

# **IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DA UTFPR – CURITIBA CAMPUS NEOVILLE**

**Marianna Aranda Lima** – mariannarandalima@gmail.com

**Jair Urbanetz Junior** – urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia – PPGSE,  
Laboratório de Energia Solar - LABENS

**Resumo.** *O aumento da demanda por energia elétrica vem crescendo, é preciso buscar soluções alternativas para suprir essa necessidade. Uma opção é possibilitar que a geração esteja mais próxima do consumo como a geração solar fotovoltaica. Uma característica desta fonte de geração é sua variabilidade e intermitência, que compromete a geração em determinados períodos do dia, interferindo na disponibilidade da energia. Uma solução viável para minimizar estes efeitos é a integração dessa fonte com um sistema de armazenamento de energia, garantindo o fornecimento de energia em horários sem geração ou de geração insuficiente. O artigo apresenta as etapas de instalação de um projeto de 10,72 kWp de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com Armazenamento de Energia com baterias de chumbo-ácido na UTFPR-Curitiba Campus Neoville. O projeto conta com 32 módulos de silício policristalino de 335 W, dois inversores bidirecionais de 5 kW e 80 baterias de chumbo-ácido de 60 Ah. Desenvolvido em um projeto de pesquisa e desenvolvimento em parceria com a Copel, que forneceu apoio financeiro. O projeto partiu de análises prévias do local de instalação, para posterior delimitação da área e preparo do terreno com colocação de lona e brita, foram feitas as sapatas para a fixação da estrutura metálica, a colocação dos módulos e instalação dos inversores e do banco de baterias em um abrigo. Os resultados obtidos na geração fotovoltaica foram de 5,29 MWh de maio a dezembro de 2020 e 2,57 MWh de janeiro a junho de 2021, em relação a energia injetada do banco de baterias os valores foram de 376 kWh e 357,26 kWh, nos mesmos períodos, respectivamente. A energia gerada ao longo de 14 meses apresentou resultados satisfatórios, tanto no horário fora de ponta como no horário de ponta com a integração da geração e do armazenamento.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar Fotovoltaica, SFCR com Armazenamento de Energia, Baterias*

## **1. INTRODUÇÃO**

A energia elétrica tornou-se uma necessidade na sociedade moderna, considerada um bem indispensável à sobrevivência humana atualmente. O crescimento populacional e econômico implica diretamente no aumento do consumo de eletricidade, e este cenário tornou-se uma preocupação em escala global, uma vez que a produção, em grande parte, se dá a partir de combustíveis de origem fóssil.

Segundo o relatório REN21 (2021) cerca de 29% da matriz mundial é proveniente de fontes renováveis, este dado mostra que o mundo vem buscando soluções sustentáveis que descarbonizem a matriz energética e atendam a demanda por energia. Com isso, o avanço em pesquisa de desenvolvimento de soluções e alternativas em energias renováveis vem se diversificando, inclusive com alternativas de geração de energia elétrica próxima dos centros de consumo e com possibilidade de seu armazenamento.

Uma solução que vem crescendo gradualmente no Brasil é a energia solar fotovoltaica, cuja tecnologia já está consolidada em países mais desenvolvidos. Porém, esta tecnologia possui características inconstantes, intermitentes e variáveis, por este motivo a conexão com a rede de energia é de fundamental importância aos consumidores, pois em grande parte, possuem uma elevada demanda por energia elétrica no período noturno, onde não há geração fotovoltaica (Wang, Gu e Li, 2018).

Uma solução viável para a minimização da intermitência e da variabilidade na fonte solar fotovoltaica é a integração da mesma a outra fonte de geração de energia ou armazenamento. As tecnologias de armazenamento de energia possibilitam um a melhoria na flexibilização e na capacidade de geração, bem como a minimização das flutuações de geração no sistema fotovoltaico (Obara e Miyazaki, 2021).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede com armazenamento de energia vêm sendo considerados estratégicos na gestão energética podendo trazer consigo soluções para a redução de custos e a viabilidade desta tecnologia. A análise do consumo junto a gestão da demanda proporciona a possibilidade de flexibilização e confiabilidade ao sistema (Almazrouei, Hamid e Mehiri, 2017) (Saglamer, 2017).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede com armazenamento de energia apresentam características interessantes na capacidade de controlar variações de tensão e frequência da rede, bem como controlar os fluxos de potência e diminuir as perdas por transmissão (Yunusov *et al.*, 2016).

A planta de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede integrado a um sistema de armazenamento de com bateria do tipo chumbo-ácido estacionária foi implantada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Curitiba Campus sede Neville em parceria com a COPEL, que forneceu apoio financeiro através do projeto de Pesquisa 2866-0464/2017 – Metodologia para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por Fontes Incentivadas.

O projeto foi desenvolvido pelo LABENS – Laboratório de Energia Solar a fim obter as condições ótimas de instalação, inclinando os módulos igual à latitude e orientados para o Norte geográfico, com o objetivo de efetuar gerenciamento de energia através do banco de baterias interligado ao sistema fotovoltaico.

## 2. MATERIAIS

O LABENS aprovou o projeto de P&D junto à COPEL de um sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento de energia para desenvolvimento de pesquisas. Os principais equipamentos que compõem este projeto são: módulos fotovoltaicos da QCells, inversores bidirecionais da NHS e baterias de chumbo-ácido da Heliar.

O projeto em questão conta com dois inversores bidirecionais da NHS modelo 5k-HSM1 que possuem potência de 5kW cada, na Fig. 1 ilustra o inversor em questão, bem como seus dados técnicos. A escolha do inversor fundamentada no estudo da arte e em requisitos prévios, como equipamentos que possuíssem a potência requerida, e que fossem integrados a controladores de cargas e sistemas de monitoramento. Devido a parceria do fabricante com a UTFPR e o atendimento de todos os requisitos a NHS foi a empresa escolhida para fornecer o inversor para o projeto.

<b>Dados Inversor Bidirecional NHS SOLAR-5k-HSM1</b>	
Potência Máxima CC	6000W
Tensão Máxima CC	420VCC
Proteção de sobre corrente CC	30A
Faixa de Tensão MPPT	100-400VCA.
Corrente Máxima CC	20A
Tensão de rede nominal	220VCA
Corrente nom rede e saída auxiliar CA	22,7A
Frequência da Rede	60Hz
Potência Nominal	5kVA
Tensão das baterias	240VCC
Tensão de Operação das baterias	204-290V
Máxima corrente de carga e descarga	25A VCC.
Tipos de baterias compatíveis	Chumbo ácido - íons de Lítio
Topologia	Não isolado
Temperatura de Operação	0-50°C
Faixa de Fator de Potência	Padrão >0,99 0,85cap, 0,85ind
Proteção	IP20
Eficiência	94%



Figura 1 – Inversor NHS 5k-HSM1

Fonte: NHS (2021)

O sistema de armazenamento de energia, é composto por 80 baterias do tipo chumbo-ácido de 60Ah e 12V Heliar modelo DF 1000, as quais foram instaladas em grupos compostos por quatro racks, cada rack contém 20 unidades de baterias ligadas em série. Em cada inversor estão instalados dois racks ligados em paralelo que resultam em 28,8 kWh de capacidade de armazenamento de energia por inversor, o que totaliza 57,6 kWh. A Fig. 2 ilustra os dados da bateria utilizada.

Dados da bateria de chumbo ácido	
Modelo	Heliar DF1000
Tensão de flutuação	de 13,2 a 13,8V - 25°C
Tensão de equalização	de 14,4 a 15,5V - 25°C
Tensão nominal	12V
Capacidade	60Ah



Figura 2 – Bateria Heliar DF 1000  
Fonte: Heliar (2008)

Os módulos fotovoltaicos do projeto são de silício policristalino da marca QCells modelo Q. Power L-G5 335 com potência de 335W. Foram utilizados 32 unidades de que totalizam 10,72 kWp, e estão divididos em 2 strings com 8 módulos cada, totalizando 16 módulos por inversor, a Fig. 3 representadas as suas principais características.

Dados do módulo fotovoltaico	
Modelo	Q. Power L-G5 335
Potência nominal(W)	335
Tensão de operação(V)	37,8V
Corrente de operação(A)	8,87
Corrente de curto circuito(A)	9,4
Eficiência	17,20
Tensão de circuito aberto(V)	46,30

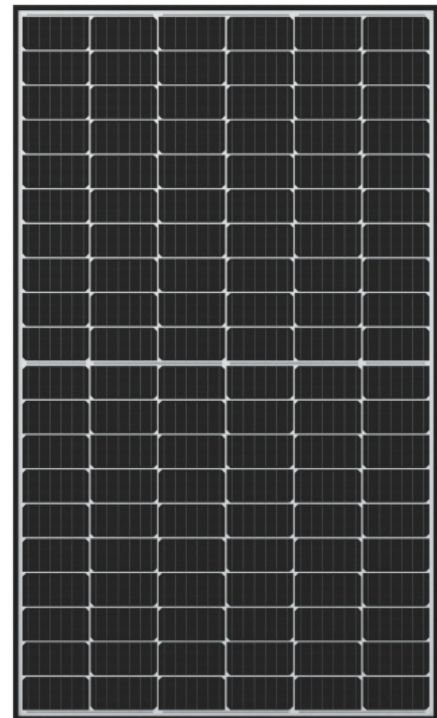


Figura 3 – Módulo Fotovoltaico Q. Power L-G5 335  
Fonte: QCells (2017)

A proteção elétrica em CA contra curto-circuito e sobrecarga do sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento utilizou dois disjuntores termomagnéticos monopolares WEG C25 instalados no quadro de distribuição QD-backup-380V alocado na estrutura da Estação Sonda da UTFPR Campus Neoville protegidos por um disjuntor geral de tripolar WEG MDW C50.

A proteção CC do sistema conta com *stringbox* CC conectada em cada entrada do inversor, instaladas na base da estrutura metálica dos módulos fotovoltaicos. São quatro *stringboxes* para proteção CC, que são compostas individualmente por uma chave seccionadora da Beny com trava (on/off) 32A-1000VCC, duas bases com fusíveis de 1000VCC e corrente máxima de 32A do fabricante Beny e três dispositivos de proteção contra surtos com tensão

nominal de 1000V e corrente de descarga máxima de 40kA por polo, abrigados em uma caixa com proteção IP65 de dimensões 300x250x125mm.

### 3. ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

Inicialmente a implantação do projeto passou por diversas etapas de análises e planejamento visando o aproveitamento ótimo do sistema. As etapas iniciais que abrangeram os estudos pela equipe do LABENS foram referentes ao sombreamento, a preparação da área de instalação dos equipamentos, a seleção dos materiais, a produtividade e a integração do sistema de armazenamento de energia visando atender uma parcela da demanda da universidade.

As análises de sombreamento foram realizadas a partir da localização geográfica do local, diversos cenários foram analisados e o resultado ideal para a inclinação nas condições ótimas de operação foi de 25° igual à latitude do local, com desvio azimutal de 0° para o Norte. Para as análises de sombreamento foram realizadas simulações com o auxílio do software *SketchUp*.

Após esta etapa iniciou-se a preparação da área de instalação do projeto demarcando a área, qual possui aproximadamente 636 m<sup>2</sup> com dimensões de 30 m de largura e 21,20 m de comprimento, e um desnível de aproximadamente 1 m, do nordeste para sudoeste, sequencialmente foi realizada a nivelção da área, com a extinção da vegetação da camada superficial de 5 cm. Após esta demarcação foi instalada uma lona plástica perfurada para evitar proliferação de ervas daninhas, com a posterior deposição de 5 cm de brita número 2 para a contenção da proliferação de vegetação rasteira.

Passada esta etapa de demarcação deu-se início a marcação e preparação das caixas de concretagem para a fixação das sapatas. Posteriormente, para a construção das sapatas foi feita com fundação enterrada no solo e altura variando de 0,20 m a 0,50 m do nível da superfície acompanhando o nível do solo. A Fig. 4 mostra a preparação das sapatas.



Figura 4 – Preparação das sapatas  
Fonte: Souza, Mariano e Urbanetz (2020)

A etapa seguinte é ilustrada da Fig. 5 onde foram instaladas as estruturas metálicas sobre suportes de aço galvanizado para posterior instalação dos módulos fotovoltaicos, como ilustrado na Fig. 6 (a) e (b).



Figura 5 – Instalação da estrutura metálica  
Fonte: Souza, Mariano e Urbanetz (2020)



Figura 6 – Instalação dos módulos fotovoltaicos (a) e (b)  
Fonte: Souza, Mariano e Urbanetz. (2020)

A última etapa contemplou a instalação do banco de bateria e inversores bidirecionais no abrigo de alvenaria com dimensões 2,00x2,00x2,20m (comprimento x largura x altura) mostradas na Fig. 7.



Figura 7 – Abrigo dos inversores bidirecionais e banco de baterias  
Fonte: Mariano (2021)

A autonomia do fornecimento de energia no banco de baterias foi testada a fim de operar nos horários de ponta, com a profundidade de descarga máxima de até 50% para prolongar a vida útil do banco de bateria.

Junto ao inversor 1 foi instalado um Raspberry pi 3 conectado a um HUB e este conectado a um Swith TP Link. Os dados coletados são enviados a servidores FTP – File Transfer Protocol, para que o controle de coleta de dados operasse continuamente e com segurança, este foi colocado em uma *case* visando protegê-lo de fatores climáticos que pudessem vir a danificá-lo. Para evitar superaquecimento, foram instalados dissipadores de calor nos processadores do dispositivo e a *case* foi equipada com um pequeno ventilador (Dário, Romaneli e Junior, 2020).

Após a finalização da obra de instalação no dia 05 de junho de 2019, foi necessário solicitar acesso de microgeração distribuída com potência superior a 10 kWp junto ao sistema da COPEL (COPEL, 2016) onde foram apresentados o projeto elétrico com aspectos técnicos e de segurança de acordo com os requisitos de qualidade, medição e proteção.

A inauguração do sistema aconteceu em dezembro de 2019, até maio de 2020 o sistema ficou em fase de teste e após este período iniciou-se a operação efetiva com registro de dados de geração.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

O projeto do sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento de energia da UTFPR iniciou a coleta de dados do mês de maio de 2020, porém neste início de operação ainda estavam sendo definidas as variáveis que seriam coletadas e as demais configurações, este fato fez com que apenas do dia 11 de maio de 2020 acontecesse a primeira descarga programada do banco de baterias conectado ao inversor bidirecional 1.

Os dados avaliados levam em consideração a operação dos dois inversores bidirecionais, apenas o inversor bidirecional 1 estava funcionando adequadamente, pois o inversor bidirecional 2 apresentou falhas e deixou de gerar energia em alguns dias durante todo o período de operação.

A geração fotovoltaica na planta em questão nos meses de maio a dezembro de 2020 foi de 5,29 MWh e nos meses de janeiro a junho de 2021 foi de 2,57 MWh, como ilustrado nas Fig. 8 (a) e (b).

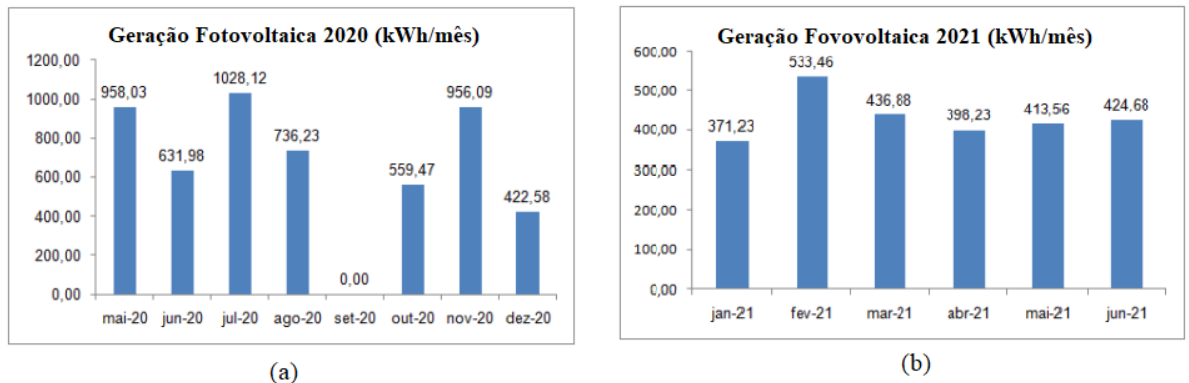


Figura 8 – (a) Geração fotovoltaica mensal no ano de 2020 e (b) Geração fotovoltaica mensal no ano de 2021  
Fonte: Souza (2021)

Percebe-se que o no mês de setembro de 2020 não houveram dados de geração e nem de energia descarregada, isto ocorreu devido à perda de dados no período em questão.

O sistema de armazenamento de energia nos meses de maio a dezembro de 2020 descarregou ao todo de 376 kWh, e de janeiro a junho de 2021 um total de 357,26 kWh, como pode-se notar nas Fig. 9 (a) e (b).

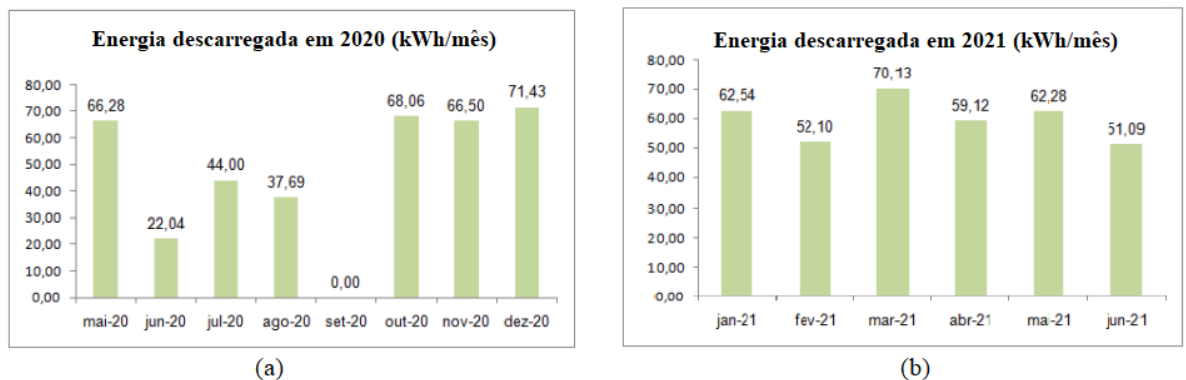


Figura 9 – (a) Energia mensal descarregada no ano de 2020 e (b) Energia mensal descarregada no ano de 2021

Fonte: Souza (2021)

Pode-se notar que o perfil médio de geração fotovoltaico apresentou a maior produtividade nos meses de maio, julho e novembro de 2020 e em fevereiro e março de 2021. A operação do sistema em paralelo com a rede elétrica proporcionou que o sistema não sofresse interferências causadas pela intermitência e variabilidade da fonte a partir da operação do despacho programado.

Com isso, quando a energia proveniente da geração fotovoltaica não é suficiente para carregar o banco de baterias, a energia é extraída da rede elétrica, prolongando a vida útil do banco de baterias e contribuindo com a capacidade de armazenamento,

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A instalação do sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento de energia de 10,72 kWp, na UTFPR – Curitiba Campus sede Neville, que possui dois inversores bidirecionais de 5 kW, 32 módulos de 335W e um banco de baterias com 80 baterias que somam 57,60 kWh de energia, proporcionou para a instituição condição no aprimoramento de estudos e investigação da operação conjunta de armazenamento de energia com sistemas fotovoltaicos.

Os resultados obtidos a partir do início da geração pelo sistema fotovoltaico do projeto foram de 5,29 MWh de energia nos meses de maio a dezembro de 2020, já de janeiro a junho de 2021 a geração foi de 2,57 MWh. Quanto aos dados de energia injetada no horário de ponta programado para os dias úteis a partir do banco de baterias, os valores de maio a dezembro de 2020 foram de 376 kWh e de janeiro a junho de 2021 de 357,26 kWh.

A energia produzida pelo sistema fotovoltaico ao longo de 14 meses apresentou resultados satisfatórios, tanto no horário fora de ponta com a geração fotovoltaica quanto no horário de ponta com a injeção da energia armazenada no banco de baterias, contribuiu para a redução do consumo de energia na universidade durante o período de ponta, a partir desta integração de geração fotovoltaica e armazenamento de energia.

### *Agradecimentos*

Ao LABENS pela execução do projeto e monitoramento da planta, bem como ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia – PPGSE da Universidade Tecnológica do Paraná – UTFPR pelo desenvolvimento de pesquisa e conhecimento da área.

## REFERÊNCIAS

- Almazrouei, S., Hamid, A., Mehiri, A., 2017. Energy Management for Large-Scale Grid PV-Battery Systems. In: 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). IEEE, 201e, p. 1-5.
- Dário, M. F., Romaneli, E. F. R., Junior, J. U., 2020. Sistema de comando e leitura em inversores bidirecionais na linguagem python3. In: XXV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica 2020. [S.l.: s.n], 2020.
- Heliar, 2008. Manual Técnico Bateria Estacionário Freedom. Heliar Freedom, 2008. Disponível em: <[https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom\\_Baterias\\_Estacionarias\\_manual\\_tecnico\\_pt.pdf](https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom_Baterias_Estacionarias_manual_tecnico_pt.pdf)>. Acesso em: 08 de dezembro de 2021.
- Mariano, J. D., 2021. A integração dos sistemas de armazenamento de energia nos sistemas fotovoltaicos: estudo de caso da gestão da energia na UTFPR, 2021. Defesa de tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnologia Federal do Paraná. Curitiba, 2021.
- NHS, 2021. NHS QUAD Híbrido. Disponível em: <[http://www.nhssolar.com.br/wp-content/themes/nhs-pontocom/files/Datasheets/Datasheet5kW/INVERSOR\\_ON\\_GRID\\_NHS\\_SOLAR-5K-GSM2-c-wifi-QUAD.pdf](http://www.nhssolar.com.br/wp-content/themes/nhs-pontocom/files/Datasheets/Datasheet5kW/INVERSOR_ON_GRID_NHS_SOLAR-5K-GSM2-c-wifi-QUAD.pdf)>. Acesso em 19 set. 2021.
- Obara, S., Miyazaki, W., 2021. Numerical modeling to determine the limits on photovoltaic capacity when operation in a microgrid with solid-oxide fuel cell triple combined-cycle plants. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 124, 106325, 2021.
- QCells, 2021. Q.POWER L-G5 Polycrystalline Solar Module. Abr. 2017. Disponível em: <<https://www.q-cells.com/en/main.html>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2021.
- REN21, 2020. Renewable 2020 – Global Status Report, 2021. Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978-3-948393-00-7. Disponível em: <[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/grs\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/grs_2020_full_report_en.pdf)>. Acesso em: 09 de outubro de 2021.
- Saglamer, U., 2017. Evaluation of photovoltaic technologies with electrochemical energy storage for residential usage and economic consideration, 2017. 184 p. Dissertação (Master of Science in Energy Engineering for an Environmentally Sustainable World) – Politecnico Di Milano, Milão – Itália, 2017.
- Souza, A. S., 2021. Implantação e análise de um sistema fotovoltaico conectado à rede de 10,72 kWp com armazenamento de energia na UTFPR. Dissertação – Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.
- Souza, A. S., Mariano, J. D., Urbanetz Jr, J., 2020. Sistema fotovoltaico de 10 kWp conectado à rede com armazenamento de energia em Curitiba. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS 2020. [S.l.: s.n], 2020.
- Wang, Z., Gu, C., Li, F., 2018. Flexible operation of shared energy storage at households to facilitate PV penetration. Renewable Energy, v. 116, p. 438-446, 2018.
- Yunusov, T., Frame, D., Holderbaum, W., Potter, B., 2016. The impact of location and type on the performance of low-voltage network connected battery energy storage systems. Appl Energy, 2016, 165:202-13.

## **IMPLEMENTATION OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH ENERGY STORAGE AT UTFPR – CURITIBA CAMPUS NEOVILLE**

**Abstract.** *The increase in demand for electricity has been growing, it's necessary to seek alternative solutions to meet this need. One option is to enable generation to be closer to consumption like photovoltaic solar generation. A characteristic of this generation source is its variability and intermittence, which compromises the generation at certain times of the day, interfering with energy availability. A viable solution to minimize these effects is the integration of this source with an energy storage system, ensuring energy supply at times without generation or insufficient generation. The article present the installation steps of a 10.72 kWp project of a grid-connected photovoltaic system with energy storage using lead-acid batteries at UTFPR-Curitiba Campus Neoville. The project has 32 polycrystalline silicon modules 335 W, two 5kW bidirectional inverters and 80 60 Ah lead-acid batteries. Developed in a research and development project in partnership with Copel that provided financial support. The project was based on previous analysis of the installation site, for subsequent delimitation of the area and preparation of the land with placement of canvas and gravel, the shoes were made for the fixing the metallic structure, the placement of the modules and installation of the inverters and the bank of battery in a shelter. The results obtained in photovoltaic generation were 5.29 MWh of generated from May to December 2020 and 2.57 MWh from January to June 2021, in relation to the energy injected from the battery bank the values were 376 kWh and 357,26 kWh, in the same periods, respectively. The energy generated over 14 months showed satisfactory results, both in off-peak hours and in peak hours with the integration of generation and storage.*

**Key words:** *Photovoltaic Solar Energy, SFCR with Energy Storage, Batteries*