

MICRO USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DO CAMPUS CENTRAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL: DESCRIÇÃO E ANÁLISE INICIAL DO DESEMPENHO

Leandro Nunes de Souza

Luiza de Brum Santos

Daniel Malcum Trein

Kerolain Pires Schwengber

Rafael Haag – rafael-haag@uergs.edu.br

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Porto Alegre, UERGS.

Resumo. Este artigo apresenta uma descrição e análise de desempenho inicial para uma micro usina solar fotovoltaica conectada à rede instalada no campus central da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, originada através do projeto de desenvolvimento chamado UERGS 20+. A usina utiliza apenas microinversores, possui uma potência de 30,41 kWp e está dividida em três arranjos, sendo dois instalados na cobertura de um pavilhão e outro instalado em solo, com módulos fotovoltaicos de características elétricas e mecânicas distintas para uso em atividades de ensino, pesquisa e extensão. São descritos todos os principais componentes da micro usina, como painéis solares, microinversores, cabeamento utilizado para circuitos de alimentação e dispositivos de proteção. Através do PV*SOL, foi gerada uma simulação de desempenho para a MUSF e comparada com os dados reais obtidos pelo monitoramento remoto no período de março a outubro de 2023.

Palavras-chave: Micro Usina Solar Fotovoltaica, Energia Solar, Desempenho

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), no ano de 2022, deu início às atividades acadêmicas no seu novo campus central, localizado no centro de Porto Alegre, após mudança da sede da unidade acadêmica que anteriormente estava situada na zona leste da capital gaúcha. Este novo campus da UERGS anteriormente abrigava parte da estrutura da Fundação de Ciência e Tecnologia (Cientec) que foi extinta no ano de 2017. Além das obras iniciadas em 2021 para abrigar a nova estrutura acadêmica da universidade, foi proposta a instalação de uma micro usina solar fotovoltaica (MUSF) no campus da universidade. O recurso financeiro para instalação da micro usina solar foi oriundo do orçamento vinculado ao projeto de desenvolvimento da universidade denominado UERGS 20+ (UERGS, 2023). Essa MUSF, além de impactar positivamente na redução dos custos de energia elétrica, também funciona como um laboratório aberto, principalmente aos alunos do curso de Engenharia de Energia (primeiro a ser criado no Brasil no ano de 2002) da UERGS. A MUSF, mesmo antes do início da sua operação em fevereiro de 2023, tem servido como um excelente ambiente para pesquisa e análise dos inúmeros aspectos construtivos e de operação de uma usina fotovoltaica de pequeno porte. Neste trabalho, apresentamos uma breve descrição do projeto, implantação, operação e primeiros resultados de geração de energia elétrica da MUSF de 30,41 kWp da UERGS.

2. LOCALIZAÇÃO DA MICRO USINA FOTOVOLTAICA

A micro usina solar fotovoltaica está localizada no Campus Central da UERGS, situada na rua Washington Luiz nº 675, no Centro Histórico da cidade de Porto Alegre-RS (30°02'11.3"S, 51°14'05.4"W). A Fig. 1 apresenta a localização do campus central da UERGS e os locais de instalação da MUSF a partir de imagens de satélite disponibilizadas pelo aplicativo Google Earth (GOOGLE, 2023).

A MUSF foi projetada para compensação local e está interligada à rede de distribuição operada pela empresa CEEE Equatorial Energia. A unidade consumidora (UC) está enquadrada na modalidade Poder público / Administração Pública Estadual, com fornecimento trifásico, conectada em média tensão de 13,8kV e reduzida para 127/220V por meio de subestação particular.

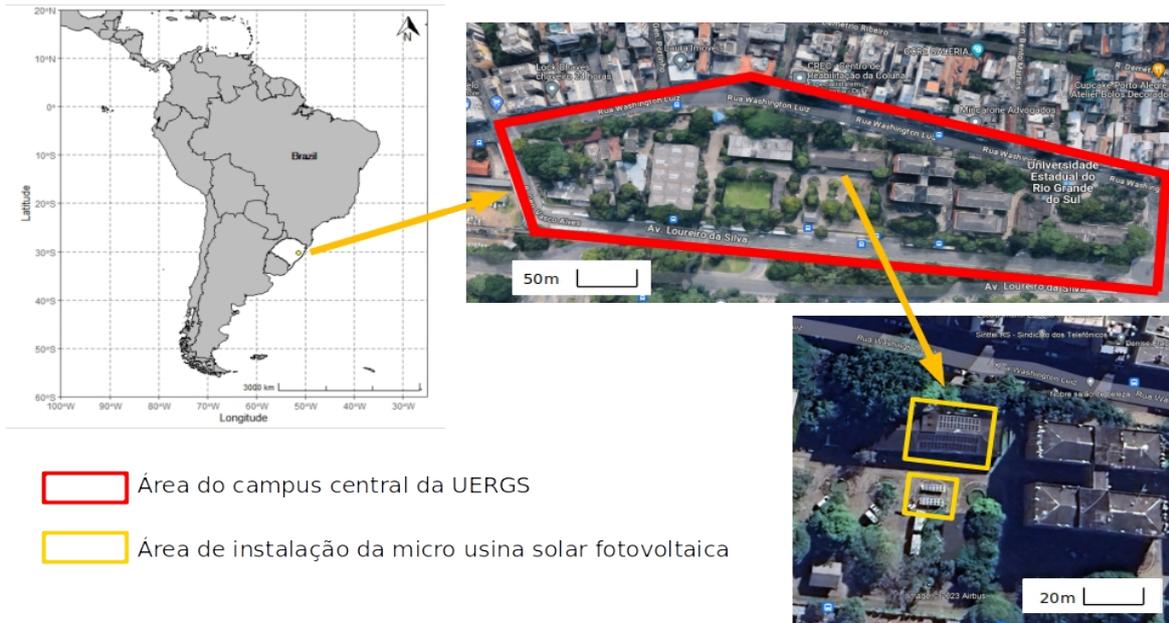


Figura 1- Localização da Micro Usina Solar Fotovoltaica no Campus Central da UERGS no centro da cidade de Porto Alegre. Fonte: adaptado de Google Earth, 2023.

3. DESCRIÇÃO GERAL DA MICRO USINA FOTOVOLTAICA

A micro usina possui potência total de 30,41 kWp e está dividida em 3 arranjos distintos, sendo 2 arranjos instalados sobre telhado e outro no solo. Em função do número de arranjos e dos efeitos de sombreamento no local de instalação, a MUSF foi projetada para fazer uso de microinversores. Um dos arranjos instalados sobre o telhado está voltado para o Norte (Fig. 2 (a) e possui 22 módulos fotovoltaicos da marca JA Solar - modelo JAM72D20-455/MB e potência de 455 Wp. O outro arranjo sobre o telhado é composto por 33 módulos iguais, porém voltados para o Sul (Fig. 2 (b)). Ambos os arranjos sobre o telhado possuem uma inclinação de aproximadamente 15° graus, com azimute de 6° para o arranjo voltado ao norte, e 186° para o arranjo voltado ao sul.



Figura 2 – a:) vista da face norte e em b) a face sul do sub-arranjo instalado na cobertura da universidade.

O arranjo da MUSF instalado em estruturas metálicas galvanizadas no solo (Fig. 3), é formado por 12 módulos FV com 6 pares de potências e tecnologias distintas, de modelos JAM72S30-540/MR, JAM72D20-455/MB, CS3W-410P, RSM40-8-405M, RSM144-7-450M e ZXMG6-NH144-430/M, com potências nominais de 540 Wp, 455 Wp, 410 Wp, 405 Wp, 450 Wp e 430Wp, respectivamente. O arranjo em solo possui inclinação de cerca de 25° graus e orientação de 5° voltados ao norte. A finalidade principal deste arranjo em solo é o uso em atividades de ensino, pesquisa e extensão,

envolvendo os professores, alunos e comunidade em geral, seguindo o exemplo de outras MUSF instaladas em universidades, institutos federais, escolas e centros de pesquisa (Mendes e Pan, 2020; Raimo *et al.*, 2018).



Figura 3 – Vista horizontal do arranjo da micro usina em solo: a) módulo JAM72S30-540/MR; b) módulo JAM72D20-455/MB; c) módulo CS3W-410P; d) módulo RSM144-7-450M; e) módulo ZXM6-NH144-430/M; f) módulo RSM40-8-405M.

O sistema utiliza 17 microinversores monofásicos de 1,5 kWp de saída, tensão nominal de 220V e 4 entradas com MPPT'S independentes, instalados embaixo dos painéis utilizando a mesma estrutura de fixação dos módulos FV (Fig. 4). Este tipo de inversor é muito utilizado em instalações que possuem situações de sombreamento não solucionáveis, estruturas de fixação de painéis com diferentes ângulos de inclinação e direção e são também indicados para monitoramento de instalações de pequeno porte, já que fazem o controle do sistema módulo a módulo. (Garcês, 2023).

Ao todo, há 25,5kW de potência instalada em microinversores, sendo que cada equipamento possui um fator de dimensionamento do inversor (FDI) em, no máximo, 75%. Os sistemas fotovoltaicos são geralmente projetados considerando a potência nominal de saída do inversor menor do que a potência pico do gerador, resultando em uma otimização do desempenho global do sistema, principalmente em regiões em que a irradiação solar não atinge valores elevados por longos períodos e o inversor acaba operando abaixo do seu limite de potência (Decker *et al.*, 1992; Kil e Weiden, 1994; Keller e Affolter, 1995; Schalkwijk *et al.* 1997 apud Rampinelli *et al.*, 2007). O FDI pode ser obtido através da Eq. (1), onde P_{ACnom} corresponde à potência nominal de saída do inversor, e P_{STD} à potência pico do gerador em condições padrão de teste (Rampinelli *et al.*, 2007).

$$FDI = \frac{P_{ACnom}}{P_{STD}} \quad (1)$$



Figura 4 – Vista do microinversor fixado na estrutura dos módulos FV.

3.1 Módulos FV e Microinversores

A micro usina contém um total de 67 módulos, sendo 6 modelos de 5 fabricantes diferentes com tecnologias e especificações elétricas variadas distinguidos na Tab. 1 e Tab. 2.

Tabela 1 – Especificação dos fabricantes, modelos e quantidades dos módulos

FABRICANTE	MODELO	QUANTIDADE
JA Solar	JAM72S30-540/MR	2 Unidades
JA Solar	JAM72D20-455/MB	57 Unidades
Canadian Solar	CS3W-410P	2 Unidades
Risen Energy	RSM40-8-405M	2 Unidades
Risen Energy	RSM144-7-450M	2 Unidades
ZNShine	ZXM6-NH144-430/M	2 Unidades

Tabela 2 – Especificações elétricas dos módulos para as condições de irradiância 1.000 W/m², temperatura de célula 25 °C e espectro AM 1,5.

CARACTERÍSTICA	VALOR ESPECÍFICO PARA CADA MÓDULO					
	JAM72S30-540/MR	JAM72D20-455/MB	CS3W-410P	RSM40-8-405M	RSM144-7-450M	ZXM6-NH444-430/M
Máxima Potência	540 W	455 W	410 W	405 W	450 W	430 W
Tensão de Circuito Aberto	49,6 V	49,75 V	47,6 V	41,6 V	49,7 V	49,5 V
Tensão de Máxima Potência	41,64 V	41,52 V	39,1 V	34,64 V	41,3 V	40,6 V
Corrente de Curto-Circuito	13,86 A	11,46 A	11,06 A	12,4 A	11,5 A	11,19 A
Corrente de Máxima Potência	12,97 A	10,96 A	10,49 A	11,7 A	10,9 A	10,6 A
Coeficiente α	0,045% / °C	0,044% / °C	0,05% / °C	0,04% / °C	0,05% / °C	0,05% / °C
Coeficiente β	-0,275% / °C	-0,272% / °C	-0,28% / °C	-0,25% / °C	-0,29% / °C	-0,29% / °C
Tipo de Célula	Mono	Mono	Poli	Mono	Mono	Mono
Eficiência	20,9 %	20,0 %	18,6 %	21,1 %	20,4 %	19,78 %

Os microinversores utilizados na usina são da fabricante APSsystems, modelo QS1A-BR, com classificação de proteção IP67 e em conformidade com as normas ABNT NBR 16149, ABNT 16150 e ABNT NBR IEC 62116. Cada microinversor possui 4 entradas, podendo conectar-se a até 4 módulos com MPPT independente e contendo função de monitoramento (APSystems, 2020). As demais características do microinversor estão representadas na Tab. 3.

Tabela 3 – Especificações elétricas do microinversor

CARACTERÍSTICA	VALOR
Número de Entradas	4 Entradas
Faixa de Tensão de Entrada	30 V - 52 V
Tensão Máxima de Entrada	60 V
Corrente Máxima de Entrada	13.3 A × 4
Tensão Nominal de Saída	220 V
Faixa de Tensão Ajustável de Saída	150 V - 280 V
Corrente Nominal de Saída	6,81 A
Eficiência Máxima	96,5 %

3.2 Condutores e Conexões no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)

Os microinversores foram divididos em 6 circuitos de até 3 equipamentos em paralelo, sendo conectados através de um cabo tronco específico para os mesmos com capacidade de condução de corrente máxima de 25A. O cabeamento para a conexão no QGBT foi percorrido por infraestrutura aparente, com eletrodutos galvanizados e caixas de passagem com proteção IP65, dimensionado conforme definido pela ABNT NBR 5410 (2004), método de referência B1, respeitando os critérios de capacidade de condução do condutor. Cada circuito utiliza condutores unipolares de cobre com seção de 6 mm² e isolamento em PVC, sendo 2 cabos para as fases conectadas ao disjuntor bipolar e 1 cabo de proteção comum para todos os circuitos conectado ao barramento de Terra, respeitando o critério 6.4.3.1.5 da ABNT NBR 5410 (2004).

A usina possui 2 QGBT's, sendo um localizado no prédio 6 (QGBT I), e outro próximo a usina em solo (QGBT II), cada um contendo os disjuntores e Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) paralelos às fases representados pela Tab. 4.

Tabela 4 – Especificações dos circuitos contidos nos QGBT's

Circuito	QGBT	Quantidade de microinversores	Corrente máxima do circuito	Disjuntor de proteção	DPS
Circuito nº 1	QGBT I	3	20,43 A	2x25A	2 DPS classe II
Circuito nº 2	QGBT I	3	20,43 A	2x25A	2 DPS classe II
Circuito nº 3	QGBT I	3	20,43 A	2x25A	2 DPS classe II
Circuito nº 4	QGBT I	3	20,43 A	2x25A	2 DPS classe II
Circuito nº 5	QGBT I	2	13,62 A	2x16A	2 DPS classe II
Circuito nº 6	QGBT II	3	20,43 A	2x25A	2 DPS classe II

Os disjuntores dos circuitos estão de acordo com o item 5.3.4.1 da NBR 5410, levando em consideração que as características de atuação devem obedecer às Eq (2) e Eq. (3):

$$I_B \leq I_n \leq I_z; \tag{2}$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z, \tag{3}$$

onde I_B corresponde à corrente de projeto do circuito, I_z corresponde à capacidade de condução de corrente dos condutores nas condições previstas para sua instalação, I_n corresponde à corrente nominal do dispositivo de proteção, e I_2 corresponde à corrente convencional de atuação para disjuntores, sendo $1,45 \times I_n$ conforme a NBR IEC 60898 (2004).

A Fig. 5 apresenta o diagrama unifilar simplificado para a MUSF da UERGS, detalhando os QGBT's e seus respectivos circuitos, e sua conexão à subestação.

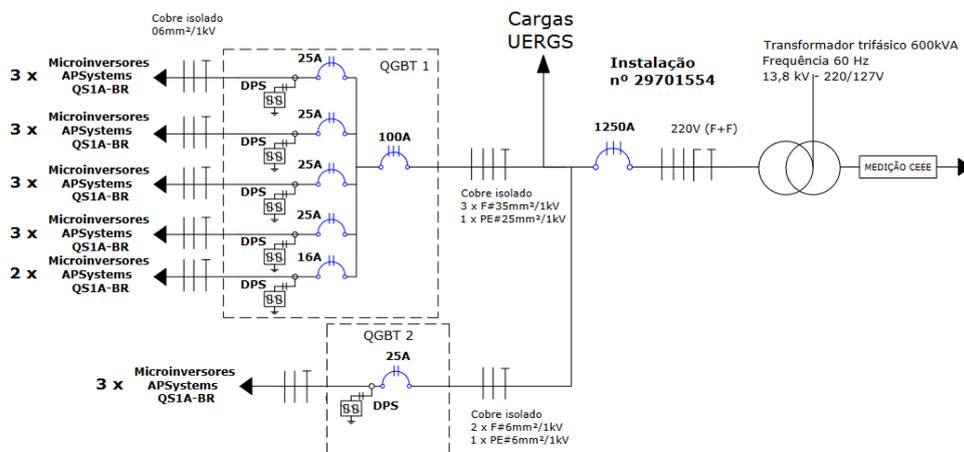


Figura 5 – Diagrama unifilar simplificado da MUSF instalada no campus central da UERGS.

3.3 Monitoramento remoto da MUSF

O sistema de monitoramento da MUSF é desenvolvido pela própria fabricante do microinversor, conhecido como Monitoramento e Análise de Energia (EMA). Os microinversores são pareados com a Unidade de Comunicação de Energia (ECU) que, através de uma conexão Wi-Fi, é capaz de reportar em tempo real os dados de geração, potência, tensão CA e CC, corrente CA e CC, entre outros dados ao monitoramento. Também é possível observar as tendências de desempenho, alertas e ajustar parâmetros dos equipamentos remotamente quando necessário (APSystems, 2020). A Fig. 6 apresenta uma das telas do sistema de monitoramento remoto onde pode ser visualizado em tempo real (atualização a cada 5 minutos) a potência total dos módulos, produtividade diária da MUSF na última semana, entre outras informações.

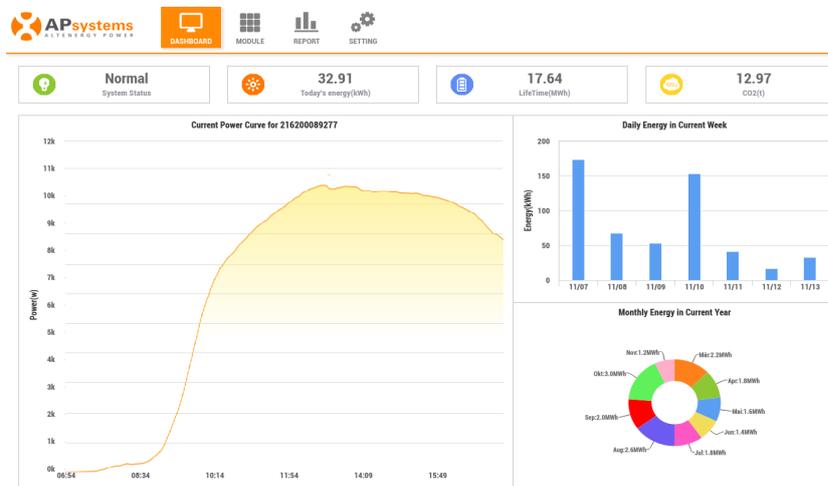


Figura 6 – Potência dos módulos em tempo real através do monitoramento

4. SIMULAÇÃO DA MICRO USINA FV

O programa utilizado na simulação computacional da MUSF foi o PV*SOL, um software de modelagem 3D e simulação fotovoltaica desenvolvido pela empresa alemã Valentin Software que abrange uma análise completa do sistema, permitindo prever perdas potenciais de geração e otimizar o layout de instalação para maximizar a eficiência energética. O PV*SOL permite simular o desempenho de sistemas fotovoltaicos ao longo do tempo, levando em consideração fatores como a irradiação solar, inclinação, orientação, sombreamento, condições meteorológicas e outros parâmetros. O software possui um extenso banco de dados dos produtos, incluindo mais de 21900 módulos e 5500 inversores que são atualizados regularmente pelos próprios fabricantes (Valentin Software, 2023).

4.1 Parâmetros utilizados na simulação

O banco de dados meteorológicos utilizado para a simulação da MUSF foi o Meteonorm, que consiste em mais de 8.000 estações meteorológicas, cinco satélites geoestacionários e uma climatologia de aerossóis calibrada globalmente (Meteonorm, 2023). A versão utilizada foi a Meteonorm 7.2c3, com registros no período de 1991 à 2010 com localização em Porto Alegre (30°01'1" S, 51°13'01" W). Sua soma anual de irradiação global chega a 1660 kWh/m², com temperatura média de 20,3 °C anual. Os modelos utilizados para radiação difusa e radiação no nível inclinado foram Hofmann e Hay & Davies, respectivamente, e o intervalo de simulação foi programado para 1 hora. Para considerar as perdas por cabeamento, foi estimado uma distância média de 8 metros para cada condutor CA, enquanto para o cabeamento CC foi ajustado um valor de 1,5 metro para cada polo dos módulos (positivo e negativo), tendo em vista que eles são conectados diretamente no microinversor.

4.2 Rendimento da MUSF

A geração de energia elétrica anual estimada para a MUSF de acordo com a simulação realizada no PV*SOL, é de 35.931 kWh/ano, equivalente a uma geração média de 2994 kWh/mês. Para um sistema de 30,41 kWp, isto representa uma produtividade (Y_f) de 1.181 kWh/kWp/ano obtido pela Eq. (4), onde E_p representa a energia gerada e, P_o , a potência nominal do gerador (Marion *et al.*, 2005).

$$Y_f = \frac{E_p}{P_o} \quad (4)$$

Em relação a eficiência da MUSF, a taxa de desempenho (TD) teórica calculada pelo software foi de 76,1%. Este valor pode ser obtido conforme a Eq. (5), onde G_{stc} representa a irradiância de referência nas condições padrão de teste e H representa a irradiação total no plano dos módulos FV (ABNT NBR 16274, 2014).

$$TD = \frac{E_p}{P_o} \cdot \frac{G_{stc}}{H} \quad (5)$$

4.3 Estimativas de perdas de geração de energia

Para a localização da MUSF, o principal fator responsável pelas perdas do sistema calculado pelo PV*SOL foi o sombreamento causado pela arborização no fim da tarde e do prédio 5 do campus no início da manhã. Para simbolizar as sombras geradas pelos obstáculos ao redor da MUSF, foi simulada a posição do sol para o solstício de inverno e de verão nos horários de 12h00 e 15h00, representadas pela Fig. 7 e Fig. 8. Nota-se que no inverno o sombreamento é amplificado devido ao movimento da Terra em relação ao sol com sua inclinação, resultando também em dias mais curtos e noites mais longas.

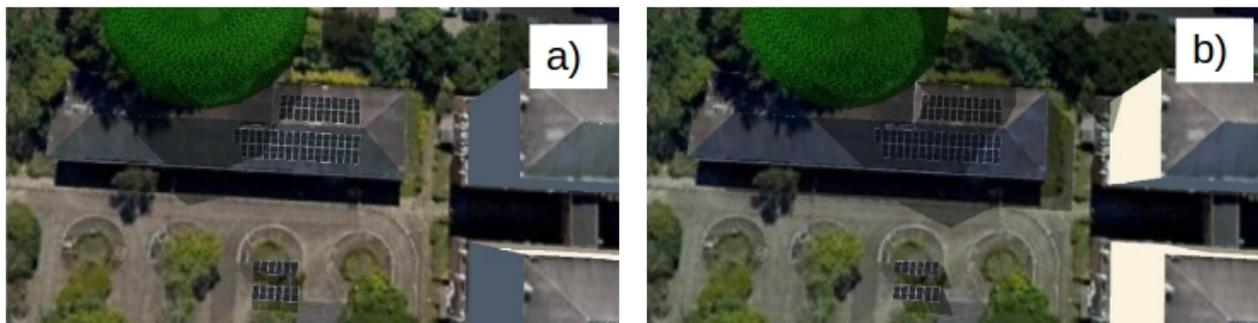


Figura 7 – Sombreamento durante Solstício de inverno às 12h00 em a) e durante o Solstício de inverno às 15h00 em b).

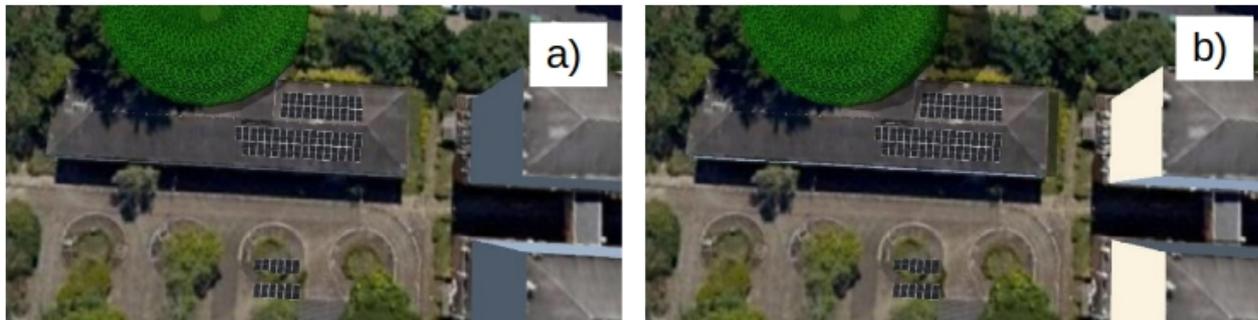


Figura 8 – Sombreamento durante Solstício de verão às 12h00 em a) e durante o Solstício de verão às 15h00 em b).

As Fig. 9a e Fig. 9b esboçam a taxa de sombreamento anual para cada módulo FV devido aos obstáculos ao redor da MUSF. Por situar-se na região central de Porto Alegre, a MUSF apresenta também um alto índice de sujeira nos módulos FV pela poluição gerada pelos veículos que circulam na região central da cidade e pelas folhas das árvores próximas ao telhado. Considerando estes fatores, foi adotado na simulação o valor de 6% em perdas de potência devido à sujeira nos painéis FV, visto que se estima variar entre 1,5% à 6,2% (Kimber et al., 2006). A Tab. 5 apresenta outras estimativas de perdas em geração para a MUSF calculados pelo PV*SOL.

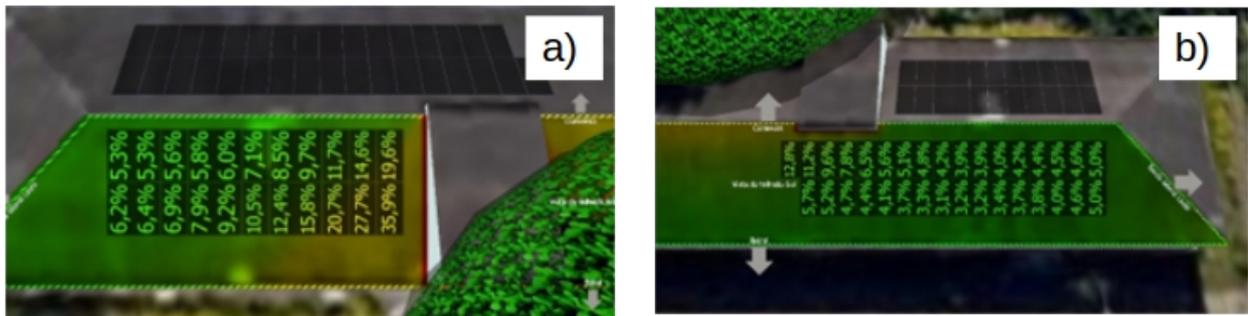


Figura - 9: Perda de geração anual no telhado Norte em a) e perda de geração anual no telhado Sul em b).

Tabela 5 – Perdas calculadas pelo PV*SOL

Perdas	Valor em %
Desvio em relação ao espectro padrão	-1,00%
Orientação e inclinação do plano dos módulos	-2,61%
Sombreamento independente do módulo	-2,96%
Reflexão na superfície de módulo	-1,12%
Sujeira	-6,00%
Sombra parcial, específica do módulo	-8,72%
Comportamento sob baixa irradiação	-0,80%
Desvio em relação à temperatura nominal do módulo	-5,00%
Diodos	-0,14%
Conversão CC/CA.	-4,11%
Perdas no cabeamento elétrico	-0,22%

5. ANÁLISE DE DESEMPENHO

A MUSF entrou em operação em março de 2023, portanto, foram utilizados os dados do monitoramento entre março e outubro de 2023 para análise do desempenho real. Apesar da alta taxa de sombreamento vista na Fig. 12, a TD real da apresentou resultado de 85% conforme a Eq. (6), onde E_t representa a energia total produzida no período e, E_o , a energia teórica prevista entre março e outubro através da simulação com o PV*SOL.

$$TD = \frac{E_t}{E_o} \quad (6)$$

O resultado está acima da média de outras usinas fotovoltaicas que, segundo Pinho e Galdino (2014), costumam variar entre 70% à 80% para as condições de radiação solar encontradas no Brasil. O desempenho para a MUSF em questão pode ser atribuído principalmente devido ao uso de microinversores que, com o uso da tecnologia de MPPT à nível de módulo, é capaz de reduzir as perdas por *mismatch*.

Pode-se observar na Tab. 6 a taxa de desempenho entre geração estimada comparada com a geração real no período mencionado, com suas respectivas diferenças de geração em porcentagem. Para a geração total nestes oito meses de operação, houve uma diferença de geração de energia de 14% abaixo do esperado. Considerando mês a mês a diferença torna-se maior, chegando à 34% de diferença para o mês de março. Isto ocorre devido a fatores climáticos e operacionais que, por cerca de cinco dias, esteve com falha na conexão CA para 2 circuitos, resultando em 5 microinversores inoperantes (total de 24 módulos FV). Contudo, ao se considerar a geração no período completo, a MUSF obteve um bom rendimento comparada à simulação através do PV*SOL.

Tabela 6 – Comparação entre a geração real e estimada pela simulação

Mês	Geração estimada (kWh)	Geração real (kWh)	TD	Diferença (%)
Março	3361	2227	66%	-34%
Abril	2502	1849	74%	-26%
Maio	1938	1575	81%	-19%
Junho	1441	1416	98%	-2%
Julho	1611	1755	109%	9%
Agosto	2106	2613	124%	24%
Setembro	2628	2017	77%	-23%
Outubro	3644	2953	81%	-19%
Total	19231	16405	85%	-15%

A figura 10 apresenta o comparativo entre a geração estimada e a geração real para o período em que foi analisado o desempenho da usina.

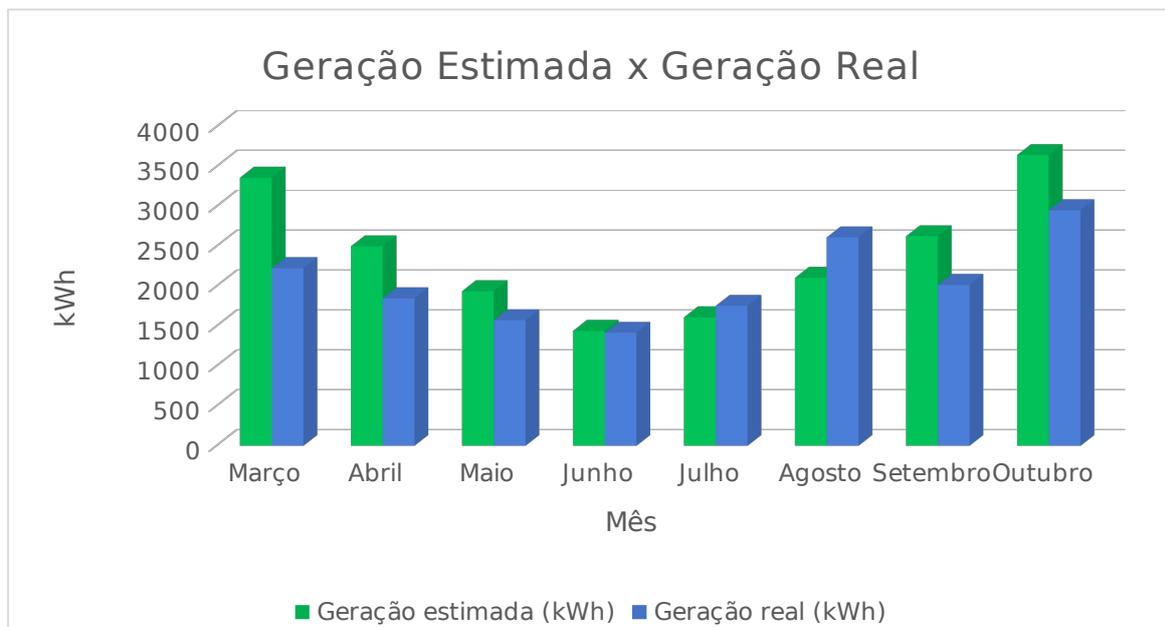


Figura 10: Comparativo entre a geração real e geração estimada pela simulação no PV*SOL.

6. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma descrição da micro usina fotovoltaica conectada à rede para o Campus Central da UERGS, localizado no centro da cidade de Porto Alegre/RS. Foram apresentados os principais componentes responsáveis pela operação da usina, como painéis solares utilizados, microinversores, dispositivos de proteção, sendo discriminados de acordo com suas respectivas características gerais. A infraestrutura utilizada na MUSF também foi abordada de forma simplificada, apresentando a disposição dos três arranjos do sistema instalado.

Foi utilizado o software PV*SOL para simular a produtividade energética do sistema e os possíveis efeitos de sombreamento a partir de um modelo tridimensional dos prédios e estruturas próximas dos três arranjos de módulos fotovoltaicos da micro usina solar. O sistema simulado apresentou uma geração média de 2994 kWh/mês e uma taxa de desempenho de 76,1%, sendo considerado um valor adequado para micro usinas instaladas no Brasil.

Em relação à geração de energia real da MUSF, o total para o período de 8 meses (Março a Outubro de 2023) apresentou um resultado satisfatório em relação à geração simulada pelo software, com TD médio de 85%. A variação neste período analisado dos resultados da simulação em relação aos resultados reais, pode ter sido motivada pela diferença dos valores climáticos reais em comparação com o banco de dados utilizado pelo modelo computacional e falhas de operação de alguns equipamentos durante o mês de março, mês que apresentou a menor TD (66%).

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de Iniciação Científica. Os autores também agradecem à Universidade Estadual do Rio Grande do Sul pelo apoio acadêmico e acessibilidade ao local de instalação da MUSF.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023. ANEEL sinaliza novo recorde para expansão da geração em 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-sinaliza-novo-recorde-para-expansao-da-geracao-em-2023>>. Acesso em: 25 de nov. 2023.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Brasil, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características de conexão com a rede elétrica de distribuição. Brasil, 2013.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 16149. ABNT NBR 16150: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade. Brasil, 2013.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Brasil, 2014.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 16149. ABNT NBR IEC 60898: Disjuntores para proteção contra sobrecorrentes para instalações elétricas de baixa tensão. Brasil, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 16149. ABNT NBR IEC 62116: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Brasil, 2012.
- Ema Manager, 2023. Potência Diária. Disponível em: <<https://apsystemsema.com>>. Acesso em: 14 de nov. 2023.
- Garcês, J. V. M., 2023. Modelagem 3D e Análise de Viabilidade da Implantação de uma Usina Fotovoltaica na Cidade Universitária da UEA. Monografia (graduação), UEA, Manaus.
- Google, 2023. Google Earth website. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 13 de nov. 2023.
- Kimber, A. et al., 2006. The Effect of Soiling on Large Grid-Connected Photovoltaic Systems in California and the Southwest Region of the United States - IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference, Waikoloa, HI, EUA, pp. 2391-2395
- Marion, B. et al., 2005. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. - 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition, Lake Buena Vista, Florida, EUA., pp. 1-6.
- Mendes, T. F., 2020. Dimensionamento de uma Usina Fotovoltaica Conectada à Rede para o Campus Litoral Norte da UFRGS, Monografia (graduação), UFRGS, Tramandaí.
- Meteonorm, 2023. Meteonorm Software. Disponível em: <<https://meteonorm.com/en/>>. Acesso em: 09 de nov. 2023.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.
- Rampinelli, G. A. et al., 2007. Influence of the Sizing Factor of the Inverter on the Correlation Between Electric Power and Solar Irradiance in a Grid-connected Photovoltaic Plant. - 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, pp. 3148 – 3152.
- Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2023. Projeto Estratégico UERGS 20+. 2023. Disponível em: <<https://www.uergs.edu.br/projeto-uergs-20-mais>>. Acesso em: 09 de nov. 2023.
- Valentin Software, 2023. PV*SOL Premium. Disponível em: <<https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium>>. Acesso em: 13 de nov. 2023.
- Raimo, P. A. et al. Análise de Desempenho da Usina Fotovoltaica de 70 Kw. Estudo de Caso: Instituto Federal – Campus São Paulo. VII CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, abr. 2020.

MICRO SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANT AT THE CENTRAL CAMPUS OF THE STATE UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL: DESCRIPTION AND INITIAL PERFORMANCE ANALYSIS

Abstract. *This article presents a description and initial performance analysis of a micro solar photovoltaic plant (MSPP) installed at the central campus of the State University of Rio Grande do Sul, originated through the development project named UERGS 20+. The micro solar photovoltaic plant exclusively employs microinverters, has a capacity of 30.41 kWp, and is divided into three arrays, with two installed on the roof of a pavilion and another on the ground, featuring photovoltaic modules with distinct electrical and mechanical characteristics for use in teaching, research, and outreach activities. All key components of the micro solar photovoltaic plant, such as solar panels, microinverters, cabling used for power circuits, and protection devices, are described. Using PV*SOL, a performance simulation was generated for the micro solar photovoltaic plant and compared with actual data obtained through remote monitoring from March to October 2023..*

Keywords: *Micro solar photovoltaic plant, Solar Energy, Performance.*