

POTENCIAL DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

DOI: 10.19177/rgsa.v9e012020859-879



Daniele Freitas de Jesus¹

Paulo Henrique Dantas Martins Bertolini²

Andrea Affonso Santana³

Diego Silva Sousa⁴



RESUMO

O Estado de São Paulo possui uma matriz energética bem diversificada, em que mais de 60% provêm de fontes renováveis. É o maior mercado de distribuição de energia no Brasil, e sua produção é basicamente hidrelétrica e termelétrica. Possui também o maior parque industrial do país e uma forte concentração populacional. A maior problemática no Estado é sua crescente demanda anual por energia, os impactos das hidrelétricas e termelétricas no meio ambiente local, e a necessidade do uso sustentável das fontes de energia. O maior desafio será encontrar uma solução que contribua para a redução desses impactos, sem perder o potencial de geração energética. A proposta desse Projeto Integrador é analisar e contribuir com uma solução viável para essa demanda energética, considerando os impactos ambientais, socioeconômico e legislativo, por meio de prototipação de um sistema de microgeração fotovoltaico para uso em edificações residenciais, na região metropolitana de São Paulo, combinados com os resultados de simulação dos

¹Mestre em Engenharia da Informação. Univesp. jjdankurosaki@gmail.com

²Bacharel em Farmácia. Univesp. paulohbertolini@gmail.com

³Bacharel em Administração. Univesp. andreasantana1810@gmail.com

⁴Bacharel em Engenharia de Produção. Univesp. diego.sousa@cursos.univesp.br

diferentes modelos de geração fotovoltaico e estudos já realizados, que avaliaram o potencial do uso da tecnologia fotovoltaica como fonte de geração energética.

Palavras-chave: Protótipo. Geração Fotovoltaico. Simulação. Fonte Renovável. Matriz Energética do Estado de São Paulo.

MICROGENERATION POTENTIAL OF RESIDENTIAL SOLAR ENERGY IN THE METROPOLITAN REGION OF SÃO PAULO

ABSTRACT

The State of São Paulo has a very diversified energy matrix, in which more than 60% come from renewable sources. It is the largest energy distribution market in Brazil, and its production is basically hydroelectric and thermoelectric. It also has the largest industrial park in the country and a strong population concentration. The biggest problem in the state is its growing annual demand for energy, the impacts of hydroelectric and thermal power plants on the local environment, and the need for sustainable use of energy sources. The biggest challenge will be to find a solution that contributes to reducing these impacts, without losing the potential for energy generation. The purpose of this Integrator Project is to analyze and contribute to a viable solution to this energy demand, considering the environmental, socioeconomic and legislative impacts, through the prototyping of a photovoltaic microgeneration system for use in residential buildings, in the metropolitan region of São Paulo, combined with the simulation results of the different models of photovoltaic generation and studies already carried out, which evaluated the potential of using photovoltaic technology as a source of energy generation.

Keywords: Prototype. Photovoltaic generation. Simulation. Renewable Source. Energy Matrix of the State of São Paulo.

1 INTRODUÇÃO

A evolução e o desenvolvimento contemporâneo da sociedade sempre girou em torno da energia. Por meio do domínio das fontes e da geração de energia a humanidade experimentou sua evolução industrial e a sociedade moderna vem demandando, de forma crescente, mais e mais energia.

As fontes de energia podem ser de origens não renováveis (petróleo e subprodutos, carvão mineral, gás natural e nuclear) e renováveis (energia solar, eólica e biomassa), de acordo com sua disponibilidade na natureza.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Ministério de Minas e Energia, até 2025 haverá um aumento médio anual de demanda de energia elétrica entre 3,5% e 3,9%. Este aumento de demanda vem em conjunto com uma crescente preocupação com a redução de impactos ambientais significativos e, ainda que a matriz energética brasileira seja considerada em boa parte "limpa", por ter a maior concentração de geração energética oriunda de usinas hidrelétricas, a implantação de novas usinas têm investimentos vultosos e, com grande impacto nos cursos d'água onde são implantados, e também outros impactos socioambientais significativos no entorno.

O Estado de São Paulo possui uma matriz energética bem diversificada, em que mais de 60% provêm de fontes renováveis, o que lhe faz ser destaque mundial, já que a média é de 13% em fontes renováveis.

São Paulo é o maior mercado de distribuição de energia no Brasil, e sua produção é basicamente hidrelétrica e termelétrica. Possui também o maior parque industrial do país e uma forte concentração populacional.

Entretanto, a atual Matriz Energética do Estado ainda é insuficiente para a crescente demanda de energia dos seus consumidores, tendo que recorrer, com frequência, a importação de energia de outros Estados. Outro problema que a matriz paulista enfrenta é sua grande dependência das hidrelétricas e termelétricas, levantando a necessidade de variação das fontes de energia que gerem menos impactos na natureza.

A energia solar possui duas frentes principais no processo de aproveitamento da radiação solar: o aquecimento de água e a geração fotovoltaica.

Com o mapeamento dos níveis e faixas de irradiação, considerando a melhor faixa de aproveitamento, a Subsecretaria de Energias Renováveis descobriu que 0,3% do território paulista têm potencial para o aproveitamento de energia solar para geração fotovoltaico de 12 TWh/ano.

1.1 Problema

Com o atual cenário, a maior problemática no Estado de São Paulo é sua crescente demanda anual por energia, levando em consideração o amadurecimento da consciência ambiental, os impactos das hidrelétricas e termelétricas no meio ambiente local, a necessidade do uso sustentável das

fontes de energia, em que já se percebe as constantes baixas das reservas hídricas.

O maior desafio será encontrar uma solução que contribua para a redução desses impactos, sem perder o potencial de geração energética, que corresponda às necessidades do mercado consumidor industrial e residencial no Estado.

Outro problema a enfrentar são os custos e legislações necessários para a elaboração dessa solução, que deve se enquadrar ao cenário local.

Por fim, a extensão da região do Estado de São Paulo, que possui diversas peculiaridades e diferenças regionais, em especial o fator de insolação, que difere muito de região para região.

A Região Metropolitana de São Paulo, ainda que seja uma área com os menores índices de insolação no Estado de São Paulo, apresenta características muito interessantes para a microgeração fotovoltaica residencial, por ser uma área com um grande adensamento habitacional, possuir em números absolutos e relativos o maior número de habitações do Estado, além de ter a maior concentração de habitações de população de mais alta renda. Esses fatores podem ser explorados para encontrar uma solução para a geração de energia elétrica local.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste projeto integrador é analisar a viabilidade na adoção de microgeração fotovoltaica em edificações residenciais na Região Metropolitana de São Paulo, como uma alternativa com reduzido impacto socioeconômico e ambiental para atender a parte da demanda energética no Estado.

1.3 Justificativa

A importância de considerar as questões socioambientais na realização de algum projeto de geração energética não é mais algo opcional na comunidade científica e sociedade em geral. Por isso, esse Projeto Integrador busca levar em consideração a importância de preservar as fontes de energia e o meio ambiente, tanto em seu processo de elaboração, como um todo.

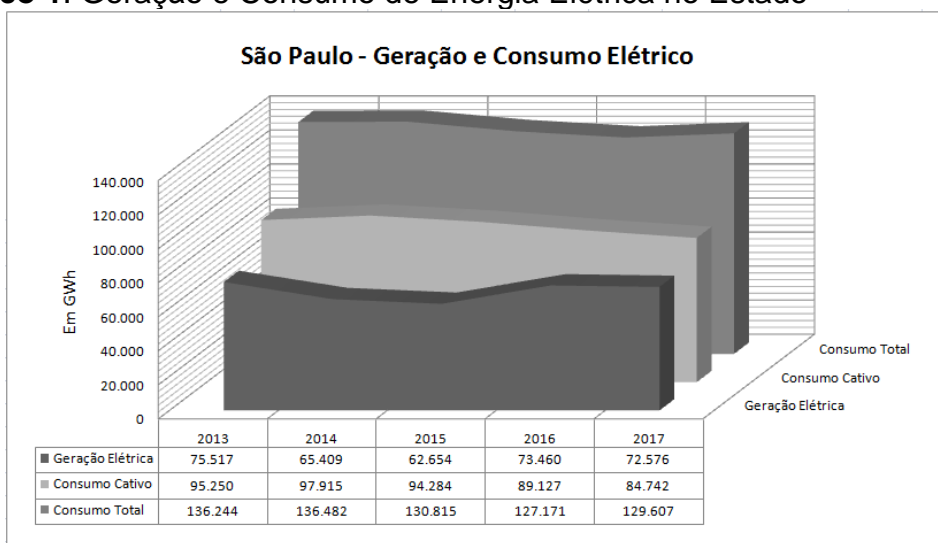
Para fortalecer a contribuição do Projeto, foi avaliada a microgeração de energia fotovoltaica em edificação residencial, como uma alternativa para a geração de energia elétrica, na Região Metropolitana do Estado de São

Paulo, utilizando os cenários propostos na simulação de modelos fotovoltaicos, e dados estatísticos de projetos viáveis implantados em cidades tanto no Brasil, como no exterior.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Devido o Estado de São Paulo possuir o maior parque industrial do Brasil e uma forte concentração populacional, acaba consumindo mais energia do que gera, conforme pode ser observado no Gráfico 1, com os dados da EPE dos anos de 2013 a 2017. De acordo com a Secretaria, a produção anual paulista é de mais de 60 mil GWh e a utilização gira em torno de aproximadamente 145 mil GWh, o que resulta na importação de aproximadamente 85 mil GWh de outros Estados, reforçando a necessidade de investimento nas outras formas de captação energética (S.E.M_1, 2019) (S.E.M_2, 2019).

Gráfico 1: Geração e Consumo de Energia Elétrica no Estado



Fonte: Adaptado de EPE, 2013 - 2017.

Ainda de acordo com a Secretaria de Energia, a produção paulista de energia elétrica é basicamente hidrelétrica e termelétrica, tendo as empresas Cesp, AES Tietê e *Duke Energy* como as maiores produtoras no Estado. São Paulo está no centro de carga do país, por isso incentiva novas unidades de geração de energia elétrica com o objetivo de garantir segurança energética e reduzir a possibilidade de problemas de transmissão (S.E.M_2, 2019).

2.1. O potencial de geração de energia do Estado de São Paulo

Segundo levantamentos feitos pela Secretaria do Meio Ambiente, a incidência solar global no Estado de São Paulo é de até 6,711 kWh/m².dia (Pires, Barillari, Souto & Almança, 2013), de acordo com cálculos baseados na insolação que incide no território paulista.

O levantamento realizado pelo Governo do Estado de São Paulo, intitulado "Energia Solar Paulista - Levantamento do Potencial", que utilizou como base o Atlas Solarimétrico do Brasil (Recife, Ed. Universitária da UFPE, 2000) e o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2006), ainda nos dá conta da flutuação da insolação ao longo do ano, destacando as variações ocorridas ao longo das estações.

Um resumo dos dados dos mapas de incidência solar, apresentando a energia global diária por Região Administrativa do Estado de São Paulo, é apresentado na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Radiação solar global média nos municípios - Estado de São Paulo

Município	(kWh /m ² . dia)				
	Anual	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Araçatuba	5,520	6,672	5,970	4,697	4,741
Barretos	5,509	6,711	6,057	4,474	4,794
Bauru	5,466	6,540	5,919	4,581	4,824
Campinas	5,388	6,347	6,147	4,402	4,658
Franca	5,484	6,385	6,133	4,618	4,801
Marília	5,384	6,590	5,786	4,573	4,588
P. Prudente	5,401	6,578	6,039	4,517	4,468
Registro	4,388	5,239	5,560	3,482	3,273
Ribeirão Preto	5,489	6,545	6,117	4,476	4,819
Santos	4,709	5,747	5,455	3,881	3,753
São Carlos	5,444	6,390	6,089	4,480	4,819
S. J. Campos	5,053	6,002	5,625	4,227	4,357
S. J. R. Preto	5,512	6,695	5,876	4,597	4,878
São Paulo	4,589	5,251	5,352	3,967	3,784
Sorocaba	5,126	6,105	5,933	4,237	4,231

Fonte: Atlas Energia Solar Paulista - Levantamento do Potencial.

Outro dado relevante que serve como base para as análises que serão realizadas, é o número de domicílios na Região Metropolitana de São Paulo: segundo censo realizado em 2013 pelo IBGE, há 6.7999.000 domicílios nesta área geográfica (IBGE, 2013). Considerando para fins de estimativa deste estudo, a viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos em domicílios onde a renda per capita ultrapasse a 2 salários mínimos, aproximadamente 29,7%, ou seja, mais de 2 milhões de domicílios em números absolutos. Segundo o Balanço Energético do Estado de São Paulo ano base de 2017, das 7 categorias utilizadas para se medir o consumo final de eletricidade, as

residências respondem por 26,3% do consumo, ficando apenas atrás do setor industrial, que consome 41,8% da energia.

3 METODOLOGIA

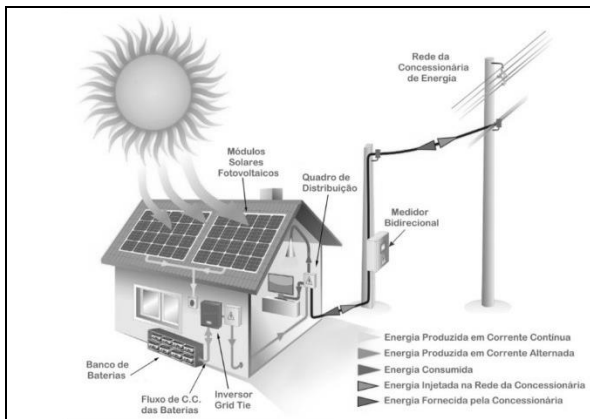
Este estudo foi desenvolvido de forma mista, por meio de pesquisa experimental, pesquisa bibliográfica e pesquisa descritiva. Na pesquisa experimental a coleta de dados será realizada por meio de prototipação de sistema de microgeração de energia fotovoltaica e simulação de cenários de modelos fotovoltaicos.

Para o embasamento teórico dos resultados encontrados, a coleta de dados da pesquisa bibliográfica foi selecionada de artigos sobre implantação de energia solar, cases e estudos gráficos. E para obter uma solução viável do projeto, a pesquisa descritiva foi utilizada, partindo-se de entrevistas com especialistas da área, que já realizaram a implantação de sistema fotovoltaico e com ampla experiência do mercado nacional e regional.

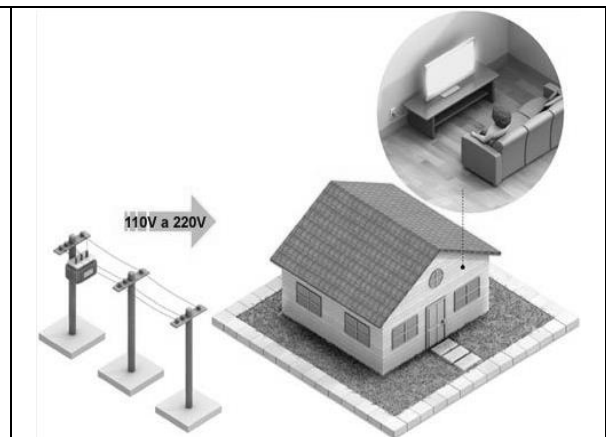
3.1 Cenários e Layout das Simulações

Para a realização das simulações, os cenários de sistema utilizados foram: Sistema On-Grid, Off-Grid, Híbrido e Tradicional de Energia (Hidrelétrica), simplificadas nas Figuras 1 a 4. Os consumos médios mensais das casas simuladas: 200 kWh, 300 kWh, 400 kWh e 500 kWh.

<p>Figura 1: Sistema On-Grid</p> <p>Fonte: MINHA CASA SOLAR, 2018.</p>	<p>Figura 2: Sistema Off-Grid</p> <p>Fonte: MINHA CASA SOLAR, 2018.</p>
<p>Figura 3: Sistema Híbrido: Off-Grid + On-Grid</p>	<p>Figura 4: Sistema Elétrico Tradicional</p>



Fonte: AWSENERGY, 2018.



Fonte: SCAPATICIO, 2016.

3.2 Layout do Protótipo

Para coletar dados, analisar os resultados e os dados históricos do potencial de geração de energia fotovoltaica, e para confirmar os dados obtidos por meio da simulação, um protótipo foi desenvolvido, e seu layout se apresenta conforme as Figuras 5 e 6, a seguir:

Figura 5: Layout do Protótipo do projeto

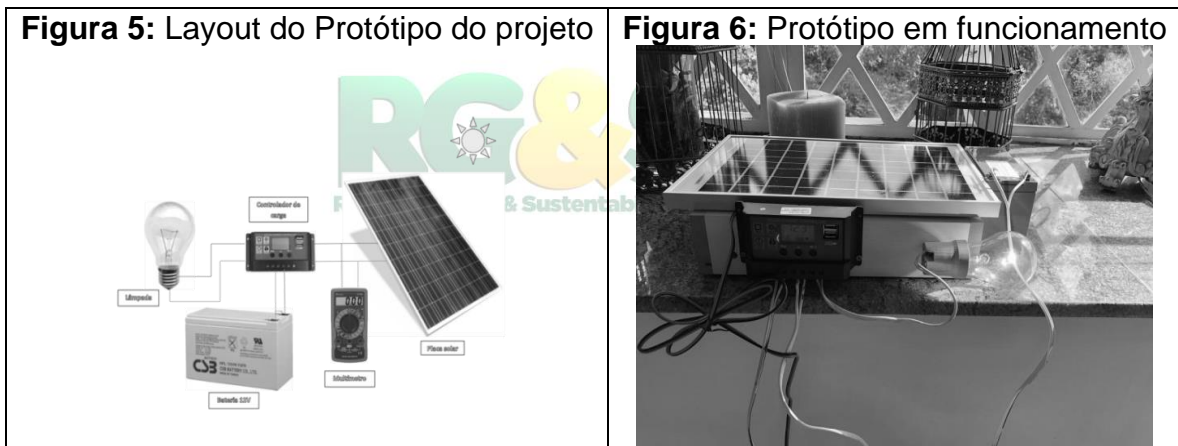


Figura 6: Protótipo em funcionamento



O protótipo utilizou o conceito do sistema *off-grid*, com o uso dos seguintes materiais:

- Placa fotovoltaica de silício amorfo (potência 10W, voltagem 18V, dimensões 21 cm X 31cm, área 0,065 m²);
- Controlador de carga 12-24V (10A, marca Foyo, modelo TB-0830);
- Lâmpada de 12V;
- Soquete e fios;
- Multímetro para medição da tensão de saída;
- Bateria 12V / 10A (marca CSB);
- Suporte para a montagem do protótipo.

3.2.1 Localização

Tomou-se por base o município de São Paulo, na Rua Camburiú, 255, Vila Ipojuca, cujas latitudes são 23,533338° S e 46,707938° O.

3.3 Geração de energia com o uso do protótipo

A partir do protótipo construído, foram realizadas medições no local estabelecido, com o uso de um multímetro. A Tabela 2 apresenta os dados de medições que foram considerados para fins de análise, por se tratar de condições que possam explorar o melhor potencial de geração de energia do protótipo. O protótipo foi medido no plano horizontal.

Tabela 2: Medições realizadas com o protótipo

Data	Hora	Condição meteorológica	Voltagem (V)	Amperagem (A)	Potência (W)
6/5/19	11:00	Sol	21,7	0,47	10,199
13/5/19	11:30	Sol	22,2	0,42	9,324
22/5/19	10:30	Sol	22,2	0,38	8,436
14/6/19	12:00	Sol	22,3	0,41	9,143
14/6/19	13:30	Sol	20,8	0,37	7,696
24/6/19	12:00	Sol	22,4	0,39	8,736

O índice de insolação médio em SP nos meses de Maio e Junho, segundo dados do CRESESB, é respectivamente 3,46 e 3,19 kWh/m².dia. Calculando a partir da área da placa utilizada e dos resultados de medição:

- Maio: $9,32 / 0,065 \text{ m}^2 = 143 \text{ W}_p/\text{m}^2$ – eficiência estimada 4%;
- Junho: $8,53 / 0,065 \text{ m}^2 = 131 \text{ W}_p/\text{m}^2$ – eficiência estimada 4%.

Os resultados apresentados corroboram com os dados obtidos nas pesquisas documentais junto à ANEEL, para células de silício amorfo, onde estima-se que a eficiência de uma placa fotovoltaica é entre 4 e 7%.

A Tabela 3 apresenta uma análise dos dados de simulação obtidos:

Tabela 3: Simulação Radiação, Previsão de Radiação e Saída DC

MÊS	Saída sistema AC (kWh)	Radiação Solar (kWh/m ² /dia)	Matriz de previsão de radiação (W/m ²)	Matriz de saída DC (kWh)
1	6,60	5,65	175,03	6,90
2	5,72	5,39	150,81	5,97
3	5,66	4,85	150,50	5,91
4	4,90	4,27	128,14	5,12
5	4,02	3,34	103,66	4,22
6	3,61	3,13	93,96	3,78
7	3,97	3,33	103,22	4,16
8	4,92	4,15	128,78	5,15

9	5,37	4,63	138,91	5,61
10	6,03	5,06	156,85	6,30
11	6,46	5,58	167,28	6,75
12	6,93	5,85	181,42	7,23
Total	64,20	55,24	1.678,55	67,12

Partindo destes dados, foi realizada uma análise de regressão e identificada uma progressão linear, cuja equação possui um R2 elevadíssimo: 0,9966. Utilizando a equação à partir da análise de regressão, foi realizada a estimativa da capacidade de geração de energia do protótipo ao longo de um ano, com a eficiência calculada (4%), área da placa (0,065 m²) e os dados de radiação solar, conforme Tabela 4:

Tabela 4: Estimativa de geração de energia do protótipo, com base na previsão de Radiação Solar

Mês	Radiação solar (kWh / m² / dia)	Energia gerada kWh (estimada)
Janeiro	5,65	0,39
Fevereiro	5,39	0,37
Março	4,85	0,34
Abril	4,27	0,30
Maio	3,34	0,23
Junho	3,13	0,22
Julho	3,33	0,23
Agosto	4,15	0,29
Setembro	4,63	0,32
Outubro	5,06	0,35
Novembro	5,58	0,39
Dezembro	5,85	0,40
Total	4,60 (média)	3,82

Estes valores confirmam também a coerência dos dados da simulação realizada neste Projeto Integrador, pois considerando-se a eficiência das placas - silício de cristal, em torno de 14%, a potência estimada das placas - 50W, aplicando sobre os cálculos acima, chega-se ao valor de 66,85 kWh/ano para o sistema alvo da simulação, uma diferença em torno de apenas 0,4% em relação aos resultados da simulação.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para as próximas simulações ficarem de acordo com os valores praticados na região metropolitana, bairro da Lapa, os valores para os custos nas simulações, utilizaram os preços disponíveis no site da Enel (ENEL, 2019), apresentados na Tabela 5:

Tabela 5: Valores cobrados pela Enel no bairro da Lapa - SP

Tarifa Enel: Lapa - SP					
B1 Residencial	Tarifa TSUD R\$/kWh	Tarifa TE R\$/kWh	Total Mês R\$/kWh	Total Anual R\$	Total 30 anos R\$
	0,21276	0,27087	0,48363		
Consumo entre 101 a 220 kWh	0,15095	0,24378	0,39473		
Consumo superior 220 kWh	0,16772	0,27087	0,43859		
	200 kWh		175,672	2.108,064	63.241,92
	300 kWh		276,666	3.319,992	99.599,76
	400 kWh		368,888	4.426,656	132.799,68
	500 kWh		461,11	5.533,32	165.999,60

Fonte: Enel, 2019.

Para melhor entendimento das tabelas seguintes, a Tabela 6 apresenta a casa padrão, com os valores convertidos para W, por hora:

Tabela 6: Casa Padrão com valores convertidos

kWh/mês	kWh/dia	W/dia	W/h
200	6,67	6670	277,92
300	10,00	10000	416,67
400	13,33	13330	555,42
500	16,67	16670	694,58

Para a construção das próximas tabelas de equipamentos, foram considerados a média de três valores no mercado virtual (NeoSolar, MercadoLivre, Magazine Luiza, Americanas, Bangood).

Para produzir a quantidade necessária para os valores da Casa Padrão, foram considerados o tamanho do sistema:

- Para 200 kWh: 1,47 kWh;
- Para 300 kWh: 2,34 kWh;
- Para 400 kWh: 3,25 kWh;
- Para 500 kWh: 4,17 kWh.

O painel solar selecionado foi o de 280W (marca Sunergy, eficiência de 17,25%, dimensões 1640x990x35, 10 anos de garantia contra defeitos, 20 anos de garantia linear de produção de energia, compatível com grid-tie e off-grid, silício policristalino). A média de preço foi de R\$ 550,00 por painel. Para descobrir a quantidade de painéis necessários para produzir o necessário para cada sistema, divide-se o valor de produção do painel pelo valor em W do sistema.

Os controladores de carga selecionados foram os de 40A (modelo MPPT, Epsolar New Tracer- 4215BN, 40A12/24V, valor médio R\$ 1.400,00), 50A (modelo MPPT, Epever Tracer-AN 50A12/2436/48V, valor médio R\$ 1.600,00) e 100A (modelo MPPT, Epever Tracer-AN 100A12/24/36/48V, valor médio R\$ 3.000,00), para melhor comportar cada sistema de produção.

A bateria estacionária selecionada foi a de 115A 24V (modelo Heliar Freedom DF 2000, 115Ah para descarga de 100h, 105Ah para descarga de 20h, vida útil projetada de 4 anos, valor médio R\$ 650,00).

O inversor foi selecionado de três categorias (todos entre 1500W, 2500W, 3500W e 4500W, trabalhando em 110V), dependendo do sistema escolhido: inversor modificado (com valor médio entre R\$1.800,00 a R\$3.000,00), inversor senoidal (com valor médio entre R\$ 1.600,00 a R\$3.000,00) e inversor híbrido (com valor médio entre R\$ 2.000,00 a R\$ 3.500,00).

O relógio bidirecional é utilizado no sistema híbrido, modelo bifásico com média R\$ 312,00.

Considerando as grandes variações nos preços de equipamentos em geral (estruturas metálicas, EPI, instalação elétrica), foi considerado os valores médios a seguir:

- 1,47 Kwp: $(72,00+730,00+820) = R\$ 1.620,00;$
- 2,34 kWp: $(108,00+730,00+820) = R\$ 1658,00;$

- 3,25 kWp: $(144,00+730,00+820) = R\$ 1694,00$;
- 4,17 kWp: $(180,00+730,00+820) = R\$ 1730,00$.

A taxa de serviço considerou dois valores praticados no mercado: 30% sob valor total, que originou os valores médios mínimos do investimento, e 50% sob o valor total, que gerou os valores médios máximos do investimento de cada sistema.

Para apresentar a quantidade e tipo de equipamentos usados de cada sistema, as Tabelas 7, 8 e 9 são apresentadas a seguir:

Tabela 7: Equipamentos utilizados no Sistema On-Grid

Sistema On-Grid			
Casa W/h	Qnt Painel	Controlador	Inversor
277,92	6	2x40A	1500W
416,67	9	2x50A	2500W
555,42	12	1x100A	3500W
694,58	15	2x100A	4500W

No sistema On-Grid não foram incluídas as baterias e o relógio bi-direcional, conforme Tabela 7. Para esse sistema, posteriormente, será considerada a produção de 6h, e a utilização de 18h do sistema tradicional.

Tabela 8: Equipamentos utilizados no Sistema Off-Grid

Sistema Off-Grid				
Casa W/h	Qnt Painel	Controlador	Baterias	Inversor
277,92	6	2x40A	4x115A	1500W
416,67	9	2x50A	6x115A	2500W
555,42	12	1x100A	8x115A	3500W
694,58	15	2x100A	10x115A	4500W

No sistema Off-Grid não foi incluído o relógio bi-direcional, apresentado na Tabela 8. Para esse sistema, posteriormente, será considerada a produção de 6h e a utilização das baterias no período sem produção, não utilizando nada da rede tradicional.

Tabela 9: Equipamentos utilizados no Sistema Híbrido

Sistema Híbrido				
------------------------	--	--	--	--

Casa W/h	Qnt Painel	Controlador	Baterias	Inversor	Relógio Bi
277,92	6	2x40A	4x115A	1500W	1
416,67	9	2x50A	6x115A	2500W	1
555,42	12	1x100A	8x115A	3500W	1
694,58	15	2x100A	10x115A	4500W	1

No sistema Híbrido, apresentado na Tabela 9, posteriormente, será considerada a produção de 6h, a utilização das baterias no período sem produção, e 12h do sistema tradicional.

Tabela 10: Estimativa de Investimentos e Custos por Sistema

Sistema	Casa Padrão	Custo Mensal	Custo Anual	Custo em 30a	
Tradicional	200	175,672	2.108,064	63.241,92	
	300	276,666	3.319,992	99.599,76	
	400	368,888	4.426,656	132.799,68	
	500	461,11	5.533,32	165.999,60	
Sistema Solar		Estimativa Total Investimento	Economia Mensal	Economia Anual	Economia em 30a
On-Grid	200	12246 ~ 14130	30,66	367,95	11038,52
	300	15350~17712	52,63	631,60	18948,11
	400	19947~23016	70,81	849,69	25490,85
	500	24674~28470	88,64	1063,66	31909,68
Off-Grid	200	15626~18030	158,84	1906,13	57183,84
	300	20420~23562	254,67	3056,10	91682,93
	400	26707~30816	340,13	4081,52	122445,5
	500	33124~38220	425,44	5105,26	153157,7
Híbrida	200	16421~18948	70,11	841,27	25238,24
	300	21070~24312	122,22	1466,64	43999,11
	400	27442~31641	163,73	1964,73	58941,82
	500	33774~38970	194,14	2329,66	69889,68

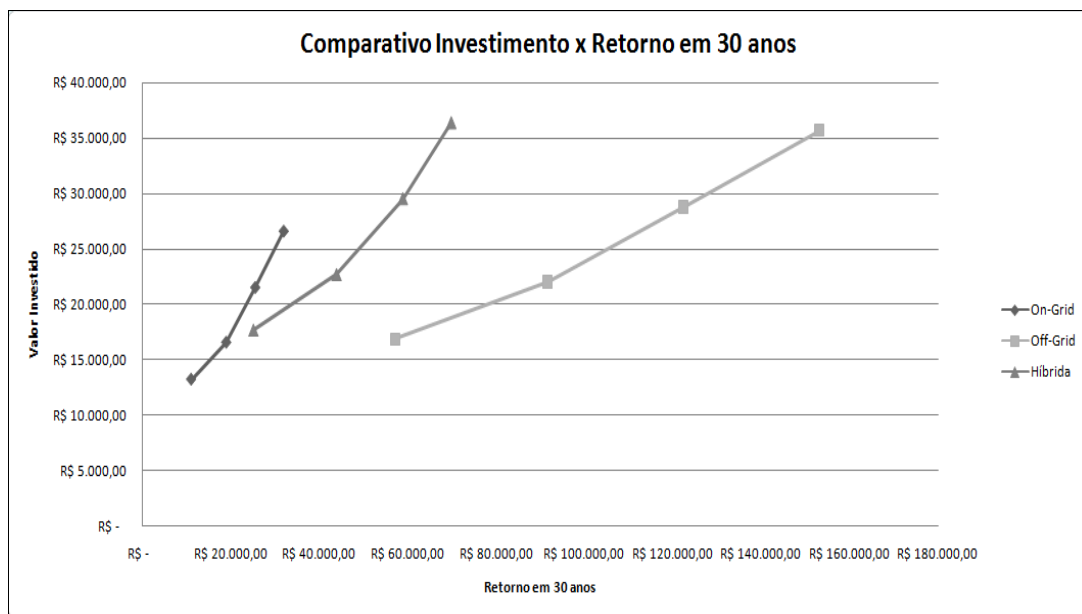
Conforme apresentados na Tabela 10, a rede tradicional de energia, considerando os valores praticados na região Metropolitana de São Paulo, no bairro da Lapa, foi o mais oneroso dos sistemas.

Ainda de acordo com a Tabela 10, a economia de cada sistema compensa os custos envolvidos para cada investimento, sendo a On-Grid a que menos economizou, seguida da Híbrida, que dobrou a economia em relação ao sistema On-Grid, e a que gerou melhor custo - benefício foi a Off-Grid.

O Gráfico 2 apresenta o comparativo de retorno em 30 anos, em relação ao investimento no sistema, consolidando o sistema Off-Grid, apesar de ter o valor de investimento muito similar ao híbrido, obtendo um retorno muito maior em 30 anos do que todos os sistemas juntos. Entretanto, vale ressaltar que todos os sistemas obtiveram bons resultados no retorno com relação ao sistema tradicional de energia.



Gráfico 2: Comparativo de Investimento x Retorno em 30 anos



Não cabe dúvida de que cada sistema de microgeração fotovoltaico tem suas vantagens, que compensam os custos do investimento, recuperando esses valores em tempo hábil para o usuário investir em outros setores importantes.

Importante salientar que mesmo a geração por energia solar utilizando fonte renovável, ainda existem alguns impactos ambientais que não podem ser negligenciados, como os impactos da extração de silício para fabricação das placas, o descarte irregular das baterias estacionárias e entre outros, que impactam de forma negativa o meio ambiente se não forem consideradas. Entretanto, os impactos ambientais desses sistemas são bem menores se for considerado os gerados pelo sistema de energia hidrelétrica tradicional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com recursos energéticos cada década mais escassos e o aumento acentuado no consumo de energia, a matriz energética do Estado de São Paulo, apesar de ser bem diversificada em fontes renováveis, em comparação com o restante do mundo, ainda tem muita dependência das hidrelétricas e termelétricas, em que grandes impactos ambientais são gerados e escassez de água tornam-se cada vez mais frequentes no Estado.

Este Projeto Integrador buscou analisar e contribuir com uma solução viável para essa demanda energética, considerando os impactos ambientais, socioeconômico e legislativo, por meio de prototipação de um sistema de

microgeração fotovoltaico para uso em edificações residenciais, na região metropolitana de São Paulo, combinados com os resultados de simulação dos diferentes modelos de geração fotovoltaico e estudos já realizados.

A geração de energia fotovoltaica já é utilizada em algumas regiões do nosso país e de forma ampla na Alemanha, um caso de sucesso nessa modalidade renovável, que embasa e incentiva a adaptação do modelo para a região do Estado de São Paulo devido seu potencial de insolação solar.

Se considerarmos apenas os domicílios onde reside a população com maior poder aquisitivo na Região Metropolitana de São Paulo - cerca de 2 milhões de domicílios, considerando os dados de insolação médios pesquisados, os cálculos obtidos por meio da simulação e estimando a utilização de sistemas com potência de geração de energia solar efetiva de 100W em cada um destes domicílios, teríamos um potencial de geração de até 224 GWh/ano.

Para realização das medições dos dados que serão avaliados, foi realizado a montagem de um protótipo de microgeração de energia fotovoltaica. As medições ocorreram no local alvo das pesquisas, no bairro da Lapa.

Com os dados gerados pelo protótipo e pelas simulações de produção de energia por sistema, foi possível realizar comparativos com o sistema tradicional, o investimento e os equipamentos necessários para cada sistema de minigeração de energia solar.

Apesar de todos os três sistemas de energia solar alcançar bons resultados na estimativa de economia, o sistema de microgeração Off-Grid foi o que mais produziu com menor custo benefício ao longo de 30 anos, gerando uma economia muito maior que as dos sistemas On-Grid e Híbrida.

Com todos estes dados levantados, pesquisas e simulações, chegamos a conclusão da total viabilidade de investimento na energia solar, tanto por parte do Governo, onde poderiam fazer campanhas de incentivo à população de classe média para investir em energia limpa, como em um programa de incentivo financeiro para população de baixa renda, a energia solar é uma fonte inesgotável e em abundância no estado de São Paulo.

Com os valores estimados, tanto o Governo se beneficiaria com este programa de energia, com um custo de investimento relativamente baixo,

perante os benefícios alcançados, quanto a própria população, que passaria a ter uma energia mais acessível e menos onerosa ao longo de sua utilização.

A utilização de energias com fontes renováveis é um processo inevitável para a manutenção do futuro da matriz energética de São Paulo e do mundo.

REFERÊNCIAS

(E.P.E., 2019) **Fontes de Energia.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia>. Acesso em: 09/03/2019 às 14h04.

(LUCON, Oswaldo; GOLDEMBERG, José; 2009) **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil.** Estudos avançados, 23 (65), pg. 120-130, 2009.

(PACHECO, Fabiana; 2006) **Energias Renováveis: breves conceitos.** Economia em destaque. Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, n.149, p.4-11, Outubro/2006.

(S.E.M_1, 2019) **As energias renováveis no Estado.** Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/energias-renovaveis/as-energias-renovaveis-no-estado/> Acesso em: 09/03/2019 as 14h30.

(S.E.M_2, 2019) **Geração.** Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/energia-eletrica/geracao/> Acesso em: 09/03/2019 às 14h11.

(S.E.M_3, 2019) **Potencial de Energia Solar.** Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/energias-renovaveis/solar/potencial-de-energia-solar-paulist/> Acesso em: 09/03/2019 às 14h32.

(S.E.M_4, 2019) **Incentivo ao Setor.** Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/energias-renovaveis/solar/incentivo-ao-setor/> Acesso em: 09/03/2019 às 14h33.

(EPE, 2009 - 2017) **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 a 2018, anos base: 2013 - 2017.** Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica>

%202014.xlsx; <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf>;
<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf>;
<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>;
<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>. Acessos em: 16/04/2019 às 07h08.

(S.E.M_5, 2019) **Eficiência energética.** Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/energia-eletrica/eficiencia-energetica/> Acesso em: 09/03/2019 às 14h13.

(REUTERS, 2019) **Energia solar deve crescer 44% no Brasil em 2019 com impulso de geração distribuída.** Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,energia-solar-deve-crescer-44-no-brasil-em-2019-com-impulso-de-geracao-distribuida,70002683737> Acesso em: 31/03/2019 às 13h31.

(ANEEL, 2019) **Energia Solar.** Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf) Acesso em: 23/03/2019 às 16h26.

(E.P.E, 2012) **Nota técnica: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.** Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética: Rio de Janeiro, Maio de 2012.

(PORTALSOLAR_1, 2018) **Quanto custa a energia solar fotovoltaica.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em 23/3/19 às 14h04.

(MARQUES, Eduardo; 2016) **Cidades Inteligentes.** Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/blogs/cidades-inteligentes/cidades-inteligentes-e-energia-solar/> Acesso em: 09/03/2019 às 14h03.

(PORTALSOLAR_1, 2019) **Como escolher um bom sistema fotovoltaico.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-escolher-um-bom-sistema-fotovoltaico.html> Acesso em 23/3/19 às 15h23.

(PORTALSOLAR_2, 2019) **Quanto custa para instalar energia solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-para-instalar-energia-solar.html>. Acesso em 23/3/19 às 14h57.

(SUNLAB POWER, 2019) **Dimensionamento de Sistema Solar.** Disponível em: http://www.sunlab.com.br/Dimensionamento_solar_fotovoltaiico.htm. Acesso em: 23/3/2019 às 12h28.

(PORTALSOLAR_3, 2019) **Energia Fotovoltaica.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaiica.html>. Acesso em: 31/03/2019 às 18h32.

(MME, 2018) **Fontes renováveis representam 82,2% da matriz de geração elétrica.** Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/fontes-renovaveis-representam-82-2-da-matriz-de-geracao-eletrica. Acesso em: 11/04/2019 às 16h49.

(ABSOLAR, 2018) **Potencial solar brasileiro poderia atender demanda de energia elétrica de 170 Brasis.** Disponível em: <http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/potencial-solar-brasileiro-poderia-atender-demanda-de-energia-eletrica-de-170-brasis.html>. Acesso em: 11/04/2019 às 16h40.

(COLAFERRO, Luís; 2018) **Energia solar no Brasil: Um panorama para [você] entender tudo.** Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/> Acesso em: 11/04/2019 às 16h00.

(PORTALSOLAR_4, 2019) **Meio rural atinge bons resultados na utilização de energia solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/2904.html> Acesso em: 11/04/2019 às 16h20.

(CANALTECH, 2016) **Recorde: Alemanha cobre 95% da demanda de energia elétrica com fontes renováveis.** Disponível em: <https://canaltech.com.br/meio-ambiente/alemanha-cobre-95-da-demanda-de-energia-eletrica-com-fontes-renovaveis-65953/> Acesso em: 11/04/2019 às 16h25.

(MINHA CASA SOLAR, 2018) **Formas de uso de energia solar sistema grid tie.** Disponível em: <https://images.app.goo.gl/XZi21AYx2udq12xXA> acesso em: 25/4 as 07:43 disponível em: blog.minhacasasolar.com.br/05-formas-de-usar-a-energia-solar-em-sua-casa/ Acesso em: 25/04/2019 às 07h43.

(AWSENERGY, 2018) **Sistema Misto.** Disponível em: <https://images.app.goo.gl/oYn4PbVZE3rge5QU8>. Acesso em: 25/4 às 07:32

(SCAPATICIO, Márcia; 2016) **Como a energia elétrica chega a nossas casas?** Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/69/como-a-energia-eletrica-chega-a-nossas-casas>. Acesso em: 25/04/2019 às 08:05.

(PVWATTS, 2019) **Site para simulação fotovoltaica.** Disponível em <https://pvwatts.nrel.gov>. Acesso em: 30/04/2019 às 8h13.

(TIBA, C. et al.) **Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de Dados Terrestres.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.

(GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013) **Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial.** São Paulo, 2013. 47 p.

(GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018) **Balço Energético do Estado de São Paulo 2018: Ano-Base: 2017.** São Paulo, 2018. 278 p.

(CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO – CRESESB, Eletrobras, Cepel, 2019) **Potencial Solar: SunData v 3.0.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 28/04/2019 às 19h44.

(INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014) **Síntese de Indicadores Sociais: Uma análise das condições de vida da população brasileira 2014.** Rio de Janeiro, 2014. 214 p.

(EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S. A, 2019) **Sobre a Região Metropolitana de São Paulo: Indicadores.** Disponível em: <https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP>. Acesso em: 30/04/2019 às 21h52.

(ENEL, 2019) **Tarifa de Energia Elétrica na Região da Lapa - SP.** Disponível em: <https://www.eneldistribuicaosp.com.br/para-sua-casa/tarifa-de-energia-eletrica>. Acesso em: 29/06/2019 às 19h14.