

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Produção e Gestão do
Ambiente Construído

Lais Moisés Salim Kilson

GERAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO DE VIABILIDADE
DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE EM RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR

Belo Horizonte,
2016

LAIS MOISÉS SALIM KILSON

**GERAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO DE VIABILIDADE
DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE EM RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Dept. de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Doutor Aldo Giuntini de Magalhães

**Belo Horizonte,
2016**

RESUMO

É sabido que a geração de energia na escala atual tem um impacto determinante no ambiente e no clima do planeta. Se faz necessário que os governos adotem estratégias de geração de energia a longo prazo, desenvolvendo fontes de energias alternativas. Este trabalho tem como objetivo propagar um novo meio de abastecimento energético para consumidores residenciais da cidade de Belo Horizonte, através da energia solar. O suprimento de energia foi proposto através da instalação de um sistema fotovoltaico interligado à rede. Foram analisadas faixas de demanda por eletricidade que variam de 150 a 2.000 kWh mensais, comparando valores de investimento e tempo de amortização. Para tanto, recorreu-se à prefeitura para coleta de dados numéricos acerca do consumo energético de residências em Belo Horizonte; à concessionária para determinar o valor médio do kWh pago pelos consumidores; aos fornecedores de tecnologia para o sistema fotovoltaico afim de estabelecer os custos de instalação e manutenção do sistema para uso residencial; e à softwares para definição gráfica do tempo de retorno do investimento com o sistema fotovoltaico. Ficou comprovado que é viável a instalação do sistema fotovoltaico em consumidores residenciais, e que o investimento se paga em menos de dez anos, período estabelecido para a primeira manutenção dos equipamentos.

Palavras-chave: Energia solar; Sistema Fovoltaico; On-grid.

SUMÁRIO

Introdução	5
Capítulo 1: Demanda por energias alternativas	8
1.1 Fontes de energias alternativas	9
1.2 A energia solar	12
Capítulo 2: A Energia Solar e sua conversão	16
2.1 Energia solar térmica	16
2.2 Energia solar fotovoltaica	17
2.2.1 Sistemas fotovoltaicos autônomos	17
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede	19
2.2.3 Componentes dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede	22
2.2.4 O funcionamento do sistema fotovoltaico	25
Capítulo 3: Dimensionamento de um sistema fotovoltaico	26
3.1. Relato da pesquisa	26
3.2 Metodologia de obtenção dos dados	27
3.3 Resultados e discussão	27
3.3.1 Consumo da energia elétrica em Belo Horizonte	27
3.3.2 Valor da energia paga em Belo Horizonte	30
3.3.3 Dimensionamento dos equipamentos	33
3.3.4 Análise Econômica	37
3.3.5 Tempo de retorno do investimento	38
Considerações finais	47
Referências Bibliográficas	48

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Consumo total de eletricidade em 2014
- Figura 2 – Módulo fotovoltaico evidenciando a célula fotovoltaica
- Figura 3 – Arranjo fotovoltaico
- Figura 4 – Inversor *grid tie*
- Figura 5 – Quadro geral
- Figura 6 – Diodo de bloqueio
- Figura 7 – Fusível
- Figura 8 – Disjuntor
- Figura 9 – Medidor bidirecional de energia
- Figura 10 – Funcionamento do sistema fotovoltaico
- Figura 11 – Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian
- Figura 12 – Mapa de insolação diária no território brasileiro
- Figura 13 – Inversor Fronius Galvo
- Figura 14 – Insumos de montagem do sistema fotovoltaico
- Figura 15 – Orçamento do Sistema Fotovoltaico
- Figura 16 – Fluxo de caixa do projeto para o consumidor 159,75 kWh

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração por fontes alternativas no mundo

Tabela 2 – Capacidade Instalada de geração elétrica no Brasil

Tabela 3 – Consumo total de eletricidade em 2014 e Capacidade Instalada de Energia Solar

Tabela 4 – Número de Clientes e Consumo de Energia Elétrica (kWh/ano) Belo Horizonte 2000/2010

Tabela 5 – Variação do consumo de energia elétrica mensal em Belo Horizonte 2000/2010

Tabela 6 – Variação da taxa de crescimento anual do número de clientes consumidores de energia elétrica em Belo Horizonte 2000/2010

Tabela 7 – Variação da taxa de crescimento anual do consumo de energia elétrica em Belo Horizonte 2000/2010

Tabela 8 – Dados de população e consumo de energia elétrica para os anos de 2011 a 2020

Tabela 9 – Valor do kWh para cada bandeira tarifária pago pelo consumidor B1

Tabela 10 – Relação entre investimento com o sistema fotovoltaico e a demanda de energia elétrica

Tabela 11 – VPL para diferentes faixas de consumo

Tabela 12 – Viabilidade econômica considerando rendimento de poupança

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Geração de energia elétrica mundial por fonte em 1980

Gráfico 2 – Geração de energia elétrica mundial por fonte em 2012

Gráfico 3 – Radiação solar média anual no Brasil

Gráfico 4 – Radiação solar média anual na Alemanha

Gráfico 5 – Despesas com instalação em função do consumo mensal

Gráfico 6 – Custo do consumo para a demanda de 159,75 kWh mensal

Gráfico 7 – Tempo de retorno do investimento para a demanda de 2000 kWh mensal

Gráfico 8 – VPL para as diferentes faixas de consumo

Gráfico 9 – Poupança mensal para diferentes faixas de consumo

Gráfico 10 – Valor investido e recuperado

INTRODUÇÃO

A geração de energia a partir da utilização maciça de combustíveis fósseis começou no século XIX, e estes se tornaram essenciais para bilhões de pessoas em todo o planeta. Atualmente, mais de 80% da matriz global é proveniente de carvão, petróleo e gás natural (PALZ, 2002).

Porém, a geração de energia, na escala que é feita agora, tem um impacto determinante no ambiente e no clima do planeta. As reservas fósseis, formadas há milhões de anos, são finitas e estarão esgotadas a longo prazo. Além disso, o aquecimento global é causado por numerosas atividades humanas, entre elas a geração de energia a partir da queima de combustíveis fósseis, que é responsável por 41% da emissão mundial de CO₂ (GOLDEMBERG, 2012).

O tema deste trabalho trata sobre a análise de viabilidade de se adotar um tipo de geração de energia menos impactante no meio ambiente, mais especificamente, sobre o uso de fontes de energia alternativas para o suprimento energético de residências.

Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra. O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano (PINHO; GALDINO, 2004).

É possível que a energia solar seja convertida em energia elétrica com a utilização de módulos fotovoltaicos, e esta energia elétrica gerada, pode ser usada no abastecimento da rede elétrica. A delimitação do tema deste trabalho se dá em oferecer a tecnologia fotovoltaica como alternativa para suprir energeticamente residências em Belo Horizonte.

Acredita-se que a tecnologia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva, em razão, tanto dos seus custos decrescentes, quanto dos custos crescentes das demais formas de produção de energia, inclusive em função da internalização de fatores que eram anteriormente ignorados, como a questão dos impactos ambientais (PINHO; GALDINO, 2004).

A problemática do trabalho consistiu em encontrar a relação entre consumo, investimento e manutenção, que torna viável a instalação de um sistema fotovoltaico em residências localizadas em Belo Horizonte.

Trabalhou-se com a hipótese de que o custo de instalação inicial do sistema fotovoltaico seja limitador para sua propagação. O custo das células fotovoltaicas é, ainda hoje, um grande desafio para a indústria e o principal empecilho para a difusão dos sistemas fotovoltaicos em larga escala.

Considerou-se também, que a falta de informação por parte dos consumidores acerca da instalação de um sistema fotovoltaico, faça com que ele não seja amplamente utilizado. É uma tecnologia relativamente recente, se considerarmos que os primeiros sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica foram instalados no Brasil no final dos anos 90.

O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade de energias alternativas no segmento de habitações residenciais. Os objetivos específicos são: comparar os valores de instalação de energia alternativa e convencional no setor residencial; definir o tempo de retorno do investimento inicial com o sistema fotovoltaico; e estabelecer custo e periodicidade de manutenção do sistema.

O território brasileiro recebe elevados índices de irradiação solar, quando comparado com países europeus, onde a tecnologia fotovoltaica é disseminada para a produção de energia elétrica. Porém, o Brasil ainda não atingiu o nível de aperfeiçoamento tecnológico dos países desenvolvidos nesta área. O trabalho justifica-se por ser uma iniciativa de divulgação, abordando aspectos econômicos, a partir da viabilidade técnica existente, da possibilidade de instalação e uso de energias alternativas, com aplicações residenciais.

Os procedimentos metodológicos utilizados para esta pesquisa foram: estudos do funcionamento do sistema fotovoltaico e de seus componentes; coleta de dados numéricos acerca do consumo energético de residências em Belo Horizonte; pesquisa junto à concessionária que atende a região estabelecida para determinar o valor médio do kWh pago pelos consumidores; análise dos fornecedores de tecnologia para o sistema fotovoltaico afim de estabelecer os custos de instalação e manutenção do sistema para uso residencial; definição gráfica do tempo de retorno do investimento com o sistema fotovoltaico.

Este trabalho conta com três capítulos. O primeiro deles trata sobre a demanda mundial por energias alternativas e o potencial brasileiro ainda não muito explorado de energia solar. O segundo capítulo fala sobre a energia solar em si, e suas duas formas de conversão em energia elétrica, térmica e fotovoltaica. O terceiro e último capítulo faz a análise econômica da instalação de um sistema fotovoltaico em residências que consomem de 150 a 2.000 kWh mensais.

CAPÍTULO 1

DEMANDA POR ENERGIAS ALTERNATIVAS

Durante todo o século XX, a oferta farta de energia, obtida principalmente a partir dos combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral, deu suporte ao crescimento e às transformações da economia mundial (PALZ, 2002). A invenção das máquinas elétricas no século XIX, juntamente com o aumento das indústrias com o advento dos veículos automotores, lançaram as bases para a introdução da moderna sociedade de consumo, caracterizada por uma intensidade energética nunca vista na história da humanidade (GOLDEMBERG, 2012).

Podemos observar o crescimento do consumo de energia nos Gráficos 1 e 2. Em 1980 o mundo consumia 8.027 TWh anuais de eletricidade, passando para um consumo de 21.532 TWh anuais de energia elétrica em 2012. A previsão da Agência Internacional de Energia (IEA) para o ano de 2030 é que esse número passe de 30.000 TWh consumidos anualmente.

A disponibilidade energética deveria se manter compatível com o acentuado aumento do consumo provocado por um novo ciclo de crescimento econômico, observado principalmente nos países em desenvolvimento. Porém, para produzir 30.000 TWh ao ano são necessárias 230 usinas hidrelétricas iguais à de Itaipu ou 1.000 usinas nucleares iguais à de Fukushima, no Japão (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

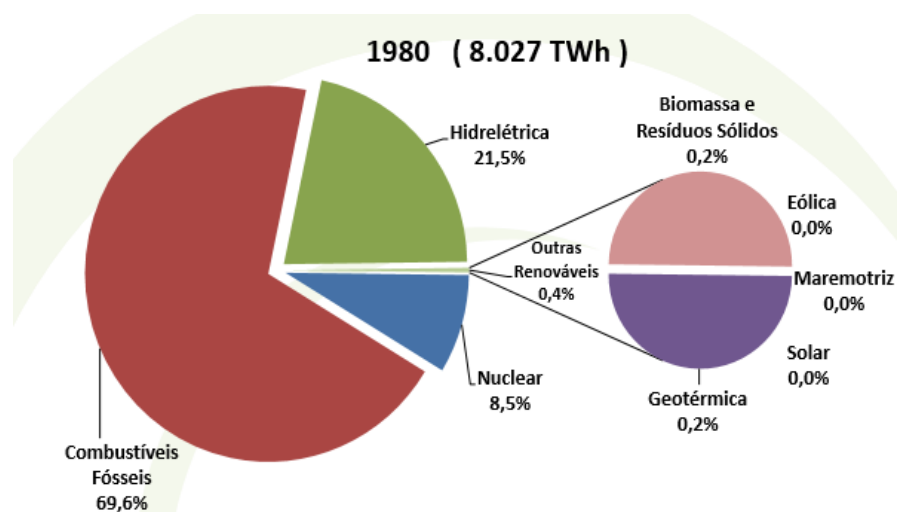


Gráfico 1 – Geração de energia elétrica mundial por fonte em 1980

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2015.

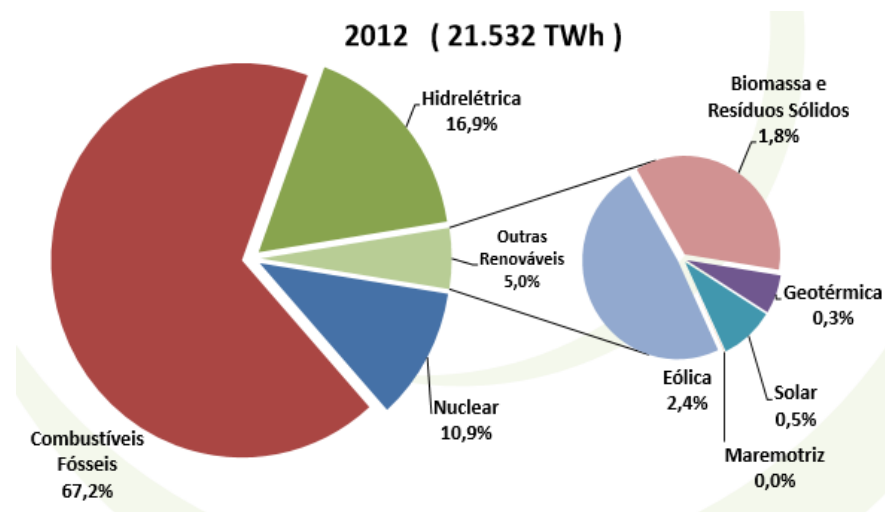


Gráfico 2 – Geração de energia elétrica mundial por fonte em 2012

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2015

Não existem rios suficientes no mundo para construir tantas usinas como a de Itaipu e a humanidade não deseja utilizar energia nuclear devido aos riscos de acidentes que ela oferece, que mesmo sendo raros, são desastrosos quando acontecem (VILLALVA; GAZOLI, 2013). Este fato nos leva a concluir que as fontes tradicionais devem ser substituídas por recursos menos agressivos ao meio ambiente.

1.1 Fontes de energia alternativas

A atividade de produção de energia – e, particularmente, da energia elétrica – ingressou no século XXI, portanto, em busca do desenvolvimento sustentável, conceito que alia a expansão da oferta, consumo consciente, preservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida. É o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações, que não esgota os recursos para o futuro. Em outras palavras: o desafio é reduzir o impacto ambiental e, ao mesmo tempo, ser capaz de suportar o crescimento econômico – que, entre outros desdobramentos, proporciona a inclusão social de grandes contingentes da população, com o aumento da geração de renda e da oferta de trabalho (PALZ, 2002)

As fontes renováveis de energia são aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização. Podemos utilizá-las continuamente e nunca se acabam, pois sempre se renovam. Alguns exemplos são: a energia solar, aproveitada diretamente para aquecimento ou geração de eletricidade, hidrelétrica, eólica, oceânica, geotérmica e da biomassa (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Na Tabela 1, é possível observar os países que mais utilizam fontes alternativas de energia. Os valores correspondem ao uso das fontes geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos.

Tabela 1 – Geração por fontes alternativas no mundo. 10 maiores países em 2012 (TWh)

	2008	2009	2010	2011	2012	$\Delta\%$ (2012/2011)	Part. % (2012)
Mundo	560,5	646,7	765,4	934,5	1.068,8	14,4	100
Estados Unidos	137,9	156,2	180,0	208,1	232,1	11,5	21,7
China	17,4	29,8	57,1	110	147,2	33,8	13,8
Alemanha	74,2	80,8	89,4	109,7	121,7	11	11,4
Espanha	39,6	48,4	56,0	57	66,4	16,5	6,2
Itália	18,2	21,9	28,0	40	50,3	26	4,7
Japão	30,4	30,7	33,8	35,3	47,6	34,8	4,5
Brasil	20,7	23,9	33,7	34,9	40,3	15,5	3,8
Índia	15,8	19,9	22,1	30,8	35,4	14,8	3,3
Reino Unido	18,2	21,7	23,6	30,6	35	14,4	3,3
França	12	14,6	17,9	22	24,6	12,3	2,3
Outros	176,3	198,9	223,7	256,0	268,0	4,7	25,1

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2015

Embora as fontes renováveis representem hoje uma pequena parcela da produção de eletricidade mundial, o potencial para o emprego dessas fontes é muito grande e acredita-se que no futuro, mediante desenvolvimento tecnológico e investimentos neste setor, toda a necessidade de eletricidade no mundo, ou pelo menos a maior parte dela, poderá ser provida por fontes renováveis e limpas (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

No cenário brasileiro, o grande potencial hídrico e o baixo custo da implantação de usinas hidrelétricas, comparado a outras fontes de energia, faz com que essa fonte seja amplamente utilizada, mesmo com o grande impacto ambiental causado pela sua implantação. Porém, nos últimos 10 anos, as energias alternativas

vêm ganhando um crescimento expressivo e assumindo uma posição importante na geração de energia elétrica. De acordo com a Tabela 2, observa-se que as usinas eólicas dobraram sua capacidade instalada, enquanto as usinas de energia solar aumentaram em 200%.

Tabela 2: Capacidade Instalada de geração elétrica no Brasil (MW)

	2010	2011	2012	2013	2014	$\Delta\%$ (2014/2013)	Part. % (2014)
Total	113.327	117.136	120.974	126.743	133.913	5,7	100
Usinas Hidrelétricas	77.090	78.347	79.956	81.132	84.095	3,7	62,8
Usinas Termelétricas	29.689	31.243	32.778	36.528	37.827	3,6	28,2
PCH	3.428	3.896	4.101	4.620	4.790	3,7	3,6
CGH	185	216	236	266	308	15,8	0,2
Usinas Nucleares	2.007	2.007	2.007	1.990	1.990	0,0	1,5
Usinas Eólicas	927	1.426	1894,0	2.202	4.888	122,0	3,7
Solar	1	1	2,0	5	15	200,0	0,0

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2015

Um dos fatores que impulsionou essa diversificação da matriz energética brasileira foi a introdução do PROINFA, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Este programa foi criado pela Lei nº 10.438/2002, pelo Ministério de Minas e Energia em parceria com a Eletrobrás, com o intuito de buscar alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais (MME, 2008).

O objetivo do PROINFA é aumentar a participação de fontes alternativas renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa) no Sistema Interligado Nacional, privilegiando a compra de energia de empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição. Para isso, a Eletrobrás assinou um contrato com cada produtor, garantindo o valor a ser pago pela energia adquirida e também a contratação por 20 anos (ANEEL, 2013).

1.2 A energia solar

Partindo do princípio de que o desenvolvimento de fontes alternativas é essencial para o suprimento energético mundial, este trabalho apresenta a energia solar como uma das soluções a serem estudadas.

A energia solar é a energia derivada do sol, na forma de radiação e de calor, e baseia-se na conversão de luz solar em energia elétrica ou térmica, através de placas e coletores solares, sem o comprometimento do meio ambiente no processo de geração.

A utilização do sol na geração energética tem inúmeras vantagens. Dentre elas, podemos citar seu potencial ilimitado, afinal o sol produz 4 milhões de vezes mais energia que consumimos; é uma fonte inesgotável na escala terrestre de tempo; pode ser dita como limpa, pois não polui durante seu uso; e é acessível, atingindo lugares mais remotos, que não são atendidos por linhas de transmissão.

O Brasil possui uma posição privilegiada em termos de radiação solar, já que a maior parte do território brasileiro se localiza próximo a linha do Equador, evitando grandes variações na duração solar do dia, com destaque para o Nordeste Brasileiro, o qual apresenta radiação solar comparável as melhores regiões do mundo nesse aspecto (CCEE, 2013). O potencial brasileiro é mostrado no Gráfico 3.

No Gráfico 4 pode-se observar os índices de radiação solar da Alemanha. Desde o ano 2000, o governo alemão oferece subsídios para quem quer instalar placas fotovoltaicas em seu imóvel e cobra uma sobretaxa na conta de luz daqueles que não optaram por utilizar energia limpa. Assim, em cerca de 10 anos se tornou líder global em produção de energia fotovoltaica.

Se compararmos estes índices de radiação solar da Alemanha com os índices brasileiros, podemos concluir que a região menos ensolarada do Brasil, 4.400 kWh/m², recebe 3,38 vezes mais radiação solar do que a região mais ensolarada da Alemanha, 1.300 kWh/m².

Os dados de consumo de energia elétrica mundial fornecidos pela EIA (*Energy Information Administration*) apresentados na Figura 1, mostram que em 2014, o consumo anual do Brasil e da Alemanha foi, respectivamente, 518 e 533 TWh.

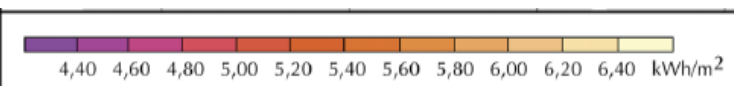
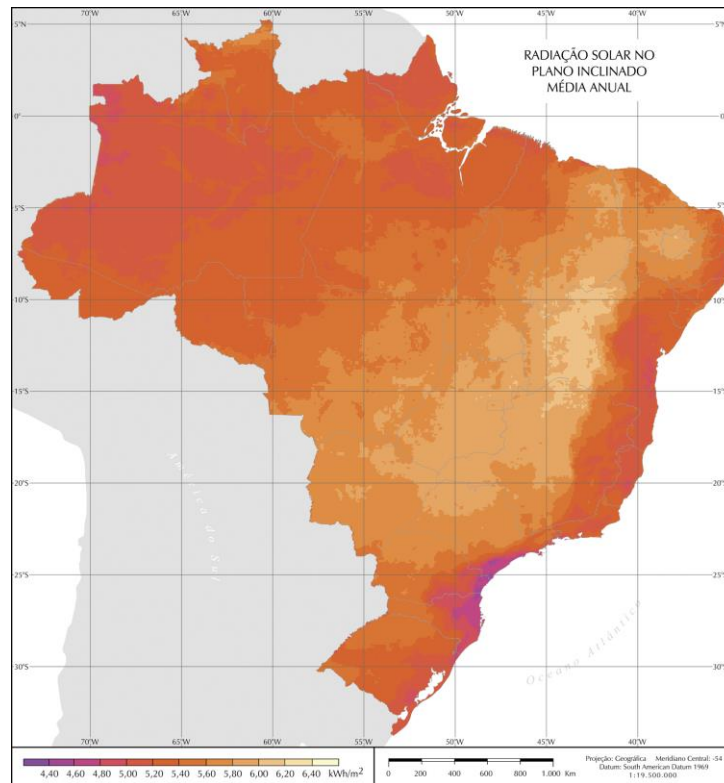


Gráfico 3: Radiação solar média anual no Brasil

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar

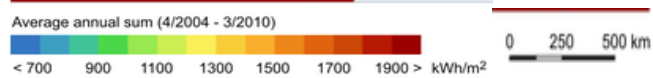
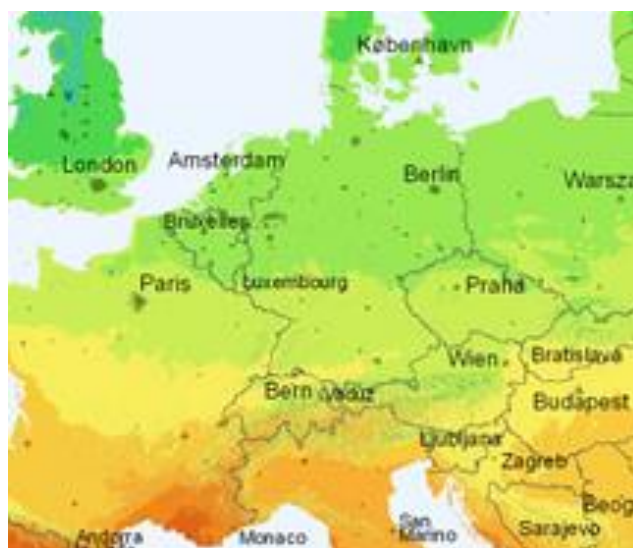


Gráfico 4: Radiação solar média anual na Alemanha

Fonte: Solar Gis



Figura 1: Consumo total de eletricidade em 2014.

Fonte: Energy Information Administration

Mesmo com o potencial solar aproximadamente três vezes menor que o brasileiro, e o consumo de energia elétrica tão similar, a Alemanha teve em 2014, a capacidade instalada de energia solar de 36 TW, enquanto o Brasil não apresentou dados nesse índice, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Consumo total de eletricidade em 2014 e Capacidade Instalada de Energia Solar

Eletricidade (bilhões de kWh)	2011	2012	2013	2014
Consumo				
Brasil	472	488	504,0	518
Alemanha	547	547	545,0	533
Geração solar				
Brasil	(s)	(s)	(s)	(s)
Alemanha	19,59	26,33	31,01	36,06

Fonte: Energy Information Administration

Visto o potencial solar brasileiro e a necessidade de diversificação de sua matriz energética, justifica-se então o estudo proposto, propondo explorar a energia solar no Brasil para o suprimento da demanda de energia elétrica de sua população.

CAPÍTULO 2

A ENERGIA SOLAR E SUA CONVERSÃO

Como descrito no Capítulo 1, a energia solar é abundante e pode ser aproveitada através de sistemas de captação, como térmicos e fotovoltaicos. Embora ainda tímidas e com participação muito reduzida na matriz energética mundial, o uso de tais fontes alternativas vem crescendo muito em todo o planeta. Em diversos países, apesar de suprirem apenas uma fração da demanda por eletricidade, a fonte solar já é considerada madura e ocupa importante espaço nas políticas públicas e nos investimentos privados (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

2.1 Energia Solar Térmica

A utilização da energia solar térmica se baseia na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo (CRESEB, 2004). Os sistemas solares térmicos são empregados para realizar aquecimento de fluidos ou para produzir eletricidade a partir da energia térmica do sol.

Para o funcionamento do sistema solar térmico são utilizados coletores solares concentradores ou planos. Os coletores concentradores estão associados a aplicações em temperaturas superiores a 100°C, para acionamento de turbinas a vapor e posterior geração de eletricidade. Já os coletores planos, são utilizados para aplicações em baixa temperatura, por volta de 60°C, tais como: água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, aquecimento de piscinas, água aquecida para limpeza em hospitais e hotéis, etc. (CRESEB, 2004).

Uma grande vantagem dos sistemas solares térmicos é a possibilidade de serem acoplados a sistemas de armazenamento de calor para uso em outros horários, que não coincidem com a incidência solar. Além disso, são sistemas simples, econômicos e bem difundidos, sendo instalados em residências, hotéis, empresas e hospitais.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico) (CRESEB, 2004). Os sistemas solares fotovoltaicos têm a capacidade de captar diretamente luz solar e produzir corrente elétrica através da célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor é unidade fundamental do processo de conversão. Essa corrente é coletada e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em duas categorias principais: isolados e conectados à rede. Em ambos os casos, podem operar a partir apenas da fonte fotovoltaica. A utilização de cada uma dessas opções depende da aplicação e/ou da disponibilidade dos recursos energéticos e também das restrições específicas de cada projeto (CRESEB, 2004).

2.2.1 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos

Os sistemas fotovoltaicos autônomos, também chamados sistemas isolados, dependem unicamente da radiação solar para gerar energia através dos painéis fotovoltaicos. Possuem obrigatoriamente um mecanismo de armazenamento da energia gerada.

Nos sistemas autônomos a geração e o consumo de energia nem sempre coincidem devido à característica intermitente e aleatória da radiação solar ao longo das horas. São empregados, mais comumente, em locais não atendidos por uma rede elétrica. Também encontram aplicação na iluminação pública, na sinalização de estradas, na alimentação de sistemas de telecomunicações e no carregamento das baterias de veículos elétricos.

Segundo Villalva e Gazoli (2013), um sistema fotovoltaico autônomo é composto de uma placa ou um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e, conforme a aplicação, um inversor de tensão contínua para tensão alternada, para que possa alimentar lâmpadas, aparelhos eletrodomésticos, computadores e qualquer tipo de equipamento que utilize corrente alternada.

O controlador de carga é um carregador de baterias específico para aplicações fotovoltaicas. É usado para regular a carga da bateria e prolongar sua vida útil, protegendo-a de sobrecargas ou descargas profundas.

A presença de uma bateria é necessária para proporcionar fornecimento constante de energia para o consumidor e para evitar desperdício da energia gerada quando o consumo é baixo, permitindo seu armazenamento para uso posterior, nos momentos em que houver pouca ou nenhuma radiação, no período da noite e nos dias nublados e chuvosos. A presença de uma bateria também é necessária para estabilizar a tensão fornecida aos equipamentos ou ao inversor eletrônico, uma vez que a tensão de saída do módulo fotovoltaico não é constante (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Os sistemas autônomos foram regulamentados inicialmente pela Resolução ANEEL N° 83/2004 (substituída posteriormente pela n° 493/2012), a qual teve um papel importante na inserção dos sistemas fotovoltaicos nos programas de eletrificação rural do país.

2.2.1.1 Programa Luz Para Todos

Em novembro de 2003 foi lançado, por meio do Decreto 4.873 de 11/11/2003 o Programa Luz para Todos, com o desafio de acabar com a exclusão elétrica no país e com a meta de levar o acesso à energia elétrica, gratuitamente, para mais de 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008, identificadas após análise de dados do Censo 2000 do IGBE.

Durante sua execução, mais famílias sem energia elétrica foram identificadas, levando o Programa a ser prorrogado para que fosse possível estender o atendimento a elas. A última prorrogação ocorreu em dezembro de 2014, por meio do Decreto 8.387, que irá possibilitar o atendimento a pelo menos 1 milhão de pessoas até dezembro de 2018.

Para atender a comunidades isoladas, o Ministério de Minas e Energia buscou parcerias que resultaram em estudos de geração descentralizada a partir das mini e microcentrais hidrelétricas, usinas térmicas com queima de biomassa, energia solar, eólica, e também sistemas híbridos que reuniam duas ou mais dessas

tecnologias. Assim, foi possível substituir motores a diesel, que antes eram a fonte geradora de energia dessas comunidades, por energia firme da rede convencional.

Além disso, soluções como energia fotovoltaica autônoma, regulamentadas no decreto 8.493 de 2015, possibilitam que a eletricidade chegue até as comunidades mais remotas, onde nunca foi possível ter energia das concessionárias. Agora, com rede ou por sistemas fotovoltaicos as famílias puderam ser atendidas.

2.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Um sistema fotovoltaico conectado à rede trabalha convertendo a energia solar em eletricidade e injetando o potencial gerado diretamente à rede de distribuição. Ele opera em paralelismo com a rede de eletricidade e é empregado em locais já atendidos por energia elétrica, sendo o gerador fotovoltaico uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado.

O objetivo do sistema fotovoltaico conectado à rede é gerar eletricidade para o consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede pública ou mesmo gerar excedente de energia, deixando assim, de ser consumidor de energia e sim produtor de eletricidade.

Este tipo de sistema dispensa o uso de acumuladores, como as baterias do arranjo fotovoltaico autônomo, pois a energia por eles produzida pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada na rede elétrica convencional para ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição.

2.2.2.1. A regulamentação do sistema fotovoltaico conectado à rede

Segundo a resolução normativa nº 482 da ANEEL, de 17 de abril de 2012, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser centralizados, constituindo usinas de geração de energia elétrica, ou micro e minissistemas descentralizados de geração distribuída instalados em qualquer tipo de consumidor. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica podem ser classificados em três categorias, de acordo com seu tamanho:

- Microgeração: potência instalada até 100 kW.

- Minigeração: potência instalada entre 100 kW e 1 MW.
- Usinas de eletricidade: potência instalada acima de 1 MW.

Os sistemas de microgeração são pequenos sistemas, instalados em locais de menor consumo de eletricidade, como telhados de residências. São fáceis de instalar e utilizam poucos componentes. A fixação de módulos fotovoltaicos nos telhados é feita com técnicas semelhantes às empregadas na instalação de coletores solares térmicos. As instalações elétricas são simples e requerem apenas alguns requisitos de proteção. A disseminação desse tipo de sistema em todas as residências do país, aproveitando áreas ociosas para a produção de eletricidade, pode contribuir fortemente com a geração de eletricidade em nível nacional, e reduzir as emissões de carbono e outros prejuízos ambientais.

Já aqueles de minigeração são instalados em consumidores comerciais e industriais. São construídos com o objetivo de suprir parcialmente ou totalmente a demanda de energia elétrica desses consumidores, reduzindo sua dependência da energia elétrica da rede pública, proporcionando economia na conta de eletricidade e imunidade contra a elevação do preço da energia elétrica. Além disso, muitas empresas buscam soluções de energia sustentáveis e ambientalmente corretas, pois percebem que os consumidores têm preferência por instituições que se preocupam com a preservação do planeta.

Por fim, os sistemas fotovoltaicos podem ser usados na construção de usinas de geração de energia elétrica conectadas ao sistema elétrico através de transformadores e linhas de transmissão, da mesma forma como são constituídas as usinas hidrelétricas, termelétricas e outras. Grandes conjuntos de módulos fotovoltaicos são conectados a inversores centrais, que são conectados a cabines de transformação, que elevam as tensões dos sistemas fotovoltaicos a níveis compatíveis com as linhas de transmissão do sistema elétrico.

a. Do acesso aos sistemas de distribuição

Os consumidores que desejam instalar seu sistema fotovoltaico conectado à rede, são denominados acessantes e devem seguir o disposto no documento Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Estes, são documentos elaborados pela ANEEL e normatizam

e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

O objetivo do PRODIST é estabelecer as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as Demais Instalações de Transmissão – DIT, e definir os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes.

b. Do sistema de compensação

O Sistema de Compensação é definido na Resolução Normativa ANEEL 482/2012 como um arranjo onde o excedente de energia gerado pelas unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída é injetado na rede da distribuidora gerando assim créditos em energia (kWh) na próxima fatura.

Este crédito pode ser compensado na mesma unidade consumidora ou em outra unidade com a mesma titularidade da unidade consumidora geradora, por um prazo de até 36 meses.

Caso a unidade geradora injete mais energia na rede do que consumir, será cobrado no mínimo o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, e a demanda contratada para o consumidor do grupo A.

Nas unidades que possuem postos tarifários (ponta e fora de ponta) e que a energia injetada em um posto tarifário seja maior que a consumida, este excedente será utilizado em outro posto tarifário sendo aplicado um fator de ajuste. Assim, o Sistema de Compensação segue uma ordem de compensação para o excedente injetado, onde o excedente será compensado primeiramente no mesmo posto tarifário e, caso ainda haja excedente, ele será compensado em outro posto tarifário da mesma unidade, e ainda, se restar excedente a ser compensado, ele pode ser utilizado em outra unidade consumidora de mesmo titular (ANEEL, 2014).

2.3 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

2.3.1 Células fotovoltaicas

Elementos responsáveis pela transformação da energia solar em energia elétrica. Estas utilizam as propriedades dos materiais semicondutores (na maioria dos casos, o silício). Quando os semicondutores são devidamente dopados com elementos químicos como o Boro e o Fósforo, formam a chamada junção pn, onde em um lado ficam concentradas as cargas positivas, e no outro, as cargas negativas, gerando assim um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de elétrons de um lado para o outro. No caso de um fóton incidir com energia suficiente para excitar um elétron, surgirá uma corrente elétrica, gerando energia em corrente contínua. Esse processo para geração de energia em corrente contínua é chamado de efeito fotoelétrico.

Cada célula solar produz aproximadamente 0,4 volts no seu ponto de máxima potência, logo é necessário conectá-las de forma apropriada para as tensões desejadas.

As células fotovoltaicas são interligadas em série através de contatos metálicos e são cobertas por um material transparente, que garante o isolamento elétrico entre as células e protege contra agentes atmosféricos e tensões mecânicas. Através disso forma-se um painel ou módulo fotovoltaico que pode ser conectado com outros módulos para formar um arranjo ou sistema fotovoltaico, conforme Figura 2.



Figura 2: Módulo fotovoltaico evidenciando a célula fotovoltaica

Fonte: Site Painéis fotovoltaicos funcionamento

2.3.2 Arranjos Fotovoltaicos

Módulos fotovoltaicos, representados na Figura 3, transformam irradiação solar em energia elétrica na forma de corrente contínua. Devido à baixa tensão e corrente dos módulos, os mesmos podem ser agrupados formando um arranjo fotovoltaico. Esse agrupamento pode ser feito colocando-se os módulos tanto em série quanto em paralelo.

A conexão mais usual de módulos fotovoltaicos é o arranjo em série, este agrupamento soma as tensões das células. Quanto maior for a tensão, menores serão as perdas, ou seja, maior será a eficiência do arranjo fotovoltaico.



Figura 3: Arranjo fotovoltaico

Fonte: Infocalidad

2.3.4 Inversores

O inversor solar é o responsável, basicamente, por estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede ou a carga. Seu papel mais importante consiste em converter o sinal elétrico CC do arranjo fotovoltaico em um sinal elétrico CA, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado.

A tensão produzida pelos módulos fotovoltaicos, durante todo o processo de conversão de energia solar em elétrica, é do tipo contínua. Devido a este fato, na maioria dos casos, o consumo de energia e seus usos finais são extremamente

limitados, pois os equipamentos existentes no mercado são alimentados com corrente alternada.

O inversor *grid-tie* transfere a energia produzida diretamente ao quadro de distribuição do local para ser utilizada pela carga. Na presença de luz solar a energia produzida será injetada e utilizada e, no caso dessa energia não ser suficiente para alimentar toda a carga, a complementação será retirada da rede da concessionária. Caso sobre energia dos painéis fotovoltaicos, essa energia excedente será injetada na rede. Durante a noite, o sistema necessitará da rede para se alimentar, pois os painéis não produzirão energia. Todo esse processo é feito pelo inversor automaticamente, sem a intervenção do usuário. Observa-se um inversor na Figura 4.



Figura 4: Inversor *grid tie*

Fonte: Kasatec energia solar

2.3.5 Quadro geral

O quadro geral contém terminais, dispositivos de interrupção e, se necessário, fusíveis de fileira e diodos de bloqueio das fileiras de painéis. Frequentemente é também instalado um descarregador de sobretensões para desviar as sobretensões para a terra.

Este quadro deve ser de proteção classe II, conforme ABNT 5410/2004, e ter os terminais positivo e negativo claramente separados no seu interior. No caso de

ser instalado no exterior, deverá estar protegido, no mínimo, com proteção IP 54, conforme norma internacional DIN 40050. Está representado na Figura 5.



Figura 5: Quadro geral

Fonte: Loja Elétrica

2.3.6 Diodo de Bloqueio

Uma outra preocupação existente, é a possibilidade do surgimento de uma corrente negativa fluindo pelas células, ou seja, ao invés de gerar corrente, o módulo passa a receber mais do que está produzindo. Essa corrente negativa pode causar queda na eficiência das células e, em casos mais complicados, a célula pode ser desconectada do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses transtornos, usa-se um diodo de bloqueio impedindo assim correntes reversas, conforme Figura 6.



Figura 6: Diodo de bloqueio
Fonte: Kasatec energia solar

2.3.7 Fusíveis

São intercalados fusíveis, representados na Figura 7, em todos os condutores ativos (positivos e negativos) para proteger os módulos e os cabos das fileiras contra sobrecargas ou curtos. Se não se utilizarem fusíveis, os condutores de fio devem estar dimensionados para a máxima corrente de curto-circuito do gerador.



Figura 7: Fusível
Fonte: Loja Elétrica

2.3.8 Disjuntores

São dispositivos que atuam na proteção contra sobrecorrentes. Quando ocorre um curto-circuito ou sobrecarga, eles atuam, automaticamente, isolando o

2.4 O Funcionamento do Sistema Fotovoltaico

Uma vez atingido pela radiação solar, o painel fotovoltaico reage com a luz do sol e produz energia elétrica (energia fotovoltaica). Os painéis solares, instalados sobre os telhados das residências, são conectados uns aos outros e então conectados ao inversor solar.

Por sua vez, o inversor solar converte a energia gerada nos painéis fotovoltaicos (CC) em energia elétrica que pode ser usada em sua residência (CA).

A energia que sai do inversor solar vai para a sua caixa de junção, e é distribuída para a residência, reduzindo a quantidade de energia comprada da concessionária.

Por fim, o excesso de eletricidade volta para a rede elétrica através do medidor bi-direcional, que mede a energia consumida da concessionária e a injetada na rede da distribuidora. A energia solar que vai para a rede se transforma em crédito para ser utilizado quando não houver geração. Esse processo está representado na Figura 10.

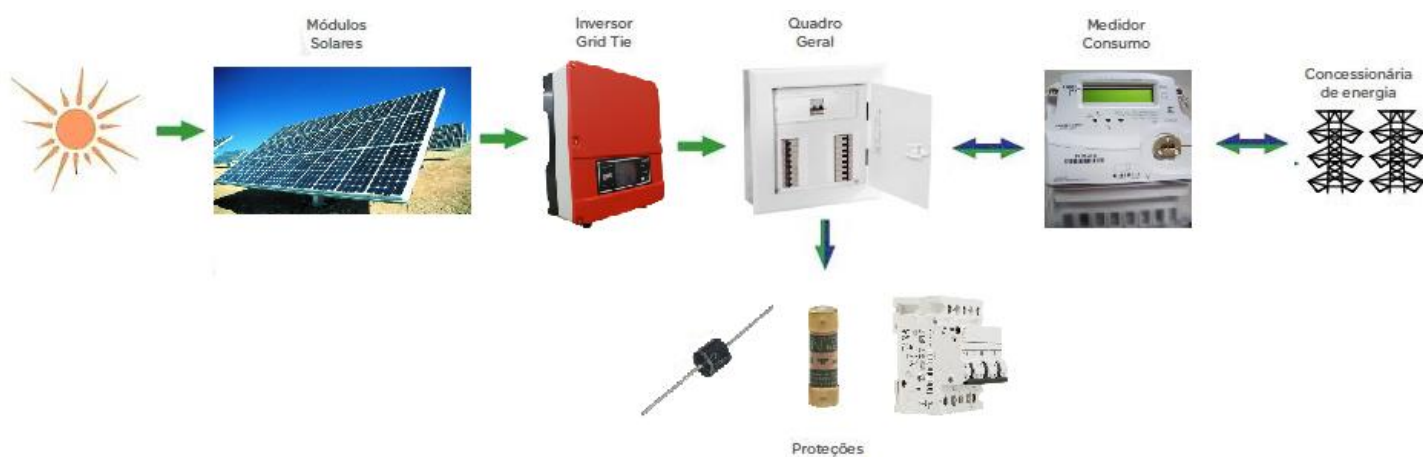


Figura 10: Funcionamento do sistema fotovoltaico

Fonte: autoria própria

CAPÍTULO 3

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para determinarmos os custos de instalação, operação e manutenção do sistema fotovoltaico interligado à rede, se fez necessário dimensionar um sistema hipotético.

3.1 Relato da pesquisa

Segundo Vilallva e Gazoli (2013), o primeiro passo no dimensionamento do sistema conectado à rede é determinar quanta energia deseja-se produzir. Esta, pode ser definida com base no consumo médio mensal de eletricidade daquela residência, desejando suprir parcialmente ou integralmente tal demanda de energia elétrica. Pode-se também, levar em consideração o espaço disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Ou ainda, o terceiro critério de escolha, pode ser o econômico, conhecendo-se o limite do investimento que o consumidor deseja realizar no sistema fotovoltaico.

Conhecendo a quantidade de energia a ser produzida, o projetista do sistema deve partir para a escolha do módulo fotovoltaico, determinando seu fabricante e a localidade em que será instalado. Para calcular a quantidade de energia que o módulo irá produzir, o método adequado é o que se baseia na insolação diária, ou seja, no valor de quilowatt-hora por metro quadrado diário [kWh/m²/dia]. Sabendo a área do módulo e sua eficiência, calcula-se com facilidade a energia elétrica por ele produzida diariamente.

Uma vez calculada a energia produzida pelo módulo e conhecendo-se o valor da energia que se deseja produzir, determina-se a quantidade de módulos necessários no sistema fotovoltaico, dividindo-se a energia produzida pelo sistema no intervalo de tempo considerado pela energia produzida por um módulo no mesmo intervalo de tempo.

Este trabalho é uma pesquisa qualitativa explicativa, que visa, através de parâmetros interpretativos, levantar uma problemática no ambiente pesquisado, e ainda, propor uma ação corretiva e analisar seus possíveis resultados.

3.2 Metodologia de obtenção dos dados

O trabalho em questão foi realizado utilizando-se os dados obtidos por meio de consultas aos órgãos responsáveis pela prestação dos serviços ou por relatórios de caracterização de demanda. O consumo médio mensal de energia elétrica foi obtido junto à Prefeitura de Belo Horizonte, e o valor do quillowatt-hora pago pelo consumidor residencial junto à concessionária de energia local. Por fim, fez-se uma pesquisa sobre o sistema de bandeiras tarifárias e de compensação de energia junto à ANEEL.

Além disso, os dados do sistema fotovoltaico bem como os equipamentos a serem utilizados e seus preços de aquisição, foram obtidos no mercado, com empresas do ramo de instalação de sistemas fotovoltaicos.

3.3 Resultados obtidos e análise dos dados

3.3.1 Consumo de energia elétrica em Belo Horizonte

Para a conclusão do primeiro passo do dimensionamento do sistema conectado à rede, onde buscou-se determinar a quantidade de energia que deseja-se produzir, foi necessário analisar os três critérios de escolha:

- Suprir parcialmente ou integralmente a demanda de energia elétrica daquele consumidor, com base na análise do consumo de meses anteriores daquela residência;
- Definir o espaço para a instalação dos módulos fotovoltaicos, gerando o máximo de energia possível por metro quadrado disponível, podendo suprir a demanda por energia elétrica mensal da residência, ou até mesmo, gerar excedentes;
- Limitar o investimento com o sistema fotovoltaico de acordo com o valor que o cliente pretende despende com o mesmo, independente de suprir a demanda por energia elétrica mensal da residência.

Como um dos objetivos específicos deste trabalho é determinar o tempo de retorno do investimento com o sistema fotovoltaico, definiu-se que o

dimensionamento do sistema será feito com base no suprimento integral da demanda de energia elétrica do consumidor residencial.

Para isso, foi realizada uma coleta de dados numéricos acerca do consumo energético de residências em Belo Horizonte, afim de se estimar o consumo médio mensal de uma residência típica.

O dado mais recente do consumo de energia elétrica residencial em Belo Horizonte é do ano de 2010 e foi divulgado pela Prefeitura em seu relatório sobre Características Demográficas e Socioeconômicas.

Tabela 4 - Número de Clientes e Consumo de Energia Elétrica (kWh/ano) Belo Horizonte 2000/2010

Ano	Clientes	Consumo
2000	689.186	1.734.074.776
2001	700.491	1.418.631.946
2002	734.887	1.386.882.711
2003	745.566	1.401.327.768
2004	757.226	1.366.256.993
2005	766.498	1.342.820.658
2006	779.992	1.335.479.388
2007	792.460	1.344.982.346
2008	797.963	1.378.484.825
2009	814.463	1.478.589.530
2010	832.895	1.518.803.852

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte

De acordo com os dados fornecidos, o número total de clientes no ano de 2010 foi de 832.895, enquanto que o consumo medido em kWh foi de 1.518.803.852. Conclui-se então, que o consumo médio mensal foi de 151,96 kWh por residência. A Tabela 5 mostra como variou o consumo mensal ao longo da primeira década.

Para extrapolar os dados para a atualidade, é necessário encontrar um valor de crescimento do número de clientes e de consumo que seja adequado a realidade vivida. Fez-se isso analisando o crescimento anual do consumo e do número de clientes de 2000 a 2010.

Tabela 5 – Variação do consumo de energia elétrica mensal em Belo Horizonte 2000/2010

Ano	Consumo médio mensal (kWh)	Crescimento proposto
2000	209,68	
2001	168,77	-19,51%
2002	157,27	-6,81%
2003	156,63	-0,41%
2004	150,36	-4,04%
2005	145,99	-2,90%
2006	142,68	-2,27%
2007	141,44	-0,87%
2008	143,96	1,78%
2009	151,28	5,09%
2010	151,96	0,45%

Fonte: autoria própria

Tabela 6 – Variação da taxa de crescimento anual do número de clientes consumidores de energia elétrica em Belo Horizonte 2000/2010

	Número de clientes	Taxa de crescimento ao ano	Variação da taxa de crescimento no ano
2000	689.186		
2001	700.491	1,640%	
2002	734.887	4,910%	199,344%
2003	745.566	1,453%	-70,406%
2004	757.226	1,564%	7,622%
2005	766.498	1,224%	-21,705%
2006	779.992	1,760%	43,774%
2007	792.460	1,598%	-9,202%
2008	797.963	0,694%	-56,557%
2009	814.463	2,068%	197,769%
2010	832.895	2,263%	9,446%

Fonte: autoria própria

Tabela 7 – Variação da taxa de crescimento anual do consumo de energia elétrica em Belo Horizonte 2000/2010

Consumo	Taxa de crescimento ao ano	Variação da taxa de crescimento no ano
1.734.074.776,00		
1.418.631.946,00	-18,191%	
1.386.882.711,00	-2,238%	-87,697%
1.401.327.768,00	1,042%	-146,539%
1.366.256.993,00	-2,503%	-340,285%
1.342.820.658,00	-1,715%	-31,459%
1.335.479.388,00	-0,547%	-68,129%
1.344.982.346,00	0,712%	-230,157%
1.378.484.825,39	2,491%	250,057%
1.478.589.529,55	7,262%	191,536%
1.518.803.852,00	2,720%	-62,548%

Fonte: autoria própria

Como pode ser observado, o número de clientes teve aumento em todos os anos, enquanto o consumo variou, hora aumentando e hora diminuindo. Também pode-se observar que, enquanto o crescimento do número de clientes variou entre 1 e 2% ao ano, a taxa de crescimento do consumo não seguiu um padrão e variou de forma inconstante.

Para esse estudo, foi adotada uma taxa de crescimento conservadora, tanto para o número de clientes quanto para o consumo, resultado da média aritmética dos últimos 5 anos de dados fornecidos pela Prefeitura de Belo Horizonte. Dessa forma, estabeleceu-se um crescimento de 1,677% anual para o número de clientes e de 2,528% para o consumo de energia elétrica.

Portanto, tendo como base a extrapolação de dados oriundos da Prefeitura de Belo Horizonte, para o presente trabalho foi considerado um consumo mensal por cliente residencial de Belo Horizonte de 159,75 kWh para o ano de 2016.

Tabela 8 – Dados de população e consumo de energia elétrica para os anos de 2011 a 2020

Ano	Número de Clientes	Tx de cresc do nº de clientes ao ano	Consumo (kWh)	Tx de cresc do consumo ao ano	Consumo médio mensal (kWh)
2011	846.865,65	1,677%	1.557.199.213	2,528%	153,23
2012	861.064,54	1,677%	1.596.565.209	2,528%	154,51
2013	875.504,59	1,677%	1.636.926.378	2,528%	155,81
2014	890.186,80	1,677%	1.678.307.877	2,528%	157,11
2015	905.115,23	1,677%	1.720.735.500	2,528%	158,43
2016	920.294,02	1,677%	1.764.235.693	2,528%	159,75
2017	935.727,35	1,677%	1.808.835.572	2,528%	161,09
2018	951.419,49	1,677%	1.854.562.935	2,528%	162,44
2019	967.374,80	1,677%	1.901.446.286	2,528%	163,80
2020	983.597,67	1,677%	1.949.514.848	2,528%	165,17

Fonte: autoria própria

3.3.2 Valor da energia paga em Belo Horizonte

Para se avaliar o valor pago pela energia consumida, foi necessário realizar uma pesquisa junto à concessionária que atende o município de Belo Horizonte.

Os consumidores dessa região são atendidos pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), que é responsável por 96% do abastecimento de energia elétrica do Estado de Minas Gerais, possuindo a maior rede de distribuição de energia elétrica da América do Sul, com mais de 525.244 quilômetros de extensão. A CEMIG é um dos maiores grupos do segmento de energia elétrica do Brasil, atuando em 22 estados e 774 municípios brasileiros e no Chile (CEMIG, 2015).

Desde 1º de janeiro de 2015, todas as concessionárias conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), seguem o sistema de bandeiras tarifárias imposto pela ANEEL, aplicado a todos os consumidores.

Então, para estabelecer o valor do kWh pago pelo consumidor Belo-horizontino, devemos conhecer melhor as tarifas incidentes sobre tais bandeiras.

3.3.2.1 Sistema de Bandeiras Tarifárias

Anteriormente, os custos com compra de energia pelas distribuidoras eram incluídos no cálculo das tarifas dessas distribuidoras e repassados aos consumidores até um ano depois de sua ocorrência, quando a tarifa era reajustada. Com as bandeiras, a sinalização mensal do custo de geração da energia elétrica que é cobrado do consumidor passa a constar nas faturas, com acréscimo já no mês da ocorrência do custo adicional com a compra de energia. Essa sinalização dá ao consumidor a oportunidade de adaptar seu consumo, ajudando a evitar um repasse maior posteriormente (CEMIG, 2015).

A cor das bandeiras tarifárias é definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, de acordo com as condições de geração energética. Existem três cores, verde, amarela e vermelha, como o semáforo, e elas indicam se a energia custa mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade. Dessa forma, o consumidor tem a oportunidade de gerenciar melhor o seu consumo de energia elétrica, reduzir o valor final da sua conta e ajudar a evitar o aumento dos custos com o funcionamento das usinas térmicas.

O significado das bandeiras, segundo a ANEEL, consta abaixo:

- Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,015 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora kWh consumido.
- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,045 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

A cada mês, as condições de operação do sistema são reavaliadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que define a melhor estratégia de geração de energia para atendimento da demanda. A partir dessa avaliação, define-se as térmicas que deverão ser acionadas. Se o custo variável da térmica mais cara for menor que R\$ 200/MWh, então a bandeira é verde. Se estiver entre R\$ 200/MWh

e R\$ 388,48/MWh, a bandeira é amarela. E se for maior que R\$ 388,48/MWh, a bandeira será vermelha. No final de cada mês, a bandeira do mês seguinte é divulgada no site da ANEEL.

3.3.2.2 Grupos Tarifários

No Brasil, as unidades consumidoras de energia elétrica são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A (alta tensão) e Grupo B (baixa tensão).

O Grupo A tem seus consumidores atendidos em tensão acima de 2.300 volts, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais. É subdividido de acordo com a tensão de atendimento, como mostrado a seguir.





- Subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.

O Grupo B tem suas unidades consumidoras atendidas em tensão abaixo de 2.300 volts, que em geral são residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais, grande parte dos edifícios comerciais e a maioria dos prédios públicos federais. É dividido em sub-grupos, de acordo com a atividade do consumidor, conforme apresentados a seguir:

- Subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Este trabalho trata sobre minimizar os custos de energia pagos pelos consumidores residenciais de Belo Horizonte. Portanto, utilizaremos o valor do kWh informado pela Cemig para o grupo B1, Residencial Normal, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Valor do kWh para cada bandeira tarifária pago pelo consumidor B1

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

Fonte: CEMIG

3.3.3 Dimensionamento dos equipamentos do sistema fotovoltaico

Com o objetivo de especificar os equipamentos utilizados no sistema fotovoltaico, realizou-se uma busca pelos principais fornecedores que atuam na cidade de Belo Horizonte.

3.3.3.1 O módulo fotovoltaico

Dentre as várias opções disponíveis no mercado, foi analisado o percentual de eficiência e custo de aquisição, e definiu-se que a placa solar a ser utilizada será da fabricante canadense Canadian, e suas especificações constam na Figura 11.



<i>Dimensões (mm)</i>	1638 x 982 x 40
<i>Peso do modelo</i>	18 kg
<i>Garantia do Fabricante</i>	10 anos contra defeito, 25 anos contra perda de eficiência superior a 20%
<i>Número de células e tipo</i>	60, Silício Policristalino
<i>Vidro, tipo e espessura</i>	vidro temperado de alta transmissividade, liga de alumínio anodizado, 3,2mm
<i>Corrente de curto circuito (A)</i>	9,23
<i>Faixa de potência painel</i>	acima de 155 Wp
<i>Potência máxima (Wp)</i>	265
<i>Tolerância</i>	mais ou menos 5W
<i>Voltagem de máxima potência (V)</i>	30,6
<i>Corrente de máxima potência (A)</i>	8,66
<i>Voltagem de circuito aberto (V)</i>	37,7
<i>Eficiência (%)</i>	16,47
<i>IP da caixa de junção</i>	67

Figura 11 - Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian CSI CS6P-265P

Fonte: Neosolar

Para definirmos a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem instalados, é necessário que se conheça a média diária de consumo de energia elétrica e o índice de insolação do local.

O consumo médio mensal de energia elétrica é de 159,75 kWh, como demonstrado no tópico 3.1. Para termos o consumo diário, basta dividir tal valor por 30 dias. Portanto, diariamente, necessita-se suprir 5.325 Wh/dia.

O índice de insolação para Belo Horizonte pode ser definido através da análise da Figura 12, que nos mostra uma média de 6 horas por dia.

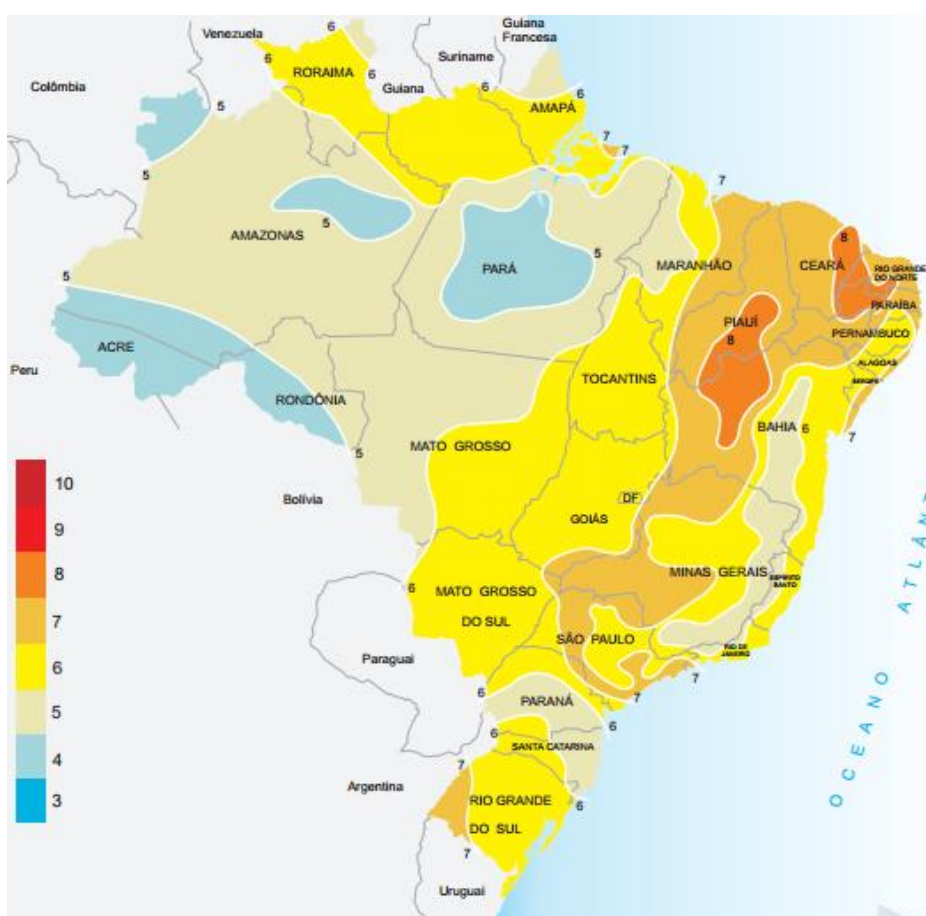


Figura 12 – Mapa de insolação diária no território brasileiro

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil

De posse desses dados, podemos partir para o cálculo do número de módulos fotovoltaicos a serem utilizados neste sistema.

Sabendo-se que diariamente para suprir a demanda da unidade consumidora, necessita-se gerar 5.325 Wh e que temos uma média de insolação diária de 6 horas, nosso sistema deverá gerar por hora 887,5 W de potência.

Os módulos escolhidos geram, cada um, no mínimo 155 W, sendo necessários 6 painéis para suprir a demanda estabelecida. Porém, uma vez que a eficiência do painel deve ser levada em consideração, calcula-se que 7 módulos fotovoltaicos devem ser instalados no consumidor residencial.

3.3.3.2 O inversor

Além dos módulos fotovoltaicos, definiu-se também para o projeto, o inversor *grid-tie* da austríaca Fronius. Seu principal papel é inverter a energia elétrica gerada pelo painel solar de corrente contínua para corrente alternada. Seu papel secundário é garantir a segurança do sistema fotovoltaico e gerar dados da geração de energia para o monitoramento do desempenho do seu sistema.

Para o dimensionamento do inversor, é necessário obter a potência gerada pelo sistema, que no nosso caso é 930 W, e aplicar sobre este valor uma margem de segurança de 20%. Dentre os inversores disponíveis no mercado, especificou-se um de potência até 2 kW, conforme Figura 13.



<i>Dimensões (mm)</i>	645 x 431 x 204
<i>Peso do modelo</i>	16,4 kg
<i>Garantia do Fabricante</i>	5 anos contra defeito de fabricação
<i>Faixa de Potência Inversor Grid-Tie</i>	até 2,0 kW
<i>Potência Máxima CA (VA)</i>	2140
<i>Voltagem mínima CC (V)</i>	120
<i>Voltagem de inicialização CC (V)</i>	140
<i>Voltagem máxima CC (A)</i>	420
<i>Corrente máxima CC (A)</i>	17,8
<i>Voltagem nominal de saída (CA)</i>	180 a 270
<i>Frequência (Hz)</i>	60
<i>Eficiência Máxima (%)</i>	96
<i>Consumo interno (noite)</i>	menor que 1W

Figura 13 - Inversor Fronius Galvo 2.0-1

Fonte: Neosolar

3.3.3.3 Demais materiais necessários à montagem

Além dos módulos fotovoltaicos e do inversor, ainda é necessário adquirir outros equipamentos, representados na Figura 14, como: cabos, conexões, suportes para montagem, conectores e quadro elétrico. São materiais menos substâncias em questão de valores, que variam de marcas e modelos dependendo do fornecedor ou da loja de insumos elétricos da região de instalação.

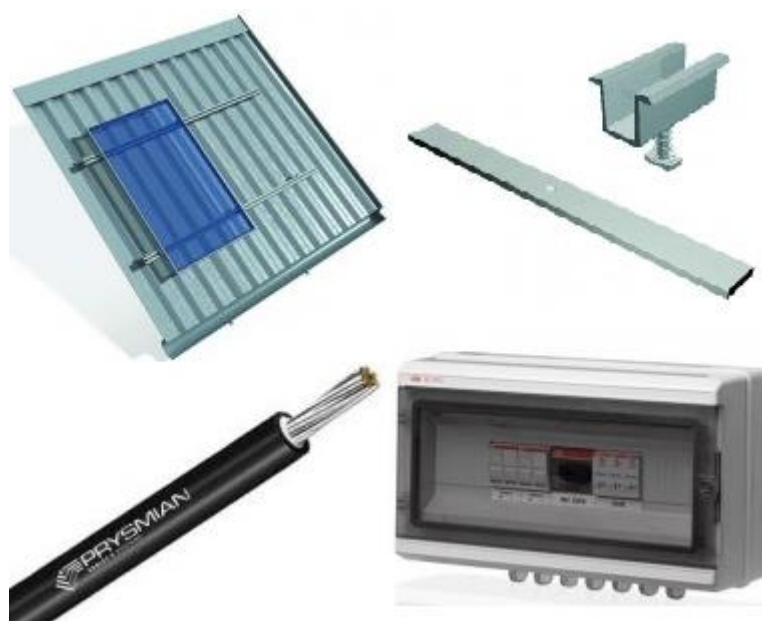


Figura 14 – Insumos de montagem do sistema fotovoltaico

Fonte: Neosolar

3.3.4 Análise Econômica

Na análise econômica deve-se levar em consideração o custo do investimento para que possa ser calculado o retorno financeiro esperado pelo cliente. Além disso, deve-se levar em consideração a variação do preço da tarifa de energia elétrica ao longo dos anos.

3.3.4.1 Custos de aquisição do sistema fotovoltaico

A fim de conhecer o valor a ser investido pelo cliente em sua totalidade com a aquisição do sistema completo, realizou-se um orçamento com a empresa Neosolar, referência no mercado brasileiro de tecnologia fotovoltaica.

Os custos de implantação estão relacionados à compra de materiais e à mão de obra especializada para a instalação e configuração do sistema, como mostrado na Figura 15.

Consumo Estimado	159,75 kWh
Custo do kWh CEMIG bandeira amarela + impostos	159,75 kWh
Equipamentos, material e mão de obra:	
7 und Paineis Fotovoltaicos 265 Wp Canadian	R\$ 19.589,73
1 und Quadro Elétrico IP 65 String Box	
7 und Kit de Montagem metálico para painéis	
1 und Inversor Fronius 2 kW	
1 und Monitor de dados	
Conectores, cabo e suporte	
Mão de obra de instalação	

Figura 15 – Orçamento do Sistema Fotovoltaico

Fonte: autoria própria adaptado de Neosolar

De acordo com o orçamento fornecido pela empresa, o cliente investiria R\$ 19.589,73, para suprir sua demanda de 159,75 kWh mensais.

3.3.5 Tempo de retorno do investimento

Visando viabilizar o investimento do cliente com o sistema fotovoltaico, calculou-se o custo de implantação para diversas faixas de consumo com o auxílio do software disponibilizado no site da empresa Neosolar, a mesma que forneceu o orçamento dos equipamentos apresentados anteriormente. O Gráfico 5 demonstra a variação do investimento de acordo com o consumo de energia elétrica mensal.

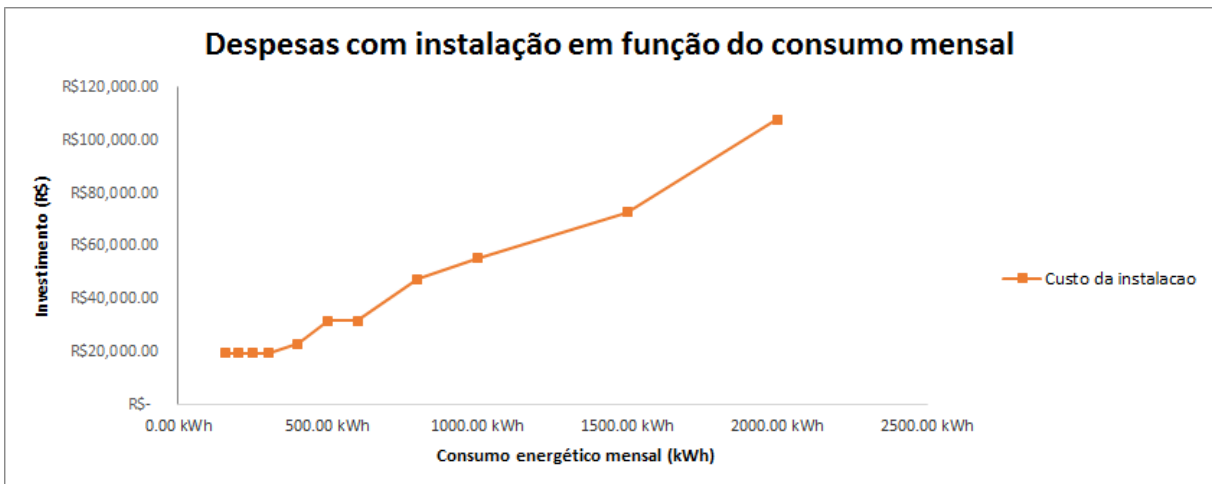


Gráfico 5 – Despesas com instalação em função do consumo mensal

Fonte: autoria própria adaptado de Neosolar

A Tabela 10 nos mostra a relação entre o investimento com o sistema fotovoltaico e a demanda por energia elétrica do cliente. Tem-se como resultado um valor em reais por cada kWh demandado, que diminui significativamente quanto maior é o consumo. Dessa forma, pode-se concluir que o investimento compensa ainda mais para aqueles que compram muita energia da concessionária.

Tabela 10 – Relação entre investimento com o sistema fotovoltaico e a demanda de energia elétrica

FAIXA DE CONSUMO MENSAL (kWh)	INVESTIMENTO COM INSTALAÇÃO DO SIST. FOTOVOLTAICO	INVESTIMENTO / DEMANDA = R\$/kWh
159,75	R\$ 19.589,73	R\$ 122,63
200,00	R\$ 19.589,73	R\$ 97,95
250,00	R\$ 19.589,73	R\$ 78,36
300,00	R\$ 19.589,73	R\$ 65,30
400,00	R\$ 23.112,49	R\$ 57,78
500,00	R\$ 31.685,27	R\$ 63,37
600,00	R\$ 31.685,27	R\$ 52,81
800,00	R\$ 47.614,88	R\$ 59,52
1000,00	R\$ 55.384,71	R\$ 55,38
1500,00	R\$ 72.777,18	R\$ 48,52
2000,00	R\$ 107.800,34	R\$ 53,90

Fonte: autoria própria

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento nos anos seguintes ao da instalação, considerou-se o valor atual do kWh como 0,907 centavos na bandeira amarela, intermediária, já acrescido dos impostos pertinentes.

Além disso, foi levado em conta o reajuste anual das concessionárias. Atualmente, a ANEEL autoriza o Reajuste Tarifário Ordinário para todas as concessionárias de energia elétrica, desde que o cálculo siga a fórmula prevista no contrato de concessão.

Para o ano de 2015, o índice de reajuste do consumidor residencial da CEMIG foi de 5,93% e do residencial baixa renda de 6,03%. (CEMIG, 2015). Portanto, neste trabalho considerou-se uma taxa de reajuste do custo do kWh de 6% ao ano, com o objetivo de extrapolar valores de consumo médio anual de energia elétrica para os próximos dez anos, estipulando que o cliente manteria sua faixa de consumo e não fizesse uso do sistema fotovoltaico.

Por fim, não foram adicionados custos com manutenção para o cálculo do retorno do investimento, uma vez que o CRESESB indica que a vida útil dos módulos fotovoltaicos é de pelo menos 20 anos, e a vida útil do inversor e do controlador de carga é superior a 10 anos. Logo, para o período considerado, não há valores substanciais de manutenção.

3.3.5.1 Gráficos do tempo de retorno do investimento

No gráfico 6, pode-se observar uma linha que retrata o gasto com energia elétrica que o consumidor estaria comprando da concessionária ao longo dos próximos dez anos, considerando o reajuste de 6% anual.

A segunda linha do gráfico 6, expressa o aporte financeiro que o cliente fez, em uma única parcela, com o sistema fotovoltaico dimensionado para atender à sua faixa de consumo. Importante mencionar que, a partir da instalação, considera-se que o balanço anual entre demanda e consumo é zero, ou seja, no total anual, o cliente não comprou energia da concessionária e nem gerou excedentes.

Analisando diferentes faixas de consumo, que variam de 159,75 kWh a 1.500 kWh, podemos perceber que o investimento para todas as faixas de demanda se paga antes de completar o período estabelecido de 10 anos, e que o investimento

que mais rápido é amortizado está entre 4 e 5 anos, representado no gráfico 7. Os demais consumos analisados constam no Anexo I.

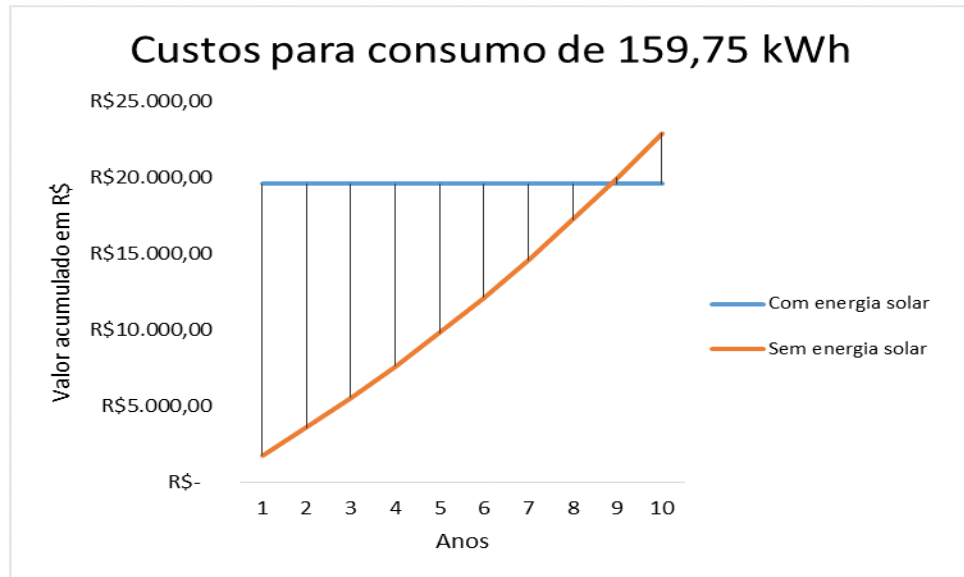


Gráfico 6 – Custo do consumo para a demanda de 159,75 kWh mensal

Fonte: autoria própria

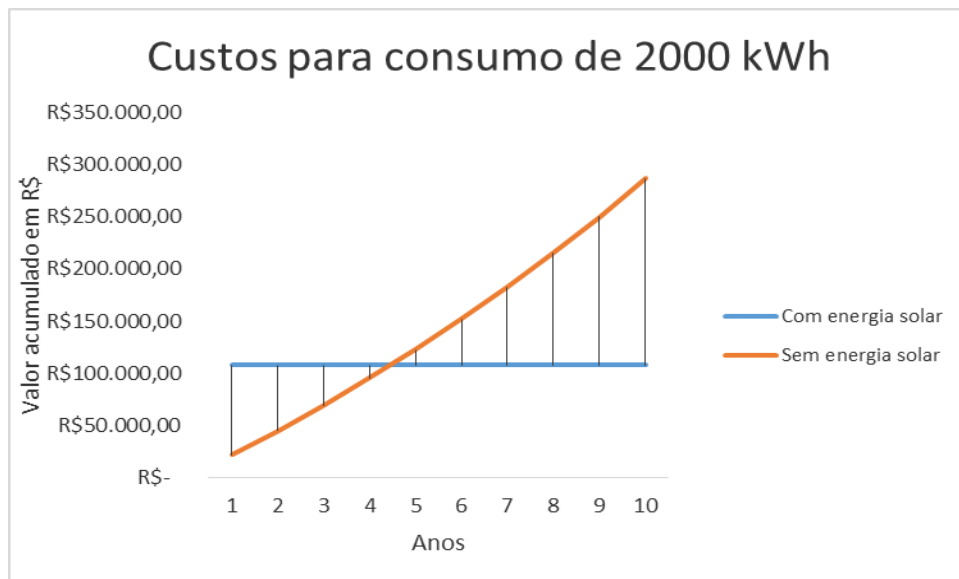


Gráfico 7 – Custo do consumo para a demanda de 2000 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

Além disso, foram realizadas duas análises de viabilidade econômica, uma por Valor Presente Líquido (VPL), e outra, considerando a aplicação do dinheiro na poupança.

Para a primeira forma, utilizou-se do VPL, fórmula de matemática-financeira utilizada em larga escala no mundo corporativo para verificar a viabilidade econômica de projetos. Para o cálculo do VPL é necessário conhecer o fluxo de caixa do projeto e a taxa de custo de capital. Caso o VPL seja positivo, existe a evidência de que aquele projeto é viável financeiramente, enquanto o VPL negativo evidencia que o negócio não é interessante economicamente.

Foi considerado que, após um investimento inicial para instalação do sistema solar, não haveriam gastos mensais com energia elétrica e que, portanto, esse valor seria poupado todo mês. O fluxo de caixa então foi construído de forma que no tempo 0 houvesse uma retirada de capital igual ao custo daquele projeto, e as entradas ocorreriam anualmente decorrentes do que foi poupado com energia elétrica. A Figura 16 mostra o fluxo de caixa para o consumidor mensal de 159,75 kWh que adotou o sistema de energia solar.



Figura 16 – Fluxo de caixa do projeto para o consumidor 159,75 kWh

Fonte: autoria própria

Este mesmo estudo foi realizado para as diferentes faixas de consumo apresentadas anteriormente, estipulando tempo duração do projeto de 10 anos e taxa de custo de capital igual a 7,44% ao ano, que corresponde ao rendimento anual da poupança. A Tabela 11 evidencia os valores encontrados de VPL para os diferentes sistemas.

Tabela 11 – VPL para diferentes faixas de consumo

Por VPL utilizando taxa igual a da poupança (7,44% ao ano)				
Consumo mensal em KWh	Custo de instalação do sistema	Valor presente do fluxo de caixa	Valor presente líquido do projeto	Significado
159,75	R\$ 19.589,73	R\$15.241,19	-R\$4.348,54	O VPL negativo indica que a instalação do sistema de energia solar não ira se pagar no prazo de 10 anos
200,00	R\$ 19.589,73	R\$19.081,30	-R\$508,43	O VPL negativo indica que a instalação do sistema de energia solar não ira se pagar no prazo de 10 anos
250,00	R\$ 19.589,73	R\$23.851,63	R\$4.261,90	O VPL positivo indica que a instalação do sistema de energia solar irá se pagar em um tempo inferior a 10 anos. Além disso, ao investir no sistema de energia solar, o fluxo de caixa positivo do projeto, convertido para os valores atuais, é igual igual os respectivos valores da coluna "valor presente líquido do projeto"
300,00	R\$ 19.589,73	R\$28.621,96	R\$9.032,23	
400,00	R\$ 23.112,49	R\$38.162,61	R\$15.050,12	
500,00	R\$ 31.685,27	R\$47.703,26	R\$16.017,99	
600,00	R\$ 31.685,27	R\$57.243,91	R\$25.558,64	
800,00	R\$ 47.614,88	R\$76.325,22	R\$28.710,34	
1000,00	R\$ 72.777,18	R\$95.406,52	R\$22.629,34	
1500,00	R\$ 107.800,34	R\$143.109,78	R\$35.309,44	

Fonte: autoria própria

É possível perceber que, analisando simplesmente de forma financeira, adotar o sistema solar para o consumo de 159,75 kWh e 200kWh é inviável para um tempo de projeto de 10 anos, pois seu VPL é negativo. Enquanto que os demais consumos apresentados são considerados economicamente viáveis, como mostrado no gráfico 8.

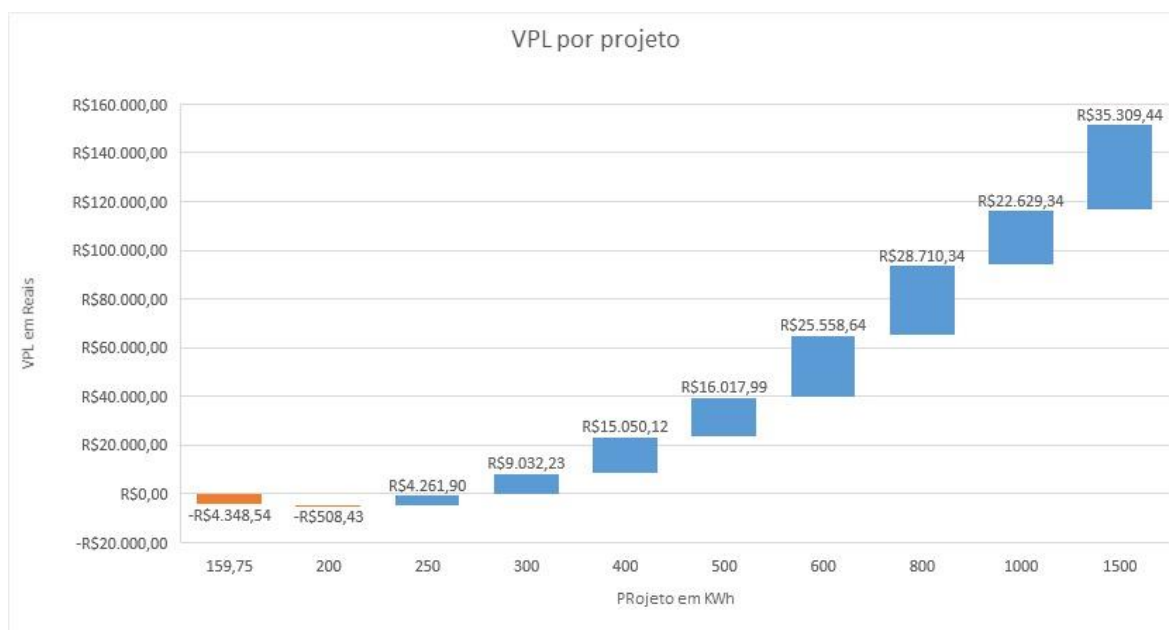


Gráfico 8 – VPL para as diferentes faixas de consumo

Fonte: autoria própria.

A segunda forma de análise de viabilidade financeira consiste em verificar quanto tempo o proprietário conseguiria arcar com o custo energético mensal, considerando que o mesmo possua o valor de instalação do sistema e o deixe rendendo na poupança, ao mesmo tempo que faz retiradas mensais para pagamento das contas de eletricidade da concessionária.

Os resultados dessa análise financeira para os diferentes consumidores e diferentes capitais de investimento podem ser verificados na tabela 12.

Tabela 12 – Viabilidade econômica considerando rendimento de poupança

Viabilidade econômica, caso o proprietário investisse o custo da instalação do sistema no banco com rendimento igual 0,6% ao mês. Do valor investido, serão realizadas retiradas mensais iguais ao custo da conta de energia.				
Consumo mensal em KWh	Valor investido no banco	Valor acumulado pelo proprietário após 10 anos (corrigido pela inflação de)	Tempo em meses para zerar a poupança	Significado
159,75	R\$ 19.589,73	R\$ 3.555,69	147 meses	Caso o fosse investido na poupança R\$19589,73 e a conta de energia mensal fosse paga através do rendimento desse fundo, seriam necessários 147 meses para esgotar o mesmo
200,00	R\$ 19.589,73	-R\$ 692,10	115 meses	O valor investido (custo de instalação do sistema) não é suficiente para bancar o custo energético dessas residências em 10 anos. Na coluna 4 dessa tabela, é possível identificar o número de meses necessários para que o fundo chegue a zero.
250,00	R\$ 19.589,73	-R\$ 5.968,86	91 meses	
300,00	R\$ 19.589,73	-R\$ 11.245,63	75 meses	
400,00	R\$ 23.112,49	-R\$ 18.127,99	66 meses	
500,00	R\$ 31.685,27	-R\$ 19.747,61	73 meses	
600,00	R\$ 31.685,27	-R\$ 30.301,14	60 meses	
800,00	R\$ 47.614,88	-R\$ 34.807,54	69 meses	
1000,00	R\$ 72.777,18	-R\$ 29.692,32	84 meses	
1500,00	R\$ 107.800,34	-R\$ 45.961,44	83 meses	

Fonte: autoria própria

De acordo com a tabela 12 é possível perceber que todos os consumidores com consumo mensal maior ou igual a 200kWh que investirem na poupança o valor correspondente ao custo de instalação do sistema vão zerar o valor investido em menos de 10 anos, comprovando a viabilidade da instalação do sistema fotovoltaico. Os gráficos 9 e 10 evidenciam a duração em meses que este capital investido renderia no banco até zerar para cada tipo de projeto e os valores investidos e acumulados ao longo dos 10 anos.



Gráfico 9 – Poupança mensal para diferentes faixas de consumo

Fonte: autoria própria.

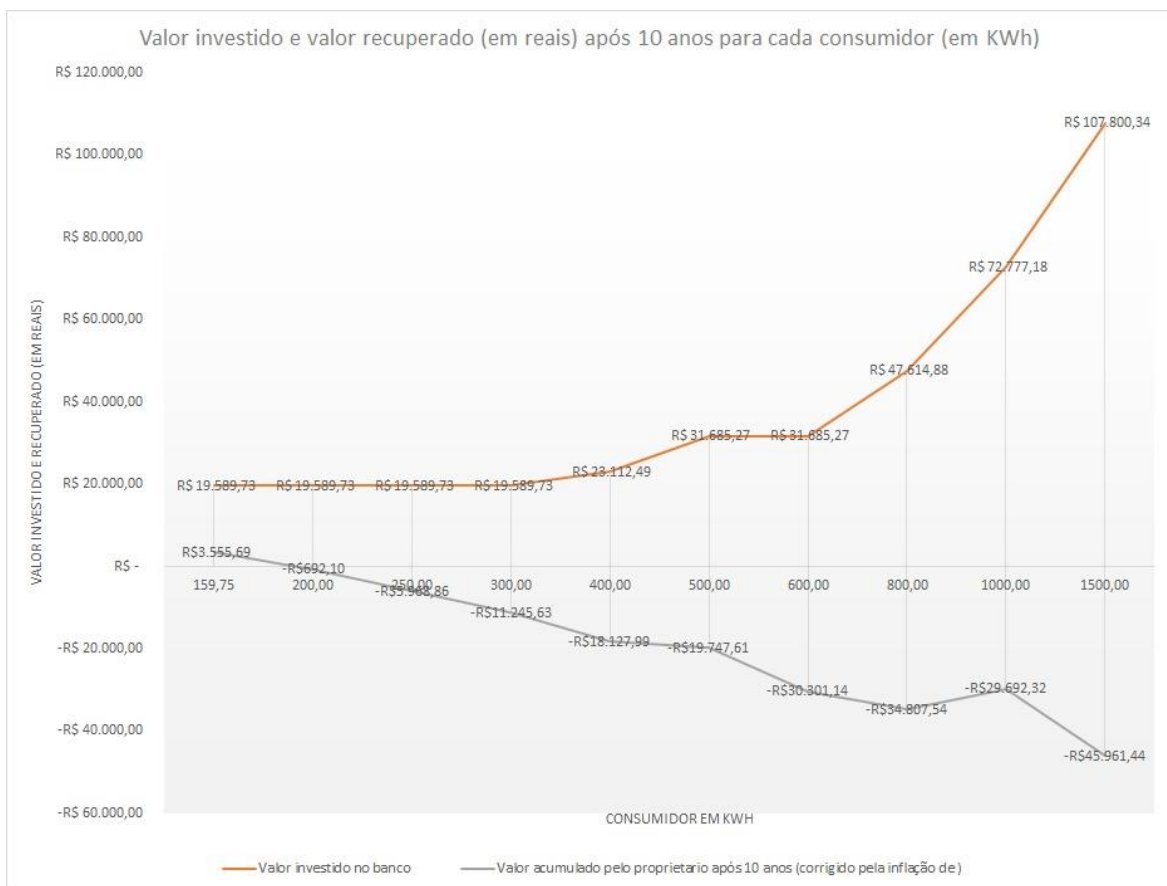


Gráfico 10 – Valor investido e recuperado

Fonte: autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises apresentadas neste trabalho, sabe-se que as fontes de energia mais exploradas ao longo do mundo não se mostram capazes de suprir a demanda mundial por eletricidade, tornando-se necessário diversificar a matriz. Foram demonstradas as vantagens da utilização da energia solar e o potencial brasileiro para a utilização dessa tecnologia, dando enfoque aos sistemas fotovoltaicos interligados à rede.

Concluiu-se que tais sistemas ainda não são amplamente utilizados pelo seu alto investimento inicial, mas este decresce à medida que os governos investem em pesquisa e tecnologia para tornar o sistema economicamente viável, e que incentivam a criação de financiamentos e benefícios para os consumidores que o utilizam. O governo brasileiro, por exemplo, lançou programas de incentivo ao uso do sistema fotovoltaico, como o Luz Para Todos e o PROINFA, e também regulamentou o sistema interligado à rede através da Resolução 482 da ANEEL e do PRODIST.

O trabalho buscou a relação entre consumo, investimento e manutenção, que torna viável a instalação de um sistema fotovoltaico em residências localizadas em Belo Horizonte. Assim, foram apresentados valores de investimentos com o sistema fotovoltaico para diferentes faixas de consumo, e comprovado que o tempo de retorno do investimento para oito dos dez os casos analisados, é menor que o tempo da primeira manutenção do sistema. Ou seja, o investimento é amortizado antes do prazo esperado.

Por fim, concluiu-se que o objetivo geral deste trabalho foi cumprido, pois este demonstrou um novo meio de abastecimento energético para consumidores residenciais, abordando aspectos da sua viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.P.C. Guimarães, C.M. Ribeiro, L.E.G. Bastos, L.C.G. Valente, P.C.D. Silva, and R.X.D. Oliveira. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPEL - CRESESB, 2004.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/bandeira_tarifaria> Acesso em 10/01/2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Programa PROINFA**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/proinfa>> Acesso em 05/01/2017.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3a. Ed.. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_capa_sumario.pdf>. Acesso em: 21/10/2016.

Atlas Brasileiro de Energia Solar. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf> Acesso em 01/10/2016.

CCEE. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio> Acesso em 06/01/2017.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/Bandeiras_tarif%C3%A1rias.aspx> Acesso em 10/01/2017.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Reajustes Tarifários**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/Reajustes_tarifarios_Cemig_2015.aspx> Acesso em 10/01/2017.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Valores de Tarifas e Serviços.** Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx> Acesso em 10/01/2017.

CRESEB. **Atlas Solarimétrico do Brasil.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf> Acesso em 20/01/2017.

EIA. **Energy Information Administration.** Disponível em: <http://www.eia.gov/beta/international/data/browser/#/?pa=000000200000000000000000000004&c=00000200000g&ct=0&tl_id=2-A&vs=INTL.2-2-BRA-BKWH.A&ord=SA&cy=2014&vo=0&v=H&start=1980&end=2014> Acesso em 11/01/2017.

Energia Solar. Disponível em: <<http://greenluce.com.br/energia-solar/descricao-energia-solar/>> Acesso em 06/01/2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional.** Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf> Acesso em 12/10/2016.

FIGUEIRA, Fábio Fernandes. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para alimentar a sala de computação da escola municipal Tenente Antônio João. Monografia.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

GOLDEMBERG, José. O Exemplo do Brasil. **National Geographic Brasil:** edição especial energia. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 16-29, nov. 2012.

Infocalidade. Disponível em: <<http://www.infocalidade.net/archives/noticia/primeiras-acreditaciones-de-enac-de-huecos-tension-de-instalaciones-fotovoltaicas>> Acesso em 06/05/2017.

Kasatec Energia Solar. Disponível em:
<<http://kasatecenergiasolar.commercesuite.com.br/>> Acesso em 06/05/2017.

Loja Elétrica. Disponível em: <<http://www.lojaeletrica.com.br/>> Acesso em 06/05/2017.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Programa Luz Para Todos**. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp> Acesso em 08/01/2017.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Programa PROINFA**. Disponível em:
<<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>> Acesso em 05/01/2017.

NEOSOLAR. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-265wp-canadian-csi-cs6p-265p.html>> Acesso em 01/02/2017.

Painéis Fotovoltaicos. Disponível em:
<<http://www.paineisfotovoltaicos.com/funcionamento.php>> Acesso em 06/05/2017.

PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Curitiba: Hemus, 2002. 358 p.

PBH. **Prefeitura de Belo Horizonte**. Disponível em:
<<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento=download&urlArqPlc=des-t012a.xls>> Acesso em 06/01/2017.

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004.

PROCEL. **Manual de tarifação da energia elétrica**. 2011. Disponível em: <
http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf> Acesso em 10/01/2017. CEPEL -CRESESB, 2004.

SILVA, Ennio Peres da. Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento. **O Futuro dos Recursos # 1.** Disponível em: <http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_01/A04_SilvaCamargo_port.PDF>.

Acesso em: 21/10/2016.

Solar Gis. Disponível em: <<http://solargis.info/>>. Acesso em 09/01/2017.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica conceitos e aplicações:** sistemas isolados e conectados à rede. São Paulo: Érica, 2012. 223 p.

APÊNDICE I – Custos de energia elétrica para diferentes faixas de consumo

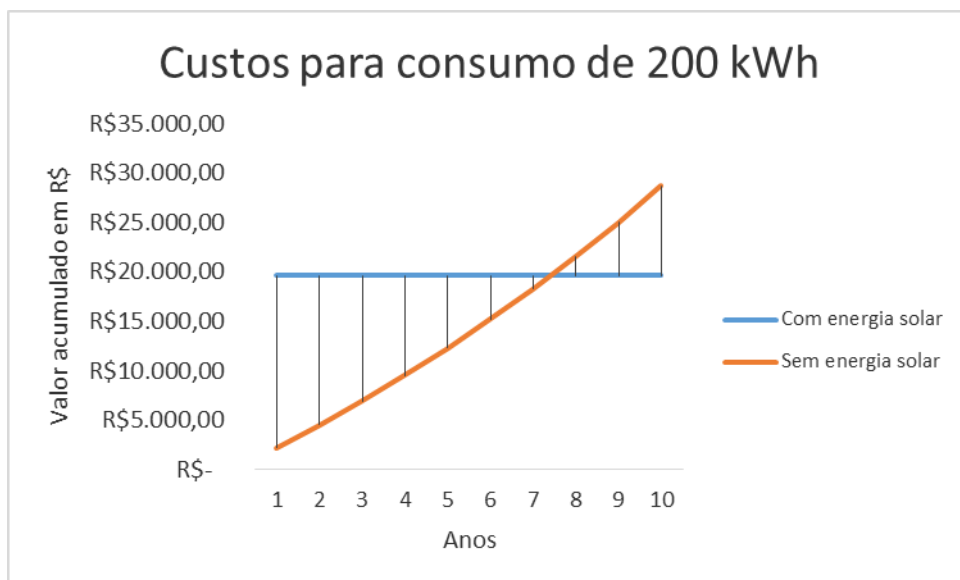


Gráfico 11 – Custo do consumo para a demanda de 200 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

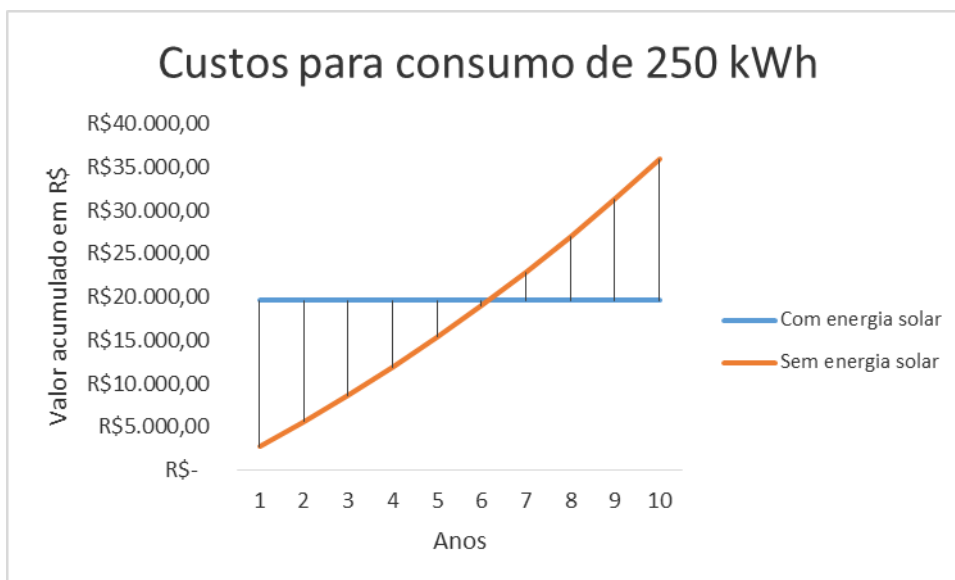


Gráfico 12 – Custo do consumo para a demanda de 250 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

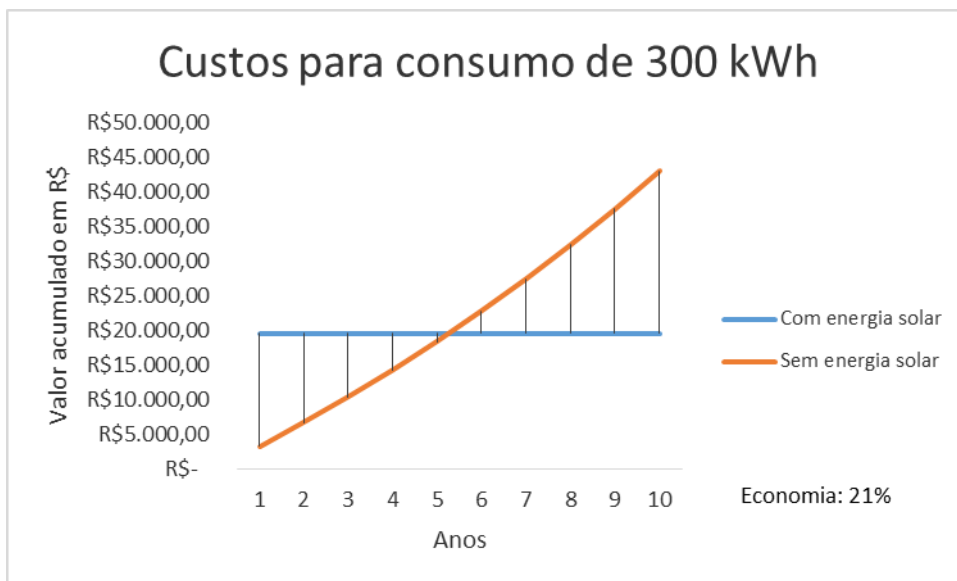


Gráfico 13 – Custo do consumo para a demanda de 300 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

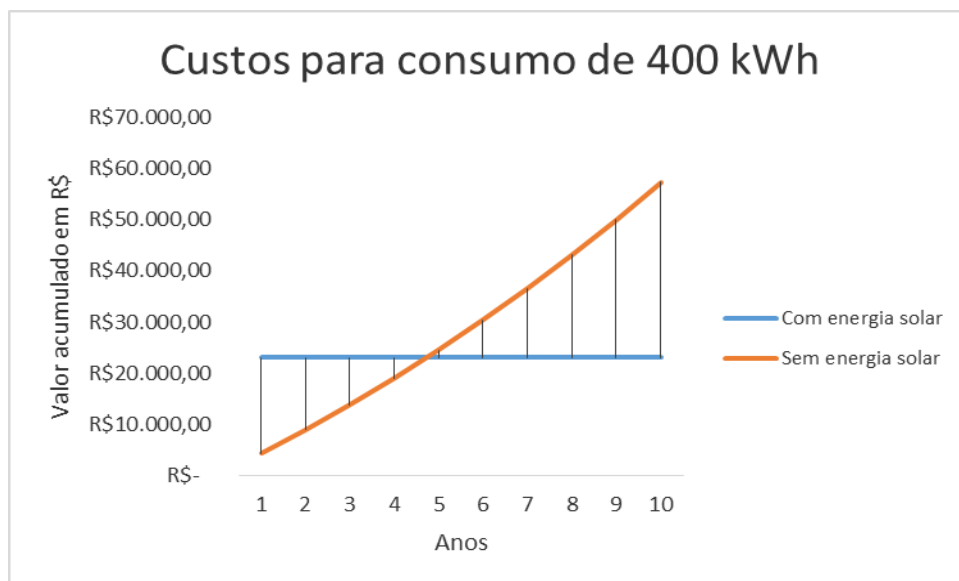


Gráfico 14 – Custo do consumo para a demanda de 400 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

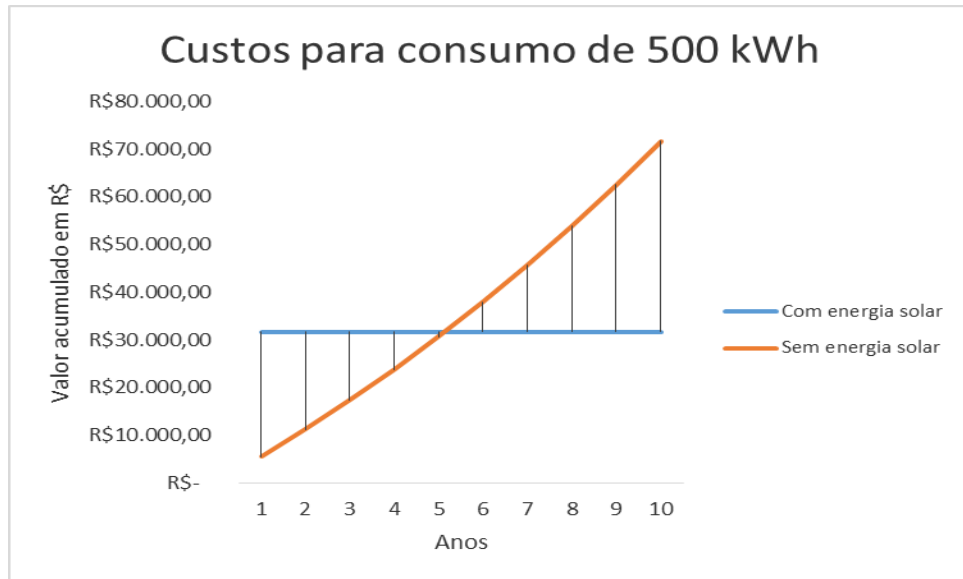


Gráfico 15 – Custo do consumo para a demanda de 500 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

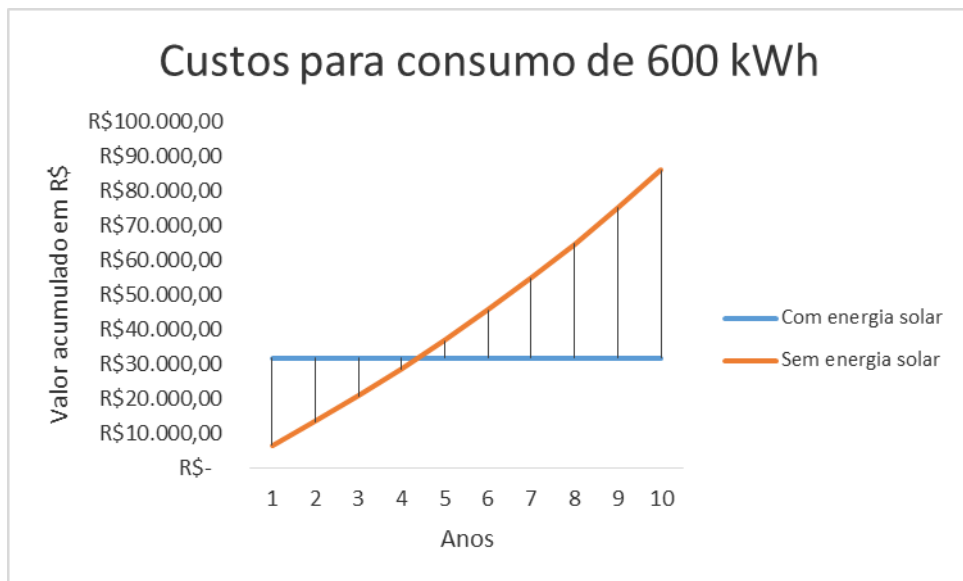


Gráfico 16 – Custo do consumo para a demanda de 600 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

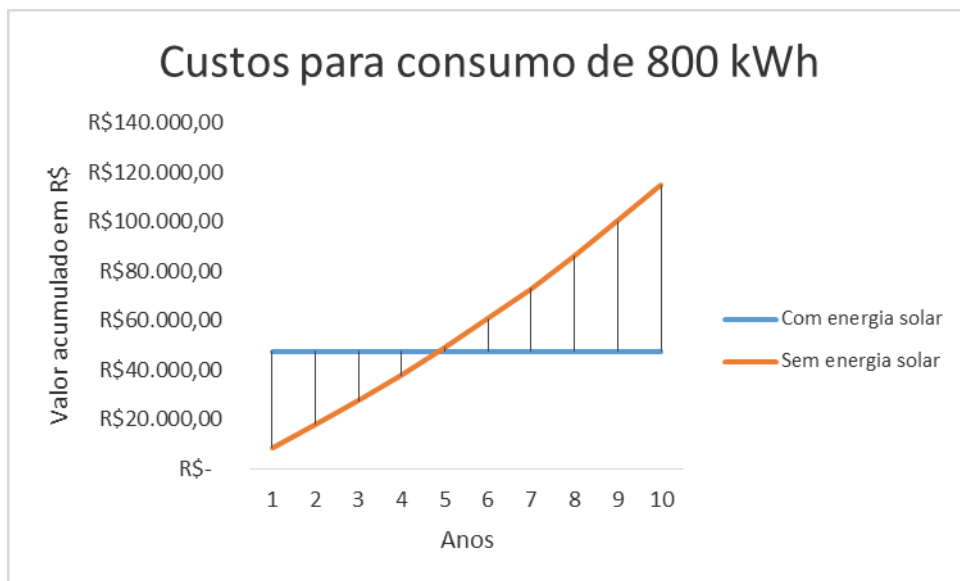


Gráfico 17 – Custo do consumo para a demanda de 800 kWh mensal

Fonte: autoria própria.

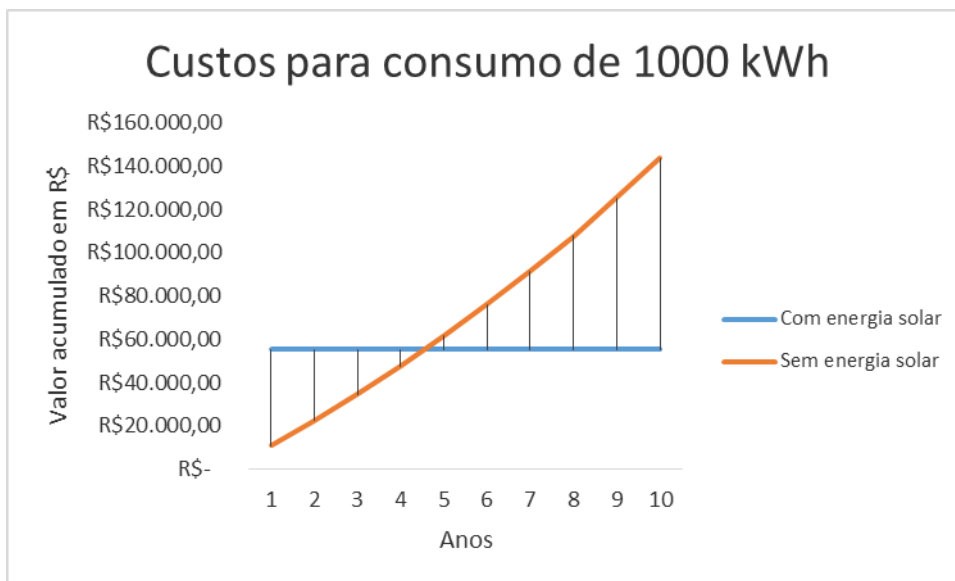


Gráfico 18 – Custo do consumo para a demanda de 1000 kWh mensal

Fonte: autoria própria.



Gráfico 19 – Custo do consumo para a demanda de 1500 kWh mensal

Fonte: autoria própria.