

Alexandre Schultz

**Análise da Viabilidade Econômica da Utilização do Sistema Fotovoltaico
em Habitações de Interesse Social em Belo Horizonte, MG**

Belo Horizonte
2021

Alexandre Schultz

**Análise da Viabilidade Econômica da Utilização do Sistema Fotovoltaico
em Habitações de Interesse Social em Belo Horizonte, MG**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Dr.^a Eleonora Sad de Assis
Co-orientadora: M.Sc. Jacqueline Alves Vilela

Belo Horizonte
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S387a

Schultz, Alexandre.

Análise da viabilidade econômica da utilização do sistema fotovoltaico em habitações de interesse social em Belo Horizonte, MG [manuscrito] / Alexandre Schultz. – 2021.

88f. : il.

Orientadora: Eleonora Sad de Assis

Coorientadora: Jacqueline Alves Vilela

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Energia Solar. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Arquitetura e radiação solar. 4. Energia – Fontes alternativas. 5. Habitação popular – Aspectos sociais. I. Assis, Eleonora Sad de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

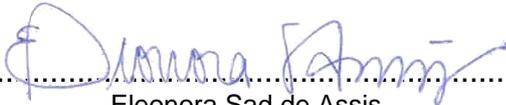
CDD 621.473



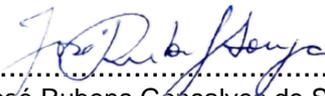
ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DO ALUNO ALEXANDRE SCHULTZ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO.

Às 09:30 horas do dia 29 de março de 2021, reuniu-se por vídeo-conferência a Comissão Examinadora composta pela Professora ELEONORA SAD DE ASSIS, Orientadora - Presidente, Professora JACQUELINE ALVES VILELA, Co-orientadora e pelo Professor JOSÉ RUBENS GONÇALVES DE SOUZA, designados pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído, para avaliação da monografia intitulada "ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM BELO HORIZONTE, MG", de autoria do aluno ALEXANDRE SCHULTZ, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade do Ambiente Construído. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura.

Belo Horizonte, 29 de março de 2021.


.....
Eleonora Sad de Assis
Orientadora-Presidente


.....
Jacqueline Alves Vilela
Membro Titular - co-orientadora


.....
José Rubens Gonçalves de Souza
Membro Titular

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que buscam na Sustentabilidade uma
melhora significativa na qualidade de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram neste trabalho. À pós-graduação da Escola de Arquitetura da UFMG, que possibilitou um melhor conhecimento acerca da Sustentabilidade; às orientadoras professoras Dr.^a Eleonora Sad de Assis e M.Sc. Jacqueline Alves Vilela, por acreditarem e guiarem esse trabalho; aos amigos e colegas desta pós-graduação, por compartilharem um pouco de suas experiências; aos familiares (aqueles próximos Cauã e Angelita, como os de longe, em Curitiba), por estarem comigo sempre que possível; ao Totó, que partiu, e ao Fliper, que chegou, pelo carinho. Sobretudo a Deus, pela luz.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.

Lavoisier

RESUMO

Pesquisas apontam sistematicamente o esgotamento dos recursos naturais. Urge a necessidade da utilização de fontes mais limpas de energia, sobretudo com o crescimento muitas vezes não planejado das cidades. O déficit habitacional é uma realidade e impacta diretamente a qualidade de vida da população. Este trabalho propõe-se a estudar a viabilidade econômica da utilização do sistema fotovoltaico em habitações de interesse social em Belo Horizonte, MG, especificamente no bairro Paulo VI, na região nordeste da capital mineira. Através da revisão de literatura, buscando o aprofundamento da temática, de levantamentos das informações do estudo de caso e aplicação fórmulas e simulações por *softwares* específicos voltados à energia solar (*Rhinoceros®*, *Grasshopper®* e *Ladybug®*), os resultados obtidos demonstram o potencial do sistema fotovoltaico, principalmente se associado ao uso do sistema de aquecimento solar, e levando-se em consideração também a Portaria nº643, que dispõe sobre as condições de provisão de sistemas alternativos de geração de energia para o Programa Minha Casa Minha Vida. O estudo também demonstra a técnica do Envelope Solar, que sugere uma implantação e forma da edificação diferentes à usual, de maneira a privilegiar a iluminação e ventilação naturais e o acesso ao Sol, principalmente. Uma possibilidade estética tanto para a arquitetura, quanto ao urbanismo, vislumbrando o crescimento sustentável. Pesquisas acerca de novas tecnologias e materiais são de grande importância nos sistemas alternativos de energia e apontam para a viabilidade econômica nas habitações de interesse social.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico; Habitação de Interesse Social; Aquecimento Solar; Envelope Solar; Análise Técnico-Econômica e Financeira.

ABSTRACT

Research systematically points to the depletion of natural resources. There is an urgent need to use cleaner sources of energy, especially with the unplanned growth of cities. The lack of housing is a reality and directly impacts the quality of life of the population. This work proposes to study the economic viability of using the photovoltaic system in social dwelling in Belo Horizonte/MG, more specifically in the Paulo VI neighborhood, in the northeastern region of the capital of Minas Gerais. Through the literature review, seeking to deepen the theme, surveying the information in the case study and applying formulas and simulations by specific *software* focused on solar energy (*Rhinoceros*®, *Grasshopper*® and *Ladybug*®), the results obtained demonstrate the potential of the photovoltaic system, especially if associated with the solar heating, and using Ordinance No.643, which provides for the conditions for the provision of alternative energy generation systems for the Minha Casa Minha Vida Program. The study also demonstrates the technique of The Solar Envelope, which suggests an implantation and form of the building different from the usual one, in order to privilege the natural lighting and ventilation. An aesthetic possibility for both architecture and urbanism, envisioning sustainable growth. Research on new technologies and materials is of great importance in alternative energy systems and points to economic viability in social housing.

Keywords: Photovoltaic system; Social interest dwelling; Solar heating; Solar envelope; Technical-Economic and Financial Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de figuras:

Figura 1	Esquema básico de funcionamento do sistema fotovoltaico em uma residência.	Pág. 23
Figura 2	Exemplos de módulos solares fotovoltaicos.	Pág. 25
Figura 3	Capacidade instalada no Sistema Fotovoltaico em 2019.	Pág. 28
Figura 4	<i>Payback</i> para consumidor com GD, segundo a ANEEL.	Pág. 31
Figura 5	<i>Payback</i> para consumidor com GD, segundo a ANEEL, a partir de 2025, ou ao se alcançar o gatilho de 3,365GW de potência instalada, de acordo com as alternativas.	Pág. 31
Figura 6	Resultado dos valores das contas de Março 2016 e 2017.	Pág. 39
Figura 7	Retornos de investimentos para SFCR sem SAS e com SAS.	Pág. 42
Figura 8	Retorno de investimento para SFCR no protótipo de Ijuí/RS.	Pág. 44
Figura 9	Modelo computacional.	Pág. 46
Figura 10	Propostas com tempo de retorno.	Pág. 48
Figura 11	Estudo de implantação em projeto habitacional de envelopes solares (direita) e o desenho gerado a partir do envelope (esquerda), em Los Angeles/CA.	Pág. 51
Figura 12	Tela do <i>software Rhinoceros</i> demonstrando a volumetria inicial do Conjunto Habitacional Água Marinha.	Pág. 51
Figura 13	Resultado do <i>software Rhinoceros</i> demonstrando o potencial de ganho energético nas envoltórias através da radiação solar (kW/m ² /ano) do Conjunto Habitacional Água Marinha.	Pág. 52
Figura 14	Resultado do <i>plug-in Ladybug</i> demonstrando a produção energética nas envoltórias através da radiação solar (kWh) do Conjunto Habitacional Água Marinha.	Pág. 52
Figura 15	Tela do <i>software Rhinoceros</i> demonstrando a volumetria proposta para o Conjunto Habitacional Água Marinha, segundo a técnica do Envelope Solar.	Pág. 53
Figura 16	Resultado do <i>software Rhinoceros</i> demonstrando o potencial de ganho energético nas envoltórias através da radiação	Pág. 53

solar (kW/m²/ano) do conjunto habitacional Água Marinha aplicando-se a técnica do Envelope Solar.

Figura 17	Resultado do <i>plug-in Ladybug</i> demonstrando a produção energética nas envoltórias através da radiação solar (kWh) do Conjunto Habitacional Água Marinha.	Pág. 54
Figura 18	Esquema de instalação do Sistema de Aquecimento Solar.	Pág. 57
Figura 19	Cidade de Belo Horizonte no contexto de Minas Gerais; Bairro Paulo VI na regional Nordeste da capital mineira; Residencial Água Marinha dentro do bairro Paulo VI e os blocos do empreendimento.	Pág. 59
Figuras 20	Blocos padrões de 4 apartamentos por andar do Residencial Água Marinha e planta típica de apartamento com 2 quartos, sala, cozinha e banheiro, totalizando 42m ² .	Pág. 59
Figura 21	Valores obtidos através da simulação na calculadora solar do portal <i>NeoSolar</i> .	Pág. 70
Figura 22	Tabela 1 ABNT NB128 e tabela IBAM/PROCEL, 2003.	Pág. 73
Figura 23	Tabelas 2 da ABNT NB128.	Pág. 74
Figura 24	Tabela de modelos de boilers.	Pág. 74

Lista de tabelas:

Tabela 1	Faixas PMCMV nos anos de 2009 e 2020	Pág. 34
Tabela 2	Comparativo entre a implantação atual e a concepção de Envelope Solar.	Pág. 55
Tabela 3	Estimativa de consumo energético mensal de 1 unidade residencial de família de 4 pessoas.	Pág. 63
Tabela 4	Consumo de energia residencial em kWh/mês	Pág. 65
Tabela 5	Comparativo entre Sistema Fotovoltaico e Sistema Fotovoltaico com Aquecimento Solar de Água.	Pág. 77
Tabela 6	Comparativo entre a implantação atual e a concepção para Envelope Solar com o aquecimento solar térmico trabalhando em conjunto com o SFCR	Pág. 78

Lista de gráficos:

Gráfico 1	Consumo por ambiente dos itens da tabela 1, considerando-se o chuveiro.	Pág. 63
Gráfico 2	Consumo por aparelho dos itens da tabela 1, considerando-se o chuveiro.	Pág. 64
Gráfico 3	Consumo por ambiente dos itens da tabela 1, não se considerando o chuveiro.	Pág. 64
Gráfico 4	Consumo por aparelho dos itens da tabela 1, não se considerando o chuveiro.	Pág. 65
Gráfico 5	Economia na conta de luz em 30 anos.	Pág. 71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica
ABSOLAR: Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica
BNH: Banco Nacional de Habitação
CDHU: Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo
CEHAP: Companhia Estadual de Habitação Popular, na Paraíba
CNM: Confederação Nacional de Municípios
CA: Coeficiente de Aproveitamento
EPE: Empresa de Pesquisa Energética
ES: Envelope Solar
FJP: Fundação João Pinheiro
GD: Geração Distribuída
HIS: Habitação de Interesse Social
IEA: International Energy Agency
INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IRENA: International Renewable Energy Agency
LOUS: Lei de Uso e Ocupação do Solo
ODS: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PMCMV: Programa Minha Casa Minha Vida
SFCR: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
TE: Tarifa de Energia
T&D: Transmissão e Distribuição
TUSD: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UH: Unidades Habitacionais
UR: Unidades Residenciais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Sistema Fotovoltaico	21
2.1.1	Instalação Elétrica	23
2.1.2	Módulo Solar Fotovoltaico	24
2.1.3	Conexão Elétrica	25
2.1.4	Sistema Fotovoltaico no Mundo	26
2.1.5	Legislação Pertinente: Regulamentação ANEEL	28
2.1.6	Vantagens do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR)	32
2.2	Habitações de Interesse Social (HIS)	33
2.2.1	Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)	34
2.2.2	Programa Casa Verde e Amarela (PCVA)	35
2.3	HIS e o SFCR	37
2.3.1	Projeto de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU)	38
2.3.2	Projeto Piloto da Companhia de Habitação do Estado da Paraíba, em João Pessoa	39
2.3.3	Análise de Viabilidade da Energia Solar Fotovoltaica Conectado à Rede, Aplicado a Residências Populares: Estudo de Caso em Itumbiara, GO	41
2.3.4	Utilização de Painéis Fotovoltaicos: Aplicação em Projeto Residencial de Interesse Social no Município de Ijuí, RS	43

2.3.5 Aplicação da Energia fotovoltaica em Programa de Habitação Social em Palmas, TO.....	44
2.3.6 Estudo de Paridade Econômica e Desempenho Energético de Fachadas no Sul do País.....	46
2.3.7 Consumo Energético com a Técnica do Envelope Solar (ES) em Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar Térmico	48
2.3.7.1 Envelope Solar (ES)	50
2.3.7.2 Potencial de Geração Energética do Residencial (Existente)	51
2.3.7.3 Consumo Energético do Residencial (Envelope Solar).....	53
2.3.7.4 Comparativo da Implantação Atual X Implantação Envelope Solar.....	54
2.3.8 Consumo energético com Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar Térmico.....	56
3 METODOLOGIA.....	58
3.1 Apresentação do Caso de Estudo	58
3.2 Desenvolvimento.....	60
4 RESULTADOS	62
4.1 Consumo Energético Atual (Cenário 1).....	62
4.1.1 Consumo do Conjunto Residencial Água Marinha	66
4.1.2 Área de envoltória capaz de produzir energia para o conjunto	66
4.2 Consumo Energético com Sistema Fotovoltaico sem Aquecimento Solar Térmico (Cenário 2).....	67
4.2.1 Energia a Ser Compensada	67
4.2.2 Análise do Recurso Solar	68
4.2.3 Potência-Pico.....	68
4.2.4 Quantidade de Módulos.....	68

4.2.5 Valor a Ser Pago R\$/kWh.....	69
4.2.6 Simulação Através da Calculadora Solar.....	69
4.2.7 Método de <i>Payback</i> Simples	71
4.3 Consumo energético com Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar Térmico (Cenário 3)	72
4.3.1 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar.....	72
4.3.2 <i>Payback</i> do Sistema de Aquecimento Solar	75
4.3.3 Cálculos Para o Sistema Fotovoltaico Atuando em Conjunto com o Sistema de Aquecimento Solar de Água	75
4.3.4 Comparativo Cenários 2 e 3	77
4.4 Consumo Energético com a Técnica do Envelope Solar (ES) em Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar (Cenário 4).....	78
4.5 Discussões	78
5 CONCLUSÕES.....	82
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fontes menos impactantes ao meio ambiente se faz necessária no momento em que várias pesquisas indicam o esgotamento dos recursos naturais, como o hídrico. Como se poderá perceber, o Sistema Fotovoltaico pode ser um dos caminhos a seguir, favorecendo o emprego de uma fonte inesgotável de energia, o Sol. Outros temas que condizem com a Sustentabilidade como, por exemplo, a “mobilidade urbana”, “inovações tecnológicas na construção civil”, “fontes renováveis e o futuro da energia”, “habitação sustentável”, entre muitos outros, que corroboram com o fato de se verificar um crescimento urbano muitas vezes desordenado principalmente das grandes metrópoles e que o “déficit habitacional” é uma realidade. Todos esses tópicos trazem à tona a certeza de que é preciso olhar com mais atenção os problemas sociais e específicos das habitações, estudando possibilidades para a produção de uma Habitação de Interesse Social (HIS) viável e energeticamente sustentável. Assim, este trabalho inicia-se demonstrando alguns problemas com os quais nos deparamos: crescimento desordenado das cidades, déficit habitacional e a necessidade da utilização de fontes mais limpas de energia.

Em 2009 o número de pessoas que viviam em cidades passou a corresponder à metade da população mundial (BARBIERO, 2014). Atualmente esse número é maior, sendo que na América Latina – o continente mais urbanizado do mundo – a população urbana chega a 82%; no Brasil 84% (FAJERSZTAJN *et al.*, 2016).

Estudos indicam que em 2030 a população urbana do Brasil chegará a 88%, sendo que na região Sudeste, a mais urbanizada das regiões brasileiras, este índice poderá alcançar 94,9% (BRASIL, 2007). Esta porcentagem torna-se alarmante quando o mesmo estudo expõe que 1/6 dos habitantes estarão morando em favelas. O crescimento desordenado, muito comum nos países em desenvolvimento, é particularmente notável no Brasil. Segundo Vilela *et al.* (2018, p.2268),

A morfologia das cidades é dada pela aplicação de regulamentos de uso e ocupação do solo que, de forma geral, setorizam a cidade em permissividade, pouco levando-se em consideração as variáveis ambientais (ventilação e insolação naturais). Na concepção dos projetos, pouca atenção é dada aos benefícios de uma orientação solar adequada, de diretrizes bioclimáticas e de ganhos energéticos nos edifícios e no tecido urbano. Muito se deve à força do mercado imobiliário que exerce pressão

em mudanças de uso e ocupação do solo.

É perceptível, portanto, o impacto da urbanização que não leva em consideração fatores ambientais não apenas nas cidades, mas também no meio ambiente como um todo. Isso se reflete na qualidade de vida, mobilidade urbana, habitação e na produção e consumo de energia.

O aumento populacional está relacionado diretamente ao déficit habitacional. De acordo com a Fundação João Pinheiro (2018), entende-se déficit habitacional como a noção mais imediata e intuitiva da necessidade de construção de novas moradias para a solução de problemas sociais e específicos de habitação, detectados em certo momento. Segundo estudo da FJP realizado em 2015, o déficit habitacional estimado no Brasil correspondia a 6,355 milhões de moradias, dos quais 5,572 milhões (87,7%) estão localizadas em áreas urbanas. Deste total, 39% localizam-se na região Sudeste, o que corresponde a 2,482 milhões de unidades. Minas Gerais é a segunda Unidade da Federação com maior déficit, tendo registrado em 2015, 575 mil unidades, atrás apenas do estado de São Paulo (FJP, 2018).

Com o objetivo de facilitar o acesso à casa própria pela população com renda familiar de até R\$9.000,00 por mês, amenizando o problema do déficit habitacional do país, o Governo Federal em parceria com estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos, lançou em 2009 o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O programa contemplava até 2020 quatro faixas de renda familiar: Faixa 1 (famílias com renda até R\$1.800,00), Faixa 1,5 (famílias com renda de entre R\$1.800,00 e R\$2.600,00), Faixa 2 (famílias com renda entre R\$2.600,00 e R\$4.000,00) e Faixa 3 (famílias com renda entre R\$4.000,00 e R\$9.000,00).

De acordo com a Confederação Nacional de Municípios (CNM), entre 2009 e 2019, o PMCMV contratou aproximadamente 5,5 milhões de moradias e entregou 4 milhões. Atualmente 1,5 milhão de unidades estão em andamento.

Para Achão (2003, apud SCARI, 2011, p.9), o consumo médio mensal de energia elétrica varia de acordo com a classe de renda, segundo estudo de 1996. Para o Brasil, chegou-se aos seguintes consumos, para as classes I, II, III, IV e V, respectivamente: 132,7kWh/mês, 154,8kWh/mês, 179,7kWh/mês, 234,8kWh/mês, e

313,7kWh/mês. Como estimativa, considerando-se as 5,5 milhões de moradias apontadas pela CNM e o valor de consumo de 132,7kWh/mês para a classe I, chegamos a um valor aproximado de 700 milhões de kWh/mês de energia consumida entre os anos de 2009 e 2019.

Em novembro de 2017 foi aprovada a Portaria nº643, segundo a qual as habitações do PMCMV devem prover sistemas fotovoltaicos instalados, os quais podem ser substituídos por outro sistema de energia renovável. Alguns requisitos deveriam ser atendidos, tais como: sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) em perfeito funcionamento; equipamentos certificados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO); possuir capacidade mínima de geração de 800kWh anual; e garantia de performance de 25 anos (REZENDE, 2018).

Desse modo, é de interesse analisar a viabilidade econômica do SFCR para empreendimentos de HIS. A população de baixa renda que se encaixa nos parâmetros do PMCMV pode ser beneficiada com a efetivação da portaria, reduzindo seus gastos com a energia elétrica.

O Brasil é um país privilegiado em termos de irradiação solar. Além disso, a tecnologia do sistema solar fotovoltaico está se difundindo no país, graças a redução de preço dos painéis. Levando-se em consideração a problemática, o presente trabalho se justifica por apresentar um estudo da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico aplicado à HIS. Neste sentido, a portaria nº 643, de 2017 tem peso fundamental, através de seus parâmetros estabelecidos. O estudo pode dar visibilidade à tecnologia associada a HIS e promover a economia de energia elétrica, a economia do cidadão com as contas de energia, uma melhor qualidade de vida e diminuir os impactos da geração de energia hidrelétrica para o meio ambiente.

Assim, parte-se da premissa de que o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) implantado em Habitações de Interesse Social (HIS), potencializado pela correta orientação, volumetria e forma do edifício pode viabilizar técnica e financeiramente o uso deste tipo de energia em programas sociais de habitação, como o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), atual Programa Casa Verde e Amarela (PCVA).

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade econômica da utilização da energia solar em HIS em Belo Horizonte, MG. O estudo pretende aliar o uso da energia solar térmica, para aquecimento de água, com o sistema fotovoltaico, para geração de energia. Para tanto, será levado em consideração o sistema proposto já na fase inicial de projeto, ou seja, em sua concepção, além de uma correta implantação dos edifícios.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Levantamento de dados sobre o consumo típico de energia elétrica em habitações sociais multifamiliares do padrão PMCMV, elaborando casos alternativos para economia de energia;
- Análise e comparação do consumo e produção de energia dos casos estudados;
- Estudo da viabilidade financeira para os cenários do funcionamento do sistema fotovoltaico e solar térmico.

Este trabalho segue estruturado com a revisão de literatura, onde será introduzido o SFCR, sua instalação, vantagens e aplicações no mundo; as HIS e como o SFCR tem sido aplicado em alguns casos no Brasil; e apresentação da técnica de Envelope Solar (ES). Após, a metodologia será descrita para apresentação dos resultados e discussões acerca de 4 cenários expostos com intuito de debater a viabilidade econômica dos sistemas alternativos de energia propostos. O trabalho encerra apontando as conclusões das análises, sugerindo o melhor cenário e a forma mais eficiente de geração de energia reforçando a importância da temática.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O aumento populacional por consequência aumenta a demanda por energia elétrica. Segundo Torres (2012), o mundo tem vivenciado um crescimento populacional e com isso aumentou a demanda por energia elétrica. Ainda, de acordo com a autora, entre as diversas fontes primárias de energia, como por exemplo, o petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio, energia hidráulica, solar e eólica, bem como a energia proveniente da biomassa, os combustíveis fósseis (limitados e poluentes) predominam na geração de energia elétrica.

A crescente preocupação com o esgotamento dos recursos naturais aliado ao aumento do preço de combustíveis fósseis contribui para a busca por formas alternativas de produção de energia e tecnologias que agredem menos o meio ambiente, ou seja, é fundamental a diversificação da matriz energética, tornando-a mais sustentável. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), a matriz elétrica brasileira conta com 65,2% de geração oriunda de hidrelétricas. Apesar de ser uma fonte renovável, os impactos ambientais e sociais causados na implantação dessas usinas, não são nulos.

Nos últimos anos, no Brasil, a falta de chuva por longos períodos e a falta de investimento no setor de energia tem causado impacto na economia das empresas que dependem unicamente da energia elétrica para seu funcionamento. Por consequência dessa recessão hídrica, faz-se necessário o acionamento de usinas termelétricas, que são mais caras e poluentes. Acarreta-se, assim, um aumento de até 60% na conta de energia, segundo ABSOLAR (2016).

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2017), apesar do Brasil possuir uma magnitude de radiação solar superior aos países europeus, ainda é uma fonte de energia pouco explorada. Alemanha, França e Espanha, por exemplo, têm projetos de aproveitamento de energia fotovoltaica mais desenvolvidos. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (CONSULTORIA LEGISLATIVA, 2017), as fontes solares representavam então apenas 0,05% da geração de energia no Brasil. Outras fontes renováveis como a eólica, ou a biomassa, possuem maior expressividade com índices de 6,7% e 9,4%, respectivamente. Em razão de suas

dimensões continentais e posicionamento no globo terrestre, o Brasil possui uma alta irradiação solar, podendo assim ampliar a participação da energia fotovoltaica em sua matriz energética.

Neste contexto, o sistema fotovoltaico torna-se uma tecnologia importante no processo de geração de energia. De acordo com Vilela *et al.* (2018, p.2268),

o acesso tanto à radiação solar e à produção da energia dela advinda, deve ser pensada desde a concepção do projeto (parcelamento do solo e edifício), uma vez que o acesso a essa energia está ligada à forma, orientação e disposição das envoltórias dos edifícios no tecido urbano. Os projetos que viabilizem o melhor aproveitamento e o uso de fontes renováveis de energia, como é o caso da solar, podem minimizar os impactos ambientais e promover a diversificação da matriz energética no Brasil.

Desde 2012, com a Resolução Normativa da ANEEL nº482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia através de fontes renováveis através do sistema de compensação de crédito. (ANEEL, 2012). Desde a regulamentação da resolução, já foram implantadas mais de 120 mil unidades consumidoras com micro ou minigeração, e houve redução de 43% do valor dos painéis solares, que possuem vida útil de 25 anos. A fonte solar é a mais utilizada na modalidade, alcançando 98% das conexões. (ANEEL, 2019).

O entendimento do estado da arte deste estudo engloba ao menos dois temas abrangentes, que são: sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCCR) e habitação de interesse social (HIS), mais especificamente situados em Belo Horizonte, MG.

Com a compreensão destes temas é possível integrá-los de modo a verificar o quão possível economicamente é implantar o sistema fotovoltaico nas edificações para as populações de baixa renda. Esta verificação se dará através do estudo de caso de HIS referentes à faixa 1 do PMCMV, como veremos na Metodologia.

Nesta revisão de literatura serão apresentados autores e abordados os principais textos nacionais e internacionais que tratam do assunto, principalmente nos últimos 5 anos. Também serão apresentadas iniciativas públicas e privadas que utilizam o

sistema fotovoltaico em suas habitações, no Brasil, como é o caso dos estados de São Paulo, Paraíba, Rio Grande do Sul, Tocantins e Goiás.

2.1 Sistema Fotovoltaico

A fim de se entender o funcionamento do sistema fotovoltaico, que será utilizado em nosso objeto de estudo, o livro “Edifícios Solares Fotovoltaicos”, de Ricardo Rüther, 2004, foi a referência principal. A obra vai ao encontro deste estudo, permitindo um bom conhecimento da aplicação fotovoltaica. Como veremos, ela pode trazer benefícios tanto aos usuários, quanto ao sistema elétrico e na sociedade como um todo. A integração de painéis solares ao entorno do edifício, de maneira descentralizada e interligação à rede elétrica pública, evitando tanto os bancos de baterias como também os custos de manutenção se relaciona diretamente com este trabalho.

A energia fotovoltaica é produzida a partir de luz solar e o processo de conversão é feito por meio das células fotovoltaicas. Segundo Rüther (2004) através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável. Os painéis fotovoltaicos são formados por um conjunto de células fotovoltaicas que permitem a interconexão a fim de formar arranjos modulares, que em conjunto, podem aumentar a capacidade de geração de energia elétrica.

Desde o surgimento das células solares fotovoltaicas as tecnologias evoluíram até o ponto em que sua utilização se tornou possível em nosso cotidiano, visto que inicialmente eram utilizadas em satélites. Sua aplicação pode ser identificada em locais onde a rede elétrica pública não está presente (sistema remoto ou autônomo) e necessitam de baterias para a acumulação de energia. Outra possibilidade de utilização do sistema fotovoltaico é sua interligação à rede elétrica pública, podendo então se apresentar de forma integrada a uma edificação, ou de forma centralizada, como uma usina central, mais afastada do edifício. A indústria vem produzindo itens capazes de coletar e armazenar a energia solar para a produção de energia fotovoltaica, os quais podem ser utilizados nas envoltórias dos edifícios (RÜTHER,

2004.). Assim, muitas placas solares disponíveis atualmente no mercado podem ser utilizadas como elemento arquitetônico tanto em coberturas, como fachadas e janelas.

Partindo de um conjunto habitacional tradicional, onde vários blocos se conectam em um terreno limitado, muitas vezes atendendo apenas ao programa legal de índice de permeabilidade, taxa de ocupação, número de vagas de estacionamento, entre outros, nossas edificações não possuem espaços “livres” para a implantação de uma usina fotovoltaica. A implantação de painéis solares na cobertura e fachada, por exemplo, é uma das alternativas que viabilizam a utilização do sistema, portanto. Aliando-se ao menor custo de manutenção, em uma realidade em que muitas vezes os moradores não conseguem dar a devida atenção aos reparos, possuímos um sistema potencialmente eficiente.

Os painéis solares fotovoltaicos possuem versatilidade, podendo ser aplicados de diversas formas no edifício, como em telhados ou em seu envoltório (paredes e janelas). Com vida útil superior a 30 anos e expostos às intempéries, os painéis fotovoltaicos formam um sistema importante de geração de energia elétrica, podendo ser implantados em residências unifamiliares e conjunto residenciais, possibilitando a diversificação energética de forma mais sustentável. No Brasil, quase metade da energia elétrica consumida é utilizada em edificações residenciais, comerciais e públicas, sendo o setor residencial responsável por 23% do total do consumo nacional (RÜTHER, 2004.).

Uma outra característica importante do sistema fotovoltaico é que muitas vezes o pico de consumo coincide com o de geração, como é no caso da utilização de aparelhos condicionadores de ar. Nos momentos de maior incidência solar, onde a geração de energia é potencializada, o consumo também é maior, pois a demanda de ar-condicionado aumenta. Esse “alívio” no sistema pode auxiliar para que não ocorram sobrecargas de transmissão e distribuição (T&D), diminuindo, inclusive, riscos de *blackouts*.

Para este estudo, será aplicada a forma integrada ao edifício, uma vez que a mesma possibilita sua implantação em telhados e fachadas, junto ao ponto de consumo. A

geração distribuída, caracterizada pela utilização de geradores de pequeno porte de forma integrada ao edifício, é uma alternativa complementar à geração centralizada.

2.1.1 Instalação Elétrica

A instalação do sistema fotovoltaico deve obedecer às mesmas normas técnicas de uma instalação elétrica de baixa tensão, a NBR 5410.

A Figura 1 apresenta um esquema básico do sistema fotovoltaico aplicado em uma residência. O funcionamento ocorre através da captação da energia do Sol pelos módulos fotovoltaicos, sendo a mesma transformada em energia elétrica em corrente contínua. Após passar pelo inversor, onde a energia é transformada em corrente alternada, o circuito é ligado tanto na rede pública, quanto no circuito interno da casa. Dessa maneira, a energia gerada é instantaneamente consumida pela residência, e a energia a mais é ligada à rede externa. Quando não há energia solar suficiente ao consumo, a rede pública fornece a energia elétrica. Ao se injetar a energia excedente na rede da concessionária, são gerados créditos que serão abatidos no total consumido.

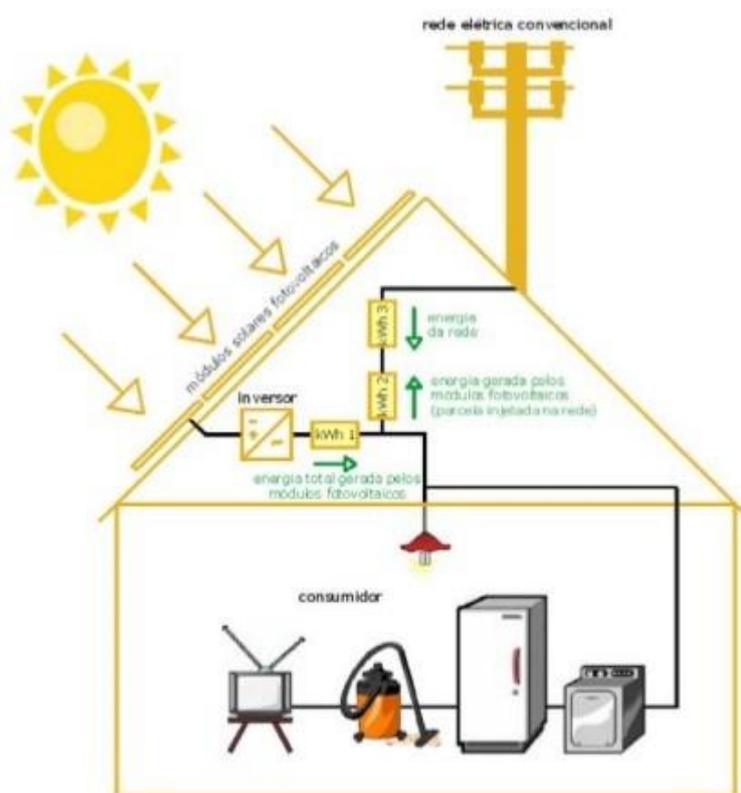


Figura 1 Esquema básico de funcionamento do sistema fotovoltaico em uma residência
Fonte: Rütger, 2004.

Além dos módulos solares de cobertura, a indústria fotovoltaica vem desenvolvendo diversos produtos para a envoltória dos edifícios. Sob a forma de um rolo flexível, módulos fotovoltaicos de aço inoxidável e de vidro sem moldura e até mesmo telhas de vidro são opções no mercado.

2.1.2 Módulo Solar Fotovoltaico

O módulo solar fotovoltaico, ou painel fotovoltaico ou ainda placa solar, como é conhecido o seu conjunto, é a base do sistema. De acordo com Rüter, 2004, a quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação. A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou a conexão em série, chamada de *strings*. A potência instalada é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais (RÜTHER, 2004).

Os módulos solares fotovoltaicos, por sua vez, são formados por células solares fotovoltaicas, sendo esses semicondutores compostos por elementos como o silício cristalino (c-Si), monocristalino (mono-Si), policristalino (poli-Si) e o silício amorfo hidrogenado (a-Si), além de outros tóxicos ou raros, que não de silício. Acrescenta-se, inclusive, que o silício é um dos elementos mais abundantes na superfície do planeta. O conjunto de 36, 60 ou 72 células, em um sanduíche composto de películas, vidro, moldura, caixa formam o módulo solar.

Para gerar a corrente elétrica, as partículas de luz provenientes do Sol, chamadas de fótons, atingem as células fotovoltaicas, fazendo com que os elétrons que circundam o átomo se movimentem. O movimento contínuo dos elétrons no condutor é a corrente elétrica. Essa corrente proveniente dos módulos é contínua (CC) e ao passar pelo inversor, também conhecido como conversor CC-CA, torna-se corrente alternada (CA). Essa corrente elétrica faz interface com a rede elétrica e pode ser conectada diretamente nas residências.



Figura 2 Exemplos de módulos solares fotovoltaicos

Fonte: Rüter, 2004.

Além das características intrínsecas dos elementos que compõem o módulo solar, outros parâmetros estão relacionados no sistema a fim de se obter a melhor performance possível. A radiação solar é o principal, assim como a orientação e inclinação dos módulos. Essas duas relacionam-se com as radiações direta, difusa e a fração de albedo (reflexão dos arredores).

Segundo Rüter, (2004, p.28)

como regra geral, a inclinação ótima com relação à horizontal para incidência solar máxima em regime anual é dada pela latitude local. A orientação ideal é a de uma superfície voltada para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte).

Outros parâmetros também influenciam o rendimento do sistema gerador fotovoltaico, como a temperatura dos painéis, o sombreamento parcial, o descasamento entre placas, resistência dos condutores e a limpeza dos painéis.

2.1.3 Conexão Elétrica

Como mencionado, a energia do Sol é transformada em energia elétrica graças a diversos fenômenos e equipamentos até ser ligada à rede de energia da empresa concessionária e ao quadro elétrico das residências. No Brasil, essa geração distribuída utiliza o modelo conhecido como *net metering*, ou medição líquida. Neste

sistema, o medidor é bidirecional, ou seja, o equipamento faz a leitura tanto da energia que chega à residência, como a energia injetada na rede pública. Quando o sistema fotovoltaico gera mais energia do que é consumido, o medidor injeta energia na rede da concessionária e o medidor anda para trás; quando a demanda da unidade consumidora é maior que a fornecida pelo sistema fotovoltaico, utiliza-se a rede pública e o medidor gira no sentido normal.

Como há a necessidade de um medidor bidirecional, a concessionária de energia é responsável pela troca do equipamento nas residências, uma vez que devem homologar os equipamentos, analisar e aprovar os projetos de implementação de sistemas. Como veremos a seguir, a regulamentação do sistema é de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

2.1.4 Sistema Fotovoltaico no Mundo

A utilização do sistema fotovoltaico integrados aos edifícios tem aumentado consideravelmente em diversos países, como na Alemanha (onde é pioneira), Espanha, Japão, Estados Unidos e China. De acordo com Perezagua (2007), a geração de energia elétrica de forma integrada à edificação já é uma realidade havendo expectativa de que no futuro quase todas as edificações tenham sistemas fotovoltaicos integrados, algumas gerando energia equivalente ao próprio consumo. Inclusive, espera-se que os módulos fotovoltaicos estejam disponíveis em uma grande variedade de elementos construtivos, sendo uma opção de material a ser empregada na edificação.

Um dos principais países na indústria de tecnologia fotovoltaica é a Alemanha. No início da década de 1990, o primeiro programa de implantação deste tipo de sistema, o *1000-Roofs Program* foi lançado pelo governo alemão. Atualmente, o país institui tarifas diferenciadas para a energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos (SFV) integrados no edifício. Com um programa atrativo de investimento, onde as concessionárias de energia alemãs eram obrigadas a comprar toda a energia gerada pelo SFV a uma tarifa 3 vezes maior que a convencional, houve impulsionamento do

desenvolvimento da tecnologia (CASA EFICIENTE, 2010). Por outro lado, esse programa trouxe prejuízos às concessionárias alemãs.

No geral, países com maior potencial de desenvolvimento em energia solar fotovoltaica dispõem de políticas de incentivo à tecnologia. Segundo a IEA (*International Energy Agency*) o uso de energia solar poderá chegar a 30% em 2022 em países com maior capacidade instalada de geração, como China, Alemanha, Japão e Estados Unidos. Com 25,8% da produção global, a China é o país mais capacitado para a geração de energia solar instalada¹. Ainda, por ser a maior fabricante de painéis solares no mundo, a China possui a maior planta de geração solar e também é responsável pelo consumo de metade da produção de placas solares do mundo inteiro.

Segundo o *ranking* IRENA (*International Renewable Energy Agency*) para “Capacidade Instalada” em “Sistema Solar Fotovoltaico”, de 2019, a ordem dos países é mostrada conforme a Figura 5. A capacidade instalada para cada país é:

- China: 205.072,165 MW;
- Japão: 61.840,000 MW;
- Estados Unidos: 60.539,900 MW;
- Alemanha: 49.016,000 MW.

¹ Em [https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo#:~:text=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Sistemas%20de%20Energia%20Solar%20no%20Mundo&text=Correspondendo%20a%2025%2C8%25%20da,o%20Meio%20Ambiente%20\(Pnuma\)](https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo#:~:text=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Sistemas%20de%20Energia%20Solar%20no%20Mundo&text=Correspondendo%20a%2025%2C8%25%20da,o%20Meio%20Ambiente%20(Pnuma)). Acessado em 19/02/2020

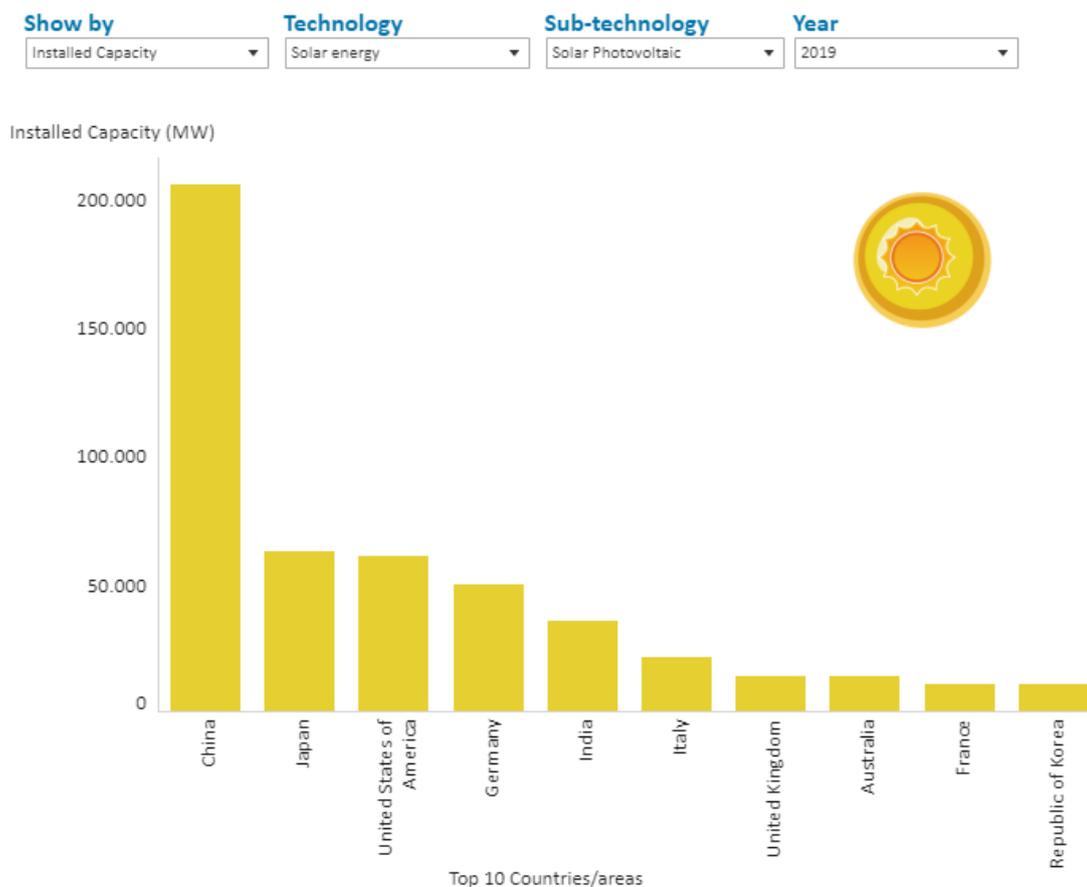


Figura 3 Capacidade instalada no Sistema Fotovoltaico em 2019. Simulação no site <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings> em 19/10/2020.

O Brasil ocupa a 16^o posição, com capacidade instalada de 4.533 MW. Em 2019 o país adicionou 2.120 MW, sendo 1.470MW em geração distribuída e 650 MW em geração centralizada. De acordo com a ABSOLAR, o Brasil fechou o ano de 2019 com R\$ 24,1 bilhões em investimentos privados acumulados na fonte solar fotovoltaica. Importante salientar que o Brasil está no top 10 se forem consideradas outras fontes de energia renováveis, como a hídrica, eólica e a biomassa. Há uma clara evolução nos investimentos que o país faz no sistema solar e um campo muito grande a ser explorado.

2.1.5 Legislação Pertinente: Regulamentação ANEEL

A ANEEL regulamentou no Brasil em abril de 2012 a geração distribuída através da Resolução Normativa ANEEL nº482/2012. Essa modalidade refere-se aos sistemas

de geração de energia elétrica por geradores de pequeno porte, que utilizam fontes renováveis, como a solar, eólica, biomassa, entre outros. As usinas são classificadas em microgeração (de até 75kW) e minigeração (entre 75kW e 1MW). Ainda, a citada Resolução estabeleceu as condições gerais para a conexão às redes de energia das concessionárias e adotou o sistema de compensação de energia *net metering*.

Após este movimento inicial, a ANEEL revisou a Resolução nº482/2012 e publicou a Resolução Normativa (REN) ANEEL nº687/2015, com validade a partir de março de 2016, que ampliou e/ou aprimorou as modalidades e definições dos consumidores-produtores. Para este estudo, destaca-se a possibilidade de geração distribuída (GD) em condomínios, com utilização de créditos seja para a área comum como ao particular, ou seja, múltiplas unidades consumidoras. Complementa-se neste item a geração compartilhada onde múltiplas unidades consumidoras podem se reunir através de consórcio ou cooperativa, e também o autoconsumo remoto, que é a geração em local distinto ao consumo. Esta última Resolução ainda alterou a potência da minigeração passando para a faixa entre 75kW a 5MW; ampliou o prazo de validade de créditos para 60 meses; e reduziu o prazo para a distribuidora conectar as usinas, que era de 82 dias para 34 dias.

Atualmente está sendo revisada a REN 482/2012 (REN 687/2015). O processo iniciou-se em maio de 2018 e até a conclusão deste trabalho (início do ano de 2021), ainda não foi publicada. O que mais se discute durante esse processo de revisão é a alteração da forma como são valorados os créditos de energia. Hoje, cada kWh produzido pela usina é compensado integralmente pela rede distribuidora (1:1 em R\$/kWh). Ressalta-se que desta maneira o consumidor-produtor não paga todos os componentes do sistema, como a remuneração das distribuidoras.

Entre 2018 e 2019 um conjunto de consultas e audiências públicas foram realizadas referentes às alternativas criadas pela ANEEL² para a revisão da Resolução Normativa. Em cada uma das alternativas, perde-se uma componente tarifária. Com cenários diversos as alternativas encontram-se a seguir e os termos “Fio A” e Fio B”

² Em <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+Modelo+de+AIR++SRD++Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida.pdf/769daa1c-51af-65e8-e4cf-24eba4f965c1> em 14/10/2020.

correspondem, respectivamente, ao custo do uso de redes de distribuição ou de transmissão de terceiros; e ao custo do serviço prestado pela própria distribuidora.

- Alternativa 0 - Cenário atual: a compensação da energia injetada na rede se dá por todas as componentes da TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) e da TE (Tarifa de Energia);
- Alternativa 1 - Incide Fio B³: a componente Transporte Fio B incidiria sobre toda a energia consumida da rede. As demais componentes tarifárias continuariam incidindo sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede;
- Alternativa 2 – Incide Fio A e Fio B: as componentes referentes ao Transporte (Fio A e Fio B) incidiriam sobre toda a energia consumida da rede. As demais parcelas da tarifa continuariam incidindo sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede;
- Alternativa 3 – Incide Fio A, Fio B e Encargos: equivalente à alternativa anterior, mas incluindo a parcela de Encargos da TUSD entre as componentes que seriam aplicáveis a todo o consumo de energia registrado na unidade;
- Alternativa 4 – Incide toda a TUSD: com esta alternativa, as componentes da TE incidiriam sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede, de maneira que a TUSD continuaria incidindo sobre toda a energia consumida da rede;
- Alternativa 5 – Incide toda a TUSD, os Encargos e demais componentes da TE: neste caso, apenas a componente de Energia da TE incidiria sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede. As demais componentes tarifárias incidiriam sobre toda a energia consumida da rede.

Ainda de acordo com a ANEEL, sob a perspectiva do consumidor com geração distribuída, resultados mostram que o tempo de retorno de investimento (*payback* simples) é atualmente da ordem de 5 anos (Figura 4), com tendência de queda, mantendo o cenário atual (Alternativa 0).

³ Fio A - Correspondente ao custo do uso de redes de distribuição ou de transmissão de terceiros.
Fio B - Correspondente ao custo do serviço prestado pela própria distribuidora.



Figura 4 Payback para consumidor com GD, segundo a ANEEL

Fonte: ANEEL, 2018.

Entretanto, caso a compensação passe a se dar sob alguma das demais alternativas, a partir de 2025 (ou quando o mercado atingir a marca de 3,365GW de potência instalada - o gatilho), o *payback* tende a ser como mostra a Figura 5.



Figura 5 Payback para consumidor com GD, segundo a ANEEL, a partir de 2025, ou ao se alcançar o gatilho de 3,365GW de potência instalada, de acordo com as alternativas.

Fonte: ANEEL, 2018.

Segundo a Agência, caso se opte pela manutenção das regras atuais até que seja atingido o limite de potência de 3,365 GW e, em seguida, o Sistema de Compensação passe a ser realizado com pagamento da TUSD Fio B por toda energia consumida

(Alternativa 1), seriam atingidos, até o final do período de análise, 2,3 milhões de unidades consumidoras com GD, representando uma potência instalada de 17,348 GW, superior à Usina de Itaipu.

2.1.6 Vantagens do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR)

Os sistemas solares fotovoltaicos possuem diversas vantagens não só para o consumidor, que é o público-alvo deste estudo, desde que haja viabilidade econômica, ou por se tratar de uma fonte de energia renovável, diversificando a matriz energética, mas também para o sistema elétrico como um todo. De acordo com Rüter (2004), pode-se destacar:

- Mitigação de perdas por transmissão e distribuição de energia;
- Redução de investimentos em linhas de transmissão e distribuição;
- Não há a necessidade de aumento de área física para implantação do sistema, pois há a possibilidade de utilização dos equipamentos fotovoltaicos tanto na cobertura, como na envoltória do edifício;
- Edifícios solares fotovoltaicos oferecem um alto Fator Efetivo de Capacidade Carga (FECC) a alimentadores da rede com picos diurnos, ou seja, maior geração de energia nos momentos em que há maior consumo, como são os casos de utilização dos equipamentos condicionadores de ar.

Sobre este último ponto, Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), Rüter (2004, p.47), acrescenta:

Alimentadores urbanos de regiões onde predominam consumidores comerciais apresentam os maiores índices de FECC, uma vez que a geração fotovoltaica coincide com o horário comercial e as demandas de ar condicionado e iluminação artificial. Alimentadores urbanos em áreas predominantemente residenciais, por outro lado, apresentam índices FECC menores, uma vez que as maiores demandas residenciais ocorrem no final da tarde e à noite. O crédito de capacidade nestas regiões pode, no entanto, ser melhorado consideravelmente se considerarmos que a energia gerada pode ser utilizada em áreas urbanas de perfil comercial adjacente do sistema de distribuição, já que áreas residenciais com padrão de construção horizontal em regiões ensolaradas apresentam grandes áreas de cobertura apropriadas para a geração fotovoltaica.

2.2 Habitações de Interesse Social (HIS)

As habitações de interesse social (HIS) são aquelas voltadas à população de baixa renda que não possuem acesso à moradia formal ou até mesmo condições de pagar os serviços de construção civil.

De maneira ampla, segundo o IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), dentre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas, o 11º voltado à Cidades e Comunidades Sustentáveis, é tornar as cidades e assentamento humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Como meta as Nações Unidas pretendem, até 2030, garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, aos serviços básicos e urbanizar as favelas. Já a meta do Brasil é até 2030 garantir o acesso de todos a moradia digna, adequada e a preço acessível; aos serviços básicos e urbanizar os assentamentos precários de acordo com as metas assumidas no Plano Nacional de Habitação, com especial atenção para grupos em situação de vulnerabilidade.

De acordo com Moreira (2020), no Brasil o interesse do Governo Federal na construção de HIS iniciou-se na década de 1930, com a industrialização do país. A população rural, que se deslocava para trabalhar e viver nas cidades, tinha como opção as vilas operárias ou moradias de aluguel. Com a criação, em 1964, do Banco Nacional de Habitação (BNH), os Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAPs) encomendaram projetos de arquitetos modernistas, como Atílio Corrêa Lima, Carlos Frederico Ferreira e Maciel Fleury de Oliveira. Mesmo assim, a quantidade de moradias foi pouco expressiva já que, entre 1937 e 1964, foram produzidas apenas 140 mil moradias de HIS, em sua maioria, destinadas ao aluguel (MARICATO apud BRASIL, 2009).

A Lei Federal 11.124, de 16 de junho de 2005 dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social - SNHIS, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social - FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS. O SNHIS possui os seguintes objetivos:

- I – viabilizar para a população de menor renda o acesso à terra urbanizada e à habitação digna e sustentável;
- II – implementar políticas e programas de investimentos e subsídios, promovendo e viabilizando o acesso à habitação voltada à população de menor renda; e
- III – articular, compatibilizar, acompanhar e apoiar a atuação das instituições e órgãos que desempenham funções no setor da habitação.

Como resultado dessa lei, surgiu o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), em 2009. Muitas são as críticas em relação ao Programa, principalmente ao fato do foco na quantidade, não refletindo na qualidade das habitações.

2.2.1 Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)

Segundo a Caixa Econômica Federal (CEF), agente financeiro do sistema, o PMCMV, oferecia condições especiais para o financiamento de moradias em áreas urbanas para famílias com renda familiar bruta de até R\$9.000 por mês (Bolsa-Família não era considerada como renda familiar). O Programa era uma parceria entre estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos.

Como veremos a seguir, o Governo Federal, em 2020, alterou o Programa, passando o mesmo a se chamar Programa Casa Verde e Amarela (PCVA), com algumas características diferentes.

Este estudo irá trabalhar com as HIS construídas dentro do PMCMV.

Desde o início, em 2009, até a mudança para PCVA, em 2020, o PMCMV modificou as faixas de renda, que eram conforme Tabela 1:

Tabela 1: Faixas PMCMV nos anos de 2009 e 2020

PMCMV	FAIXA 1	FAIXA 1,5	FAIXA 2	FAIXA 3
2009	Até R\$1.600,00	---	Entre R\$1.600,00 e R\$3.275,00	Entre R\$3.275,00 e R\$5.000,00
2020	Até R\$1.800,00	Entre R\$1.800,00 e R\$2.600,00	Entre R\$2.600,00 e R\$4.000,00	Entre R\$4.000,00 e R\$9.000,00

Para cada faixa de renda, havia condições específicas de financiamento:

- Faixa 1: o governo pagava 90% do valor da propriedade; o restante de 10% podia ser pago em até 10 anos; valor máximo de imóvel de R\$96.000,00.
- Faixa 1,5: subsídio de R\$47.500,00 para famílias com renda até R\$1.200,00; financiamento bancário em até 30 anos com juros de 5% ao ano; valor máximo de imóvel de R\$144.000,00.
- Faixa 2: para famílias com renda até R\$1.800,00 o Programa pagava R\$29.000,00 de subsídio para casas em SP, RJ e DF; R\$26.365,00 para imóveis na região Sul, ES e MG; R\$23.200,00 nas demais regiões; restante financiado com taxas de 6% a 7% ao ano; valor máximo de imóvel de R\$240.000,00. Possibilidade de comprar imóveis novos, usados ou na planta, assim como comprar e construir em um terreno.
- Faixa 3: sem subsídio; taxa de até 9,16% ao ano; valor máximo de imóvel de R\$300.000,00. Possibilidade de comprar imóveis novos, usados ou na planta, assim como comprar e construir em um terreno.

Ressalta-se que além de estar em uma daquelas faixas de renda, a compra da casa pelo PMCMV só era permitida para quem não fosse dono nem tivesse financiamento de outro imóvel residencial, entre outros requisitos.

2.2.2 Programa Casa Verde e Amarela (PCVA)

Apesar do PCVA ser a iniciativa do Governo Federal a partir de 2020, para a questão habitacional, ele ainda não possui dados suficientes para esta pesquisa. O PCVA substituiu o anterior PMCMV com características diferentes, como será pontuado a seguir, entretanto, as HIS que são tomadas como casos deste estudo foram implantadas durante o PMCMV.

Com o mesmo objetivo do programa anterior, o PCVA, visa facilitar o acesso da população a uma moradia própria. Comparativamente, houve ajustes nas faixas de renda (agora chamadas de grupos), além das modalidades de atendimento, contemplando regularização fundiária e melhoria habitacional. As taxas de juros também foram modificadas de acordo com a renda e a região do país.

O PCVA possui 3 grupos de rendas, que são:

- Grupo 1: Renda familiar até R\$2.000,00.
- Grupo 2: Renda familiar entre R\$2.000,00 e R\$4.000,00.
- Grupo 3: Renda familiar entre R\$4.000,00 e R\$7.000,00.

Para cada grupo há diferentes taxas de juros, levando-se em consideração primeiramente a localização geográfica (se Sul, Sudeste e Centro Oeste ou Norte e Nordeste), além de se cotista ou não do FGTS. Segundo a Agência Senado (2020), o programa possui as seguintes condições de juros:

Moradores Sul, Sudeste e Centro Oeste:

- Grupo 1: Taxa de juros de 5% a 5,25% (não cotista do FGTS) e de 4,5% a 4,75% (cotista do FGTS)
- Grupo 2: Taxa de juros de 5,5% a 7% (não cotista) e de 5% a 6,5% (cotista)
- Grupo 3: Taxa de juros de 8,16% (não cotista) e de 7,66% (cotista)

Moradores Norte e Nordeste:

- Grupo 1: Taxa de juros de 4,75% a 5% (não cotista do FGTS) e de 4,25% a 4,5% (cotista do FGTS)
- Grupo 2: Taxa de juros de 5,25% a 7% (não cotista) e de 4,75% a 6,5% (cotista)
- Grupo 3: Taxa de juros de 8,16% (não cotista) e de 7,66% (cotista)

Outras duas diferenças entre os programas são a Regularização Fundiária e a Melhoria Habitacional. A regularização fundiária tem por objetivo a garantia do direito social à moradia através de um conjunto de ações com intuito de regularizar assentamento irregulares e dar titulação ao ocupante. Atualmente a regularização é feita pelas prefeituras, entretanto com o novo Programa, empresas terão permissão para acelerar o processo de regularização. Serão contempladas áreas ocupadas por famílias com renda de até 5 mil reais.

Para as reformas, serão atendidos proprietários de imóveis selecionados para a Regularização Fundiária com renda mensal de até 2 mil reais.

2.3 HIS e o SFCR

São recentes no Brasil os projetos de HIS que possuem o objetivo de proporcionar à população de menor poder aquisitivo um sistema que utiliza a energia solar (aquecimento de água ou fotovoltaico, por exemplo), para diminuir os impactos da conta de energia elétrica no orçamento familiar e garantir a sustentabilidade ambiental.

Em novembro de 2017, foi publicada a Portaria nº643/2017. A mesma dispõe sobre as condições gerais para provisão de sistemas alternativos de geração de energia para empreendimentos contratados no PMCMV. A Portaria considera a energia fotovoltaica um dos sistemas alternativos de geração de energia (ao lado da biomassa e energia eólica, por exemplo). Foi estipulado que para a tipologia casa, a instalação de sistema de geração de energia solar é obrigatória nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, e facultativa nas regiões Norte e Nordeste, podendo o mesmo ser substituído por outro sistema de geração de energia. Para tanto, o valor máximo de aquisição das unidades habitacionais pode ser aumentado em até 3 mil reais. Também é admitida a instalação em empreendimentos multifamiliares, para o fornecimento de energia em suas áreas comuns, com acréscimo de até 3 mil reais. Os custos dizem respeito à aquisição, instalação e os serviços de instalação. O fornecedor do SFV deve oferecer garantia contra defeitos por pelo menos 10 anos e garantia de performance por 25 anos. O construtor deve dar garantia da execução da instalação por 5 anos e garantir a geração de energia elétrica do SFV de pelo menos 800kWh/ano.

Essa iniciativa vem de análises de viabilidade e de modelos de negócios a partir de colaborações entre o Ministério das Cidades, Ministério do Trabalho e FIESP. Os estudos contaram além da FIESP, com a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica), Furnas e instituições parceiras. Segundo cálculos do estudo, com a geração de energia fotovoltaica em residências e condomínios do PMCMV, seria possível a redução em até 70% com os gastos de energia dos beneficiados.

A seguir, apresentam-se alguns projetos implantados ou pesquisas do SFCR nas HIS, nos estados de São Paulo, Paraíba, Rio Grande do Sul, Tocantins e Goiás.

2.3.1 Projeto de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU)

Impulsionado pela REN 687/2015 da ANEEL, o projeto tem como objetivo a implantação do SFCR em HIS e pode ser dividido em ações sociais (qualidade de vida do usuário), econômicos (redução do custo de morar) e ambientais (incentivo ao uso de energias limpas).

De acordo com a CDHU (2017), o sistema proposto de Energia Fotovoltaica para tipologias verticais visou suprir a energia elétrica consumida pelas áreas comuns, corredores, bombas de recalques e elevadores, se houver, para a diminuição no valor do condomínio aos moradores. As placas fotovoltaicas foram instaladas nas coberturas dos edifícios e do Centro de Administração Comunitária. As áreas comuns tiveram lâmpadas substituídas pelas do tipo LED.

O projeto foi dividido em duas etapas. A primeira etapa, chamada de projeto piloto, previu a implementação do sistema em 23 unidades habitacionais, distribuídas nas cidades de São José do Rio Preto (14 HIS), Catanduva (8 HIS), Botucatu (4HIS) e São José dos Campos (3 HIS). A segunda etapa consistia na implantação, após o período de avaliação do projeto piloto, do sistema em 51 mil unidades habitacionais no estado de São Paulo. De acordo com o cronograma, os estudos sobre o SFCR até o monitoramento do projeto piloto aconteceram entre o 1º trimestre de 2016 até o 2º trimestre de 2018. A implantação da 2ª etapa aconteceu entre o 1º trimestre de 2018 até o 2º trimestre de 2019.

Para a viabilização do projeto, uma das estratégias utilizadas se deu a partir da Lei Federal nº9.991/2000, que estabeleceu as diretrizes para a elaboração do Programa de Eficiência Energética (PEE). Segundo a legislação, as concessionárias e as permissionárias devem aplicar, no mínimo, 0,5% de sua receita operacional líquida para combater o desperdício de energia elétrica. Dessa forma a CDHU utilizou a porcentagem dos PEE´s das concessionárias para financiar a implantação do projeto.

De acordo com a CDHU, o valor estimado para investimento foi em torno de R\$183.560.000,00, sendo 180 milhões de reais em casas isoladas e pouco mais de 3 milhões em tipologias verticais.

Para o projeto piloto 01 - Pontes Gestal F, de 14 unidades habitacionais, foram instalados em cada residência 4 módulos fotovoltaicos e 2 micro inversores. Os resultados obtidos para 9 unidades habitacionais são mostrados na Figura 6.

	Valor Conta mar/16	Valor Conta mar/17	Economia	% Redução	Valor a pagar mar/17	OBS
1	R\$ 92,08	R\$ 12,55	R\$ 79,53	86%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
2	R\$ 117,62	R\$ 57,10	R\$ 60,52	51%	R\$ 123,05	soma mês anterior
3	R\$ 42,94	R\$ 18,33	R\$ 24,61	57%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
4	R\$ 100,93	R\$ 29,91	R\$ 71,02	70%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
5	R\$ 77,83	R\$ 27,10	R\$ 50,73	65%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
6	R\$ 75,90	R\$ 23,81	R\$ 52,09	69%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
7	R\$ 139,82	R\$ 87,42	R\$ 52,40	37%	R\$ 90,52	juros e multas mês anterior
8	R\$ 98,24	R\$ 14,30	R\$ 83,94	85%	R\$ 58,67	soma meses anterior
9	R\$ 157,48	R\$ 93,13	R\$ 64,35	41%	R\$ 97,61	Correção multa e juros jan/2017
SOMA DO VALOR ECONOMIZADO			R\$ 539,19	63%	Redução média se comparado a MAR/16	

Figura 6 Resultado dos valores das contas de Março 2016 e 2017.

Fonte: CDHU, 2017

Na Figura 6 percebe-se a redução no valor médio das contas das unidades habitacionais do projeto piloto Pontes Gestal de 63%. Foi verificado, inclusive, que a adoção de 4 módulos fotovoltaicos gerou muito mais energia que o consumo, sendo, portanto, a configuração de 2 módulos fotovoltaicos mais indicado para o padrão de consumo dos mutuários CDHU.

2.3.2 Projeto Piloto da Companhia de Habitação do Estado da Paraíba, em João Pessoa

A Companhia Estadual de Habitação Popular da Paraíba (CEHAP), após avaliar o plano de habitação do PMCMV 2, que previa a utilização de aquecedores solares para todas as casas do Programa, entendeu que o sistema proposto seria desnecessário para a realidade paraibana, uma vez que suas condições de escassez e irregularidade

de chuva e altas temperaturas (região semiárida), não requeriam o aquecimento solar para água de banho (sistema solar térmico).

De acordo com Maia *et al* (2019), a fim de averiguar a viabilidade de um SFCR, a CEHAP desenvolveu um projeto-piloto construindo 8 casas no bairro de Mangabeira, na cidade de João Pessoa, PB, com recursos próprios substituindo o sistema de aquecimento solar térmico pelo SFCR. Conforme a CEHAP a potência instalada foi de 600Wp com micro inversor de frequência de 600W, resultando em uma geração de 70kWh mensais.

Para a execução do projeto, foram escolhidas famílias com renda mensal de até 3 salários-mínimos. Foram investidos cerca de 48 mil reais pela CEHAP e, no ano de 2013, iniciaram-se as construções, sendo as mesmas finalizadas em abril de 2014. Através da análise de resultados da leitura de consumo durante os meses de junho a dezembro de 2015, pelos técnicos da CEHAP, tem-se que a geração de 60 a 70kWh projetada correspondeu a aproximadamente 60% do consumo médio de cada unidade habitacional.

Entretanto, de acordo com visitas realizadas às residências pelos pesquisadores ocorridas entre final de 2018 e início de 2019 em Maia *et al* (2019), moradores relataram que o sistema funcionou de forma adequada no início da implantação, porém, após o primeiro ano, passou a não ser mais eficaz. Após a instalação e o acompanhamento nos 6 primeiros meses pela empresa responsável, Energisa, não ocorreu mais avaliação, monitoramento ou acompanhamento da experiência. Pela visita foi possível verificar que o sistema não estava produzindo e/ou havendo conversão CC/CA, além da geração injetada ser bem inferior à instalada. O sistema deixou de funcionar por falta tanto de manutenção ou de orientação dos técnicos.

Como resultados e desdobramentos do projeto-piloto, ainda que o mesmo tenha constatado o não funcionamento do sistema conforme esperado, pela falta de acompanhamento e manutenção, alguns pontos positivos são importantes de evidenciar, tais como: a experiência demonstrou êxito ao evidenciar que o custo de instalação do SFCR foi semelhante ao do aquecimento solar térmico; há impactos econômicos para as famílias; há necessidade de acompanhamento sistemático e

manutenção do sistema; provocou a aprovação de leis estaduais que promovam a conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas e conscientização permanente dos usuários do sistema; e outros programas habitacionais da CEHAP passaram a dispor do SFCR.

Conforme Maia *et al* (2019), a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaico incide em um maior investimento de recursos, mas pode beneficiar as famílias de baixa renda, reduz o consumo de energia proveniente de usinas hidrelétricas, porém requer maior atuação do Estado.

2.3.3 Análise de Viabilidade da Energia Solar Fotovoltaica Conectado à Rede, Aplicado a Residências Populares: Estudo de Caso em Itumbiara, GO

O artigo aqui referenciado é de autoria de Nayara S. Paula, Olívio C. S. Nascimento e Sérgio B. Silva, do NUPSOL (Núcleo de Pesquisa em Energia Solar, Instituto Federal de Goiás/IFG, Engenharia Elétrica), Itumbiara, GO (PAULA N. S. *et al*, 2016). O trabalho de pesquisa realizado em Itumbiara, GO teve por objetivo verificar a viabilidade econômica da instalação de SFCR em unidades residenciais do PMCMV avaliando o cenário para as unidades com e sem sistemas de aquecimento solar (SAS).

Uma vez definidas as habitações do PMCMV da cidade da pesquisa, foram aplicados questionários, a fim de se identificar os hábitos de consumo, assim como verificar o consumo de energia elétrica. Com esses dados e a verificação da radiação solar a partir da geolocalização das residências, foi possível dimensionar o SFCR.

As análises computacionais foram feitas através do *software RETScreen* (de distribuição livre e gratuita pelo governo do Canadá), um programa de gerenciamento de energia renovável destinado a analisar a viabilidade, geração distribuída por fontes renováveis de energia e da existência de cogeração.

O dimensionamento do SFCR foi realizado para uma residência e os créditos gerados devem ser consumidos em até 60 dias. Com base nos dados coletados ficou evidenciado que o uso de SAS em substituição ao chuveiro elétrico proporciona uma

redução em torno de 40% no consumo de energia elétrica da residência. Com a utilização do *software RETScreen*, para o SFCR, os parâmetros utilizados foram: vida útil do projeto de 25 anos; taxa de juros anual de 10%; tarifa de energia R\$710,00/MWh.

Ambos os casos foram orçados e obtiveram os valores comerciais de kits de R\$14.500,00 para o SFCR sem SAS, e R\$12.000,00 para as unidades com SAS. Conforme a Figura 7, podemos perceber a curva de *payback*, onde o fluxo cumulativo sem SAS é da ordem de 6,3 anos, e de 7,3 anos para as unidades com SAS.

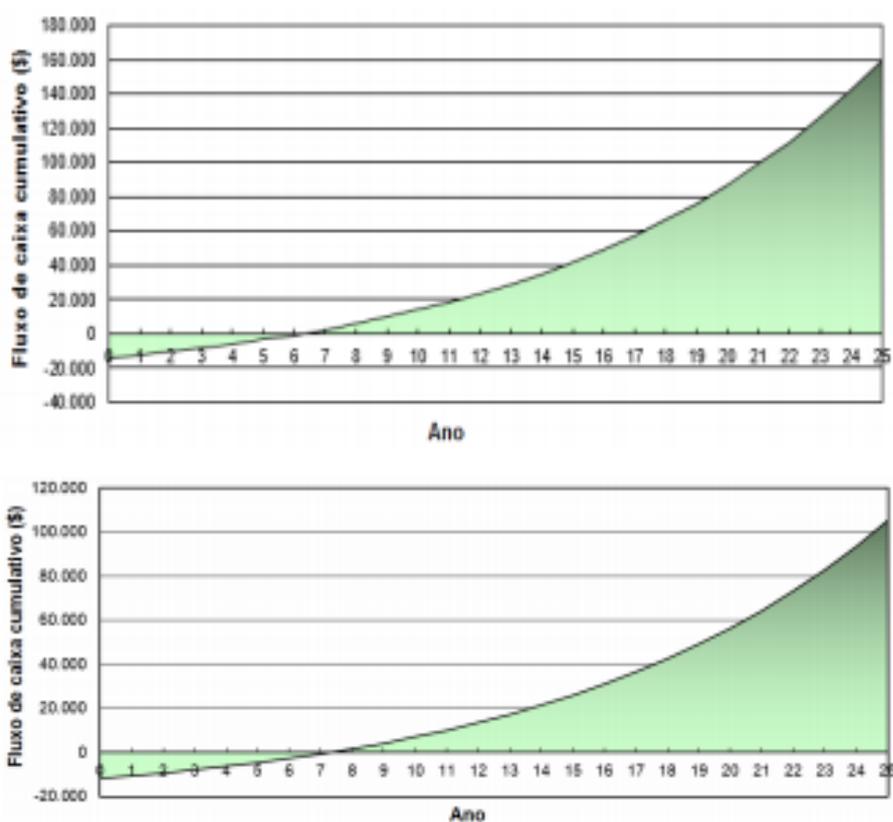


Figura 7 Retornos de investimentos para SFCR sem SAS e com SAS.

Fonte: PAULA N. S. *et al*, 2016.

De acordo com os autores, a diferença observada de *payback* deve-se ao fato de que o custo do kWp instalado nos SFCR com menor capacidade instalada, passa a ser superior aos gastos com energia elétrica quando se considera a unidade consumidora sem SAS e o consumidor arca com os custos de energia elétrica consumida pelo chuveiro elétrico.

2.3.4 Utilização de Painéis Fotovoltaicos: Aplicação em Projeto Residencial de Interesse Social no Município de Ijuí, RS

A pesquisa realizada no município de Ijuí/RS faz parte do trabalho final de graduação em Engenharia Civil de Rafael Dapper Vargas pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ. Para o trabalho, foi desenvolvido um protótipo digital de HIS com área de 69,46m² e previsão de utilização por 4 pessoas. Foi implantado na cidade de Ijuí/RS, porém sem definição da implantação. Os cálculos demonstraram uma carga instalada de 12.750W e consumo médio mensal de 243kWh/mês. Os dados foram inseridos no *software Solergo*, que possibilitou a análise de dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, valor de investimento e o *payback*.

De acordo com os resultados do *software*, o SFCR deveria ter potência instalada de 2,52kWp, o que demandou uma área de telhado de 14,80m² e utilização de 9 módulos fotovoltaicos de silício monocristalino, de vida útil de 25 anos. Os painéis foram direcionados a Norte com inclinação de 20°.

Uma empresa instaladora de sistemas fotovoltaicos em município próximo orçou a instalação do conjunto considerando os componentes e mão de obra em R\$12.000,00. Através dos cálculos de *payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), foi obtido o gráfico da Figura 8.

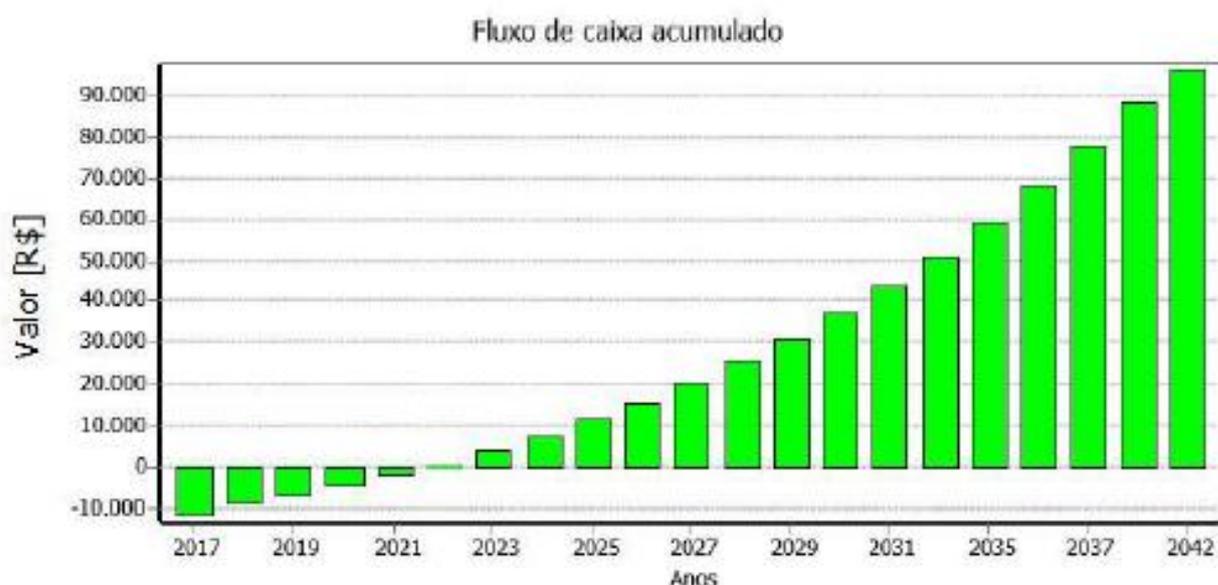


Figura 8 Retorno de investimento para SFCR no protótipo de Ijuí/RS.

Fonte: Vargas (2017).

A partir das análises, concluiu-se que o investimento de R\$12.000,00 seria recuperado em um período aproximado de 8 anos, alcançando a economia de R\$96.343,98 nos 25 anos da implantação do sistema. O autor considera economicamente viável a aplicação do SFCR em HIS na cidade de Ijuí/RS, aliando incentivos financeiros do governo e empresas do ramo.

2.3.5 Aplicação da Energia fotovoltaica em Programa de Habitação Social em Palmas, TO

O estudo foi desenvolvido por Felipe Augusto Bordignon, como Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil junto ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Tocantins em 2019. O objetivo foi a aplicação e difusão da tecnologia fotovoltaica, ajudando na inclusão social, bem como na inserção de Tocantins no cenário nacional acerca do assunto.

O foco do trabalho foi o Residencial Jardim Vitória, em Palmas, TO, empreendimento subsidiado pelo PMCMV com classificação na faixa 1. O empreendimento previa a instalação de painéis fotovoltaicos em todas as mil casas. Durante o trabalho, não haviam sido definidos os parâmetros para os cálculos da geração de cada unidade, os sistemas que seriam adotados ou orçamentos pela empresa construtora.

Através de levantamento de equipamentos, potência dos aparelhos, uso diário em horas, estabeleceu-se como estimativa um total mensal de 140kWh/mês de consumo, ou 4,67kWh/dia, sendo classificado pela ANEEL na categoria baixa renda. O estudo considerou a metade da projeção mensal, ou seja, 70kWh/mês, levando-se em consideração a Portaria nº643/2017 em que se admite a elevação do valor da moradia em até R\$3.000,00 (três mil reais) com a opção do SFCR, para implantação do sistema na região Norte, onde Tocantins se insere.

Com a utilização do *software Radiasol 2.1*, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), foi possível estimar o ganho de radiação solar médio de 5,515kWh/m²/dia. Aplicando a equação 1, levando-se em conta o consumo diário de 4,67kWh/dia, ganho de radiação solar médio de 5,515kWh/m²/dia e valor médio de rendimento do sistema de 80%, o autor chegou a potência de 1,06kWp para 100% da projeção mensal de consumo, ou seja, $P_{cc} = (4,67 / 5,515) / 0,80 = 1,06$; e área para os painéis de 6,42m².

$$P_{cc} = (E / G_{poa}) / R \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

P_{cc} é a potência média necessária (kWpcc);

E é o consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

G_{poa} é o ganho por radiação solar: média mensal do total diário (kWh/m²/dia);

R é o rendimento do sistema (%).

Através de pesquisa de mercado entre empresas do ramo, obteve-se um valor médio de R\$5.500,00/kWp para o SFCR. Como resultado, utilizando os seguintes dados: potência do sistema 0,53kWp; geração mensal 70,15kWh, o custo calculado para instalação foi de R\$2.882,67. Considerando o valor da tarifa em R\$0,87/kWh, o valor pago na conta mensal de energia seria em torno de R\$60,00. O *payback* resultante dos cálculos do autor é de 4 anos.

Apesar do *payback* baixo de 4 anos encontrado pelo autor, o mesmo identificou um desinteresse por parte das empresas de sistemas fotovoltaicos em fazer as projeções,

possivelmente por tratar-se de obra pública em larga escala, cuja implantação totalizaria entre 2 e 3 milhões de reais. Os empresários teriam receio em investir um valor inicial alto e garantia de retorno incerta.

2.3.6 Estudo de Paridade Econômica e Desempenho Energético de Fachadas no Sul do País

Bender *et al* analisaram a paridade econômica e o desempenho energético de uma fachada solar fotovoltaica (FSFV) de um edifício comercial na cidade de Pelotas, RS, comparando-a a outra de tipos de revestimentos utilizados usualmente na construção civil. A simulação foi feita através dos softwares *EnergyPlus*® e *Radiasol*.

O método foi dividido em 7 etapas distintas: 1) Definição do objeto de estudo; 2) Caracterização do objeto de estudo; 3) Configurações dos modelos de referência; 4) Simulação e análise energética, 5) Análise de geração FV; 6) Comparação de resultados; 7) Análise econômica.

O modelo de edificação escolhido foi apresentado por Carlo (2008), com volumetria típica de edifício não-residencial. O modelo possuía 27,00 X 7,80m, era dividido em duas salas com corredor central e cinco pavimentos com pé-direito de 2,60m cada. As maiores fachadas eram sentido Norte-Sul (Figura 9). A modelagem foi feita no software *SketchUp Make 2016* e plugin *Legacy OpenStudio 1.0.13*.

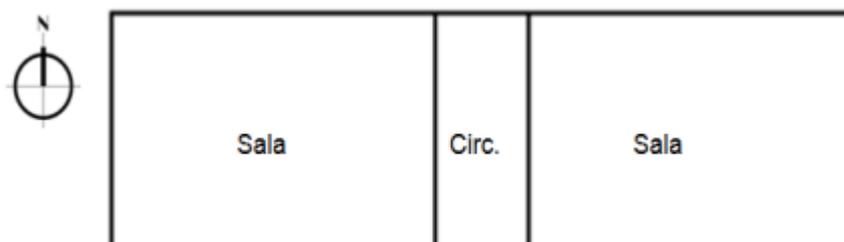


Figura 9 Modelo computacional.

Fonte: Carlo (2008).

As configurações do modelo levaram em consideração os horários típicos de um edifício comercial: segunda a sexta, entre 8h da manhã e 18h da tarde, para as ocupações (com intervalo de almoço entre 12h e 14h) e utilização de equipamentos. A iluminação se estendeu até às 22h. O sistema fotovoltaico (SFV) foi considerado gerando energia os sete dias da semana.

Para ligar a climatização artificial, as temperaturas de referência foram de 18°C para aquecimento e 24°C para resfriamento. O arquivo climático utilizado o da cidade de Pelotas, RS do período 1971-2000. Segundo Bender *et al* (2020), Pelotas se encontra na zona bioclimática 2 (ZB2). A ZB2 apresenta clima temperado com verão e inverno bem definidos e se encontra em uma alta latitude (-31,46°) sendo uma das melhores regiões para inserção de módulos FV em fachadas (inclinação 90°) no Brasil.

A simulação no *EnergyPlus*® levou em consideração o volume retangular do edifício em 8 diferentes composições de fachadas, nas condições acima mencionadas. Os fechamentos em alvenaria, com revestimento FV e revestimento ACM (alumínio composto modificado) foram combinados com os vidros simples, duplos e FV, gerando os modelos: M01 (alvenaria e vidro simples), M02 (revestimento FV e vidro simples), M03 (revestimento ACM e vidro simples), M04 (alvenaria e vidro duplo), M05 (revestimento FV e vidro duplo), M06 (revestimento ACM e vidro duplo), M07 (alvenaria e vidro FV) e M08 (revestimento FV e vidro FV).

Para a análise de geração de energia foram utilizados dois métodos: o primeiro no *EnergyPlus*®, em que o SFV foi configurado no modo simples, e o segundo a geração FV foi dada através de cálculo com dados do programa *Radiasol* e do Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Como resultado do estudo, a Figura 10 resume as propostas analisadas com os valores orçados, a diferença do custo de implementação e a diferença anual com energia para cada situação. Sobre o retorno de investimento, apresenta-se o resultado tanto para *payback* simples, como *payback* descontado da taxa do INCC (Índice Nacional da Construção Civil).

RESUMO DAS PROPOSTAS APRESENTADAS									
Propostas e valores de implementação dos sistemas				Diferença do custo de implementação	Diferença anual com energia	Payback (anos) INCC	Payback D. (anos) INCC		
1	 M01 (ALV+VS)	R\$ 55.770,00	X	 M07 (ALV+VFV)	R\$ 85.000,00	R\$ 29.230,00	R\$ 5.661,37	5	6
2	 M04 (ALV+VD)	R\$ 69.700,00	X	 M07 (ALV+VFV)	R\$ 85.000,00	R\$ 15.300,00	R\$ 5.544,36	2	3
3	 M02 (ALV+FV+VS)	R\$ 275.770,00	X	 M03 (ALV+ACM+VS)	R\$ 185.770,00	R\$ 90.000,00	R\$ 12.266,25	8	10
4	 M05 (ALV+FV+VD)	R\$ 269.700,00	X	 M06 (ALV+ACM+VD)	R\$ 199.700,00	R\$ 90.000,00	R\$ 12.162,90	8	10
5	 M03 (ALV+ACM+VS)	R\$ 185.770,00	X	 M08 (ALV+FV+VFV)	R\$ 305.000,00	R\$ 119.230,00	R\$ 17.972,98	7	9
6	 M06 (ALV+ACM+VD)	R\$ 199.700,00	X	 M08 (ALV+FV+VFV)	R\$ 305.000,00	R\$ 105.300,00	R\$ 17.789,82	6	7

Figura 10 Propostas com tempo de retorno.

Fonte: Bender *et al* (2020).

Como conclusão, observa-se que o uso do SV em fachada é interessante em substituição aos materiais utilizados usualmente na construção civil tanto na parte transparente como na opaca dos edifícios, na região de Pelotas/RS (ZB2). Para a análise financeira, verificou-se que a tecnologia Fotovoltaica é viável, substituindo as partes transparentes (de vidro simples) por vidros FV, com *payback* tanto simples quanto descontado em torno de 5 e 6 anos, respectivamente. Ou a substituição dos revestimentos opacos em ACM, com retorno entre 8 e 10 anos. Para a substituição do sistema inteiro com ACM e vidro simples, o *payback* varia entre 5 e 9 anos. Entende-se que há viabilidade financeira, desde que as variáveis corretas sejam analisadas, e também que seja realizada na etapa de projeto.

2.3.7 Consumo Energético com a Técnica do Envelope Solar (ES) em Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar Térmico

Este estudo é uma transcrição do trabalho inicial desenvolvido por Vilela e Assis (2018). Os resultados apresentados aqui serão utilizados como base para o cenário 4

propostos no Capítulo 4, uma vez que ambos os trabalhos analisam o mesmo empreendimento, o Residencial Água Marinha, em Belo Horizonte, MG, no bairro Paulo VI. Este conjunto é composto por 15 blocos de apartamentos.

O estudo propõe e analisa os resultados da implantação dos blocos do estudo de caso conforme a técnica do Envelope Solar (ES). Esta técnica propõe uma nova volumetria ao edifício tendo em vista o melhor ganho energético nas fachadas. Para tanto, utilizou-se da simulação paramétrica. Entende-se por esta simulação uma prática de modelagem digital, ou programação visual, na qual se pode modelar variáveis e atribuir relações matemáticas a elas, gerando algoritmos que abrangem grande quantidade de possibilidades.

Dentre os *softwares* que permitem a análise paramétrica estão o *Rhinoceros*® e os *plug-ins* *Grasshopper*® e *Ladybug*®. O *Rhinoceros*® surgiu nos anos 1990 nos Estados Unidos e permite a execução de desenhos em 2D que, por meios de configurações, se transformam em visualizações 3D. Ele tem como função a visualização das análises e dados, servindo como base para os outros *softwares* por meio de *plug-ins*. Um dos *plug-ins* mais conhecidos para trabalho junto ao *Rhinoceros*® é o *Grasshopper*®, programa que utiliza a modelagem paramétrica por meio de programação algorítmica, determinando as formas matemáticas representadas visualmente por desenhos de “pilhas” ou “baterias”, que se conectam e montam as formas vistas na interface do *Rhinoceros*® (BINI, GALAFASSI, 2017).

No que tange às análises ambientais e energéticas, destaca-se o *Ladybug*®, que é um *plug-ins* grátis e de código aberto para o *Grasshopper*®. O *plug-in* *Ladybug*® pode ser utilizado para análises de temperatura, umidade, orientação dos ventos e análise solar de um determinado local, usando dados do arquivo climático (BINI, GALAFASSI, 2017).

Os resultados deste trabalho foram apresentados em quatro grandes grupos. O primeiro apresentou a montagem dos volumes dos edifícios desenvolvidos no *software* *Rhinoceros*®, sem o envelope e depois com o envelope solar. O segundo grupo apresentou o algoritmo para geração da área e quantidade de radiação solar média incidente (kWh/ano), em cada fachada do edifício desenvolvido com os *plug-*

ins *Grasshopper*® e *Ladybug*®. No terceiro grupo foram apresentados os resultados das simulações que contêm as áreas e quantidade de radiação solar média, incidente nas fachadas. No quarto grupo foi realizada a comparação de resultados.

2.3.7.1 Envelope Solar (ES)

A ideia de “Envelope Solar” surgiu nos Estados Unidos no final da década de 1970 e início de 1980. Os professores Ralph L. Knowles e Richard D. Berry e suas equipes, da Escola de Arquitetura da *University of Southern California* (USC), de Los Angeles, CA, desenvolveram o conceito para “*Solar City Program*”, que tinha como objetivo o incentivo do uso da energia solar naquela cidade, devidos aos problemas com a matriz energética. A simulação foi realizada em uma determinada área, de densidade moderada em Los Angeles tanto para edifícios comerciais, quanto para residenciais (KNOWLES, 2003).

A proposta é de um novo conceito de zoneamento que tem como objetivo primordial a garantia do acesso ao Sol para os edifícios e também o solo, com impacto direto nas Leis de Uso e Ocupação do Solo (LUOS). Conforme Vilela e Assis, (2018), através de uma larga possibilidade de combinações volumétricas, nos projetos dos edifícios, é possível trabalhar os volumes, de forma a não permitir o sombreamento dos edifícios e das parcelas de terrenos vizinhos em determinadas horas e locais. O envelope solar pode proporcionar não apenas um crescimento sustentável, mas também abre o leque de possibilidades estéticas para a arquitetura e urbanismo.

Segundo Knowles (2003), o envelope solar é uma construção espaço-tempo: os limites físicos das propriedades circundantes e o período de acesso assegurado ao Sol. Esses parâmetros, em combinação, determinam o tamanho e a forma do envelope. O envelope solar, primeiramente, evita sombras em excesso e, ainda, fornece maior volume nas restrições de tempo. Os movimentos do Sol durante o dia, assim como durante as estações do ano, influenciam no volume do edifício, ou seja, quanto maior for o período de acesso ao Sol, menor será o volume do envelope.

A Figura 11 mostra a gama de volumetrias geradas por um estudo de envelope solar. Em contraponto aos formatos de paralelepípedos normalmente encontrados nos

edifícios, a técnica de envelope solar possibilita ao projetista potencializar as opções não apenas estéticas, mas também garantir um melhor acesso ao sol e controle de sombras.

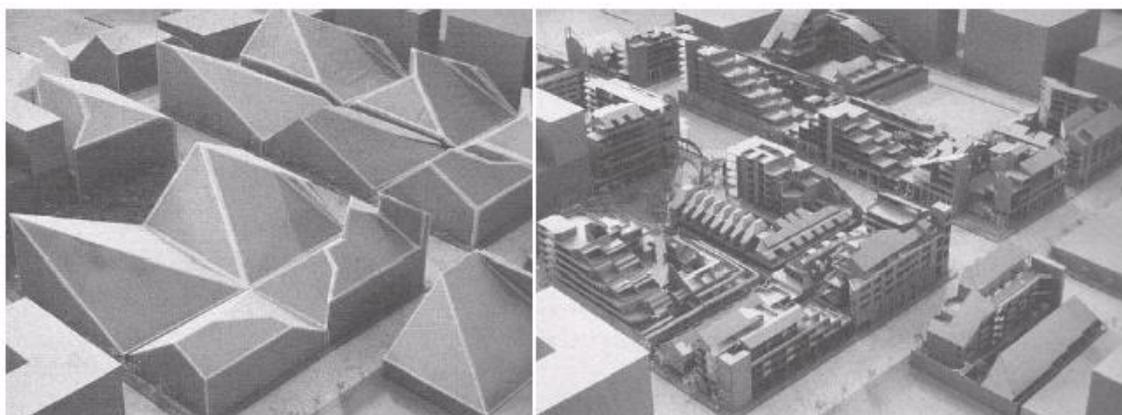


Figura 11 Estudo de implantação em projeto habitacional de envelopes solares (direita) e o desenho gerado a partir do envelope (esquerda), em Los Angeles, EUA.

Fonte: Knowles (2003).

2.3.7.2 Potencial de Geração Energética do Residencial (Existente)

As Figuras 12 a 14, geradas pelos *softwares* de simulação paramétrica, para o volume dos 15 blocos do empreendimento em estudo, assim como a quantidade de radiação solar média recebida nas diferentes fachadas e coberturas do Residencial Água Marinha durante o período de um ano.

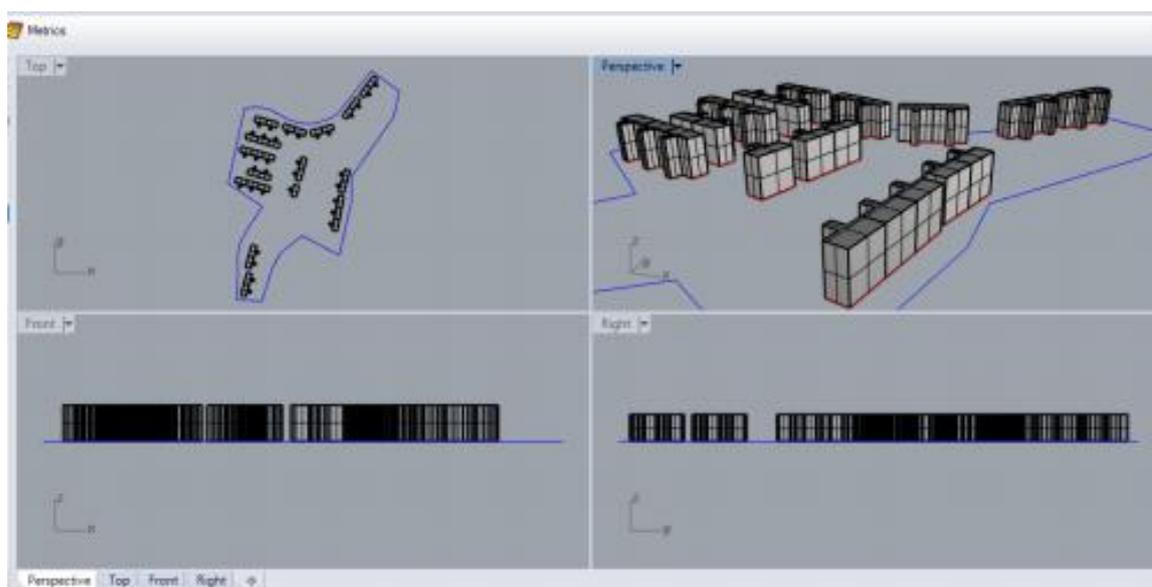


Figura 12 Tela do *software Rhinoceros* mostrando a volumetria inicial no Conjunto Habitacional Água Marinha.

Fonte: Vilela e Assis (2018).

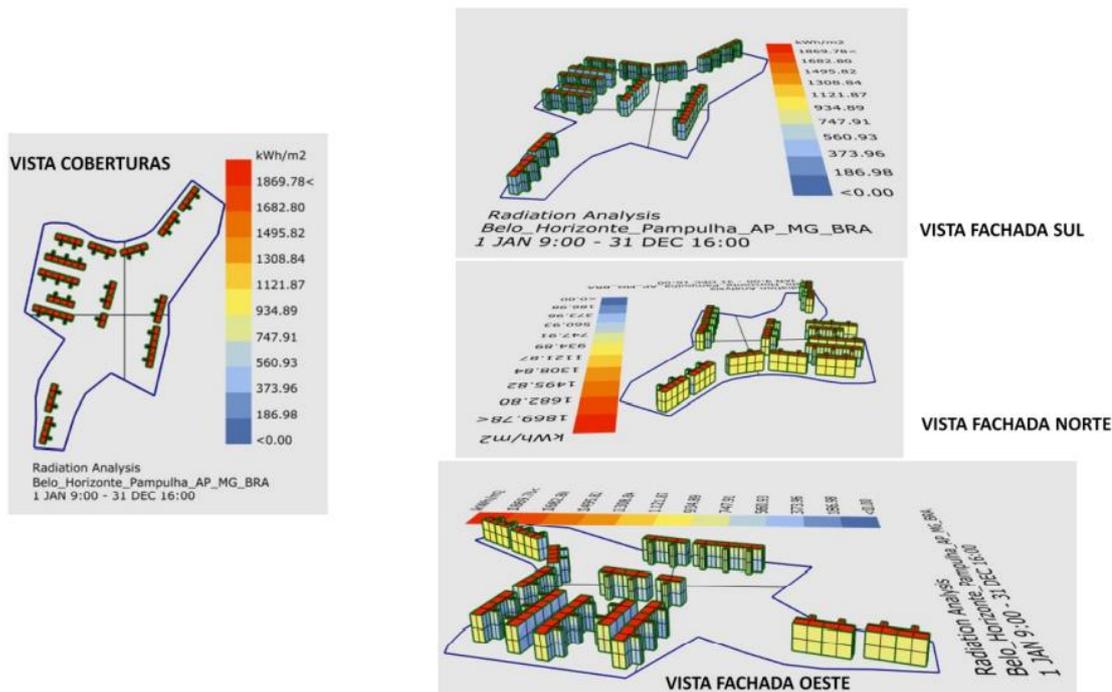


Figura 13 Resultado do software *Rhinceros*® demonstrando o potencial de ganho energético nas envoltórias através da radiação solar (kW/m²/ano) no Conjunto Habitacional Água Marinha.

Fonte: Vilela e Assis (2018).



Figura 14 Resultado do *plug-in Ladybug*® demonstrando a produção energética nas envoltórias através da radiação solar (kWh) no Conjunto Habitacional Água Marinha.

Fonte: Vilela e Assis (2018).

Segundo a simulação paramétrica, o ganho total de radiação solar para o Conjunto Habitacional Água Marinha foi de 14,98kWh.⁴

⁴ De acordo com o *plug-in Ladybug*, o resultado foi obtido através da soma de diversos pontos de testes em kWh/m² multiplicado pela área da face que o ponto representa.

2.3.7.3 Consumo Energético do Residencial (Envelope Solar)

Nesta etapa do trabalho foi aplicada a concepção para ES, onde o Residencial foi simulado de forma a gerar uma nova volumetria, que beneficia as fachadas e coberturas em relação ao acesso à radiação solar. O critério utilizado foi a permanência do número total de habitações e suas respectivas áreas (340 unidades habitacionais de 42m²), assim como o Coeficiente de Aproveitamento, de 0,5, da região onde se encontra o conjunto em Belo Horizonte.

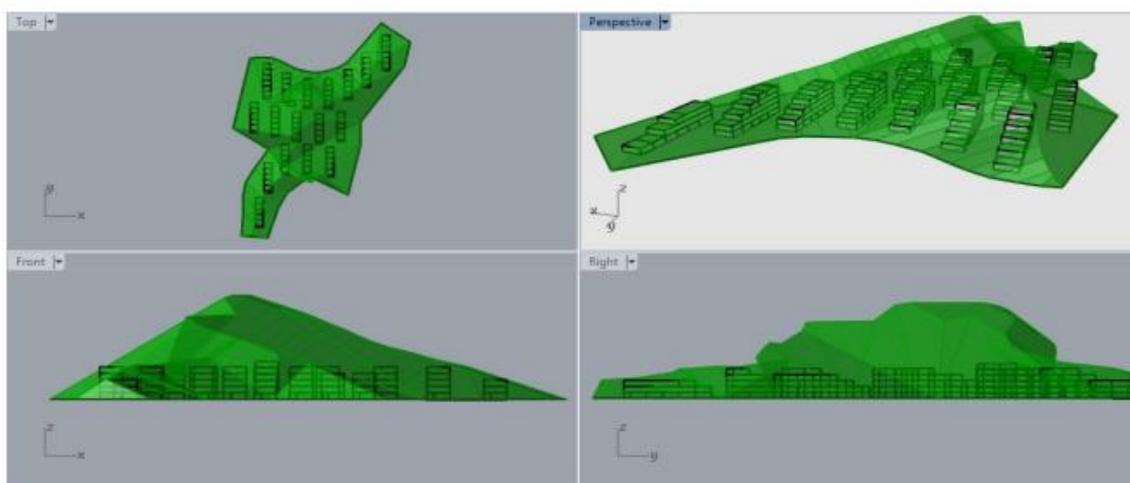


Figura 15 Tela do *software Rhinoceros*® demonstrando a volumetria proposta para o conjunto habitacional Água Marinha, segundo a técnica do Envelope Solar. Fonte: Vilela e Assis (2018).

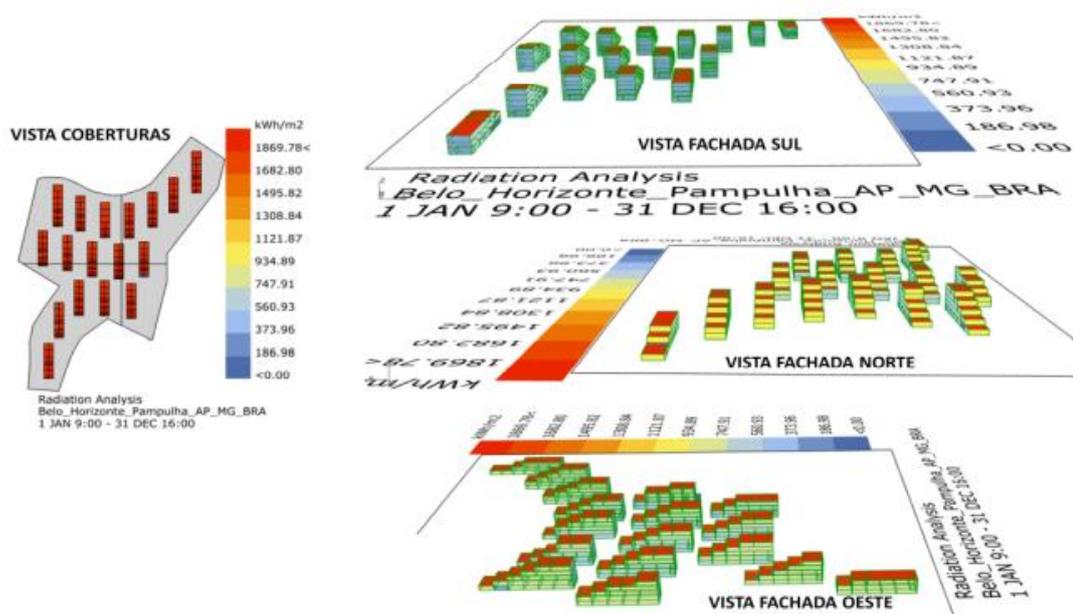


Figura 16 Resultado do *software Rhinoceros*® demonstrando o potencial de ganho energético nas envoltórias através da radiação solar (kW/m²/ano) no Conjunto Habitacional Água Marinha aplicando-se a concepção para Envelope Solar. Fonte: Vilela e Assis (2018).

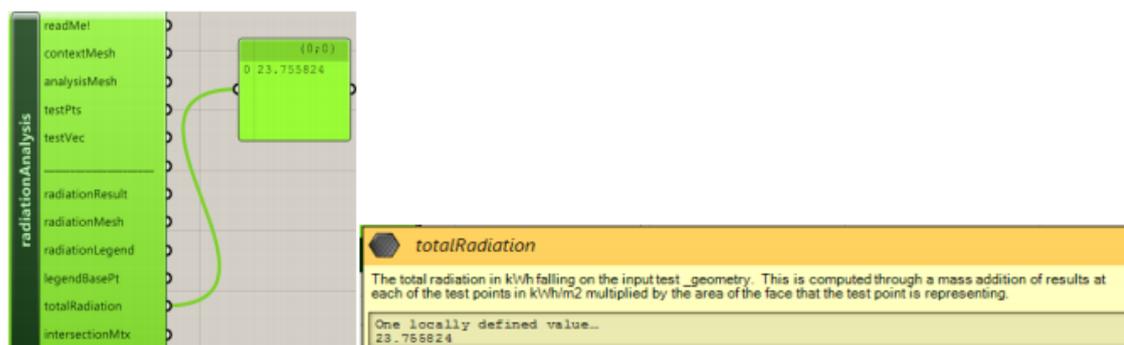


Figura 17 Resultado do *plug-in Ladybug®* demonstrando a produção energética nas envoltórias através da radiação solar (kWh) do conjunto habitacional Água Marinha aplicando-se a técnica do Envelope Solar.

Fonte: Vilela e Assis (2018).

Segundo a simulação paramétrica, o ganho total de radiação para o Conjunto Habitacional Água Marinha foi de 23,75kWh.

2.3.7.4 Comparativo da Implantação Atual X Implantação Envelope Solar

A Tabela 2 apresenta os resultados comparativos entre a implantação existente e a concepção para Envelope Solar para o Conjunto Habitacional Água Marinha, para parâmetros de número de apartamentos, população, coeficiente de aproveitamento, ventilação natural, radiação e insolação nas unidades habitacionais, aproveitamento de terraços, desempenho térmico, produção de energia e consumo de energia.

Tabela 2 Comparativo entre a implantação atual e a concepção para Envelope Solar

PARÂMETRO	EDIFICAÇÃO EXISTENTE (Blocos em formas de paralelepípedos e orientações diversas)	EDIFICAÇÃO ENVELOPE SOLAR (Blocos escalonados e orientação Norte)
Número de Apartamentos / Área	340 UR de 42m ²	340 UR de 42m ²
População	1360 pessoas (4 pessoas / apto)	1360 pessoas (4 pessoas / apto)
Coefficiente de Aproveitamento	0,5	0,5
Ventilação Natural	Não garante a ventilação cruzada em todos os apartamentos, pois a implantação não levou em consideração o vento dominante.	Permite ventilação natural cruzada nas UR's, pois a implantação Norte-Sul permite que a ventilação natural, predominantemente Leste na região, cruze quartos e área de estar
Radiação e Insolação nas unidades habitacionais	Não garante a insolação e iluminação naturais no período da manhã em todos os apartamentos, pois a implantação não levou em consideração a trajetória solar	Insolação e Iluminação naturais no período da manhã
Aproveitamento de terraços	Não há	Podem ser cobertos por placas e aproveitados como área de lazer e horta
Desempenho Térmico	Radiação solar incidente na fachada Oeste, onde muitas vezes há ambientes de permanência prolongada. Cobertura sem isolamento térmico.	A circulação horizontal permite a proteção da fachada Oeste; terraço protegido pela placa solar ou telhado verde; menor transmissão de calor pela cobertura
Produção de energia	14,98kWh = 10.785,60kWh/mês	23,75kWh = 17.100kWh/mês
Consumo de energia	340 UR X 173,69 = 59.055kWh/mês	340 UR X 173,69 = 59.055kWh/mês

Fonte: Vilela e Assis (2018).

Segundo Vilela e Assis (2018), a implantação desenvolvida através do envelope solar foi vantajosa em todos os aspectos analisados, além da produção de energia através de painéis fotovoltaicos, que cresceu em 63%. Como a alteração se deu apenas com relação à orientação da implantação e uso do envelope solar, pôde-se inferir que projetos que levem em consideração as variáveis ambientais são mais eficientes. Todavia, a produção de energia solar fotovoltaica através das envoltórias, ainda não foi capaz de suprir todo o consumo das UR do assentamento HIS.

2.3.8 Consumo energético com Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar Térmico

As informações apresentadas aqui serão utilizadas como base para o cenário 3 propostos no Capítulo 4.

Como será comprovado adiante, o chuveiro elétrico é o grande “vilão” do consumo energético residencial no Brasil. Além do sistema fotovoltaico, vários outros sistemas estão disponíveis no mercado como opções não só de geração de energia, mas também especificamente para aquecimento de água.

Basicamente, o sistema de aquecimento solar térmico é composto por dois elementos, que são os coletores solares e o reservatório de água quente. Os coletores solares são formados por uma placa de vidro que isola do ambiente externo placas metálicas (cobre ou alumínio, por exemplo) pintadas de negro fosco para que ocorra a maior absorção de radiação solar. Durante a absorção, as placas transmitem o calor para serpentinas, geralmente feitas de cobre. Dentro dos tubos em forma de serpentina circula água, que se torna aquecida e então é conectada ao reservatório, também chamado de boiler. Esse reservatório de formato cilíndrico é feito de alumínio, inox ou polipropileno com isolantes térmicos, para manter a água aquecida pelo maior tempo possível. Uma caixa d'água fria abastece todo o sistema, mantendo o boiler cheio.

O reservatório deve ser instalado acima e próximo das placas coletoras para evitar a perda de eficiência do sistema. Assim, há o efeito chamado de termossifão. Conforme a água dos coletores é esquentada, ela torna-se menos densa e é “empurrada” pela água fria e chega naturalmente ao boiler, sem necessidade de bombeamento. Por isso o reservatório é locado acima das placas coletoras. (Em caso onde não seja possível instalar o reservatório acima das placas coletoras, ele pode ser locado abaixo, e será utilizado uma bomba no sistema). Esse tipo de instalação é o mais indicado para casas por causa do baixo custo, boa confiabilidade e pouca manutenção.

Em sua instalação, o direcionamento das placas solares, assim como no sistema fotovoltaico, é voltado à região de maior radiação solar. No hemisfério Sul, direciona-se para o Norte. O ideal é colocá-lo perpendicular à altura solar média do inverno ao meio-dia, ou seja, a latitude do local + 15° (Figura 18).

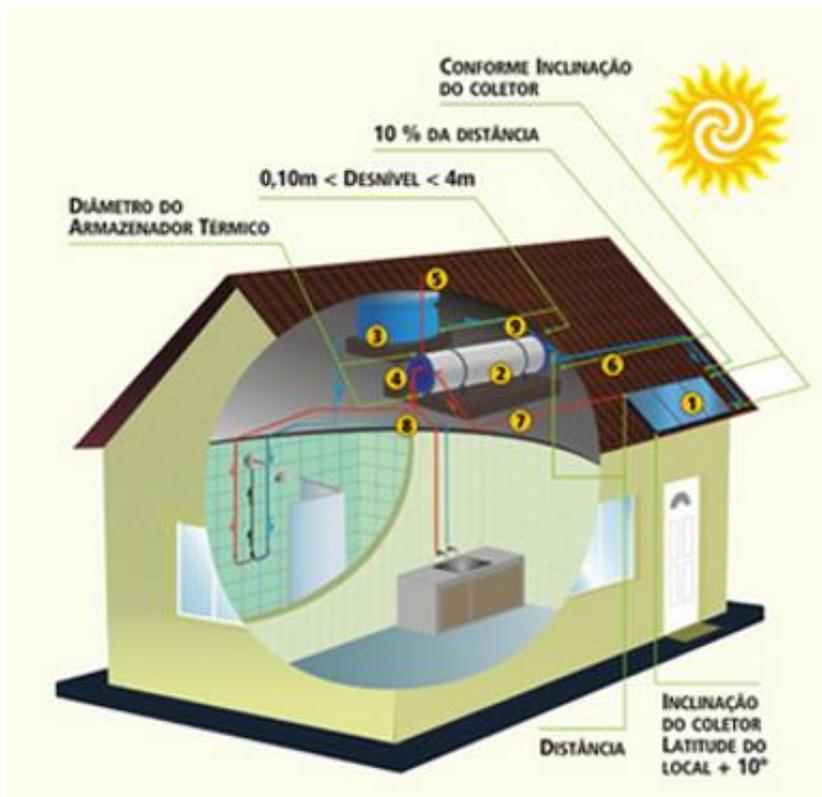


Figura 18 Esquema de instalação do Sistema de Aquecimento Solar

Na Figura 18, o esquema de instalação do sistema de aquecimento solar de água consta de:

1. Placas solares;
2. Boiler (ou reservatório);
3. Caixa d'água;
4. Apoio elétrico;
5. Suspiro;
6. Abastecimento das placas;
7. Retorno das placas;
8. Água para consumo;
9. Abastecimento de água fria

3 METODOLOGIA

Será utilizado neste trabalho principalmente o método indutivo, em que a análise parte de um caso particular para a generalização e o objetivo dos argumentos é levar a conclusões mais amplas do que as premissas que a basearam.

O estudo tem como premissa que garantir área para aquecimento de água é prioritário em relação à produção de energia através das placas fotovoltaicas.

3.1 Apresentação do Caso de Estudo

O estudo de caso será realizado na área de um assentamento PMCMV existente na cidade de Belo Horizonte, MG, na Regional Nordeste, bairro Paulo VI. O Residencial Água Marinha, concluído em 2015, atende à faixa 1 do PMCMV, faixa que concentra 90% do déficit habitacional do país (Figura 19).

O empreendimento é composto por 15 blocos de 5 andares, variando de 4 a 6 apartamentos por andar. O total são de 340 apartamentos com área de 42m² por Unidade Habitacional (Figura 20).



Figura 19 Cidade de Belo Horizonte no contexto de Minas Gerais (superior esquerdo); Bairro Paulo VI na regional Nordeste da capital mineira (superior direito); Residencial Água Marinha dentro do bairro Paulo VI e os blocos do empreendimento (inferiores).

Fonte: Google Maps, 2021.



Figura 20 Blocos padrões de 4 apartamentos por andar do Residencial Água Marinha e planta típica de apartamento com 2 quartos, sala, cozinha e banheiro, totalizando 42m².

Fonte: Google Maps, 2021 e <https://br.pinterest.com/pin/543387511266917540/> acessado em 12/01/2021.

A área do lote de implantação do Residencial Água Marinha, é de 28.600,00m². Conforme a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LOUS) de Belo Horizonte à época da construção (Lei 9.959/2010), a área estava inserida na Zona de Adensamento Restrito 2 (ZAR-2), que possuía coeficiente de aproveitamento (CA) igual a 0,5; afastamentos frontais mínimos de 3,0m; e laterais de 3,05m, de acordo com a regra de H (altura)⁵. O afastamento entre blocos era o dobro da lateral, ou seja, 6,10m.

Atualmente, com a Lei 11.181/2019 a área está inserida na AEIS de Interesse Ambiental, de Ocupação Moderada 2 (OM-2). Ainda assim, possui índices semelhantes, como CA e afastamentos frontais e laterais.

3.2 Desenvolvimento

Foram organizados 4 cenários para a comparação de custos e análise de viabilidade econômica. O processo de desenvolvimento foi o seguinte:

1. Levantamento de dados para formação do referencial teórico: Revisão bibliográfica elaborada em sobre artigos, sites e livros com relação aos temas pertinentes;
2. Levantamento de dados sobre o consumo médio de energia para uma unidade residencial em kWh/mês, levando em consideração os equipamentos utilizados em uma HIS padrão PMCMV com 2 quartos e 4 pessoas, tal como previsto pelo caso em análise. **(Cenário 1)**;
3. Cálculo de materiais e equipamentos para instalação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede e do Sistema Solar de Aquecimento de Água;
4. Cálculo do custo de instalação dos dois sistemas para o caso de estudo. Dessa maneira, com a obtenção de orçamentos para implementação do SFCR **(Cenário 2)** e aquecimento de água **(Cenário 3)**, compara-se o tempo de *payback* para viabilidade financeira de cada um.
5. Transcrição de trabalho inicial desenvolvido por Vilela e Assis (2018), intitulado “IMPLANTAÇÃO DAS HIS-PADRÃO MCMV E A PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO TECIDO URBANO: estudo de caso”. O objetivo é apresentar a

⁵ $AF = 2,3 + (H - 12) / B$. Considerando H (altura = 15m) e B = 4 (situações de não-centralidade).

técnica de Envelope Solar (ES) e trabalhar com os resultados obtidos em Vilela e Assis (2018) através do desenvolvimento de algoritmo de simulação paramétrica utilizando o *software Rhinoceros®* e os *plug-ins Grasshopper®* e *Ladybug®*. Os resultados trazem a capacidade de produção de energia através das envoltórias para o estudo de caso em kWh/mês/m², a partir do trabalho base de Vilela e Assis (2018) e as áreas para incidência de energia solar e potencial de ganho energético, através da radiação em envoltórias (kWh/m²) neste trabalho **(Cenário 4)**;

6. Análise e comparação dos diferentes cenários do estudo de caso, identificando a eficiência energética das implantações desiguais do edifício, associadas ao sistema de consumo de energia. Para a etapa que utiliza o sistema fotovoltaico associado ao aquecimento solar, uma vez que possui diferentes implantações (e formas do edifício), as potencialidades para captação da energia solar são distintas, o que poderia favorecer a técnica de envelope solar (que possui maior área de captação da radiação solar).

4 RESULTADOS

4.1 Consumo Energético Atual (Cenário 1)

Para elaboração de estimativa de consumo energético (kWh/mês) de 1 unidade residencial, foi considerada uma família de 4 pessoas e o resultado foi o que se apresenta na Tabela 3.

Para obtenção de equipamentos utilizados, assim como tempo de utilização e potência dos mesmos, foram considerados itens básicos de uma hipotética habitação de 42m², com os ambientes: sala, 2 dormitórios, área de serviço, cozinha e banheiro.

O resultado final apresenta valores totais com e sem a presença de chuveiro (item de maior consumo de energia elétrica), uma vez que sua utilização será analisada também com o aquecimento solar em outros cenários deste estudo.

Para o segundo item de maior consumo de energia, a geladeira, considerou-se equipamento de 1 porta, de eficiência A do selo PROCEL, o refrigerador ELECTROLUX RFE39, com consumo mensal de 37,44kWh.

Tabela 3 Estimativa de consumo energético mensal de
1 unidade residencial de família de 4 pessoas.

ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL MÉDIO - RESIDENCIAL ÁGUA MARINHA UNIDADE RESIDENCIAL DE FAMÍLIA DE 4 PESSOAS							
AMBIENTE	EQUIPAMENTO	QUANT.	POT. (W)	USO DIÁRIO (H)	CONSUMO DIÁRIO (KWH)	DIAS DE USO MENSAL	CONSUMO MENSAL (KWH/MÊS)
SALA	LÂMPADA	2	20	4	0,16	30	4,80
	TV 32"	1	80	5	0,4	30	12,00
QUARTO 1	LÂMPADA	1	20	4	0,08	30	2,40
	RÁDIO	1	5	24	0,12	30	3,60
	CAR. CELULAR	1	5	1	0,005	30	0,15
QUARTO 2	LÂMPADA	1	20	4	0,08	30	2,40
	CAR. CELULAR	2	5	1	0,01	30	0,30
LAVANDERIA	MÁQ. LAVAR	1	440	1	0,44	30	13,20
	LÂMPADA	1	20	4	0,08	30	2,40
	FERRO	1	1000	0,5	0,5	30	15,00
COZINHA	LÂMPADA	1	20	4	0,08	30	2,40
	GELADEIRA	1	52	24	1,248	30	37,44
	MICROONDAS	1	1187	0,25	0,29675	30	8,90
BANHEIRO	LÂMPADA	1	20	2	0,04	30	1,20
	CHUVEIRO	1	4500	0,5	2,25	30	67,50
TOTAL COM CHUVEIRO							173,69
TOTAL SEM CHUVEIRO							106,19

Fonte: Autor

Consumo/Ambiente



Gráfico 1 Consumo por ambiente dos itens da tabela 1, considerando-se o chuveiro elétrico.

Fonte: enel-rj.simuladordeconsumo.com.br/relatório

Consumo/Aparelho

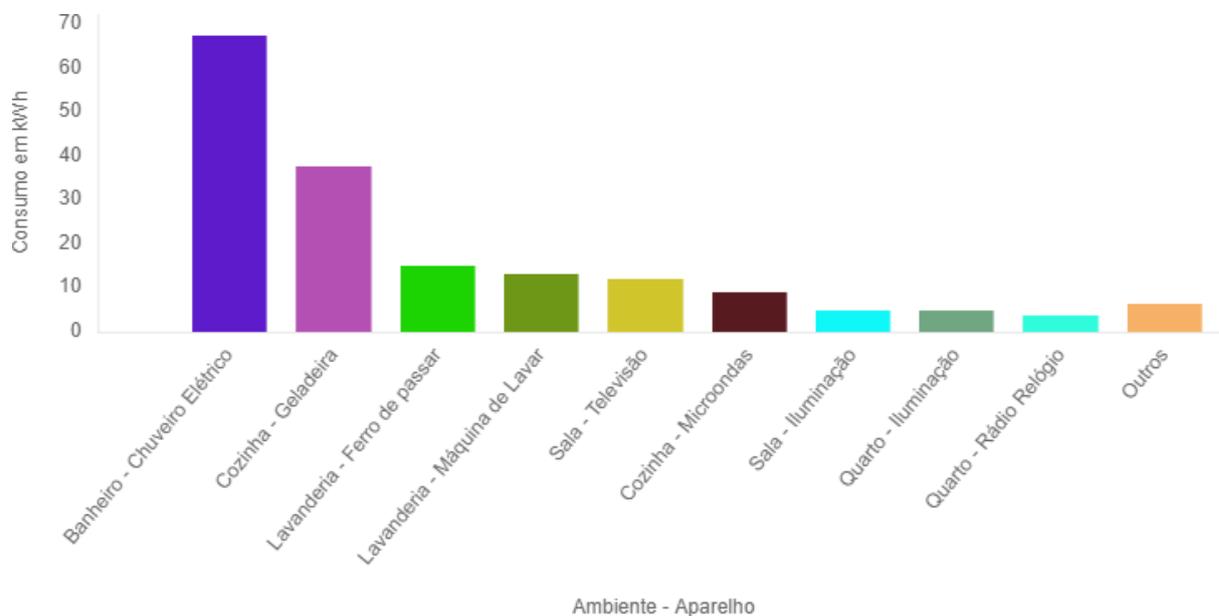


Gráfico 2 Consumo por aparelho dos itens da tabela 1, considerando-se o chuveiro elétrico.

Fonte: enel-rj.simuladordeconsumo.com.br/relatório

Consumo/Ambiente

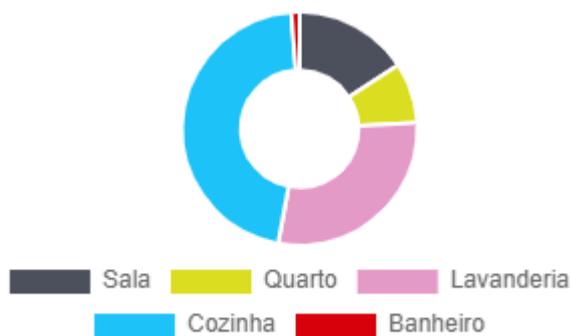


Gráfico 3 Consumo por ambiente dos itens da tabela 1, não se considerando o chuveiro elétrico.

Fonte: enel-rj.simuladordeconsumo.com.br/relatório

Consumo/Aparelho

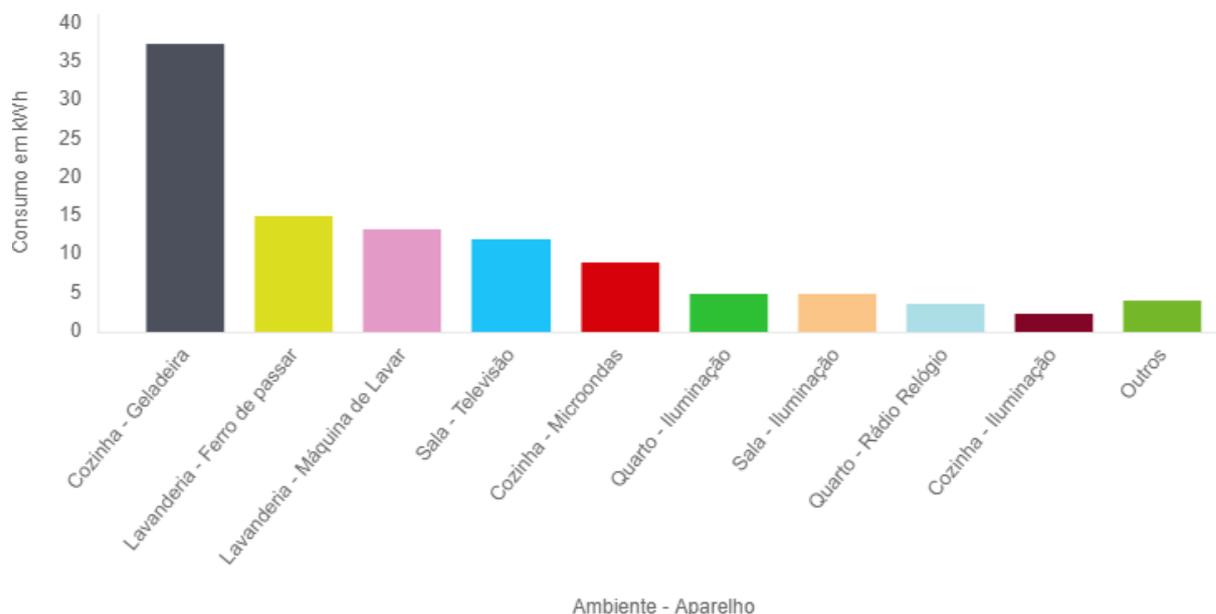


Gráfico 4 Consumo por aparelho, dos itens da tabela 1, não se considerando o chuveiro elétrico.

Fonte: enel-rj.simuladordeconsumo.com.br/relatorio

Na Tabela 3, nota-se os dois valores da estimativa de consumo mensal (em kWh) para 1 unidade residencial de família com 4 pessoas, com e sem o chuveiro. Os valores encontrados foram, respectivamente, 173,69 e 106,19kWh/mês. Apesar de ser uma estimativa de consumo, alguns estudos indicam que o valor encontrado se aproxima de um valor real. Conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 (ano base 2019), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica na classe residencial para a região Sudeste foi de 172,9kWh/mês. Para o estudo do IBGE de 2011 o consumo/domicílio/mês na cidade de Belo Horizonte em 2005 foi de 160,6kWh.

Tabela 4 Consumo de energia residencial em kWh/mês

IBGE/2011 (PARA BH EM 2005)	160,60
EPE/2020 (PARA SUDESTE EM 2019)	172,90
ESTUDO (PARA BH EM 2020)	173,69

Fonte: Autor

Com o valor do consumo energético é possível calcular o dimensionamento do painel solar. Para tanto são utilizados alguns conceitos, fórmulas e simulações para obtenção das informações.

4.1.1 Consumo do Conjunto Residencial Água Marinha

Número de apartamentos: 340 unidades

Área de cada unidade residencial: 42m²

Quantidade de blocos e andares: 15 blocos de 5 andares. São 4 blocos de 6 apartamentos por andar, e 11 blocos de 4 apartamento por andar.

Área construída = 42m² X 340 unidades = 14.280m²

Consumo total = 173,69kWh/mês X 340 unidades = 59.055kWh/mês

Consumo por área construída = 4,14kWh/mês/m²

4.1.2 Área de envoltória capaz de produzir energia para o conjunto

Para o modelo a ser avaliado optou-se pelo padrão de 5 andares com 4 apartamentos por andar.

Área de cobertura = 42m² X 4 apartamentos + 26m² de circulações = **194m²**

Área de fachadas = 16m² X 2 fachadas + 14m² X 2 fachadas X 5 andares = 310m²

Vilela e Assis (2018) indicam que a porção inferior das fachadas e a fachada sul em Belo Horizonte, não apresentam condições mínimas para produção de energia solar fotovoltaicas. Sendo assim:

Área de fachadas capaz de produzir energia: 310m² X 50% (porção das fachadas) X 3 das 4 fachadas = **123,75m²**

Área disponível para produzir energia para um bloco de 4 apartamento por andar em 5 andares = **194m² + 123,75m² = 317,75m²**

Consumo total para um bloco = 173,69kWh/mês X 20 unidades = **3.473,80 kWh/mês**

Cada bloco deve produzir ao menos $3.473,80\text{kWh/mês} / 317,75\text{m}^2 = 10,93\text{kWh/mês/m}^2$.⁶

4.2 Consumo Energético com Sistema Fotovoltaico sem Aquecimento Solar Térmico (Cenário 2)

4.2.1 Energia a Ser Compensada

A distribuidora de energia cobra pela disponibilidade de distribuição de energia elétrica. Essa “taxa mínima”, chamada de “Custo de Disponibilidade” varia de acordo com o tipo de ligação entre a unidade consumidora e a rede. Se monofásico, são 30kWh/mês; se bifásico, são 50kWh/mês; se trifásico, 100kWh/mês.

Para cálculo da energia a ser compensada (EC), é necessário, portanto, subtrair do consumo de energia médio mensal (Emm) o custo de disponibilidade (CD), equação 2:

$$EC = Emm - CD \quad \text{Eq. 2}$$

Para o caso estudado, considerando o consumo de 173,69kWh/mês e rede monofásica (custo de disponibilidade de 30kWh/mês), chegamos a $EC = 143,69\text{kWh/mês}$.

Para obtenção do valor diário da geração de energia, divide-se o EC (mensal) por 30 dias (média de dias por mês), equação 3:

$$ECD = EC / 30 \quad \text{Eq. 3}$$

Portanto, $ECD = 4,78 \text{ kWh/dia}$.

⁶ Refere-se a um valor ideal, onde o consumo médio de todas as UR's é suportado pela geração de energia na área de cobertura do bloco, não levando em consideração espaço destinado a reservatórios, calhas e circulação, por exemplo.

4.2.2 Análise do Recurso Solar

Para determinar a potência do SFCR para gerar a quantidade de energia elétrica necessária, deve-se saber qual é o “valor de energia” e o valor da “Radiação Solar”. O Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) apresenta os resultados em quiloWatt hora por metro quadrado (kWh/m²). Esse valor é chamado de Horas de Sol Pico (HSP). De acordo com o Atlas, o valor de HSP para a cidade de Belo Horizonte é de 5,13kWh/m²/dia.

4.2.3 Potência-Pico

A potência-pico refere-se à potência em condições de laboratório dos módulos fotovoltaicos. Sua unidade é kWp. A equação para cálculo é:

$$P_{\text{peak}} = \text{ECD} / \text{HSP} \quad \text{Eq. 4}$$

Assim, $P_{\text{peak}} = 4,78 \text{ kWh/dia} / 5,13\text{kWh/m}^2/\text{dia}$, isto é, $P_{\text{peak}} = 0,93\text{kWp}$.

Entende-se este valor de 0,93kWp, aproximadamente 1,0kWp, como o ideal para este SFCR para as necessidades de geração de energia para autoconsumo da unidade consumidora.

4.2.4 Quantidade de Módulos

De forma estimativa, é possível calcular a quantidade de módulos fotovoltaicos que serão utilizados através da equação 5:

$$N_m = P_{\text{peak}} / (W_p \times 1000) \quad \text{Eq. 5}$$

Para o cálculo, pede-se a potência-pico do módulo fotovoltaico (Wp). Para esta análise, será utilizado a potência-pico de 240Wp, que é um valor comercial comum.

Deste modo, $N_m = 0,93\text{kWp} / (240\text{Wp} \times 1000)$, ou seja, $N_m = 3,89$. Portanto, o número de módulo de 240Wp é 4 unidades.

4.2.5 Valor a Ser Pago R\$/kWh

De acordo com a concessionária CEMIG, para a classificação B1 (residencial baixa renda) há valores distintos – de acordo com a bandeira (verde, amarela ou vermelha) – para o valor do consumo mensal entre 101 até 220 kWh (R\$/kWh).

Para este estudo será considerado um valor próximo a bandeira vermelha 2, que é de 0,56305 R\$/kWh, para o ano de 2020. ⁷

4.2.6 Simulação Através da Calculadora Solar

O portal NEOSOLAR disponibiliza uma calculadora a fim de se estimar alguns valores como, por exemplo, o de investimento e o sistema indicado. Para a obtenção dos resultados, foram inseridos na calculadora as seguintes informações:

- O local possui acesso à rede elétrica? Resposta: SIM.
- Onde pretende realizar a instalação? Resposta: Belo Horizonte / MG
- Qual tipo de local e valor da tarifa? Resposta: Residencial e R\$0,56/kWh
- Consumo estimado? Resposta: 173kWh

⁷ A tabela encontra-se em <http://novoportal.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acessada em 20/01/2021.



Figura 21 Valores obtidos através da simulação na calculadora solar do portal NeoSolar

Fonte: <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica-resultado-resultado-resultado> acessado em 20/01/2021.

Valores obtidos para o sistema:

- Tamanho do sistema: 1,05kWp. (Este valor equivale ao calculado de 0,93kWp).
- Número de módulos: 4 módulos. (Este valor equivale ao calculado de 4 módulos).
- Produção anual estimada: 1.543kWh (ou 128,58 kWh/mês)
- Área necessária: 7,34m²
- Peso estimado: 99,55kg

Cada 7,34m² é capaz de produzir 128,58kWh/mês. Considerando apenas a cobertura do bloco de 4 apartamentos por andar do edifício padrão, onde a área é de 194m², temos $(194\text{m}^2 / 7,34\text{m}^2) \times 128,58 \text{ kWh/mês} = \mathbf{3.398\text{kWh/mês}}$.

Sendo o consumo total para um bloco **3.473,80kWh/mês** (conforme cenário 1), temos que a produção de energia dos módulos fotovoltaicos apenas considerando a área de cobertura é quase suficiente para cobrir o consumo dos 20 apartamentos do bloco, chegando a 98%. Há de se considerar, porém, que as coberturas não são totalmente livres, contendo reservatórios, calhas, espaço para trânsito, que ocupam boa parte de sua área. Entretanto, somando as áreas de fachadas, que possuem um bom potencial para recebimento das placas fotovoltaicas, torna-se possível que a produção e o

consumo energético sejam muito próximos. Ressalta-se, entretanto, que as superfícies horizontais ou mais próximas da posição horizontal são preferíveis para recepção de energia solar no Brasil.

Valores obtidos para o investimento:

- Estimativa de investimento: De R\$7.125,66 a R\$10.898,07.
- Economia mensal: R\$72,00.
- Economia total acumulada em 30 anos: R\$78.826,16
- *Payback*: Em torno de 7 anos

Gráfico do investimento:



Gráfico 5 Economia na conta de luz em 30 anos.

Fonte: <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica-resultado-resultado-resultado> acessado em 20/01/2021.

4.2.7 Método de *Payback* Simples

O método de *Payback* Simples é uma técnica utilizada para analisar o prazo de retorno de um investimento, ou seja, o tempo de retorno do investimento inicial até o momento em que o ganho se iguala ao valor investido. Divide-se o valor gasto inicialmente (FCo)

pelo valor economizado por ano (X_n). Para calcular esse retorno utiliza-se a equação 6:

$$PBs = FCo / X_n \quad \text{Eq. 6}$$

Neste cenário, $PBs = R\$7.125,66 / R\$72,00 \times 12$ meses, ou seja, $PBs = 8$ anos, aproximadamente.

O cálculo aponta um *payback* em torno de 8 anos, ou seja, próximo ao valor encontrado pelo Gráfico 3, que foi de 7 anos.

4.3 Consumo energético com Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar Térmico (Cenário 3)

Este cenário 3 foi apresentado anteriormente, no item 2.3.8, como revisão de literatura.

Da análise, entende-se que os sistemas alternativos ao da rede elétrica de distribuição devem trabalhar em conjunto. De forma integrada, o sistema de aquecimento solar térmico deve funcionar com o fotovoltaico, a fim de que se obtenha a melhor eficiência e também a garantia de funcionamento do sistema como um todo.

A partir da estimativa do cenário 2, será calculado a seguir a área mínima disponível para instalação das placas solares para aquecimento de água e fotovoltaicas para geração de energia por UR (Unidade Residencial).

4.3.1 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar

Considerando 1 unidade familiar de 4 pessoas, a ABNT – NBR 7198 NB 128 - Tabela 1, adota o valor de 36L de água quente por indivíduo para casa popular. Já a tabela IBAM/PROCEL adota o valor de 50L por banho (Figura 22).

Alojamento Provisório de Obra	24	litros por indivíduo
Casa Popular ou rural	36	litros por indivíduo
Residência	45	litros por indivíduo
Apartamento	60	litros por indivíduo
Quartel	45	litros por indivíduo
Escola (Internato)	45	litros por indivíduo
Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia)	36	litros por indivíduo
Hospital	125	litros por leito
Restaurante e Similares	12	litros por refeição
Lavanderia	15	litros por Kg de roupa seca

Chuveiro	50	litros por banho
Banheira para uma pessoa	100	litros por banho
Banheira para duas pessoas	200	litros por banho
Torneira de água quente	50	litros por dia
Máquina de lavar pratos	150	litros por dia
Máquina de lavar roupa	150	litros por dia

Figura 22 Tabela 1 ABNT NB128 e tabela IBAM/PROCEL, 2003

Para a ABNT temos: $36 \times 4 = 144L$ e para IBAM/PROCEL temos $50 \times 4 = 200L$

Para o dimensionamento do aquecedor, a ABNT - NB128 - Tabela 2, estabelece a capacidade e potência do aquecedor para o consumo diário em 70°C. A Figura 23 mostra que o volume mínimo para o aquecedor deve ser de 150L.

Dimensionamento Indicado para Aquecedores Elétricos de Acumulação
(Fonte: ABNT – NB 128 – Tabela II)

Consumo Diário a 70°C (Litros)	Capacidade do Aquecedor (Litros)	Potência (Kw)
60	50	0,75
95	75	0,75
130	100	1
200	150	1,25
260	200	1,5
330	250	2
430	300	2,5
570	400	3
700	500	4
850	600	4,5
1150	750	5,5
1500	1000	7
1900	1250	8,5
2300	1500	10
2900	1750	12
3300	2000	14
4200	2500	17
5000	3000	20

Figura 23 Tabelas 2 da ABNT NB128, 1968

Considerando a necessidade de boiler de no mínimo 150L e utilizando a tabela de reservatórios comerciais (Figura 24) temos as dimensões para 200L: Diâmetro 520mm X Comprimento 1420mm.

Tabela de modelos de boilers SOLAREM

Modelo do Boiler	Volume	Diâmetro* (mm)	Comprimento* (mm)	Peso (kg)	Potência Resistência 220V/60Hz
ATMC-200 AQ	200 litros	520	1420	24	2500 W
ATMC-300 AQ	300 litros	705	1110	31	2500 W
ATMC-400 AQ	400 litros	705	1440	35	2500 W
ATMC-500 AQ	500 litros	705	1735	41	2500 W
ATMC-600 AQ	600 litros	705	2035	42	2500 W
ATMC-800 AQ	800 litros	960	1620	52	3000 W
ATMC-1000 AQ	1000 litros	960	1920	59	4000 W
ATMC-1500 AQ	1500 litros	960	2790	130	5500 W
ATMC-2000 AQ	2000 litros	960	3440	165	7000 W

* Medidas do corpo do armazenador (sem tubos, suspiro e pés).- Para armazenadores acima de 2000 litros consulte a TUMA
- A TUMA Industrial se reserva o direito de alterar estas especificações sem aviso prévio.

Figura 24 Tabela de modelos de boilers

Fonte: SOLAREM, 2018

A área de placa solar leva em consideração o volume de água quente diário. Para cada 100L, 1m² de placa. Para iniciar o sistema (start), 1m². Assim sendo, para 200L (2 X 100L), são 2m² de placa; para o start, 1m² de placa. Logo, a área total será de 3m² de placa. Módulo comercial de 2 placas de 1,50m x 1,00m.

Resumo do dimensionamento do sistema de aquecimento solar para UR de 4 pessoas, padrão de casa popular:

- 2 PLACAS 1,50m X 1,00m;
- 1 BOILER 0,52m X 1,42m.

4.3.2 Payback do Sistema de Aquecimento Solar

Um monitoramento da energia solar em residências populares do conjunto Sapucaia em Contagem/MG pelo Grupo de Estudos em Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas (Green Solar), demonstrou uma redução efetiva no consumo de energia elétrica. Segundo Pereira (2006), ficou comprovado que as casas com aquecimento solar têm um gasto de 81kWh/mês contra 155kWh/mês das aquecidas eletricamente. Uma economia em torno de 44%.

De acordo com o cenário 2 deste estudo de caso, ao compararmos a redução nos valores de consumo com e sem chuveiro (sendo o aquecimento de água exclusivamente por boiler), a redução é de 39%.

Com base nas informações acima citadas é possível dizer que o sistema de aquecimento solar de água gera uma economia em torno de 30% a 40% no valor da conta de energia e o *payback* é de aproximadamente 5 anos, para 1 UR de família de 4 pessoas numa habitação de interesse social em Belo Horizonte/MG.

4.3.3 Cálculos Para o Sistema Fotovoltaico Atuando em Conjunto com o Sistema de Aquecimento Solar de Água

Devido à importância dos sistemas de geração de energia ou aquecimento de água trabalharem paralelamente, a fim da obtenção da melhor eficiência e da garantia de

funcionamento pleno do conjunto, este estudo admite para o cenário 3 os seguintes cálculos do sistema fotovoltaico:

$$EC = Emm - CD$$

$$EC = 106,19\text{kWh/mês} - 30\text{kWh/mês}$$

$$EC = 76,19\text{kWh/mês}$$

$$ECD = EC / 30$$

$$ECD = 76,19\text{kWh/mês} / 30$$

$$ECD = 2,54 \text{ kWh/dia}$$

$$P_{\text{peak}} = ECD / HSP$$

$$P_{\text{peak}} = 2,54 \text{ kWh/dia} / 5,13\text{kWh/m}^2/\text{dia}$$

$$P_{\text{peak}} = 0,50\text{kWp}$$

$$Nm = P_{\text{peak}} / (Wp \times 1000)$$

$$Nm = 0,50\text{kWp} / (240\text{Wp} \times 1000)$$

$$Nm = 2,08$$

$$PBs = FCo / Xn$$

$$PBs = R\$3.386,86 / R\$34,00 \times 12 \text{ meses}$$

$$PBs = 8 \text{ anos, aproximadamente.}$$

Valores obtidos para o sistema:

- Tamanho do sistema: 0,50kWp.
- Número de módulos: 2 módulos.

- Produção anual estimada: 733kWh
- Área necessária: 3,49m²
- Peso estimado: 47,32kg

Valores obtidos para o investimento:

- Estimativa de investimento: De R\$3.386,86 a R\$5.179,91.
- Economia mensal: R\$34,00.
- *Payback*: Em torno de 7 anos

4.3.4 Comparativo Cenários 2 e 3

A Tabela 5 compara os valores obtidos nos cenários 2 (SFCR) e 3 (aquecimento solar térmico) em relação ao consumo de energia, quantidade de módulos fotovoltaicos e placas solares, áreas de placas e boiler, investimento inicial, economia mensal e *payback*.

Tabela 5 Comparativo entre Sistema Fotovoltaico e Sistema Fotovoltaico com Aquecimento Solar de Água

	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	
		SFCR (SEM CHUVEIRO)	AQUECIMENTO SOLAR (APENAS CHUVEIRO)
CONSUMO CONSIDERADO (kWh/MÊS)	173,69	106,19	67,5
		173,69	
QUANTIDADE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	4	2	0
QUANTIDADE PLACAS SOLARES	0	0	2
ÁREA PLACAS (m ²)	7,34	3,49	3,00
ÁREA BOILER (m ²)	0	0	0,7384
ÁREA TOTAL (m ²)	7,34	7,23	
INVESTIMENTO INICIAL (R\$)	7125,66	3386,86	2000
		5386,86	
ECONOMIA MENSAL (R\$)	72	34	38
PAYBACK (ANOS)	7 A 8	7 A 8	5 ANOS

Fonte: Autor

O comparativo demonstra que o valor de investimento é maior para o cenário 2, onde o SFCR é utilizado sem o aquecimento solar. Como o consumo levando-se em consideração o chuveiro elétrico é maior, a quantidade de módulos fotovoltaicos eleva

os gastos iniciais. O cenário 3, com o SFCR trabalhando em conjunto com o aquecimento solar térmico, ocupa menos área, gera uma economia mensal menor em relação ao cenário 2, porém possui um *payback* entre 5 a 8 anos, tornando-se a possibilidade mais econômica ao consumidor.

4.4 Consumo Energético com a Técnica do Envelope Solar (ES) em Sistema Fotovoltaico em Conjunto com Aquecimento Solar (Cenário 4)

Este cenário 4 foi apresentado anteriormente, no item 2.3.7, como revisão de literatura.

Complementarmente ao exposto na Tabela 2, na página 56, pode-se estabelecer para a edificação na concepção para ES um consumo de energia referente ao cenário 3, onde existe o aquecimento solar térmico (Tabela 6). Dessa forma, o Conjunto Habitacional Água Marinha, com 340 UR consumiria 36.105kWh/mês ao invés de 59.055kWh/mês. Além disso, uma produção de energia maior. 14,98kWh = 10.785,60kWh/mês sem envelope; e 23,75kWh = 17.100kWh/mês com envelope. Ou seja, ganho de 63,07%.

Tabela 6 Comparativo entre a implantação atual e a concepção para Envelope Solar com o aquecimento solar térmico trabalhando em conjunto com o SFCR.

PARÂMETRO	EDIFICAÇÃO ENVELOPE SOLAR (SFCR)	EDIFICAÇÃO ENVELOPE SOLAR (SFCR + aquecimento solar térmico)
Consumo de energia	340 UR X 173,69 = 59.055kWh/mês	340 UR X 106,19 = 36.105kWh/mês

Fonte: Autor

4.5 Discussões

Após as informações obtidas na Metodologia sobre produção e consumo energéticos, *paybacks* dos sistemas envolvidos e também possibilidades alcançadas pela técnica do Envelope Solar, nos diversos cenários levantados, resultados interessantes foram obtidos para o estudo de caso.

O cenário 2, da implantação convencional do edifício e adoção do sistema fotovoltaico para geração de energia, sem o aquecimento solar térmico, traz valores importantes já a partir do 1º mês de utilização do SFCR. Com economia mensal no valor de R\$72,00 após o investimento de pouco mais de R\$7.000, o *payback* se dá em torno de 7 anos.

Importante chamar a atenção neste ponto para a Portaria nº643, de 2017, informada no Capítulo 2, que dispõe sobre as condições gerais para provisão de sistemas alternativos de geração de energia para empreendimentos contratados no PMCMV. A partir de sua aprovação, tornou-se obrigatória a instalação desses sistemas. O fornecedor deve dar garantia contra defeitos por pelo menos 10 anos, e 25 anos para a performance. O acréscimo máximo no valor da unidade habitacional é de R\$3.000.

Com esse “abatimento” no valor do imóvel, considerando a fórmula do *payback* simples, o tempo de retorno cai à metade, ou seja, em torno de 3,5 anos. Fundamental, portanto, fazer valer-se da Portaria nº643, de 2017, a fim de viabilizar financeiramente o SFCR nas HIS.

Para o cenário 3, de consumo energético conforme implantação convencional do edifício e adoção do sistema fotovoltaico para geração de energia, em conjunto com aquecimento de água para chuveiro, há uma melhora nas relações tanto de garantia de funcionamento do sistema, como de retorno financeiro.

Em relação à garantia de funcionamento do sistema, o conjunto com aquecimento solar de água torna-se essencial. Uma vez que o SFCR se utiliza de vários equipamentos como os painéis fotovoltaicos, o inversor e todas as ligações e conexões, e funciona durante os períodos de Sol, o conjunto precisa estar em perfeitas condições de uso e com manutenção em dia, para perfeitas eficiência e eficácia. A partir do momento em que o aquecimento solar de água consegue garantir a sua função, principalmente no chuveiro, que é o grande consumidor de eletricidade das residências, o cenário 3 tende a ser a melhor opção no sistema convencional de implantação dos edifícios.

Economicamente, o sistema de aquecimento solar de água, isolado, é mais barato que o SFCR. A tabela 5 demonstra esse comparativo. O *payback*, nessas mesmas circunstâncias, também é menor, em torno de 5 anos. Dessa forma, ao trabalharem em conjunto, o SFCR e aquecimento de água garantem uma melhora também financeira.

Considerando a Portaria 643, o *payback* para o SFCR isoladamente no cenário dois é maior que no cenário 1, em torno de 4,5 anos. Isso se deve a menor economia mensal, para o mesmo valor de investimento. Entretanto, ao trabalharem em conjunto, o sistema de aquecimento de água, por já possuir um *payback* menor, isolado, equilibra a relação, favorecendo o cenário 2.

O último cenário, que utiliza a técnica do Envelope Solar, lança uma nova proposta aos empreendimentos. Com a implantação pensada de forma a garantir não apenas o cumprimento das legislações municipais em relação a taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, enfim, cálculos que viabilizam a construção do empreendimento, a técnica do ES proporciona uma melhora nas condições ambientais das edificações, favorecendo o potencial solar e de ventilação natural.

É notório, como demonstrado na tabela 2, o potencial energético da implantação que se favorece do acesso ao Sol. Há um ganho de 63% ao se comparar a produção de energia das duas implantações. Com um potencial maior que garante a locação de painéis solares, placas de aquecimento solar e reservatórios, a tendência é de melhor viabilidade financeira para utilização dos sistemas alternativos de energia.

A tabela 3 traz um dado interessante que se refere à área em m² necessária para cada sistema. Se cada UR necessita de aproximadamente 7,34m² para placas e boilers, e os blocos são de 5 pavimentos, a área para cada coluna de apartamentos fica em torno de 36,50m², muito próximo da área de 1 UR, que é de 42m². Essa forma não possibilita espaço livre nas coberturas, o que pode provocar entre outros inconvenientes, o sombreamento nas placas. No caso do Envelope Solar, essa a área para placas é muito maior por causa do escalonamento da edificação, como vemos nas figuras 15 e 16.

O comparativo direto entre os cenários de 2 e 3 em relação ao 4º não seria adequado. Envolve diferentes formas das edificações, por exemplo. O morador da unidade residencial teria no cenário 4 a total eficácia dos sistemas SFCR e Aquecimento Solar, como demonstrado na simulação paramétrica, ao passo que nos cenários 2 e 3 a produção energética é dada pelas condições atuais, e não ideais do aspecto formal. De qualquer forma os cenários 2 e 3 já indicam um retorno financeiro razoável, a partir de 3,5 anos, principalmente considerando a aplicação da Portaria nº 643.

5 CONCLUSÕES

O limite do sistema hidrelétrico, aliado ao esgotamento dos recursos naturais, indicado por diversas pesquisas, sugerem que a matriz energética utilizada no Brasil precisa urgentemente ser diversificada. Utilizando-se da fonte inesgotável de energia proveniente do Sol, o Sistema Fotovoltaico pode ser uma das opções nessa diversificação. O crescimento de consumo energético, fortemente relacionado com o aumento populacional, conecta-se com o desenvolvimento urbano em muitos casos desordenados das grandes cidades. Como resultado, moradias em assentamentos urbanos sem a infraestrutura básica necessária ao bem-estar social, assim como déficit habitacional. Assim, são urgentes as ações que devem ser realizadas em combate aos problemas sociais, especificamente voltados às habitações.

Tendo como objetivo analisar a viabilidade econômica da utilização de energia solar em HIS em Belo Horizonte, este estudo mostrou possibilidades para a produção viável e energeticamente sustentável. Embora o estudo de caso tenha sido realizado na capital mineira, a realidade da população e das habitações são similares no país todo, principalmente nas grandes metrópoles.

Através da metodologia que envolveu levantamento e análises de caso de estudo, o trabalho trouxe importantes resultados em forma de 4 diferentes cenários.

O Residencial Água Marinha, empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida, em seu cenário 1, levantou os gastos de energia elétrica de uma família típica brasileira, com 4 indivíduos. O resultado, em torno de 173kWh/mês, assemelha-se aos valores de outras pesquisas científicas, padrão da região Sudeste.

Para o cenário 2, foi proposto o SFCR, sem aquecimento solar térmico, e como resultado a diminuição no valor de energia elétrica desde o primeiro mês. Com valor de investimento a partir de R\$7.125,66 (conforme simulação no portal NeoSolar), faz-se fundamental a aplicação da Portaria nº643, do Ministério das Cidades, que dispõe sobre a utilização de sistema alternativo de geração de energia. Dessa forma, a construtora executaria o Sistema Fotovoltaico e cobraria um valor máximo (R\$3.000,00 neste caso) a mais na unidade habitacional. O *payback* de 7 a 8 anos,

para a implantação do sistema alternativo pôde ser reduzido a 3,5 anos devido à Portaria mencionada.

Para o cenário 3, a utilização em conjunto do SFCR e de aquecimento de água traz benefícios no todo. Sendo por si só o sistema de menor valor de investimento (pouco mais de R\$2.000 reais) e de *payback* em torno de 5 anos, o aquecimento solar garante a funcionalidade de água quente no chuveiro. Assim, o equipamento de maior consumo nas residências utiliza a forma de menor custo de geração de calor. Ao considerarmos a importância do conjunto nos sistemas em que a manutenção muitas vezes é deficitária, e utilizando a legislação que favorece a implantação de sistemas de geração de energia “alternativo”, esse cenário pode ser entendido como o de melhor viabilidade econômica nas habitações de interesse social para a região Sudeste, especialmente em Belo Horizonte, MG.

O cenário 4 utiliza a técnica de Envelope Solar e lança uma perspectiva diferenciada aos empreendimentos. Ela amplia as opções de soluções de implantações e formas das edificações, favorecendo a iluminação e ventilação naturais e propõe uma estética distinta ao sistema utilizado atualmente. Ao invés da implantação padrão de blocos residenciais, de volumetria de paralelepípedo, a técnica aproveita a energia solar em seu potencial, fazendo com que não apenas a cobertura possa ser utilizada para locação de painéis solares e fotovoltaicos, mas sim a edificação toda. Com a consideração da ventilação natural, radiação e iluminação matutinas e também a menor transmissão de calor pela cobertura, a eficiência energética é a mais favorável entre os cenários.

Com o mesmo número de unidades habitacionais e mesmo coeficiente de aproveitamento, o envelope tem uma produção de energia 58% maior que no sistema convencional de implantação e formas de edifícios.

A análise de resultados sugere o melhor cenário para as habitações de interesse social em relação à viabilidade econômica e também aponta para uma forma mais eficiente de geração energética.

Importante mencionar que para se atingir a eficiência energética máxima, o sistema como um todo, inclusive iluminação, devem ser de alta eficiência. O uso de lâmpadas LED e motores eficientes, por exemplo, são fundamentais. Da mesma forma a manutenção geral deve ser periódica.

O consumidor final, morador e usuário da unidade residencial possui vários benefícios no uso do sistema, que pode lhe garantir a menor tarifa de energia elétrica. Cabe às construtoras e incorporadoras a missão de encontrar na Sustentabilidade novas oportunidades de negócios viáveis e favorecimento ambiental.

Novas pesquisas futuras envolvendo novos materiais e tecnologias para geração de energia elétrica são promissoras e fundamentais para o aperfeiçoamento e melhor viabilidade econômica dos sistemas envolvidos.

A difusão das tecnologias no mercado fazendo com que mais pessoas voltem o olhar para a utilização tanto do sistema fotovoltaico, quanto de outras fontes de energia, em conjunto com a proveniente das concessionárias, possivelmente possibilitaria uma redução nos valores de investimento.

Com reduzido aporte financeiro de entrada e tempo de retorno financeiro menor, futuros trabalhos devem apontar que as faixas menores do PCVA, ou outro programa de HIS, também consigam se beneficiar do SFCR.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 28 set. 2004. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>. Acesso em: 13 mar. 2021.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 7198 Projeto e execução de instalações de água quente. Rio de Janeiro, 30 set. 1993.

ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Geração distribuída solar fotovoltaica**. Rio de Janeiro: Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico, 2016.

AGÊNCIA SENADO. MP cria programa Casa Verde Amarela no lugar do Minha Casa, Minha Vida. Brasília, 26 ago. 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/08/26/mp-cria-programa-casa-verde-amarela-no-lugar-do-minha-casa-minha-vida>. Acesso em 04 nov. 2020.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública. Brasília, 15 out. 2019. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877. Acesso em 03 jun. 2020.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012**: Relatório de análise de impacto regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL. Brasília, 6 dez. 2018. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+Modelo+de+AIR+-+SRD+-+Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida.pdf/769daa1c-51af-65e8-e4cf-24eba4f965c1>. Acesso em 10 mar. 2021.

BARBIERO, V. K. Urban health: it's time to get moving! **Global Health: Science and Practice**, [S.l.], v. 2, n. 2, p.139-144, 2014.

BENDER, L. V.; LEITZKE, R. K.; FREITAS, J. R; CUNHA, E. G.; SALAMONI, I. T. Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 489-508, 2020.

BINI, C.; GALAFASSI, M. **Desenvolvimento de um fluxo de trabalho para dimensionamento de elementos de obstrução solar, utilizando softwares de modelagem paramétrica**. In: XIV ENCAC, 2017. Balneário Camboriú, SC. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo23.pdf>. Acesso em 13 mar. 2021.

BORDIGNON, F. A. **A aplicação da energia solar fotovoltaica em Programas de Habitações Sociais – Empreendimento Jardim Vitória em Palmas - TO**. 2019. 55

p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas.

BRASIL. Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Estudo Técnico. Brasília: Câmara dos Deputados, 2017

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria N° 643**, de 13 de novembro de 2017. Dispõe sobre as condições gerais para provisão de sistemas alternativos de geração de energia para empreendimentos destinados à aquisição e alienação com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial (FAR), e contratação de operações com recursos transferidos ao Fundo de Desenvolvimento Social (FDS), no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV). Brasília: D.O.U., 14/11/2017, Edição: 218, Seção: 1, p. 54.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 28 mai. 2020.

BRASIL. **Lei nº11.124/2005**, de 16 de Junho de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS. 27/05/2021. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11124.htm. Acesso em 23 out. 2020.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**, 2008, 215 folhas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Casa eficiente: **consumo e geração de energia** / editores: Roberto Lamberts... [et al.]. – Florianópolis: UFSC/ LabEEE; 2010. v. 2

CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo). Projeto de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos, 2017. Disponível em <http://abc.habitacao.org.br/wp-content/uploads/2017/07/B-Proj-Urb-Arq-Conj-Hab-Energia-Fotovolt-HIS-CDHU-SP.pdf>. Acesso em 11 nov. 2020.

CEF (Caixa Econômica Federal). Minha Casa Minha Vida – Habitação Urbana, 2021. Disponível em <https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx>. Acesso em 14 mar. 2021.

CNM (Confederação Nacional dos Municípios). CNM faz análise dos 10 anos do Minha Casa, Minha Vida, 2019. Disponível em <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/cnm-faz-analise-dos-10-anos-do-minha-casa-minha-vida>. Acesso em 02 jun. 2020.

ECHENIQUE, M. Modelos: una discusión In: MARTIN L.; MARCH L.; ECHENIQUE M. **La Estructura del Espacio Urbano**. Barcelona: Ed. GG, 1975. pág. 235-248.

FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P. H. N. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 30, n. 86, p.7-27, 2016.

FJP (Fundação João Pinheiro), Centro de Estatística e Informações. **Déficit habitacional no Brasil 2015**. Belo Horizonte: FJP, 2018.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Séries Estatísticas – 2011**. Rio de Janeiro, IBGE. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 jan. 2021.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª Edição. São José dos Campos: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2017.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, 2019. Disponível em <https://ipea.gov.br/ods/ods11.html>. Acesso em 23 out. 2020.

KNOWLES, R. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. **Energy and Buildings**, v. 35, 2003. p. 15–25.

MAIA, D. S. **Energia solar em habitações populares: uma experiência na política habitacional brasileira**. In: V SIMPOSIO INTERNACIONAL DE LA HISTORIA DE LA ELECTRIFICACIÓN: LA ELECTRICIDAD Y LA TRANSFORMACIÓN DE LA VIDA URBANA Y SOCIAL. Évora, p. 861-879. 6 mai. 2019.

MARICATO, E. **Brasil Cidades, alternativas para a crise urbana**. s.l. : Editora Vozes, 4ª edição, 2011.

MOREIRA, Suzanna. **O que é Habitação de Interesse Social**. In: Archdaily, 2020. Disponível em <https://www.archdaily.com.br/br/925932/o-que-e-habitacao-de-interesse-social>. Acesso em 23 out. 2020.

PAULA, N. S.; NASCIMENTO, O. C. S.; SILVA, S. B. **Análise de viabilidade da energia solar fotovoltaica conectado [sic] à rede, aplicado a residências populares: estudo de caso em Itumbiara-GO**. In: XIV CEEL (Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica). Uberlândia: UFU, 2016. Disponível em CEEL2016_02 IFG - IC.01 (peteletricaufu.com). Acesso em 14 mar. 2021.

PEREIRA, E.B. **Projeto busca melhor uso da energia solar**. Belo Horizonte, 2006. Disponível em <https://www.otempo.com.br/cidades/projeto-busca-melhor-uso-da-energia-solar-1.327296>). Acesso em 21 jan. 2021.

PEREZAGUA, E. **New Rising Era for Photovoltaic Integration in Buildings**. In: European Union Sustainable Energy Week. Brussels, 2007.

PORTAL SOLAR. A energia solar no mundo. Disponível em [https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo#:~:text=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Sistemas%20de%20Energia%20Solar%20no%20Mundo&text=Correspondendo%20a%2025%2C8%25%20da,o%20Meio%20Ambiente%20\(Pnuma\)](https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo#:~:text=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Sistemas%20de%20Energia%20Solar%20no%20Mundo&text=Correspondendo%20a%2025%2C8%25%20da,o%20Meio%20Ambiente%20(Pnuma).). Acesso em 19 fev. 2020.

REZENDE, L. A. A. **Emprego da energia fotovoltaica voltada para casas populares**. 2018. 68 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/24491>

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC, 2004.

SCARI, M. E. **Estudo do consumo de energia elétrica no setor residencial de Belo Horizonte**. 2011. 196 fls. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear e Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Térmica e Fluidos) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde18032013-091511/>.

VARGAS, R. D. **Utilização de painéis fotovoltaicos: aplicação em projeto residencial de interesse social no município de Ijuí – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2017.

VILELA, J. A.; ASSIS, E.; VELOSO A. C. O.; SOUZA R. V. G. Geração de energia fotovoltaica em fachadas: Estudo de caso com uso da simulação paramétrica. **CISU: 14ª JORNADA URBENERE e 2ª JORNADA CIRES**, Vila Velha, p. 2267-2276, dez. 2018.

VILELA, J. A., ASSIS, E. **Implantação das HIS – padrão MCMV e a produção de energia solar no tecido urbano: estudo de caso**. 2018. No prelo.