

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE FINANCEIRA DE UMA USINA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL EM VARGINHA / MG

Filipe Paulo da Silva¹

Laisa Cristina Carvalho²

Hugo Vieira³

RESUMO

Este trabalho aborda o dimensionamento e a análise financeira de uma usina fotovoltaica residencial. O dimensionamento adequado é essencial para evitar custos desnecessários, tanto no caso de um sistema superdimensionado que exigirá mais equipamentos quanto para um que não atenda as necessidades energéticas dos empreendimentos, gerando assim custos de fornecimento de energia ao cliente. A análise de dados de suprimento e geração de energia, junto com avaliações de indicadores financeiros identificam a opção de menor custo-benefício entre gerar e comprar energia elétrica. A metodologia empregou uma abordagem de análise qualitativa combinada com elementos de análise quantitativa em um estudo de caso. O projeto ocorreu em uma residência em Varginha, bairro Residencial Belo Horizonte III, onde um sistema “*On grid*” (Sistema que fornece energia à rede pública) foi instalado. Este sistema quando não está gerando energia para a rede, trabalha de forma inversa, recebendo energia da rede da concessionária. A análise concluiu que a usina fotovoltaica apresenta vantagens econômicas e sustentáveis, gerando energia de forma limpa e ambientalmente amigável. O dimensionamento e o custo de implantação de uma usina fotovoltaica foram calculados, mostrando um tempo de retorno de investimento de cerca de 5 anos para este projeto. A tendência global em direção a fontes de energia limpa e a crescente demanda por essas soluções indicam um futuro promissor para a indústria fotovoltaica. Analisar o investimento em usinas residenciais é valioso, já que, apesar dos custos iniciais, elas têm potencial para retornar o investimento em curto prazo.

Palavras-chave: Usina fotovoltaica. Energia limpa. Economia. Viabilidade. Sistema on grid.

¹ Acadêmico de Graduação do curso de Engenharia Civil - Unis E-mail: filipe.paulosilvaa@alunos.unis.edu.br

² Ms. Engenharia Civil, Professora e coordenadora do curso de Engenharia Civil Laisa Cristina Carvalho - Unis E-mail: laisa.carvalho@professor.unis.edu.br

³ Ms. Engenharia Elétrica, Professor do curso de Engenharia Civil Hugo Rodrigues Vieira - Unis E-mail: hugo.vieira@professor.unis.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Como os impactos ambientais aumentaram, a busca por alternativas de geração de energia por meio de fontes renováveis ganhou ímpeto, visando minimizar esses problemas. À medida que o consumo energético cresceu, as fontes associadas a recursos finitos, como combustíveis fósseis e hidrelétricas, geraram questionamentos devido à sua relação com a poluição e danos ambientais. Com o decorrer dos anos, a demanda por fontes de energia limpa, que não impactem negativamente o meio ambiente, experimentou um notável aumento. Atualmente, a geração de energia no Brasil por hidrelétrica, ainda é a maior, com 50,8%, porém produzida por energia fotovoltaica está em segundo, com 14,8%. É importante notar que algumas fontes de geração de energia ainda são supridas por fontes esgotáveis, como petróleo e carvão mineral, gás natural e a energia nuclear (ANEEL/ABSOLAR, 2023).

Ainda no cenário brasileiro, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as residências emergiram como os maiores consumidores de energia, responsáveis pelo maior consumo total, especialmente nos centros urbanos, 85,5%, seguido de 6,7% comercial, 5,1% rural e 1,8% demais classes. Esse consumo apresentava variações extremas e fatores relacionados à demanda de energia elétrica, refletindo em padrões de utilização flutuantes (EPE, 2022).

A produção de energia própria ganhou destaque, especialmente em residências remotas, onde as redes elétricas convencionais não eram facilmente acessíveis. Os sistemas de energia solar fotovoltaica, que captavam a luz solar e a convertem em energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos, tornaram-se populares. Para tornar essa energia compatível com a rede elétrica convencional, inversores eram utilizados para converter a corrente contínua em corrente alternada (SANTOS; LUCENA, 2020).

Diante do aumento de impostos e das tarifas de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos se tornaram mais atrativos para as residências, oferecendo retornos financeiros mais favoráveis e uma produção simplificada. O impacto ambiental das matrizes energéticas poluentes havia sido uma preocupação de longa data, levando a discussões sobre a geração consciente de energia sem causar danos ao meio ambiente. A produção de energia domiciliar e o estabelecimento de usinas particulares ganharam atenção, suscitando questionamentos sobre os benefícios financeiros comparativos entre a autogeração e a compra de energia (SANTOS; LUCENA, 2020; VIANA et al., 2022).

As constantes modificações nas tarifas de distribuição de energia elétrica em todo o país, combinadas com a insatisfação em relação à qualidade dos serviços prestados pelas

concessionárias, estimularam a busca por alternativas de compensação de consumo energético. Já não era novidade que o consumo de energia deveria levar em conta os impactos ambientais causados por sistemas invasivos que esgotam recursos naturais e prejudicam o ambiente. A geração de energia solar, destacada por sua limpeza e eficiência, ganhou popularidade como uma alternativa ambientalmente saudável (ROSA; GASPARIN, 2016).

O Brasil, com vastas riquezas naturais, oferece um terreno fértil para a captação de energia solar, especialmente nas regiões norte e nordeste do país. Nessas áreas, a intensidade da radiação solar ao longo do dia oferece condições ideais para a implantação de usinas solares.

Diante desse contexto, este projeto foi implementado na cidade de Varginha e tem como objetivo demonstrar a viabilidade do sistema fotovoltaico, abordando uma análise técnica e financeira com o intuito mostrar os benefícios de possuir um sistema em comparação à compra tradicional de energia.

A análise de dados de suprimento e geração de energia, juntamente com a avaliação de índices financeiros, permitem identificar a opção de melhor custo-benefício entre gerar ou adquirir energia elétrica.

2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Energia solar fotovoltaica é a energia produzida a partir da luz do sol e quanto maior a irradiação solar, maior será a energia gerada. Caracteriza-se por ser uma energia limpa, renovável e sustentável e que contribui com o meio ambiente, com a sociedade e a economia em termos gerais. Atualmente virou tendência em todo mundo por apresentar vantagens e por ter sofrido uma evolução em termos técnicos e tecnológicos de alguns anos para cá (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Nas mais recentes pesquisas conduzidas no Brasil, embora a energia oriunda de hidrelétricas ainda se mantenha como líder, é notável que a energia solar registrou um substancial aumento, colocando-se em segundo lugar, conforme apresentado na Figura 1. Esse avanço significativo da energia solar merece destaque, reforçando a crescente relevância dessa fonte no panorama energético nacional. (ANEEL/ABSOLAR, 2023).

Figura 1 – Geração de energia do Brasil.



Fonte: (ANEEL/ABSOLAR, 2023).

Essa porcentagem em crescimento da energia solar fotovoltaica reflete a crescente conscientização sobre a importância das fontes renováveis e sustentáveis. Portanto, essa ascensão da energia solar fotovoltaica como uma parcela significativa da matriz energética é um indicador positivo das mudanças em curso em direção a um sistema energético mais resiliente e ecologicamente equilibrado.

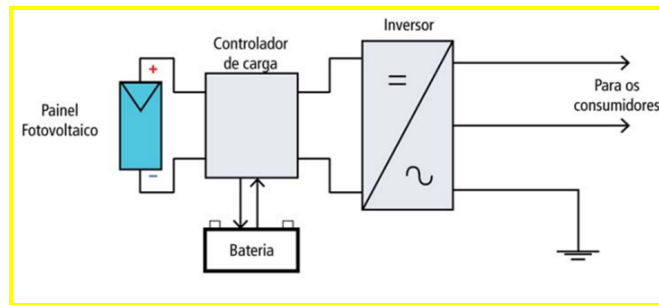
2.1 Sistemas de geração de energia

Quando se trata do assunto radiação solar na superfície terrestre, conhecer sua intensidade e sua radiação é de suma importância. A radiação solar que atinge a atmosfera superior é refletida, espalhada e absorvida em seu caminho para a Terra devido a flutuações climáticas. O somatório das componentes diretas, difusa e refletida é igualmente a radiação solar total do objeto. É comumente reconhecida como radiação direta aquela oriunda diretamente do sol e que não sofre nenhuma mudança de direção ou percurso a não ser interferências por gases atmosféricos. A radiação difusa é a radiação recebida pelo corpo depois que os raios solares mudam de direção devido à reflexão ou difusão na atmosfera. A radiação refletida depende das propriedades do solo e da inclinação do equipamento (BERTICELLI, 2017).

Existem diversos tipos de sistemas de geração de energia solar residencial, alguns se caracterizam por serem ou não ligados a rede de distribuição da concessionária, como os sistemas *Off grid* e *On grid*:

O sistema *Off grid*, apresentado na Figura 2, não é ligado a rede de distribuição, é conhecido por ser um modelo autossuficiente na geração de energia. Nesse mecanismo, por não receber energia elétrica de outras fontes a não ser a fonte de geração, faz-se necessário o uso de banco de baterias, que por sua vez serão as responsáveis pelo armazenamento da energia gerada para serem utilizadas posteriormente em momentos que não haja geração pela usina.

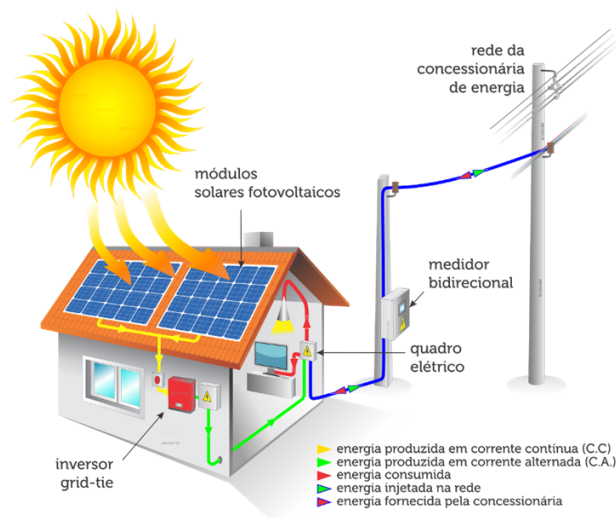
Figura 2 – Rede *Off Grid*.



Fonte: (LAMBERTS et al., 2010).

Já o modelo *On grid*, apresentado na Figura 3, é ligado a rede e por este fato não se faz necessário a utilização de baterias, cuja demanda em momentos que a usina não gerar energia será suprida pelo fornecimento energético da concessionária (BERTICELLI, 2017).

Figura 3 – Rede *On Grid*.



Fonte: (BEN, 2022).

O território brasileiro é uma área com grande índice de exposição ao sol, principalmente no nordeste brasileiro, onde são encontrados os melhores índices de incidência solar, com valores entre 200 a 260 W/m² de potência sem interrupções que representam basicamente 1.752 kWh/m² por um período de um ano de irradiação incidente. Isto coloca o local entre as regiões do mundo com maior potencial de energia solar (BAPTISTA; SANTOS, 2010).

Assim, como forma de incentivo a geração de energia solar residencial, o governo publicou uma resolução normativa em 2012 definindo que a energia ativa injetada por unidade com microgeração ou minigeração é cedida à distribuidora energética local e posteriormente compensada como forma de crédito para o titular da residência (ANEEL, N° 482/2012). Ou seja, no sistema *On grid* o produtor consegue se beneficiar, através de créditos, por sua energia excedente gerada pela usina residencial.

A energia fotovoltaica gerada durante o dia, empregando o mesmo processo do modelo *On grid*, é usada para alimentar a residência e o excedente é injetado na rede, convertendo-se em crédito para o proprietário do projeto. Durante a noite, quando não há geração, a energia é suprida pela concessionária, gerando um débito. Ao final do mês, um equilíbrio é calculado com base no que foi gerado e consumido, e eventuais diferenças são acertadas. Esse crédito pode ser usado ao longo de 60 meses (ANEEL, N°482/2012).

Ao projetar um sistema de energia solar, é necessário estimar a quantidade de energia captável no local desejado. Para isso, são empregadas estações totais métricas para coleta de dados, bem como índices de radiação solar global e médias mensais, informações cruciais para a análise de regiões com potencial aproveitamento. Esses dados permitem criar um modelo temporal que possibilita uma estimativa mais realista do desempenho dos dispositivos solares, ao considerar a flutuação da radiação recebida em períodos coincidentes com o tempo de operação dos dispositivos (BAJAY et al, 2018).

2.2 Elementos do sistema: Células e Inversores fotovoltaicos

As células fotovoltaicas são o componente principal da geração de energia fotovoltaica. É composto por um dispositivo semicondutor, único, otimizado para captar fótons e gerar energia elétrica. As células fotovoltaicas mais utilizadas têm a capacidade de produzir uma corrente de cerca de 31 mA em sua potência máxima. Essas células podem ser

conectadas em série ou em paralelo, o que resultará em diferentes valores de tensão, corrente e potência, de acordo com a necessidade (BAJAY et al, 2018).

O processo de transformação da energia solar em energia elétrica ocorre dentro dos módulos solares. Os processos ocorrem por meio de reações químicas de silício no interior das células que compõem o painel gerador. A irradiação solar é fator determinante no processo, não podendo apresentar resultados semelhantes em momentos faltosos (BAPTISTA; SANTOS, 2010).

O inversor desempenha um papel fundamental na conversão da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos. Sua principal função é transformar a corrente contínua produzida pelos painéis solares em corrente alternada, tornando-a adequada para ser conectada à rede elétrica ou usada diretamente em residências e empresas (DESCHAMPS, 2018).

Entretanto, há sistemas microgeradores onde são dispensados o uso de inversor, porém a energia gerada é utilizada através do controlador de carga e só pode ser aproveitada no momento em que ocorre a reação química nas células fotovoltaicas, não funcionando nos momentos em que não há incidência de raios solares.

Existem três categorias principais de inversores on-grid, cada uma adequada para diferentes aplicações.

Os inversores centrais, projetados para sistemas de grande escala, como usinas fotovoltaicas de grande porte, têm a capacidade de suportar uma grande quantidade de potência e são ideais para instalações comerciais ou industriais de grande porte, onde a geração de energia solar é significativa.

Os inversores string, comumente empregados em projetos de menor escala, como sistemas residenciais e comerciais de pequeno a médio porte. Eles são populares no mercado de geração de energia solar devido à sua eficiência e flexibilidade para se adaptar a diferentes configurações de painéis solares (ALÍPIO; MAZZUCO, 2021).

Já os microinversores, operam em uma escala ainda menor, conectando-se a um número reduzido de módulos solares individualmente. São ideais para instalações menores, como residências ou pequenos negócios, e oferecem benefícios, como monitoramento individualizado e otimização da produção de energia (ALÍPIO; MAZZUCO, 2021).

Cada tipo de inversor tem suas vantagens e desvantagens, dependendo das necessidades específicas do projeto. A escolha do inversor apropriado depende do tamanho do sistema, da configuração dos painéis solares e dos objetivos de geração de energia. É

importante selecionar o inversor certo para maximizar a eficiência e o desempenho do sistema fotovoltaico (SANTOS; LIMA, 2022).

A instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil é governada por um conjunto abrangente de normas e regulamentos para garantir a segurança, eficiência e conformidade desses sistemas. Algumas das principais normas que orientam a instalação de sistemas fotovoltaicos incluem a ABNT NBR 16690 de 2019, que trata das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, estabelecendo requisitos cruciais para o projeto e a implementação desses sistemas, garantindo a segurança e a eficiência das operações. Além disso, a ABNT NBR 5410 de 2004 aborda as instalações elétricas de baixa tensão, fornecendo diretrizes essenciais para a instalação de sistemas fotovoltaicos, assegurando a compatibilidade elétrica com a rede.

Outras normas igualmente importantes para a instalação de sistemas fotovoltaicos incluem a ABNT NBR 5419, que lida com a proteção contra descargas atmosféricas, um aspecto crítico para garantir a integridade dos sistemas fotovoltaicos durante tempestades e relâmpagos, e a ABNT NBR 6123 de 1988, que estabelece critérios para dimensionar a resistência das estruturas contra as ações do vento, sendo essencial para a montagem segura dos painéis solares em telhados e estruturas.

Além disso, a ABNT NBR 16274 de 2014 é dedicada aos sistemas fotovoltaicos ligados à rede, definindo requisitos técnicos para a conexão segura desses sistemas à rede elétrica pública. A ABNT NBR 16612 de 2020 aborda os cabos de potência usados em sistemas fotovoltaicos, garantindo a escolha adequada e a instalação correta dos cabos para minimizar perdas e garantir a eficiência do sistema. Por fim, a ABNT NBR IEC 60898 de 2004 estabelece critérios para os disjuntores usados na proteção contra sobrecorrentes em instalações domésticas e similares, o que é fundamental para garantir a segurança elétrica do sistema fotovoltaico. O cumprimento rigoroso dessas normas é essencial para assegurar que os sistemas fotovoltaicos sejam projetados, instalados e operados de maneira segura, confiável e eficiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi realizado em uma residência na cidade de Varginha no estado de Minas Gerais, no bairro Residencial Belo Horizonte III (Figura 4).

Figura 4 – Localização residencial da implantação do projeto.



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

O estudo de caso é um projeto solar para residência unifamiliar fixado numa área de 17m² num telhado de zinco, composto por módulos solares mono e microinversores Hoymiles Hms, com monitoramento via wi-fi, contendo itens gerais para instalação como conectores, cabos e suportes, componentes de conexão corrente alternada, o projeto solar e seguro para risco de engenharia. Foi feita a consultoria junto à concessionária local (Cemig), onde é preenchido um formulário com os dados do consumidor-cliente e sua necessidade de consumo, realizando a emissão da anotação de responsabilidade técnica (ART) e apresentado todos os projetos para sua aprovação.

O proprietário dessa residência tem uma demanda de 300 kWh/mês e ainda possui outra residência com a demanda de 300 kWh/mês, em que deseja suprir o consumo também com esse mesmo projeto. Para isso, foi conduzido um estudo de caso que empregou uma abordagem de análise qualitativa, combinada com elementos de análise quantitativa. Neste

estudo, foram coletadas as quantidades de consumo de 600 kWh/mês, analisando histórico de consumo energético das residências, permitindo uma compreensão profunda do cenário em questão. Além disso, os resultados de consumo energético, investimento de implantação da usina e retorno financeiro foram traduzidos em valores numéricos, possibilitando uma representação quantitativa dos resultados.

O cálculo do consumo energético necessário para este projeto, onde o telhado de uma residência irá gerar fornecimento para duas casas, foi desenvolvido levando em consideração todos os aparelhos eletrônicos existentes em uma residência e seus respectivos tempos de utilização, assim, sendo possível dimensionamento da área de captação de atuação da usina, de acordo com o consumo mensal da residência. Além da utilização do documento fornecido pela concessionária CEMIG, que é a responsável pela distribuição de energia elétrica no estado de Minas Gerais, onde realizou-se a obtenção dos dados de consumo que também auxiliam no dimensionamento da usina, está por sua vez tem como finalidade suprir a demanda residencial.

Levando em consideração uma irradiação solar de 5,00 W/m², da cidade de Varginha, Minas Gerais, parâmetros cronológicos de aproximadamente 30 dias e taxa de eficiência dos módulos de geração em torno de 80%, a Equação 1 demonstra a obtenção de energia da produção média da usina em estudo.

$$E_p = C / (I \times T \times E) \quad (1)$$

Onde:

E_p = Energia de produção kWh;

C = Consumo médio mensal kWh;

I = Irradiação Varginha;

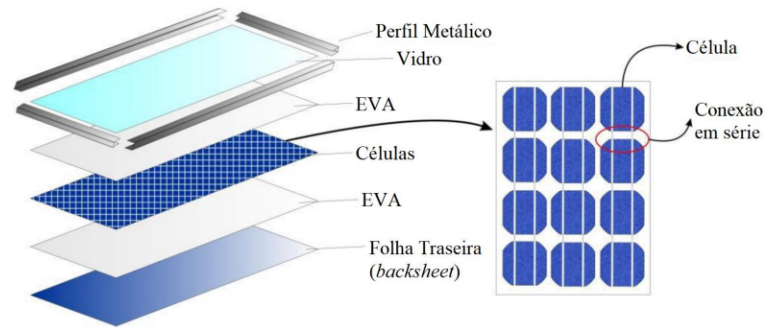
T = Período;

E = Eficiência dos módulos.

Fizeram parte do sistema, as placas fotovoltaicas que foram as responsáveis por transformar a energia solar em energia elétrica através das suas células, essas que por sua vez foram palcos das reações químicas que acarretaram na geração da energia com a participação de elementos químicos como o silício ou incidência na cidade de outro material semicondutor.

No que se refere à organização, as placas foram dispostas em 3 grupos interligados entre si em modo paralelo, onde 2 dos grupos foram compostos por 4 módulos solares associados em série, enquanto o terceiro grupo foi formado por apenas 2 unidades também associadas em série, conforme demonstrado no exemplo da Figura 5.

Figura 5 – Esquema de montagem do módulo.



Fonte: (MACHADO; MIRANDA, 2015).

O cálculo da quantidade dos módulos com a incidência solar na cidade de 5 kWh/m², com perda de 20% está apresentado na Equação 2. E o cálculo do Inversor com Overload de 13% na Equação 3.

$$1 \text{ Módulo gera} = [\text{CMGE} \times 5 \times (1 - 0,20)] = \text{kWh/mês} \quad (2)$$

Onde:

CMGE = Capacidade do módulo de geração de energia.

$$\text{Quantidade Inversor Overload} = \text{QM} \times \text{CMGE} = \text{W} \quad (3)$$

Onde:

QM = Quantidade de módulo;

CMGE = Capacidade do módulo de geração de energia.

Após todo o dimensionamento do projeto, o valor total de investimento para realização da usina residencial, apresentado na tabela 1, foi realizado com base nos componentes de captação de energia, componentes de transformação de energia e elementos de condução.

Tabela 1 – Orçamento de investimento em usina residencial.

Produto kit solar completo	Status
10 módulos fotovoltaicos JA Solar 540W Mono 3 micro inversores Hoymiles HMS-1800W Monitoramento wi-fi Itens gerais para instalação (cabos, conectores e suportes)	R\$ 16.790,00
Seguro solar risco engenharia, projeto e instalação	Incluso
Frete	Incluso
Instalação e comissionamento do sistema 5,40 kWp	R\$ 3.500,00
Elaboração de projeto/consultoria ao acesso junto à CEMIG + impostos	Incluso
Componentes de conexão C.A	R\$ 500,00
TOTAL SFCR	R\$ 20.790,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Por fim, foi analisada a viabilidade econômica e o payback da implementação de um sistema *On grid* (ligada à rede), que envolve uma análise abrangente que considera vários fatores interligados. Este inclui a quantidade de energia gerada por um sistema, o custo atual do kWh, a taxa que o cliente está pagando por essa energia, a quantidade de energia efetivamente produzida pelo sistema e o período de tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 demonstra o consumo definido para cada eletrodoméstico e eletroeletrônicos utilizados em uma das residências e seus respectivos consumos em kWh/mês. O dimensionamento foi realizado considerando situações climáticas adversas e com um número maior de pessoas na residência, tendo assim uma margem de segurança no cálculo.

Tabela 2 – Equipamentos e consumo em kWh.


Equipamentos	Consumo atual em kWh/mês
Chuveiro elétrico	11
Ar Condicionado	78
Geladeira	23,7
TV	19,8
Computadores	34,5
Máquina de Lavar	5
Iluminação	144
Total	316

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

O uso final da energia elétrica em edificações divide-se basicamente em iluminação, condicionamento de ar e outros equipamentos (conectados a tomadas). Alguns equipamentos necessitam de fornecimento de energia 24 horas, outros são equipamentos consumidores de energias momentâneas.

A figura 6 apresenta os dados das contas retroativas de energia elétrica da família nas duas residências ao qual o dimensionamento deve atender.

Figura 6 – Conta de energia elétrica retroativa.



DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA
 CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / INSC. ESTADUAL 062.322136.0087.
 AV. BARBACENA, 1200 - 17º ANDAR - ALA 1 - BAIRRO SANTO AGOSTINHO
 CEP: 30190-131 - BELO HORIZONTE - MG.

TARIFA SOCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA - TSEE FOI CRIADA PELA LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002

SEGUNDA VIA

REGIMARA PASSOS MOREIRA PIMENTA
 RUA JOAO DE DEUS 235 CS
 RESIDENCIAL BELO HORIZONTE III
 37031-270 VARGINHA, MG
 CPF 058.6**.***.***

Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R\$)
JUL/2023	22/08/2023	68,55

NOTA FISCAL Nº 057395583 - SÉRIE 000
 Data de emissão: 28/07/2023
 Consulte pela chave de acesso em:
<http://www.sped.fazenda.mg.gov.br/spedmg/nf3e>
 chave de acesso:
 31230706981180000116660000573955831029359809
 Protocolo de autorização: 1312300064395403
 29.07.2023 às 02:29:40

Classe Residencial Bifásico	Subclasse Residencial	Modalidade Tarifária Convencional B1	Anterior 29/06	Atual 28/07	Nº de dias 29	Próxima 30/08
-----------------------------------	--------------------------	---	-------------------	----------------	------------------	------------------

Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Valores Faturados		PIS/COFINS	Base Calc. ICMS	Aliq. ICMS	ICMS	Tarifa Unit.
			Preço Unit	Valor (R\$)					
Energia Elétrica	kWh	50	0,95954601	47,96					0,74906000
Energia SCEE ISENTA	kWh	163	0,48733000	79,43					0,48733000
Energia compensada GD I	kWh	163	0,48733000	-79,43					0,48733000
Contrib Ilum Publica Municipal				20,59					
TOTAL				68,55					



DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA
 CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / INSC. ESTADUAL 062.322136.0087.
 AV. BARBACENA, 1200 - 17º ANDAR - ALA 1 - BAIRRO SANTO AGOSTINHO
 CEP: 30190-131 - BELO HORIZONTE - MG.

TARIFA SOCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA - TSEE FOI CRIADA PELA LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002

REIMPRESSÃO

REGIMARA PASSOS MOREIRA PIMENTA
 RUA PRESIDENTE KENNEDY 338 CS
 JARDIM BOM PASTOR
 37014-390 VARGINHA, MG
 CPF 058.6**.***.***

Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R\$)
AGO/2023	17/09/2023	101,98

NOTA FISCAL Nº 067652018 - SÉRIE 000
 Data de emissão: 01/09/2023
 Consulte pela chave de acesso em:
<http://www.sped.fazenda.mg.gov.br/spedmg/nf3e>
 chave de acesso:
 31230906981180000116660000676520181027139534
 Protocolo de autorização: 1312300075501353
 01.09.2023 às 21:33:49

Classe Residencial Monofásico	Subclasse Residencial	Modalidade Tarifária Convencional B1	Anterior 27/07	Atual 29/08	Nº de dias 33	Próxima 27/09
-------------------------------------	--------------------------	---	-------------------	----------------	------------------	------------------

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	Cons. kWh	Média kWh/Dia	Dias
JUL/23	213	7,34	29
JUN/23	207	6,90	30
MAI/23	174	5,27	33
ABR/23	144	4,96	29
MAR/23	172	5,37	32
FEV/23	154	5,13	30
JAN/23	130	4,33	30
DEZ/22	174	5,27	33
NOV/22	198	7,07	28
OUT/22	148	4,93	30
SET/22	124	3,87	32
AGO/22	108	3,60	30
JUL/22	92	3,17	29

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	Cons. kWh	Média kWh/Dia	Dias
AGO/23	212	6,42	33
JUL/23	182	6,27	29
JUN/23	187	6,23	30
MAI/23	211	6,39	33
ABR/23	169	5,82	29
MAR/23	200	6,25	32
FEV/23	170	5,66	30
JAN/23	305	7,62	40
DEZ/22	0	0,00	0
NOV/22	0	0,00	0
OUT/22	0	0,00	0
SET/22	0	0,00	0
AGO/22	0	0,00	0

Fonte: (CEMIG, 2023).

Com o auxílio de contas de energia elétrica retroativa, pode-se observar que o consumo de energia média da residência está aumentando, com variações de um mínimo de 108 e máxima de 305 kWh, sendo em Julho um valor de 213 e 212 kWh por mês, dado bem próximo do valor encontrado no método dos somatórios de consumos por equipamentos elétricos. Como exemplificado na Tabela 1, o consumo total da residência em estudo é de 316 kWh, valor encontrado após a investigação de consumo energético de cada componente.

Como para as duas residências o consumo é de aproximadamente 300 kWh por mês, e verificando o aumento de consumo ao longo dos meses, ou seja, para a usina a ser desenvolvida produzir uma maior quantidade de energia, e suprir as duas residências, foi estimado, um valor de demanda energética de 600 kWh.

Na Figura 6, também é possível observar a quantidade de energia consumida pelas residências no mês referente 50 e 86 kWh, seu valor identificado como preço unitário no documento que exhibe a quantia de R\$0,7490 por kWh de energia elétrica consumida. Cada projeto carrega sua particularidade e o dimensionamento do mesmo é realizado de acordo com o consumo de cada implementação, para que o projeto não apresente erros de fornecimento, faltando ou extrapolando o fornecimento de energia.

Assim, utilizando a Equação 1 e levando em consideração uma irradiação solar de 5,00 W/m², da cidade de Varginha, Minas Gerais, parâmetros cronológicos de aproximadamente 30 dias e taxa de eficiência dos módulos de geração em torno de 80%, o valor de energia da produção média da usina em estudo é de 5,40 kWh.

$$E_p = 600 / (5 \times 30 \times 0,8)$$

$$E_p = 5,40 \text{ kWh}$$

Além disso, foram utilizados 10 módulos fotovoltaicos agrupados em série, distribuídos em 17 m² de área fixada acima do telhado das casas orientadas ao leste. Por meio da reação química a energia elétrica foi produzida nos módulos, em seguida, a corrente contínua gerada nos painéis solares foi convertida em corrente alternada pelo equipamento inversor. Após ser transformada em corrente alternada, a energia foi distribuída em toda a rede elétrica das casas e estava apta para usos domésticos residenciais.

O cálculo da quantidade dos módulos para 540W, sendo esse valor considerado nas condições ideais, podendo haver alterações em dias chuvosos e condições climáticas, sendo a

incidência solar na cidade de 5 Kwh/m² com perda de 20% foi realizado conforme apresentado na Equação 2.

1 Módulo gera $[540 \times 5 \times (1 - 0,20)] = 2,160$ kWh por dia

1 Módulo gera por mês $2,160 \times 30 = 64,8$ kWh/mês

10 Módulos geram por mês $10 \times 64,8=648$ kWh/mês

Já o cálculo do Inversor com Overload de 13% foi realizado conforme Equação 3.

Quantidade de módulos = $10 \times 540 = 5400/3 = 1800$

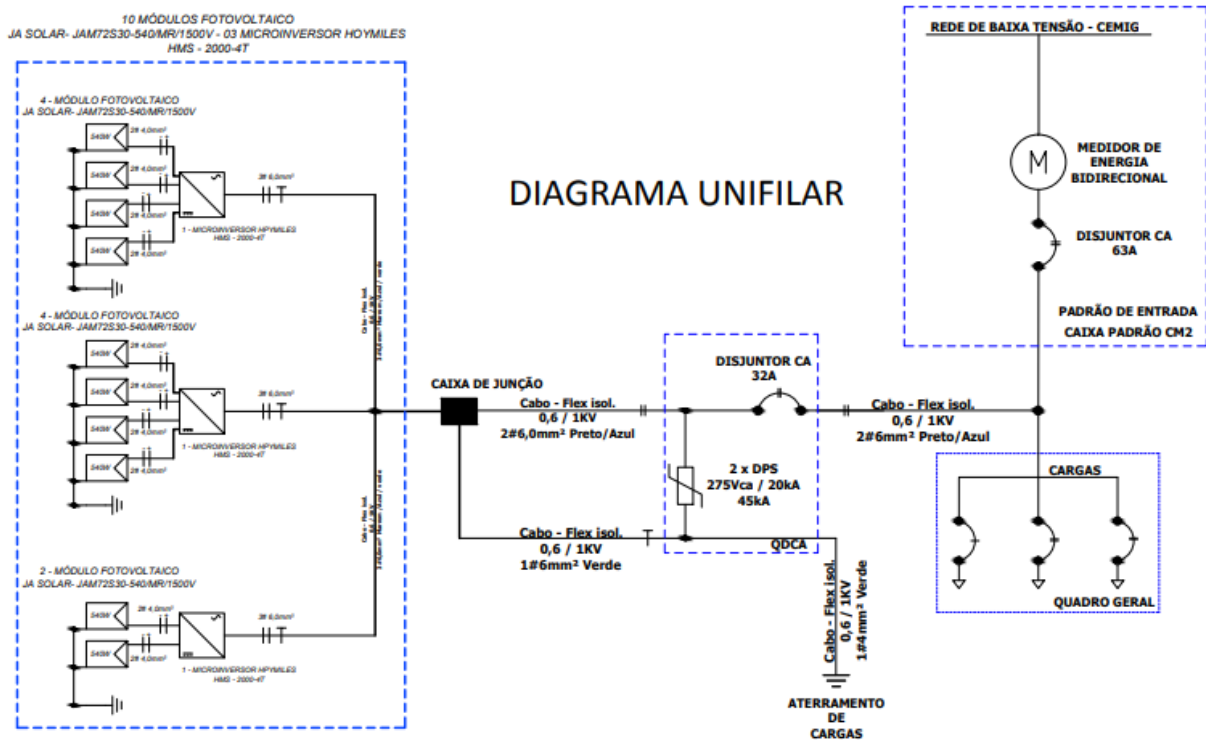
Sendo assim utilizado 3 inversores com 1800 W cada

Como se tratava de um sistema *On grid*, que foi ligado na rede da concessionária, à noite ou em dias nublados, quando não havia geração de energia pelas placas, a concessionária era a responsável por suprir o consumo energético residencial. Em casos em que a geração de energia pelos módulos fotovoltaicos ultrapassava o consumo de energia elétrica da residência de dia ou durante a noite, ou em dias nublados, esse valor poderia ser transformado em crédito na concessionária responsável pelo fornecimento.

Toda geração de energia elétrica da residência em análise foi composta por 10 módulos que somaram um total de 17 m² de área de incidência solar. Os 10 módulos de conversão de energia, que estavam fixados no telhado orientados para a direção norte, onde sofreram maior incidência solar durante o dia, foram suficientes para suprir as necessidades de consumo da residência, que se tratava de uma acomodação unifamiliar.

A figura 7 é a representação do projeto do diagrama unifilar do projeto que foi instalado. Nele pôde-se observar os 10 módulos, suas associações e o método de distribuição conciliado com a rede. O diagrama também expressou características específicas do projeto e como funcionou o sistema *On grid*.

Figura 7 – Módulo de geração esquematizado.



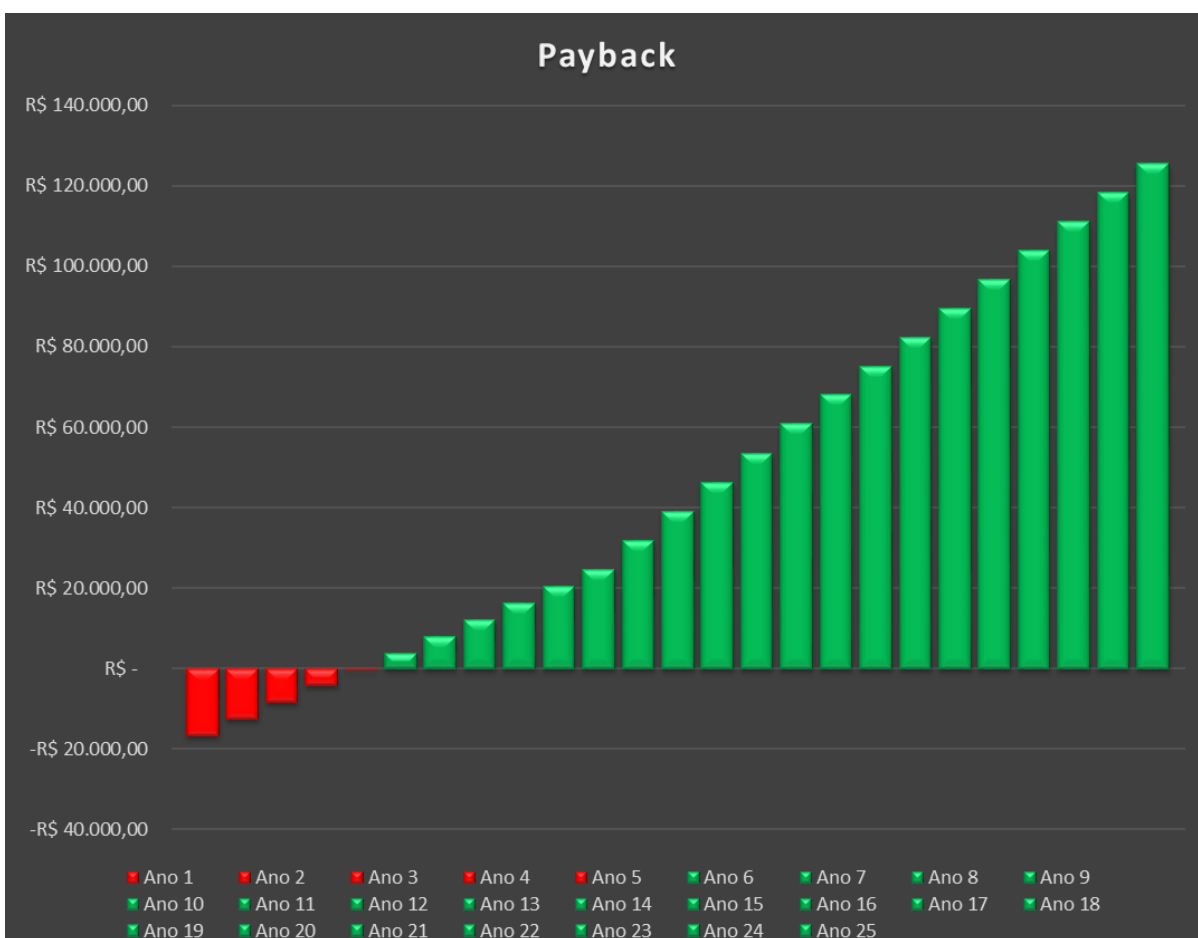
Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Pode-se observar com base no orçamento dos componentes apresentado na tabela 1, que o investimento da usina residencial é de R\$20.790,00.

Considerando o valor de investimento e uma economia de aproximadamente R\$250,00 mensal que foi paga a concessionária de energia, calculada com base no consumo do local de implantação e levando em consideração as tarifas atuais de cobrança pela concessionária, foi possível determinar o *payback* do projeto.

A figura 8 é a representação gráfica do *Payback* do projeto em estudo onde é possível notar que o tempo de retorno está diretamente relacionado à quantidade de energia que a usina produzirá e não será utilizada na residência, ou seja, o crédito. Essa energia excedente será repassada para a concessionária gerando fontes de créditos, fato que acelera o retorno do investimento.

Figura 8 – PayBack.



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Nota-se que o retorno de investimento será de aproximadamente 5 anos após o início da operação da usina, um indicador que se destaca significativamente. Importa ressaltar que, apesar da relevância desses resultados, certos fatores não foram incorporados nos cálculos efetuados. Entre esses, a ausência das variáveis relacionadas às bandeiras tarifárias, à cobrança de iluminação pública e aos ajustes tarifários decorrentes da inflação das taxas energéticas merece atenção especial.

Analisando a soma total de 600 kWh consumidos ao longo de 5, 10 e 15 anos, tanto à empresa concessionária local quanto por meio de geração própria, conforme detalhado na Tabela 3, fica evidente que após o quinto ano, o investimento no projeto com geração própria terá sido recuperado e poderá começar a gerar lucros. Além disso, os recursos que seriam destinados ao pagamento à concessionária podem, nesse ponto, ser direcionados para cobrir o próprio sistema de geração de energia.

Tabela 3 – Comparação gasto com concessionária local e geração própria.

Acumulado Gasto Concessionária Local				
Quantidade (kWh)	Valor (R\$)	Valor total (R\$)	Quantidade (anos)	
600	0,83	498,00	5	R\$ 29.880,00
600	0,83	498,00	10	R\$ 59.760,00
600	0,83	498,00	15	R\$ 89.640,00
Acumulado Gasto Geração Própria				
Quantidade (kWh)	Valor (R\$)	Valor total (R\$)	Quantidade (anos)	
600	0,5775	346,50	5	R\$ 20.790,00
600	0,5775	346,50	10	R\$ 41.580,00
600	0,5775	346,50	15	R\$ 62.370,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Vários estudos, como os de Silva et al. (2021) em João Pessoa, Pernambuco, no ano de 2019, comparado ao deste estudo, mesmo com localizações distintas, apresentaram um *payback* de 4-5 anos. Também, Goetze (2017) em São Leopoldo, Pernambuco, mostrou um retorno financeiro em torno de 10 anos. Freitas (2022), em um estudo residencial de energia solar fotovoltaica realizado em Belo Horizonte, Minas Gerais, registrou um *payback* de 3 anos e 3 meses. Já Santos et al. (2016), com um propósito semelhante em Ipatinga, Minas Gerais, considerando as cobranças públicas e tarifas, só obteve retorno após 12 anos de implantação. Maimoni e Cardoso (2020) também em Minas Gerais, na cidade de Sobrália, com consumo mensal de aproximadamente 300 kWh, alcançaram *payback* de 7 anos e 6 meses. Rios e Sperandio (2021) na cidade de Ipanema, Minas Gerais, considerando tarifas e média mensal de 250 kWh, alcançaram *payback* de 12 anos e 5 meses. Ferreira (2021) na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, consumindo cerca de 350 kWh por mês, atingiu um *payback* de aproximadamente 6 anos e 5 meses. Silva e Carneiro (2022) exibiram um *payback* de 7 anos e 3 meses com tarifas consideradas em uma implementação na região noroeste de Minas Gerais.

A maioria desses estudos, que calcularam o *payback* considerando tarifas e ajustes, apresentou valores mais altos. Entretanto, observa-se que todos destacam a viabilidade do sistema ao longo do tempo, visto que a vida útil média desses sistemas pode chegar a cerca de

25 anos. Dentro dessa perspectiva, a análise das vantagens destacadas por essa pesquisa ganha ênfase. A previsão de um prazo relativamente curto para a recuperação do investimento traz consigo benefícios substanciais, como a redução significativa dos custos energéticos a longo prazo, uma menor dependência de fontes tradicionais e poluentes, e, igualmente importante, uma contribuição tangível para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A instalação de painéis solares em residências não apenas resulta em economia financeira, mas também agrega valor ao imóvel e promove práticas sustentáveis.

Entretanto, é fundamental ponderar, de maneira equilibrada, algumas desvantagens intrínsecas a essa abordagem. O montante inicial de investimento necessário para implantar a energia fotovoltaica pode ser substancial, possivelmente dificultando o acesso para famílias de recursos limitados. Além disso, a eficiência da geração de energia solar está diretamente relacionada às condições climáticas e à localização geográfica, impactando a constância da produção energética. As necessidades de manutenção e potenciais reparos dos sistemas fotovoltaicos também precisam ser consideradas, visto que podem gerar custos adicionais ao longo do tempo. Adicionalmente, a ausência de inclusão nos cálculos de fatores como as flutuações tarifárias devido às bandeiras tarifárias e o impacto da inflação nas taxas energéticas exige uma avaliação mais abrangente da viabilidade financeira a longo prazo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou as vantagens de possuir um sistema de geração fotovoltaico em relação à compra de energia elétrica para uso residencial de pequeno porte que habitualmente acontece através de concessionárias fornecedoras.

A usina fotovoltaica apresenta características econômicas e sustentáveis, uma vez que seu método de geração de energia é limpo e não acarreta em malefícios para o meio ambiente, diferente de outras fontes geradoras de energia.

A partir das análises realizadas no desenvolvimento deste trabalho, foi possível dimensionar e calcular o custo de implantação de uma usina elétrica fotovoltaica de pequeno porte, com geração de energia suficiente para suprir a demanda de duas residências. Assim, um projeto de usina fotovoltaica que atenda duas casas com consumo mensal somado de 600 kWh de energia custa R\$20.790,00 e tem um prazo de retorno de cerca de 5 anos. Comparando o gasto total com energia elétrica em 5, 10 e 15 anos, usando a rede pública ou a geração própria, vemos que a partir do quinto ano, o projeto fotovoltaico já terá se pago e começará a dar lucro. Além disso, o dinheiro que seria usado para pagar a conta de luz poderá ser usado para manter o próprio sistema de geração.

Portanto, pode-se dizer que a tendência do mundo em relação a geração e consumo de energia tende a se alterar no decorrer do tempo. Como cada vez mais a procura por fontes de energia limpa vem crescendo, fica claro que a indústria fotovoltaica terá um grande avanço tecnológico no decorrer dos próximos anos. Também é de grande valia analisar o valor do investimento na implantação das usinas residenciais, essas que por sua vez, apesar de terem altos valores de inserção, podem retornar a quantia em pouco espaço de tempo.

SIZING AND FINANCIAL ANALYSIS OF A RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC POWER PLANT IN VARGINHA, MG

ABSTRACT

This work addresses the sizing and financial analysis of a residential photovoltaic power plant. Proper sizing is crucial to avoid unnecessary costs associated with oversized equipment. The analysis of energy supply and generation data, combined with evaluations of financial indicators, identifies the option with the lowest cost-benefit ratio between generating and purchasing electrical energy. The methodology employed a qualitative analysis approach combined with elements of quantitative analysis in a case study. The project took place in a residence in Varginha, Belo Horizonte III Residential Neighborhood, where an ON GRID system was installed. The analysis concluded that the photovoltaic power plant offers economic and sustainable advantages, generating clean and environmentally friendly energy. The sizing and deployment cost of a photovoltaic power plant were calculated, revealing an investment payback time of about 5 years for this project. The global trend toward clean energy sources and the growing demand for these solutions indicate a promising future for the photovoltaic industry. Analyzing investment in residential power plants is valuable, as despite initial costs, they have the potential to provide a short-term return on investment.

Keywords: Photovoltaic power plant. Clean energy. Economy. Feasibility. On-grid system.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410:2004** - Instalações elétricas de baixa tensão. 2.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 273 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5419:2015** - Proteção contra descargas atmosféricas. 1.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 51 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6123:1988** - Forças devidas ao vento em edificações. 1.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 66 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16274:2014** - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de distribuição - Requisitos mínimos para conexão. 1.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 52 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16612:2020** - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos - Requisitos construtivos. 2.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 35 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 60898:2004** - Disjuntores para proteção de sobrecorrentes para instalações domésticas e similares. 1.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 58 p.
- ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Infográfico: Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. São Paulo: ANEEL/ABSOLAR, 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 18 de Ago. 2023.
- ALÍPIO, A. S.; MAZZUCO, I. M. **Análise da viabilidade de overload de inversores na geração de energia fotovoltaica na região sul de Santa Catarina**. 2021. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Elétrica) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2021.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório do acionamento de bandeiras tarifárias**. 2019.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 482/2012**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 6 Jun. 2023.
- BAJAY, S et al. **Geração Distribuída e energética eficiente**. 1 ed. Campinas: International Energy Initiative-IEI Brasil, 2018. 332 p.
- BERTICELLI, R et al. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. In: **I Seminário de Pesquisa Científica e Tecnológica**, v. 1, n. 1, 2017.
- CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de trabalho de energia solar, GTES, CRESESB, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- DESCHAMPS, E. M. **Otimização do fator de carregamento de inversores para sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública**. 2018. 127 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica 2022: Ano base 2021**. Governo Federal, Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>>. Acesso em: 18 de Ago. 2023.

FERREIRA, J. T. et al. **Viabilidade econômica do uso da energia fotovoltaica: estudo de caso em edificação residencial unifamiliar**. 2021. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

FREITAS, T. S. **Análise da geração de energia fotovoltaica on-grid para um prédio residencial em um centro urbano no estado de Minas Gerais**. 2022. 120 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

GOETZE, F. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: estudo de caso**. 2017. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

IEA. International Energy Agency. **World energy balances. Statistics**. 2018. Disponível em: <<https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018>>. Acesso em: 6 Jun. 2019.

IST; DGS; EU. **Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. São Paulo, 2004.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: consumo e geração de energia**. v. 2. Florianópolis: UFSC. LabEEE, 2010.

MACHADO, C. T, MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015.

MAIMONI, F. P.; CARDOSO, R. B. Análises de viabilidades econômicas para alternativas de utilização da energia solar em residências do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e853986221-e853986221, 2020.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Grupo de trabalho de energia solar, GTES, Cepel, CRESESB, Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: <<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 6 Jun. 2023.

RIOS, B. F.; SPERANDIO, K. P. **Energia fotovoltaica: análise de viabilidade econômica de implantação em Ipanema/MG**. NERGIA. Centro Universitário UNIFACIG, Repositório de Trabalhos de Conclusão de Curso, 2021.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista brasileira de energia solar**, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

SANTOS, A. J. L.; LUCENA, A. F. P. Potenciais Técnico e de Mercado de Energia Solar Fotovoltaica de Geração Distribuída no Setor Residencial Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar. p. 1-11, **Anais...** Fortaleza: CBENS. 2020.

SANTOS, F. A. et al. Energia solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. In: Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia, p. 1-14, **Anais...** Rio de Janeiro: SEGET, 2016.

SANTOS, L. N. C.; LIMA, G. F. M. Dimensionamento prático de um sistema fotovoltaico—estudo de caso utilizando o software PVsyst Sizing and simulation of a photovoltaic system using the software PVsyst. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 20035-20047, 2022.

SILVA, M. M. et al. Análise de viabilidade econômica para implantação de energia fotovoltaica residencial na cidade de João Pessoa/PB. **Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 3, n. 2, p. 13-32, 2021.

SILVA, H. M. S.; CARNEIRO, A. C. Análise da viabilidade econômico-financeira de um projeto de gerador solar fotovoltaico On Grid em uma residência no interior de Minas Gerais. **Scientia Generalis**, v. 3, n. 1, p. 250-270, 2022.

SOUZA, R. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica**. São Paulo: Blue Sol Energia Solar, 2015.

VIANA, L. O. et al. Energia renovável: energia solar fotovoltaica residencial. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 1, p. e3112378-e3112378, 2022.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações - Sistemas isolados e conectados à rede**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 224 p.

ZILLES, R. et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Editora Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2012.