

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDREHAS MARQUES VALADÃO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL
CONECTADO À REDE**

Ilha Solteira

2022

ANDREHAS MARQUES VALADÃO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL
CONECTADO À REDE**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Carlos Antonio Alves

Orientador

Ilha Solteira

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S729a Souza, Andrehas Marques Valadão de.
Avaliação econômica de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede / Andrehas Marques Valadão de Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
55 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Carlos Antonio Alves
Inclui bibliografia

1. Geradores fotovoltaicos. 2. Compensação energética. 3. Payback.


Raiane da Silva Santos

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

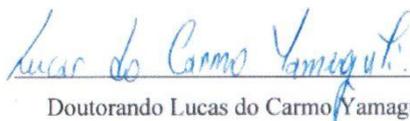
Aos onze dias do mês de Agosto do ano de dois mil e vinte e dois, o discente **ANDREHAS MARQUES VALADÃO DE SOUZA**, matriculado sob o nº 152054766, tendo como banca examinadora o seu orientador, o *Prof. Dr. Carlos Antônio Alves*, o *Prof. MSc. Lucas do Carmo Yamaguti* e o *Prof. MSc. Rodrigo Daltin*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL", obtendo a nota 9,0 (nove) e conceito APROVADO.



Prof. Dr. Carlos Antonio Alves
- Orientador -



Andrehas Marques Valadão de Souza
- Discente -



Doutorando Lucas do Carmo Yamaguti
- Membro da Banca -



Doutorando Rodrigo Daltin
- Membro da Banca -

Dedico

À minha avó Severina Marques,
ao meu avô Manoel Marinho
Valadão e à minha mãe Luciene
Marques Valadão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha família por me dar as condições necessárias para entrar numa faculdade como a Unesp de Ilha Solteira.

Aos meus avôs maternos, minha avó paterna e à minha mãe por me darem suporte, segurança financeira e emocional para seguir no curso até o fim.

À todos os professores que me passaram o conhecimento e contribuíram para que eu me tornasse uma pessoa e profissional melhor, principalmente aos professores Dionízio Paschoareli, Anna Diva Plasencia Lotufo e Carlos Alves por me darem suporte todas as vezes que precisei e sempre se dispuseram a ajudar quando necessário.

RESUMO

Com a maturidade da tecnologia dos sistemas de geração fotovoltaicos em escala mundial, fatores como o retorno do investimento podem ser avaliados mais meticulosamente, aproximando de forma mais precisa o projeto dos resultados finais de geração e economia aos consumidores. Neste trabalho é avaliado um sistema fotovoltaico residencial e confrontado os dados preliminares do integrador e o que efetivamente foi obtido após mais de um ano de funcionamento, permitindo fazer uma comparação precisa e indicar diferenças no dimensionamento do sistema, no *payback* estimado e real. Os resultados indicam algumas diferenças e destacam alguns pontos que podem ser melhor considerados tanto na proposta quanto na avaliação típica de retorno do investimento deste tipo de sistema, como por exemplo o valor médio do quilowatt-hora, este que na proposta é de R\$0,85, mas nos cálculos de média das faturas obteve-se um valor de R\$0,92, o qual impactou no tempo de retorno do investimento.

Palavras-chave: Compensação energética, geradores fotovoltaicos, *payback*.

ABSTRACT

With the maturity of the technology of photovoltaic generation systems on a global scale, factors such as return on investment can be evaluated more meticulously, bringing to the project closer to the final results of generation and savings for consumers. In this paper, a residential photovoltaic system is evaluated and the integrator's preliminary data is compared with what was actually obtained after more than a year of operation, which allows an accurate comparison and indicates differences in system designing, estimation and actual return on investment. The results indicate some differences and highlight some points that can be better considered both in the proposal and in the typical evaluation of the return on investment of this type of system, such as the average value of the kilowatt-hour, which in the proposal is R\$0.85, but in the average bill calculation a value of R\$0.92 was obtained, which impacted the return on investment time.

Keywords: Energy compensation, photovoltaic generators, payback.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fontes de geração de energia elétrica no Brasil e no mundo.....	13
Figura 2 - Fontes de geração de energia elétrica no mundo.....	14
Figura 3 - Capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil.....	15
Figura 4 - Geração de energia elétrica fotovoltaica no Brasil.....	16
Figura 5 - Potência instalada da GD fotovoltaica no Brasil.....	17
Figura 6 - Custo médio do kW de um gerador fotovoltaico instalado.....	20
Figura 7 - Fluxo de energia quando não há geração	22
Figura 8 - Fluxo de energia quando há geração.....	22
Figura 9 - Fatura de energia elétrica convencional.....	27
Figura 10 - Figura 10 - Fatura de energia elétrica com sistema fotovoltaico instalado.....	29
Figura 11 - Geração do SFV Residencial.....	33
Figura 12 - Perfil de consumo residencial antes do gerador.....	35
Figura 13 - Perfil de consumo residencial com gerador fotovoltaico operando.....	36
Figura 14 - Energia injetada na rede e consumo residencial.....	38
Figura 15 - Valores de faturas sem e com sistema fotovoltaico.....	39
Figura 16 - Valores de faturas no período estudado.....	40
Figura 17 - Valores monetários reais economizados durante o período.....	40
Figura 18 - Acúmulo monetário real com o sistema instalado em 25 anos.....	41
Figura 19 - Consumo próprio residencial.....	42
Figura 20 - Consumo total residencial.....	43
Figura 21 - Economia considerando-se consumo total de energia.....	44
Figura 22 - Acúmulo monetário e payback com consumo total de energia.....	45
Figura 23 - Acúmulo monetário da proposta em 24 anos.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração mensal residencial.....	33
Tabela 2 - Dados de consumo de energia elétrica do consumidor residencial.....	34
Tabela 3 - Dados de fatura de energia: créditos gerados e consumidos.....	37
Tabela 4 - Valor de faturas considerando-se consumo próprio.....	44
Tabela A1 - Planilha das faturas: consumo do consumidor residencial.....	50
Tabela A2 - Planilha das faturas: geração do consumidor residencial.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaico
Aliq	Alíquota
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta tensão
BT	Baixa tensão
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
CONFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
MT	Média tensão
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PIS	Programa de Integração Social
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
REN	Resolução Normativa
SFV	Sistema fotovoltaico
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 MATRIZES ELÉTRICAS NO MUNDO E NO BRASIL.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	17
2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	19
2.1 EVOLUÇÃO DO PREÇO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	19
2.2 REGRAS DA GD NO BRASIL SEGUNDO A ANEEL	20
2.3 O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA.....	21
2.4 MODALIDADES TARIFÁRIAS.....	24
2.5 A FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA	27
3 AVALIAÇÕES E DESENVOLVIMENTO.....	32
3.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....	32
3.1.1 CONSUMO RESIDENCIAL E ENERGIA ELÉTRICA INJETADA NA REDE ...	34
3.1.2 DADOS FINANCEIROS E PAYBACK RESIDENCIAL.....	38
3.1.3 PAYBACK RESIDENCIAL TOTAL CONSIDERANDO O CONSUMO PRÓ- PRIO.....	41
4 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE 1 - Planilha de cálculo da faturas do consumidor residência.....	50
ANEXO A- Tabelas de tarifas concessionária ELEKTRO.....	52

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um dos recursos mais importantes de qualquer nação e serve de indicador de crescimento e desenvolvimento de um país. Por isso, deve-se sempre buscar o uso racional, visando tanto economia quanto o seu melhor aproveitamento.

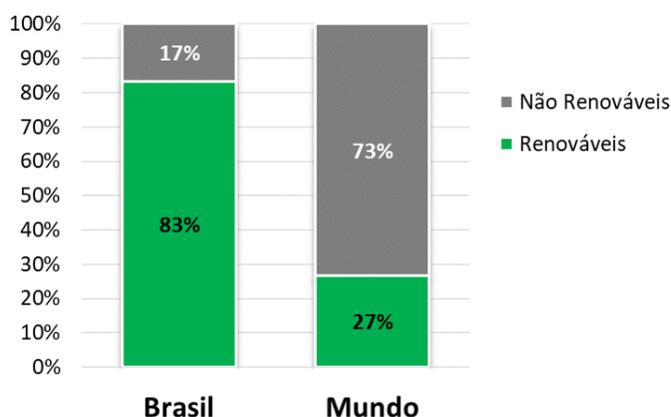
Contudo, a inflação energética se tornou cada vez mais evidenciada nos últimos anos, seja por falta de recursos para as fontes de energia elétrica usuais, seja devido a fatores humanos inesperados. Como exemplo, a guerra na Ucrânia durante o ano de 2022 que foi um fator responsável pelos aumentos dos custos de energia na Europa, devido à ameaça ou ao corte do gás importado da Rússia pelos países europeus que dependem de tal gás para compor suas matrizes elétricas.

Alguns dos maiores problemas enfrentados pela humanidade também foram com relação ao aquecimento global que se sucedeu nos últimos anos, o qual teve como uma das suas principais soluções a geração de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis, que geralmente diminuem a emissão de gases do efeito estufa e a poluição do meio ambiente.

1.1 MATRIZES ELÉTRICAS NO MUNDO E NO BRASIL

A forma de geração da energia elétrica varia consideravelmente entre as diversas nações, com destaque para o Brasil que utiliza, em grande parte, fontes renováveis. Na Figura 1 foi apresentada uma comparação entre as fontes no Brasil e no Mundo segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no ano de 2019.

Figura 1 - Fontes de geração de energia elétrica no Brasil e no mundo

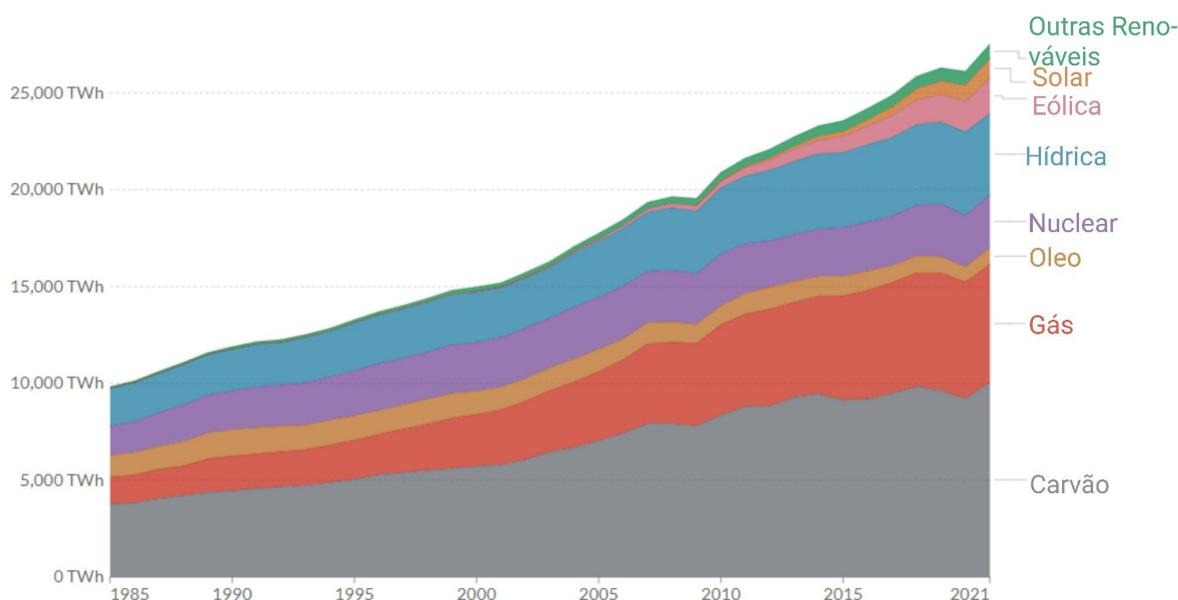


Fonte: EPE (2022)

Como resultado deste tipo predominante de geração, a fonte renovável é a interação mais harmônica com o meio ambiente, uma vez que são menos poluentes e apresentam menores taxas de emissão de CO² na atmosfera. Todavia, problemas climáticos, sazonais ou mesmo ligados ao tipo de geração quanto a intermitência tornam o sistema algo bastante complexo e com custo de geração muito diversificado.

A evolução das principais fontes da matriz elétrica mundial foi apresentada na Figura 2, pela qual inferiu-se que as fontes mais utilizadas para geração de energia elétrica foram, no ano de 2021, as de carvão, gás, hidro e nuclear, sendo carvão e gás responsáveis por mais de 16,7 TWh gerados, o que representa aproximadamente 60% da geração em todo o mundo.

Figura 2 - Fontes de geração de energia elétrica no mundo



Fonte: Our World in Data (2022)

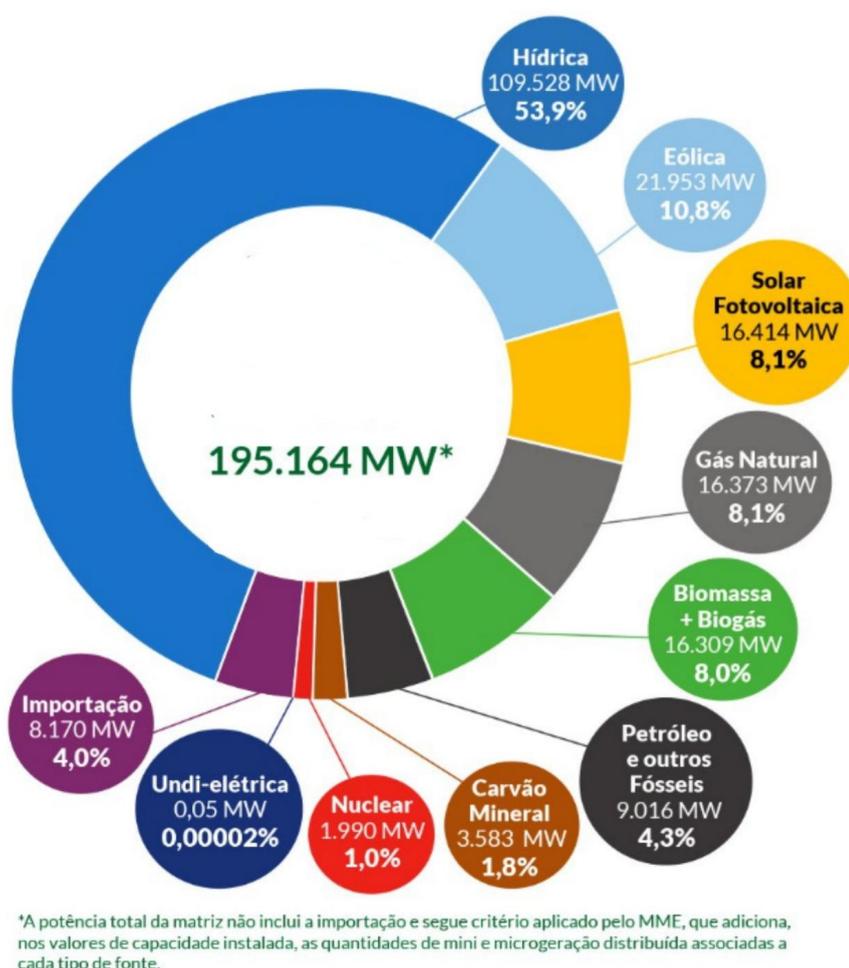
Na Figura 2 observou-se as diferentes variações das fontes renováveis mais novas, como sistemas eólicos e solares, que apresentam curvas com crescimento mais acentuado devido a investimentos maciços, políticas estratégicas e diretrizes globais que destacam menores impactos ambientais.

No ano de 2021, a matriz elétrica mundial teve sua composição majoritária de geração de energia elétrica baseada em carvão mineral, responsável por mais de um terço dos 27,5 TWh gerados em todo o mundo. Ainda no mesmo ano, a fonte de

geração fotovoltaica foi de pouco mais de 1 TWh, ou seja, aproximadamente 3,72% de toda energia elétrica gerada.

A matriz elétrica brasileira mais recente foi apresentada na Figura 3. Observou-se nela o crescimento significativo da participação das fontes renováveis, com os sistemas solares fotovoltaicos, com geração centralizada e distribuída atingindo 8,1%. No ano de 2020 esse percentual representava apenas 1,7% da matriz total (ABSOLAR, 2020).

Figura 3 - Capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2022)

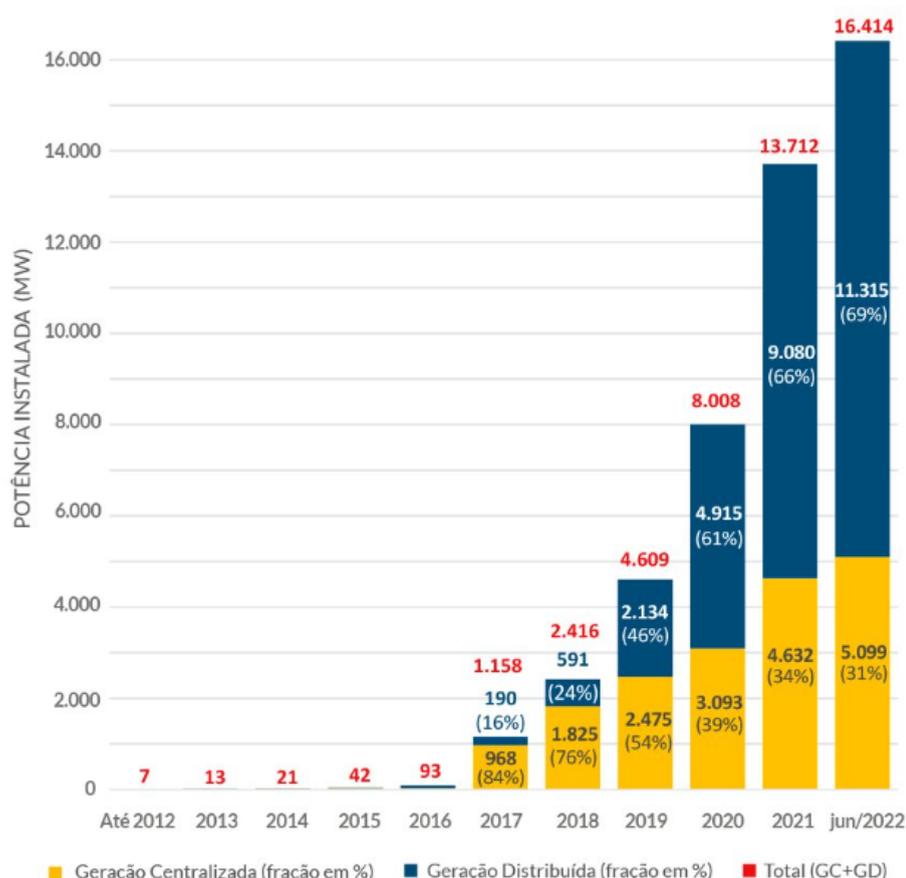
A geração de energia solar fotovoltaica no Brasil estava basicamente dividida em duas vertentes em 2022: geração distribuída (GD) e geração centralizada. A GD representa a energia gerada no local em que é consumida ou em suas proximidades, beneficiando diretamente seu(s) consumidor(es) final(is), ou

seja, em residências, comércios, indústrias e empreendimentos do poder público, por exemplo.

A geração centralizada corresponde àquelas fontes de geração de energia elétrica normalmente de grande porte, que podem estar afastadas dos consumidores finais. Por meio das linhas de transmissão e todo aparato tecnológico, a energia deste tipo de geração é levada aos consumidores.

O desenvolvimento das fontes geradoras de energia solar fotovoltaica no Brasil foi ilustrado pela Figura 4, no qual observa-se uma curva exponencial de crescimento desde 2016 até a atualidade decorrente de diversos fatores.

Figura 4 - Geração de energia elétrica fotovoltaica no Brasil



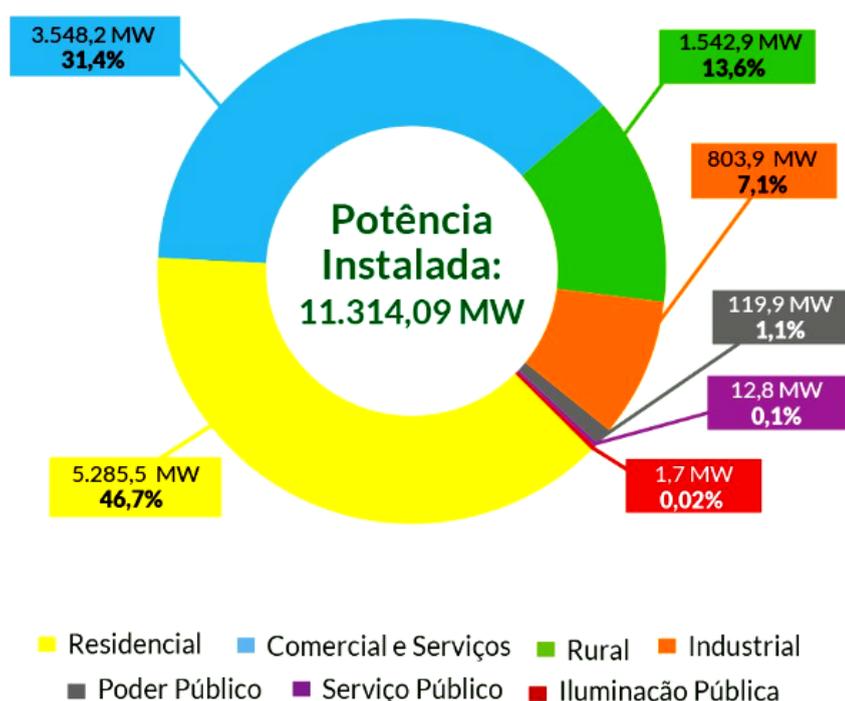
Fonte: ABSOLAR (2022)

Destacou-se a partir da Figura 4 que entre 2019 e 2022, a GD atingiu um percentual superior a geração centralizada (GC). Este fato teve como uma das justificativas o aumento do custo de energia, a possibilidade de mudanças na

tarifação dos sistemas solares a serem instalados no futuro, a queda dos preços dos sistemas fotovoltaicos entre outros fatores.

Na Figura 5 apresentou-se a distribuição da GD de SFV no Brasil de acordo com a classe dos consumidores.

Figura 5 - Potência instalada da GD fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2022)

Foi observado na Figura 5 que mais de 77% da potência instalada da geração distribuída provém de geradores residenciais e comerciais, que tornaram-se mais acessíveis com o desenvolvimento tecnológico. Este quadro reflete a maturidade desta fonte de geração de energia elétrica, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo.

Tamanho potência instalada, remeteu a quantidade de geradores fotovoltaicos para consumidores residenciais, os quais adquiriram aqueles a partir de projetos e dimensionamentos feitos baseados nos respectivos perfis de consumo e valores se custo médio do quilowatt-hora, calculados baseados na(s) fatura(s) de energia elétrica de períodos predecessores a aquisição do sistema fotovoltaicos.

1.2 OBJETIVOS

Diante da maturidade dos sistemas de geração fotovoltaica, baseados particularmente como uma opção para obter energia elétrica a um custo menor, este trabalho apresenta uma análise e a avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos. Foi selecionado um sistema de geração cuja unidade consumidora é uma residência com um histórico de pelo menos um ano de geração FV e no qual pode-se avaliar a proposta apresentada pelos projetistas e integradores e os resultados reais obtidos baseado nos dados gerados pelo sistema e as faturas de energia elétrica.

2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A fim de se avaliar os sistemas fotovoltaicos, foi preciso antes entender sobre o desenvolvimento dos custos envolvidos ou investimentos necessários para a aquisição destes geradores; assim como, quais as regras no Brasil para adquiri-los; como funcionaria a compensação de energia caso houvesse energia gerada além do consumo das cargas; e, por fim, a fatura de energia elétrica em si.

A aquisição de um gerador fotovoltaico tornou-se algo simples e necessário nos últimos anos, nos quais foi-se acompanhando a inviabilidade de outras fontes geradoras de energia elétrica, quando se considera meio ambiente, custo, benefícios e rentabilidade.

Neste capítulo estão apresentados os principais conhecimentos necessários sobre sistemas fotovoltaicos, uma breve abordagem da legislação brasileira da área e a tarifação da energia elétrica incluindo os sistemas de geração fotovoltaica homologados.

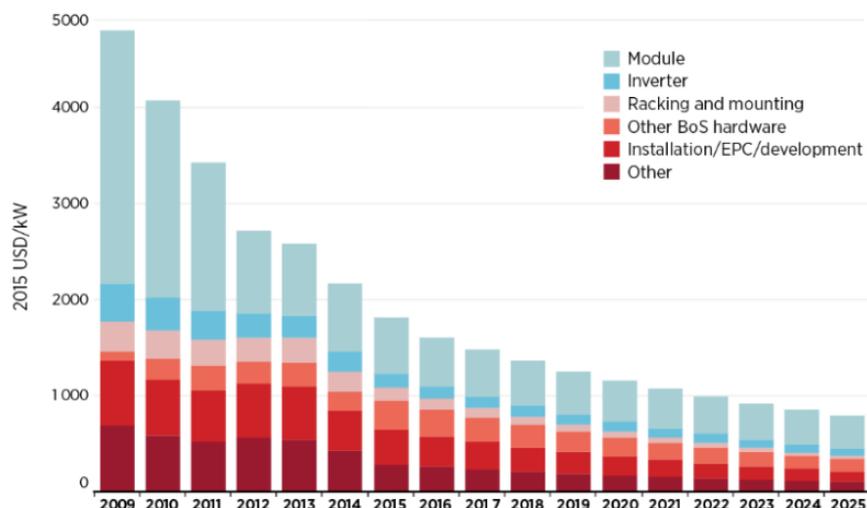
2.1 EVOLUÇÃO DO PREÇO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um dos pontos de destaque do sucesso recente dos sistemas de geração fotovoltaicos é o preço global de instalação e a sua vida útil, justamente por ser um investimento que visa desonerar a unidade consumidora da conta mensal de energia elétrica.

Conforme as tarifas de energia tendem a inflacionar com o tempo, o inverso tende a ocorrer com os custos de módulos, inversores de frequência, *string boxes*, fios, cabos, conectores e outros componentes necessários para se compor um gerador de energia solar fotovoltaico.

Na Figura 6 apresentou-se a evolução do preço médio em US\$/kW instalados desde 2009 até as previsões de 2025. Em 2009, o preço atingia US\$5.000,00 / kW e em 2022 atingiu US\$1.000,00 / kW, ou seja, houve uma redução de 80% dos custos de um sistema fotovoltaico gerador de energia elétrica (IRENA, 2022).

Figura 6 - Custo médio do kW de um gerador fotovoltaico instalado



Fonte: IRENA (2022)

Da Figura 6, pôde-se inferir que há uma estimativa de que o custo dos sistemas se reduza ainda mais até 2025, chegando ao patamar de US\$790,00 / kW, o que pode significar maior incentivo à instalação de sistemas fotovoltaicos em diversas áreas em todo o mundo.

Sendo assim, é indiscutível que o gerador fotovoltaico se tornou uma opção completamente viável quando se considera os preços crescentes de energia gerada a partir de outras fontes poluentes ou não, como as gerações hidráulica e térmica, por exemplo, as quais dependem de níveis de rios e/ou reservatórios para serem acionadas, fazendo seus custos subirem ainda mais e acionando o Sistema de Bandeiras Tarifárias, o qual será explicado posteriormente.

2.2 REGRAS DA GD NO BRASIL SEGUNDO A ANEEL

A ANEEL classifica a geração distribuída em dois tipos: micro e minigeração, que consistem na geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalação de unidades consumidoras, sendo a primeira limitada a uma potência de até 75 kW (quilowatts) e a segunda limitada a uma potência maior que 75 kW e menor que 5 MW para fontes não hídricas, no caso, a fotovoltaica. A viabilização de acesso desses tipos de geração foi baseada no Módulo 3 dos Procedimentos de

Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional (PRODIST, 2017) o qual sempre deve ser considerado.

Para os consumidores com sistema fotovoltaico conectado à rede da distribuidora de energia, há o abatimento de parte da energia injetada ou produzida mas ainda estão presentes gasto com impostos e consumo mínimo de sistema da distribuidora de acordo com o tipo de fornecimento de energia e grupo, sendo, no Grupo B, o mínimo de 30 kWh para atendimento monofásico, 50 kWh para bifásico e 100 kWh para trifásico e no Grupo A de acordo com a demanda contratada.

Isso se deve ao fato de ainda assim se utilizar a energia da concessionária durante a noite (quando não há geração de energia solar), ou ainda, quando o sistema por alguma razão não gerar energia suficiente para cobrir o consumo das cargas elétricas do ambiente, por exemplo, e, também devido a utilização do sistema de distribuição para injetar o excedente da energia gerada pelo sistema fotovoltaico na rede, fazendo-se assim com que haja compensação energética entre concessionária e consumidor final.

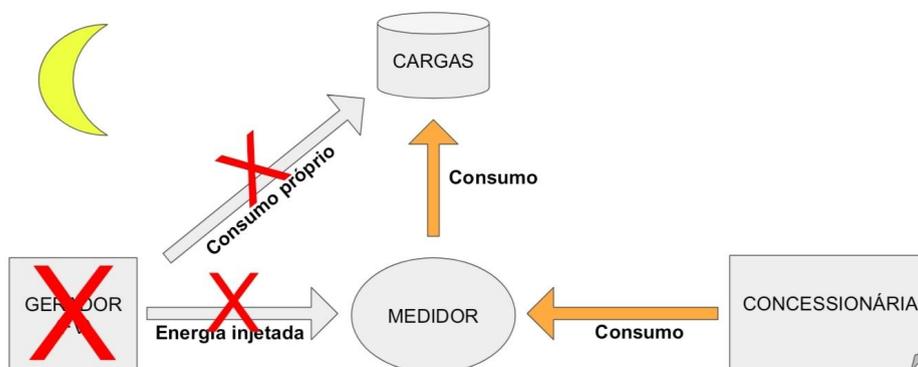
2.3 O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA

A compensação energética foi estabelecida na Resolução Normativa nº482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que foi substituída recentemente pela Lei 14.300/2022, conhecida como Marco Legal da GD. Tal sistema funciona de tal forma que, quando o sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica está em funcionamento, as fontes de geração de energia hidráulica, gás e termoelétrica têm suas produções minimizadas, tendo como consequências impactos financeiros e ambientais favoráveis para o cliente final, que devido a tais impactos acumula energia na forma de créditos com a concessionária.

O comportamento do fluxo de energia quando não há geração fotovoltaica, seja por estar no período noturno, seja por questões de sombreamento, manutenções ou ainda danos no SFV foi ilustrado na Figura 7, como não houve energia injetada, não houve compensação de créditos naquele período, o que

justifica o fluxo da concessionária para as cargas, tal fluxo é chamado de consumo de energia.

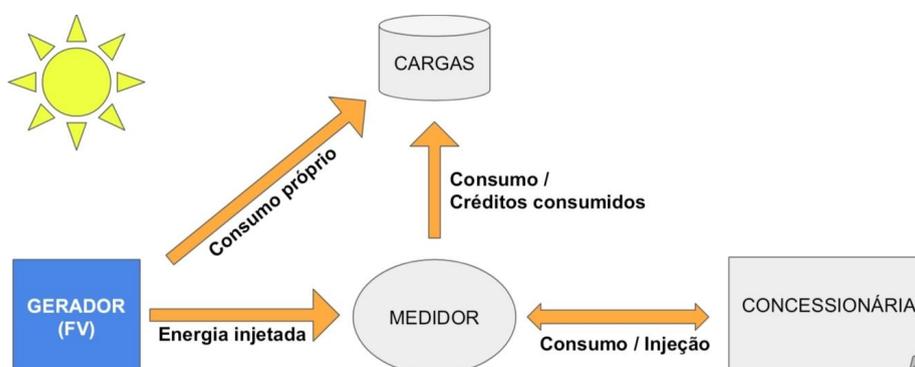
Figura 7 - Fluxo de energia quando não há geração



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Nota-se a partir da Figura 7 que o fluxo da energia elétrica seguiu em apenas um sentido, o qual é direcionado às cargas, caracterizando o consumo. O fluxo de energia quando há geração de energia elétrica foi ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxo de energia quando há geração



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Parte da energia gerada foi consumida pelas cargas elétricas, caracterizando o consumo próprio e outra parte da energia gerada foi direcionada a rede da concessionária passando pelo medidor, caracterizando a injeção de energia na rede. Tal injeção gerou créditos ao consumidor final, tais créditos que podem abater o consumo futuro abatidos, quando este for maior que a geração e a necessidade da utilização da energia da rede for necessária, caracterizando os créditos consumidos.

Quando o excedente injetado na rede for maior do que a energia consumida no mês, créditos de energia em kWh (quilowatt-hora) são atrelados ao consumidor final e poderão ser utilizados futuramente num prazo dentro dos 60 meses subsequentes, ou ainda, poderá ser utilizado em outras unidades consumidoras cadastradas previamente dentro da área de concessão, em local diferente do ponto de consumo, caracterizando pela ANEEL como:

- Autoconsumo remoto: caracterizado pelas unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, inclusas matriz e filiais, ou pessoa física que possua unidade consumidora com microgeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras dentro da área de concessão ou permissão, nas quais a energia será compensada;

- Geração compartilhada: caracterizada por consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica que possua unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, nas quais o excedente de energia será compensado;

- Integrante de múltiplas unidades consumidoras (condomínios): caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento.

Por fim, nota-se que muitos sistemas de energia fotovoltaica são projetados e instalados em residências, comércios, indústrias e até mesmo em fazendas e áreas rurais, com finalidade de atender as respectivas cargas próprias e/ou geração de energia para um determinado coletivo, sempre visando economia para os consumidores finais. Com isso, se vê a necessidade de verificar a economia de energia de projeto em relação à economia de energia prática na fatura de energia.

2.4 MODALIDADES TARIFÁRIAS

A energia elétrica é tarifada em todo seu processo, desde a central de geração até a distribuição para o consumidor final, considerando-se as condições de geração e recursos, como o clima, água, carvão, biomassa, etc., quando utilizados. Observa-se que este trabalho terá seu foco no consumidor final, não tendo como relevância os modelos tarifários de geração centralizada e transmissão.

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa. Além disso, são definidas de acordo com o Grupo tarifário, segundo as opções de contratação definidas na Resolução Normativa nº1000/2021 e no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (ANEEL, 2022).

No Grupo A estão as unidades consumidoras da Alta e Média Tensões, tendo como subgrupos:

A1- tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;

A2- tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;

A3- tensão de fornecimento de 69 kV;

A3a- tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;

A4- tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;

AS- tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Como base na tensão de fornecimento, horário de utilização e demanda de potência, os consumidores do grupo A podem optar pelas seguintes tarifas:

- Tarifa Horária Azul: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Disponibilizada para todos os subgrupos do Grupo A;

- Tarifa Horária Verde: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), e de uma única tarifa de demanda de potência. Disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS.

O Grupo B é composto pelas Unidades consumidoras em Baixa Tensão (abaixo de 2,3 kV), tendo os seguintes subgrupos:

- Residencial B1;
- Rural B2;
- Demais Classes B3;
- Iluminação Pública B4.

As tarifas do Grupo B são:

- Tarifa Convencional Monômnia: tarifa única de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;
- Tarifa Horária Branca: tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Não está disponível para o subgrupo B4 e para a subclasse Baixa Renda do subgrupo B1.

Destaca-se também que, numa fatura de energia elétrica, o uso dos Sistemas de Distribuição também é tarifado, conhecido, na maioria dos casos, como “TUSD” e sua tarifação se dá pela quantidade de quilowatt-hora (kWh) final utilizada pelo consumidor. A TUSD é um valor único, determinado pela ANEEL e responsável por cobrir custos com instalações, equipamentos e componentes da rede de distribuição, para que a energia elétrica seja entregue com qualidade ao consumidor final.

Por fim, para a composição da tarifação da energia elétrica no Brasil e considerando-se as condições de geração de eletricidade no país, a ANEEL estabeleceu em 2015 que as contas de energia passariam a ter o Sistema de Bandeiras Tarifárias. Este sistema é considerado como um custo adicional na conta de energia, o qual é repassado ao consumidor final com a finalidade de cobrir os custos de outras fontes de energia mais caras, como as termelétricas, e incentivar o uso racional da energia elétrica.

De acordo com o Sistema de Bandeiras Tarifárias no ano de 2021, foram definidas as seguintes modalidades:

- 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\$ 0,01343 para cada kWh consumido;

- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,04169 para cada kWh consumido;

- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,06243 para cada kWh consumido.

Um fator muito importante que contribuiu no valor da tarifa de energia, bem como nos valores das bandeiras tarifárias no ano de 2021, foi a crise hídrica, considerada a pior desde o ano de 1931 no Brasil. Segundo o relatório do ONS, foram registrados, no ano de 2021, sucessivos recordes de níveis críticos nas quantidades de chuvas sobre os principais reservatórios desde Setembro de 2020. Devido a isso, a ANEEL aprovou uma resolução com os seguintes valores das bandeiras tarifárias a partir de 1º de Julho de 2021 (ANEEL, 2021):

- Bandeira verde: valor gratuito de acréscimo;

- Bandeira amarela: valor de R\$ 0,01874 para cada kWh consumido, ou seja, aumento de 39,54%;

- Bandeira vermelha - Patamar 1: valor de R\$ 0,03971 para cada kWh consumido, ou seja, decréscimo de 4,75%;

- Bandeira vermelha - Patamar 2: valor de R\$ 0,09492 para cada kWh consumido, ou seja, aumento de 52,04%.

Por fim, ressaltou-se ainda outro fator: a Iluminação pública, esta que é um tributo e um dos fatores mais importantes de qualquer cidade, visando-se qualidade e segurança aos seus cidadãos, por isso, esse bem necessário também é faturado. Contudo se trata de uma cobrança indireta por parte das prefeituras, as quais são responsáveis pela iluminação de seus municípios, assim como os impostos cobrados na fatura de energia elétrica, são uma cobrança indireta feita pelo governo ao consumidor final, por meio da concessionária local responsável pelo abastecimento de energia.

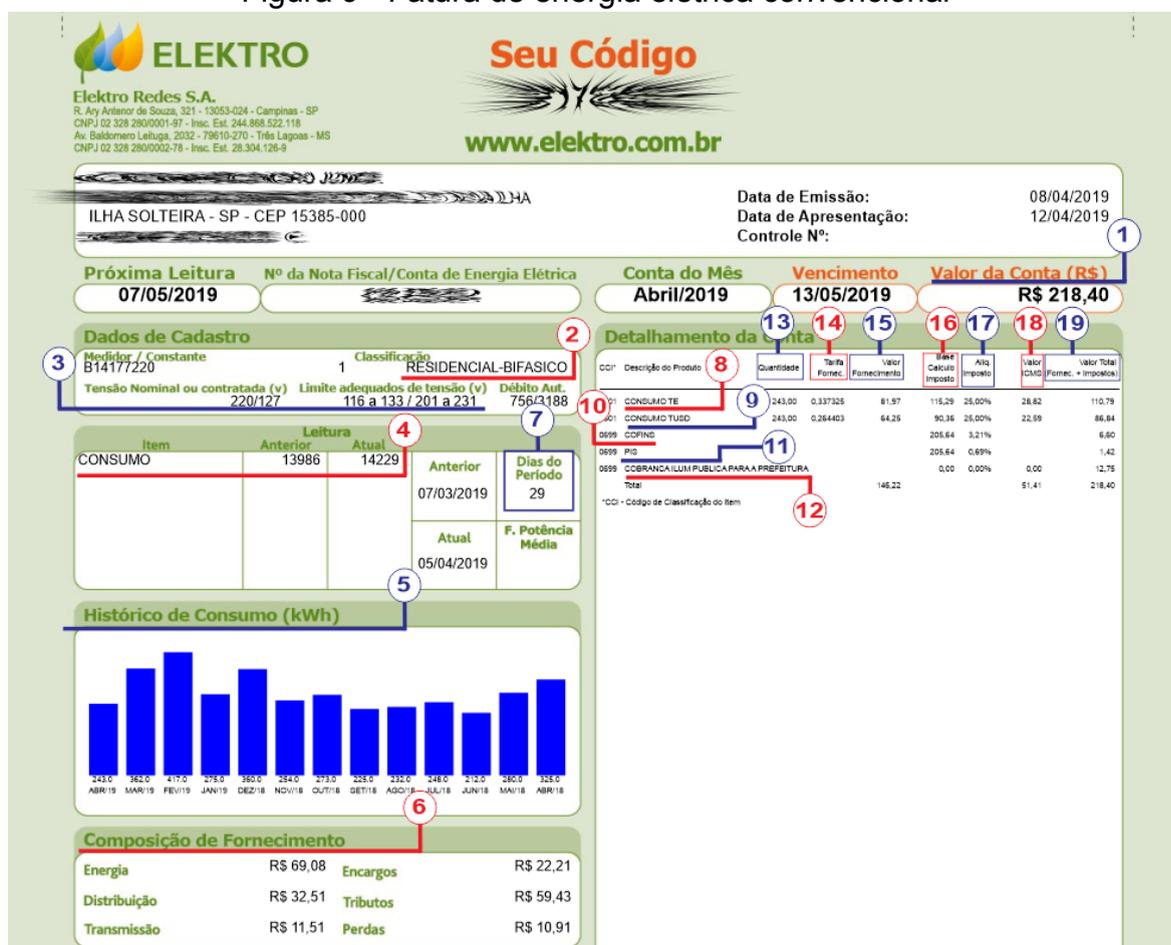
Tendo como base toda a legislação, se tornou possível realizar a análise da fatura de energia elétrica de um consumidor com geração fotovoltaica, considerando-se o consumo, preço das tarifas de energia (TE e TUSD), composta pelo preço cobrado pela concessionária ou permissionária de energia do kWh (quilowatt-hora) consumido e pelos impostos locais.

2.5 A FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA

A fatura de energia elétrica contém os elementos básicos que informam o consumidor sobre todos os elementos relevantes tarifados, como consumo, tarifas, impostos e demais informações, num modelo classificado como convencional. Com a regulamentação dos sistemas de microgeração, novos campos foram adicionados para contemplar as informações relativas a injeção de energia, créditos e outros dados para os consumidores com sistemas homologados.

A Figura 7 ilustra uma conta de energia elétrica feita pela concessionária ELEKTRO, que é a distribuidora de energia elétrica da cidade de Ilha Solteira-SP, onde o sistema avaliado neste trabalho foi instalado.

Figura 9 - Fatura de energia elétrica convencional



Fonte: ELEKTRO (2019)

Na Figura 9 estão destacados e calculados os itens mais relevantes e são apresentados a seguir (ELEKTRO, 2019).

- 1) Valor final da fatura, somando-se toda sua composição em reais(R\$);
- 2) Classe de atendimento realizado pela concessionária ELEKTRO;
- 3) Tensão nominal ou contratada pelo consumidor final (pode ser em BT, MT ou AT), no caso, 220V de tensão de linha (F-F) e 127V de tensão de fase (F-N);
- 4) Consumo de energia elétrica registrado em kWh pelo medidor da concessionária no último mês e no mês atual;
- 5) Histórico de consumo de energia em kWh no período de 13 meses passados;
- 6) Valores em reais (R\$) da composição do fornecimento de energia sem a CIP: energia elétrica, distribuição, transmissão, encargos, tributos e perdas;
- 7) Período de medição da atual fatura, no caso, 29 dias após a última leitura realizada;
- 8) Tarifa de energia elétrica (TE) referente ao consumo;
- 9) Tarifa do uso do sistema de distribuição de energia elétrica (TUSD) referente ao consumo;
- 10) Valor do imposto COFINS;
- 11) Valor do imposto PIS;
- 12) Valor cobrado pela CIP;
- 13) Quantidade de energia consumida: é calculado pela diferença entre a energia medida no mês atual e a energia medida no último mês;
- 14) Indicação do valor em reais (R\$) da tarifa considerada;
- 15) Indicação do valor em reais (R\$) do fornecimento (VF) de energia elétrica;
- 16) Indicação do valor em reais (R\$) da base de cálculo do imposto cobrado (BI), calculado pela Expressão 1:

$$BI=VF/(1 - [Aliq. PIS] - [Aliq. COFINS] - [Aliq. ICMS]) \quad [1]$$

- 17) Indicação do valor percentual (%) da alíquota do imposto cobrado no respectivo mês;
- 18) Valor total cobrado do ICMS (VTICMS) incidente sobre o respectivo produto ou serviço calculado pela Expressão 2:

$$VTICMS=BI*[Aliq. ICMS] \quad [2]$$

- 19) Valor final em reais (R\$) composto pelo respectivo produto ou serviço somado ao seu respectivo imposto.

- 21) Valor de disponibilidade do sistema de distribuição cobrado pela concessionária quando todo o consumo de energia é menor ou igual a quantidade de energia elétrica gerada (kWh);
- 22) Tarifa de energia para o montante de créditos de energia consumidos no mesmo mês;
- 23) Tarifa do uso do sistema de distribuição para o montante de créditos de energia consumidos no mesmo mês;
- 24) Tarifa de energia bandeira amarela do sistema tarifário de bandeiras;
- 25) Tarifa de energia bandeira vermelha 2 do sistema tarifário de bandeiras;
- 26) Montante de energia elétrica injetado na rede e registrado em kWh pelo medidor da concessionária no último mês e no mês atual;
- 27) Informações gerais disponibilizadas ao consumidor, principalmente em relação aos créditos de energia acumulados durante aquele mês, bem como os créditos totais acumulados, conforme a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL;
- 28) Constante ou fator de multiplicação utilizado para se medir a energia que passa pelo relógio da concessionária, tal constante é diferente de 1 quando a demanda ou consumo são altos e, portanto, altas correntes seriam necessárias inviabilizando o equipamento de medição da instalação.

Baseado na figura anterior, destaca-se os seguintes itens:

- O item 5 que indica a progressão de consumo, a qual se verificou antes e depois da aquisição do gerador;
- Os itens 4 e 26 que devem ser observados considerando se o item 28 de acordo com a classe consumidor ou carga instalada, multiplicando-se pela constante do medidor de energia elétrica a diferença entre leitura atual e leitura anterior;
- A diferença entre leitura atual e leitura anterior, multiplicada pela constante do relógio (item 28) indica o montante de energia injetada na rede da concessionária registrado pelo medidor;
- Os itens 22 e 23 representam os créditos de energia gerador pelo sistema de energia solar fotovoltaica que passaram pelo medidor e consumidos pelas cargas nos mesmo mês de geração.

- O item 27 destaca o montante de créditos gerados no mês, bem como o total de créditos que o consumidor possui, desde que iniciou a geração própria de energia elétrica.

3 AVALIAÇÕES E DESENVOLVIMENTO

A avaliação técnica e econômica de um sistema de geração fotovoltaico instalado na residência é analisada neste capítulo, considerando todos os fatores envolvidos e relevantes para análise do *payback*, com o histórico de consumo de um ano anterior à sua homologação e os dados preliminares do integrador do sistema

Os dados foram extraídos das faturas de energia elétrica e, quando disponível, da geração do SFV indicada pelo aplicativo conectados aos inversores solares.

A avaliação do tempo de retorno, ou o *payback*, utilizada foi a forma simplificada, em que o abatimento do valor investido é considerado fixo ao longo dos anos.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Com potência de geração de 3,96 kWp, projetado para cobrir um consumo médio de 580 kWh/mês, o gerador de energia fotovoltaico instalado numa residência na cidade de Ilha Solteira-SP foi composto por 12 painéis com potência nominal de 330 W.

A proposta foi feita no mês de Maio de 2019, na qual um valor global do quilowatt-hora de R\$ 0,85 foi calculado a partir das faturas do contratante. Foi considerado uma conta média mensal de R\$ 493,00.

O valor total do investimento do gerador fotovoltaico instalado capaz de gerar uma média de 530 kWh por mês foi de R\$ 21.800,00 e previsão de retorno do investimento pelo integrador num prazo de 49 meses. A perspectiva de economia mensal é de R\$ 450,00, utilizando o valor médio global das tarifas de R\$ 0,85/kWh no ano de 2019, incluindo tarifas e impostos.

A princípio, buscou-se uma base com relação a geração de energia, ou em relação ao montante de energia medida pelo inversor de frequências do sistema para se obter as primeiras conclusões. Os valores de geração são apresentados na Tabela 1.

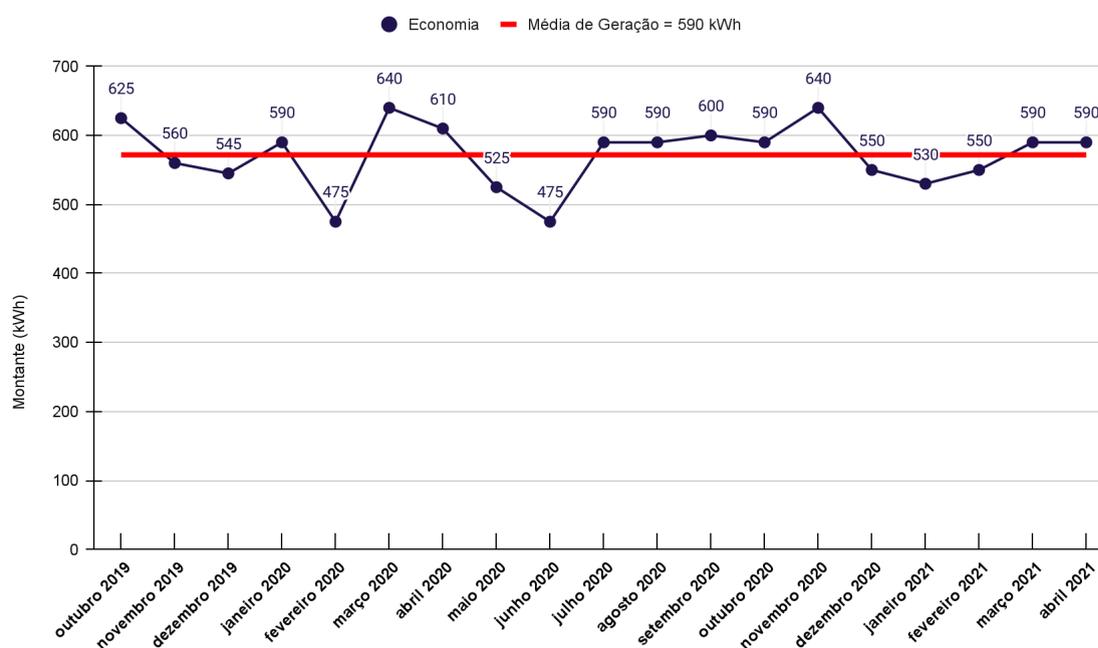
Tabela 1 - Geração mensal residencial

Mês	2019 (kWh)	2020 (kWh)	2021 (kWh)
1	-	590	530
2	-	475	550
3	-	640	590
4	-	610	590
5	-	525	-
6	-	475	-
7	-	590	-
8	-	590	-
9	-	600	-

Fonte: Adaptado de Apsystemsema (2022)

Os dados da Tabela 1 contém as informações de geração do inversor de frequência do gerador residencial de Outubro de 2019 até o mês de Abril de 2021. Estes dados são apresentados na Figura 11, para uma melhor visualização do comportamento da geração durante o período analisado.

Figura 11 - Geração do SFV Residencial



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Os dados destacados da Figura 11 foram os picos ocorridos em Março e Dezembro de 2020 com 640 kWh. O sistema apresentou uma variação na geração de até 26% em relação ao valor máximo, com geração mínima no valor de 475 kWh.

O valor médio de geração é de 572 kWh no período considerado, confirmando-se assim os valores de proposta, o que indicou um bom funcionamento do gerador pós instalação.

3.1.1 CONSUMO RESIDENCIAL E ENERGIA ELÉTRICA INJETADA NA REDE

Na Tabela 2 são apresentados os dados de consumo e do valor da fatura de energia elétrica, de Agosto de 2018 a Abril de 2021 do consumidor residencial. O sistema foi homologado e começou oficialmente a contabilizar os créditos para a compensação energética em Outubro de 2019.

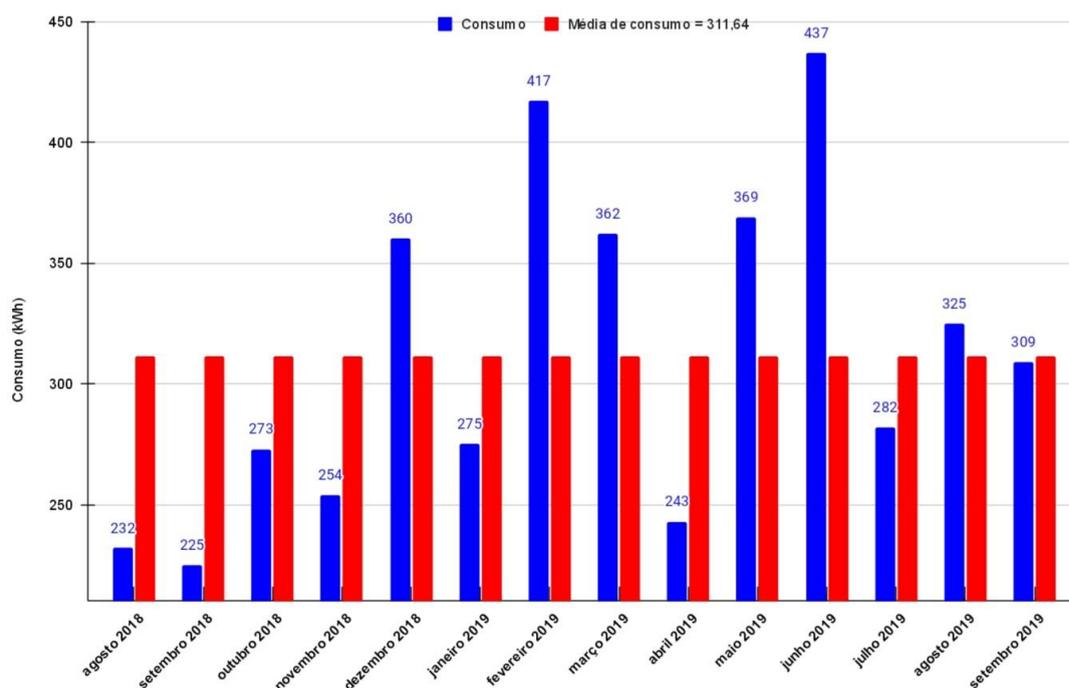
Tabela 2 - Dados de consumo de energia elétrica do consumidor residencial

Mês	2018		2019		2020		2021	
	Consumo (kWh)	Valor fatura (R\$)						
1	-	-	275	252,47	266	78,84	276	82,72
2	-	-	417	377,74	433	92,37	422	95,53
3	-	-	362	333,98	308	84,60	410	97,47
4	-	-	243	218,41	402	95,18	429	97,68
5	-	-	369	326,50	262	80,46	-	-
6	-	-	437	393,54	294	80,43	-	-
7	-	-	282	256,46	327	86,27	-	-
8	232	189,06	325	300,98	235	77,22	-	-
9	225	195,96	309	287,28	265	77,22	-	-
10	273	269,01	295	81,84	505	106,08	-	-
11	254	247,56	413	92,87	350	94,53	-	-
12	360	329,75	352	87,77	447	99,23	-	-
Média	269	246,268	340	250,82	341	87,70	384	93,35

Fonte: ELEKTRO (2018,2019,2020 e 2021)

O perfil de consumo residencial antes da implantação do SFV foi ilustrado na Figura 10. Para isso, calculou-se a média de consumo mensal dos meses de Agosto de 2018 até Setembro de 2019 e buscou-se comparar a média de consumo em relação ao consumo mensal daquele período considerado.

Figura 12 - Perfil de consumo residencial antes do gerador



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Baseando-se nos dados da Figura 12, observa-se que a média de consumo de energia foi de 311 kWh/mês, o que representa um valor 46% inferior ao de proposta, que foi de 530 kWh.

Notou-se também que a média nunca atingiria tal valor, visto que o maior consumo é de 437 kWh datado em Junho de 2019. Estas observações decorrem de que, ainda na fase da proposta, o contratante já tinha previsto uma possível elevação das cargas e conseqüentemente do consumo de energia, e o projeto do SFV já contemplou esta demanda.

O valor médio do quilowatt-hora foi calculado de acordo com os valores das faturas e o consumo. Na situação anterior à instalação do SFV, foi obtido 0,92 R\$/kWh calculado, representando-se um valor médio superior ao custo médio encontrado na proposta de 0,85 R\$/kWh, o qual foi calculado a partir de uma das

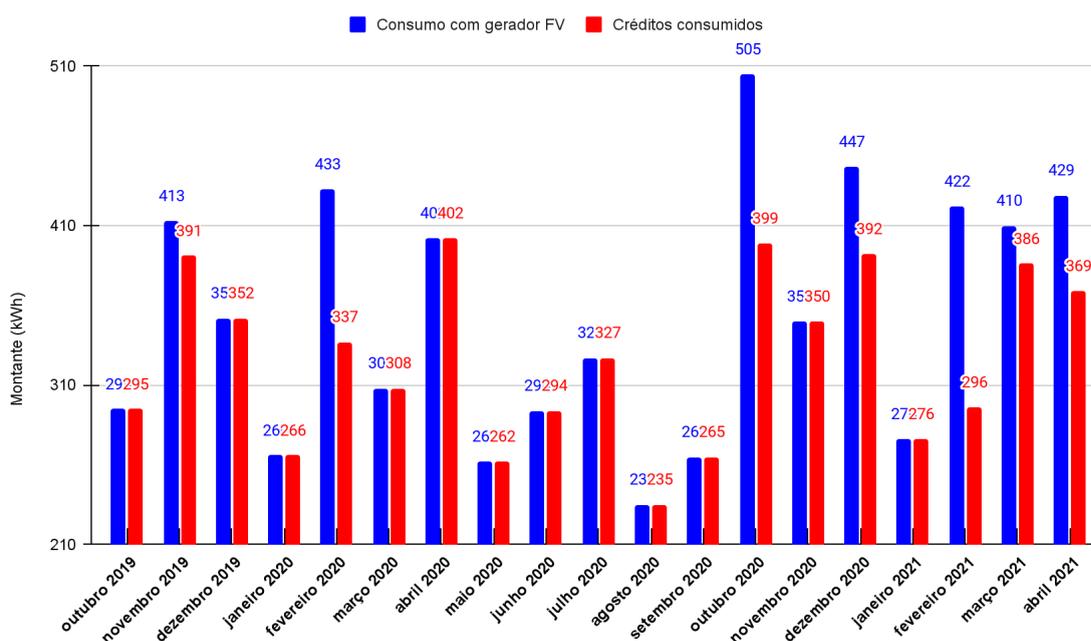
faturas, segundo a proposta. O mesmo procedimento de cálculo foi utilizado com a finalidade de se obter o custo real final do kWh após a homologação do gerador fotovoltaico. O valor obtido neste caso foi de 0,25 R\$/kWh, ou seja, redução de 72,5% no custo final do quilowatt-hora

Em Outubro de 2019, foi realizado o processo de homologação e instalação do gerador de energia fotovoltaico residencial, cujo funcionamento e sistema de compensação energética tornou-se efetivo.

Observando-se melhor o comportamento do consumo de energia elétrica após o efetivo funcionamento do gerador, na Figura 13, analisou-se que o maior consumo foi de 505 kWh e a média de consumo subiu para 344,64 kWh, significando um aumento de 10,4% em relação a média de consumo de energia antes do sistema começar a operar, no período de Outubro de 2019 a Abril de 2021.

Ainda na Figura 13, foi feita também uma observação mais clara em relação aos montantes de energia elétrica gerados, injetados na rede e consumidos pela residência. No período de Outubro de 2019 a Abril de 2021, quando o valor máximo de consumo de créditos de energia gerada pelo gerador fotovoltaico ocorreu em Abril de 2020 com 402,00 kWh injetados e consumidos, a média de créditos consumidos para tal período foi de 352,16 kWh/mês.

Figura 13 - Perfil de consumo residencial com gerador fotovoltaico operando



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Verificou-se que o consumo considerado no gráfico da Figura 13 esteve relacionado com a quantidade de energia registrada pelo medidor da concessionária de energia elétrica e não com o consumo próprio, o qual ocorre concomitantemente com a geração de energia, indicando que esse consumidor tem boa parte de suas cargas em funcionamento no período noturno predominantemente, quando não há geração de energia fotovoltaica.

Os dados de energia injetada, créditos consumidos e valor final foram extraídos das faturas do consumidor residencial e apresentados na Tabela 3 com a finalidade de se comparar a diferença entre energia injetada e créditos consumidos, sendo que a diferença representa a sobra dos créditos de energia, que se acumula para que o consumidor final possa usá-los num prazo de 60 meses a partir da contabilização dos mesmos.

Pôde-se inferir, a partir dos valores finais das faturas da Tabela 3, que o sistema trouxe uma economia financeira considerável ao consumidor final e ainda uma quantidade de créditos de energia elétrica acumulados para uso futuro naquela unidade ou em outra unidade consumidora pertencente ao titular da fatura.

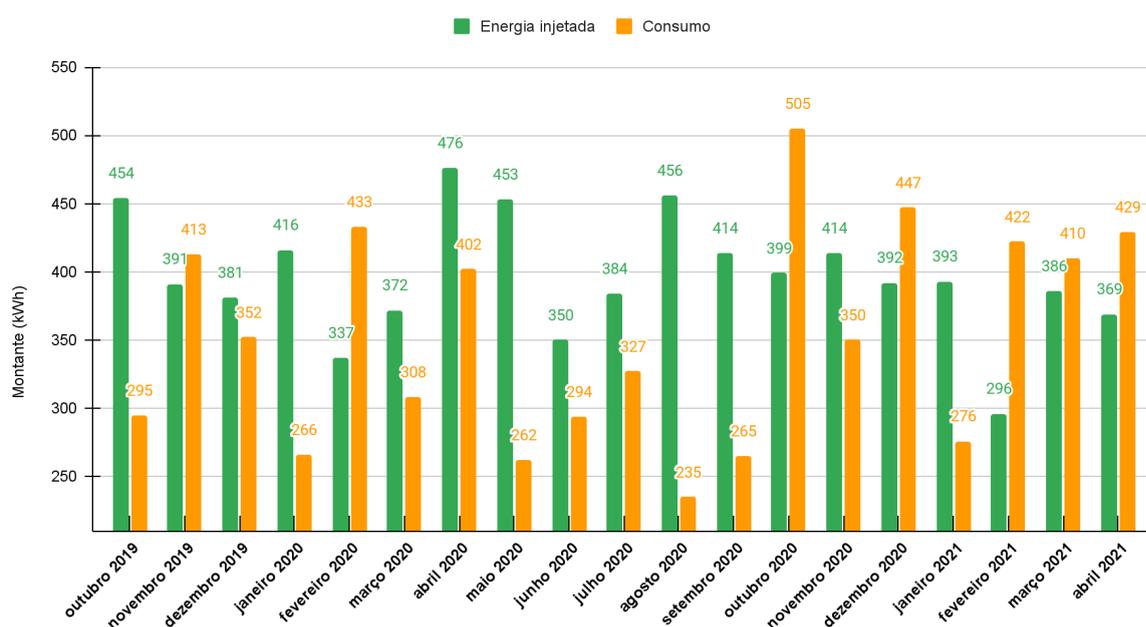
Tabela 3 - Dados de fatura de energia: créditos gerados e consumidos

Mês	2019			2020			2021		
	Energia Injetada (kWh)	Créditos Consumidos (kWh)	Valor fatura (R\$)	Energia Injetada (kWh)	Créditos Consumidos (kWh)	Valor fatura (R\$)	Energia Injetada (kWh)	Créditos Consumidos (kWh)	Valor fatura (R\$)
1	-	-	-	416	266	78,84	393	276	82,72
2	-	-	-	337	337	92,37	296	296	95,53
3	-	-	-	372	308	84,60	386	386	97,47
4	-	-	-	476	402	95,18	369	369	97,68
5	-	-	-	453	262	80,46	-	-	-
6	-	-	-	350	294	80,43	-	-	-
7	-	-	-	384	327	86,27	-	-	-
8	-	-	-	456	235	77,22	-	-	-
9	-	-	-	414	265	77,22	-	-	-
10	454	295	81,84	399	399	106,08	-	-	-
11	391	391	92,87	414	350	94,53	-	-	-
12	381	352	87,77	392	392	99,23	-	-	-
Média	409	346	87,49	405	320	87,70	361	332	93,35

Fonte: ELEKTRO (2019,2020 e 2021)

Com base nos dados apresentados, fez-se uma comparação entre consumo e energia elétrica injetada na rede da concessionária, ilustrada na Figura 12, e observou-se que o valor máximo de energia injetada na rede pelo gerador fotovoltaico instalado ocorreu em Abril de 2020, cobrindo ao mesmo tempo todo o montante de energia elétrica consumida no mês. Notou-se também que, embora no mês de Outubro de 2020 quase 400 kWh de energia tenham sido injetados, esta geração não foi suficiente para abater o consumo do cliente final naquela data.

Figura 14 - Energia injetada na rede e consumo residencial



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com base na Figura 14, concluiu-se que houve uma redução considerável nos valores finais de faturas de energia elétrica do consumidor final, ainda que o consumo deste tenha aumentado consideravelmente após a instalação do gerador fotovoltaico. Mesmo desconsiderando o consumo próprio, foi notada a viabilidade de tal tipo de geração.

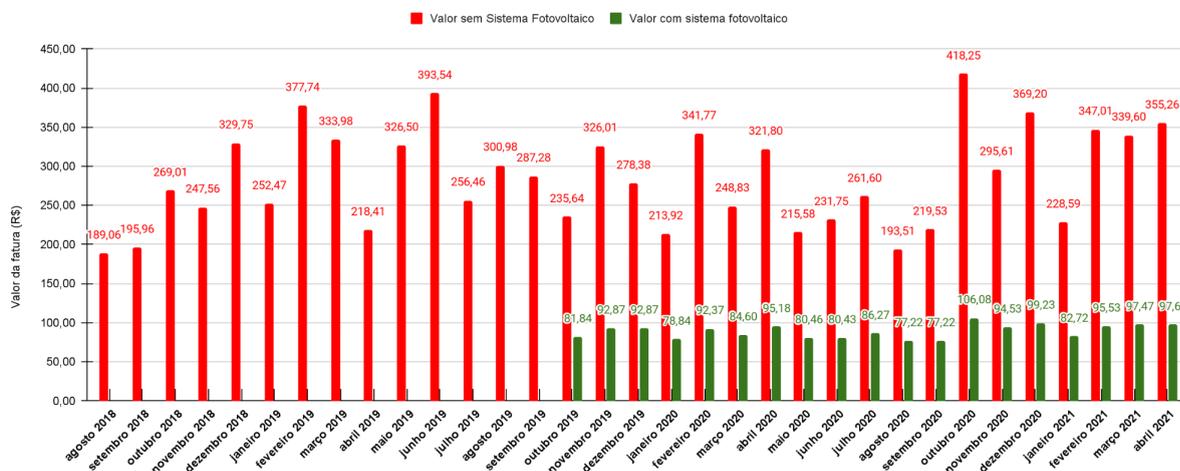
3.1.2 DADOS FINANCEIROS E *PAYBACK* RESIDENCIAL

Nesta seção foi feita a avaliação econômica efetiva do SFV Residencial, comparando-se os dados de geração e consumo e a proposta do integrador.

Na Figura 15 são apresentadas as faturas do sistema estudado. Os valores das faturas em vermelho representam o sistema sem a instalação do SFV. Para a

estimativa de valores futuros, após a instalação do SFV, foi considerado o consumo e os valores de tarifas aplicados.

Figura 15 - Valores de faturas sem e com sistema fotovoltaico

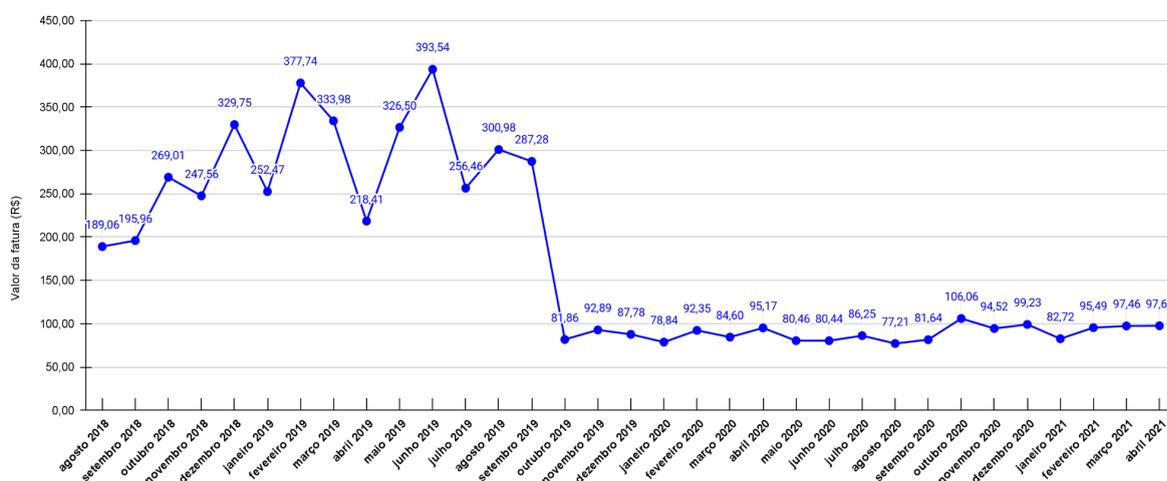


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os valores efetivos da fatura após o SFV instalado foram representados pelas barras em verde e obtidos por meio da Tabela 3, apresentada no item anterior, que indica os dados de energia injetada, créditos consumidos e valor final extraídos das faturas do consumidor residencial.

Na Figura 16 são apresentados os valores efetivos das faturas antes e após a instalação do SFV.

Figura 16 - Valores de faturas no período estudado



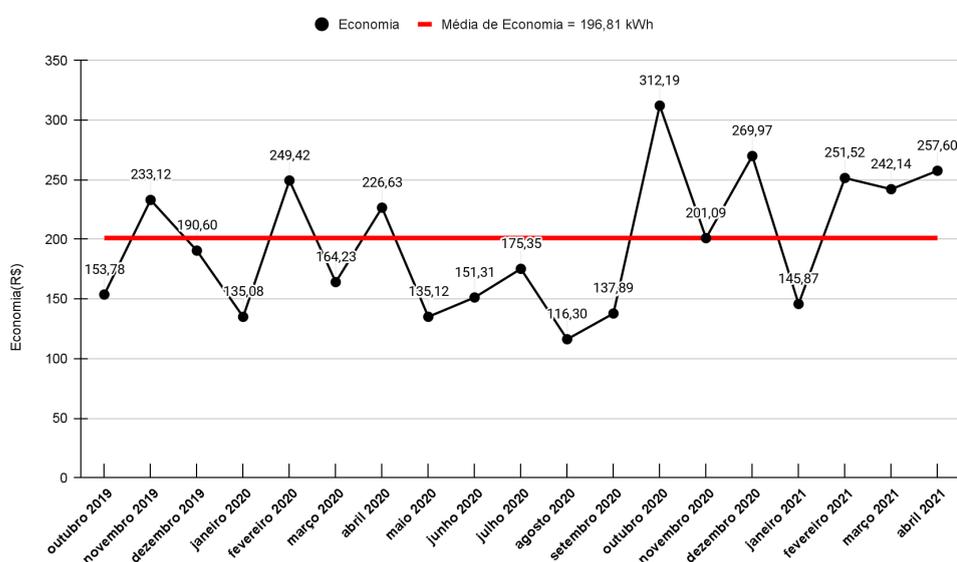
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Nota-se que após a geração fotovoltaica, os valores caíram em até três ou quatro vezes o valor correspondente nos anos anteriores à instalação e, em muitos

casos, atingindo o valor mínimo, o que permitiu concluir que houve economia e consequentemente lucratividade nos anos subsequentes ao ano que o sistema se paga.

Na Figura 17 foram apresentadas as diferenças dos valores, somente após a instalação do SFV. Tais valores foram calculados a partir da diferença entre os valores reais de faturas e os valores de energia que passariam pelo medidor de energia, caso não houvesse geração de energia na residência e, portanto, desconsiderando-se a geração fotovoltaica e a energia injetada na rede da concessionária.

Figura 17 - Valores monetários reais economizados durante o período

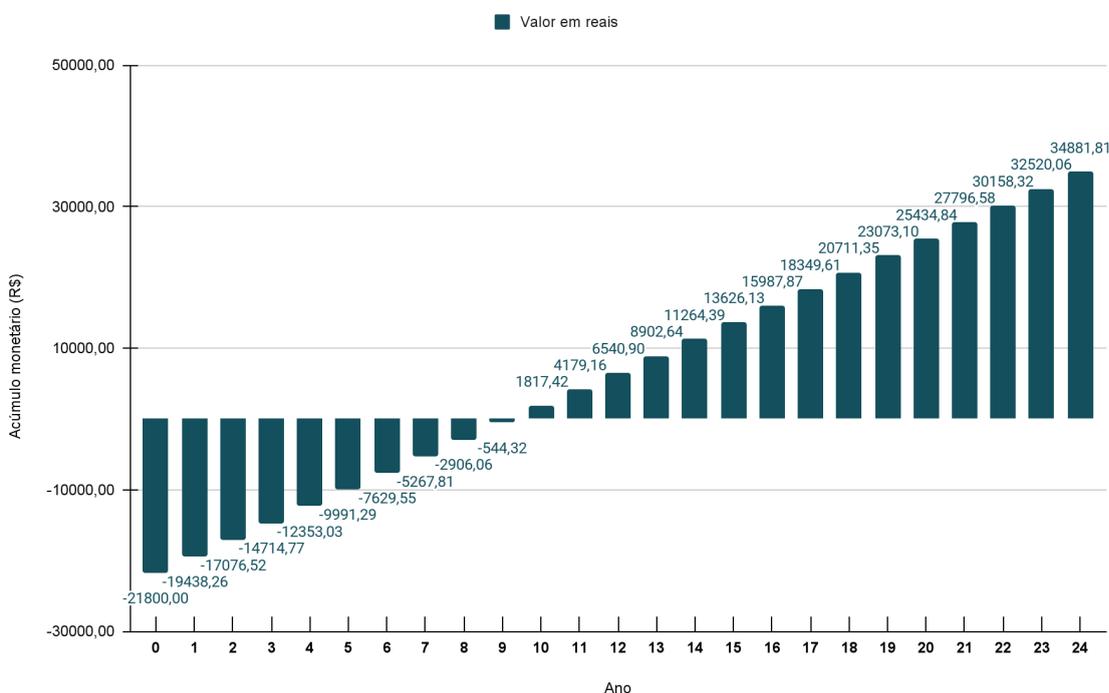


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A partir da Figura 17 calculou-se uma economia mensal média de R\$ 196,81. Com base neste valor foi possível estimar o *payback* real, caso as condições de consumo e geração se mantivessem nessa média durante 25 anos, mantendo-se assim a média de economia e tomando como valor de referência o preço de aquisição e instalação do sistema de R\$21.800,00.

Com base na Figura 18, obteve-se uma melhor visão de como se comportou o retorno do investimento e a projeção do acúmulo financeiro esperado, com base nos valores finais reais das faturas de energia elétrica do consumidor final.

Figura 18 - Acúmulo monetário real com o sistema instalado em 25 anos



Fonte:Elaborado pelo autor (2022)

Observa-se que na Figura 18 são desconsiderados os aumentos das tarifas de energia, bandeiras tarifárias, inflação energética e consumo próprio, fatores que, se considerados, certamente reduziram consideravelmente o tempo de *payback*.

Também foi inferido que o consumidor teve ainda mais ganhos quando se considerou o consumo próprio, pois este permitiu certa flexibilidade para instalação de novas cargas elétricas e, caso não fossem instaladas, o que seria consumido se acumularia na forma de créditos, reduzindo-se o tempo de *payback*.

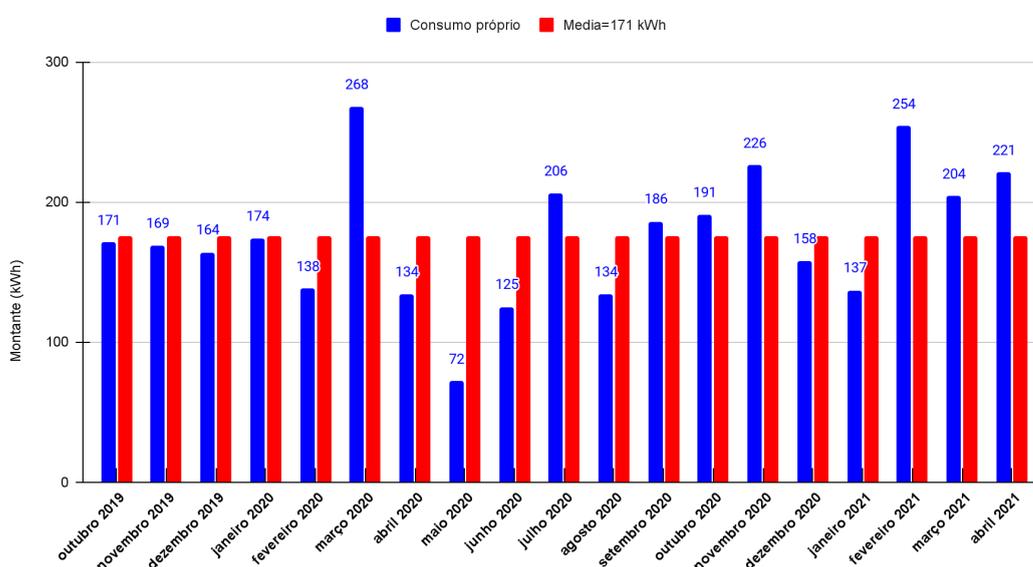
3.1.3 PAYBACK RESIDENCIAL TOTAL CONSIDERANDO O CONSUMO PRÓPRIO

Sob o argumento de que um gerador fotovoltaico é sinônimo de investimento, buscou-se demonstrar por meio de outra análise, considerando-se desta vez o consumo próprio, o tempo que aconteceria o *payback* do gerador.

O consumo de energia foi calculado considerando a diferença de toda a geração indicada pelo inversor de frequências por mês, menos o montante de energia injetada na rede da concessionária, indicadas na Tabela 3.

Embasou-se nesse princípio, elaborou-se a Figura 19, em que pode-se distinguir os montantes de energia elétrica consumidos pelas cargas da residência. Tal energia não chega a ser registrada pelo medidor da concessionária pois já é utilizada pelas cargas assim que é gerada, dessa forma, pode-se concluir que essa seria parte ou todo o consumo da residência ao longo do dia, quando o gerador está em funcionamento.

Figura 19 - Consumo próprio residencial

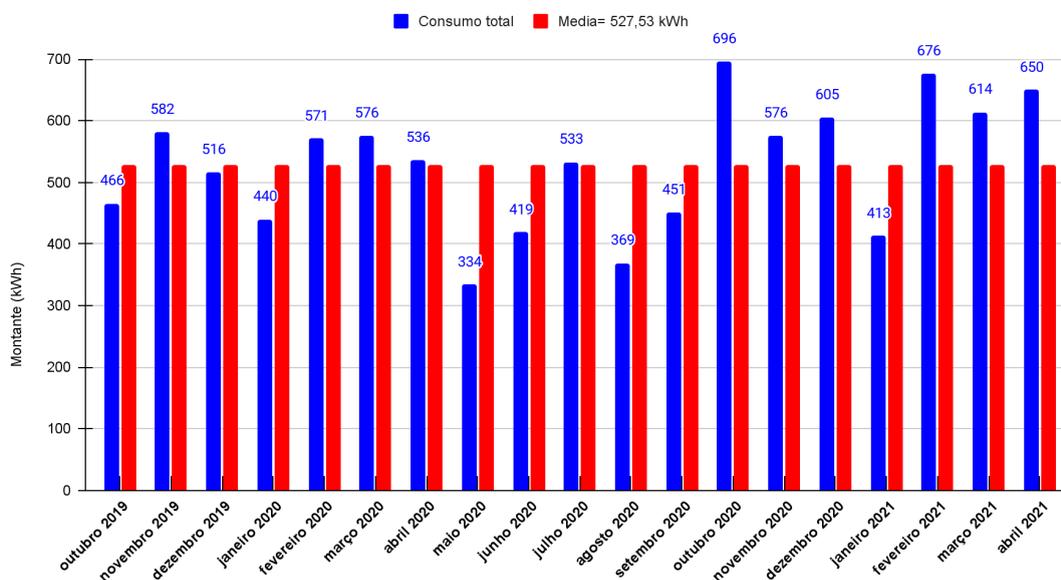


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A partir do gráfico da figura 19, observou-se que embora o consumidor teve picos de consumo próprio de 268 kWh no mês de Março de 2020 o montante médio de energia elétrica correspondente a 171 kWh caracteriza um consumo predominante durante o dia, pois o consumo próprio é caracterizado quando há geração de energia, esta que é consumida pelas cargas no mesmo instante que é gerada

Com a finalidade de se obter o consumo de energia elétrica total das cargas da residência, somou-se o consumo próprio ao consumo registrado pelo medidor da concessionária, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Consumo total residencial



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A ilustração apresentada na Figura 20 foi importante para se ter uma visão geral do consumo da residência durante o período em estudo. Observou-se quanto o consumo cresceu em relação ao período sem o gerador fotovoltaico, dando mais liberdade ao consumidor final com relação ao tempo de utilização das cargas, ou ainda, flexibilizando a conexão de novas cargas como condicionadores de ar, por exemplo.

A partir do consumo total, foram calculados e organizados, na Tabela 4, os valores finais das faturas de energia elétrica que seriam cobrados pela concessionária caso tal energia fosse registrada pelo medidor, com a finalidade de se obter um *payback* geral, o qual considera todos os benefícios que o consumidor obteve com a instalação de um gerador fotovoltaico em sua residência.

Os valores reais das faturas de energia também foram inseridos na mesma tabela com a finalidade de se obter uma rápida visualização do quanto o consumidor final economizaria financeiramente quando se considera todos os benefícios usufruídos a partir da energia gerada pelo seu sistema fotovoltaico instalado.

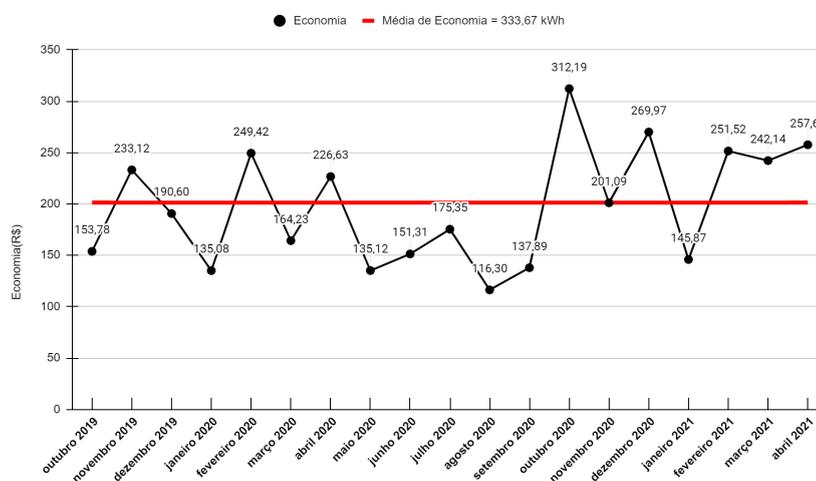
Tabela 4 - Valor de faturas considerando-se consumo próprio

Mês	2019			2020			2021		
	Consumo Total (kWh)	Valor fatura Calculado (R\$)	Valor com Gerador (R\$)	Consumo Total (kWh)	Valor fatura Calculado (R\$)	Valor com Gerador (R\$)	Consumo Total (kWh)	Valor fatura Calculado (R\$)	Valor com Gerador (R\$)
1	-	-	-	440	345,51	78,84	413	335,47	82,72
2	-	-	-	571	446,64	92,37	676	547,89	95,53
3	-	-	-	576	454,24	84,60	614	501,97	97,47
4	-	-	-	536	424,82	95,18	650	531,09	97,68
5	-	-	-	334	271,32	80,46	-	-	-
6	-	-	-	419	324,86	80,43	-	-	-
7	-	-	-	533	418,05	86,27	-	-	-
8	-	-	-	369	296,28	77,22	-	-	-
9	-	-	-	451	364,31	77,22	-	-	-
10	466	364,84	81,84	696	571,42	106,08	-	-	-
11	582	454,19	92,87	576	477,92	94,53	-	-	-
12	516	402,13	92,87	605	495,01	99,23	-	-	-
Média	521	407,05	89,19	509	407,53	87,70	588	479,11	93,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Subtraiu-se os valores finais de faturas calculados na tabela acima dos valores finais reais de faturas nas quais constam o sistema de compensação energética, a fim de se obter a economia geral de energia durante todo o período que se analisou, conforme a Figura 21.

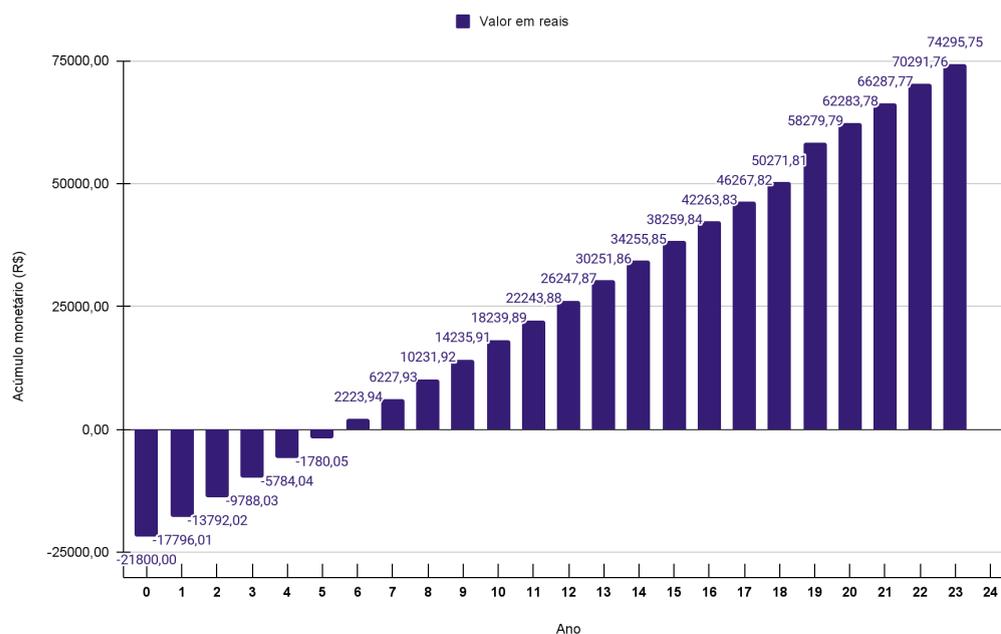
Figura 21 - Economia considerando-se consumo total de energia



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A partir dos valores de economia obtidos na análise acima, obteve-se uma média de economia de R\$333,67 por mês com energia elétrica. Com esse valor médio, estimou-se o *payback* geral e o acúmulo financeiro total em 25 anos, de acordo com a Figura 22.

Figura 22 - Acúmulo monetário e *payback* com consumo total de energia



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

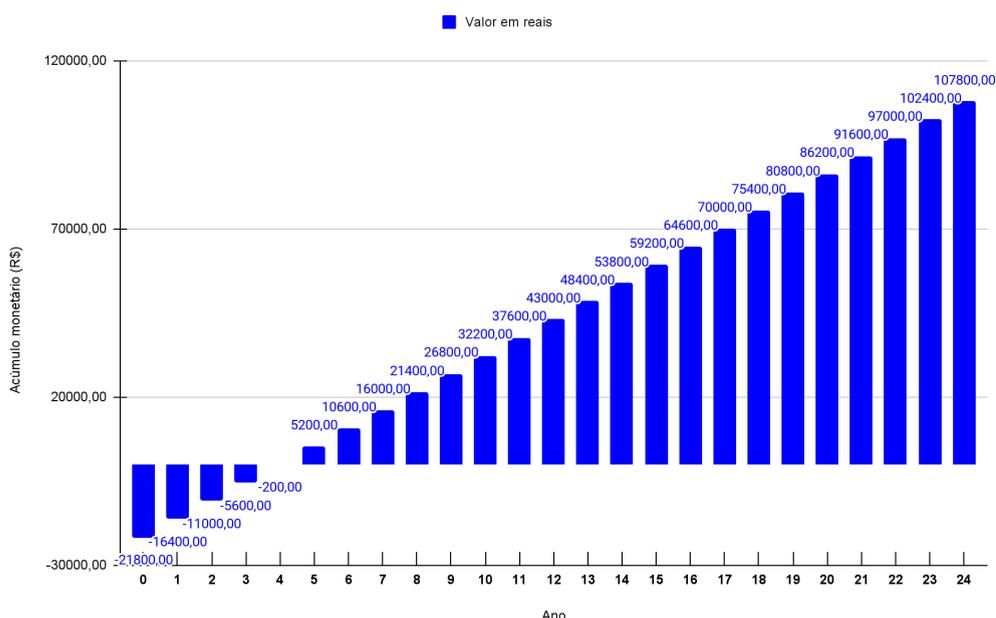
Com base na Figura 22, claramente se observou a viabilidade do sistema do gerador de energia fotovoltaica, a eficiência de instalação e projeto, pois o *payback* é de aproximadamente cinco anos.

Para este *payback*, considerou-se todos o resultado apresentados, o consumidor final poderá obter um resultado financeiro de no mínimo R\$ 75.295,75 no 25º ano de geração, desconsiderando oscilações conforme citado anteriormente e considerando-se que o valor da energia elétrica raramente cairia no futuro.

Ao final da proposta, foi considerada uma economia anual de R\$ 5.400,00, indicando o pagamento do sistema no quinto ano e um acúmulo monetário de R\$ 107.800,00 no 25º ano, conforme a Figura 9, apresentada anteriormente.

Na Figura 23, foi apresentada uma projeção de quando o sistema proposto se auto pagaria, bem como o acúmulo monetário em 25 anos, de acordo com os dados da proposta feita pelo integrados ao consumidor residencial.

Figura 23 - Acúmulo monetário da proposta em 24 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

No acúmulo monetário não foram consideradas oscilações em relação às taxas da tarifa de energia elétrica, impostos ou aos valores cobrados em relação à CIP. Portanto, para se saber os valores exatos, seriam necessários estudos sobre esse valores os quais dependiam de uma projeção dos mesmos nos próximos anos, basicamente uma leitura do mercado futuro de energia elétrica.

Com base nas análises feitas, pôde-se inferir que embora o tempo de payback real tenha sido previsto para aproximadamente nove anos, desconsiderando a inflação energética (que poderia ser um dos fatores que reduziram o tempo de payback real), o *payback* do consumidor residencial avaliado se torna plausível quando se considera todos os benefícios que o consumidor tem pelo maior tempo uso e/ou incremento de cargas em sua residência.

4 CONCLUSÃO

Definitivamente a geração de energia solar fotovoltaica teve seu crescimento consolidado exponencialmente no Brasil e no mundo, isso ocorreu devido a aquisição de geradores por parte dos consumidores finais buscando alternativas para fugir da inflação energética, seja devido a escassez de recursos para geração de energia a partir de fontes alternativas.

Quando se considerou o valor final do quilowatt-hora em proposta no valor de R\$0,85 foi obtido um payback de aproximadamente 5 anos, porém foi visto que este valor não será cumprido nos próximos anos, quando se considera o valor das faturas fornecidas pelo consumidor para a avaliação aqui realizada, mas, quando se considerou o consumo próprio, concluiu-se que o gerador abate seu valor num período bem próxima aquele proposto pelo projeto e integrador.

Embora o consumidor residencial tenha seu payback real maior em relação à proposta, quando se considera o valor em reais (R\$) economizado nas faturas de energia elétrica, nota-se que o mesmo obteve flexibilidade em relação ao tempo de utilização de suas cargas bem como na expansão das mesmas.

Quando se observou meticulosamente o conteúdo deste trabalho, notou-se potencial considerável para sua continuidade, destacando-se abordagens de outros tipos de sistemas, consideração de *paybacks* mais precisos, considerando-se estudos e estimativas de mercados futuros de energia e o comportamento econômico quando se observa sistemas de grandes portes, os quais, geralmente, têm maiores custos, porém tempos de *payback* reduzidos também.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Infográfico de Julho de 2022**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 15 de Jul. de 2021.

ANEEL. **Bandeiras tarifárias**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias/>>. Acesso em: 03 de Jun. de 2021.

ANEEL. **Cálculo Tarifário**. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/calculo-tarifario-e-metodologia/>>. Acesso em: 03 de Jun. de 2021.

ANEEL. **Geração Distribuída**. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/dados/Distribuicao>> Acesso em: 19 de Fev. de 2021.

ANEEL. **“Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional”**– PRODIST, Módulo 3 Acesso ao Sistema de Distribuição.

ANEEL. **Tarifas Consumidores**. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false>. Acesso em: 03 de Jun. de 2021.

ANEEL. **Unidades Consumidoras com geração**. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false>. Acesso em: 03 de Jun. de 2021.

EPE. **Balanco Energético Nacional**. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/>> Acesso em: 26 de Mar. de 2021.

EPE. **Matrizes energética e elétrica**. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica/>>. Acesso em: 15 de Jul. de 2021.

GOV. BR. **Cartilha de Energia**. Disponível em <https://www.gov.br/compras/pt-br/sistemas/arquivos-doc-e-pdf/cartilha_energia.pdf>. Acesso em: 03 de Jun. de 2021.

GOV. BR. **BOLETIM DE MONITORAMENTO DO SIST. ELÉTRICO MAIO DE 2022**. Disponível em <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2022/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico-maio-2022.pdf/view>>. Acesso em: 20 de Jul. de 2022.

IRENA. **Tendências da Geração Solar no Mundo**. Disponível em: <<https://www.irena.org/solar/>>. Acesso em: 15 de Jul. de 2021.

ONS. **EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA NO SIN - AGOSTO2022/ DEZ2026**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 20 de Jul. de 2022.

Ourworldindata. **Produção de energia por fonte no Brasil**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~BRA>>. Acesso em: 15 de Jul. de 2021.

Ourworldindata. **Produção de energia por fonte no mundo**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked>>. Acesso em: 15 de Jul. de 2021.

APÊNDICE 1 - Planilha de cálculo das faturas do consumidor residencial

Tabela A1 - Planilha das faturas: consumo do consumidor residencial

Mês/Ano	Consumo (kWh)	Valor TE (R\$)	Valor TUSD (R\$)	Valor AMAR. (R\$)	Valor VERM1. (R\$)	Valor VERM2. (R\$)	Valor ICMS (R\$)	Valor COF (R\$)	Valor PIS (R\$)	CIP (R\$)	Total (R\$)
Ago. 2018	232	63,25	49,95	0,00	0,00	11,60	44,20	6,42	1,40	12,24	189,05
Set. 2018	225	66,20	52,13	0,00	0,00	11,25	45,93	6,74	1,47	12,24	195,92
Out. 2018	273	92,10	72,19	0,00	0,00	13,65	64,19	12,04	2,59	12,24	268,98
Nov. 2018	254	85,69	67,17	0,47	0,00	10,31	58,83	10,57	2,28	12,24	247,52
Dez. 2018	360	121,45	95,20	2,78	0,00	0,00	79,38	15,37	3,33	12,24	327,69
Jan. 2019	275	92,77	72,72	0,00	0,00	0,00	60,06	12,06	2,62	12,24	252,45
Fev. 2019	417	140,67	110,27	0,00	0,00	0,00	91,37	19,04	4,13	12,24	377,71
Mar. 2019	362	122,12	95,73	0,00	0,00	0,00	80,43	19,27	4,18	12,24	333,95
Abr. 2019	243	81,97	64,25	0,00	0,00	0,00	51,41	6,60	1,42	12,75	218,40
Mai. 2019	369	124,48	97,57	0,80	0,00	0,00	78,44	10,23	2,23	12,75	326,49
Jun. 2019	437	147,42	115,56	3,49	0,00	0,00	95,20	15,69	3,43	12,75	393,52
Jul. 2019	282	95,13	74,57	0,72	0,00	0,00	60,93	10,14	2,22	12,75	256,43
Ago. 2019	325	109,63	85,94	3,96	2,43	0,00	72,06	11,67	2,54	12,75	300,97
Set. 2019	309	94,88	83,86	12,36	0,00	0,00	68,63	12,16	2,64	12,75	287,27
Out. 2019	295	72,71	84,18	0,00	0,00	0,00	55,72	8,45	1,83	12,75	81,84
Nov. 2019	413	101,80	117,85	0,26	0,18	0,00	78,31	12,22	2,63	12,75	92,87
Dez. 2019	352	86,76	100,45	0,00	0,00	0,00	66,41	9,88	2,12	12,75	92,87
Jan. 2020	266	65,56	75,90	0,00	0,00	0,00	50,29	7,74	1,67	12,75	78,84
Fev. 2020	433	106,73	123,56	0,55	0,00	0,00	82,25	13,09	2,83	12,75	92,37
Mar. 2020	308	75,92	87,89	0,00	0,00	0,00	59,02	10,88	2,36	12,75	84,60
Abr. 2020	402	99,09	114,71	0,00	0,00	0,00	77,26	14,80	3,18	12,75	95,18
Mai. 2020	262	64,58	74,76	0,00	0,00	0,00	50,71	10,51	2,27	12,75	80,46
Jun 2020	294	72,47	83,89	0,00	0,00	0,00	54,75	6,48	1,40	12,75	80,43
Jul. 2020	327	80,60	93,31	0,00	0,00	0,00	62,08	10,13	2,21	13,26	86,27
Ago. 2020	235	57,92	67,06	0,00	0,00	0,00	45,06	8,38	1,82	13,26	77,22
Set. 2020	265	65,84	77,00	0,00	0,00	0,00	51,57	9,74	2,12	13,26	77,22
Out. 2020	505	127,70	152,59	0,00	0,00	0,00	101,25	19,28	4,17	13,26	106,08
Nov. 2020	350	88,50	105,75	0,00	0,00	0,00	70,59	14,37	3,13	13,26	94,53
Dez. 2020	447	113,03	135,06	0,00	0,00	0,78	88,98	14,84	3,24	13,26	99,23
Jan. 2021	276	69,79	83,39	0,00	0,00	0,00	53,83	6,83	1,49	13,26	82,72
Fev. 2021	422	106,71	127,51	0,67	0,00	0,00	83,44	12,68	2,74	13,26	95,53
Mar. 2021	410	103,68	123,88	0,32	0,00	0,00	81,58	13,84	3,03	13,26	97,47
Abr. 2021	429	108,48	129,63	0,67	0,00	0,00	85,33	14,13	3,07	13,95	97,68

Tabela A2 - Planilha das faturas:créditos do consumidor residencial

Mês/Ano	Créditos Consumidos (kWh)	Valor TE (R\$)	VALOR TUSD (R\$)	Valor Dif.TE (R\$)	Valor Dif.TU (R\$)	Valor ICMS (R\$)	Valor COF (R\$)	Valor PIS (R\$)	Total Final (R\$)
Ago. 2018	0,00	Não havia gerador de energia solar fotovoltaica neste período							189,05
Set. 2018	0,00								195,92
Out. 2018	0,00								268,98
Nov. 2018	0,00								247,52
Dez. 2018	0,00								327,69
Jan. 2019	0,00								252,45
Fev. 2019	0,00								377,71
Mar. 2019	0,00								333,95
Abr. 2019	0,00								218,40
Mai. 2019	0,00								326,49
Jun. 2019	0,00								393,52
Jul. 2019	0,00								256,43
Ago. 2019	0,00								300,97
Set. 2019	0,00								287,27
Out. 2019	295,00	-72,72	-84,18	12,33	14,27	39,34	2,62	0,57	81,84
Nov. 2019	391,00	-96,38	-111,58	6,90	7,99	49,32	3,13	0,67	92,87
Dez. 2019	352,00	-86,77	-100,45	12,32	14,27	45,06	2,79	0,60	87,77
Jan. 2020	266,00	-65,57	-75,91	12,32	14,26	36,43	2,54	0,55	78,84
Fev. 2020	337,00	-83,07	-96,17	-11,34	-13,13	48,61	3,17	0,68	92,37
Mar. 2020	308,00	-75,92	-87,89	12,32	14,26	41,24	3,31	0,72	84,60
Abr. 2020	402,00	-99,09	-114,72	12,32	14,26	51,06	3,95	0,85	95,18
Mai. 2020	262,00	-64,58	-74,77	12,32	14,26	36,88	3,51	0,76	80,46
Jun 2020	294,00	-72,47	-83,90	12,32	14,26	38,68	2,00	0,43	80,43
Jul. 2020	327,00	-80,61	-93,32	12,32	14,26	42,80	2,98	0,65	86,27
Ago. 2020	235,00	-57,93	-67,06	12,32	14,26	33,76	2,97	0,65	77,22
Set. 2020	265,00	-65,85	-77,00	12,42	14,52	37,52	3,23	0,70	77,22
Out. 2020	399,00	-100,90	-120,57	-14,16	-16,92	59,68	4,42	0,96	106,08
Nov. 2020	350,00	-88,51	-105,76	12,64	15,10	48,50	4,14	0,90	94,53
Dez. 2020	392,00	-99,13	-118,45	-1,26	-1,51	53,09	3,58	0,78	99,23
Jan. 2021	276,00	-69,79	-83,40	12,64	15,10	39,05	2,20	0,48	82,72
Fev. 2021	296,00	-74,85	-89,44	-19,22	-22,96	50,02	3,12	0,67	95,53
Mar. 2021	386,00	-97,61	-116,64	6,57	7,85	51,80	3,57	0,78	97,47
Abr. 2021	369,00	-93,31	-111,50	-2,53	-3,02	51,08	3,47	0,75	97,68

ANEXO A- Tabelas de tarifas concessionária ELEKTRO

Tarifas de Baixa Tensão			
Resolução Homologatória ANEEL n° 2.437/2018, de 21 de Agosto de 2018 – Tabela 2			
Vigência 27/08/2018			
Modalidade Tarifária CONVENCIONAL			
SUBGRUPO	TE (R\$/kWh)	TU (R\$/kWh)	TARIFA FINAL (R\$/kWh)
B1-RESIDENCIAL	0,33735	0,26444	0,60179
B1-RESIDENCIAL BAIXA RENDA			
Consumo mensal até 30 kWh	0,11807	0,07516	0,19323
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh	0,20241	0,12885	0,33126
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh	0,30361	0,19328	0,49689
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,33735	0,21476	0,55211
B2-RURAL	0,23614	0,18511	0,42125
B2-COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	0,23614	0,18511	0,42125
B2-SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO	0,20241	0,15866	0,36107
B3-DEMAIS CLASSES	0,33735	0,26444	0,60179
B4-ILUMINAÇÃO PÚBLICA			
B4a - Rede de distribuição	0,18554	0,14544	0,33098
B4b - Bulbo da lâmpada	0,20241	0,15866	0,36107
Benefícios Tarifários – PERCENTUAIS DE DESCONTO			
SUBGRUPO	TE (R\$/MWh)	TU (R\$/kW)	
ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO - GRUPO B	15,00%	15,00%	

TE: Tarifa de Energia
TU: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição



Fonte: ELEKTRO

Tarifas de Baixa Tensão

Resolução Homologatória ANEEL n° 2.592/2019, de 20 de Agosto de 2019 – Tabela 2

Vigência: 27/08/2019

Modalidade Tarifária CONVENCIONAL

SUBGRUPO	TE (R\$/kWh)	TU (R\$/kWh)	TARIFA FINAL (R\$/kWh)
B1-RESIDENCIAL	0,2465	0,28537	0,53187
B1-RESIDENCIAL BAIXA RENDA			
Consumo mensal até 30 kWh	0,08627	0,07776	0,16403
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh	0,1479	0,13331	0,28121
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh	0,22185	0,19997	0,42182
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,2465	0,22219	0,46869
B2-RURAL	0,18734	0,21688	0,40422
B2-COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	0,18734	0,21688	0,40422
B2-SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO	0,16762	0,19405	0,36167
B3-DEMAIS CLASSES	0,2465	0,28537	0,53187
B4-ILUMINAÇÃO PÚBLICA			
B4a - Rede de distribuição	0,13558	0,15695	0,29253
B4b - Bulbo da lâmpada	0,1479	0,17122	0,31912

Benefícios Tarifários – PERCENTUAIS DE DESCONTO

SUBGRUPO	TE (R\$/MWh)	TU (R\$/kW)
ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO - GRUPO B	12,00%	12,00%

TE: Tarifa de Energia
TU: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição



Fonte: ELEKTRO

TABELA DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA
GRUPO B



VIGÊNCIA: 27/08/2020 A 26/08/2021
RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.762 DE 25 DE AGOSTO DE 2020

DESCRIÇÃO	TUSD (R\$/kWh)	TE (R\$/kWh)	TARIFA
B1 - Residencial			
Consumo Ativo	0,30217000	0,25288000	0,55505000
Consumo Reativo Excedente		0,25288000	0,25288000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	0,58581000	0,31783000	0,90364000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,38621000	0,19732000	0,58353000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,18661000	0,19732000	0,38393000
B1 - Residencial Baixa Renda			
0 a 30 kWh - 65% de desconto	0,08277150	0,08850800	0,17127950
31 a 100 kWh - 40% de desconto	0,14189400	0,15172800	0,29362200
101 a 220 kWh - 10% de desconto	0,21284100	0,22759200	0,44043300
Acima de 220 kWh	0,23649000	0,25288000	0,48937000
B1 - Residencial Baixa Renda INDÍGENA E QUILOMBOLA			
0 a 50 kWh			0,00000000
51 a 100 kWh - 40% de desconto	0,14189400	0,15172800	0,29362200
101 a 220 kWh - 10% de desconto	0,21284100	0,22759200	0,44043300
Acima de 220 kWh	0,23649000	0,25288000	0,48937000
B2 - Rural / Cooperativa de Eletrificação Rural			
Consumo Ativo	0,24778000	0,20736000	0,45514000
Consumo Reativo Excedente		0,25288000	0,25288000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	0,58581000	0,31783000	0,90364000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,38621000	0,19732000	0,58353000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,18661000	0,19732000	0,38393000
B2 - Rural Irrigante			
Consumo Ativo	0,24778000	0,20736000	0,45514000
Consumo Ativo reservado	0,06690060	0,05598720	0,12288780
Consumo Reativo Excedente		0,25288000	0,25288000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	0,58581000	0,31783000	0,90364000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,38621000	0,19732000	0,58353000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,18661000	0,19732000	0,38393000
Consumo Ativo Reservado - Tarifa Branca	0,05038470	0,05327640	0,10366110

Fonte: ELEKTRO