XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DO POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE CAMPO GRANDE/ MS

Taís Oliveira da Silva (1) ; Marcio José Sorgato (2)
(1) Discente do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, tais_oli2007@hotmail.com
(2) Docente na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG), marcio.sorgato@ufms.br
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Bloco de Arquitetura e Urbanismo, Campo Grande–MS, 79070-900, Tel.: (67) 3345 7812

RESUMO
A partir de novas formas de geração de eletricidade no Brasil, tendo em vista uma das alternativas promissoras a adoção de energia proveniente 0da radiação solar, que vem se tornando uma opção cada vez mais viável. Este trabalho avalia o potencial de integração de sistemas fotovoltaicos em edificações residenciais situados na cidade de Campo Grande/MS. A análise do potencial de integração dos sistemas fotovoltaicos foi dividida em três etapas: 1 - levantamento das características arquitetônicas e do perfil de consumo dos moradores; 2 - avaliação da integração dos sistemas fotovoltaicos nas edificações; e 3 - simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações. O desempenho dos sistemas fotovoltaicos foi simulado no programa SAM (System Advisor Model), com as configurações de inversor, módulos e *layout* para cada sistema fotovoltaicos propostos. Também foi analisado a área do sistema fotovoltaico versus a área de cobertura disponível de cada edificação. Os resultados mostram que todas as edificações apresentam potencial para atenderem suas próprias demandas de consumo de energia elétrica e, além de serem consumidoras, são capazes de se tornarem unidades geradores de energia elétrica para alimentar a rede elétrica. A partir dos valores de geração em kWh do sistema fotovoltaico obtido das dez edificações, evidencia-se que além da quantidade necessária a cobertura possui capacidade para tornar a edificação uma unidade geradora de energia. Sendo assim, esse artigo apresenta alternativas viáveis que a médio prazo podem ser implantadas – tendo em vista a grande incidência de radiação solar que o país recebe, os sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações residenciais podem contribuir para uma matriz energética mais limpa.
Palavras-chave: energias renováveis, sistemas fotovoltaicos, edificações de energia zero.

ABSTRACT
New forms of electricity generation in Brazil, in view of the promising alternative is the adoption of the energy from the solar radiation, it has become an option that is increasingly feasible to do so. This work evaluates the potential of the integration of photovoltaic systems in buildings and residential located in the city of Campo Grande/MS. An analysis of the potential for the integration of the PV plant is divided into three stages: 1 - analysis of the architectural characteristics and the consumption pattern of the inhabitants and; 2 - the evaluation of the integration of photovoltaic systems in buildings; and 3) a simulation of the performance of photovoltaic systems integrated in buildings. The performance of the PV systems was simulated in the program by the SAM (System Advisor Model), with the settings of the inverter, the modules and the layout for each solar or wind energy proposal. It was also reviewed in the area of the PV system, versus the coverage available for each building. The results show that all of the buildings have the potential to meet its own needs for electrical energy consumption and, in addition to being a consumer, you are able to become units and electric power generators for feeding power into the grid (mains). Based on the values of the generation in kWh of the PV system is obtained from the ten buildings, it is evident that, in addition to the amount required to cover have the ability to make it to the building of a generating unit from the power. For this reason, this paper presents the feasible alternatives that in the medium term can be taken – in view of the high incidence of the solar radiation that the country receives, and the photovoltaic systems integrated in buildings to the residential, can contribute to the energy mix is cleaner.
Keywords: renewable energy, photovoltaic systems, building zero-energy.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a matriz de eletricidade é predominante renovável, representando 80,4% da oferta interna de eletricidade, a geração renovável é predominante por hidrelétricas. No ano de 2018, as edificações residenciais consumiram 136.022 GWh, sendo que o consumo total de eletricidade no Brasil foi de 472.242 GWh, que representou aproximadamente 29% da energia consumida (EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2019). Devido as crises hídricas dos últimos anos, ocorreu um avanço na participação das fontes renováveis na matriz elétrica do Brasil, evidencia-se também a ocorrência de picos de energia, sobretudo, nos períodos vespertinos, que são causados devido ao aumento no consumo energético e pela maior utilização de sistemas de condicionamento artificial.

No Brasil, as edificações residenciais unifamiliares representam 86% do setor residencial (IBGE, 2011). As edificações residenciais apresentam grande potencial para geração de eletricidade, por meio da geração de energia renovável (SORGATO e RUTHER, 2017). O sistema fotovoltaico é o mais utilizado na geração de eletricidade quando integrados nas edificações, segundo dados da ANEEL, a geração distribuída vem crescendo significativamente, atualmente 73.399 unidades consumidoras possuem sistema de geração de eletricidade por meio da tecnologia fotovoltaica, sendo que 54.499 sistemas estão instalados em edificações residenciais (ANEEL 2019).

Segundo Sorgato e Ruther (2017), atualmente, o setor residencial contribui significativamente no consumo de eletricidade do Brasil, sendo que as residências podem gerar a sua própria demanda energética e também poderiam exportar a energia excedente para a rede da distribuidora de energia, colaborando na matriz de energia elétrica brasileira. As edificações residências unifamiliares podem se tornar parte da solução de geração de eletricidade no Brasil.

É importante repensar as formas de geração de eletricidade no Brasil, a fim de minimizar as crises hídricas que ocorreram nos últimos anos, que impactam diretamente no preço da energia para os consumidores. Os sistemas fotovoltaicos aproveitam o recurso natural da radiação solar, que no Brasil apresenta uma boa disponibilidade para todas as regiões do país. Com base nos dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, a região com maior disponibilidade de irradiação solar é o nordeste, entretanto no Estado do Mato Grosso do Sul apresenta bons níveis de irradiação solar, na ordem de 5.500 Wh/m² (PEREIRA, et al., 2017).

A energia fotovoltaica é uma das alternativas promissoras para a composição de uma nova matriz energética mundial e seu aproveitamento tem se consolidado em muitos países" (VERMA; MIDTGARD; SATRE, 2011). Nos últimos anos a energia fotovoltaica vem se tornando mais acessível, devido a sua redução de preço e maior disponibilidade de fornecedores (IDEAL 2018).

Conforme Lucon e Goldemberg (2009), "as energias renováveis (como eólica, solar, biomassa e centrais hidrelétricas de pequeno porte) terão um grande papel a desempenhar. Além de serem menos poluentes também apresentam pela sua própria natureza, a produção em pequenas unidades". O pensamento contemporâneo que cada vez torna-se mais atento às questões ambientais, demonstra uma preocupação entre o consumo de energia e eficiência energética.

A integração dos sistemas fotovoltaicos nas edificações vem crescendo nos últimos anos, os estudos de Scognamiglio e Garde (2014) mostram que existem inúmeras possibilidades de integrar sistemas fotovoltaicos nas edificações, que dependem do tamanho do sistema, a proposta deve sempre considerar a arquitetura e a paisagem do local do projeto. Também é importante projetar a implantação dos sistemas fotovoltaicos de forma a proporcionar um bom desempenho, atendendo os critérios técnicos e estéticos.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar o potencial de integração de sistemas fotovoltaicos nas edificações residenciais da cidade de Campo Grande/MS, buscando evitar alterações nas características volumétricas de edificações já existentes.

3. MÉTODO

A análise do potencial de integração de sistema fotovoltaicos em edificações residenciais de Campo Grande/MS foi dividida em três etapas: a primeira etapa consiste no levantamento das características arquitetônicas e perfil de consumo dos moradores; a segunda etapa na avaliação da integração dos sistemas fotovoltaico nas edificações; e a terceira etapa na simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações.

3.1 Características arquitetônicas e perfil de consumo dos moradores

No estudo foi levantado o perfil de consumo dos moradores e das características arquitetônicas de 10

edificações residenciais unifamiliares situadas na cidade de Campo Grande/MS. O levantamento dos dados de consumo foi realizado por meio de um questionário, buscando identificar os principais equipamentos e eletrodomésticos que impactam na demanda energética da edificação. No questionário foram levantadas as informações da quantidade de moradores na residência, quantidade de chuveiros elétricos, quantidade de ar condicionados instalados e a quantidade de automóveis. Também foram coletadas informações dos consumos mensais de energia no período de 1 ano.

As características arquitetônicas foram levantadas com base nos projetos arquitetônicos, quando o projeto não apresentava todas as informações necessárias, as informações foram levantadas por meio de visitas *in-loco*, com auxílio das entrevistas aos moradores e medições realizadas no local.

3.2 Avaliação da integração dos sistemas fotovoltaicos nas edificações residenciais

A avaliação da integração dos sistemas fotovoltaicos nas edificações foi realizada com base na orientação e na área disponível de cobertura da edificação sem sombreamento. Foram analisados os sombreamentos externos e o auto sombreamento por elementos da edificação. As edificações foram modeladas tridimensionalmente com base nos projetos arquitetônicos e nas informações verificadas *in-loco*.

O trabalho tem como premissa não alterar a volumetria das edificações com a integração dos sistemas fotovoltaicos. Os sistemas foram propostos nas inclinações das coberturas existentes das edificações, a fim de evitar alterações em suas volumetrias.

Após a escolha das coberturas para integração dos sistemas fotovoltaicos, comparou-se a disponibilidade de irradiação solar global horizontal com a irradiação solar global na orientação e inclinação da superfície escolhida para integração do sistema fotovoltaico. Os dados de irradiação solar foram obtidos da base do Altas Brasileiro de Energia Solar, para a latitude e longitude da cidade de Campo Grande/MS, Latitude - 20.2005 e Longitude -54.3852 (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados da Irradiação global no plano horizontal para Campo Grande – MS.

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
5.653	5.684	5.323	4.836	4.045	3.803	3.982	4.828	4.950	5.450	5.831	6.121	5.042

A estimativa da irradiação solar no plano inclinado da integração do sistema fotovoltaico foi realizada por meio do programa Radiasol (UFRGS, 2018), que calcula a disponibilidade da irradiação solar mediante as coordenadas geográficas e dados de irradiação solar global horizontal do local, apresentando os valores de irradiação solar no plano inclinado na base mensal e anual.

Com base nos dados de irradiação solar no plano inclinado e no consumo médio diário da edificação foi realizado um pré-dimensionamento do sistema para atender a demanda energética da edificação, com base na Equação 1. Neste trabalho foi adotado o rendimento do sistema fotovoltaico de 0,8.

$$P_{cc} = \frac{(E / G_{poa})}{R} \quad \textbf{Equação 1}$$

No qual: P_{CC} é a potência nominal necessária para atender o consumo diário (kW_{Pcc}); E é o consumo de eletricidade diário da edificação (kWh/dia); G_{POA} é a irradiação solar incidente no plano fotovoltaico (kWh/m²/dia); e R é o rendimento do sistema fotovoltaico.

Com base nos resultados do P_{CC} verificou-se a área total necessária para instalação dos sistemas fotovoltaicos, a estimativa da área foi realizada com base na Equação 2. A eficiência do módulo fotovoltaico adotada foi de 17%.

$$A_{total} = \frac{P_{cc}}{E_{ff}} \quad \textbf{Equação 2}$$

No qual: A_{Total} é a área total necessária para instalação do sistema fotovoltaico; P_{CC} é a potência nominal necessária para atender o consumo diário (kW_{Pcc}); e o E_{ff} é a eficiência do módulo fotovoltaico.

3.3 Simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações residenciais

As estimativas de geração dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações residenciais foram realizadas no programa SAM - System Advisor Model (NREL, 2014). O programa permite modelar sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou isolados. A simulação do desempenho é realizada por meio de arquivos climáticos, e da configuração técnica do sistema fotovoltaico. As simulações foram realizadas com o arquivo

climático de Campo Grande/MS, que foi desenvolvido no projeto SWERA[1] . O perfil mensal da radiação solar direta e difusa é apresentado na Figura 1.

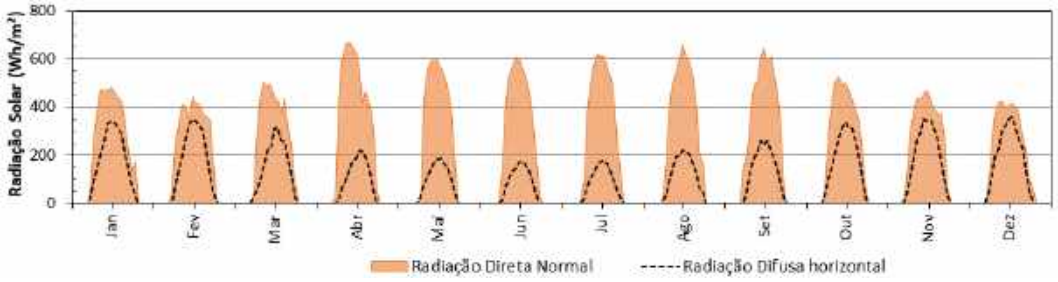

Figura 1 – Dados de radiação solar do arquivo climático de Campo Grande/MS.

Na Tabela 2 são apresentados os fatores de perdas adotados nas simulações do sistema fotovoltaico no programa SAM.

Tabela 2 – Detalhes das perdas adotadas nas simulações no SAM.

Detalhes das perdas	**Valores**
Perda na qualidade do módulo	2,0 %
Diodos e connections	0,5 %
Perdas óhmica na fiação CA	2,0 %
Perda mismatch do módulo	0,6 %
Perda na degradação por exposição	0,4 %
Perdas óhmica na fiação CC	1,0 %
Fator de perda por sujeira	3,83 %

4. RESULTADOS

4.1. Características arquitetônicas e perfil de consumo dos moradores

Os perfis de consumo dos moradores das edificações residenciais são apresentados na Tabela 3. Observa-se que 80% das edificações possuem ar condicionado, a variação do número de ambientes com sistema de condicionamento de ar foi de 01 a 05, apenas duas residências possuem somente um equipamento. Todas as edificações possuem sistema de aquecimento de água por chuveiro elétrico, a variação foi de 1 a 3 chuveiros instalados na edificação. O número de moradores variou de duas a cinco pessoas, com maior frequência de três a quatro moradores. Em todas as edificações verifica-se que os ocupantes têm veículos motorizados, a variação foi de 1 a 3 automóveis.

Tabela 3 – Características do perfil de consumo dos moradores das edificações residenciais.

Edificações	**Moradores**	**Chuveiro**	**Ar condicionado**	**Automóveis**
Edi. 01	04	03	03	02
Edi. 02	04	02	04	02
Edi. 03	03	03	01	02
Edi. 04	04	03	01	01
Edi. 05	04	02	04	01
Edi. 06	03	02	05	02
Edi. 07	03	03	02	03
Edi. 08	04	02	-	02
Edi. 09	05	02	03	02
Edi. 10	02	01	-	01

Os consumos de eletricidade das edificações residenciais foram levantados por um período de 12 meses (Tabela 4). Nota-se que a edificação 09 apresentou o maior consumo anual de energia (9.078 kWh/ano), com um consumo diário de 25,2 kWh/dia; a edificação 04 foi a que apresentou o menor consumo de energia anual (1.866 kWh/ano), com um consumo diário de 5,17 kWh/dia. Observa-se uma relação forte entre o número de moradores e o consumo da edificação, exceto na edificação 4 que apresentou um consumo de eletricidade baixo. A média mensal de consumo de eletricidade variou de 172 a 756 kWh/mês.

[1]Disponível em: https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA//BRA_Campo.Grande.836120_SWERA

Tabela 4 – Consumo de eletricidade em kWh durante o período de 12 meses das edificações residências.

Mês	Edi. 01	Edi. 02	Edi. 03	Edi. 04	Edi. 05	Edi. 06	Edi. 07	Edi. 08	Edi. 09	Edi. 10
01	823	341	158	184	417	164	301	224	885	151
02	577	361	149	175	618	157	409	335	812	142
03	654	288	148	151	536	134	289	362	893	141
04	683	336	157	142	518	158	300	432	934	147
05	548	404	151	141	526	139	315	422	890	138
06	746	395	180	147	312	217	356	397	712	160
07	629	356	165	138	481	208	327	289	698	151
08	617	299	158	160	601	213	299	412	651	125
09	686	318	135	151	608	174	328	402	732	161
10	511	329	158	125	560	181	371	390	576	191
11	521	299	130	161	450	165	276	239	642	180
12	500	320	281	191	396	165	319	382	653	195
Mensal **kWh/mês**	624	337	164	155	501	172	324	357	756	156
Diário **kWh/dia**	20,8	11,23	5,46	5,17	16,70	5,73	10,8	11,9	25,2	5,20
Anual **kWh/ano**	7.495	4.046	1.970	1.866	6.023	2.075	3.890	4.286	9.078	1.882

As características arquitetônicas das edificações foram levantadas com base nos projetos arquitetônicos e por meio de visitas *in-loco*. Todas as edificações são residências unifamiliares de um pavimento. As áreas construídas variaram de 65,85 a 149,00 m². A Figura 2 apresenta os croquis volumétricos das 10 edificações residenciais com a informação da orientação geográfica. Os croquis volumétricos auxiliaram na tomada de decisão na locação do sistema fotovoltaicos, observando a área de cobertura e a orientação solar dos planos inclinados das coberturas.

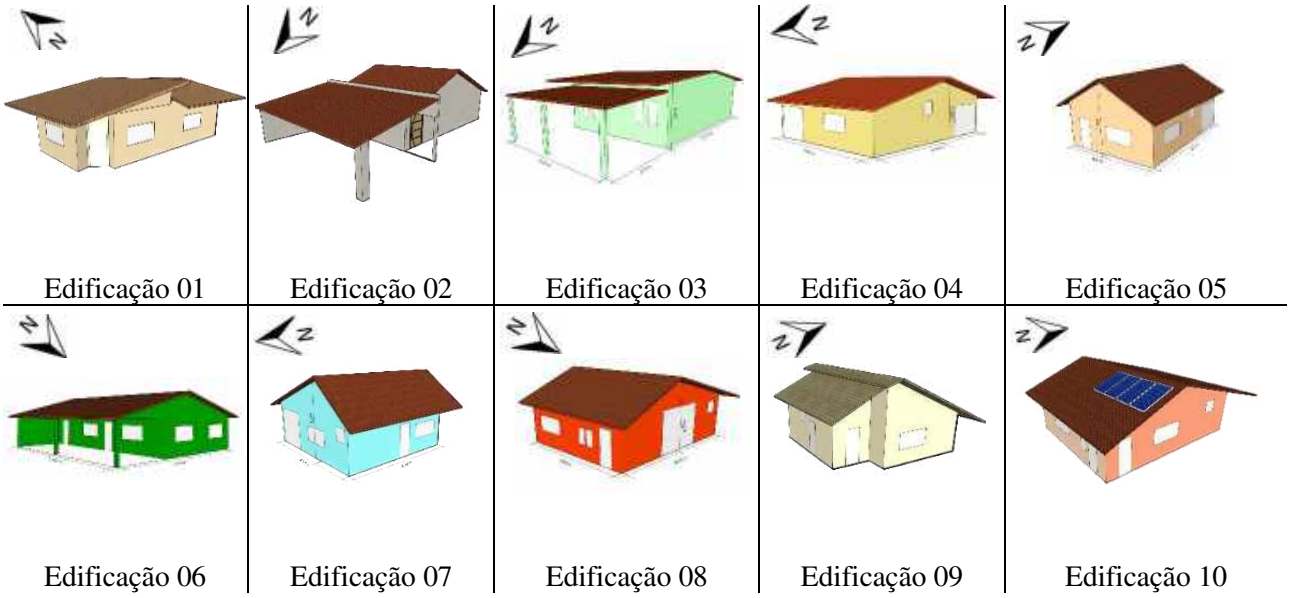

Figura 2 – Croqui e orientação das residências analisadas.

4.2 Avaliação da integração dos sistemas fotovoltaicos nas edificações residenciais

A avaliação da integração dos sistemas fotovoltaicos nas edificações foi realizada com base na orientação e nas áreas disponíveis das coberturas das edificações. Foram selecionadas as coberturas que não tinham interferências de elementos de sombreamento externo ou auto sombreamento. O cálculo da irradiação solar foi realizado no programa Radiasol, com a inclinação e desvio azimutal do norte de cada plano inclinado da cobertura proposta para a integração do sistema fotovoltaico.

Na Tabela 5 são apresentados os valores da irradiação global no plano inclinação da cobertura proposta para a integração do sistema fotovoltaico. Observa-se que praticamente não houve perda de irradiação solar no plano inclinado quando comparado a irradiação solar global horizontal na base anual para quase todas as edificações, isso ocorre devido a inclinação das coberturas ficarem mais expostas no período do inverno. A irradiação solar global horizontal anual de Campo Grande/MS foi de 5,04 kWh/m².dia, os valores mensais variaram entre 3,828 a 6,121 kWh/m².dia (PEREIRA *et al.* 2017).

Tabela 5 – Dados da irradiação global no plano inclinado da cobertura das edificações (kWh/m².dia)

Mês	Edi. 01	Edi. 02	Edi. 03	Edi. 04	Edi. 05	Edi. 06	Edi. 07	Edi. 08	Edi. 09	Edi. 10	Atlas Solar
Jan.	5,384	5,453	5,528	5,506	5,427	5,553	5,453	5,482	5,362	5,549	5,653
Fev.	5,496	5,627	5,690	5,672	5,585	5,670	5,625	5,606	5,553	5,691	5,684
Mar.	5,279	5,521	5,551	5,543	5,452	5,462	5,518	5,415	5,479	5,521	5,323
Abr.	4,963	5,384	5,373	5,377	5,281	5,178	5,380	5,156	5,394	5,293	4,836
Maio	4,241	4,743	4,704	4,716	4,615	4,450	4,738	4,443	4,788	4,592	4,045
Jun.	4,093	4,639	4,576	4,597	4,495	4,273	4,629	4,281	4,709	4,443	3,803
Jul.	4,259	4,808	4,748	4,767	4,661	4,445	4,798	4,450	4,875	4,615	3,982
Ago.	5,088	5,609	5,564	5,579	5,471	5,284	5,604	5,277	5,658	5,446	4,828
Set.	4,979	5,280	5,293	5,289	5,202	5,169	5,277	5,133	5,258	5,244	4,950
Out.	5,326	5,495	5,543	5,529	5,443	5,498	5,494	5,443	5,435	5,532	5,450
Nov.	5,570	5,660	5,735	5,711	5,629	5,748	5,661	5,680	5,569	5,753	5,831
Dez.	5,780	5,851	5,946	5,916	5,835	6,001	5,851	5,921	5,740	5,982	6,121
Anual	5,038	5,339	5,354	5,350	5,258	5,228	5,336	5,191	5,318	5,305	5,042
Desvio Padrão	0,560	0,379	0,423	0,409	0,416	0,535	0,381	0,507	0,330	0,475	0,739

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado com base no consumo diário das edificações e irradiação solar global anual no plano inclinado da cobertura (Equação 1). O fator de rendimento dos sistemas fotovoltaicos adotado foi 0,80. Na Tabela 6 são apresentadas a potência dos sistemas fotovoltaicos das edificações residenciais do estudo. Os sistemas fotovoltaicos variaram de 1,2 a 5,9 kWp, considerando a eficiência do módulo de 17%, as áreas ocupadas pelos sistemas foram de 7,1 a 34,8 m². As áreas de cobertura para instalação dos sistemas fotovoltaicos variaram de 62,86 a 149,00 m². Observa-se que a fração do plano da cobertura ocupada pelo sistema fotovoltaico variou de 0,07 a 0,48. As edificações possuem potencial de instalação de sistemas fotovoltaicos superiores a demanda energética da edificação, de no mínimo o dobro.

Tabela 6 – Informações referentes aos valores relevantes para o cálculo da área estimada.

Edificação	Área de cobertura [m²]	Ângulo de inclinação [°]	Desvio Azimutal	E [kWh/dia]	G_{POA} [kWh/m²/dia]	P_{cc} [kWp]	Área estimada [m²]	Fração de áreas
01	62.85	20	- 58	20.53	5.038	5.160	30.35	0.48
02	131.15	22	29	11.08	5.339	2.630	15.47	0.12
03	79.30	19	30	5.40	5.354	1.277	7.53	0.09
04	99.00	20	- 30	5.11	5.350	1.206	7.12	0.07
05	72.00	24	45	16.50	5.258	3.970	23.35	0.32
06	149.00	20	60	5.68	5.228	1.370	8.06	0.05
07	68.00	22	- 30	10.66	5.336	2.593	14.88	0.22
08	80.00	23	60	11.74	5.191	2.865	16.82	0.21
09	90.00	25	- 26	24.87	5.318	5.923	34.82	0.39
10	82.00	19	45	5.16	5.305	1.225	7.80	0.09

Nota-se que a residência com maior consumo diário apresentou a maior área necessária para à instalação do sistema fotovoltaico, sendo essa a edificação 09. Enquanto as edificações 03, 04 e 10 destacam-se por necessitarem de uma pequena área da cobertura para implantação dos sistemas fotovoltaicos, devido ao fato de apresentarem menor consumo diário de eletricidade. Na Tabela 6 também estão apresentadas as inclinações das coberturas e o desvio azimutal das mesmas, sendo que as inclinações variaram de 19° a 25°.

A Figura 3 apresenta os layouts de integração dos sistemas fotovoltaicos das edificações residenciais. Os sistemas fotovoltaicos foram propostos com módulos fotovoltaicos de silício policristalino (c-Si) que possui dimensões de 1,96 m x 0,99 m. Buscou-se a integração dos módulos fotovoltaicos na cobertura das edificações, evitando alterações nas características arquitetônicas das edificações. As imagens apresentam duas situações para cada residência, uma proposta para atender a demanda energética da edificação e uma segunda proposta para avaliar o potencial de instalação de módulos fotovoltaicos na cobertura selecionada. Observa-se que todas as edificações residenciais possuem potencial de instalação de módulos fotovoltaicos superior a demanda energética da edificação. Por exemplo: A edificação 1, para atender a demanda energética necessita de 15 módulos fotovoltaicos, sendo que o potencial de instalação é

de 21 módulos. Na edificação 6 foram necessários apenas 4 módulos para atender o consumo de energia, sendo que é possível instalar 39 módulos fotovoltaicos na cobertura.

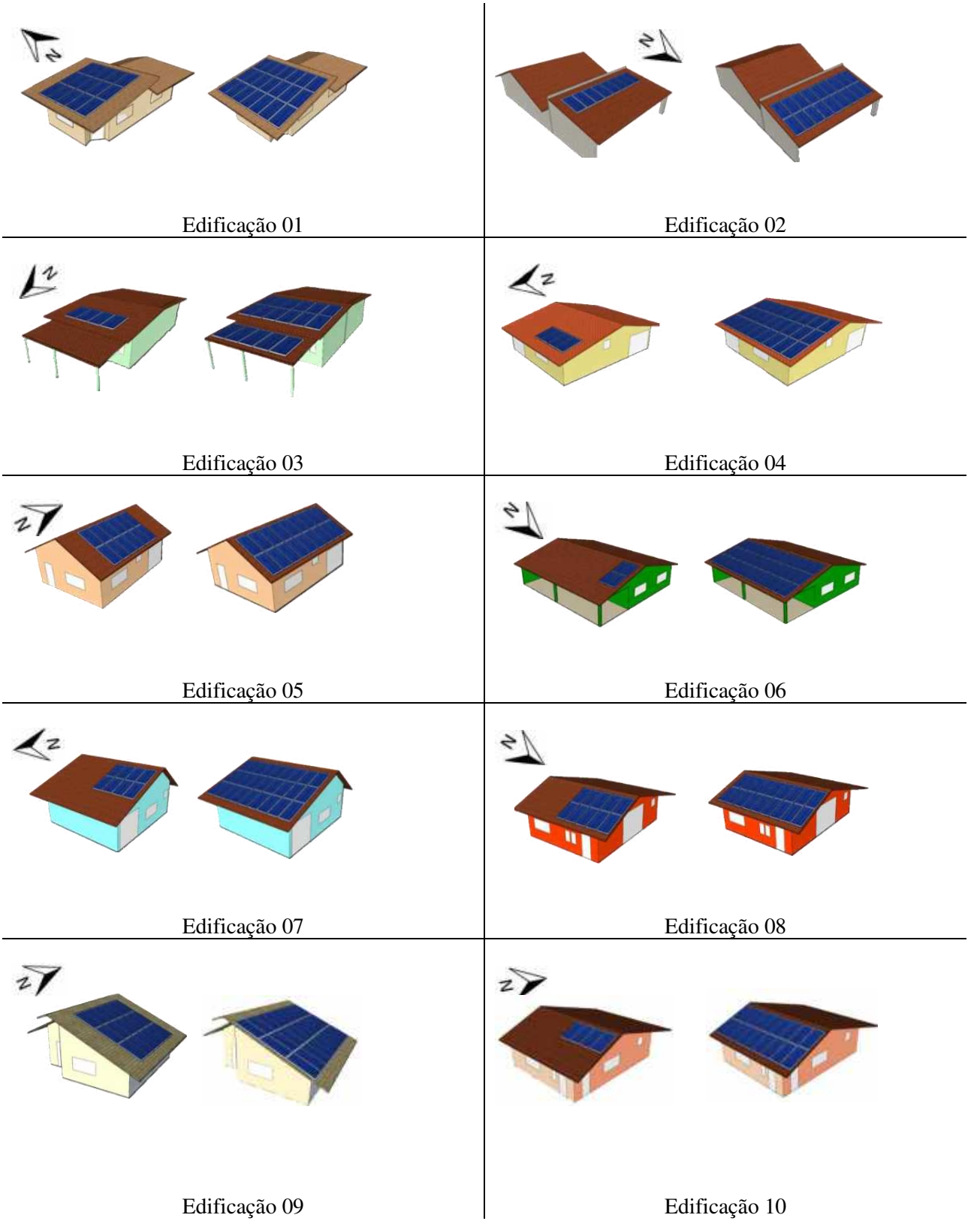

Figura 3 – Dimensionamento do sistema das dez edificações: demanda e potencial energético

Na Tabela 7 apresenta-se uma comparação do dimensionamento do sistema fotovoltaico para atender a demanda versus o potencial de instalação na edificação. Observa-se que a edificação 06 é possível instalar um sistema fotovoltaico 10 vezes superior à potência do sistema que atende à demanda energética da edificação. As edificações que apresentaram menores potenciais de instalação foram as residências 01 e 05, que possuem um potencial superior de 40 e 50% das demandas energéticas das edificações. As edificações residenciais unifamiliares podem ser parte da solução para geração de energia por fontes renováveis para a matriz brasileira, devido à grande parte das edificações brasileiras são residências unifamiliares.

Tabela 7 – Dimensionamento do sistema para atender a demanda anual energética da edificação e o potencial que a edificação atende a partir da área de cobertura que a residência apresenta.

[kWp]	Edi. 01	Edi. 02	Edi. 03	Edi. 04	Edi. 05	Edi. 06	Edi. 07	Edi. 08	Edi. 09	Edi. 10
Demanda	5,28	2,64	1,32	1,32	3,96	1,32	2,64	3,30	5,94	1,32
Potencial	6,93	5,94	5,61	8,91	5,94	12,87	8,91	5,94	8,91	5,94

4.3 Simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações residenciais

As simulações do desempenho dos sistemas fotovoltaicos foram realizadas no programa SAM, com o arquivo climático da cidade de Campo Grande/MS. Na Tabela 8 são apresentadas as configurações dos sistemas fotovoltaicos propostos para a integração nas edificações residenciais. Todos os sistemas foram propostos com o módulo de silício policristalino (c-Si) com potência nominal de 330W e eficiência de 17%. Também são apresentados a quantidade de módulos, quantidade de strings, módulos em série e a potência do inversor *versus* a potência total dos módulos do sistema. O menor sistema fotovoltaico possui 4 módulos FV, resultando na potência do sistema de 1,32 kWp, para este sistema foi utilizado um inversor de 1,20 kW; neste caso o inversor está com uma sobrecarga de 10%. O sistema da edificação 08 possui 18 módulos FV, resultando em uma potência de 5,94 kWp, com um inversor de 6,00 kW. O sistema FV da edificação resultou em 15 módulos FV, distribuídos em duas strings de 8 módulos FV conectado em série, a potência do inversor foi de 5,00 kW, resultado em uma sobrecarga de 5%.

Tabela 8 – Características dos sistemas fotovoltaicos propostos para integração nas edificações residenciais.

Edificação	Tecnologia	Potência do módulo	Quantidade de módulos	Quantidade de *strings*	Módulos em série	Potência do inversor	Potência do sistema FV
Edificação 1	c-Si	330 W	16	02	08	5,00	5,28
Edificação 2	c-Si	330 W	08	02	08	2,50	2,64
Edificação 3	c-Si	330 W	04	01	04	1,20	1,32
Edificação 4	c-Si	330 W	04	01	04	1,20	1,32
Edificação 5	c-Si	330 W	12	02	06	3,80	3,96
Edificação 6	c-Si	330 W	04	01	04	1,20	1,32
Edificação 7	c-Si	330 W	08	02	04	2,50	2,64
Edificação 8	c-Si	330 W	10	02	10	3,00	3,30
Edificação 9	c-Si	330 W	18	02	09	6,00	5,94
Edificação 10	c-Si	330 W	04	01	04	1,20	1,32

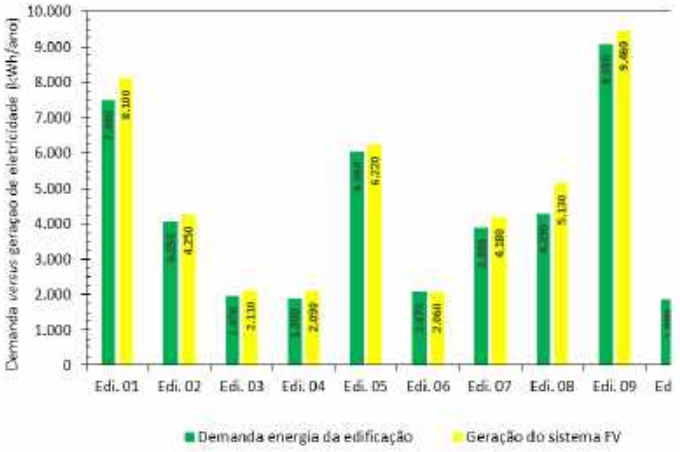

Figura 4 – Comparação da demanda energética versus geração de eletricidade dos sistemas FV propostos.

Na Figura 4 tem-se a comparação da demanda energética anual da edificação *versus* a geração de eletricidade do sistema fotovoltaico proposto. Observa-se que em nove edificações a geração de eletricidade foi superior a demanda energética anual da residência, somente a edificação 06 apresentou uma pequena diferença na geração versus o consumo anual de energia. Na maioria das edificações houve excedente de energia. Atualmente a legislação brasileira não permite a comercialização da energia, o consumidor fica com um crédito que pode ser utilizado em um período de 60 meses, ou compensar em outra unidade consumidora de mesma propriedade, desde que esteja conectada a mesma distribuidora de energia.

5. CONCLUSÕES

O trabalho avaliou o potencial de integração de sistema fotovoltaicos nas edificações residências da cidade de Campo Grande/MS. Os resultados mostraram que é possível gerar 100% do consumo de eletricidade anual das edificações residências unifamiliares. As edificações possuem potencial para geração de eletricidade superior à sua demanda energética, porém a legislação brasileira não permite a comercialização, desta forma inviabiliza o investimento. As edificações residenciais podem minimizar os picos de consumo no período diurno, pois os picos de geração coincidem com o pico de consumo de energia. É possível transformar as residências em edificações de energia positiva, capaz de gerar energia superior a sua demanda. A geração excedente poderia incentivar e viabilizar a tecnologia de veículos elétricos, reduzindo as despesas familiares com energia para transportes. As edificações residenciais podem alterar o status de vilões de consumo para geradoras de energia renovável. Nas últimas décadas, o Brasil vem sofrendo com as crises hídricas que provocam aumentos nos custos de energia devido a operação das termoelétricas. As edificações residenciais podem ser parte da solução, devido ao potencial de geração que apresentam, podendo contribuir com a matriz energética do país e gerar energia elétrica de maneira mais consciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Geração Distribuída**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>. **Acesso em: 04 mai. 2019**

CENERGEL. **A Eficiência Energética em Edifícios**. Disponível em: <http://cenergel.com.br/post.aspx?id=89&nome=a-eficiencia-energetica-em-edificios >. Acesso em: 15 fev. 2019.

DUPONT, F.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. **Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável.** In: REVISTA ELETRÔNICA EM GESTÃO, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL. UFSM. Rio Grande do Sul, Brazil, 2015. 81p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. **Financial Crisis, Energy and Sustainability in Brazil.** In: ESTUDOS AVANÇADOS. USP. São Paulo, Brazil, 2009. 130p.

SAM – SYSTEM ADVISOR MODEL. Disponível em: <http://www.sam.nrel.gov/download>. Acesso em: 05 fev. 2019.

SCOGNAMIGLIO, A.; GARDE, F. **Photovoltaics' architectural and landscape design options for NetZero Energy Buildings, towards NetZero Energy Communities: spatial features and outdoor termal comfort related considerations.** Amsterdam, Netherlands, 2014. 19p.

SILVA, A.; GHISI, E.; LUIZ, F. **Influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares.** IN: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS. Florianópolis, Santa Catarina, 2014. 93p.

SORGATO, M.J. ; SCHNEIDER, K. ; RÜTHER, R. **. Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics (BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate.** RENEWABLE ENERGY , v. 118, p. 84-98, 2018.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Programa RADIASOL**. Laboratório de Energia Solar. Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>. Acesso em: 01 mai. 2019.