



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

RAYLLA PEREIRA RIBEIRO

**ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL**

ARAXÁ/MG

2016

RAYLLA PEREIRA RIBEIRO

**ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Lopes Fontoura.

ARAXÁ/MG

2016

ATA DE APROVAÇÃO

RAYLLA PEREIRA RIBEIRO

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Araxá, 05 de dezembro de 2016.

Presidente e Orientador: Prof. Dr Kleber Lopes Fontoura

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

Membro Titular: Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

Membro Titular: Prof. Me. Herbert Radispiel Filho

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

Membro Titular: Prof. Dr. Paulo Soave Azevedo

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- CEFET/MG – Unidade Araxá

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

*A minha família ,
que sempre me fez acreditar na realização dos meus sonhos e trabalhou muito para que eu
pudesse realizá-los.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades;

A minha família, que sempre me apoiou e não deixou que eu desanimasse. Em especial, ao meu pai, Sebastião Júnior, pelo amor, pelo incentivo e pelo apoio nos momentos difíceis, foi o senhor quem sempre me ensinou a batalhar e a correr atrás dos meus objetivos;

Ao meu orientador pela paciência e pela dedicação, principalmente, pelo estímulo e pela confiança, aspectos fundamentais em meu crescimento profissional e pessoal.

Ao prof. Dr. Domingos Sávio de Resende pela ideia do projeto e ajuda no decorrer do estudo.

Ao Alfredo da Sonney Energia Solar e Gabriel da Inovatec Solar pelo conhecimento compartilhado.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

Atualmente, os países buscam várias maneiras para produção de energia elétrica, que degrade menos o meio ambiente e que seja de forma sustentável. No Brasil com a expansão da produção da energia fotovoltaica, devido a criação da Resolução Normativa nº 687 que trata da possibilidade de compensação de energia pelo usuário e a posição geográfica, realizou-se um estudo de caso de dimensionamento de um sistema fotovoltaico em um ambiente residencial. Neste trabalho foram levantadas algumas informações técnicas e financeiras a respeito do uso da energia fotovoltaica em residências. A partir da conta de energia elétrica de um consumidor da cidade de Araxá, foi dimensionado um sistema de geração composto por 5 módulos fotovoltaicos, com potência de 255 W cada, e 1 inversor, com potência de 1500 W. O sistema projetado tem a previsão de gerar 2.0 MWh por ano e retorno do investimento em 7 anos.

Palavras-chave: Resolução Normativa. Sistema Fotovoltaico.

ABSTRACT

Currently, countries are looking for ways to produce electricity that degrade the environment less and sustainably. In Brazil, with the expansion of photovoltaic energy production due to the creation of Normative Resolution No. 687, which deals with the possibility of energy compensation by the user and the geographic position, a case study was carried out on the design of a photovoltaic system in an environment residential. In this work, some technical and financial information about the use of photovoltaic energy in homes was raised. From the electricity bill of a consumer in the city of Araxá, a generation system was composed of 5 photovoltaic modules, each with a power of 255 W and one inverter with a power of 1500 W. The projected system is expected to generate 2.0 MWh per year and return on investment in 7 years.

Keywords: Normative Resolution. Photovoltaic System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Evolução da Energia Renovável	15
Figura 3: Célula Silício Monocristalina.....	17
Figura 4: Célula Silício Policristalina.....	18
Figura 5: Célula de Silício Amorfo	18
Figura 6: Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol.....	19
Figura 7: Potencial de utilização de energia solar na Terra.....	20
Figura 8: Mapa Solarimétrico do Brasil	21
Figura 9: Radiação Solar no Brasil.....	21
Figura 10: Radiação Solar em Araxá.....	22
Figura 11: Sistema Isolado.	23
Figura 12: Sistema conectado à rede.	23
Figura 13: Módulo Fotovoltaico.....	28
Figura 14: a) Inversor AABB;b) Inversor Fronius; c)Inversor PHB.....	30
Figura 17: String Box	31
Figura 18: Energia Mensal Produzida	37
Figura 19: Economia Energia.....	38

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1: Consumo Mensal.....	27
Quadro 2: Cálculo Mensal de Energia Produzida	36
Quadro 3: Análise Econômica.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BP - British Petroleum

CC - Corrente Contínua

CA - Corrente Alternada

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

DPS - Dispositivo de Proteção Contra Surtos

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPIA - European Photovoltaic Industry Association

IEC - International Electrotechnical Commission

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NBR - Norma Brasileira

PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia

PRODIST - Procedimentos de Distribuição

SWERA - Solar and Wind Energy Resource

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	FONTES RENOVÁVEIS	14
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	16
2.3	RADIAÇÃO SOLAR	19
2.4	RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL	20
2.4.1	RADIAÇÃO EM ARAXÁ	22
2.5	NORMAS ANEEL	23
3	METODOLOGIA	27
3.1	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	28
3.2	INVERSOR	29
3.3	STRING BOX	31
3.4	ENERGIA PRODUZIDA	32
3.5	DIAGRAMA UNIFILAR E MULTIFILAR	33
3.6	CABEAMENTO	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXO A – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO	43
	ANEXO B - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA	45
	ANEXO C – DIAGRAMA UNIFILAR	46
	ANEXO D – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DIAGRAMA UNIFILAR	47
	ANEXO E - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	48
	ANEXO F- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS INVERSOR	49
	ANEXO G – TARIFAS CEMIG	50
	ANEXO H – DIAGRAMA MULTIFILAR	51

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o modelo energético mundial vem sendo questionado, devido ao acelerado crescimento populacional e conseqüente aumento do consumo de energia. Portanto os países buscam várias maneiras para produção de energia elétrica, que degrade menos o meio ambiente e que seja de forma sustentável.

O Brasil é um país rico em recursos naturais e possui recursos humanos disponíveis para atuar na geração de energia solar fotovoltaica (ASSUNÇÃO, 2010). Assim sendo, em novembro de 2015, teve-se a criação da Resolução Normativa nº 687 (complementar a norma nº482), que possibilita a compensação de energia com a instalação de pequenos geradores na unidade consumidora.

Segundo a ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica), o número de conexões de micro e minigeração de energia teve um rápido crescimento, em agosto de 2016 o Brasil superou a marca de 5 mil conexões desse tipo de geração.

Visando melhor informações técnicas e financeiras a respeito do uso de energia fotovoltaica, neste trabalho foi realizado um estudo de caso sobre o dimensionamento do sistema geração de energia elétrica fotovoltaica.

Os principais componentes do sistema calculados foram os módulos fotovoltaicos e o inversor e o objeto de estudo foi uma residência na cidade de Araxá.

Em vista do exposto, foram levantados aspectos técnicos, financeiros, assim como viabilidade econômica desse sistema, com base na estimativa elétrica do sistema, a qual é calculada a partir da radiação solar do local que será implementado o sistema fotovoltaico.

Este trabalho visa propor uma solução de instalação e conexão com a rede de um sistema solar fotovoltaico, com previsão de custos com base em tecnologias disponíveis no mercado.

Diante disto, o presente estudo está dividido em 6 capítulos que abordam os seguintes assuntos: O capítulo 1 corresponde à introdução. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica necessária ao desenvolvimento do trabalho. O capítulo 3 expõe a metodologia de desenvolvimento adotada na pesquisa. Os capítulos 4 e 5 apresentam os resultados e as conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FONTES RENOVÁVEIS

Fontes renováveis de energia são aquelas que não têm limite de disponibilidade e que provém de recursos naturais como água, sol, vento, maré e biomassa, para produzir energia limpa e sustentável.

Algumas das energias renováveis onde existe maior desenvolvimento:

Energia Biomassa: a qual utiliza matéria de origem vegetal para produzir energia. Exemplo: bagaço de cana de açúcar, palha de arroz, óleos vegetais, etc.

Energia Eólica: turbinas eólicas ou aerogeradores captam a energia do vento e a transformam em eletricidade. São instaladas em locais com ventos constantes.

Energia Hidrelétrica: resultante da força potencial criada pelo curso das águas e pelos desníveis dos rios, essa energia é transformada em mecânica, girando turbinas que são acopladas no gerador, a qual é transformada em energia elétrica.

Energia Solar Térmica: conversão de energia solar, com o auxílio de coletores ligados entre si, os quais captam energia solar para conversão em energia térmica, resultando no aumento da temperatura da água que se escoar através do sistema.

Energia Solar Fotovoltaica: se baseia na transformação de radiação solar em eletricidade, através de um material semicondutor que é fundamental nesse processo de conversão.

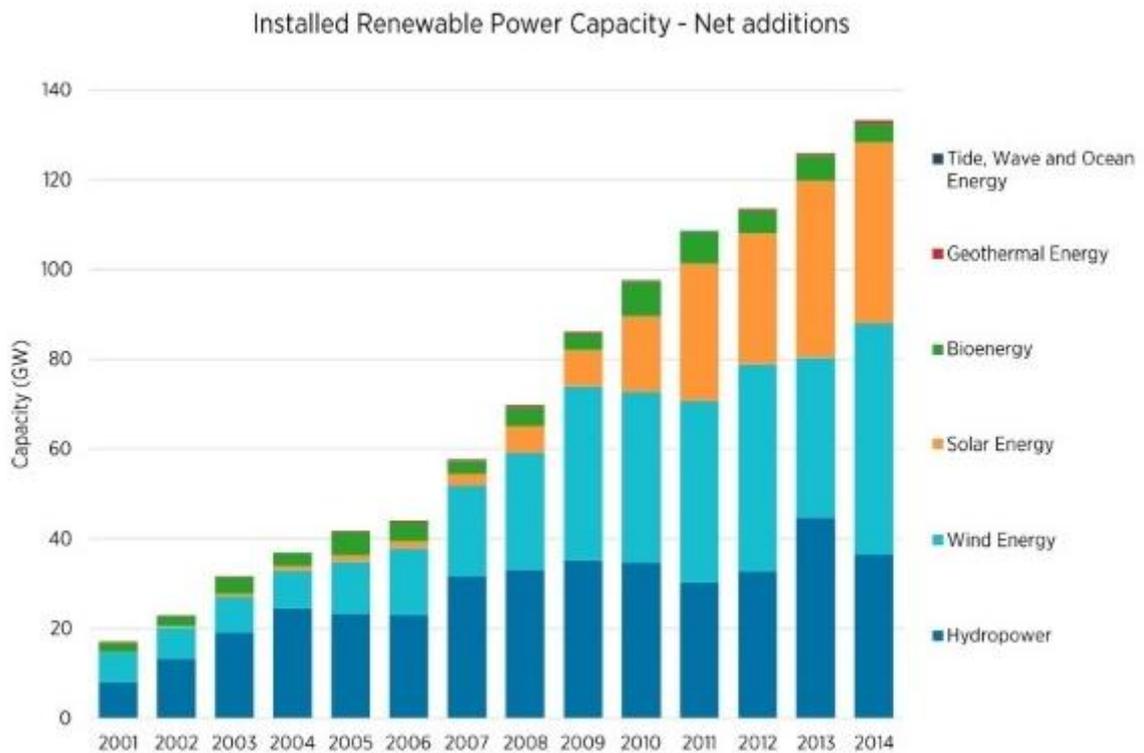


Figura 1: Evolução da Energia Renovável
Fonte: Portal Energia (2017).

Como mostra a figura 1, o crescimento no setor de energia renováveis foi impulsionado principalmente pela energia solar, que segundo o site Portal Solar obteve-se um incremento de 26%.

No Brasil, as usinas hidrelétricas suprem a maioria do consumo de energia elétrica. Contudo, tal modalidade fere o ecossistema com os alagamentos próximos aos rios. Devido a esse fator, busca-se, cada vez mais, alternativas de energia que não degradem o meio ambiente e que minimizem os efeitos negativos.

Nessa medida, fica evidente que o futuro do Brasil e do planeta exige uma revolução energética, sendo que uma matriz elétrica renovável apresenta benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Com a atual legislação a respeito da compensação de energia e a favorável localização do Brasil em relação a insolação, este trabalho foi direcionado para estudo da energia fotovoltaica.

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica se baseia na conversão da radiação solar em eletricidade, através de materiais semicondutores, resultando em um fenômeno conhecido por Efeito Fotovoltaico.

O Efeito Fotovoltaico foi observado por Edmond Becquerel um físico francês. Com uma solução de selênio, ele notou o aparecimento de tensão entre os eletrodos, quando este era iluminado pela luz solar.

Segundo Nascimento (2004, p. 7), baseando-se no relato de Edmond Becquerel em 1839, a energia solar fotovoltaica ocorre “quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz. No processo de conversão da energia radiante em energia elétrica, a célula é a unidade fundamental”.

O conjunto de células conectadas entre si formam o módulo fotovoltaico.

Um conjunto de células associadas em série paralelo forma um painel fotovoltaico, e com outros dispositivos como acumuladores, conversores e inversores constituem um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica. A confiabilidade desse sistema é uma das características mais importantes. Porque não possui partes móveis, baixo nível de complexidade, não se degrada com os efeitos naturais, como: ventos fortes, descargas atmosféricas e além de tudo apresenta alto índice de disponibilidade. Para um sistema fotovoltaico utilizado como complemento de energia elétrica em relação a convencional, uma das vantagens é que caso ocorra um defeito, este se limita à instalação específica não se estendendo às demais. Nascimento (2004, p. 19-20).

Para Wendling (2011), as células são fabricadas com material semicondutor, ou seja, um material com condutividade elétrica intermediária entre condutores e isolantes.

O semicondutor mais usado é o Silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Porém, devido à falta de elétrons livres, o silício puro não é um bom condutor. Por este motivo, costuma-se acrescentar, por processo de dopagem, certa porcentagem de fósforo e boro ao mesmo.

Ao serem adicionados átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem.

Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se, assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons, denominando-se dopante n ou impureza n (CEPEL, 2016).

Se, por outro lado, forem introduzidos átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede; esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna.

Ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Portanto, o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p (CEPEL, 2016).

Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam. Isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado, e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente.

As células fotovoltaicas de silício podem ser classificadas de acordo com a sua estrutura molecular que são: monocristalino, policristalino e silício amorfo.

Os monocristalinos (conforme figura 3), são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro. Esse silício é mais caro do que o policristalino, porém tem-se maior eficiência (CEPEL, 2016).

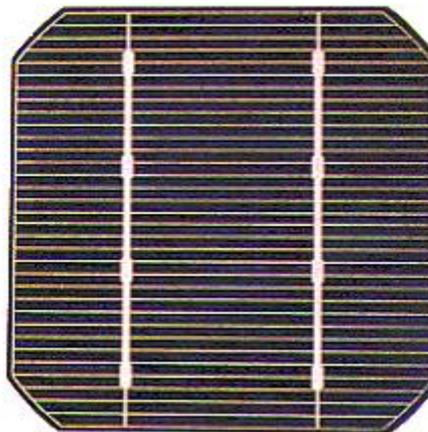


Figura 2: Célula Silício Monocristalina
Fonte: CEPEL (2016)

As células de silício policristalino (conforme figura 4), são mais baratas que as de silício monocristalino pois exigem um processo de separação de células menos rigoroso, portanto a eficiência é um pouco menor em comparação com às de monocristalino.

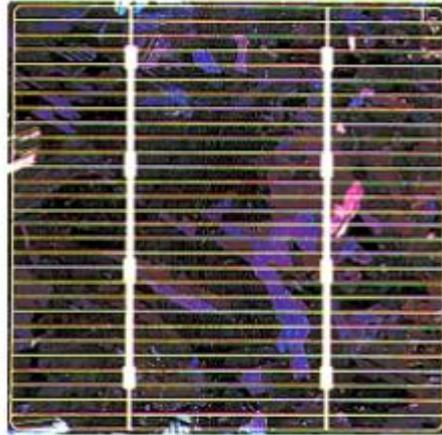


Figura 3: Célula Silício Policristalina
Fonte: CEPEL (2016)

A célula de silício amorfo (figura 5) apresenta alto grau de desordem na estrutura e são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. “A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação” (CEPEL,2016).



Figura 4: Célula de Silício Amorfo
Fonte: CEPEL (2016)

As células fotovoltaicas são feitas de materiais capazes de transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica.

2.3 RADIAÇÃO SOLAR

Segundo ANEEL (2016), “a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende além das condições atmosféricas, também da latitude, estações do ano, hora do dia, condições do céu”. Sobre esses aspectos, conforme Lima (2003), essas influências estão definidas da seguinte forma:

- Latitude: à proporção que a latitude aumenta, a área da superfície terrestre que a mesma radiação atinge é maior, resultando em uma menor concentração, conforme figura 3:
- Estações do ano: o movimento de translação da Terra em torno do sol, responsável pelas estações do ano, descreve uma órbita elíptica plana. O eixo de rotação da Terra em volta de si mesmo não coincide com o eixo da elipse, possuindo uma defasagem de $23^{\circ} 27'$, ver figura 6. Dessa forma, por um período do ano, o planeta expõe mais o hemisfério Sul à luz solar e por outro período ele expõe mais o hemisfério Norte.



Figura 5: Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol
Fonte: LIMA (2003).

- Hora do dia: a cada hora do dia, os raios solares atingem uma dada superfície sob diferentes ângulos.
- Condições do céu: as quantidades de nuvens que recobrem o céu interferem na radiação que atinge a superfície terrestre.
- Condições atmosféricas: dias enfumaçados, nublados ou poluídos alteram a radiação disponível. Porém, segundo Hudson Markell (1985), esse fator exerce

reduzida influência porque a radiação que atinge a superfície terrestre é formada por radiação direta e difusa. Segundo os autores citados acima, em dias claros, 10% da radiação que chega à superfície terrestre é difusa. Contudo, em dias nublados, a radiação difusa é, frequentemente, toda radiação disponível.

2.4 RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

Segundo Sáles (2008), o potencial de aproveitamento da energia solar de uma região é determinado, principalmente, em função de sua localização no Globo Terrestre. Além disso, conforme afirmou, as regiões localizadas entre os círculos polares e os trópicos podem ser consideradas como de médio potencial de energia solar, e as regiões localizadas entre as linhas tropicais podem ser consideradas de alto potencial. A figura 7 representa esse caso:

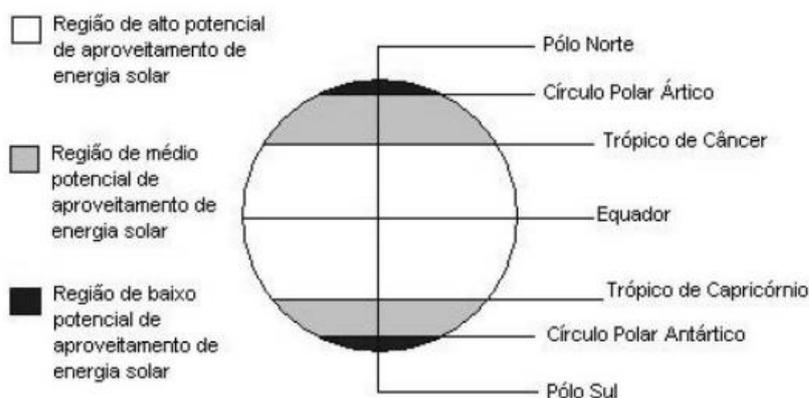


Figura 6: Potencial de utilização de energia solar na Terra.
Fonte: SÁLES (2008).

Conforme salientado do Sáles (2008), “o Brasil encontra-se em uma região entre os trópicos e próxima à linha do Equador, privilegiando-se dos elevados índices solarimétricos.” Segundo a ANEEL (2016), o Atlas Solarimétrico do Brasil (figura 8) apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, como pode ser observado em Araxá- MG, a média de insolação é aproximadamente 7 horas.

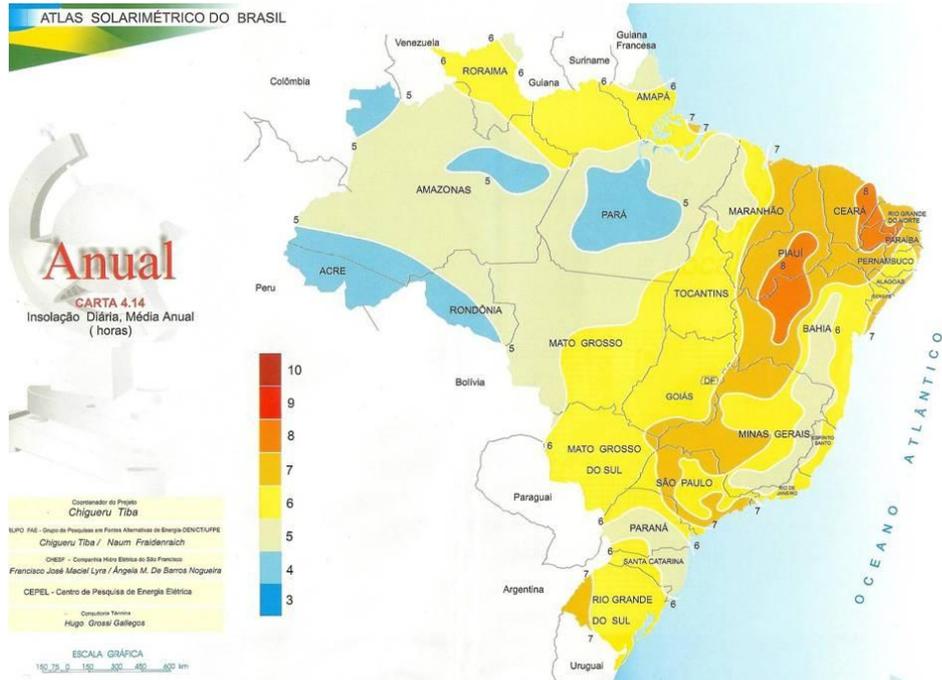


Figura 7: Mapa Solarimétrico do Brasil
Fonte: ANEEL (2016).

Conforme estudos realizado pelo projeto SWERA, pode-se concluir que, pela localização tropical do Brasil, a radiação solar está entre 4,5 a 5,0 kWh/m²/dia, como mostra a figura 9:

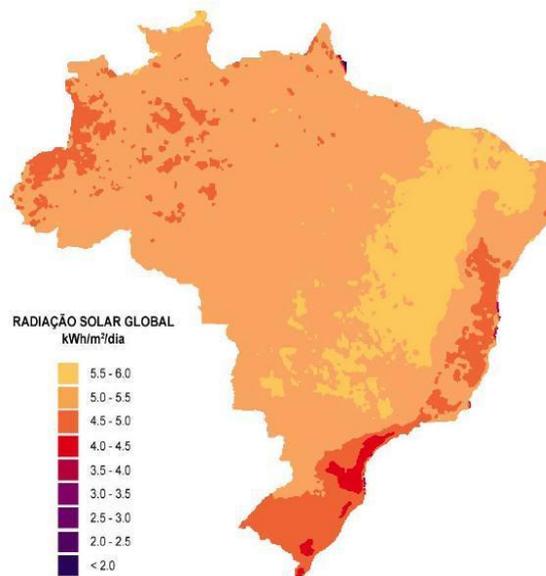


Figura 8: Radiação Solar no Brasil
Fonte: Projeto SWERA (2016).

2.4.1 RADIAÇÃO EM ARAXÁ

De acordo com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB (2016), realizou-se uma busca de dados da região na qual este trabalho enfoca e, foi encontrado a radiação solar na cidade de Araxá no ano de 2015. Percebe-se que na figura 10 que o mês que teve maior radiação foi em outubro, e com menor o mês de março. A média deste ano foi de $4,96 \text{ kWh/m}^2$.

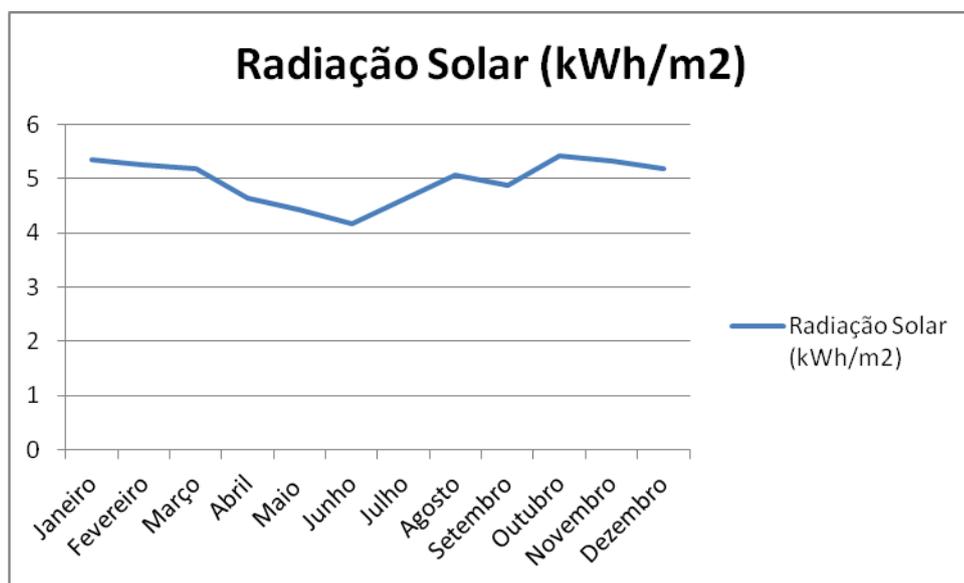


Figura 9: Radiação Solar em Araxá

Com o valor da radiação média e o tipo de módulo definidos, pode-se então dar início ao projeto do sistema de geração de energia fotovoltaica.

O sistema fotovoltaico gera energia limpa e renovável através da conversão direta de luz em eletricidade. Esse sistema pode ser de dois tipos: sistemas isolados ou conectados à rede. Os sistemas isolados, como mostra a figura 11, utilizam alguma forma para armazenar a energia, o que pode ser feito através de baterias. Esse sistema é recomendado para projetos em condições especiais, como área rural e projetos em local remoto.

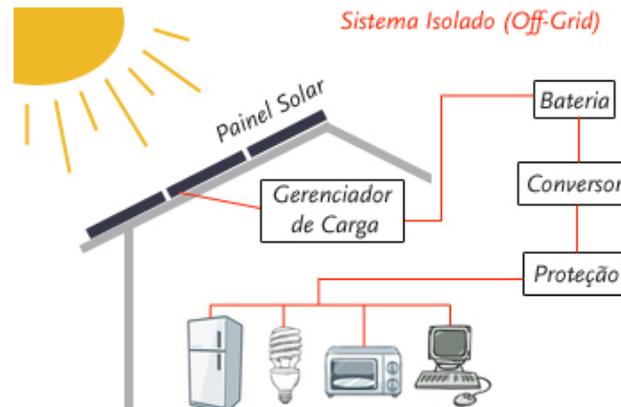


Figura 10: Sistema Isolado.
Fonte: Opel Consultoria (2015) .

Conectados à rede é um sistema no qual o que é gerado é entregue diretamente à rede, conforme figura 12. Por isso, o número de painéis fotovoltaicos deve ser maior e não há armazenamento de energia. Esse sistema é recomendado para instalações residenciais e empresariais, pois possui instalação simplificada e baixa manutenção.

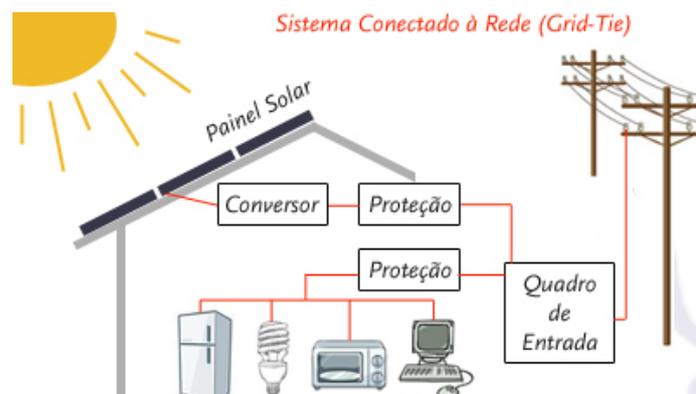


Figura 11: Sistema conectado à rede.
Fonte: Opel Consultoria (2015).

Existem os dois tipos de sistemas, mas o que será usado no decorrer do estudo é o conectado à rede devido a Resolução Normativa nº 687 que visa a compensação de energia.

2.5 NORMAS ANEEL

Em 17 de abril de 2012, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) publicou a Resolução Normativa nº 482, a qual, conforme seu artigo 1º, visa “estabelecer 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”. Em novembro de 2015,

houve a aprovação da complementação através da Resolução nº 687, por meio da qual, segundo a ANEEL (2016):

Foi criado o sistema de compensação de energia elétrica, permitindo que o consumidor instale pequenos geradores (tais como painéis solares fotovoltaicos e microturbinas eólicas, entre outros) em sua unidade consumidora e troque energia com a distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica.

De acordo com as regras que entraram em vigor no dia 1º de março de 2016, é permitida a microgeração e minigeração distribuída a central geradora com potência instalada, respectivamente, até 75 kW e acima de 75 kW e menor ou igual a 5MW, que são conectadas à rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras.

Quando o valor da energia gerada for superior ao consumido em certo período, esse valor servirá de créditos que poderão ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes.

O que mudou com a nova regra foi o prazo de validade dos créditos que passou de 36 meses para 60 meses,. Além disso, alterou-se também o prazo para o registro do sistema solar, que antes era de aproximadamente 90 dias e hoje diminuindo para 34 dias.

Salienta-se, ainda, a permissão de compensação em locais diferentes, bastando comprovar o vínculo entre os integrantes, podendo ser consórcio ou cooperativas.

Outra inovação é o empreendimento em condomínios com múltiplas unidades consumidoras. Ademais, em lugares que não apresentam espaço suficiente para instalação de um sistema fotovoltaico, é possível fazer a instalação do sistema em outro local, onde haja a mesma empresa energética, para que tenha a compensação dos créditos gerados no sistema remoto.

Esse projeto irá ser executado da seguinte forma: a empresa contratada pelo consumidor irá fazer a solicitação de acesso com o requerimento formulado pelo acessante conforme mostrado no Anexo A, formulário específico para cada caso deve ser protocolado na distribuidora, com os documentos necessários. No qual a distribuidora tem um prazo de 15 dias para fornecer o parecer de acesso que é um documento onde têm-se as informações das condições de acesso e os requisitos necessários.

Com relação aos procedimentos a serem adotados na micro e minigeração distribuída, destaca-se que:

Foram estabelecidas regras que simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor. O prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet (ANEEL, 2016).

Desde o início da norma, em fevereiro de 2012, até outubro de 2015, foram instaladas no Brasil 1.285 centrais geradoras, sendo 1.233 com fonte solar fotovoltaica. (ANEEL, 2016). Na Resolução Normativa nº 482, nota-se que essa é dividida em alguns capítulos, quais sejam:

- Capítulo 1: estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica;
- Capítulo 2: trata do modo como as distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso à microgeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais;
- Capítulo 3: expõe como o consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, observadas as disposições presentes nessa Resolução;
- Capítulo 4: apresenta os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessários para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, os quais são de responsabilidade do interessado;
- Capítulo 5: discorre sobre os casos de danos ao sistema elétrico de distribuição comprovadamente ocasionado por microgeração ou minigeração distribuída incentivada;
- Capítulo 6: assevera que compete à distribuidora a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos microgeradores distribuídos e envio dos dados constantes à ANEEL.

Com base no referencial teórico, de como ocorre essa geração de energia fotovoltaica (princípios físicos) até o conhecimento das normas que a concessionária e o consumidor devem seguir, então poderá ser realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

3 METODOLOGIA

Este trabalho possui como objetivo um estudo de caso de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica conectado à rede de distribuição de energia elétrica da CEMIG, a fim de gerar energia elétrica e fornecer o excedente à rede elétrica da concessionária sempre que a demanda da planta for menor que a energia gerada. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi utilizada a média de consumo de energia elétrica de uma residência, localizada na Rua das Candeias na cidade de Araxá, onde vive uma familiar de classe média com 2 moradores.

Obteve-se o quadro 1 a partir da conta de energia (anexo B).

Mês	Consumo (kWh)
Agosto (2015)	236,0
Setembro (2015)	244,0
Outubro (2015)	255,0
Novembro (2015)	248,0
Dezembro (2015)	238,0
Janeiro (2016)	196,0
Fevereiro (2016)	219,0
Março (2016)	281,0
Abril (2016)	229,0
Mai (2016)	240,0
Junho (2016)	276,0
Julho (2016)	283,0
Agosto (2016)	413,0
Média	258,3

Quadro 1: Consumo Mensal

Com os dados da insolação e com o potencial de geração dos painéis solares, foi possível determinar a energia gerada pelos painéis, de tal forma analisar o consumo diário e a compensação de energia. Para tanto, é indispensável saber quanto de energia será produzido, isso porque, no sistema conectado à rede, pode-se planejar um sistema que supre parcialmente a demanda.

Na sequência, estimou-se a melhor localização para instalação dos painéis, dado que a residência já está construída, logo, foi necessária uma análise para chegar ao posicionamento ideal dos painéis, o qual deverá apresentar inclinação de acordo com a latitude da residência. Posteriormente, determinou-se as características do painel utilizado, do inversor, onde será feito a previsão da energia produzida para análise do investimento e retorno.

3.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico é a unidade básica para o sistema de geração de energia elétrica. Segundo o Engenheiro Carlos Alberto Alvarenga (Solenerg Engenharia)(2016), o módulo consiste em uma estrutura montada em um quadro, de alumínio, o qual é composto por células fotovoltaicas em paralelo e em série, coberta geralmente por vidro/ plástico, para evitar das ações do tempo e possíveis impactos.



Figura 12: Módulo Fotovoltaico

A figura 13 mostra o módulo utilizado da Canadian Solar, modelo CSI CS6P- 255 P, de silício policristalino, com potência nominal de 255 W. A escolha por esse módulo foi feita pela grande disponibilidade no mercado e custo. As características desse módulo são apresentadas no anexo E.

O cálculo para obter o número de painéis foi realizado a partir do consumo médio de energia e a forma de distribuição da energia.

$$E_c = E_{mm} - CD \text{ (equação 1)}$$

Onde:

E_c = Energia de Compensação

E_{mm} = Energia Média de Consumo

CD= Tipo de Distribuição Bifásico (100 kWh)

A partir da energia de compensação encontrada para 30 dias, busca-se o valor dessa energia diária. No qual divide o valor encontrado por 30, conforme mostrado abaixo.

$$E_{cd} = E_c/30 \text{ (equação 1.1)}$$

Onde:

E_{cd} = Energia de Compensação diária

E_c = Energia de Compensação

Posteriormente, necessita-se encontrar a radiação média na cidade de Araxá, conforme já mostrado no item 2.10 desse projeto. A partir da radiação média e do valor da E_{cd} pode-se chegar a quanto de potência de energia tem que ser gerada, mostrada na fórmula a seguir:

$$W_p = E_{cd} / \text{Radiação} \text{ (equação 1.2)}$$

Com o valor da potência que tem que ser gerada pelos painéis e a potência de cada painel (tabela 2), conclui-se o número de painéis a serem usados, a partir da equação 1.3:

$$N^\circ \text{ painéis} = W_p / P_{\text{painel}} \text{ (equação 1.3)}$$

P= Potência de cada painel

3.2 INVERSOR

O inversor responsável por converter a energia de corrente contínua, vinda dos painéis, para corrente alternada, conforme a rede de distribuição pública. O inversor deve possuir potência suficiente para o sistema, podendo ser igual a potência gerada pelo sistema ou superior. Abaixo, têm-se alguns modelos de inversores:



Figura 13: a) Inversor AABB;b) Inversor Fronius; c)Inversor PHB
 Fonte: AABB (2016); Fronius (2016), PHB (2016)

Conforme mostra a figura 14.a, inversor da AABB o qual apresenta apenas de potência 3,3 kW a 8 kW, 14.b inversor Fronius o qual é encontrado com potência de 1,5 kW a 3,1 kW e 14.c inversor PHB é o mais usado devido a grande disponibilidade no mercado, e é encontrado de 1,5 kW, 3,0 kW e 4,6 kW.

Segundo Orlando Lisita (2005), como a relação potência nominal do gerador e potência nominal do inversor é aproximadamente 1, então não é necessário fazer o subdimensionamento do inversor, o que ocorre geralmente em regiões de baixa radiação.

A nova regra de aceitação da Cemig diz que, os inversores com potência de $\leq 10\text{kW}$ devem apresentar certificado ou registro do Inmetro.

Segundo Silva (2013), para a escolha do inversor, a potência nominal de módulos ligados ao inversor não pode ser maior que 110% da potência máxima de corrente contínua do inversor.

$$P_{\text{módulos}} = 1,1 \times P_{\text{inversor}} \quad (\text{equação 1.4})$$

Onde:

$P_{\text{módulos}}$: Potência máxima dos módulos

P_{inversor} : Potência máxima de corrente contínua do inversor

Ainda de acordo com Silva (2013), os painéis só podem ser ligados em série quando a soma das tensões de curto circuito apresentar um valor menor que 90% da tensão de corrente contínua máxima do inversor.

3.3 STRING BOX



Figura 14: String Box

O string Box aloca as proteções que protege os equipamentos mais sensíveis do sistema fotovoltaico, e também evita problemas no local de instalação como incêndios, queima do local ou até do sistema elétrico do cliente.

A importância de proteger o sistema fotovoltaico pois a incidência direta ou indireta dos raios pode resultar no dano ou perda dos equipamentos, e também proteger a vida das pessoas durante a instalação ou manutenção, pois se houver a necessidade de mudança módulos do inversor garante a proteção contra choques elétricos diretos e indiretos. Segundo a Empresa Sices Brasil (2016), “o local mais indicado para instalação do string box deve ser mais próximo do arranjo fotovoltaico e nunca dentro da residência”.

Como mostra a figura 17, o string box é um quadro de proteção e isolamento para sistemas fotovoltaicos. No caso desta pesquisa, foi implementado o quadro String Box CC+CA- 1 String, o qual apresenta:

LADO CC:

- Protetores de surto (DPS) para proteção contra descargas atmosféricas
- Chave Seccionadora (disjuntor) de corte dos painéis fotovoltaicos (600 VCC/32A)
- Fusíveis de proteção em CC (polo positivo e negativo)
- Caixa com grau de proteção IP55

LADO CA:

- Protetores de surto (DPS) para proteção contra descargas atmosféricas
275VCA – 50kA (fases)
- Chave Seccionadora (disjuntor) de corte (27VCA/40A)

3.4 ENERGIA PRODUZIDA

De acordo com Silva (2013) “a estimativa de produção de energia pode ser encontrada utilizando a expressão a seguir”:

Geração Anual (MWh/ano): Potência de cada módulo (W_p) x de módulos x nível médio de radiação solar (h) x eficiência global x 365 x 10^{-6} . (equação 1.5)

Onde:

- Geração Anual (MWh): Estimativa da geração de energia elétrica injetada na rede;
- Potência de cada módulo (W_p): Potência nominal do módulo selecionado em W_p ;
- Número de módulos: Quantidade de unidades de módulos fotovoltaicos;
- Nível médio de radiação solar (h): Nível médio anual de radiação solar do local de instalação, plano inclinado igual à latitude, em horas de insolação máxima ou kWh/m²/dia.
- Eficiência global: Fator que leva em conta as perdas no módulo fotovoltaico. Valor típico 0,7 a 0,8. Geralmente usa-se o valor de 0,8.

Através do total de energia gerada, pode-se chegar ao valor total de energia em reais economizado.

E_g (kWh) = n° dias x Potência Instalada x Radiação Solar x Rendimento Inversor x Energia Mensal Produzida (equação 1.6)

Esse consumidor é alimentado por um sistema bifásico, então, multiplica-se a tarifa de energia (anexo G) pelo ICMS de 30% e pela energia gerada em determinado período.

$$R\$(economia) = (E_g(p) * Tarifa) \times ICMS \quad (\text{equação 1.7})$$

Com os dados obtidos da análise econômica e com o valor total do investimento, pode-se obter o tempo estimado de retorno desse investimento.

3.5 DIAGRAMA UNIFILAR E MULTIFILAR

Conforme conversa com proprietário de empresa solar, quando o consumidor der entrada na concessionária, além do formulário devidamente preenchido (anexo A), geralmente arquivam junto o diagrama unifilar e multifilar da residência, com suas características, como apresentado no anexo C, D e H.

O diagrama unifilar é uma representação gráfica do circuito elétrico, o qual retrata tanto os aspectos do circuito elétrico quanto o caminhamento físico da instalação. O anexo C ilustra a instalação do projeto com o medidor bidirecional (fornecido pela Cemig após toda a instalação), inversor, string Box e painéis solares.

Diagrama multifilar é a representação da ligação de todos componentes e condutores. Todos componentes são representados, porém sua posição ocupada não precisa obedecer a posição real em que se encontram.

3.6 CABEAMENTO

Segundo o Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL, 2016), utiliza-se a seguinte equação para determinar a seção mínima do condutor:

$$S = p (D \times I / V) \text{ (equação 1.8)}$$

Onde:

S = seção mínima do condutor em mm²;

p = resistividade do material do condutor, geralmente cobre;

D = distância total do condutor, considerando ida e volta;

I = corrente que passa pelo condutor;

V = queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como a média encontrada pelos painéis foi 258,3 kWh, e no mês de agosto teve-se um valor fora do padrão de consumo, então para realização da média de consumo dessa residência ele foi retirado e realizada a média de acordo com os outros meses, onde encontrou-se um valor de 245,0 kWh.

De acordo com a fórmula de Energia de Compensação, foram encontrados os números de painéis usados, como mostra a equação 1:

$$E_c = E_{mm} - CD$$

$$E_c = 250 - 100$$

$$E_c = 150 \text{ kWh}$$

O valor que se obteve acima foi da energia mensal, contudo, o que é procurado é o valor da energia de compensação diária. Logo, divide-se o valor encontrado por 30 dias (conforme equação 1.1), o que resulta em aproximadamente 5.0 kWh/dia.

De acordo com o INMET, a média de radiação solar diária em Araxá-MG é de aproximadamente 4,96 kWh/m². Então, a partir do consumo diário e da radiação média diária em Araxá, encontra-se a potência gerada pelos painéis no decorrer do dia, conforme equação 1.2:

$$W_p = E_{cd} / \text{Radiação}$$

$$W_p = 5000 / 4960$$

$$W_p = 1000 \text{ Wp}$$

Para o cálculo do número de painéis usa-se a equação 1.3:

$$N^\circ \text{ painéis} = W_p / P_{\text{painel}}$$

$$N^\circ \text{ painéis} = 1000 / 255$$

$$N^\circ \text{ painéis} = 4.0$$

Chegando ao valor final, que será o número de módulos necessários para o fornecimento de energia diário na residência, o valor encontrado, a partir da equação 1.3, foi de 4 painéis, para gerar a energia suficiente para a demanda da residência. Salienta-se,

contudo, que, como nem sempre a radiação chega a esse valor e podem ocorrer perdas na geração do painel, o projeto da residência foi baseado em 5 painéis, porque, mesmo com as perdas, esse número produzirá o suficiente para a residência.

Como a instalação apresenta 5 módulos de 255 Wp e a potência instalada são 1,275 kWp, decidiu-se instalar um inversor com potência nominal de 1,5 kWp, que é suficiente para o sistema. Como já mencionado por Silva (2013), a potência nominal de módulos ligados ao inversor não pode ser maior que a potência máxima de corrente contínua do inversor, então pode-se concluir a partir da equação 1.4:

$$P = 1,1 \times P_{\text{inversor}}$$

$$P = 1,1 \times 1600$$

$$P = 1760 \text{ W}$$

P inversor: Potência inversor escolhido Fronius (Anexo F)

Como cada painel apresenta potência máxima de 255 W, quando se divide a potência total do inversor pela potência máxima de cada painel, encontra-se o número de painéis que podem ser ligados ao inversor, portanto, os 5 painéis podem ser ligados em apenas um inversor.

Ainda de acordo com Silva (2013), como mencionado anteriormente, os módulos, para serem ligados em série, têm que apresentar a soma das tensões de curto circuito menor que 90% da tensão de corrente contínua máxima do inversor. Portanto, como a tensão máxima do inversor usado é de 420 V (anexo F) e cada módulo usado apresenta tensão de curto circuito igual a 37,4 V (conforme anexo E), logo, foram utilizados 5 módulos, o que resultou em 187,0 V, o que corresponde a 44,52% da tensão do inversor. Concluiu-se, assim, que os 5 módulos podem ser ligados em série.

O painel deve ser fixado pelo mesmo valor da latitude local, no caso 19°, levando em consideração a inclinação da residência. Ademais, conforme a Ecycle (2016), o Brasil está localizado no Hemisfério Sul, os painéis irão apresentar a face orientada para o Norte.

A partir da potência de cada módulo, número de módulos, nível médio de radiação solar e eficiência global, pode-se afirmar pela equação 1.4:

- Geração anual = $255 \times 5 \times 4,96 \text{ h/dia} \times 0,8 \times 365 \times 10^{-6}$

$$\text{Geração anual} = 2.1 \text{ MWh/ano}$$

No quadro 4, são apresentados os valores que se estima obter com a instalação fotovoltaica em cada mês, isso levando-se em conta a radiação solar fornecida pela CRESESB (2016) no último ano e não considerando a diminuição na eficiência das células.

Mês	Dias	Potência Instalada (kWh)	Radiação Solar (kWh/m ²)	Rendimento do Inversor 95%	Energia Mensal Produzida (kWh)
Janeiro	31	1,275	5,36	0,95	201,26
Fevereiro	28	1,275	5,25	0,95	178,05
Março	31	1,275	5,19	0,95	194,88
Abril	30	1,275	4,64	0,95	168,10
Mai	31	1,275	4,44	0,95	166,72
Junho	30	1,275	4,17	0,95	151,52
Julho	31	1,275	4,61	0,95	173,10
Agosto	31	1,275	5,06	0,95	190,00
Setembro	30	1,275	4,89	0,95	177,70
Outubro	31	1,275	5,42	0,95	203,51
Novembro	30	1,275	5,33	0,95	193,68
Dezembro	31	1,275	5,19	0,95	194,88
					2193,40

Quadro 2: Cálculo Mensal de Energia Produzida

O quadro 2, mostra a produtividade anual do sistema será de aproximadamente 2.1 MWh/ano, de acordo com radiação solar do ano de 2015, lembrando que os valores da radiação estão sujeitos à variação.

A figura 18 ilustra como ficará essa geração mensal de energia, onde junho apresenta menor produção de energia e em outubro maior produção, comparado com os outros meses.

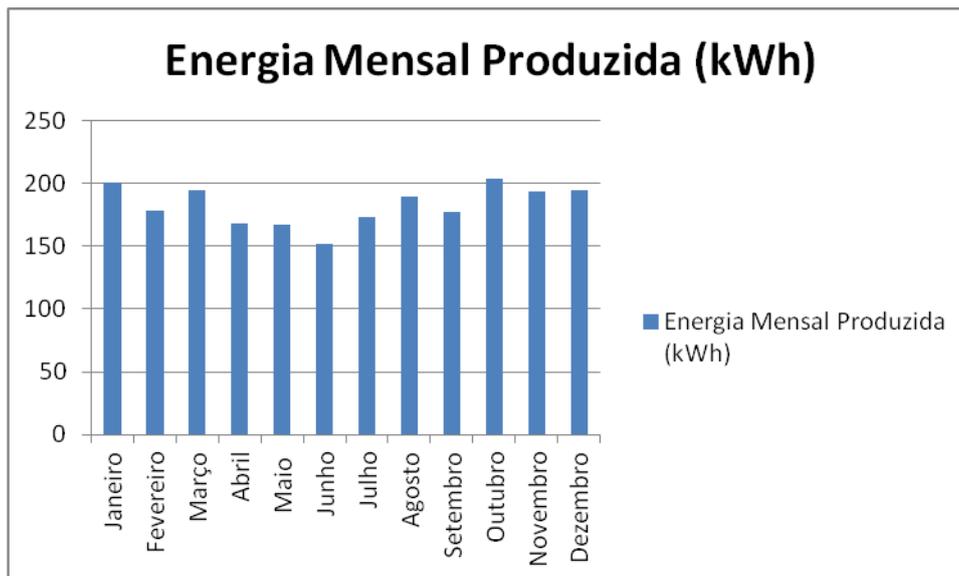


Figura 15: Energia Mensal Produzida

Como a distância do condutor até o final do projeto não havia sido estabelecida, não será abrangido o dimensionamento do cabo no decorrer do estudo.

Para 5 painéis de células de silício policristalino, do fabricante Canadian Solar, com potência de 255 W, foram consultados dois fornecedores, sendo obtido, entre eles, o preço mais acessível de R\$ 900,00, chegando a um total de R\$ 4.500,00 para os 5 módulos.

Para a conversão de corrente contínua em alternada, empregou-se 1 inversor de 1500 W. Foram consultados também dois fornecedores e o preço mais acessível foi de aproximadamente R\$ 4.000,00, por isso o motivo da escolha do inversor Fronius. O String Box foi encontrado no valor de R\$ 2.540,00.. Salienta-se que, no levantamento desses dados, não foram inclusos os valores referentes à prestação de serviços, como engenheiro, eletricitas qualificados e cabos.

Concluiu-se, então, que o gasto total do projeto do sistema conectado à rede é de aproximadamente (fora os gastos com estruturas, gastos menores e mão de obra) R\$ 11.100,00, o que corresponde a US\$ 3.315,00 (data de cotação 13/12/2016).

Abaixo, apresenta-se o quadro 3, na qual se mostra o quanto se economizará em cada mês, tendo por base o valor da tarifa usado na conta que consta em Anexo G.

Energia Mensal Produzida (kWh)	Economia (R\$)
201,26	138,68
178,05	122,68
194,88	134,28
168,10	115,83
166,72	114,87
151,52	104,40
173,10	119,26
190,00	130,91
177,70	122,43
203,51	140,22
193,68	133,44
194,88	134,26

Quadro 3: Análise Econômica

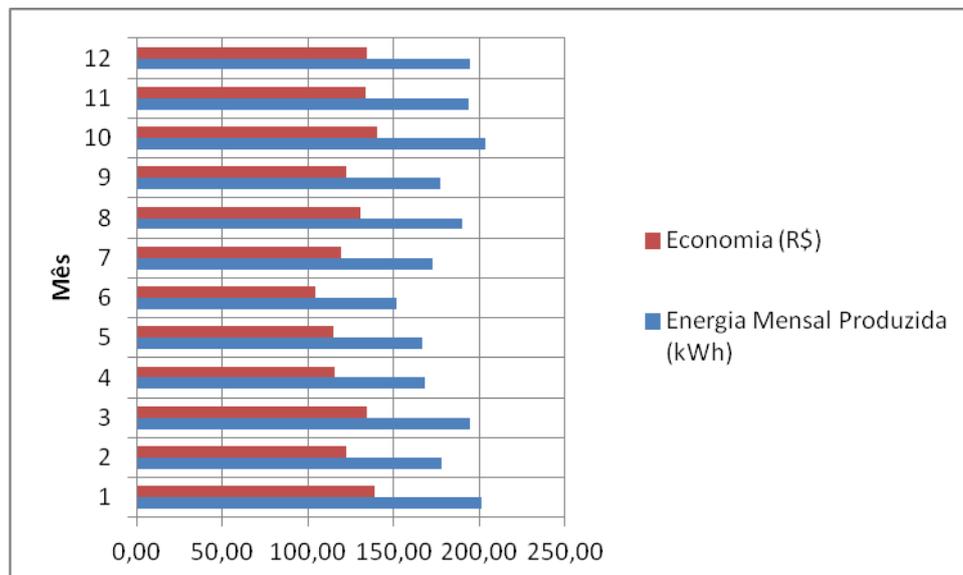


Figura 16: Economia Energia

A figura 19 mostra o valor pago para a determinada energia que será gerada pelo sistema. Com o uso do sistema fotovoltaico e cálculos efetuados no decorrer do estudo foi encontrado 201,26 kWh de energia produzida para o primeiro mês, o qual resultaria em um valor final na conta de energia de 138,68 reais, valor o qual não será pago pelo consumidor, portanto, economizado.

Com isso, evidencia-se que, em um ano, a economia será aproximadamente de R\$ 1520,00. Sendo que, conforme apresentado, o gasto com materiais e instalação do sistema é de aproximadamente R\$ 11.100,00, então, em 7 anos o investimento passa a dar lucro.

Deve-se levar em conta que o valor da conta de luz não será inteiramente zerado. O cliente ainda ficará sujeito ao pagamento de uma taxa mínima para a Cemig, nesse caso, ainda será cobrado mensalmente o equivalente a 100 kWh como taxa de disponibilidade e outras despesas referentes à taxa de iluminação pública.

5 CONCLUSÕES

O trabalho de conclusão propôs um estudo de caso de um dimensionamento do sistema fotovoltaico residencial, visando responder questões sobre análise econômica, vantagens e desvantagens desse sistema de geração de energia.

De forma sustentável, a energia solar não polui durante seu uso, apresenta a vantagem de ser uma energia limpa, não degradando grandes áreas e também é uma forma de energia renovável. Em país tropical como no Brasil a energia solar é viável praticamente em todo território, além de ser excelente para lugares remotos ou de difícil acesso. Porém existe variação da quantidade produzida de acordo com a situação do clima, e os painéis ainda apresentam baixo rendimento.

Uma grande desvantagem é que o custo para inserção de um sistema fotovoltaico hoje é um pouco alto, mas como mostra o dimensionamento do sistema o valor de R\$11.100,00 (US\$ 3.315,00) com o retorno do investimento em aproximadamente 7 anos, lembrando que esse custo é apenas do inversor, string Box e 5 módulos fotovoltaicos.

Apesar de ser feita a compensação a conta de energia não será inteiramente zerada, pois o cliente ainda deverá realizar um pagamento de uma taxa mínima para a Cemig (taxa de distribuição da rede e iluminação pública).

Melhorias podem ser feitas a partir desse estudo, pois após a instalação do sistema fotovoltaico poderá ser feita a comparação da energia gerada na residência com a desenvolvida neste estudo.

Como sugestão de trabalhos futuros pode se utilizar esse documento para realizar um estudo de caso para Cefet- Campus Araxá.

REFERÊNCIAS

AABB. Disponível em: < <http://www.abb.com.br/product/pt/9AAC172308.aspx>> . Acesso em: 10 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482: Condições Gerais Para o Acesso de Micro e Minigeração Distribuída. Rio de Janeiro, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687: Altera a Resolução Normativa n° 482. Rio de Janeiro, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – PRODIST: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Rio de Janeiro, 2016.

ANEEL. **Atlas Energia Solar.** Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> . Acesso em: 15 set. 2016.

CANADIAN SOLAR. Disponível em: <<http://www.canadiansolar.com/>> Acesso em: 18 set.2016.

CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.** Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em : 5 jul. 2016.

CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf/>. Acesso em : 5 jul. 2016.

Ecycle. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/2480-guia-instalacao-energia-solar-casa-residencia-placa-fotovoltaica-beneficios-pros-contras-como-fazer-sustentavel-investimento-recuperacao-termica-eletrica-bate-sol-localizacao-agua-luz-custo-escolhas-suporta-inclinacao-componentes-sistema.htm>>. Acesso em : 20 set. 2016.

Fronius Galvo. Disponível em: <http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_brasil> . Acesso em: 18 set. 2016.

LIMA, J. B. A. **Otimização de Sistema de Aquecimento Solar de Água em Edificações Residenciais Unifamiliares.** 142 f. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LISITA, Orlando. **Sistema Fotovoltaicos Conectados à Rede- Estudo de Caso.** São Paulo, 2005.- Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2005.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltáica.** Lavras, 2004.- Pós Graduação em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, 2004.

Opel Consultoria. Disponível em: <http://www.opelconsultoria.com.br/servicos_geracao_energia_solar_fotovoltaiica.html>. Acesso em: 15 jul. 2016.

PHB. Disponível em: <http://www.phb.com.br/produtos/solar/inversores/1500W_br.aspx#> . Acesso em: 10 dez. 2016.

Portal Energia. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/crescimento-mundial-recorde-das-energias-renovaveis-2015/>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

Projeto Swera. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/eventos/XIISBSR_2005_Goiania_3137_SWERA_FRMartins_et al.pdf>. Acesso em: 18.set. 2016.

SÁLES, I. C. F. **Análise da Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedor Solar: Uma Contribuição ao Setor Elétrico na Conservação de Energia**. 158 f. Dissertação (mestrado) – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=129214>. Acesso em: 7 jun. 2016.

Sices Brasil. Disponível em: <http://www.sicesbrasil.com.br/images/doc/vari/boletim_qualidade/String_Box_R2.pdf>. Acesso em: 10 out.2016

SILVA, J. V .C. **Pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para a universidade do sudoeste da Bahia, campus de Itapetinga**. Universidade de Lavras- MG, 2013. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/m/wp-content/uploads/2013/03/TCC-Valderi.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

WEDLING, M. **Semicondutores**. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/1--semicondutores.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2016

ANEXO A – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO

	FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO
	DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10kW
Superintendência de Relacionamento Comercial com Clientes de Distribuição – RC	

1 – IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA – UC

NÚMERO DO CLIENTE:	NÚMERO DA INSTALAÇÃO:	
Titular da UC:		
Classe:	CPF/CNPJ:	
Rua/Av.:	Número:	
Complemento:	Bairro:	CEP:
Município:	Estado:	
Telefone: () -	Celular: () -	
E-mail:		

2 – DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA

Carga Instalada (kW):	Disjuntor Geral de Entrada: ___ A <input type="checkbox"/> Monopolar <input type="checkbox"/> Bipolar <input type="checkbox"/> Tripolar
Tensão de Atendimento (V):	Tipo de Ramal: <input type="checkbox"/> Aéreo <input type="checkbox"/> Subterrâneo

3 – DADOS DA GERAÇÃO

Potência Instalada (kW):
Disjuntor Geral Solicitado: ___ A <input type="checkbox"/> Monopolar <input type="checkbox"/> Bipolar <input type="checkbox"/> Tripolar
Tipo de fonte da GD: <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Hidráulica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Outra (especificar):

4 – TIPOS DE SOLICITAÇÃO

<input type="checkbox"/> Ligação de Nova Unidade Consumidora Com Geração Distribuída <input type="checkbox"/> Conexão de Geração Distribuída em Unidade Consumidora Existente SEM Aumento de Potência Disponibilizada <input type="checkbox"/> Conexão de Geração Distribuída em Unidade Consumidora Existente COM Aumento de Potência Disponibilizada
--

5 - DOCUMENTAÇÃO A SER ANEXADA

<input type="checkbox"/> 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto e instalação do sistema de microgeração. <input type="checkbox"/> 2. Diagrama unifilar contemplando Geração, Proteção (inversor, se for o caso), Medição e Memorial Descritivo da instalação. <input type="checkbox"/> 3. Certificado de conformidade do(s) inversor(es), ou números de registros da Concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede. <input type="checkbox"/> 4. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg .

Qtde Módulos	Fabricante dos Módulos	Modelo do Módulo	Potência Módulos (kWp)	Qtde Inversores	Fabricante do Inversor	Modelo do Inversor	Potência Inversores (kWp)	Área dos Arranjos (m ²)	Qtde de Instalações a receber o crédito

5. Lista das unidades consumidoras do sistema de compensação (se houver), indicando a porcentagem de rateio e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012.
6. Cópia do instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver).
7. Documento que comprove o reconhecimento, pela Aneel, da cogeração qualificada (se houver).
8. Formulário de Análise de Carga, com os respectivos anexos necessários (para solicitação de Ligação Nova de Unidade Consumidora com GD ou conexão de GD COM aumento de potência disponibilizada);
9. Cópia da Carteira de Identidade do titular da UC, ou de outro documento de identificação oficial com foto.

6 – CONTATO NA DISTRIBUIDORA (preenchido pela Distribuidora)

Responsável / Área:	Endereço:
Telefone: () -	E-mail:

7 – SOLICITANTE:

Nome do Cliente ou Procurador Legal:	
Telefone: () -	E-mail:
Local e data:	Assinatura do Cliente/Responsável Legal:

ANEXO B- CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA



www.cemig.com.br/atendimento
Cemig Torpedô 29810
Fale com a Cemig 116

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136-0087
Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP: 30180-131 - Belo Horizonte - MG

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

RUA DAS CANDEIAS
JARDIM BELA VISTA
3818 1-760 ARAXA, MG

Referente a
AGO/2016

Nº DO CLIENTE

Código de Débito Automático

2ª VIA - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA

Classe Residencial	Subclasse Residencial	Datas de Leitura Anterior: 26/07 Atual: 24/08 Próxima: 26/09	Datas da Nota Fiscal Emissão: 24/08 Apresentação: 30/08	Nº DA INSTALAÇÃO 3012240377
------------------------------	---------------------------------	--	--	---------------------------------------

Tipo de Medição Energia kWh	Medição ARC146009249	Leitura Anterior 3.590	Leitura Atual 3.826	Constante de Multiplicação 1	Consumo kWh 236
---------------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	--	---------------------------

Informações Gerais Tarifa vigente conforme Res Anel nº 2.076, de 24/05/2016. ICMS aplicado conforme Lei nº 21.783/15. Nota fiscal de 07/2016 quitada em 18/08/2016. Considerar nota fiscal quitada após débito em sua c/c. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estas, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas. Leitura realizada conforme calendário de faturamento. JUL/2016 Band. Verde - AGO/2016 Band. Verde	Valores Faturados <table border="1"> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Tarifa/Preço (R\$)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td>236</td> <td>0,80695731</td> <td>190,41</td> </tr> </table>	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)	Energia Elétrica kWh	236	0,80695731	190,41
	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)					
	Energia Elétrica kWh	236	0,80695731	190,41					
	Encargos/Cobranças Contrib. Custo Sum. Pública 26,29	Tarifas Aplicadas (sem impostos) Energia Elétrica kWh 0,53122000							

Indicadores de Qualidade de Fornecimento			
Araxá 1-Mês: 06/2016		Valores Permitidos	
Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual
DIC: 2,49	4,83	9,67	19,34
FIC: 1,00	3,17	6,35	12,70
DARC: 0,00	2,69	-	-
DICRI: 0,00	12,22	-	-
Tensão: Nominal = 127,020 V Min = 117,002 V Max = 133,021 V Valor Energia Lixo Sól. Distribuição: 0%			

Informações de Faturamento			
PARCELAS VALOR(R\$)	%	PARCELAS VALOR(R\$)	%
Energia 80,43	31,74	Enc. anteriores 22,90	12,03
Distribuição 36,52	14,23	Tributos 65,05	34,16
Transmissão 5,41	2,84	Totais 190,41	100,00

VENCIMENTO 18/09/2016	VALOR A PAGAR R\$ 216,70
---------------------------------	------------------------------------

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/dia	Dia
AGO/16	236	8,13	29
JUL/16	244	8,41	29
JUN/16	255	7,72	33
MAR/16	248	6,70	37
ABR/16	238	7,43	32
MAR/16	196	7,00	28
FEV/16	219	7,30	30
JAN/16	281	8,78	32
DEZ/15	229	7,89	29
NOV/15	240	8,00	30
OUT/15	276	8,62	32
SET/15	283	9,43	30
AGO/15	413	12,51	33

Reservado ao Fisco SEM VALOR FISCAL		
ICMS Base de cálculo (R\$): Aliquota(%): Valor(R\$):	PASEP Valor (R\$):	COFINS Valor (R\$):

Duvidas? CEMIG: 0800 730 3338 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis

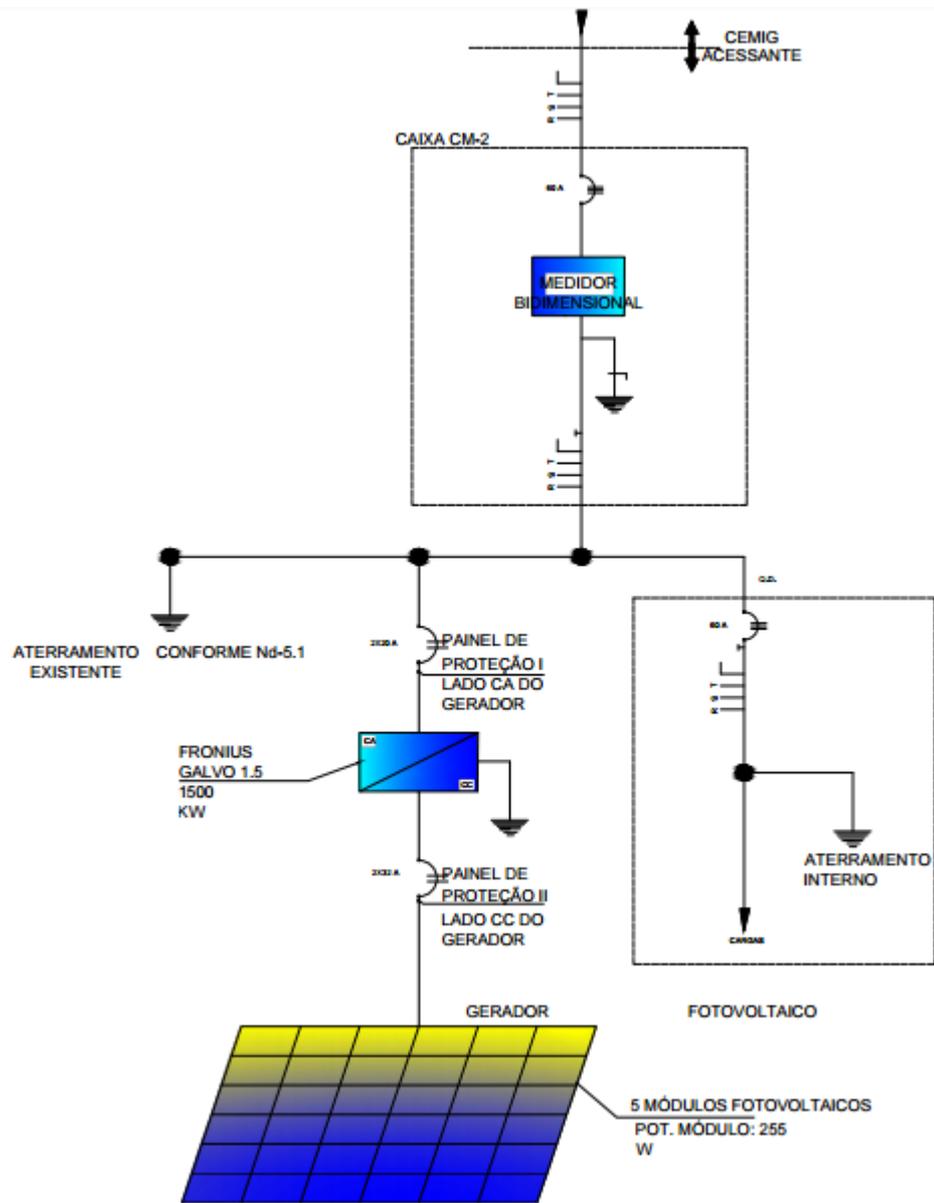
Unidade de leitura 18510138	Conta Contrato 008038731660	Vencimento 18/09/2016	Total a pagar R\$216,70
---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

83630000002-0 16700138001-0 00975082133-3 08038731660-9 Agosto/2016

ATENÇÃO:
DÉBITO AUTOMÁTICO



ANEXO C – DIAGRAMA UNIFILAR



ANEXO D - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DIAGRAMA UNIFILAR

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
GERAÇÃO HÍBRIDA	NÃO POSSUI
POTÊNCIA INSTALADA	1,275 KW
TENSÃO NOMINAL	220 VAC
POTÊNCIA GERADA	1,275 KW
FATOR DE POTÊNCIA	0,98
NÚMERO DE ARRANJOS	01
POTÊNCIA INJETADA	1,275 KW
FABRICANTE MÓDULOS	CANADIAN
NÚMERO DE MÓDULOS	05

ANEXO E - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

DADOS ELÉTRICOS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Marca	Canadian Solar
Modelo	CS6P – 255P
Dados obtidos em condições padrões de teste (STC) com radiação de 1000W/m ² em 25°C	
Máxima Potência (Pmax)	255 W
Tensão de Máxima Potência (Vmp)	30.2 V
Corrente de Máxima Potência (Imp)	8.43 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37.4 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9.00 A
Eficiência do Painel	15.85 %
Temperatura de Operação	-40 °C~+85 °C
Tensão Máxima do Sistema	1000V (IEC) /600V (UL)
Classificação máxima do fusível	15 A
Classificação de Aplicação	Class A
Tolerância de Energia	0 ~ +5 W

ANEXO F - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS INVERSOR

DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR	
Fabricante	Fronius
Modelo	Fronius Galvo 1.5-1
Max. Potência Fotovoltaica	1600 W
Max. Tensão CC	420 V
Faixa de Operação MPP	120~335 V
Tensão Mínima de Entrada	260 V
Corrente Máxima de Entrada	20.0 A
Dados da saída	
Potência Nominal de Saída	1500 W
Tensão de Saída (Faixa)	180 VCA a 270 VCA
Frequência de Saída	60 Hz
Corrente máxima de Saída	7,2 A
Outras Características	
Eficiência Máxima	95 %
Consumo Interno (noite)	< 1 W
Temperatura de Operação	-25 ° C a +50° C
Frequência de Saída	60 Hz
Dimensões (L x A x P)mm	(645 x 431 x 204)
Peso	16.8 Kg
Número Registro Inmetro	004650/2015

ANEXO G – TARIFAS CEMIG

B1- RESIDENCIAL NORMAL	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,53122	0,54622	0,56122	0,57622

B1 - RESIDENCIAL BAIXA RENDA	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Consumo mensal até 30 kWh (R\$/kWh)	0,18247	0,18772	0,19297	0,19822
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh (R\$/kWh)	0,31280	0,32180	0,33080	0,33980
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh (R\$/kWh)	0,46921	0,48271	0,49621	0,50971
Consumo mensal superior a 220 kWh (R\$/kWh)	0,52134	0,53634	0,55134	0,56634

ANEXO H – DIAGRAMA MULTIFILAR

