ANÁLISE DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DE ENSINO DO MATO GROSSO DO SUL

Isabela Rodrigues Gomes (1); Márcio José Sorgato (2)
(1) Discente do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, isabela.gomes@ufms.br
(2) Doutor, Professor da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, marcio.sorgato@ufms.br, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, bloco de Arquitetura e Urbanismo, Cidade Universitária, Av. Costa e Silva - Pioneiros, Campo Grande - MS, 79070-900, Tel.: (67) 3345 7812

RESUMO
Grande parte do consumo de eletricidade do Brasil está relacionado as edificações, para a operação como também no processo de construção. Em 2019, o consumo de eletricidade das edificações foi responsável por 50,5% da energia consumida no Brasil. Nesse contexto, novas tecnologias ganham aliados para sanar os desafios atuais de consumo e da demanda de eletricidade, destaca-se a geração fotovoltaica que apresentou um crescimento exponencial nos últimos anos. O objetivo desta pesquisa é avaliar o potencial de integração de sistemas fotovoltaicos nas edificações ensino de diferentes cidades do Mato Grosso do Sul, buscando a integração fotovoltaica com qualidade formal e produtiva. O estudo foi dividido em três etapas: levantamento do consumo elétrico das edificações de ensino, avaliação das características das edificações e do potencial de integração dos sistemas fotovoltaicas e a simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos. A potência de todos os sistemas fotovoltaicos propostos foi de 738 kWp e três dos quatro *campi* supriram seu consumo de energia elétrica fora da ponta.

Palavra-chave: energia solar fotovoltaica, consumo de eletricidade, geração fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos integrados.

ABSTRACT
Much of Brazil's electricity consumption is related to buildings, for operation as well as in the construction process. In 2019, the electricity consumption of buildings accounted for 50.5% of the energy consumed in Brazil. In this context, new technologies gain allies to remedy the current challenges of consumption and electricity demand, photovoltaic generation stands out, which has shown exponential growth in recent years. The objective of this research is to evaluate the potential for integration of photovoltaic systems in teaching buildings in different cities of Mato Grosso do Sul, seeking photovoltaic integration with formal and productive quality. The study was divided into three stages: survey of the electrical consumption of the teaching buildings, evaluation of the characteristics of the buildings and the potential for integration of the photovoltaic systems and the simulation of the performance of the photovoltaic systems. The power of all proposed PV systems was 738 kWp and three of the four campuses supplied their off-peak electricity consumption.

Keywords: photovoltaic solar energy, electricity consumption, photovoltaic generation, photovoltaic systems, architecture, integration.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, a eletricidade se faz presente e é necessária em quase todos os aspectos da vida do homem, podendo seu consumo ser considerado um dos indicadores de desenvolvimento da população mundial (BARDELIN, 2004). Desde a Revolução Industrial, as zonas urbanas sofrem um crescimento quase constante em todo o mundo e consequentemente, a demanda energética é cada vez maior. No Brasil, entre 1975 e 2000, o uso total de energia cresceu cerca de 250% (GELLER, 2003).

Juntamente ao aumento da demanda energética, crescem os debates para uma geração mais limpa e sustentável. Esta temática surgiu a partir da ocorrência de desastres naturais, relacionando-os à degradação ambiental causada pelas atividades humanas (SANTOS, 2013). Cada vez mais procura-se a utilização de fontes de energia renováveis que terão um impacto ambiental menor e que ajudem a suprir o consumo energético do mundo moderno.

Nota-se também que grande parte do consumo de energia se relaciona diretamente com as edificações, tanto em suas construções quanto na sua operação. No Brasil, o consumo de eletricidade associado a essas edificações, sendo elas comerciais, residenciais e públicas, atingiu 50,5% no ano de 2019 (EPE, 2020). Nesse contexto, novas tecnologias ganham aliados para sanar os desafios atuais de consumo e demanda de energia elétrica. Dentre as fontes renováveis de energia, a que mais apresenta possibilidades de integração com a envoltória das edificações no ambiente urbano, em função de seu avanço tecnológico e, principalmente, simplicidade na instalação (RÜTHER, 2004), é a energia solar por meio de sistemas solares fotovoltaicos (SFV).

A tecnologia fotovoltaica ganha impulso no cenário mundial por ser renovável, segura, silenciosa e de fácil integração ao cenário urbano. O sistema fotovoltaico converte, por meio dos módulos, a irradiação solar em eletricidade, necessitando principalmente de uma boa incidência de radiação solar e de bons níveis de irradiação. Esse sistema além de poder ser integrado na própria edificação (nas fachadas e nas coberturas), reduz consideravelmente as perdas de energia - resultantes da distribuição e do transporte pelas grandes empresas do setor elétrico - e dispensa área complementar para sua instalação.

A geração fotovoltaica se encontra em grande expansão mundial nos últimos anos, crescendo cerca de 23% de 2018 a 2019 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020), com isso ultrapassou a bioenergia e se tornou a terceira maior fonte de energia renovável mundial. Um dos primeiros países a investir na tecnologia fotovoltaica foi a Alemanha. O país não possui níveis de irradiação tão expressivos quanto os níveis dos países tropicais; em uma comparação, a região mais ensolarada da Alemanha possui índices 40% menores que a região menos ensolarada do Brasil (RÜTHER, 2004). Além dos valores de irradiação favoráveis, o alto custo da energia elétrica no Brasil favorece a alternativa fotovoltaica. No período de 2014 a 2018 os aumentos das tarifas de energia elétrica foram superiores à inflação acumulada, que foi de 28,86% (IBGE, 2019).

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estimulou o uso de sistemas fotovoltaicos no Brasil por meio de duas resoluções normativas: a Resolução 482/2012 e a Resolução 687/2015, normativas responsáveis por regulamentar os sistemas de geração distribuída, no qual possibilita a compensação de energia por um período de até 60 meses (ANEEL, 2015) para as unidades consumidores do proprietário na mesma área de concessão. Esses dois incentivos foram os principais propulsores da popularização da tecnologia fotovoltaica no país. Com isso, além de se tornar mais atrativa tanto para edificações de pequeno porte (habitações unifamiliares) quanto para edificações de grande porte (edificações comerciais, edificações institucionais, entre outros), a tecnologia se tornou mais barata e acessível.

No Brasil, uma das maiores despesas para as instituições de ensino provém do consumo de energia elétrica. Grande parte de seus orçamentos é destinada para o custeio de energia e muitas instituições não estão conseguindo honrar com este compromisso, gerando dívidas com as distribuidoras (CLEFF, et al., 2018). Com isso, algumas universidades já veem o sistema fotovoltaico como uma solução para a diminuição desses gastos.

Em 1997, em Santa Catarina, foi instalado o primeiro sistema de geração fotovoltaica conectado à rede no Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR). E, através das regulamentações da ANEEL e a consequente democratização do sistema, mais universidades públicas o adotaram, como é o caso da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) que em 2015 implantou o maior estacionamento solar do país na época. Ele tem capacidade de abrigar 65 veículos e gerar 140 MWh/ano (CLEFF, *et al.*, 2018). Em 2020, a Universidade Federal do Paraná instala o atual maior estacionamento solar do Brasil, localizado no Centro Politécnico de Curitiba. O projeto faz parte de uma ação conjunta da ANEEL com a Fundação da Universidade do Paraná (FunPar) e é responsável pela instalação de 2.914 painéis fotovoltaicos que gerarão 1.299 MWh/ano.

Nos últimos anos, as pesquisas vêm analisando o quão vantajoso pode ser a integração dos sistemas fotovoltaicos nas instituições de ensino. Recentemente, Sorgato e Alberto (2019) mostram que a implantação de 1,05 MWp fotovoltaico nas edificações da UFMS no *campus* de Campo Grande, com o sistema proposto

resultou em uma estimativa de geração de 1.611 MWh/ano, representando 26% do consumo de eletricidade do *campus*. O estudo mostrou que é possível integrar sistemas FV nas edificações existentes de forma que não impacte nas características volumétricas e garanta uma boa produtividade. No estudo de Pereira *et al.* (2020) analisaram a viabilidade técnica de integração de sistemas FV nas edificações da UFMS do setor 3. Foram investigadas duas tecnologias de módulos FV (c-Si e CdTe), proposto para 8 edificações, resultando em uma potência instalada de 725 KWp para c-Si e de 707 KWp para CdTe. A geração dos sistemas FV conseguiu suprir 82% do consumo anual de energia do setor, resultando em no *yield* de 1.337 kWh/kW para c-Si e de 1.368 kWh/kW em CdTe.

Sorgato *et al.* (2018) ressaltam que as edificações possuem grande potencial de gerar a sua própria energia. Através disso, é fundamental reverter o cenário no qual coloca as edificações somente como consumidoras. Integrar a tecnologia fotovoltaica à edificação neste presente imediato implica em uma das formas para reduzir custos de operação e aumentar a sustentabilidade do meio, além disso, a transformação da edificação do produto que mais consome para aquele que produz, dispensando área complementar, é de extrema relevância. Em um cenário não tão distante, pode-se ir além e transformar as edificações como fornecedoras poderosas de energia para o cenário urbano.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar a integração de sistemas fotovoltaicos nas coberturas das edificações de ensino em diferentes cidades do estado de Mato Grosso do Sul, buscando a integração dos sistemas fotovoltaicos com arquitetura das edificações.

3. MÉTODO

A pesquisa realiza uma análise técnica da integração de sistemas fotovoltaicos nas edificações de ensino em diferentes cidades do estado de Mato Grosso do Sul e foi dividida em três etapas principais: a primeira etapa constituiu na definição do objeto do estudo e levantamento do consumo de eletricidade das edificações; a segunda etapa se caracteriza pela avaliação das características arquitetônicas das edificações que foram propostos os sistemas FV; e a terceira etapa a simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos propostos para as edificações.

3.1. Definição dos objetos de estudo e levantamento do consumo de eletricidade

O estudo foi desenvolvido com base nas edificações de quatro *campi* do interior da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, nas cidades de Chapadão do Sul (Lat. 18,77°S e Long. 52,62°W), Paranaíba (Lat. 19,66°S e Long. 51,17°W), Ponta Porã (Lat. 22,58°S e Long. 55,68°W) e Três Lagoas (Lat. 20,79°S e Long. 51,69°W). Os consumos de eletricidade foram levantados por meio das faturas de energia das distribuidoras dos *campi*, por um período de 12 meses correspondente entre fevereiro de 2018 a janeiro de 2019, os consumos foram levantados nos horários de ponta e fora da ponta para cada *campus*. Os quatro *campi* são atendidos por uma unidade consumidora que distribui a energia para todas as edificações.

3.2. Avaliação das características das edificações para a integração dos sistemas fotovoltaicos

A seleção das edificações para a integração dos sistemas fotovoltaicos, foi desenvolvida com base nas características arquitetônicas, observando a área de cobertura disponível, inclinação da cobertura, desvio azimutal do Norte. As características arquitetônicas foram levantadas por meio dos projetos disponibilizados pela Coordenadoria de Projetos e Obras (CPO) da UFMS. Por meio das imagens de satélite, foram analisados elementos externos que podem proporcionar sombreamento nas coberturas e influenciar na eficácia dos sistemas fotovoltaicos, como a presença de vegetação e das edificações no entorno.

Um dos princípios do trabalho é a integração dos sistemas fotovoltaicos nas coberturas evitando descaraterização volumétrica da edificação, isto é, preservando as características de cada prédio. A partir disso, os módulos foram propostos na mesma inclinação dos telhados, evitando assim o conflito com a geometria das edificações. Para uma melhor análise formal, foi-se gerado uma volumetria esquemática (3D) das edificações.

3.3. Simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos nas edificações

Neste estudo as estimativas de geração dos sistemas fotovoltaicos foram realizadas por meio do programa SAM 2020.11.29 (*System Advisor Model*). Os arquivos climáticos utilizados foram: Chapadão do Sul/MS (estação 867720), Paranaíba/MS (867820), Ponta Porã (868330) e Três Lagoas (868130)[1]. Para a modelagem dos sistemas FV adotou-se o módulo FV de silício policristalino com células *half cell* e eficiência de 19,46%, as características detalhadas do módulo são apresentadas na Tabela 1. Para os inversores foram

[1] Disponíveis em: http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html

selecionados equipamentos de topologia multi-string e configurados com uma taxa de carregamento (ILR – *Inverter Loading Ratio*) de 100% a 130%.

Tabela 1 – Características do módulo fotovoltaico HiKu CS3W-430

Modelo Fabricante	Tecnologia	Característica da célula	Pmáx [W]	Vmp [V]	Voc [V]	Imp [A]	Isc [A]	Eficiência [%]	Dimensões (mm)
HIKU/Canadian Solar	c-Si	Half Cell	430	39,9	48,4	10,78	11,32	19,46	2.108x1.048

As perdas consideradas na modelagem dos sistemas fotovoltaicos são apresentadas na Tabela 2. As configurações elétricas de cada sistema foram modeladas em função das características do inversor, definindo o número de módulos em série e quantidade de *strings*.

Tabela 2 – Características das perdas consideradas nas simulações no SAM

Fatores de Perdas	Valores
Perdas na qualidade dos módulos	2,00 %
Diodos e conexões	0,50 %
Perdas resistivas no cabeamento de CC	2,00 %
Degradação do módulo (LID)	0,55 %
Perdas resistivas no cabeamento CA	1,00 %
Perda anual por acúmulo de sujeira no módulo	3,83 %

O desempenho dos sistemas fotovoltaicos foi avaliado por meio dos indicadores de produtividade (yield) e o coeficiente de performance (Performance Ratio – PR). O yield avalia a geração de eletricidade em função da potência nominal instalada do sistema FV (kWh/kWp). O PR avalia o desempenho real com o ideal, quanto mais próximo estiver de 1, mais eficaz é o sistema fotovoltaico.

4. RESULTADOS

4.1. Perfil de consumo elétrico dos *campus* da UFMS

Os consumos de eletricidade de cada *campus* são apresentados na Tabela 3. O perfil de consumo mensal é apresentado com o consumo do horário da ponta e o consumo no horário fora da ponta. Neste estudo utilizou-se somente os consumos dos horários fora da ponta para os procedimentos de cálculo em função da geração fotovoltaica dos sistemas, levando em conta um fator de compensação de 2 kWh para suprir os consumos do horário de ponta. Os consumos referem-se ao período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019.

Tabela 3– Consumo de eletricidade dos 4 *campus* da universidade, correspondente ao período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019.

Campus	**Chapadão do Sul**		**Paranaíba**		**Ponta Porã**		**Três Lagoas**	
MÊS	**Consumo Na Ponta [kWh]**	**Consumo Fora Da Ponta [kWh]**	**Consumo Na Ponta [kWh]**	**Consumo Fora Da Ponta [kWh]**	**Consumo Na Ponta [kWh]**	**Consumo Fora Da Ponta [kWh**	**Consumo Na Ponta [kWh]**	**Consumo Fora Da Ponta[kWh]**
fev	1.052	14.161	979	9.012	0	6.254	6.472	47.677
mar	1.324	14.862	3.546	12.603	0	11.322	11.900	86.616
abr	1.748	16.530	3.886	14.158	2.382	9.075	10.409	73.451
mai	1.461	15.252	3.141	11.720	2.136	8.398	9.871	65.536
jun	1.261	12.735	2.248	8.956	1.517	5.580	5.980	41.521
jul	1.010	10.925	1.432	6.949	1.103	4.706	4.782	37.793
ago	1.124	11.261	1.174	7.229	1.017	4.477	5.598	39.699
set	1.395	14.274	2.841	11.408	1.632	6.903	8.851	57.664
out	1.099	12.538	3.092	13.010	1.540	7.288	12.345	76.007
nov	1.661	18.667	4.205	15.559	2.281	9.500	11.519	69.526
dez	1.581	18.337	3.402	14.247	2.088	10.105	12.164	77.930
jan	958	11.245	1.146	10.601	694	6.631	4.526	49.092
12 meses	**15.674**	**170.787**	**31.092**	**135.452**	**16.390**	**90.239**	**104.417**	**722.512**
Consumo anual [kWh]	**186.461**		**166.544**		**106.629**		**826.929**	
Consumo anual de todos os câmpus [kWh]			**1.286.563**					

Observa-se que o *campus* de Três Lagoas apresenta o maior consumo de eletricidade, sendo que 87% do consumo ocorre nos horários fora de ponta e apenas 13% no horário de ponta. O consumo anual (Ponta e Fora da Ponta) em Três Lagoas foi de 826.929 kWh, com o maior consumo no mês de março. O segundo *campus* com o maior consumo foi de Chapadão do Sul (186,461 kWh/ano), representando 22% do consumo de Três Lagoas. O *campus* com o menor consumo foi o de Ponta Porã, que anualmente consumiu 106.629 kWh.

No estado do Mato Grosso do Sul há mais de uma distribuidora de energia, entre os 4 *campi* são atendidos por diferentes concessionárias de energia. Os *campi* de Chapadão do Sul, Paranaíba e Ponta Porã são atendidos pela Energisa e o *campus* de Três Lagoas é atendido pela Elektro. A Tabela 4 apresenta os dados de consumo anuais para distribuidora, no caso da Energisa é a soma dos consumos anuais de cada *campus*. Observa-se que o consumo dos *campi* atendidos pela Energisa representa 55% do consumo total dos quatro *campi*. De acordo com a Resolução da ANEEL 482, as unidades consumidoras que se encontram sob a mesma titularidade e sob a mesma área de concessão, é possível compensar a energia excedente de uma unidade consumidora em outra unidade.

Tabela 4 – Consumo anual dos *campi* conforme as distribuidoras de energia.

Distribuidora	**Energisa**	**Elektro**
Consumo Anual na Ponta [kWh]	63.156,00	104.417,00
Consumo Anual Fora da Ponta [kWh]	396.478,00	722.512,00
Consumo Anual Total [kWh]	459.634,00	826.929,00

4.2. Características das edificações da UFMS acerca da integração fotovoltaica

Uma das finalidades do estudo era buscar a integração dos sistemas fotovoltaicos nas coberturas das edificações sem alterar as características volumétricas. Apesar da existência de áreas amplas no entorno e nos *campi*, não era o objetivo desta pesquisa propor a instalação dos sistemas em potenciais áreas fora as edificações de ensino em si, além disso, a maior parte das áreas livres dos *campi* da Universidade são bem arborizados. Para cada *campus* foram selecionadas as edificações que apresentavam coberturas com a melhor orientação para integração dos sistemas fotovoltaicos. As edificações selecionadas foram: Bloco 2 (Chapadão do Sul), Bloco H (Paranaíba), Bloco 2 (Ponta Porã) e Bloco 6 (Três Lagoas) com base na sua orientação, disponibilidade de área de cobertura e sem elementos que proporcionem sombra na cobertura. Para minimizar o impacto dos sistemas fotovoltaicos na volumetria das edificações, foram propostos na mesma inclinação das coberturas existentes. Na Figura 1 são apresentados os croquis volumétricos das edificações selecionadas para integração dos módulos fotovoltaicos.

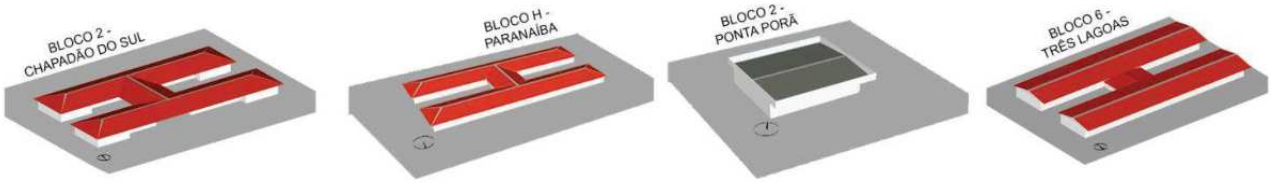

Figura 1 – Croqui volumétricos das edificações

A Tabela 5 apresentada as principais características das edificações selecionadas, como a área da cobertura, inclinação da cobertura e o desvio azimutal. Observa-se que somente o Bloco H do *campus* de Três Lagoas possui cobertura orientada para Norte, nas outras edificações as coberturas estão próximo ao quadrante Norte (Azimute entre 350° a 355°). As quatro edificações possuem coberturas orientadas para os quadrantes Norte e Sul, sendo que as edificações de Chapadão do Sul e Parnaíba a inclinação da cobertura é de 19°, em Ponta Porã é 5° e Três Lagoas 11° de inclinação.

Tabela 5 - Características das coberturas utilizadas

Campus	**Edificação**	**Área da Cobertura [m²]**	**Inclinação da cobertura [°]**	**Desvio Azimutal [°]**	**Irradiação no plano da cobertura e na orientação [kWh/m²/dia]**	**Irradiação no plano ideal [kWh/m²/dia]**
Chapadão do Sul	Bloco 2	2.123,5	19	171 351	**4,31** **5,16**	**5,17**
Paranaíba	Bloco H	2.217,8	19	175 355	**4,43** **5,37**	**5,38**
Ponta Porã	Bloco 2	420,7	5	170 350	**4,48** **4,99**	**4,88**
Três Lagoas	Bloco 6	2.076,4	11	180 0	**4,67** **5,22**	**5,22**

Observa-se que as perdas de irradiação solar nos planos das coberturas que estão próximas ao quadrante Norte são pequenas. As perdas no quadrante Sul variaram entre 9% e 17%, quanto maior a inclinação da cobertura, maior a perda de irradiação solar nas coberturas orientadas para o quadrante Sul. A edificação de Ponta Porã que possui uma cobertura com inclinação de 5° apresentou a menor perda de irradiação (9%).

4.3. Simulação dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações

Na Tabela 6 são apresentadas as características dos sistemas fotovoltaicos propostos para as edificações selecionadas, contendo informações de módulos em série, quantidade de *strings,* potência do sistema e quantidade e potência dos inversores. Os sistemas fotovoltaicos foram modelados com três potenciais de inversores: 60 kW, 27,6 KW e 23 KW.

Tabela 6 - Características dos sistemas fotovoltaicos propostos para as edificações

Campus	Edif.	Inclinação da cobertura [°]	Desvio Azimutal [°]	Potência do Módulo [W]	Quantidade de *strings*	Módulos em série	Total de módulos	Potência do sistema [kWp]	Quant. e potência dos Inversores [KW]
Chapadão do Sul	Bloco 2	19	351	430	10	15	150	64,5	1 x 60
		19			4	14	56	24,08	1 x 23
		19			5	15	75	32,25	1 x 27,6
		19	171	430	10	16	160	68,80	1 x 60
		19			5	15	75	32,25	1 x 27,6
		19			4	14	56	24,08	1 x 23
Paranaíba	Bloco H	19	355	430	10	18	180	77,40	1 x 60
		19			5	15	75	32,25	1 x 27,6
		19			5	15	75	32,25	1 x 27,6
Ponta Porã	Bloco 2	5	350	430	5	14	70	30,10	1 x 27,6
		5	170	430	5	14	70	30,10	1 x 27,6
Três Lagoas	Bloco 6	11	0	430	13	13	169	72,67	3 x 23
		11			13	13	169	72,67	3 x 23
		11	180	430	13	13	169	72,67	3 x 23
		11			13	13	169	72,67	3 x 23

Nota-se que o maior sistema proposto foi na edificação do *campus* de Três Lagoas, com potência total de 290,68 kWp. A edificação com o menor sistema proposto foi a do *campus* de Ponta Porã, totalizando 60,20 kWp. A potência total dos sistemas fotovoltaicos propostos é de 738,74 kWp.

A Figura 2 apresenta a volumetria das edificações com as propostas de integração dos sistemas FV, observa-se o respeitando da orientação e inclinação da cobertura existente.

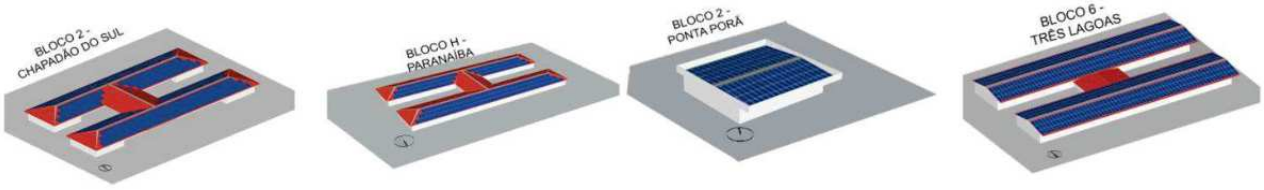

Figura 2 – Croquis volumétricos das edificações com os sistemas fotovoltaicos propostos

O desempenho dos sistemas FV propostos foi comparado com um sistema FV nas condições ideais para a sua cidade, que possui desvio azimutal 0° e a inclinação igual a latitude. Observa-se no *campus* de Chapadão do Sul (Figura 3) as maiores perdas de geração ocorrem na estação do inverno, já no período de novembro a janeiro os sistemas propostos geram mais energia que o sistema nas condições ideais. A geração FV dos sistemas propostos foi de 270.809 kWh, 58% superior ao consumo de eletricidade nos horários de fora da ponta.

Nota-se que no *campus* de Paranaíba (Figura 4) as perdas entre os sistemas propostos com o sistema ideal foram pequenas, devido a mínima diferença de desvio azimutal e a inclinação próxima dos valores da latitude. A geração anual dos sistemas FV propostos resultou em 244.616 kWh, resultando em uma geração excedente de aproximadamente 80% do consumo do horário fora de ponta. O mês de outubro apresentou a maior geração FV em Paranaíba, coincidindo com o mês de maior consumo no horário fora de ponta. Observa-se que a produção mensal e anual das edificações dos *campi* da Paranaíba e Chapadão do Sul são superiores ao consumo no horário fora da ponta nos 12 meses.

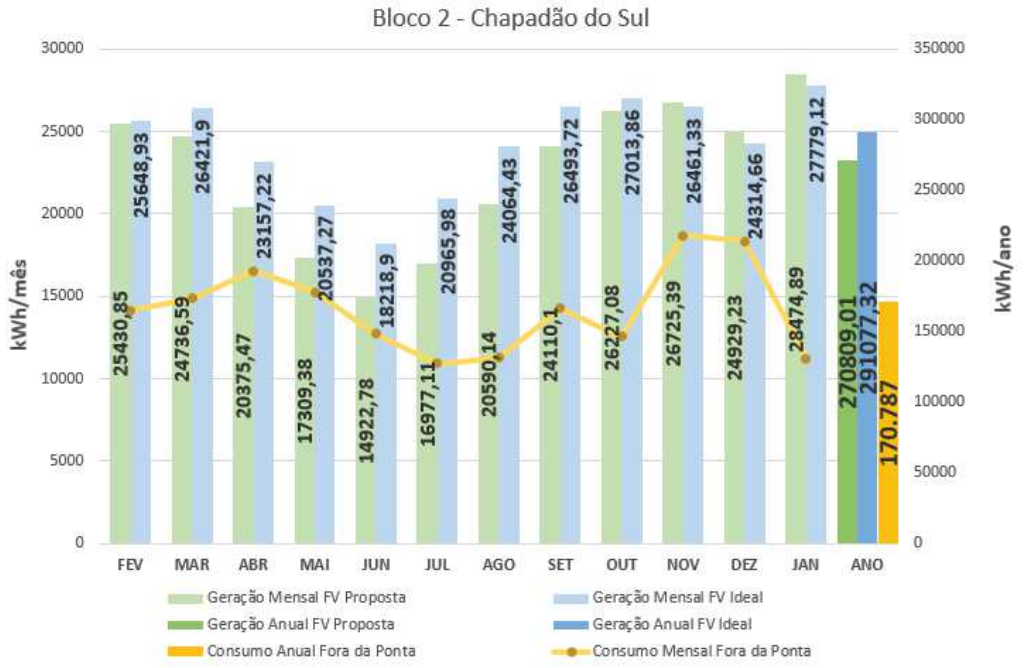

Figura 3 - Geração dos sistemas fotovoltaicos propostos para o *campus* de Chapadão do Sul e o respectivo consumo fora de ponta

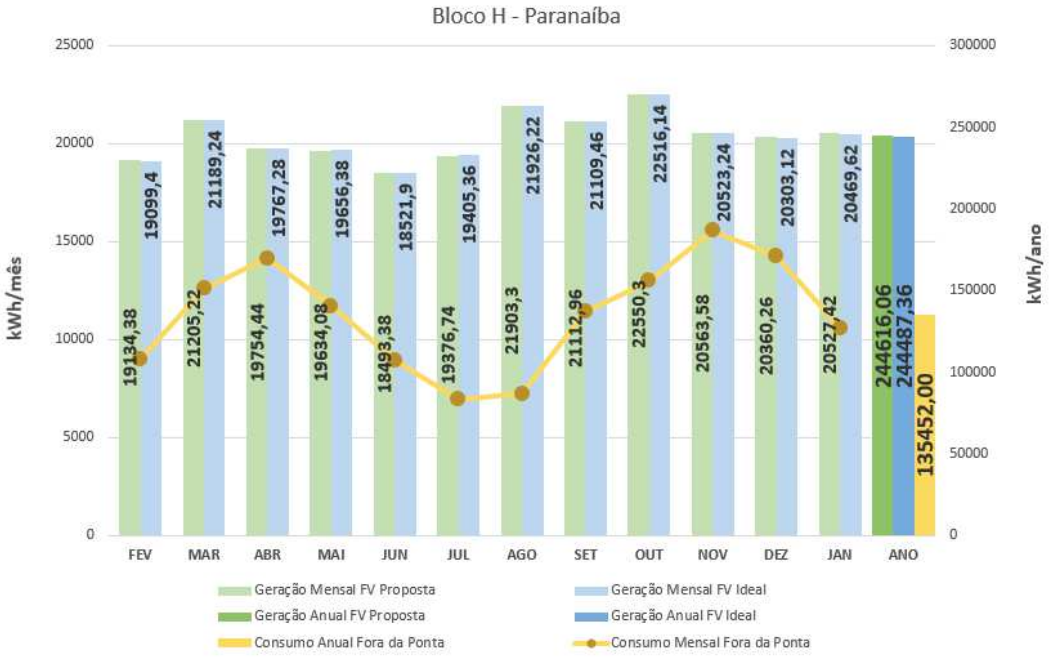

Figura 4 - Geração dos sistemas fotovoltaicos propostos para o *campus* de Parnaíba e o respectivo consumo fora de ponta

Para o *campus* Ponta Porã, observa-se (Figura 5) que a geração fotovoltaica foi superior ao consumo em cinco meses do ano, os meses com maior geração foram em novembro, dezembro e janeiro, nos dois últimos, o consumo de eletricidade é menor devido ao recesso acadêmico. A geração excedente dos cinco

meses complementa os déficits dos outros meses, resultando em uma geração excedente de 1,6% no balanço anual.

Em contrapartida aos demais sistemas fotovoltaicos propostos nos outros *campi*, os sistemas FV propostos para Três Lagoas em nenhum momento suprem o consumo de eletricidade do *campus*. A diferença de geração anual entre os sistemas FV propostos e o sistema ideal foi de 4%. O mês com maior geração FV foi em dezembro, sendo que neste mês ocorre uma redução significativa do consumo de eletricidade. O mês de março apresenta o maior consumo de eletricidade (86.616 kWh), neste mês a geração FV representou aproximadamente 35% do consumo. Observa-se que a geração fotovoltaica dos sistemas propostos representou aproximadamente 45% do consumo de eletricidade anual do *campus* de Três Lagoas.

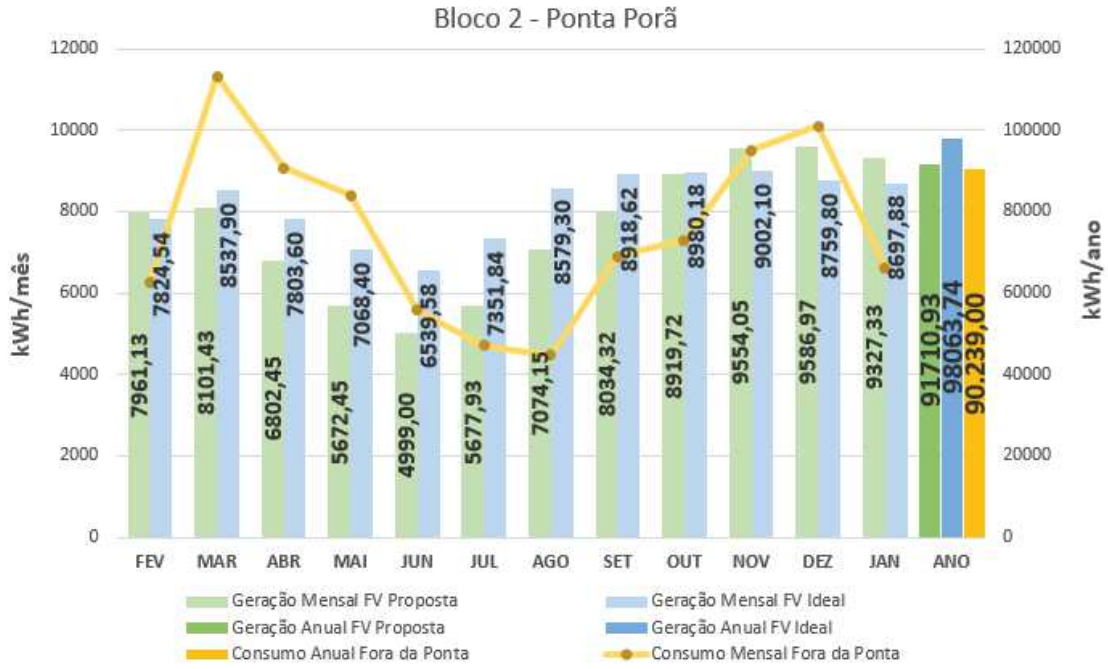

Figura 5 - Geração dos sistemas fotovoltaicos de Ponta Porã e Três Lagoas e seus respectivos consumos fora da ponta

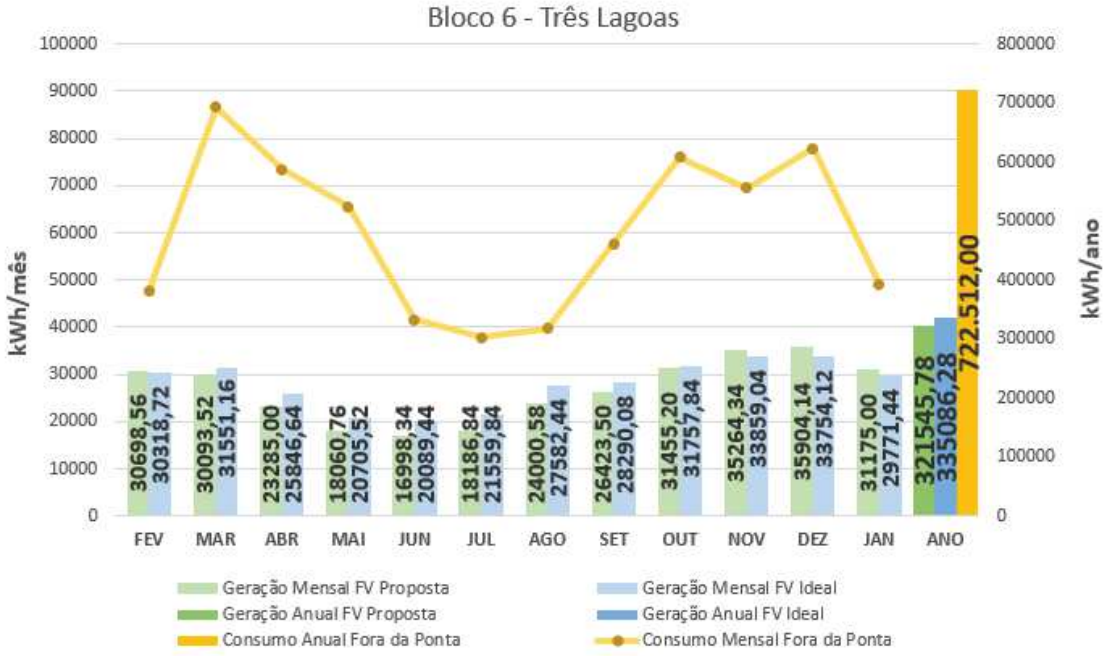

Figura 6 - Geração dos sistemas fotovoltaicos de Ponta Porã e Três Lagoas e seus respectivos consumos fora da ponta

Na Tabela 7 são apresentados os indicadores de desempenho dos sistemas fotovoltaicos propostos para as edificações. Observa-se que o coeficiente de performance dos sistemas propostos variou de 0,75 a 0,81. Em relação a produtividade dos sistemas propostos, os *campi* de Três Lagoas e Chapadão do Sul apresentaram

yields menores, variando de 1.025 kWh/kW a 1.176 kWh/kW. Os sistemas do *campus* de Paranaíba resultaram nas maiores da produtividade (*yield*), nos sistemas propostos no quadrante Norte o yield foi de 1.753 kWh/kW. Em Ponta Porã a variação do yield foi de 1.481 a 1.565 kWh/kW.

Tabela 7 - Indicadores do desempenho dos sistemas fotovoltaicos propostos

Campus	Edificação	Desvio Azimutal [°]	Potência do Módulo [W]	Quantidade de Módulos por Arranjo	Potência do Sistema FV [kWp]	Coeficiente de Performance PR	Produtividade [kWh/kW]	Geração FV [kWh]
Chapadão do Sul	Bloco 2	351	430	150	64,5	0,81	1.176	270.809
				56	24,08	0,81	1.174	
				75	32,25	0,81	1.173	
		171	430	160	68,80	0,81	1.032	
				75	32,25	0,80	1.025	
				56	24,08	0,80	1.027	
Paranaíba	Bloco H	355	430	180	77,40	0,76	1.699	244.616
				75	32,25	0,78	1.753	
				75	32,25	0,78	1.753	
Ponta Porã	Bloco 2	350	430	70	30,10	0,81	1.565	91.711
		170	430	70	30,10	0,81	1.481	
Três Lagoas	Bloco 6	0	430	169	72,67	0,80	1.149	321.545
				169	72,67	0,80	1.149	
		180	430	169	72,67	0,79	1.063	
				169	72,67	0,79	1.063	
Potência Total dos sistemas FV [kWp]				738,74				
Geração anual total dos sistemas FV [kWh]				928.682				

A potência total dos sistemas propostos foi de 738,74 kWp, resultando em uma geração FV total de 928.682,05 kWh/ano. A geração FV representa cerca de 83% do consumo de eletricidade no horário de fora de ponta dos *campi* analisados. Os sistemas propostos nos *campi* (Chapadão do Sul, Paranaíba e Ponta Porã) que estão sobre a concessão da distribuidora de Energisa resultaram em geração FV excedente, a energia excedente não pode ser compensada na unidade consumidora de Três Lagoas, devido a distribuidora de energia ser diferente neste *campus*.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados do trabalho, conclui-se que é possível a integração de sistemas fotovoltaicos nas coberturas das edificações existentes sem impactar nas características volumétricas e com bom desempenho de produtividade. Os sistemas fotovoltaicos propostos apresentaram bons indicadores de desempenho, com coeficiente de performance (PR) mínimo de 0,76 e a produtividade (*yield*) mínima foi de 1.025 kWh/kW.

As edificações de Chapadão do Sul, Paranaíba e Ponta Porã a geração FV foi superior ao consumo de eletricidade no horário fora de ponta, já a edificação de Três Lagoas não atendeu a sua demanda de eletricidade. A comparação dos sistemas FV propostos com o sistema ideal mostraram que a integração dos sistemas respeitando a inclinação da cobertura existente e a orientação da cobertura não foram as responsáveis por grandes perdas na geração FV. A energia excedente dos *campi* de Chapadão do Sul, Paranaíba e Ponta Porã não pode ser compensada na unidade consumidora de Três Lagoas, devido a diferença de concessionaria de energia. Porém a energia excedente poderia ser compensada em outros *campi* da UFMS que são atendidos pela distribuidora Energisa.

Ao todo, a integração de 738,74 kWp dos sistemas fotovoltaicos nas edificações dos *campi* da UFMS, resultou em uma geração FV anual de 928.682 kWh/ano, que corresponde a 83% do consumo anual fora da ponta dos *campi* analisados. Os resultados mostraram um bom desempenho dos sistemas propostos que, mesmo não atendendo a demanda total, proporcionam uma redução significativamente no consumo de eletricidade, visto que os maiores consumos dos *campi* provêm nos horários fora da ponta.

Observando o cenário atual do consumo de energia do Brasil, as edificações são responsáveis por grande parte do consumo de eletricidade. Ao analisar a questão dos gastos das universidades públicas, destaca-se o consumo eletricidade como um dos principais destinatários das verbas de custeio.

Os resultados mostraram que as edificações apresentam grande potencial de integração dos sistemas fotovoltaicos, não sendo necessário alterar as características arquitetônicas das edificações existentes ou buscar áreas complementares para instalação dos sistemas fotovoltaicos. As edificações têm potencial de gerar a sua própria demanda de eletricidade e até zerar seu consumo, contribuído para o Sistema Interligado Nacional (SIN), como também minimizando as perdas de energia na transmissão. Os sistemas FV integrados nas edificações públicas podem atender a demanda de eletricidade da edificação, como também reduzir as despesas de operação da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTO, Giulia Serain; SORGATO, Márcio José. Análise de integração de sistemas fotovoltaicos nas edificações da UFMS. XV Encontro Nacional de Conforto em Ambiente Construído. 2019. Acesso em: 07/10/20

BARDELIN, Cesar Endrigo Alves. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica.** 2004. PhD Thesis. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-23062005-084739/publico/DissertRacionamento.pdf> Acesso em: 24/03/21

CLEFF, Vinicius Marins et al. **Aplicação De Sistema Solar Fotovoltaico Em Instituição Federal De Ensino Superior No Extremo Sul Do Brasil.** Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/81/81>. Acesso em: 24/03/21

DA SILVA NETO, Luiz Pereira; DE OLIVEIRA PEREIRA, Priscila Martins Mateus; SORGATO, Marcio José. **Análise Da Integração De Sistemas Fotovoltaicos Em Edificações Militares Em Diferentes Climas.** In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018. 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/924/924> Acesso em: 24/03/21

DIAS, Lucas Sabino. **Incorporação de sistemas fotovoltaicos em envoltórias de Edificações: tecnologia e arquitetura**. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, University of São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/D.16.2014.tde-01072014-112103. Disponível em:<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-01072014-112103/publico/DiasLucas_IncorporacaoPVemEdicicios.pdf> Acesso em: 24/03/21

DIDONÉ, Evelise Leite; WAGNER, Andreas; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV.** Ambiente Construído, v. 14, n. 3, p. 27-42, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ac/v14n3/03.pdf> Acesso em: 07/10/20

ÉPOCA NEGÓCIOS**. Universidade Federal do Paraná inaugura a maior usina solar do Brasil construída em estacionamento**. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2020/01/universidade-federal-do-parana-inaugura-maior-usina-solar-do-brasil-construida-em-estacionamento.html>. Acesso em: 27/06/21.

GOMES, Anny. **Modelo De Projeto De Uma Planta Fotovoltaica De Microgeração Para Capacitação Em Energia Solar.** [s.l.]:, 2017. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021935.pdf>. Acesso em: 07/10/20

PACHECO, Miguel Teixeira Gomes; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. **Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero.** Florianópolis: CB3E, 2013. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/ProposicaoEstrategiasEnergiaZero 28082013.pdf > Acesso em: 07/10/20

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 26/06/21

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 687**, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 26/06/21

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e 213 interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis: LABSOLAR, 2004. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf> Acesso em: 24/03/21

SANTOS, Ísis Portolan dos et al. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura.** 2013. Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Isis_Portolan_dos_Santos.pdf> Acesso em: 07/10/20

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. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117310595?via%3Dihub> Acesso em: 07/10/20

ZOMER, Clarissa Debiazi et al. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações.** 2014. Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Clarissa_Debiazi_Zomer.pdf> Acesso em: 07/10/20