GaAs	Arsenieto de Gálio
GaP	Fosfeto de Gálio
gPV	Fusível para Aplicação Fotovoltaica
Hz	Hertz
I	Corrente Elétrica
InP	Fosfeto de Índio
IP54	Grau de Proteção Contra Contato, Entrada de Corpos Sólidos Estranhos e Água em Comutadores
Km	Quilômetro
KV	Quilovolt
KW	Quilowatt
Kwh/m²	Quilowatt-hora por metro quadrado
Kwh/mês	Quilowatt-hora por mês
Kwp	Quilowatt-pico
m-Si	Silício Monocristalino
MW	Megawatt
MWh	Megawatt Hora
P	Potência

PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PR	Paraná
p-Si	Silício Policristalino
R\$/KWh	Custo do Quilowatt Hora
R, S e T	Fases de um Sistema Trifásico
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
Si	Silício
SP	São Paulo
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
U	Tensão
UHEs	Usinas Hidroelétricas
V	Volts
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
4.1	Energia Renovável.....	15
4.2	Energia Solar	15
4.3	Processo Fotovoltaico	16
4.4	Células Fotovoltaicas.....	16
4.5	Tecnologias Fotovoltaicas Comercialmente Disponíveis.....	17
4.5.1	Silício Cristalino.....	17
4.5.2	Filme Fino de Silício	17
4.6	Geração	18
4.7	Sistemas Conectados à Rede Elétrica (SFCR).....	19
4.8	Sistemas Autônomos	20
4.9	Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos (SFCR)	21
4.9.1	Módulo Fotovoltaico.....	21
4.9.1.1	Fatores que afetam as Características Elétricas dos Módulos	22
4.9.2	Inversores para Conexão à Rede Elétrica	23
4.9.3	Caixas de <i>Strings</i>	23
4.9.4	Proteção	25
4.9.5	Medidor de Energia	25
5	Energia Hidroelétrica.....	26
5.1	Geração	27
5.2	Transmissão e Distribuição.....	28
5.3	Corrente Alternada	29
5.4	Corrente Contínua	29
5.5	Centrais Hidrelétricas.....	31
5.6	Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).....	31
5.7	Centrais Hidrelétricas de Grande Porte.....	32
5.8	Hidroelétricas e Meio Ambiente	32

5.9	Qualidade da Energia Elétrica	33
5.10	Tarifação.....	34
6	MATERIAIS E MÉTODOS	35
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
8	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS.....	45
	ANEXOS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A principal fonte de energia elétrica da matriz energética brasileira hoje é proveniente das usinas hidroelétricas, energia onde a qual é renovável, limpa e não contribui para o aquecimento global, porém não é inesgotável. Apesar de o território brasileiro apresentar um vasto recurso hídrico, para a geração de energia elétrica, a água necessita de acentuados desníveis, proporcionando uma grande vazão, capaz de gerar energia mecânica suficiente para movimentar as turbinas das usinas hidroelétricas, onde essa disponibilidade geográfica não é suficiente para gerar energia elétrica capaz de suprir a demanda energética do país. Embora a instalação de usinas com essas características, sejam excessivamente caras, deve-se levar em conta o impacto ambiental e socioeconômico gerados por elas.

Neste cenário, onde a sustentabilidade é imprescindível, a busca por fontes alternativas de energia elétrica se mostra uma situação cada vez mais presente, estimulando assim, uma corrida entre as diversas soluções para a gerar energia elétrica, cuja fonte seja renovável, inesgotável e limpa. Tais fontes englobam a biomassa, eólica, oceânica, geotérmica, solar fotovoltaica, entres outras, sendo que, muitas delas já existem a um bom tempo, e vêm sido aperfeiçoadas com o passar dos anos, aumentando sua eficiência energética, e oferecendo melhor custo benefício.

Outro recurso abundante, além dos nosso rios, temos a energia solar, sendo esta por sua vez, inesgotável, onde a qual pode gerar energia elétrica de uma forma eficiente, através do processo fotovoltaico, convertendo a radiação proveniente da luz solar em energia elétrica, por meio de painéis fotovoltaicos, podendo assim ser consumida diretamente no local, armazenada por meio de baterias ou estar interligado à rede pública, onde a energia excedente produzida pode ser contabilizada pela concessionária, gerando créditos a serem descontados nas próximas faturas, exemplo do sistema fotovoltaico do tipo residencial e comercial, tecnologia onde a qual vem ganhando muito destaque entre os consumidores que procuram reduzir a dependência do fornecimento direto de energia elétrica das concessionárias, provendo assim uma economia considerável a longo prazo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnico-econômica de um sistema fotovoltaico interligado a rede elétrica em uma edificação comercial, situada no município de Arcos-MG.

2.2 Objetivos Específicos

Fazer um comparativo das faturas da energia, analisando o consumo e a geração de energia elétrica ao longo dos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro de 2017 e comparando com os respectivos meses de 2018;

Analisar os gastos para a instalação do sistema fotovoltaico;

Analisar o tempo em que o investimento é amortizado dentro deste cenário.

3 JUSTIFICATIVA

Frente a crítica situação do quadro de geração de energia em que nosso país se encontra, a necessidade de se explorar novas fontes de energia é uma realidade da qual se deve dar prioridade. Dentre as fontes de energia não convencionais, a energia solar se mostra muito promissora por se tratar de uma fonte inesgotável, não poluente e renovável, lembrando que o Brasil recebe uma carga bem generosa de energia solar, capaz de suprir a sua demanda energética em relação as fontes de energia convencionais em vigor.

No Brasil, a principal fonte de energia para geração elétrica é proveniente das usinas hidrelétricas. Mesmo sendo uma fonte de energia renovável e não ocorrer emissão de poluentes, as usinas geram um certo impacto ambiental e social, levando em conta a tendência de as reservas brasileiras para geração hidroelétrica se esgotarem nas próximas décadas. Por esse e outros fatores, o custo da eletrificação é exageradamente alto em relação ao retorno financeiro do investimento, lembrando que a oferta de energia pode variar drasticamente em situações de estiagem.

Contudo, a energia solar é um recurso energético que vem ganhando destaque e se tornando cada vez mais comum, onde os avanços vêm abrindo novas oportunidades tanto para as residências, quanto para as indústrias, entre outras, e nossa região dispor da radiação solar na maior parte do ano, oferecendo uma condição bastante favorável para a implantação desta tecnologia, uma vez em que o ramo da construção civil está aberta para diversas tecnologias, sendo esta, uma excelente oportunidade de se adquirir maiores conhecimentos em relação a energia fotovoltaica.

4 REFERÊNCIAL TEÓRICO

4.1 Energia Renovável

Com o crescimento populacional acelerado e o aumento contínuo da disputa no setor da geração de energia em níveis cada vez maiores, onde o aumento dos preços dos combustíveis derivados do petróleo são cada vez mais abusivos, a necessidade de explorar novas fontes de energia renováveis vem aumentando consideravelmente à medida em que as fontes de energia convencionais vem se tornando cada vez mais escassas e caras. Num quadro onde os diferentes aspectos de cada recurso energético implicam em distintos cenários ambientais e econômicos de seu uso. Dentre as fontes não convencionais, a energia solar se destaca oferecendo muitas promessas diante da situação energética atual (HINRICHS; KLEINBACH e REIS, 2015).

Podemos citar, entre outras fontes alternativas o gás natural, que é uma mistura de hidrocarbonetos leves encontrados no subsolo, onde a qual o metano se destaca com uma participação de mais de 70% e sua composição pode variar de acordo com os fatores relacionados ao local de produção, condicionamento, processamento e transporte; a energia eólica que pode ser obtida através dos ventos, onde a energia cinética dos ventos possibilita a movimentação das hélices; a energia nuclear, responsável por cerca de 16% da eletricidade consumida mundialmente, consistindo no uso controlado das reações nucleares afim de se gerar energia e também a energia proveniente das hidroelétricas, convertendo energia potencial acumulada através da água represada, em energia cinética pela queda d'água, acionando as turbinas que por sua vez geram energia mecânica em um eixo ligado ao gerador, produzindo energia elétrica, sendo este recurso a principal fonte geradora de energia elétrica da matriz energética brasileira (PEREIRA, 2009).

4.2 Energia Solar

A radiação solar é fundamental para a manutenção da vida na terra, sendo ela a fonte primária de energia para as aplicações solares. Anualmente, a carga de

energia solar que a terra recebe, corresponde aproximadamente $1,5125 \times 10^{18}$ KWh (NETO; CARVALHO, 2012).

Segundo Pereira (2009), a carga de energia solar que incide sobre o Brasil no período de um ano é o suficiente para suprir a energia proporcional a 54% do petróleo nacional, 2 vezes a energia obtida com o uso do carvão mineral e 4 vezes a energia gerada por meio de uma usina hidrelétrica durante esse período.

4.3 Processo Fotovoltaico

Através de módulos fotovoltaicos, a radiação solar é absorvida e transformada diretamente em eletricidade por meio de um processo denominado efeito fotovoltaico, onde esses módulos são formados por várias células fotovoltaicas, que quando expostas à luz, geram energia elétrica. A denominação fotovoltaica vem de foto = luz e volt = eletricidade (SANTOS, 2013).

Segundo Moreira (2017), energia gerada pelo módulo fotovoltaico se dá em corrente contínua, logo, será necessário um inversor, afim de converter a corrente contínua em corrente alternada.

4.4 Células Fotovoltaicas

A energia solar fotovoltaica se dá pela conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico, onde a célula fotovoltaica é o principal componente desse processo de conversão, constituído de material semicondutor (PINHO; GALDINO, 2014).

São diversos os materiais que podem ser empregados na fabricação das camadas semicondutoras da célula, porém o material mais comum é o silício, representando cerca de 95% de todas as células fotovoltaicas fabricadas mundialmente por se tratar de um material abundante e barato (VILLALVA, 2015).

O efeito fotovoltaico ocorre quando a incidência de luz solar ou de outra fonte sobre um material semicondutor, absorvam os fótons, promovendo a excitação de elétrons que se deslocam através do campo elétrico criado numa junção p-n que quando conectados a um circuito elétrico produzem uma corrente elétrica, capaz de alimentar equipamentos elétricos (HODGE, 2018).

4.5 Tecnologias Fotovoltaicas Comercialmente Disponíveis

Atualmente, diversas tecnologias para fabricação de células fotovoltaicas são comercializadas, porém, algumas tecnologias são comumente mais disponíveis no mercado, assim como o silício cristalino e também o filme fino (SANTOS, 2013).

4.5.1 Silício Cristalino

Segundo VILLALVA (2015), as células de silício monocristalino são mais eficientes em relação as de silício poli cristalino, produzidas em maior escala e são comercialmente disponíveis. Enquanto as células (m-Si) alcançam eficiências de 15% a 18%, o (p-Si) alcançam de 13% a 15%. Em contrapartida possuem um custo de produção mais elevado, enquanto as células poli cristalinas apresentam um custo de fabricação menor, compensando assim a redução de eficiência.

Atualmente as células fotovoltaicas feitas de silício monocristalino, são as mais utilizadas no mercado, mesmo em um cenário onde novas tecnologias vêm se destacando em termos de economia e eficiência (HINRICHS; KLEINBACH e REIS, 2015).

4.5.2 Filme Fino de Silício

Esse tipo de tecnologia emprega materiais como o silício amorfo (a-Si), arsenieto de gálio (GaAs), disseleneto de cobre e índio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe). O silício amorfo é atualmente o material mais estudado para a produção de células fotovoltaicas, apresentando menor quantidade de Si por unidade de potência comparada as células cristalinas, maior período de retorno energético, possibilitando produção em larga escala e automatizada e a fabricação de células de grande área, como principais vantagens. Sua desvantagem é o efeito *Staebler-Wronski*, que pode ser descrita por sofrer degradação da eficiência das células quando expostas à luz, de forma mais acelerada do que os cristalinos (NETO; CARVALHO, 2014).

A técnica de utilização de diversas camadas sobrepostas de filmes finos, possibilita a absorção de energia solar em comprimentos distintos de ondas,

observando uma eficiência da ordem de 28% (HINRICHS; KLEINBACH e REIS, 2015).

Pode-se observar a eficiência das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas empregadas (QUADRO 1).

Quadro 1 - Eficiências teóricas e medida das células fotovoltaicas

MATERIAL	Teórica (%)	Medida (%)
Si, Silício	24	18
CdTe, telureto de cádmio	21	7
CdS, sulfeto de cádmio	16	7
CIS, disseleneto de cobre e índio	26	19
GaAs, arsenieto de gálio	24	11
GaP, fosfeto de gálio	17	1
InP, fosfeto de índio	23	3

Fonte: HODGE (2018).

4.6 Geração

A geração de eletricidade através da energia solar pode se dar de forma indireta, onde o calor gera vapor, expandindo em sua turbina e acionando um gerador elétrico em uma central termelétrica, e de forma direta, por meio de painéis fotovoltaicos (REIS, FADIGA e CARVALHO, 2012).

Segundo Hodge (2018), uma maior potência de saída de uma célula fotovoltaica depende de uma maior irradiação solar, ou seja, o efeito fotovoltaico não depende diretamente do calor, e sim da luz solar, pois o rendimento da célula tende a cair na medida em que a temperatura aumenta.

A energia elétrica em corrente contínua gerada a partir da conversão da radiação solar que incide sobre o painel fotovoltaico pode ser consumida imediatamente pela demanda da edificação, armazenada por meio de baterias ou estar conectada à rede de distribuição local para o consumo de outras unidades (MOREIRA, 2017).

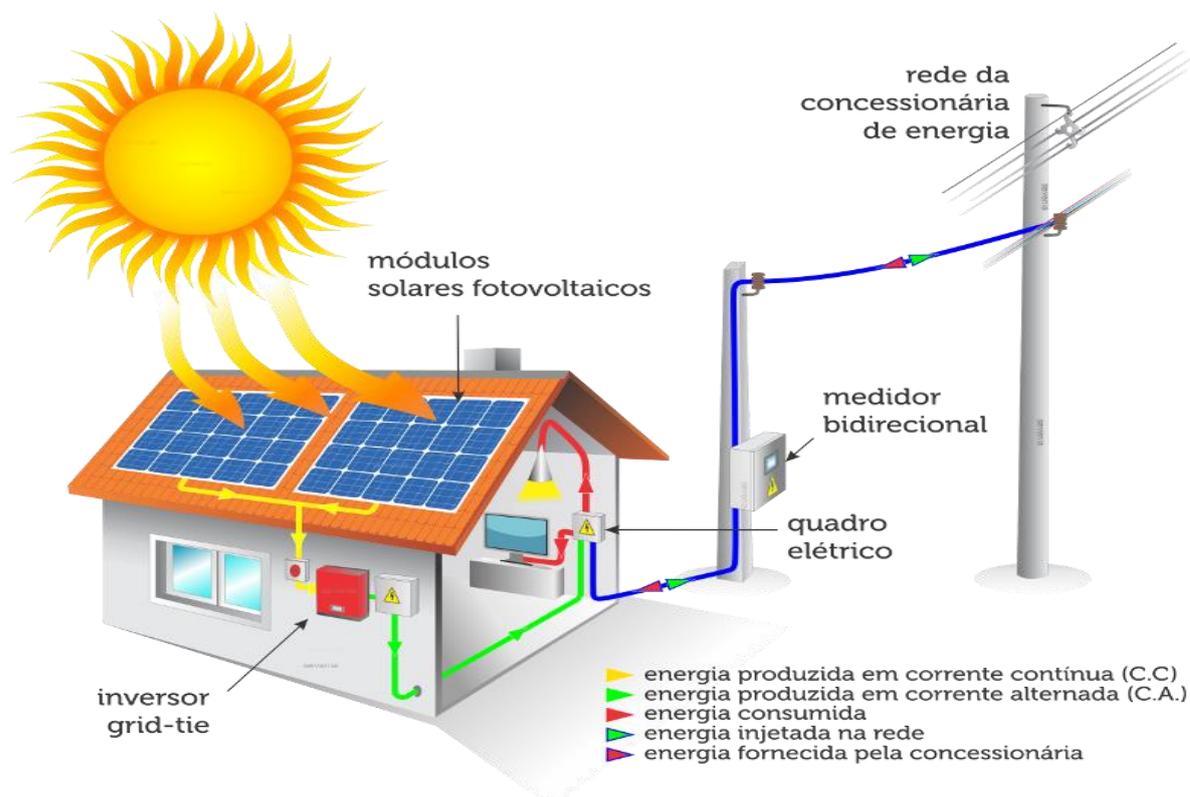
4.7 Sistemas Conectados à Rede Elétrica (SFCR)

Ao contrário do sistema autônomo, ele opera em paralelismo com a rede de eletricidade, empregado em locais onde a rede elétrica já é presente, possibilitando gerar eletricidade para o consumo local, além de reduzir ou eliminar o consumo da rede pública e até mesmo gerar excedente de energia (VILLALVA, 2015).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), por não armazenarem energia, dispensam o uso de baterias, portanto, toda a energia gerada por esse sistema ou é consumida diretamente pela carga, ou é transferida sucessivamente à rede elétrica convencional, podendo ser colocada à disposição das unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição, onde o excedente gerado que é injetado à rede, pode ser posteriormente compensado, gerando créditos para a próxima fatura (PINHO;GALDINO, 2014).

A FIG. 1 apresenta um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, com os componentes básicos de conversão de corrente. A energia gerada pode ser vendida a concessionária ou alimentar eletrodomésticos da residência.

Figura 1 - Sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica



Segundo Moreira (2017), através da radiação solar que incide sobre os módulos fotovoltaicos, a energia solar é convertida em energia elétrica em corrente contínua, sendo necessária a instalação de um inversor de frequência, responsável pela conversão da energia elétrica de corrente contínua em alternada, ajustando a tensão e sincronizando a fase do sistema fotovoltaico com a rede, sendo assim direcionada ao quadro de distribuição da edificação quando houver o consumo no momento, dispensando o uso de armazenadores. Caso a geração não seja suficiente, a demanda pode ser atendida pelo fornecimento de energia a partir da rede local de distribuição, possibilitando também, injetar na rede da concessionária a energia elétrica excedente gerada pelo sistema, sendo esta contabilizada por meio de um medidor bidirecional.

4.8 Sistemas Autônomos

Os sistemas não conectados à rede ou isolados dependem exclusivamente da geração de energia a partir da conversão fotovoltaica para atender à demanda da edificação. Nesse caso, o uso de armazenadores é necessário para operar sem interrupções e manter o fornecimento de energia mesmo durante dias de pouca disponibilidade de sol. A configuração mais simples é aquela em que a carga é compatível com a geração, ou seja, em corrente contínua. Desse modo, o sistema será composto pelos painéis, controlador de carga, baterias e acessórios para conexão e segurança do sistema. (MOREIRA, 2017).

Esses sistemas são empregados em locais desprovidos de uma rede elétrica, fornecendo eletricidade a zonas rurais, praia, camping, ilhas ou em qualquer situação em que não seja possível a utilização da energia proveniente da rede elétrica (VILLALVA, 2015).

Baterias podem ser utilizadas para armazenar energia de reserva, quando o sistema fotovoltaico venha a não gerar energia, sendo necessário um estabilizador afim de evitar sobrecargas. Sistema onde qual não está conectado à rede, sendo então denominado sistema autônomo, podendo ser completamente independente da rede comercial (HINRCHS; KLEINBACH e REIS, 2015).

4.9 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos (SFCR)

Segundo Neto e Carvalho (2014), os SFCR requerem o uso de circuitos eletrônicos, que oferecem ao sistema proteção, operação no ponto de potência máxima, conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) e limitação do conteúdo de harmônicos.

As células fotovoltaicas são consideradas os principais componentes em um sistema fotovoltaico, as células individuais estão organizadas em módulos, que por sua vez são montados em arranjos, onde os quais são anexados em sistemas com uma grande variedade de componentes (HODGE, 2018).

4.9.1 Módulo Fotovoltaico

Segundo Moreira (2018), o módulo fotovoltaico é a unidade básica responsável pelo processo de conversão de energia solar em energia elétrica por corrente contínua, sendo composto por arranjos de células fotovoltaicas conectadas que produzem tensão e corrente suficientes para a utilização da energia.

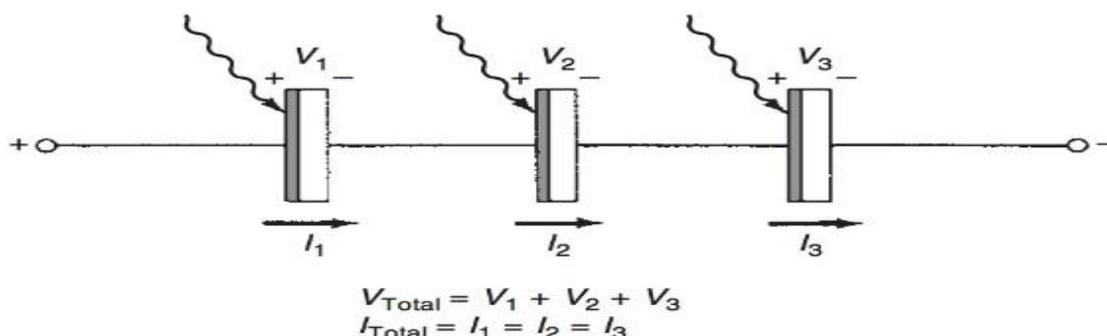
Segundo Hodge (2018), os arranjos dos módulos podem ser em série ou em paralelo, dependendo da tensão de utilização e da corrente elétrica desejadas.

Em módulos conectados em série, a tensão de saída do conjunto correspondente se dá pela soma da tensão fornecida em cada módulo e a corrente que circula pelo mesmo conjunto é a mesma de todos os módulos. Uma única célula é capaz de fornecer aproximadamente 0,6 volts (V) de tensão elétrica. Afim de se obter módulos com tensões de saídas maiores, várias células são conectadas em série. Dependendo da sua classe de potência, um módulo chega a ter 36,54, 60 ou mais células. Conjuntos com mais de dez módulos em série são comuns em sistemas conectados à rede elétrica, operando com tensões mais elevadas (VILLALVA, 2015).

Em relação aos módulos em paralelo, a conexão é feita pela união dos terminais positivos de todos os módulos entre si e de maneira análoga com os terminais negativos, desta forma a corrente que circula pelo conjunto resulta da soma das correntes dos módulos sem que ocorra alteração da tensão (PINHO; GALDINO, 2014).

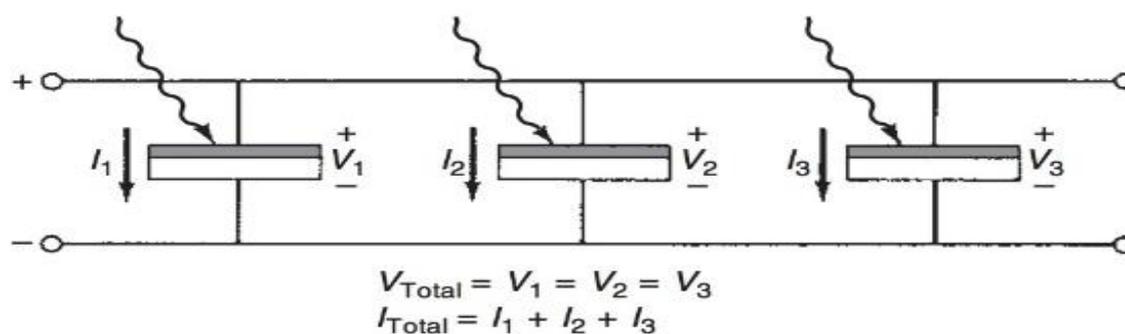
A FIG. 2 exemplifica as células solares que podem ser conectadas em série para fornecer maior voltagem, ou conectadas em paralelo, fornecendo maior corrente, onde a saída é de corrente contínua (FIG. 3).

Figura 2 - conexão em série



Fonte: HINRCHS; KLEINBACH e REIS (2015).

Figura 3 - conexão em paralelo



Fonte: HINRCHS; KLEINBACH e REIS (2015).

4.9.1.1 Fatores que afetam as Características Elétricas dos Módulos

Assim como ocorre com as células fotovoltaicas, o desempenho dos módulos fotovoltaicos pode ser afetado pela irradiância solar, pela temperatura das células e também pelos efeitos do sombreamento (PINHO; GALDINO, 2014).

A intensidade em que radiação solar incide sobre as células do módulo fotovoltaico, implica diretamente na corrente elétrica, podendo variar proporcionalmente à irradiância, ou seja, se o módulo receber pouca luz, o módulo consequentemente fornecerá pouca corrente afetando drasticamente na sua capacidade de gerar energia, assim como o sombreamento, onde algum obstáculo

que possa causar sombra no módulo fotovoltaico, faz com que o mesmo possa deixar de produzir energia, uma vez em que a intensidade da corrente elétrica de uma célula fotovoltaica depende diretamente da incidência de radiação solar sobre ela, sendo fundamental escolher uma boa localização dos módulos fotovoltaicos, afim de se evitar os sombreamento e seus efeitos (VILLALVA, 2015).

A variação da temperatura das células que compõem os módulos está implicitamente associada a incidência de radiação solar, onde um possível aumento da temperatura ambiente resulta no aumento da temperatura da célula, contribuindo para a redução da sua eficiência energética (HODGE, 2018).

4.9.2 Inversores para Conexão à Rede Elétrica

Componente responsável pela conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) conforme a necessidade dos equipamentos. Sendo indispensável para os sistemas conectados à rede, por possibilitar a injeção da energia gerada pelos módulos na rede elétrica, além de sincronizar a fase do sistema fotovoltaico com a rede (MOREIRA, 2018).

A qualidade de um inversor é um requisito fundamental para que se gere uma forma de onda senoidal ideal, onde a qual depende do método de conversão e filtragem disponíveis para eliminar os harmônicos indesejáveis provenientes da conversão (PINHO; GALDINO, 2014).

O circuito inversor pode ser do tipo comutado à linha, onde o processo de inversão é controlado pela tensão da rede, e do tipo auto comutado, onde um sinal gerado no próprio circuito controla o processo de inversão (NETO; CARVALHO, 2014).

4.9.3 Caixas de Strings

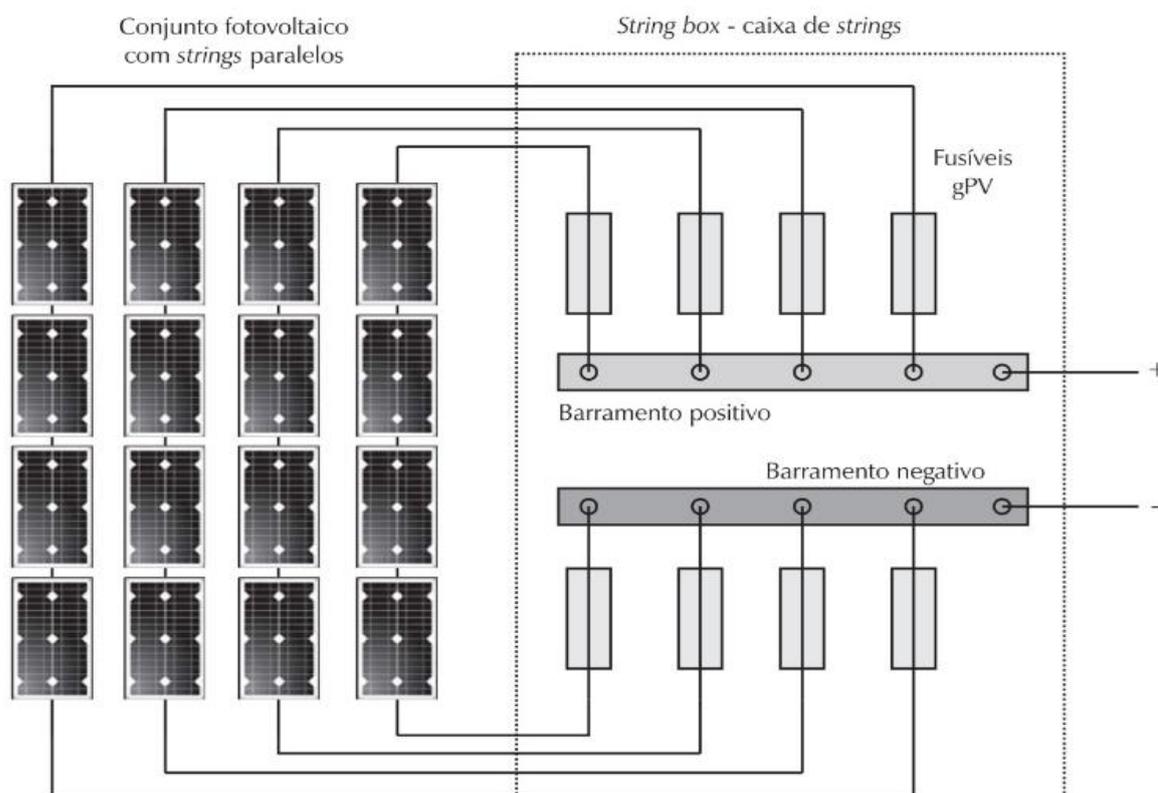
String box ou caixa de *string* é uma caixa de conexões onde os *strings* (séries fotovoltaicas conectadas em paralelo) de um conjunto fotovoltaico estão ligados entre si, onde se deve ter no mínimo o grau de proteção IP54, protegendo-a contra intempéries, devendo haver uma separação considerável entre os terminais positivo e negativo que devem estar identificados em seu interior. Não se faz necessário o uso

de fusíveis quando se usa até dois *strings*, onde seu uso é recomendado em conjuntos com mais de dois *strings* (VILLALVA, 2015).

Para proteger a série fotovoltaica de sobrecargas e do fluxo de corrente reversa de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor, é empregado os fusíveis de *strings*, que devem ser colocados tanto no polo positivo quanto no polo negativo na saída de cada série, sendo estes para corrente contínua, preferencialmente fusíveis do tipo gPV, pois apresentam alta durabilidade. A caixa de *strings* também pode conter diodos de bloqueio, outro componente usado para impedir o fluxo de corrente de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor, e em sistemas que armazenam energia, este componente pode impedir descargas noturnas das baterias, pois durante a noite os módulos podem conduzir uma corrente reversa, que mesmo pequena, contribui para a descarga das baterias (PINHO; GALDINO, 2014).

A seguir a Fig. 4 exemplifica a caixa de *strings*, cujo diagrama apresenta os cabos elétricos das fileiras existentes em um barramento positivo e outro negativo, além dos fusíveis de proteção.

Figura 4 - Caixa para a conexão de *strings* em paralelo



Fonte: VILLALVA (2015).

4.9.4 Proteção

Segundo Villalva (2015), os dispositivos de proteção de surto (DPS) são componentes indispensáveis para os sistemas fotovoltaicos, instalados tanto no lado CC quanto CA. Pois os prejuízos ocasionados por descargas atmosféricas aos equipamentos, bem como os módulos, inversores e instalações são bem maiores em relação ao seu custo.

Segundo Pinho e Galdino (2014), a utilização de dispositivos de proteção se torna indispensável a um sistema fotovoltaico, garantindo uma redução considerável ou até mesmo a eliminação de falhas decorrentes do processo fotovoltaico. Disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), sistemas de aterramento e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, todos esses dispositivos de proteção externa devem ser conjeturados durante a instalação. A regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2012) exige para sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) a instalação logo após o medidor, de um dispositivo de seccionamento visível (DVS), responsável pela desconexão da geração fotovoltaica durante procedimentos de manutenção da rede.

4.9.5 Medidor de Energia

A energia produzida pelo sistema fotovoltaico é monitorada através do medidor de energia, onde a energia excedente pode ser exportada para a concessionária, sendo contabilizada por esse dispositivo, gerando créditos que podem ser posteriormente descontados da conta de energia elétrica. Caso em períodos, onde a energia gerada pelo sistema fotovoltaico não seja suficiente para o consumo do local, a concessionária cede energia para o cliente, onde a mesma é contabilizada pelo mesmo medidor de energia, podendo-se dizer que se trata de um medidor de energia bidirecional. Se encontra entre o disjuntor da entrada do quadro de proteção CA do sistema fotovoltaico e o ponto de conexão com a rede elétrica (VILLALVA, 2015).

5 Energia Hidroelétrica

O Brasil utiliza recursos hidráulicos como principal fonte de energia em sua matriz energética para a geração de eletricidade, aproveitando da energia potencial da água acumulada nos reservatórios (represas), para movimentar uma turbina, onde a qual produzirá energia mecânica de rotação em um eixo ligado ao gerador, originando energia elétrica (BARROS, BORELLI, GEDRA, 2014).

Por ser muito extenso e possuir grande disponibilidade de recursos hídricos, nosso país tem a maior parte de sua geração de energia elétrica por meio deste recurso, onde até o final da década de 1990, a energia hidrelétrica representava mais de 90% da matriz energética brasileira (REIS, 2011).

Segundo Capelli (2013), as principais usinas hidroelétricas para o Brasil são:

Usina de Tucuruí: construída entre 1976 e 1984, localizada no Rio Tocantins, atualmente é a maior usina brasileira, com potência instalada de aproximadamente 8.400 megawatts (MW).

Usina de Belo Monte: sua construção teve início em 2011, localizada no Rio Xingu, no Pará. Sua potência instalada será de 11.233 MW, fazendo dela futuramente a maior usina hidrelétrica inteiramente brasileira, e a terceira maior do mundo, custará cerca de R\$19 bilhões e atenderá aproximadamente 30 milhões de habitantes.

Usina de Itaipu: considerada a segunda maior potência do mundo, 14.000 MWh gerados por 20 máquinas de 700 MW cada. Localizada no Rio Paraná, faz fronteira entre Brasil e Paraguai, fazendo dela um empreendimento binacional, gerando 95% da energia elétrica consumida no Paraguai, e 24% de todo o consumo brasileiro. Com uma altura de 196 metros e extensão de 7.700 metros.

Segundo MARTINHO (2013), até o momento em que a energia elétrica esteja disponível para o consumo local, ela precisa primeiramente ser gerada, passando pela transmissão, para assim ser distribuída e estar a nossa disposição. Lembrando que é um longo caminho a ser percorrido e a possibilidade de ocorrer falhas durante esse processo é relevante, pois podem haver incidência de descargas atmosféricas, queda de árvores, animais silvestres, acidentes automobilísticos, ou ainda os condutores podem passar por alterações devido a temperatura, ou até se romperem.

5.1 Geração

Por ser o ponto inicial, a geração de energia elétrica deve atender a parâmetros mínimos que garantam a qualidade da energia, assim como o nível de tensão, simetria das fases, forma de onda e variação da frequência, sendo esta uma das principais etapas de todo o processo, uma vez que uma falha durante esta fase pode desencadear um efeito dominó. Objetivando gerar uma energia segura e sem variações, ou seja, gerando ondas senoidais adequadas, para que os efeitos que venham a ocorrer na transmissão e distribuição, além do ponto de consumo não se somem a um possível desvio na qualidade inicial (MARTINHO, 2013).

Segundo Capelli (2013), para gerar energia elétrica são necessárias duas máquinas que operam em conjunto, sendo a primária e o gerador. Onde a máquina primária, a turbina por exemplo, converte a energia da queda da água em energia mecânica de rotação do eixo de um gerador, onde esta segunda máquina transforma a energia mecânica de rotação aplicada em seu eixo em energia elétrica.

A vazão de água efetiva é um fator determinante para a produção de energia elétrica, pois através dela o gerador elétrico será acionado. Esse tipo de vazão é denominado vazão turbinada, medida em metros cúbicos por segundo. Para que se possa controlar a vazão é necessário a construção de reservatórios, permitindo o armazenamento da água. Afim de se promover a retenção de água, necessita-se da construção de uma barragem em um curso de água, cuja altura implica a área inundada e o volume de água contida no próprio reservatório (REIS, SANTOS, 2014).

Existem os tipos de barragens de gravidade, em arco e de gravidade em arco, onde a escolha da barragem ideal a uma determinada seção deve levar em conta a viabilidade técnica e econômica, considerando aspectos quanto ao relevo, geologia e clima, além da disponibilidade de materiais de construção próximo ao local da obra e acessibilidade de transportes que refletem no custo de cada barragem (REIS, 2011).

5.2 Transmissão e Distribuição

Para que a energia elétrica gerada nas usinas hidrelétricas percorra por longas distâncias até os centros consumidores, constituídos por indústrias, comércios, residências, entre outros, um sistema de transmissão e distribuição deve estar presente neste cenário. Contudo pode-se dizer que após a geração, a energia é transmitida por meio de uma extensa rede de linhas de transmissão até as subestações responsáveis pela distribuição (BARROS, BORELLI, GEDRA, 2014).

A transmissão se dá por meio de linhas de alta tensão que cortam o país entre a fonte geradora e a distribuidora que podem ser as concessionárias de energia, consumidores livres, que podem escolher o tipo de energia que irão comprar, recebendo assim a energia em alta tensão (siderúrgicas, indústrias cimenteiras, por exemplo), ou também por outras entidades, que com regulamentação podem comercializar a energia elétrica para um usuário final (MARTINHO, 2013).

A energia elétrica é gerada habitualmente por meio de geradores elétricos em CA, operando com frequência nominal da rede elétrica de 50 ou 60 hertz (Hz). A frequência de 60 Hz é a frequência adotada em todo o território brasileiro (REIS, SANTOS, 2014).

A transmissão de energia em alta tensão é mais viável economicamente, assim, para disponibilizar a maior parcela de potência ao consumidor, somente duas grandezas podem ser aumentadas, corrente elétrica (I) ou tensão elétrica (U). Onde a potência (P) é obtida pelo produto de $U \times I$, logo ($P=U \times I$). Aumentar a corrente não seria a melhor opção, pois necessitaria de cabos com maior seção transversal, consequentemente aumentando o peso e exigindo torres maiores e mais reforçadas, onde o custo iria se multiplicar pela extensão de milhares de quilômetros de linhas de transmissão. Já aumentando a tensão, a potência disponível também aumenta, dispensando aumentar as dimensões dos cabos e torres (CAPELLI, 2013).

A utilização de corrente contínua foi inicialmente empregada no uso comercial da energia elétrica, com a necessidade de levar a eletricidade a distâncias maiores, o seu uso deu espaço ao emprego da corrente alternada, devido a perdas existentes com a utilização da CC (BARROS, BORELLI, GEDRA, 2014).

5.3 Corrente Alternada

A prevalência da utilização de CA na maioria das aplicações se deu pela possibilidade de transmitir alta tensão por longas distâncias, somado ao uso mais simples e econômico quando se trata de geração em grandes quantidades e funcionamento de motores. Quando se opera em CA, o uso de transformadores é permitido, possibilitando alterar os níveis de tensão ou corrente elétrica para assim poderem ser consumida de forma segura. A conversão da CC para CA é mais complexa e mais cara do que transformar CA em CC (PINTO, 2018).

Segundo Capelli (2013), a transmissão e distribuição em corrente alternada é mais eficiente do que em corrente contínua, pelo fato de a transmissão em CC resultar maiores perdas por cabos, além do que somente em corrente alternada se pode elevar os níveis de tensão por meio de transformadores, onde os quais não operam em corrente contínua.

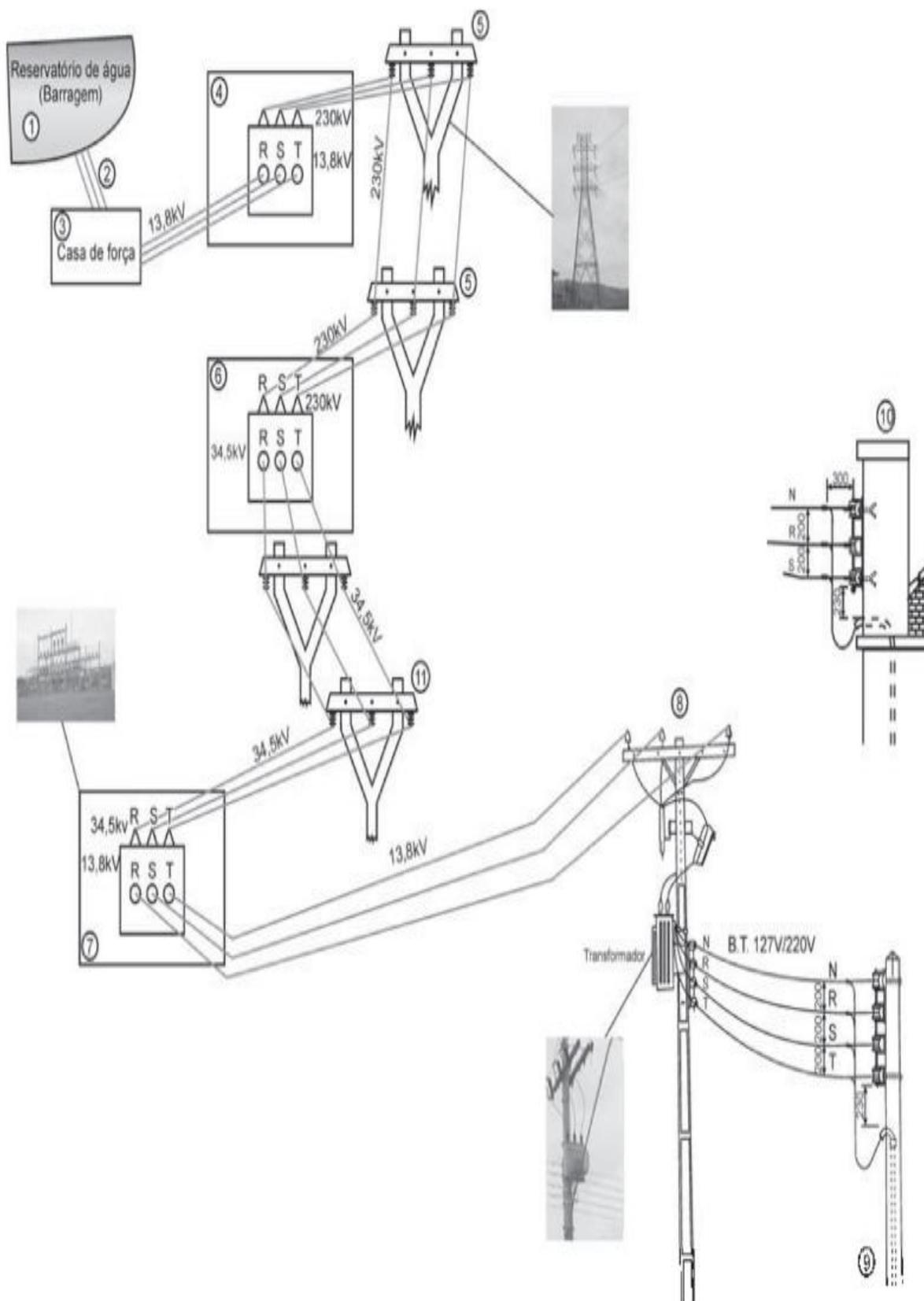
5.4 Corrente Contínua

Existem linhas de transmissão em CC operando no mundo, sendo mais vantajoso para distancias superiores a 500 Km. Temos dois exemplos de linhas que operam em corrente contínua no Brasil, da Usina Hidrelétrica Binacional de Itaipu, conectando as subestações de Foz do Iguaçu (PR) e Ibiúna (SP), com extensão próxima de 810 Km. Onde a energia gerada em 50 Hz em CA é transformada em CC e transmitida até a subestação de Ibiúna (SP), sendo posteriormente convertida em CA, com frequência de 60 Hz (PINTO, 2018).

O custo com subestações retificadoras que transformam CA em CC acabaria sendo amortizado pela economia da linha de transmissão, pois onde haveria três cabos com fases (R, S e T), necessitaria de apenas um polo positivo e um polo negativo, resultando na economia de milhares de quilômetros de cabos e torres menos robustas (CAPELLI, 2013).

A FIG. 5 esquematiza um sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica, passando por diversas etapas, desde a sua geração até o consumidor final.

Figura 5 - transmissão e distribuição de energia elétrica



Fonte: Adaptado de ENERGIA ELÉTRICA – Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais (“2013”).

5.5 Centrais Hidrelétricas

O Brasil é composto por quatro grandes bacias, a Amazônica, a do São Francisco, a do Tocantins e a do Paraná, considerado um dos maiores potenciais hídricos do mundo. Sendo a bacia do Paraná a mais explorada, pelo fato de sua localização, estando relativamente próxima aos grandes centros do país (PINTO, 2018).

Nas centrais hidrelétricas, de acordo com a sua capacidade de potência instalada e a área do reservatório de água, podem ser classificadas como centrais de pequeno porte, também ditas como micro com até 100 quilowatts (KW) ou mini hidrelétricas (até 1 MW), capazes de gerar potências chegando a 1 MW; Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), gerando de 1MW a 30 MW de potência e as Centrais de Grande Porte, contando com mais de 30 MW de potência instalada (REIS, SANTOS, 2014).

5.6 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

As pequenas centrais hidrelétricas apresentam diversas vantagens em relação as grandes usinas hidrelétricas UHEs, por operarem próximas aos centros de carga, geram uma economia em relação as linhas de transmissão, um diferencial em um país com uma extensão territorial tão vasta, isso sem falar no seu tempo de instalação, aproximadamente 18 meses, além de dispensar o deslocamento da população local. Contudo, ainda se tem a não emissão de CO₂, possui manutenção simples e uma tecnologia já consolidada, 100% nacional, tornando o custo da energia elétrica menor, assim como o impacto ambiental (PINTO, 2018).

Através da utilização de PCHs, se tem a vantagem da geração distribuída, abastecendo pequenos centros consumidores e indústrias, dispensando instalações sofisticadas para o transporte de energia, valendo ressaltar, que para a Região Norte, apesar de possuir enormes bacias hidrográficas, não apresenta aspectos suficientes para o aproveitamento de PCHs, o mesmo acontece para a Região Nordeste, onde o relevo, solo e clima, não contribuem para a utilização desta tecnologia (NETO, CARVALHO, 2012).

Por serem de menor porte, em relação as demais usinas, as PCHs apresentam maior simplicidade na concepção e operação, conseqüentemente, as etapas de projeto e implantação são mais simples, além disso, os requisitos relacionados ao licenciamento ambiental são bem mais simples quando comparadas a usinas maiores (REIS, 2011).

5.7 Centrais Hidrelétricas de Grande Porte

A construção de uma hidrelétrica gera impactos ambientais que devem enfatizados, entre eles estão: a inundação da terra, provocando mortes por afogamento de espécies da fauna e da flora local; a desapropriação dos habitantes locais, próximos as áreas represadas. Resultando em impactos sociais, econômicos e culturais (PINTO, 2018).

Segundo Reis (2011), as grandes UHEs são caracterizadas por possuírem não só uma enorme reserva para atender situações de emergência previstas no sistema, mas também por: serem capazes de suprir o pico de demanda; possuir energia firme, ou seja, a máxima produção de energia contínua que pode ser obtida supondo a ocorrência de uma severa condição de estiagem; apresentar maiores impactos ambientais e o custo marginal de capacidade adicional de geração tende a ser irrelevante.

5.8 Hidroelétricas e Meio Ambiente

Classificada como uma fonte renovável de energia, as hidroelétricas, além da geração de energia, apresentam outros benefícios, assim como o armazenamento de água para o consumo humano, animais e plantações, possibilitando a criação de peixes e outras culturas aquáticas, além de criar áreas de lazer e promover esportes aquáticos. Apesar de tantos benefícios, a hidroelétricas também geram impactos negativos, causados pela inundação das áreas atingidas pelo represamento da água, inviabilizando a exploração de recursos minerais e da agropecuária, muitas vezes, realocam cidades inteiras, causando impactos sociais e culturais (NETO, CARVALHO, 2012).

Os impactos socioambientais causados pelas hidrelétricas, estão diretamente associados às dimensões dos reservatórios, logo, esse tipo de impacto é muito reduzido ou nem se quer existem quando se trata de PCHs, mini ou micro- usinas (REIS, SANTOS, 2014).

Afim de se identificar, prever, interpretar e prevenir os efeitos ambientais resultantes de ações, planos, programas ou projetos que podem prejudicar à saúde, o bem-estar humano e ao meio ambiente, são realizados estudos, incluindo alternativas ao projeto ou ação e contando com a participação pública (REIS, 2011).

5.9 Qualidade da Energia Elétrica

Ao se falar de qualidade da energia elétrica, falamos quanto ao padrão da energia gerada, onde no padrão brasileiro, a onda senoidal é de 60 Hz. Uma alteração em amplitude ou frequência implica diretamente na qualidade da energia. Vários fatores podem contribuir para a alteração, como quedas e surtos de tensão, geração de outras frequências diferentes da fundamental, entre outras, fenômeno no qual pode ocorrer no regime transitório ou no permanente e nas fases de geração, transmissão, distribuição ou no consumo (PINTO, 2018).

A ampla inserção de componentes capazes de oferecer maior performance, agilidade no processamento, baixo consumo de energia, entre outras, podem tornar o circuito eletrônico mais predisposto às variações da rede elétrica (CAPELLI, 2013).

A qualidade da energia elétrica vem ganhando cada vez mais atenção por parte dos diversos agentes e segmentos envolvidos, acompanhando-a desde a geração até o consumidor final, considerando-se a proliferação de cargas não lineares no que diz respeito a relação tensão-corrente; presença ativa de equipamentos beneficiados de componentes eletrônicos mais sensíveis as variações no fornecimento de energia; equipamentos que oferecem maior eficiência no funcionamento, mas que degradam a qualidade da energia; a necessidade de reduzir os prejuízos relacionados às paradas de produção e danos aos equipamentos (BARROS, BORELLI, GEDRA, 2014).

5.10 Tarifação

A tarifa de energia corresponde ao valor cobrado por unidade de energia (R\$/KWh), envolvendo os custos desde a geração até disponibilização aos centros consumidores. De forma geral o custo total da energia consumida reflete aos valores da energia somados de encargos e impostos destinados aos governos federal, estadual e municipal. Por meio de leilões regulados, a empresa responsável pela distribuição compra a quantidade de energia necessária para atender seu mercado cativo, onde os custos resultantes da aquisição de energia são repassados aos consumidores, sob o título de Tarifa de Energia (TE). Já os custos da operação e manutenção das redes de distribuição e as despesas de capital se denominam por Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Ressalvo que quando o consumidor está conectado ao sistema por meio de linhas de transmissão, será cobrado a (TUST) Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (BARROS, BORELLI, GEDRA, 2014).

As tarifas se dividem em convencional e horo sazonal, segundo a Resolução 456 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Na tarifa convencional, é contabilizado apenas o valor total do consumo verificado num período de aproximadamente 30 dias. Já a tarifa horo sazonal, destina-se a grandes consumidores, podendo reduzir a conta de energia elétrica por meio da possibilidade de deslocamento de cargas para horários de menor carregamento e consumo para períodos do ano de maior disponibilidade, permitindo ao consumidor maior controle de suas despesas. A tarifa horo sazonal é representada pelo grupo A (alta tensão), ligados em tensão superior a 2,3 KV (CAPELLI, 2013).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise da viabilidade técnico-econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, o cenário escolhido foi uma edificação comercial. Como material de pesquisa, serão utilizadas as faturas de energia dos meses do ano de 2017, quando, ainda totalmente dependente da concessionária de energia elétrica (CEMIG), referentes as faturas dos meses do ano de 2018, período o qual, a edificação utilizou do sistema fotovoltaico, para que se possa realizar uma comparação entre as faturas de energia respectivamente. Tendo em mãos o valor desembolsado para a instalação do SFCR, englobando os custos com mão de obra e materiais, podendo, através do tempo de utilização do mesmo, avaliar a amortização do investimento.

O dimensionamento do SFCR da edificação foi realizado através da empresa responsável, por meio de levantamento de dados, como a irradiação da localidade desejada, demanda de energia da edificação, existência de obstáculos capazes de gerar sombreamento sobre os módulos fotovoltaicos, entre outros.

A ocorrência do sombreamento em um módulo fotovoltaico, pode prejudicar drasticamente o funcionamento do sistema fotovoltaico. Uma vez em as células do módulo estão conectadas em série, elas dependem diretamente umas das outras para produzirem corrente, portanto, a localização dos módulos fotovoltaicos dever ser criteriosamente escolhida, evitando sombras em suas superfícies (FIG. 6).

Figura 6 - Posicionamento dos módulos fotovoltaicos



Fonte: o autor (2018).

O GRAF. 1 apresenta a quantidade média horas de sol/dia, já considerando os efeitos de sombreamento e inclinação. Para efeito de projeto, estes são os dados levados em conta para o dimensionamento da quantidade de painéis e potência do inversor.

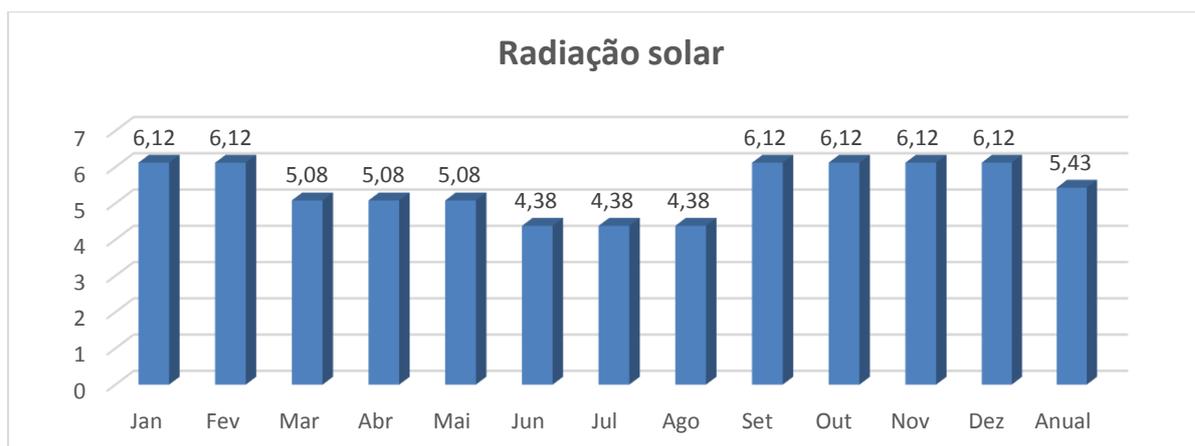
Gráfico 1 - Radiação solar média mensal considerada no projeto



Fonte: Eletro Van Engenharia (2018).

Segundo Pereira et al.(2006), pelas coordenadas da edificação (latitude 20°17'10,94" sul e longitude 45°32'19,68" oeste), é possível obter no banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, os índices de irradiação médios que incidem sobre nossa região, podendo assim, determinar se a localização é ou não favorável para a implantação de um sistema fotovoltaico (GRAF. 2).

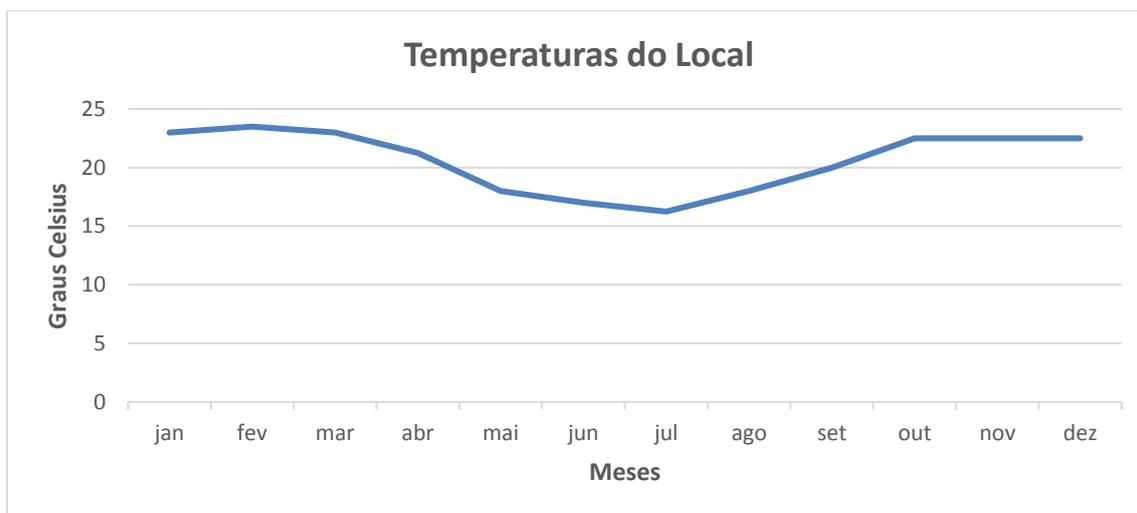
Gráfico 2 - Radiação solar global horizontal média (KWh/m²)



Fonte: o autor (2018).

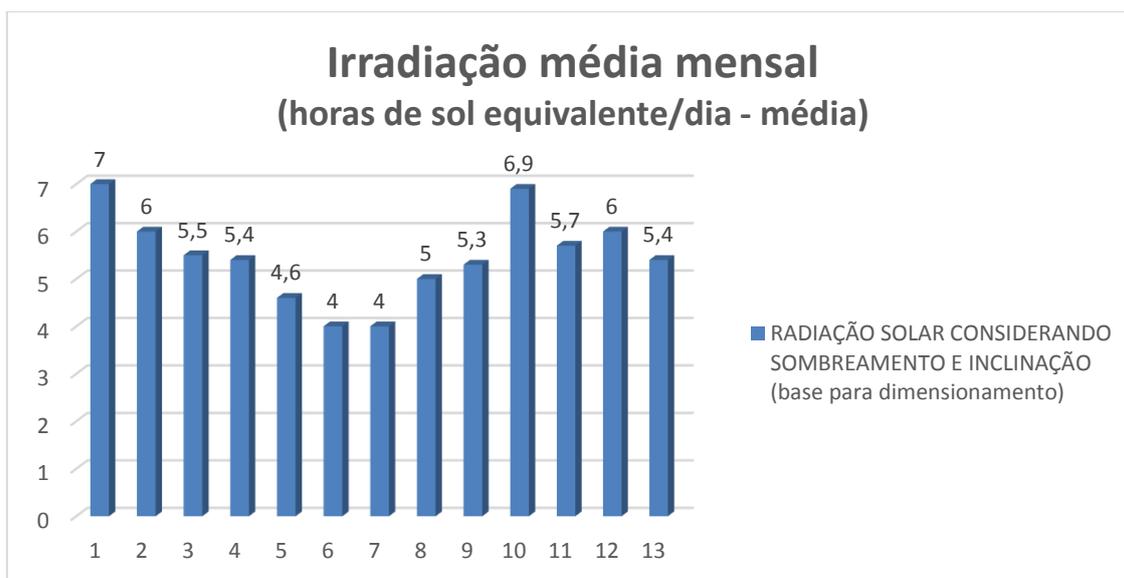
O GRAF. 3 apresenta as variações de temperatura, pois assim, para se ter um correto dimensionamento de um SFCR, deve-se levar em conta essas variações no local de instalação, uma vez que estas influenciam no rendimento dos módulos. Além disso, considera-se também a quantidade média diária de sol (GRAF. 4).

Gráfico 3 - Temperaturas do local



Fonte: Eletro Van Engenharia (2018).

Gráfico 4 - Irradiação média mensal (horas de sol equivalente/dia – média)



Fonte: Eletro Van Engenharia (2018).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar, indica a radiação solar global horizontal média anual, indicando os resultados em quilowatts hora por metro quadrado (KWh/m²), de acordo com as coordenadas em que se deseja analisar (FIG. 7).

Figura 7 - Mapa geográfico brasileiro de acordo com os índices de radiação solar horizontal



Fonte: PEREIRA et al. (2006).

Com base no sistema proposto, composto por 500 painéis fotovoltaicos de 320 Watt-pico (Wp) cada, e considerando temperatura, inclinação e radiação no local, o sistema deverá fornecer mês a mês, em média, a energia suficiente para suprir a demanda do estabelecimento, gerando assim uma potência de 160 Kwp.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise, foi considerado o reajuste médio na conta de luz da CEMIG, assim como a taxa de iluminação pública, tarifa de energia elétrica com impostos (ICMS, PASESP, COFINS), a taxa mínima de consumo para imóveis, de acordo com o medidor de energia elétrica instalado, estabelecidas pela CEMIG, no caso se trata de um estabelecimento comercial com medidor trifásico e com taxa mínima de 100 Kwh. Também devem ser considerados os custos com a implantação do sistema fotovoltaico, envolvendo os componentes adquiridos e mão de obra para a sua instalação, além da manutenção, sendo estes dados fornecidos pela empresa responsável.

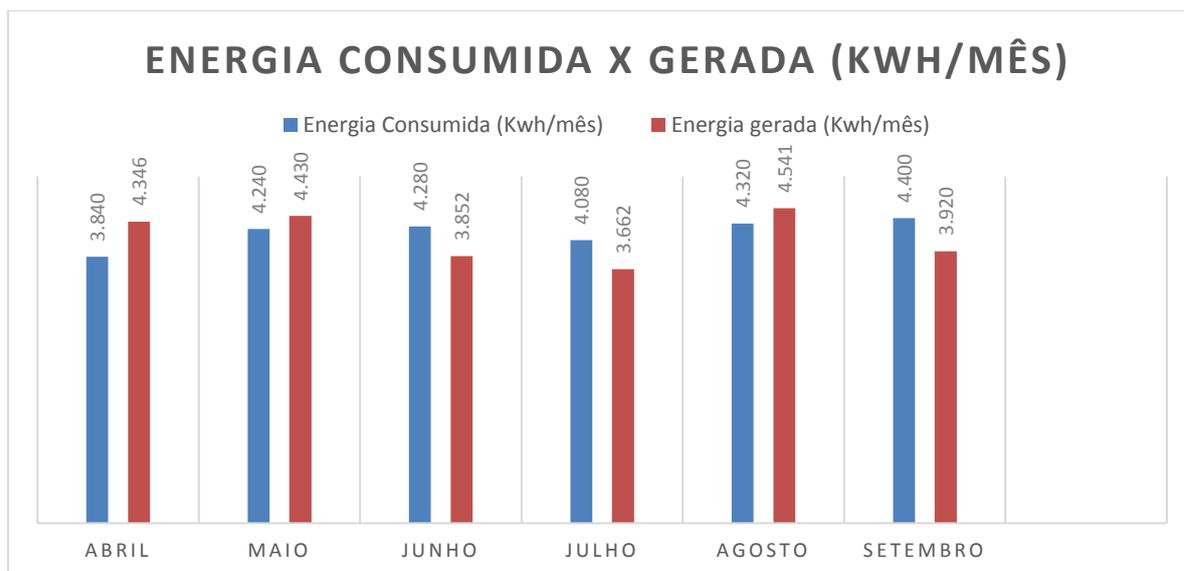
Segundo Cipriani (2018), o reajuste médio na conta de luz, será de 23,19%, variando de 18,53%, para consumidores residenciais com baixa renda, a 35,56%, para as indústrias, decorrente da revisão tarifária periódica, feita a cada cinco anos, de acordo com a Aneel.

Após a comparação das faturas de anos diferentes (2017 e 2018), nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, por meio de uma planilha, afim de se obter o valor da economia gerada em cada mês, possibilitando assim chegar a um valor final, comprovando uma queda da conta de energia elétrica ao longo dos seis meses. Através desses dados, pode-se estimar em quanto tempo o retorno financeiro poderá cobrir as despesas da implantação de tal sistema.

A edificação que se enquadra na modalidade tarifária convencional B3, bandeira vermelha, patamar 2, começou a utilizar da energia fotovoltaica a partir do mês de abril de 2018, logo utilizaremos as contas do mês 04 até o mês 09 de 2018 e compara-las com as contas do mês abril até o mês de setembro de 2017, para assim se ter uma melhor verificação dos dados.

O GRAF. 5 apresenta a relação de energia consumida com a energia gerada pelo SFCR em Kwh/mês, durante os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro de 2018.

Gráfico 5 - Energia consumida versus energia gerada no estabelecimento em 2018



Fonte: Eletro Van Engenharia (2018).

Ao analisar o consumo e a geração de energia elétrica ao longo dos meses de 2017 e comparando com os respectivos meses de 2018, foi possível calcular a economia gerada pelo sistema (QUADRO 2).

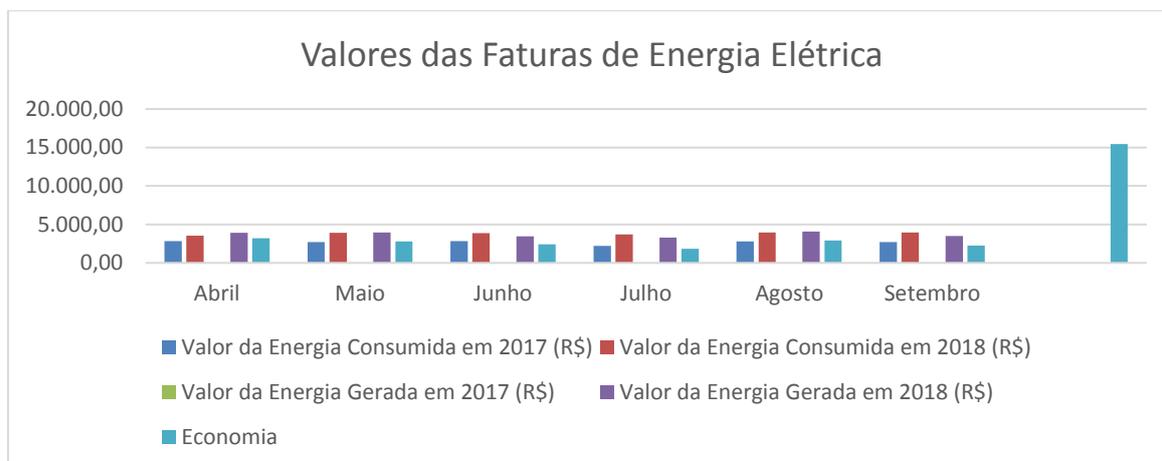
Quadro 2 - Economia gerada pelo sistema fotovoltaico ao longo de seis meses

Mês	Valor da Energia Consumida em 2017 (R\$)	Valor da Energia Consumida em 2018 (R\$)	Valor da Energia Gerada em 2017 (R\$)	Valor da Energia Gerada em 2018 (R\$)	Economia
Abril	2.839,50	3.534,09		3.897,94	3.203,35
Maio	2.719,46	3.892,87		3.973,10	2.799,69
Junho	2.846,77	3.865,07		3.455,08	2.436,78
Julho	2.225,48	3.685,68		3.284,48	1.824,28
Agosto	2.796,57	3.964,63		4.073,25	2.905,19
Setembro	2.717,99	3.972,70		3.516,05	2.261,34
				TOTAL (R\$)	15.430,63

Fonte: o autor (2018).

O GRAF. 6 mostra o consumo e geração de energia elétrica entre os anos de 2017 e 2018, onde o SFCR foi capaz de gerar uma economia considerável no decorrer dos meses analisados.

Gráfico 6 - Valores das contas de energia elétrica antes e após o SFCR



Fonte: o autor (2018).

O cliente fechou a compra no valor de R\$ 500.000,00, este valor inclui 500 módulos fotovoltaicos, 8 inversores para SFCR, 510 kits de fixação dos módulos, sistema de monitoramento, 2 sistemas de proteção, 1 conector e 1 cabo solar. Optando como forma de pagamento, 4 parcelas de R\$ 125.000,00 sem entrada (QUADRO 3).

Quadro 3 - Simulações de pagamento

	4x sem entrada	Entrada + 10x	Entrada + 24x	Entrada + 36x
Entrada à vista		R\$ 220.000,00	R\$ 220.000,00	R\$ 220.000,00
Valor da Parcela	R\$125.000,00	R\$ 34.823,40	R\$ 16.570,78	R\$ 12.600,00
Taxa % a.m	0,00%	0,99%	1,55%	1,80%
Entrada %	0%	40%	40%	40%

Fonte: Eletro Van Engenharia (2018).

A empresa responsável, inclui também nesse orçamento, o serviço de instalação, que compreende, a instalação dos painéis, passagem dos cabos, ligação das caixas de proteção e apresentação do projeto para a concessionária. Não estando cobertos na proposta o licenciamento, vistos, autorizações e licenças legais de qualquer natureza, além de custos, como do medidor da concessionária, de conexão à rede da concessionária ou qualquer outro item não incluso na proposta. Em relação a garantia contra defeitos de instalação, apresenta 12 anos para painel fotovoltaico, 6 anos para inversor monofásico e 5 anos para inversor trifásico.

O anexo A nos mostra a fatura de energia elétrica referente ao mês de setembro de 2017, onde o valor da desta foi de R\$ 2.717,99, com um consumo de 3.708 Kwh, considerando a tarifação de 0,72750363 com impostos aplicados (ICMS, PASESP, COFINS) e taxa de iluminação pública no valor de R\$ 20,42. Onde a mesma pode ser comparada à fatura do mês de setembro de 2018, cujo valor de R\$ 456,63, foi contabilizado pelo consumo de 4.400 Kwh e uma geração pelo SFCR de 3.920 Kwh, ou seja, 89,09% do consumo de energia elétrica, considerando no valor final dessa fatura, tarifação de 0,89695775 com impostos aplicados e contribuição de iluminação pública no valor de R\$ 26,09, anexo B. Nos anexos A e B, seguem as faturas em questão.

Após analisar o consumo e a geração de energia elétrica, a economia adquirida após a instalação do SFCR pode ser observada através do gráfico 5, sendo que, nos meses estudados, houve uma queda considerável em relação as faturas de energia elétrica, onde em alguns meses do ano, dependendo da irradiação solar, o sistema foi capaz de gerar energia excedente.

Durante o ano de 2018, no mês de abril, a geração de energia correspondeu à 113,17% em relação a energia consumida nesse mesmo mês, ou seja, produziu mais que o consumo, em maio, a geração foi de 104,47%, o mês de junho gerou 90%, a geração de energia no mês de julho foi de 89,75%, em agosto a geração chegou à 105,12% e no mês de setembro, o sistema gerou 89,09% de energia.

Quando comparadas aos respectivos meses do ano de 2017, onde não havia geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico, pode-se notar uma economia total nesse período de seis meses no valor de R\$ 15.430,63, dando uma média de R\$ 2.571,77 por mês. Com um investimento total de R\$500.000,00, o tempo médio para amortizar essa quantia será de 194,41 meses, algo em torno de seis anos e meio.

A partir dos dados acima, pode-se concluir que, após esse período, o sistema implantado no estabelecimento em questão, pagaria o valor desembolsado pelo cliente, e passaria a gerar lucro a partir desse momento, uma vez em que o mesmo se mostrou capaz se suprir a demanda de energia elétrica, chegando a gerar excedente de energia em alguns meses do ano.

8 CONCLUSÃO

O presente estudo é uma experiência da qual foi possível adquirir conhecimentos teóricos para uma melhor concepção do método prático, quanto ao funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, assimilando a teoria com a prática, e assim possibilitar uma análise de sua viabilidade técnica e econômica em um cenário capaz de fornecer informações substanciais que comprovem sua eficácia.

Embora, do ponto de vista inicial, o investimento pareça ser alto, a sua amortização é garantida dentro de alguns anos. Além de contribuir para um desenvolvimento sustentável, o valor pago pelas faturas de energia após o período de abatimento do capital investido é muito baixo em relação ao que se mostrava ser antes do período de utilização do sistema, tornando o cliente quase que independente da concessionária de energia elétrica, isso sem levar em consideração aos meses em que a geração excede o consumo.

O mercado de energia solar fotovoltaica está em constante crescimento a nível mundial, sendo esta, uma tecnologia bastante competitiva e muito promissora, num cenário onde a corrida por soluções alternativas para geração de energia elétrica já é uma realidade. Nisso o protagonista é o sol, uma fonte inesgotável de energia, limpa e gratuita, apesar de os custos dos componentes necessários para converter a energia solar em energia elétrica, não sejam tão acessíveis, devido a tributação imposta sobre eles, porém, a medida em que essa tecnologia for se dinamizando, o incentivo do governo também tende a crescer, assim como o estímulo a fabricação de equipamentos nacionais, fazendo com que os preços para a aquisição desta tecnologia sejam mais atraentes.

Vale ressaltar que, o período analisado foi de apenas seis meses de utilização do SFCR, pois assim, para uma melhor análise, seria ideal um estudo referente aos doze meses de um ano. Devido ao fato desta tecnologia ainda ser recente em nossa região, o tempo disponível para o presente estudo foi afetado, porém serviu como base para se ter uma média da viabilidade técnica e econômica de se ter um sistema fotovoltaico, seja ele em um comércio ou residência.

Contudo, ao final desta pesquisa, pelo resultado obtido, ficou clara a evidência de que, com um SFCR, as contas de luz durante o período analisado, caíram significativamente, em média de 95,57%, a ponto de gerar créditos de compensação,

que podem ser utilizados para abater parte do que foi consumido da rede elétrica. Independe do valor do investimento, desde que a implantação do sistema seja bem elaborada e bem executada, o retorno financeiro é garantido.

REFERÊNCIAS

- BARROS, B. F. de; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica**. 1. ed. Pinheiros: Editora Érica Ltda, 2014.
- CAPELLI, A. **Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013.
- CIPRIANI, J. Aumento em conta de luz da Cemig será de 23,19%, define Aneel. **em.com.br**, 22 maio 2018. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/05/22/internas_economia,960606/aumento-em-conta-de-luz-da-cemig-sera-de-23-19-define-aneel.shtml>. Acesso em: 01 out. 2016.
- HODGE, B. K. **Sistemas e Aplicações de energia alternativa** / B. K. HODGE; tradução Luiz Claudio de Queiroz Faria; revisão técnica Marco Aurélio dos Santos. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. dos. **Energia e meio ambiente**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda, 2015. Lineu Belico dos Reis.
- MARTINHO, E. **Distúrbios da Energia Elétrica**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- MOREIRA, J. R. S. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética** / Alberto Hernandez Neto ... [et al.]; organização José Roberto Simões Moreira. 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- NETO, M. R. B.; CARVALHO, P. C. M. de. **Geração de Energia Elétrica: Fundamentos**. 1 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2012.
- PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; de AREU, Samuel Luna; RÜTHER, Ricardo. **ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**. 1. ed. São José dos Campos, SP: Swera, 2006.
- PEREIRA, M. J. **Energia: Eficiência e Alternativas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Moderna, 2009.
- PINTO, M. de O. **Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados** / Milton de Oliveira Pinto. 1. ed. - [REIMPR.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. ed. ver. e atual. Rio de Janeiro, 2014.
- REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. rev. e atual. Barueri, SP: Manole, 2012.

REIS, L. B. dos. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. rev. e atual. Barueri, SP: Manole, 2011.

REIS, L. B. dos; SANTOS, E. C. **Energia elétrica e sustentabilidade**: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2014.

SANTOS, M. A. dos. **Fontes de energia nova e renovável** / organização Marco Aurélio dos Santos. - 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2013.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica**: Conceitos e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

ANEXOS

ANEXO A – Fatura de energia elétrica do mês de setembro de 2017



Cemig Distribuição S.A. CNPJ 08.961.180/0001-15 / Inscrição Estadual 098.322136/0387
Av. Barbacena, 1.200 1º andar - Ala A1 CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende
www.cemigatende.com.br

Fale com a Cemig 116 | Cemig Torpedo 29810
Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE criada pela
Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002

RUA CENTRO 35588-000 ARCOS, MG CNPJ	Nº DO CLIENTE		Nº DA INSTALAÇÃO	
	Referente a SET/2017	Vencimento 10/10/2017	Valor a pagar (R\$) 2.717,99	

2ª VIA - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA

Classe Comercial Trifásico	Subclasse Comercial	Modalidade Tarifária Convencional B3	Datas de Leitura			Data de Emissão
			Anterior 21/08	Atual 20/09	Próxima 19/10	20/09/2017

Informações Técnicas					
Tipo de Medição	Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Energia kWh	ARC123035933	49.072	52.780	1	3.708

Informações Gerais	Valores Faturados																																				
Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 2.248, de 23/05/2017. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas. É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre atualizados e informar alterações da atividade exercida no local. Faça sua adesão para recebimento da conta de energia por e-mail acessando www.cemig.com.br Leitura realizada conforme calendário de faturamento	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Tarifa/Preço (R\$)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td>3.708</td> <td>0,72750363</td> <td>2.697,57</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Encargos/Cobranças</td> </tr> <tr> <td>Contrib Ilum Publica Municipal</td> <td></td> <td></td> <td>20,42</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Tarifas Aplicadas (sem impostos)</td> </tr> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td></td> <td>0,51747333</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar</td> </tr> <tr> <td>Bandeira Amarela</td> <td></td> <td></td> <td>69,49</td> </tr> <tr> <td>Bandeira Vermelha</td> <td></td> <td></td> <td>52,11</td> </tr> </tbody> </table>	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)	Energia Elétrica kWh	3.708	0,72750363	2.697,57	Encargos/Cobranças				Contrib Ilum Publica Municipal			20,42	Tarifas Aplicadas (sem impostos)				Energia Elétrica kWh		0,51747333		Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar				Bandeira Amarela			69,49	Bandeira Vermelha			52,11
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)																																		
Energia Elétrica kWh	3.708	0,72750363	2.697,57																																		
Encargos/Cobranças																																					
Contrib Ilum Publica Municipal			20,42																																		
Tarifas Aplicadas (sem impostos)																																					
Energia Elétrica kWh		0,51747333																																			
Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar																																					
Bandeira Amarela			69,49																																		
Bandeira Vermelha			52,11																																		
AGO/2017 Band. Verm. P1 - SET/2017 Band. Amarela																																					

Reservado ao Fisco SEM VALOR FISCAL	
---	--

Histórico de Consumo			
MES/ANO	CONSUMO kWh	MEDIA kWh/Dia	Dias
SET/17	3.708	123,60	30
AGO/17	3.816	115,63	33
JUL/17	3.031	104,51	29
JUN/17	3.885	117,72	33
MAI/17	3.710	127,93	29
ABR/17	3.875	129,16	30
MAR/17	4.298	134,31	32
FEV/17	4.028	138,89	29
JAN/17	4.057	139,89	29
DEZ/16	4.024	138,75	29
NOV/16	4.377	136,78	32
OUT/16	4.184	134,96	31
SET/16	4.096	128,00	32

Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	-	-
PASEP	-	-
COFINS	-	-

Oviduária CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis

Código de Débito Automático	Instalação	Vencimento 10/10/2017	Total a pagar R\$2.717,99
Comprovante de Pagamento			Setembro/2017

ANEXO B – Fatura de energia elétrica do mês de setembro de 2018



Cemig Distribuição S.A. CNPJ: 06.961.160/0001-14 | Insc. Estadual: 097.432159-0087
Av. Baracena, 1.219 - 23º andar - Parte I - Bairro Santo Agostinho - CEP: 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende
www.cemigatende.com.br
Fale com a Cemig 116 | Cemig Torpeda 29810

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

Nº DO CLIENTE

Nº DA INSTALAÇÃO

RUA
CENTRO
35588-000 ARGOS, MG
CNPJ

Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R\$)
SET/2018	10/10/2018	456,63

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº

- PTA Nº

Classe	Subclasse	Modalidade Tarifária	Datas de Leitura			Data de Emissão
			ANTERIOR	ATUAL	PRÓXIMA	
Comercial Trifásico	Comercial Ger Distribuída	Convencional B3	17/08	18/09	19/10	18/09/2018

Informações Técnicas						
Tipo de Medição	Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh	
Energia kWh	EPG175200318	520	830	40	4.400	
Energia Injetada	EPG175200318	408	504	40	3.920	

Informações Gerais
SALDO ATUAL DE GERAÇÃO: 0,00 kWh.
Tarifa vigente conforme Res ANEEL nº 2.395, de 22/05/2016.
Unidade faz parte de sistema de compensação de energia.
O pagamento desta conta não quita débitos anteriores.
Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes.
Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes
(multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no
vencimento das mesmas.
É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre
atualizados e informar alterações da atividade
exercida no local.
Faça sua adesão para o recebimento da conta de energia
por e-mail, acessando: www.cemig.com.br
Leitura realizada conforme calendário de faturamento.

AGO/2018 Band. Verm. P2 - SET/2018 Band. Verm. P2

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	4.400	0,89695775	3.945,59
Energia Injetada kWh	3.920	0,89695775	-3.516,05

Encargos / Cobranças

Contrib. Ilum. Pública Municipal 26,08

Tarifas aplicadas (sem impostos)

Energia Elétrica kWh 0,63884000

Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar

Bandeira Vermelha 38,81

Histórico do Consumo

Mês/Ano	Consumo kWh	Média kWh/Dia	Dias
SET/18	4.400	137,50	32
AGO/18	4.320	139,36	31
JUL/18	4.030	140,88	29
JUN/18	4.290	138,06	31
MAI/18	4.240	141,33	30
ABR/18	3.840	137,14	28
MAR/18	3.282	112,06	30
FEV/18	3.631	121,59	32
JAN/18	4.015	133,83	30
DEZ/17	3.925	140,17	28
NOV/17	4.421	133,96	33
OUT/17	3.890	133,10	29
SET/17	3.708	123,60	30

Reservado ao Fisco

5003.5D27.E823.9A15.4392.4E37.E06A.2A4B

	Base de cálculo (R\$)	Alíquota(%)	Valor (R\$)
ICMS	430,54	25,00	107,64
PASEP	430,54	0,74	3,19
COFINS	430,54	3,28	14,08

Ouvidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligeção gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares



Código de Débito Automático

Instalação

Vencimento
10/10/2018Total a Pagar
R\$ 456,63

SET/2018

83680000004-1 56630138004-4 61034985411-3 00022226674-4



ANEXO C – Termo de autorização de uso de nome**TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE NOME**

Eu, Fabio Maximiano de Oliveira, portador do RG nº 12.121.062 e inscrito no CPF nº 050.879.826-46, na condição de Proprietário da empresa Supermercado Castro e Oliveira LTDA ME, CNPJ: 09.395.636/0001-54, **AUTORIZO**, através do presente termo, o aluno **FELIPE BERNARDES ARAÚJO ROCHA**, portador do RG nº 10.461.523 e inscrito no CPF nº. 078.829.286-23, matriculado no curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Formiga (Unifor-MG), utilizar as faturas de energia elétrica de seu estabelecimento, situado em Arcos-Mg em seu Trabalho de Conclusão de Curso.

Arcos, 22 de Outubro de 2018.



SPERMERCADO CASTRO E OLIVEIRA LTDA ME

CNPJ.: 09.395.636/0001-54