

**FUNDAÇÃO CARMELITANA MÁRIO PALMÉRIO
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

PAULO HENRIQUE DE LIMA

**ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADA A REDE: VIABILIDADE DO
INVESTIMENTO NA CIDADE DE COROMANDEL - MG**

**MONTE CARMELO – MG
DEZEMBRO / 2018**

PAULO HENRIQUE DE LIMA

**ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE: VIABILIDADE DO
INVESTIMENTO NA CICADE DE COROMANDEL-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério – FUCAMP, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Rafael Fernandes Garcia.

**MONTE CARMELO – MG
DEZEMBRO / 2018**

Dedico este trabalho a meus pais Antônio Lima e Selma Lima, irmãos que estiveram sempre presente participando da minha educação, a minha esposa Vanessa Ruas e filho Lucas Daniel pelas noites de espera pela minha companhia.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Esp. Rafael Fernandes Garcia, pelas oportunidades oferecidas durante este trabalho, pela orientação paciente e pela motivação.

Ao coordenador do curso de engenharia civil Professor Me. Emiliano Costa, por ter auxiliado em meu aprendizado e gerir brilhantemente o curso de engenharia civil.

Ao meu filho Lucas Daniel e à minha esposa Vanessa Ruas, pela compreensão nos momentos em que precisei me dividir entre a família, o trabalho e o estudo.

Aos colegas do curso de engenharia civil formandos do ano de 2018, pelos momentos de descontração e pelas contribuições à minha formação.

Ao Engenheiro Elton Dayrell, pelos ensinamentos práticos sobre engenharia civil.

Aos Professores e colaboradores da FUCAMP.

A prefeitura Municipal de Coromandel, que prontamente se dispôs conceder este estágio, juntamente com a secretaria de obras do município na pessoa de Clayton dos Passos, que muito me auxiliou nessa etapa de qualificação profissional.

A Fundação Carmelitana Mário Palmério, FUCAMP, por ter me proporcionado um ambiente de ensino e aprendizagem de excelência, desde a minha graduação.

RESUMO

A importância de conciliar tecnologia com a engenharia civil torna-se inevitável diante das constantes mudanças nos padrões de consumo humano e da crescente demanda por bens industrializados, requerendo uma grande quantidade de energia elétrica. A produção nacional de energia, segundo dados da ANEEL, não será suficiente devido ao gradativo aumento do consumo, isso requer mudanças nas formas de produzi-la e utiliza-la de forma consciente e responsável. Uma das formas mais eficientes e que tem apresentado bons resultados em vários países, é a geração distribuída, principalmente a geração fotovoltaica. Desde a montagem dos primeiros sistemas de geração fotovoltaica até os dias atuais houve uma melhora quantitativa e qualitativa dos equipamentos, isso torna essa tecnologia cada dia mais confiável, principalmente em países com uma boa insolação e malha distribuidora como no Brasil. O presente estudo mostra a viabilidade desse sistema, podendo ser implantado em todo o país e com maior eficiência nas áreas com boa incidência de luz solar, como ocorre na cidade de Coromandel – Minas Gerais. De acordo com os resultados desse estudo, a implantação do sistema se torna viável mesmo em residências com baixo consumo, podendo ser comparado ao tempo de retorno dos grandes sistemas de energia solar.

PALAVRAS-CHAVE: Fotovoltaica, Energia, Sistema.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil.....	11
Figura 2 - Mapa mineiro de irradiação.....	14
Figura 3 - Parte do espectro eletromagnético, evidenciando a banda solar.....	15
Figura 4 - Elementos de Fixação dos Módulos.....	16
Figura 5 - Tipos de módulos FV mais utilizados.....	17
Figura 6 - Esquema Sistema Fotovoltaico.....	17
Figura 7 - Tipos de arranjos.....	18
Figura 8 - Inversores <i>Grid Tie</i>	19
Figura 9 - Esquema Dispositivos contra Surto (DPS).....	20
Figura 10 - Medidor De Energia Elétrica Bidirecional.....	20
Figura 11 - Localização do projeto.....	21
Figura 12 - Fatura CEMIG.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de irradiação mensal por m ² Coromandel – MG.....	22
Tabela 2 - Taxa de disponibilidade da CEMIG.....	24
Tabela 3 - Média para Cálculo da Potência Instalada.....	24
Tabela 4 - Valores da taxa de iluminação pública.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREVIATURAS

m	Metro
mm	Milímetro
km	Quilômetro

SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUCAMP	Fundação Carmelitana Mário Palmério
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica,
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
FV	Sistema Fotovoltaico
ONU	Organização das Nações Unidas
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
GD	Geração Distribuída
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
UC	Unidade Consumidora
ONU	Organização das Nações Unidas
NASA	<i>National Aeronautics a Space Administration</i>
SF	Sistema Photovoltaics
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
QDC	Quadro de Distribuição de Cargas
DPS	Dispositivo Contra Surto
EVE	Estudo de Viabilidade Economica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos.....	10
<i>1.1.1 Objetivos Específicos</i>	<i>10</i>
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Sistemas solares fotovoltaicos	10
<i>2.1.1 Energia Solar no Brasil.....</i>	<i>13</i>
<i>2.1.2 Radiação solar</i>	<i>17</i>
2.2 Estruturas de Fixação	15
2.3 Módulos Fotovoltaicos.....	16
2.4 Inversores Fotovoltaicos.....	18
2.5 Quadro de Distribuição de Cargas (QDC).....	19
2.6 Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS)	19
2.7 Medidor Bidirecional	20
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 Cálculo da potência instalada.....	24
4 RESULTADOS E DISCURSÕES	25
4.1 Cálculo do número de painéis	25
4.2 Cálculos de potência do inversor.....	26
4.3 Cálculo do sistema de proteção	26
4.4 Orçamento e Economia Gerada	27
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

A energia é essencial na vida das pessoas e imprescindível no crescimento industrial rural e urbano. Segundo dados da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, atualmente 90% da energia elétrica produzida no Brasil é obtida de fontes de geração hidráulica e 30% do petróleo, o aumento no uso de energia é o principal indicador de desenvolvimento socioeconômico (ANEEL, 2008).

No Brasil são usados alguns artifícios afim de suprir o consumo excessivo de energia, uma vez que o nível de água dos reservatórios das hidrelétricas, responsáveis pela maior parte da produção nacional, não é suficiente para a demanda, com isso, entram em cena as termelétricas, alimentadas com combustíveis fósseis, cada vez mais escassos e caros.

O sol é corresponsável por várias formas de produção de energia, como por exemplo, a hidrelétrica que depende dele para que haja a evaporação da água e em seguida, precipitação reabastecendo rios e lagos. Nas usinas eólicas tem papel principal no aquecimento das massas de ar, criando as correntes que movem as turbinas e geram energia. Na biomassa, cujos vegetais necessitam de fotossíntese para se desenvolverem, e serem transformados em combustível assim como várias outras formas de geração, (FERREIRA, 1993).

No entanto, essas formas de energia mais tradicionalmente utilizadas no país tem custos elevados e causa grande impacto ambiental. Na busca de alternativas ecologicamente corretas para suprir esse déficit na produção brasileira, foram criadas políticas públicas para regular o mercado energético e regulamentar as fontes alternativas, (COMETTA, E. 2004).

O sistema de geração distribuída é caracterizado pelo uso de geradores de energia a partir de fontes renováveis, conectado à rede e montados estrategicamente próximo aos locais de consumo, diminuindo o gasto com transmissão e armazenagem sem degradar o meio ambiente, pois usam sistemas de transmissão já implantados.

Dessa forma, a energia gerada é consumida instantaneamente, somente o excedente retorna em formas de créditos energéticos podendo ser utilizados posteriormente pela UC - Unidade Consumidora, ou por outra UC de mesma titularidade do cliente dentro da mesma

concessionária. Esse sistema possui uma taxa de atratividade muito alta pois, é possível retornar o investimento em um curto espaço de tempo.

A tratativa desse trabalho é mostrar a viabilidade da instalação do SFCR - Sistema Fotovoltaico conectado à rede, em residências com baixo consumo de energia, ou seja, micro geração, bem como apresentar a economia acumulada ao longo de um certo período de tempo, no que diz respeito a vida útil dos equipamentos e quantidade de sol pleno por m².

1.1 Objetivos

Realizar um estudo acerca da produção de energia elétrica com fontes hídricas em relação à energia solar fotovoltaica, verificando as vantagens e/ou desvantagens de uma forma de energia em relação a outra.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Fazer uma comparação custo/benefício entre as formas de geração de energia elétrica;
- Analisar a capacidade de gerar energia elétrica e a relação com a insolação local;
- Apresentar a viabilidade do investimento para residências com baixo consumo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O uso dos sistemas solares fotovoltaicos

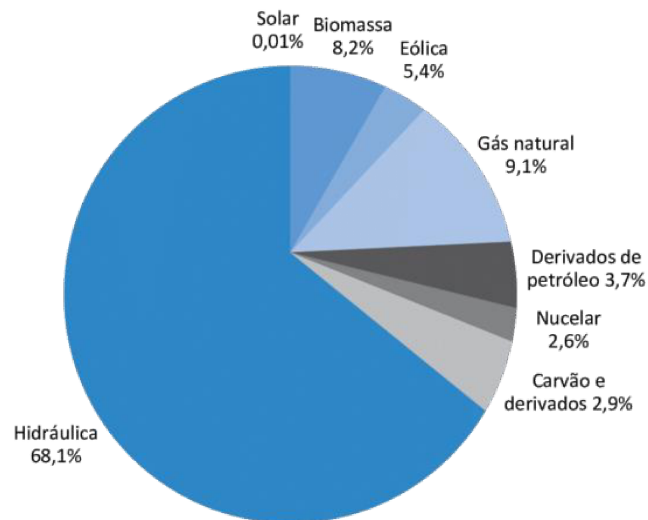
A energia solar fotovoltaica vem se consolidando como uma alternativa energética adequada, confiável e segura não somente às localidades isoladas e dispersas da rede elétrica convencional, mas também em regiões urbanas através dos denominados SFCR. Esses últimos dispensam o uso de acumuladores, pois a energia gerada pode ser consumida pela carga ou injetada à rede elétrica sendo a mesma comercializada com outras unidades conectadas ao sistema de distribuição (BENEDITO, 2009).

Hoje a população estimada do planeta é de 7 bilhões de habitantes e em 2030 será de 8,5 bilhões e em 2100 será de 11 bilhões de acordo com dados da ONU - Organização das Nações Unidas (ONU Brasil, 2015).

No que diz respeito a energia, o grande desafio seria acompanhar o crescimento populacional em relação ao aumento da demanda embasado nos parâmetros históricos onde a população mundial cresceu 3,8 vezes e o consumo de energia primária cerca de 10 vezes e os combustíveis fósseis mais de 20 vezes (GOLDEMBERG, J.; LUCON.2007).

A grande disposição de recursos hídricos no Brasil na verdade causa impasse, segundo Lucon e Goldemberg (2009) o Brasil é considerado autossuficiente por causa do bioetanol e seu potencial parque hidrelétrico. Entretanto, Abramovay (2012), questiona que isso não pode ser usado como trunfo para barrar o desenvolvimento sustentável conforme figura 1, uma vez que o investimento em usinas hidrelétricas é muito alto e que o tempo de implantação muito longo (ABRAMOVAY, 2012).

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil.



Fonte: EPE (2017).

Apesar de ser um tema atual, o termo Energia Solar começou a ser descoberto em 1839, quando o francês Alexandre Edmond Becquerel começou experimentos com eletrodos de metal inseridos em uma solução, o físico notou que os mesmos mudavam de comportamento ao serem expostos a luz. No século XIX, Albert Einstein publicou artigos que revolucionariam a física

atual, abordando o efeito fotoelétrico, com essas descobertas ele foi honrado com o prêmio Nobel em 1921, (MANUAL DE ENGENHARIA, 2014).

A primeira célula capaz de gerar energia suficiente para funcionar aparelhos elétricos foi desenvolvida na década de 50 para suprir falta de energia para uso dos telefones em áreas remotas, pela Bell Labs, empresa fundada por Alexander Graham Bell inventor do telefone, (DUTRA 2014).

No ano de 1958 com a corrida espacial seria essencial uma forma de energia remota que pudesse ser utilizada por muito tempo, foi quando a NASA - *National Aeronautics a Space Administration*, adotou a aplicação de painéis solares no satélite *Vanguard I*.

A partir dessa data houve grandes investimentos no setor a fim de potencializar a utilização dos módulos fotovoltaicos na geração terrestre, que veio a calhar com a crise energética de 1973. Desde o início da civilização o mundo passou por muitas mudanças nas formas de produção de energia, ela é essencial para produção de bens de consumo, seja para indústria ou para o campo.

De acordo com a IRENA - *International Renewable Energy Agency* (2017), os sistemas fotovoltaicos até recentemente eram considerados um luxo e por isso demasiadamente caros, estando apenas acessíveis aos países ricos. No entanto, nos últimos anos devido as políticas ambientais implementadas, verificou-se o seu crescimento aliado ao impulso a inovação tecnológica, criando assim um círculo virtuoso de queda de custos.

Segundo Pinho & Galdino, Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos, (2014), o crescimento anual médio da indústria mundial de células e módulos fotovoltaicos foi de 54,2%, sendo que em 2012 foram produzidos cerca de 36,2 GWp. “Esta potência equivale a mais de duas vezes e meia a potência da usina hidrelétrica de Itaipu, a maior central de produção de energia elétrica do Brasil.” Afirma (Pinho & Galdino, Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014).

2.1.1 Energia Solar no Brasil

No Brasil os primeiros sistemas fotovoltaicos foram instalados a partir de 1990 em concessionárias de energia elétrica, universidades e centros de pesquisa. Essas fontes de geração sustentáveis começam a ganhar impulso com a regulamentação da normativa 482 da ANEEL em 2012, essa norma possibilitou a troca direta de energia produzida, por energia fornecida pela concessionária a Resolução Normativa nº 687/2015 revisa a normativa anterior, (ANEEL, 2015).

Esse sistema compreende na troca de créditos de energia elétrica, ou seja, durante o dia que há muita luz, você produz energia além do que você consome, esse excedente retorna para a rede da concessionária, e durante a noite será utilizado uma vez que o sistema é incapaz de gerar sem iluminação, além dessa compensação o cliente também pode usar o excedente da sua produção como créditos que tem validade de 60 meses para serem utilizados.

Na geração distribuída a unidade consumidora primária terá sua compensação total, ou seja, será faturado apenas a taxa de disponibilidade do sistema que é de 30KWh/m para unidade monofásicas, 50KWh/m para unidades bifásicas e 100KWh/m para trifásico, e a tarifa de iluminação pública.

Essa taxa de disponibilidade corresponde ao consumo mínimo a ser pago para manter o ponto de instalação ativo. Os créditos excedentes podem ser compensados em outras unidades consumidos do mesmo titular CPF ou CNPJ dentro da área atendida pela mesma concessionária, previamente cadastrados no momento do pedido GD.

Para calcular o retorno do investimento deve-se contabilizar toda vida útil do equipamento uma vez que o sistema tem garantia de geração a 80% de eficiência por 25 anos, porem existem módulos gerando acima dessa eficiência a mais de cinquenta anos. O *payback* (retorno do investimento), médio considerando todos os fatores de reajustes médios nos últimos anos se dá por volta de cinco anos.

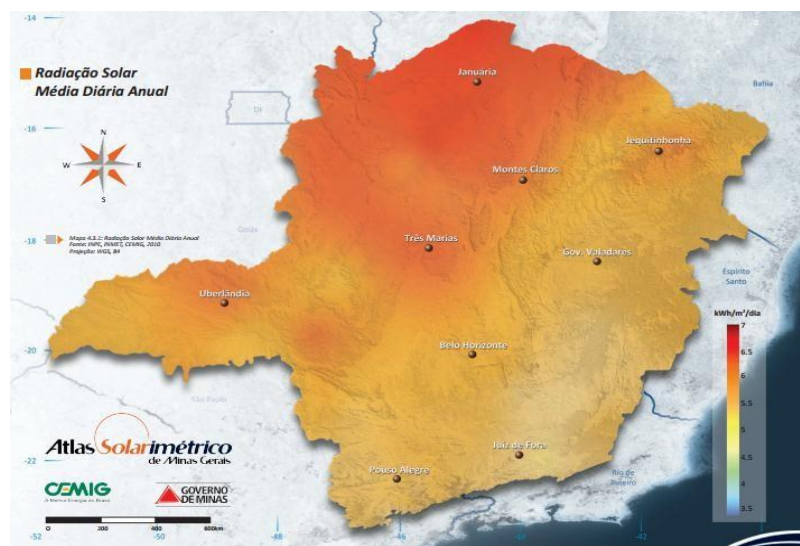
Essa taxa de atratividade do empreendimento para nosso país, mais especificamente para nosso estado de Minas Gerais se torna muito interessante devido ao Brasil ser um país tropical com

ótima radiação. A radiação está presente todos os meses do ano, tendo pequenas variações nos meses de junho e julho.

2.1.2 Radiação solar

O Estado de Minas Gerais, uns dos estados brasileiros pioneiro no mapeamento da energia solar, lançou no ano de 2012 o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, que foi elaborado através de uma iniciativa da CEMIG, juntamente com o Governo do Estado de Minas Gerais e a ANEEL, com a finalidade de mapear em todo o estado, as regiões com maior potencial de produção de energia solar, tornando uma ótima fonte de mapeamento de recursos no estado para o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos, conforme Figura 2.

Figura 2 - Mapa mineiro de radiação.



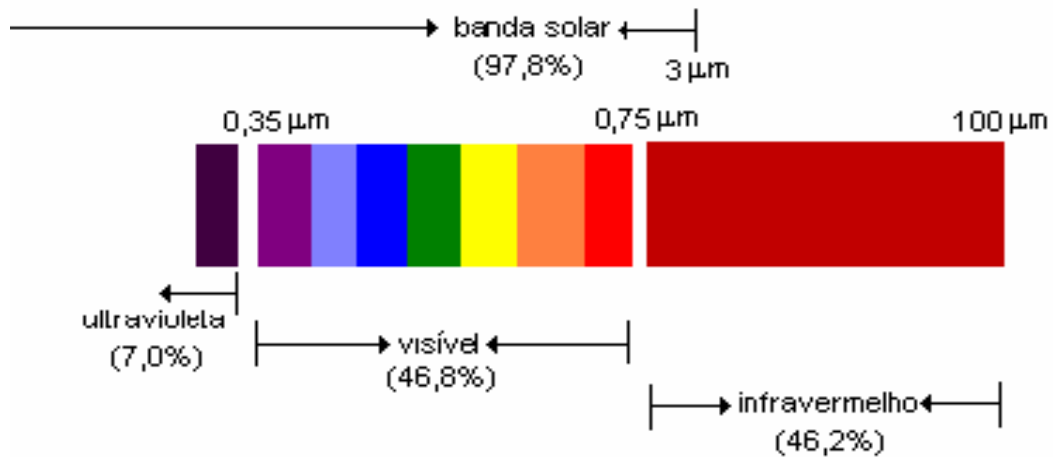
Fonte: (CEMIG, 2012)

A descrição da radiação solar tem por base sua natureza espectral e direcional, podendo ser entendida como uma distribuição contínua e não-uniforme de vários componentes monocromáticos, o que explica a variação da intensidade de radiação em função do comprimento de onda.

Sua natureza direcional pode ser simplificada admitindo-se que a radiação seja emitida de modo uniforme em todas as direções, ou seja, a distribuição e a superfície emissora são perfeitamente difusas.

Devido à grande distância existente entre o Sol e a Terra, apenas uma mínima parte (aproximadamente duas partes por milhão) da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra, Figura 3. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia de 1×10^{18} KWh/ano. (GREENPRO, 2004).

Figura 3 - Parte do espectro eletromagnético, evidenciando a banda solar.



Fonte: GREENPRO (2004).

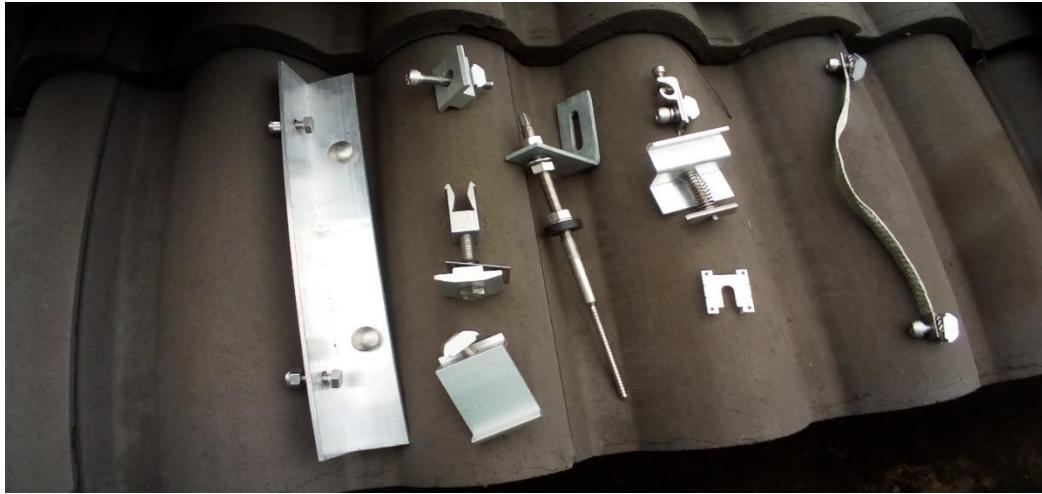
De acordo com a evolução da exploração, os tipos de energia predominantemente utilizados na era industrial são limitados às reservas de petróleo e de gás, é previsto que as reservas diminuam a níveis alarmantes nas três primeiras décadas do nosso século. Ainda que sejam descobertos novos depósitos, apenas se prolongará a dependência da energia fóssil por mais algumas décadas.

2.2 Estruturas de Fixação

Existem vários tipos de elementos de fixação, esses componentes são na maioria feitos de alumínio anodizado e aço galvanizado para diminuir as cargas sobre os telhados e serem resistentes à corrosão, os módulos são fixados as barras de alumínio que por vez estarão fixadas na estrutura de sustentação do telhado.

Cada tipo de estrutura possui suas particularidades de acordo com a estrutura de sustentação, conforme Figura 4.

Figura 4 - Elementos de Fixação dos Módulos.



Fonte: Autor (2018).

2.3 Módulos Fotovoltaicos

Existem vários modelos e tecnologias de módulos FV como na Figura 5, os mais comuns na relação custo benefício são os policristalinos e nanocristalinos, sendo o último mais eficiente porem mais caro que o primeiro.

As células normalmente produzem menos de 3 W, numa tensão de aproximadamente 0,5 V, elas precisam ser conectadas em configurações série-paralelo, a fim de se atingir as potências necessárias às diferentes aplicações.

Os módulos mais comuns são aqueles formados por células de silício cristalino de mesmo tamanho, conectadas em série, recobertas com EVA e vidro temperado de elevada transmitância e alta resistência a impactos. O sistema pode ser inserido por uma estrutura em alumínio, a qual garante a rigidez e leveza impedindo avarias no manuseio.

Em relação ao custo desses equipamentos teve-se nos últimos anos grandes quedas de preço uma vez que a demanda aumentou gerando maior concorrência e aparecimento de muitas marcas no mercado.

Figura 5 - Tipos de módulos FV mais utilizados.



Fonte: Portal Solar. (2018).

Esses painéis são formados por várias células menores com baixa tensão e corrente, para produções de modelos maiores estas são interligadas até atingir a faixa desejada como exemplificado na Figura 6.

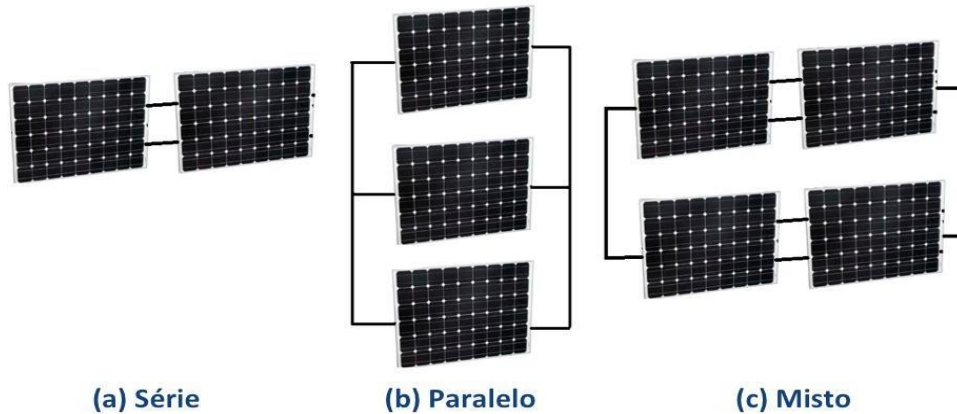
Figura 6 - Esquema Sistema Fotovoltaico.



Fonte: Portal Solar (2017).

Essas ligações são feitas em série, paralelo ou misto, conforme figura 7, tanto para formar os painéis quanto para formar os arranjos de entrada *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) de acordo com as faixas de tensão e potência de cada inversor.

Figura 7 - Tipos de arranjos.



Fonte: Solsist (2017).

2.4 Inversores Fotovoltaicos

Os inversores são responsáveis pela transformação e estabilização da energia gerada, quando a energia sai dos módulos FV ela está em corrente contínua (CC), ou seja, precisa passar para corrente alternada (CA), que é a forma de corrente fornecida pela concessionária e utilizada na maioria dos equipamentos elétricos, sendo assim existem dois tipos de inversores para conexão à rede: os inversores centralizados e os micros inversores, conforme Figura 8.

Os inversores utilizados para conexão direta na rede são chamados *Grid Tie* ou *On Grid*, são os inversores de ondas senoidais puras diferente dos de onda modificada que são usados modo *off grid*, que são inversores utilizados em sistemas isolados, esses precisam de baterias para armazenar a energia gerada.

No caso dos inversores de conexão à rede, até 5 kW a maioria dos equipamentos disponíveis no mercado são monofásicos 110V ou 220V (FF ou FN). Acima deste valor é comum que os inversores sejam trifásicos ou combinados.

Figura 8 - Inversores *Grid Tie*.



Fonte: Portal Solar (2018).

Normalmente a faixa de tensão de entrada dos inversores disponíveis no mercado são: 12 V, 24 V, 36 V ou 48 V. Se o sistema for projetado em um valor acima desses é possível combinar dois inversores em paralelo. As tensões de saída são de 127 V ou 220 V.

Inversor para conexão à rede elétrica da concessionária trabalha com tensões de entrada muito mais elevadas, tensões de saída compatíveis com a rede local, apresenta uma alta eficiência operacional e caracteriza-se pela presença de uma proteção anti-ilhamento, somente libera corrente elétrica na saída quando na presença de tensão da rede elétrica de onde sai o sinal para seu sincronismo interno. Caso esta falte por qualquer motivo o inversor também anula sua saída.

2.5 Quadro de Distribuição de Cargas (QDC)

Distribui a energia transportada pelo alimentador em Circuitos Parciais. Normalmente é localizada próximo ao centro de concentração de carga. O medidor para se saber o consumo de energia do cliente é conectado ao QDC.

2.6 Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS)

Tem a função de evitar qualquer tipo de dano, descarregando para a terra os pulsos de alta-tensão causados pelos raios, essas descargas são frequentes nas redes de distribuição dependendo da intensidade pode comprometer todo sistema causando danos financeiros e riscos de acidente.

Figura 9 - Esquema Dispositivos contra Surto (DPS).



Fonte: Portal Solar (2017).

2.7 Medidor Bidirecional

Dispositivo cuja função é medir a energia ativa injetada na rede e a energia ativa consumida da rede, no ato da regularização do sistema junto a concessionaria o medidor unidirecional será substituído pelo bidirecional em Minas Gerais esse serviço fica a cargo da operadora concessionaria de energia elétrica, conforme Figura 10.

Figura 10 - Medidor De Energia Elétrica Bidirecional.



Fonte: Portal Solar (2017).

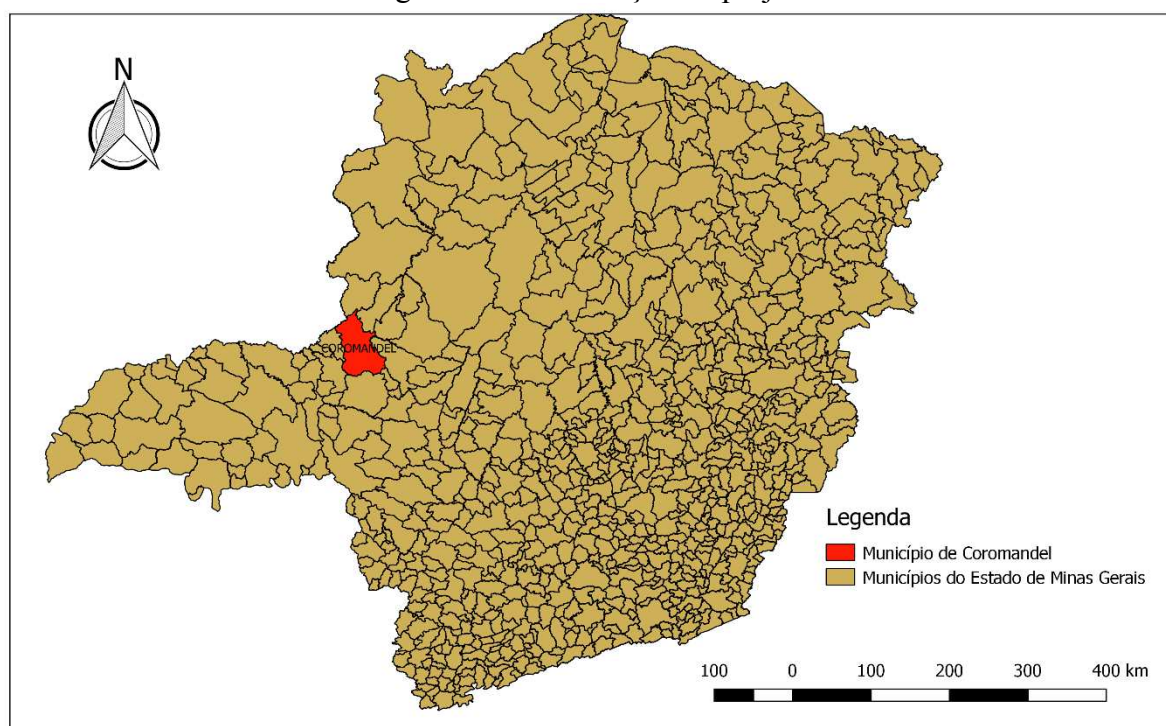
3 METODOLOGIA

Esse trabalho foi realizado a partir de pesquisa exploratória permitindo ao autor adquirir experiência acerca do assunto abordado e, descrevendo os passos necessários para implantação de um SFCR conforme descreve (SOUZA, 2012).

No método utilizado para pesquisa define-se uma visita no local da implantação para avaliar dados importantes de início de projeto. Nessa etapa são coletadas informações como tipologia da edificação, orientação quanto ao plano solar, inclinação do telhado, sombreamento por edificações vizinhas.

Alguns desses dados podem ser vistos diretamente por aplicativos ou sites, para implantação desse projeto foi escolhida uma residência na cidade de Coromandel - Minas Gerais, mostrada na figura 11.

Figura 11 - Localização do projeto.



Fonte: Google (2018).

Foi verificada também nesta etapa as condições do espaço físico para instalação dos módulos através de uma vistoria detalhada da estrutura bem como da iluminação, evitando o

sombreamento. A partir dos dados coletados, é possível medir a quantidade diária de sol pleno, medida em kWh/m² por dia, conforme Tabela 1.

Município: Coromandel, MG, BRASIL

Latitude: 18,301° S

Longitude: 47,149° O

Distância do ponto de ref. (18,28° S; 47,11° O): 4,7 km

Tabela 1 - Índice de irradiação mensal por m² Coromandel – MG.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,71	6,01	5,14	5,06	4,69	4,43	4,76	5,66	5,68	5,77	5,46	5,75	5,34	1,58
Ângulo igual a latitude	18° N	5,24	5,75	5,22	5,55	5,55	5,46	5,80	6,49	5,96	5,63	5,07	5,22	5,58	1,42
Maior média anual	20° N	5,17	5,70	5,21	5,58	5,62	5,55	5,89	6,55	5,97	5,59	5,01	5,14	5,58	1,54
Maior mínimo mensal	13° N	5,40	5,87	5,24	5,46	5,35	5,22	5,55	6,31	5,93	5,71	5,21	5,40	5,55	1,1

Fonte: Crescesb (2018).

O estudo tem por objetivo mostrar a viabilidade de implantação do SFVCR, para pequenos consumidores residenciais, levando em consideração os valores de tarifas praticados pela concessionária local, CEMIG. Para acesso a esses dados é disponibilizada ao projetista a fatura de energia do cliente.

Equação 1: Média de consumo mensal.

$$\Sigma = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Σ = Média

$X_1 + X_2 + \dots + X_n$ = Soma do consumo mensal

n = Número de meses

Equação 2: Dimensionamento do sistema fotovoltaico

$$N^{\circ} \text{ de paineis} = \frac{\text{consumo kwh/mês}}{P \text{ kwp} \times H/\text{dia} \times C \times D} = x \text{ paineis}$$

P = Potência do módulo kwp.

H = horas sol pleno por dia.

C = coeficiente de eficiência.

D = dias de utilização por mês.

Na fatura que consta na Figura 12, são apresentados dados como o valor, a taxa de distribuição e iluminação pública, onde são cobradas toda energia utilizada ou dissipada na rede, além de alguns dados importantes como endereço, número da instalação, consumo mensal, tipo de instalação, valores esses de suma importância para os cálculos de projeto.

Figura 12 - Fatura CEMIG.

Nº DO CLIENTE		Nº DA INSTALAÇÃO	
Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R\$)	
MAI/2018	08/06/2018	157,29	

2ª VIA - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA

Classe	Subclasse	Modalidade Tarifária	Datas de Leitura		Data de Emissão
Residencial Bifásico	Residencial	Convencional B1	Anterior	Atual	Próxima
			16/04	16/05	14/06

Tipo de Medição	Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Energia kWh	AEP667001544	86.040	86.222	1	182

Informações Gerais		Valores Faturados			
Tarifa vigente conforme Res Anel 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 instâncias. 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		Descrição Energia Elétrica kWh Encargos/Cobranças Variação do IGPM: R\$130,94 Contrib Ilum Pública Municipal Multa 2% conta de 04/2018 sobre R\$ 155,31 Juros mora 1%am: 7 dia(s) sobre R\$130,64 Tarifas Aplicadas (sem impostos) Energia Elétrica kWh Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar Bandeira Amarela	Quantidade 182 0,30 16,90 3,11 0,30 0,49947333 1,44	Tarifa/Preço (R\$) 0,75165287 0,30 16,90 3,11 0,30 0,49947333 1,44	Valor (R\$) 136,78 0,30 16,90 3,11 0,30 0,49947333 1,44

ABR/2018 Band. Verde - MAI/2018 Band. Amarela

NOTIFICAÇÃO DE DÉBITOS
Até 16/05/2018 constava(m) o(s) seguinte(s) débito(s) vencido(s):

Mês/Ano	Valor (R\$)	Débitos que sujeitam ao corte:
Mês/Ano	Valor (R\$)	Prev. Conte
04/2018	174,22	30/05/2018

A religação estará condicionada à inexistência de débitos vencidos na unidade consumidora.

MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/dia	Dias
MAI/18	182	6,06	30
ABR/18	199	6,21	32
MAR/18	167	6,18	27
FEV/18	186	6,00	31
JAN/18	174	5,43	32
DEZ/17	155	5,53	28
NOV/17	177	5,70	31
OUT/17	166	5,72	29
SET/17	209	6,53	32
AGO/17	197	6,35	31
JUL/17	191	6,16	31
JUN/17	181	5,83	31
MAY/17	170	5,66	29

Reservado ao Fisco SEM VALOR FISCAL

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

Outros dados CEMIG: 0800 728 3038 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis

Fonte: CEMIG (2018)

3.1 Cálculo da potência instalada

Para cálculo da potência a ser instalada, leva-se em consideração a classe e tipo da instalação, com base no critério da operadora CEMIG, nesse caso será residencial bifásico atendendo os requisitos da Tabela 2.

Com base nos dados da fatura serão realizados os cálculos para dimensionar o SFVCR, onde será definido a quantidade de módulos e a potência do inversor, o resultado da pesquisa será demonstrado quantitativamente através da comparação dos valores gastos na implantação do sistema, em relação a valores gastos com as faturas de energia elétrica da concessionária ao longo do período de vida útil do SFVCR.

Tabela 2 - Taxa de disponibilidade da CEMIG.

TENSÃO	TAXA DE DISPONIBILIDADE	VALOR
MONOFÁSICA	30 KWh/mês	
BIFÁSICA	50 KWh/mês X VALOR 0,75 por KW	37,50
TRIFÁSICA	100 KWh/mês	

Fonte: Adaptado CEMIG (2018).

O cálculo da potência instalada equação 1, é feito somando os consumos mensais dividido por número de meses, e extraído a taxa de disponibilidade como na Tabela 3.

Tabela 3 - Média para Cálculo da Potência Instalada.

HISTÓRICO DE CONSUMO	
MÊS/ANO	CONSUMO kWh
MAI/18	182
ABR/18	199
MAR/18	167
FEV/18	186
JAN/18	174
DEZ/17	155
NOV/17	177
OUT/17	166
SET/17	209
AGO/17	197
JUL/17	191
JUN/17	181
MAI/17	170
MÉDIA	196

Fonte: Autor (2018).

Portanto, terá uma média de 196 KWh/Mês menos a taxa de disponibilidade de 50KWh/mês o que resultará em 146 KWh/mês, a importância desse cálculo deve ser levada em consideração uma vez que o cliente queira produzir exatamente o que consome sem gerar créditos extras e sem ter que pagar além do valor estipulado para taxa de disponibilidade.

Ressalta-se que nesse cálculo não estão inclusas as taxas de iluminação e adicionais de bandeira, que varia conforme lei municipal do Plano Diretor e federal do adicionais de bandeira, mas no caso desse cliente especificamente, a taxa de iluminação pública e adicionais serão quase irrisórias pois o cliente que reduzir seus gastos com energia elétrica serão contemplados pela redução nos valores de acordo com a tabela 4, nas moradias com consumo de até 50 quilowatts/hora (KWh), o custo da taxa de iluminação será de R\$ 6,79, por mês.

Tabela 4 -Valores da taxa de iluminação pública.

CONSUMO MENSAL	VALOR MENSAL
0-50 KWh	R\$ 6,79
51-100 KWh	R\$ 10,87
101-200 KWh	R\$ 16,30
Acima de 201	R\$ 32,61

Fonte: Jornal de Coromandel (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cálculo do número de painéis

De acordo com a equação 2 calculamos o número de painéis:

$$N^{\circ} \text{ de paineis} = \frac{146 \text{ kwh/mês}}{0,280 \text{ kwp} \times 5,58\text{h/dia} \times 0,75 \times 30 \text{ dias}} = 4 \text{ paineis}$$

Nº de painéis = consumo mensal dividido pela potência total em kwp de cada módulo, multiplicado pelo fator de eficiência global de 0,75, multiplicado pelo fator de irradiação figura 13, em horas por dia, nesse índice usa-se o índice médio anual com inclinação do ângulo igual da latitude e multiplicando pelo número de dias utilizados.

Foi escolhido essa potência de cada modulo para um cálculo específico uma vez que módulos de maior ou menor potência poderá resultar em números quebrados tendo que aproximar esse número para mais ou para menos o que comprometeria a geração ou o orçamento.

4.2 Cálculos de potência do inversor

Foram considerados as faixas de potência, tensão e corrente para cálculo da instalação dos módulos, assim foi feito o mesmo para adotar o inversor, os inversores possuem uma faixa de potência e podem trabalhar seguramente até 30% acima da faixa de potência nominal, para esse projeto foi adotado 20% mantendo uma faixa de segurança e ao mesmo tempo economia de projeto.

Portanto, quatro painéis de 270 watts cada, resulta em 1.080watts, acrescidos 20%, temos um inversor de 1.2KWp, para maior economia e praticidade esse inversor pode ser substituído por micro inversores, isso eliminaria o sistema de proteção de CC uma vez que o dispositivo já conta com essa proteção.

Existem vários modelos com diversas potencias de operação no mercado, os mais comuns são: 250, 300, 500, 600, 1000, e 1200 W, para o sistema em questão usa-se o de 1200Wp devido ao valor, a maior vantagem em se usar esse dispositivo é a facilidade de instalação pois ele pode ser fixado junto aos painéis ocupando pouco espaço.

4.3 Cálculo do sistema de proteção

As *strings box* de proteção tanto para corrente continua, quanto para corrente alternada dimensionados a partir dos dados dos módulos e dos inversores, evitando assim folgas muito grandes visando economia no sistema, como será usado micro inversores as *strings box* serão desnecessárias.

4.4 Orçamento e economia gerada

Portanto o intuito do projeto é que esse cliente ao final do mês pague somente por R\$6,79 de iluminação pública mais R\$37,50 pela disponibilidade da rede de distribuição, totalizando R\$44,29 tendo uma economia mensal média de R\$102,71 ou seja estará economizando cerca de 70% do valor gasto com energia elétrica.

5 CONCLUSÃO

O sistema projetado para essa residência, obterá ótimos resultados, pois essa região possui um bom índice de irradiação solar, o que proporciona um alto aproveitamento energético dos módulos. Em comparação a valores praticados pela concessionária local, o cliente poderá ter o retorno do seu investimento em menos de cinco anos, não considerando reajustes de tarifa, acréscimo de bandeiras e queda nos valores dos equipamentos fotovoltaicos, se o cliente optar por adquirir somente energia da concessionária, ao final de vinte anos ele terá uma despesa maior que o dobro do valor investido no sistema de geração, ressaltando que nos últimos anos essas tarifas dobraram de valor em menos de cinco anos, o que automaticamente dobraria o valor economizado.

Existem equipamentos de várias marcas disponíveis no mercado, porém para o orçamento desse projeto foi escolhido marcas pioneiras certificadas em qualidade e disponibilidade no mercado nacional. Foi demonstrado neste trabalho que mesmo em residências com baixo consumo de energia as instalações fotovoltaicas são viáveis, gerando economia de forma sustentável, proporcionando mais conforto ao usuário e ainda colaborando com o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVAY, **Muito além da economia verde e Lixo zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera.** 2 ed. São Paulo. Planeta Sustentável. 2012 e 2013.

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA RENOVAVEL. **Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for solar PV, International Renewable Energy Agency.** Abu Dhabi. 2017. Disponível em: <http://www.irena.org/newsroom/pressreleases/>-

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica no Brasil.** Brasil, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Norma Técnica.** Resolução Normativa nº 482/2012, Brasília, Brasil, Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao3>> Acesso em: 17 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da Geração Distribuída de eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório.** São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2009.

COMETTA, E. **Utilização empregos práticos.** São Paulo: Hemus, 2004. Disponível em: <http://biblioteca.aneel.gov.br/index.asp?codigo_sophia=14629>. Acesso em: 5 set. 2018.

COMPANHIA ENERGÉTICA de MINAS GERAIS. **Mapa mineiro de irradiação.** Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/pagina/Geracao-Distribuida.aspx>. Acesso em: 20 maio 2018.

CRESCESB. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede on grid ou grid tie.** Disponível em: <http://www.crescesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf> . Acesso em: 07 jun. 2018.

DUTRA, R.M. **Energia Solar Fotovoltaica.** Rio de Janeiro: Cepel, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/entidades-vinculadas-e-afins/epe>>. Acesso em: 06 maio 2018.

FERREIRA, M. J. G. **Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil.** São Paulo Dissertação (Mestre em energia) -Universidade de São Paulo, 1993.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil Estudos avançados.** 21. São Paulo. Dossiê Energia USP.2007. <Disponível em: www.revistas.usp.br/eav/article/view/10203/11796>. Acesso em: 12 maio 2018.

GUIMARÃES, A. P. C., **Estimativa de Parâmetros da Camada Atmosférica para Cálculo da Irradiação Solar Incidente na Superfície Terrestre.** Tese de D. Sc., Programa de Engenharia Mecânica/ COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro. 2003. INSTITUTO BRASILEIRO DE

GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 maio 2014.

GREENPRO ENERGIA FOTOVOLTAICA. **Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalações**. União Europeia: altener, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

IRENA-Welcomes-Brazils-ecision-to-Seek-Membership-of-the-Agency. 2018/Feb. Acesso em: 15 maio 2018.

JORNAL DE COROMANDEL. Coromandel. 1. ed., n. 137, 26 dez. 2017

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Estudo sobre o progresso no setor de energia**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-e-parceiros-lancam-estudo-sobre-progressos-no-setor-de-energia/>>. Acesso em: 06 abr. 2018

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. Edição Revisada e Atualizada Rio de Janeiro. Mar. 2014.

PORTAL SOLAR. **Inversores Grid Tie**. São Paulo, 2018. Disponível em: <[https://www.portalsolar.com.br/Inversores Grid Tie.html](https://www.portalsolar.com.br/Inversores_Grid_Tie.html)>. Acesso em: 20 abril. 2018.

PORTAL SOLAR. **Sistema fotovoltaico: como funciona**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Acesso em: 21 abril. 2018.

PORTAL SOLAR. **Tipos de módulos**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/modelos-de-placa-solar.html>>. Acesso em: 21 abril. 2018.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. **A outorga integrada das vazões de captação e diluição**. v.8, Porto Alegre, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: <<https://abrh.s3-sa-9c29ae1fe02112cdce53.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

SOLSIST. **Tipos de arranjos**. Belo Horizonte. Manual do Aluno. 2017.

SOUSA, S. Z. **Implicações da avaliação em larga escala no currículo**. Teoria e Prática, Rio Claro, dez. 2012.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.