ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM BELO HORIZONTE, MG

Alexandre Schultz (1); Eleonora Sad de Assis (2); Jacqueline Alves Vilela (3)
(1) Arquiteto, alexandre.schultz@gmail.com, (31) 99391-0081
(2) Doutora, Professora do Departamento de Tecnologia da EA-UFMG, eleonorasad@yahoo.com.br
(3) Mestre, Arquiteta e Urbanista, arqjacvilela@gmail.com, (31) 99978-2212
Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia da EA, R. Paraíba, 697 – Savassi, Belo Horizonte - MG, 30130-141, (31)3409-8872

RESUMO
O esgotamento dos recursos naturais e a necessidade da utilização de fontes mais limpas de energia, sobretudo com o crescimento contínuo das cidades, tornam oportunos os estudos de viabilidade de uso da energia solar na habitação social. Este trabalho propõe-se a estudar a viabilidade econômica da utilização do sistema fotovoltaico e solar térmico de forma isolada e conjunta, em HIS na cidade de Belo Horizonte, MG. O estudo analisa dois casos de implantação distintos: o primeiro aborda a situação real de um conjunto habitacional multifamiliar tal como construído e o segundo propõe uma implantação elaborada através da técnica do Envelope Solar (ES), de maneira a privilegiar o acesso ao sol. Foram elaborados 4 cenários para comparação, considerando a situação atual como referência (cenário 1), a situação atual com a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (cenário 2), a situação atual com a instalação de um sistema solar integrado fotovoltaico e térmico (cenário 3) e a implantação derivada da aplicação do ES com a instalação do sistema integrado. Os resultados mostram que o sistema solar fotovoltaico integrado ao solar térmico é o mais viável em edifícios multifamiliares de HIS e ainda, que a implantação segundo o ES aumentou em 58% a produção de energia, mantendo aspectos de qualidade ambiental nos edifícios. A Portaria 643 foi também um importante fator para a viabilidade econômica do empreendimento.

Palavras-chave: Habitação de Interesse Social; Sistema Fotovoltaico; Aquecimento Solar; Envelope Solar.

ABSTRACT
The depletion of natural resources and the need for use cleaner sources of energy, especially with the continued growth of cities, make feasibility studies for the use of solar energy in social housing (SH) opportune. This work aimed at studying the economic viability of using the photovoltaic and solar thermal system as isolated or integrated systems for SH in the city of Belo Horizonte, MG. The study considers a multi-family housing complex as it was built and an alternative settlement designed according to Solar Envelope (SE) technique, which privileges the access to the sun. Four scenarios were elaborated for comparison, considering the current situation as a reference (scenario 1), the current situation with a photovoltaic system connected to the electricity grid (scenario 2), the current situation with an integrated photovoltaic and solar heating of water system (scenario 3) and the new settlement designed from the SE parameters with the integrated solar system. The results show that the solar photovoltaic system integrated with solar heating of water is the most viable system for SH multifamily buildings. The new design according to ES increased energy production by 58%, maintaining aspects of environmental quality in the buildings. Ordinance 643 was also an important factor for the economic viability of the project.

Keywords: Social Dwelling; Photovoltaic System; Solar Heating; Solar Envelope.

1. INTRODUÇÃO

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). Segundo Vilela *et al.* (2018), a morfologia das cidades resulta da aplicação de regulamentos de uso e ocupação do solo que, de forma geral, pouco levam em consideração as variáveis ambientais (ventilação e insolação naturais). Isso acaba se refletindo na qualidade de vida, mobilidade urbana, habitação e na produção e consumo de energia.

O aumento populacional está relacionado diretamente ao déficit habitacional. Segundo estudo realizado no ano-base de 2015, o déficit habitacional estimado no Brasil correspondia a 6,355 milhões de moradias, dos quais 5,572 milhões (87,7%) estavam localizadas em áreas urbanas (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). Atualmente, o programa foi substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela (PCVA), que possui poucas diferenças em relação ao anterior.

O déficit habitacional, o crescimento desordenado das cidades e a necessidade da utilização de fontes mais limpas de energia são problemas inter-relacionados. É preciso, portanto, olhar com mais atenção os problemas sociais e específicos das habitações, estudando possibilidades para a produção de Habitações de Interesse Social (HIS) viáveis e energeticamente sustentáveis. O sistema solar fotovoltaico pode ser um dos caminhos a seguir em favor de meios menos impactantes de energia, favorecendo o emprego de uma fonte inesgotável, o Sol. 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.

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 à redução de preço dos painéis. Desse modo, é de interesse analisar a viabilidade econômica do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) para empreendimentos de HIS.

Assim, parte-se da premissa de que o SFCR implantado em 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.

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo foi analisar a viabilidade econômica da utilização da energia solar térmica e fotovoltaica, de forma conjunta, em HIS, em dois casos de implantação distintos: o primeiro abordou a implantação dos edifícios tal como existem no tecido urbano e o segundo propôs uma implantação elaborada através da Técnica do Envelope Solar (ES) e utilizou uma análise paramétrica, para que os recursos, tanto energéticos, quanto financeiros, fossem mais bem aproveitados. Considerou-se, também, que o sistema proposto fosse implantado na fase inicial de projeto.

Os objetivos específicos foram:

- Realização de levantamento de dados sobre o consumo típico de energia elétrica em habitações sociais multifamiliares do padrão PMCMV, aplicado ao cenário 1 de estudo;
- Elaboração de cenários alternativos que envolvessem diversas composições para o uso dos sistemas fotovoltaico e solar térmico, usados de forma isolada ou conjunta, a fim de levantar dados de consumo energético e viabilidade financeira;
- Elaboração de cenário preditivo que utilizou o ES, através da simulação paramétrica em estudo elaborado por Vilela e Assis (2018), para levantamento de dados de consumo energético e viabilidade financeira;
- Análise e comparação dos diferentes cenários do estudo de caso, identificando o consumo energético das diferentes associações dos sistemas solares e implantações dos edifícios.

3. MÉTODO

Foi utilizado neste trabalho o método indutivo, em que a análise parte de um caso particular buscando a generalização e o objetivo dos argumentos é levar a conclusões mais amplas do que as premissas que a basearam. Para tanto, será apresentado um estudo de caso de empreendimento multifamiliar padrão PMCMV em Belo Horizonte, MG.

3.1. Apresentação do caso de estudo

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

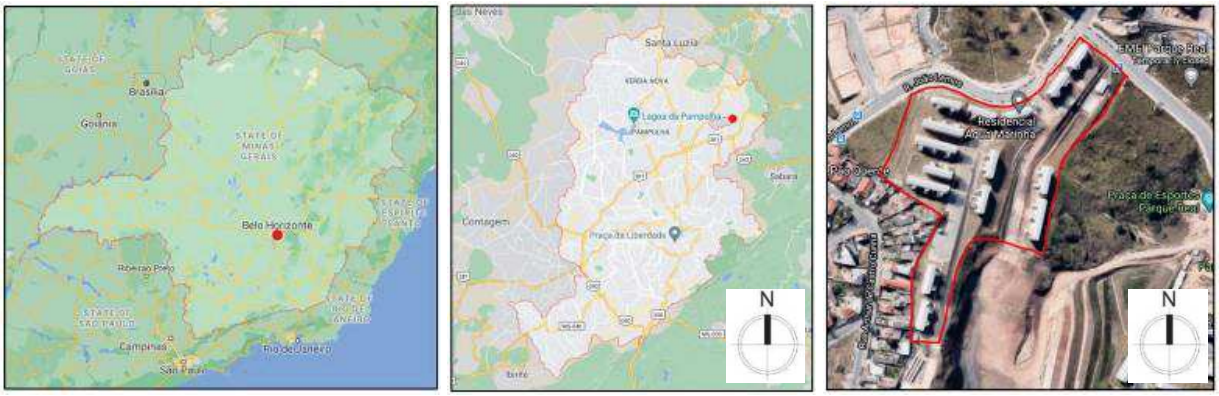

Figura 1 - Cidade de Belo Horizonte no contexto de Minas Gerais (esquerda); Bairro Paulo VI na regional Nordeste da capital mineira (centro); Residencial Água Marinha dentro do bairro Paulo VI e os blocos do empreendimento (direita). Fonte: Modificado do Google Maps, 2021.

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 42 m² por Unidade Habitacional (Figura 2).



Figura 2 - 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 28.600,00 m². 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 altura. O afastamento entre blocos era o dobro da lateral, ou seja, de 6,10 m. Atualmente, com a nova 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 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);
2. 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;

3. Apresentação da técnica de envelope solar (ES) e dos resultados obtidos por 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, e as áreas para incidência de energia solar e potencial de ganho energético, através da irradiação solar sobre as envoltórias (kWh/m²) neste trabalho (cenário 4);
4. Análise e comparação dos diferentes cenários do estudo de caso, identificando a eficiência energética das diferentes implantações 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. Para obtenção de equipamentos utilizados, assim como tempo de utilização e potência dos mesmos, foram considerados itens básicos de uma hipotética habitação de 42 m², com os ambientes: sala, 2 dormitórios, área de serviço, cozinha e banheiro. O resultado é apresentado na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta os valores totais com e sem a presença de chuveiro (maior consumo energético, uma vez que sua utilização será analisada também com o aquecimento solar em outros cenários).

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

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

AMBIENTE	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	POTÊNCIA (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**

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

4.1.1. Consumo do Conjunto Residencial Água Marinha

Número de apartamentos: 340 unidades; área de cada unidade residencial: 42 m²; quantidade de blocos e andares: 15 blocos de 5 andares. São 4 blocos de 6 apartamentos por andar e 11 blocos de 4 apartamentos por andar.
Área construída = 42 m² x 340 unidades = 14.280 m²
Consumo total = 173,69 kWh/mês x 340 unidades = **59.055 kWh/mês**
Consumo por área construída = 4,14 kWh/mês/m²

O resultado obtido de consumo do residencial (59.055 kWh/mês) mostra quanto se deve gerar de energia para atender à demanda total do empreendimento. Para tanto, o sistema fotovoltaico proposto utiliza tanto as coberturas quanto parte das fachadas dos blocos de apartamentos. Entende-se, porém, que uma usina instalada no solo pode ter maior eficiência do que a instalação em coberturas. De acordo com a empresa SolarVolt Energia, que forneceu um orçamento do sistema fotovoltaico para este estudo, esta eficiência pode ser aproximadamente 8% maior. Entretanto, a fim de analisar o potencial energético das coberturas, fachadas e terraços (este último em um dos cenários propostos) de um conjunto habitacional, esse estudo leva em consideração apenas um bloco de apartamentos, com o sistema sendo aplicado na cobertura e em 3 fachadas, excluindo-se a fachada sul que, de acordo com o estudo de Vilela e Assis (2018) para Belo Horizonte, MG, não indica aproveitamento. Considera-se, ainda, que apenas a área da metade superior das fachadas (50%) apresenta condição adequada para produção de energia fotovoltaica. Como se verá no cenário 4, a técnica do Envelope Solar utiliza a forma do edifício para melhor aproveitamento do sol, portanto as coberturas, fachadas e terraços são fundamentais neste estudo.

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 = 42 m² x 4 apartamentos + 26 m² de circulações = **194 m²**
Área de fachadas = {[80,4 m² (comprimento) x 2 fachadas] + [18,9 m² (largura) x 2 fachadas]} x 5 andares = 993 m²

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 fotovoltaica. Sendo assim:
Área de fachadas capaz de produzir energia: 993 m² x 50 % (porção superior das fachadas) x 3 das 4 fachadas (excluindo-se a fachada sul) = **372,38 m²**
Área disponível para produzir energia para um bloco de 4 apartamentos por andar em 5 andares = **194 m² + 372,38 m² = 566,38 m²**
Consumo total para um bloco = 173,69 kWh/mês x 20 unidades = **3.473,80 kWh/mês**
Cada bloco deve produzir ao menos **3.473,80 kWh/mês / 566,38 m² = 6,13 kWh/mês/m²**

4.2. Consumo energético do sistema fotovoltaico sem aquecimento solar (cenário 2)

4.2.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foram utilizadas duas fontes: uma proposta comercial de junho de 2021 da SolarVolt Energia, empresa do município de Nova Lima, na Grande BH e uma calculadora solar (portal Neosolar), que estima alguns valores referentes à implantação do SFCR como, por exemplo, o investimento e o sistema indicado. Através dos dados informados da pesquisa, como a cidade de implantação do sistema, o consumo mensal de 173,69 kWh e a instalação residencial em cobertura, foi possível realizar um pré-dimensionamento de projeto fotovoltaico nas duas situações (Tabela 2, a seguir). Ressalta-se que a calculadora solar fornece os custos apenas dos equipamentos, sem a instalação, enquanto a empresa SolarVolt Energia contempla valor total. Há, entretanto, informação da SolarVolt que o custo dos equipamentos é de aproximadamente 80% do valor da proposta.

4.2.2 Payback do sistema fotovoltaico

A proposta da empresa SolarVolt Energia ainda forneceu uma análise financeira do investimento, que apontou *payback* de 6 anos e 11 meses, e retorno financeiro de 12,84% (considerando reajuste anual da tarifa de energia de 4,5% a.a.). A calculadora solar também informou retorno de investimento. Levou em consideração a economia de luz em 30 anos e inflação da energia de 8% ao ano. O tempo de *payback* para este cenário foi de 7 anos. Importante verificar que vários valores são bem próximos nas duas fontes

utilizadas, como tamanho do sistema, área útil, valor de investimento e tempo de *payback.* Para este estudo optou-se, para este cenário, pela proposta comercial da empresa SolarVolt, que retrata o mercado mineiro. Cada 7,00 m² de painéis são capazes de produzir 167 kWh/mês. Considerando apenas a cobertura do bloco de 4 apartamentos por andar do edifício padrão, onde a área é de 194 m², temos (194 m² / 7,00 m²) x 167 kWh/mês = **4.628 kWh/mês**. Sendo o consumo total para um bloco **3.473,80 kWh/mês** (conforme cenário 1), temos que a produção de energia dos módulos fotovoltaicos apenas considerando a área de cobertura é suficiente para cobrir o consumo dos 20 apartamentos do bloco. Há que se considerar, porém, que as coberturas não são totalmente livres, contendo reservatórios, calhas, espaço para trânsito, que ocupam boa parte de sua área, além da perda energética em relação a uma usina no solo. Entretanto, somando as áreas de fachadas, que possuem um grande potencial para recebimento das placas fotovoltaicas, torna-se possível que a produção e o consumo energético sejam muito próximos.

Tabela 2 - Valores obtidos na proposta comercial da empresa SolarVolt para o sistema fotovoltaico, em junho de 2021, e da calculadora solar, do portal Neosolar.

	SOLARVOLT ENERGIA	**CALCULADORA SOLAR (NEOSOLAR)**
TAMANHO DO SISTEMA	1,33 kWp	1,00 kWp
ÁREA ÚTIL	7,00 m²	7,00 m²
GERAÇÃO ESTIMADA	167 kWh/mês	122,67 kWh/mês
TARIFA MÉDIA	R$0,95/kWh	R$0,95/kWh
ECONOMIA MÉDIA MENSAL	82,86% (R$137,75)	70,60% (R$165,00)
ECONOMIA EM ANOS	R$53.180,86 (24 anos)	R$127.544,89 (30 anos)
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	3 unidades de 445 W	4 unidades
VALOR DO INVESTIMENTO	R$12.876,32 (equipamentos, instalação, registro na distribuidora, monitoramento e seguros), ou R$10.300,00 em valor estimado para instalação (cerca de 80% do custo total)	Entre R$6.796,45 a R$10.394,58

4.3. Consumo energético do sistema fotovoltaico e aquecimento solar térmico (cenário 3)

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.

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 36 L de água quente por indivíduo para casa popular (Tabela 3). Já a tabela IBAM/PROCEL adota o valor de 50 L por banho. Para a ABNT temos: 36 x 4 = 144 litros e para IBAM/PROCEL temos 50 x 4 = 200 litros. Para o dimensionamento do aquecedor, a ABNT - NB128 - Tabela 2, estabelece a capacidade e potência do aquecedor para o consumo diário em 70°C. Para 200 litros diários da UR, o volume mínimo para o aquecedor deve ser de 150 litros. Considerando a necessidade de boiler de, no mínimo, 150 litros e, utilizando a tabela de reservatórios comerciais Solarem, temos as dimensões para 200 litros: diâmetro 520 mm x comprimento 1420 mm. A área de placa solar leva em consideração o volume de água quente diário. Para cada 100 litros, 1 m² de placa. Para iniciar o sistema (*start*), 1 m². Assim sendo, para 200 litros (2 X 100 litros), são 2 m² de placa; para o *start*, 1 m² de placa. Logo, a área total será de 3 m² de placa. Módulo comercial de 2 placas de 1,50 m x 1,00 m. Para o boiler, 1 unidade de 0,52 m x 1,42 m.

Tabela 3 – Tabela I ABNT NB128 e Tabela IBAM/PROCEL, 2003.

CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA QUENTE POR DIA ABNT (Fonte: NB 128 – Tabela 1)		
Casa Popular ou Rural	36	Litros por indivíduo
CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA AQUECIDA EM AMBIENTES RESIDENCIAIS (Fonte: PROCEL, 2003)		
Chuveiro	50	Litros por banho

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 81 kWh/mês contra 155 kWh/mês das aquecidas eletricamente. Uma economia em torno de 44%. De acordo com o cenário 2 deste estudo, 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 tempo de *payback* é de aproximadamente 5 anos, para 1 UR de família de 4 pessoas numa habitação de interesse social em Belo Horizonte, MG.

Para valores de custo e retorno de investimento, duas empresas mineiras apresentaram propostas, sendo elas a Sol Service Aquecedores, de Belo Horizonte, e a Lifesol, do município de Contagem, na Grande BH. A partir dos parâmetros de dimensionamento do sistema de aquecimento solar calculados, a empresa Sol Service Aquecedores informou os custos de equipamentos e instalação, assim como o percentual de redução de consumo de energia elétrica, o *payback* e o dimensionamento do sistema. A Lifesol apresentou um sistema já pré-montado, específico para boiler de 200litros.

Tabela 4 – Valores obtidos para o sistema de aquecimento solar

	CÁLCULOS DA PESQUISA	**SOL SERVICE**	**LIFESOL**
ÁREA DA PLACA	3m²	2m²	---
VOLUME DO BOILER	200L	200L	200L
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (%)	39%	Entre 40% a 50%	---
PAYBACK	60 meses	40 a 46 meses	---
CUSTO DOS EQUIPAMENTOS	---	R$2.950,00	R$2.930,00
CUSTO DA INSTALAÇÃO	---	R$1.250,00	---

Para este estudo foi considerado apenas o custo dos equipamentos e não da instalação, pois verificou-se que é comum no mercado que a instalação seja feita de forma terceirizada, seja por outras empresas ou profissionais autônomos. Para este cenário, optou-se pela utilização dos valores da Sol Service Aquecedores, por retratar o mercado de Belo Horizonte e por possuir informações mais completas.

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, como *backup*, a fim da obtenção da melhor eficiência e da garantia de funcionamento pleno do conjunto, este estudo admite para o cenário 3 os seguintes dados, obtidos através da calculadora solar, do portal Neosolar (Tabela 5):

Tabela 5 – Valores obtidos para o SFCR e investimento para o cenário 3

VALORES OBTIDOS PARA O SISTEMA	**VALORES OBTIDOS PARA O INVESTIMENTO**
TAMANHO DO SISTEMA: 0,50 KWP	ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO:
NÚMERO DE MÓDULOS: 2 MÓDULOS	DE R$3.386,86 A R$5.179,91
PRODUÇÃO ANUAL ESTIMADA: 733 KWH	ECONOMIA MENSAL: R$34,00
ÁREA NECESSÁRIA: 3,49 M²	*PAYBACK*: EM TORNO DE 7 ANOS

4.3.4 Comparativo entre cenários 2 e 3

A Tabela 6 compara os valores obtidos nos cenários 2 (SFCR) e 3 (SFCR e 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 tempo de *payback*.

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, que é um sistema mais barato, ocupa menos área, gera uma economia mensal menor em relação ao cenário 2, porém possui um tempo de *payback* entre 4 a 7 anos, tornando-se a possibilidade mais econômica para o consumidor.

Tabela 6 – Valores obtidos para os cenários 2 e 3

	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	
		SFCR (SEM CHUVEIRO)	AQUECIMENTO SOLAR (APENAS CHUVEIRO)
CONSUMO CONSIDERADO (kWh/MÊS)	173,69	106,19	67,5
		173,69	
QUANT. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	3	2	0
QUANT. PLACAS SOLARES	0	0	2
ÁREA PLACAS (m²)	7,00	3,49	2,00
ÁREA BOILER (m²)	0	0	0,7384
ÁREA TOTAL (m²)	**7,00**	**6,23**	
INVESTIMENTO INICIAL (R$)	**10.300**	5.180	2.950
		8.130	
ECONOMIA MENSAL (R$)	**137,75**	**34**	**74**
PAYBACK (ANOS)	**7**	**7**	**4**

4.4. Consumo energético com a técnica do envelope solar (ES) em sistema fotovoltaico com *backup* de aquecimento solar (cenário 4)

O estudo inicial, desenvolvido por Vilela e Assis (2018), propõe e analisa os resultados da implantação dos blocos do estudo de caso conforme a técnica do envelope solar (ES). Esta técnica, desenvolvida na década de 1980 pelos professores Ralph L. Knowles e Richard D. Berry e suas equipes em Los Angeles, CA, 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*®.

4.4.1 Comparativo da implantação atual x implantação envelope solar em relação ao potencial energético

Para o estudo foi realizado um comparativo entre a implantação existente do caso estudado, o Residencial Água Marinha, e a implantação concebida conforme a técnica do ES do mesmo empreendimento. Na concepção existente pouca atenção é dada aos benefícios de uma orientação solar adequada, de diretrizes bioclimáticas e de ganhos energéticos nos edifícios. Para o estudo do cenário 4, que utiliza a técnica do ES, os 15 blocos do Residencial foram reorientados. Como diretrizes básicas para a implantação deste cenário 4, foi mantido o número total de 340 unidades habitacionais com áreas de 42 m², bem como o Coeficiente de Aproveitamento (0,5) da região onde se encontra o Conjunto em Belo Horizonte. Além disso, foi considerado que os terraços gerados pelo ES seriam voltados para o norte (orientação que recebe a maior quantidade de irradiação solar durante o dia) e as fachadas mais extensas seriam orientadas a leste, orientação dos ventos predominantes da cidade. Considerou-se também que os terraços gerados através do ES seriam revestidos com camada vegetal (terraço verde/horta), que além de diminuir a carga térmica transmitida aos ambientes internos através da laje de cobertura, pode melhorar o microclima dos ambientes, pela evapotranspiração das plantas.

A Figura 3 gerada a partir do *software Rhinoceros*® mostra a implantação atual (imagem à esquerda) e a proposta do ES (imagem à direita).

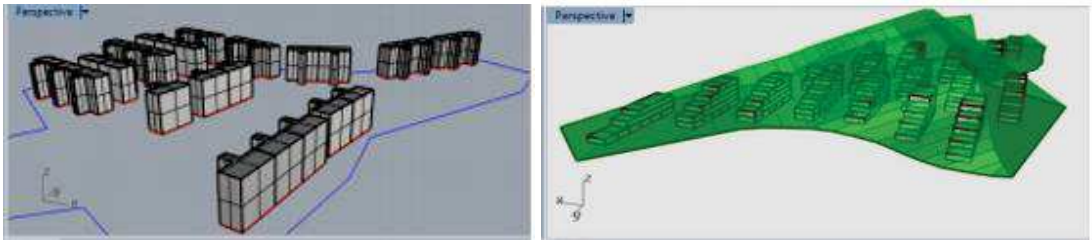

Figura 3 - Resultado do *software Rhinoceros*® Fonte: Vilela e Assis (2018).

A Figura 4 mostra o potencial de ganho energético nas envoltórias através da irradiação solar incidente (em kWh/m²/ano) nas coberturas e na fachada Norte do caso de estudo, a partir do *software Rhinoceros*®. À esquerda na implantação existente; à direita na implantação conforme ES. Observa-se o maior potencial energético na implantação conforme ES.

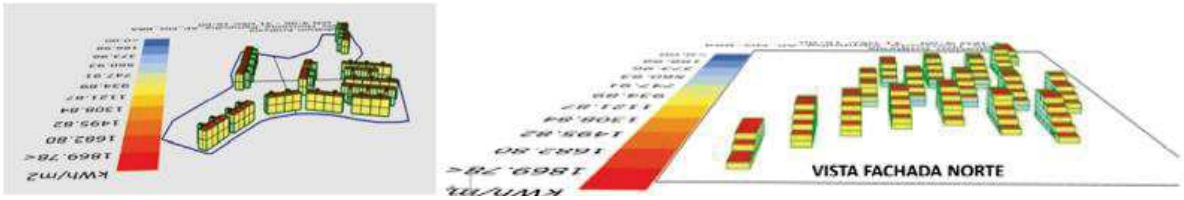

Figura 4 - Resultado do *software Rhinoceros*® demonstrando o potencial de ganho energético nas envoltórias no Conjunto Habitacional Água Marinha. Fonte: Vilela e Assis (2018).

Utilizando-se o *plug-in Ladybug*®*,* foi possível verificar a produção energética nas envoltórias do conjunto habitacional Água Marinha através da irradiação solar incidente (em kWh). A Tabela 7 explicita tanto a produção de energia quanto o consumo nas duas formas de implantação. Para o consumo, o cenário 2 (SFCR) e cenários 3 (SFCR com aquecimento solar térmico).

Tabela 7 - Resultado do *plug-in Ladybug*® mostrando a produção energética através da irradiação solar incidente (kWh) nas envoltórias do Conjunto Habitacional Água Marinha.

PARÂMETRO	EDIFICAÇÃO EXISTENTE	EDIFICAÇÃO ENVELOPE SOLAR
PRODUÇÃO DE ENERGIA	14,98 kWh = 10.785,60 kWh/mês	23,75 kWh = 17.100,00 kWh/mês
CONSUMO DE ENERGIA	340 UR x 173,69 = 59.055 kWh/mês	340 UR x 173,69 = 59.055 kWh/mês (SFCR)
		340 UR x 106,19 = 36.105 kWh/mês (SFCR + aquecimento solar térmico)

Fonte: Vilela e Assis (2018).

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. O crescimento do consumo de energia elétrica, fortemente relacionado com o aumento populacional, conecta-se com o desenvolvimento urbano desordenado das grandes cidades. Como resultado, tem-se moradias em assentamentos urbanos sem a infraestrutura básica necessária, assim como déficit habitacional.

Este estudo mostrou possibilidades para a produção de HIS viáveis e energeticamente sustentáveis. Embora o estudo de caso tenha sido realizado em Belo Horizonte, MG, a realidade da população e das habitações são similares no país todo, principalmente nas grandes metrópoles.

O estudo de caso do Residencial Água Marinha, empreendimento do PMCMV, em seu cenário 1, levantou os gastos de energia elétrica de uma família típica, com 4 indivíduos. O resultado, em torno de 173 kWh/mês, assemelha-se aos valores de outras pesquisas realizadas na região Sudeste.

Para o cenário 2, foi proposto o SFCR, sem *backup*, obtendo-se como resultado a diminuição no valor de energia elétrica desde o primeiro mês. Com valor de investimento a partir de R$10.300,00, 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 anos, para a implantação do sistema alternativo pôde ser reduzido a 4 anos devido à Portaria mencionada.

No cenário 3, a utilização em conjunto do SFCR e de aquecimento solar de água traz benefícios no todo. O sistema solar térmico é o de menor valor de investimento (pouco mais de R$2.950 reais), com tempo de *payback* em torno de 4 anos, podendo substituir com vantagens o chuveiro elétrico na HIS. Assim, o equipamento de maior consumo nestas residências utiliza a forma de menor custo de geração de calor. Ao considerarmos a importância do *backup* nos sistemas em que a manutenção muitas vezes é deficitária, e utilizando a legislação que favorece a implantação de sistemas "alternativos" de geração de energia, esse cenário pode ser entendido como o de melhor viabilidade econômica nas HIS para a região Sudeste.

O cenário 4 utiliza a técnica de Envelope Solar e lança uma perspectiva diferenciada aos empreendimentos. A técnica aproveita a energia solar em seu potencial máximo, 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 radiação solar incidente, ventilação e iluminação naturais, 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.

Pesquisas 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 outros programas para HIS, também consigam se beneficiar do SFCR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 7198 / NB 128: Projeto e execução de instalações de água quente. Rio de Janeiro, 1993.

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.

_____. 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.

BELO HORIZONTE (Município). Constituição (2010). Lei nº 9.959, de 20 de julho de 2010. **Dispõe Sobre Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo nas Áreas de Especial Interesse Social, e Dá Outras Providências**. Belo Horizonte, MG.

BELO HORIZONTE (Município). Constituição (2019). Lei nº 11.181, de 08 de agosto de 2019. **Aprova O Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e Dá Outras Providências**. Belo Horizonte, MG.

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.

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

IBAM/ELETROBRÁS/PROCEL**. Manual de prédios eficientes em energia elétrica**. 15 ed., Rio de Janeiro: CDD, 2002.

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.

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

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

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial às empresas SolarVolt Energia, Sol Service Aquecedores e Lifesol pela colaboração no fornecimento de valores dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar.