



(Article)

The Implantation Grid Tied Photovoltaic Solar System with Backup

Adriana Schilive de Souza¹

<https://orcid.org/0000-0002-3731-3778>

Jair Urbanetz Junior²

<https://orcid.org/0000-0001-9355-1730>

¹PostGraduate Program in Energy Systems (PPGSE), Solar Energy Laboratory (LABENS), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Brazil;

²Academic Department of Electrical Engineering (DAELT), Solar Energy Laboratory (LABENS), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Associate Editor:

Received: YYYY.MM.DD; Accepted: YYYY.MM.DD.

* Correspondence: adriana@neis.com.br; Tel.: +55-41-99845-4119 (A.S.S.)

HIGHLIGHTS

- Implantation Grid Tied photovoltaic Solar System with Backup in Curitiba.
- Storage system with lead acid batteries in Brazil.
- Bidirectional inverters.

Abstract:

This paper describe the steps of building a grid tied photovoltaic solar system with a backup at the Campus Neoville UTFPR, which finalizes its installation, is used to study energy management strategies using the system as backup. or automatic prioritization or self consumption, injecting peak time into the energy stored in the battery banks. The system consists of 32 units 335Wp silicon polycrystalline modules and 80 units of 60Ah stationary batteries. In this article will be used as main installation steps, some details of its operation. At the beginning of the project, a prior analysis of the local installation and analysis was done, which determined the modules on which criteria their best condition of electricity production.

Key-words: Grid tied Photovoltaic solar system with backup; storage systems; management of strategies.

INTRODUÇÃO

O aumento na participação de fontes alternativas e renováveis de energia na matriz energética mundial e o atual contexto do setor elétrico brasileiro, com necessidade de aumento na oferta de energia elétrica, percebe-se que a progressiva participação da geração distribuída (GD) nos setores de distribuição e transmissão é uma possibilidade cada vez mais efetiva [4].

A inserção da geração distribuída decorrente de fontes primárias renováveis apresenta-se, como uma alternativa estratégica para o desempenho otimizado dos segmentos de distribuição e transmissão de energia, sobretudo visando à sustentabilidade na geração de energia elétrica [5].

Em se tratando do meio ambiente, as fontes renováveis de energia reduzem os níveis de emissão de gases poluentes, colaborando para a redução do efeito estufa.

A produção de energia utilizando a conversão direta de radiação solar em energia elétrica, tem seus benefícios devido ao baixo impacto ambiental, facilidade de instalação e o seu custo está reduzindo ao longo dos anos.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em setembro de 2019 o país apresenta cerca de 149.328 Unidades Consumidoras (UC's) com sistemas de geração distribuída, sendo 137.616 constituídas por sistemas de geração solar fotovoltaica, com cerca de 1.175.080,59kW instalados [1].

O aumento da penetração dos sistemas de geração distribuída em especial os fotovoltaicos é uma realidade em diversos países e também no Brasil, nesse contexto a aplicação de sistemas de armazenamento integrados a sistemas fotovoltaicos conectados à rede, que podem ser instalados em subestações, pontos críticos de alimentadores ou junto ao sistema de geração surge como um estudo de relevância.

A energia fotovoltaica está sujeita a níveis de irradiância, temperatura, cobertura de nuvens e umidade, devido a essas incertezas as diferenças entre a potência fotovoltaica prevista e a energia gerada fotovoltaica podem causar problemas de qualidade de energia no sistema e, portanto, podem aumentar as tarifas de regulação de frequência das usinas convencionais

Uma das características dos sistemas fotovoltaicos é o seu pico de geração, que ocorre durante o dia entre 12h00min e 14h00min e que é diferente do pico de consumo, além de que outro fator que é bastante conhecido é a intermitência do sistema, fatores como a irradiação, nebulosidades e mudanças de temperaturas impactam significativamente a capacidade de geração diária de um sistema fotovoltaico.

Algumas vantagens como redução do custo da fatura, eficiência pois a geração está próxima a carga entre outros.

As aplicações desses sistemas são bastante diversificadas, a possibilidade de gerenciamento da demanda e da geração, utilizando sistemas fotovoltaicos conectados a rede com backup se torna uma solução de armazenamento de energia amplamente aplicado para atender soluções como o deslocamento da curva de carga em horário de pico, estabilização de tensão e frequência, fornecimento de serviços ancilares entre outros.

Diferentes sistemas de armazenamento de energia possuem características diversas e são geralmente classificados com base no tempo de duração de descarga nominal [7].

A duração da descarga de sistemas de armazenamento de longa duração, como sistemas de armazenamento de energia com hidrogênio bombeado, ar comprimido e hidrogênio, varia de várias horas a dias, mas suas aplicações são restritas pelas baixas velocidades de resposta. Baterias, que são os dispositivos de armazenamento de média duração mais utilizados em sistemas de energia [3], podem descarregar por vários minutos a horas. Dispositivos de armazenamento de curta duração, como volantes e supercapacitores, possuem velocidades de resposta extremamente altas, mas eles só podem descarregar por alguns milissegundos há vários minutos, para que possam satisfazer as demandas de energia rapidamente, mas apenas por curtos períodos de tempo.

A utilização da geração fotovoltaica complementada por sistemas de armazenamento tem sido apresentada como uma tendência importante para o setor elétrico no futuro, podendo resultar em benefícios para os consumidores e para o setor.

O sistema de Geração distribuída fotovoltaica integrada a sistema de armazenamento ainda está pouco presente no cenário brasileiro, as instalações e trabalhos da área em sua maioria ainda estão em fase inicial.

Neste trabalho serão apresentados uma revisão bibliométrica sobre sistemas de armazenamento e algumas das principais etapas de implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede integrado a um sistema de armazenamento com baterias do tipo chumbo ácido estacionárias, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus sede Neville situado na Rua Pedro Gusso, 2601, Neville - Cidade Industrial de Curitiba,- PR.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistemas de armazenamento integrados a Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede (SFVCR) no Brasil ainda se trata de uma tecnologia em desenvolvimento, pois devido ao seu alto custo, sua implantação ainda é bastante restrito, pois ainda não há legislação brasileira específica, o que acaba limitando sua utilização.

Algumas instituições com apoio de fundos de pesquisa e desenvolvimento, tem implantados pequenos sistemas fotovoltaicos conectados à rede com armazenamento para estudar suas aplicações e benefícios, entre elas Universidade de São Paulo (USP), LACTEC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) entre outras.

USP implantou um SFVCR de 6,71 kWp e capacidade de armazenamento de 23,52 kWh para estudar os benefícios da gestão da demanda na Geração Distribuída com armazenamento, o LACTEC instalou 30,36 kWp com sistema de armazenamento composto por 20 baterias estacionárias de chumbo ácido, cada bateria com tensão nominal de 12V e capacidade de 220Ah, a UTFPR está implantando um SFVCR de 10,72kWp e com capacidade de armazenamento de 57,6kWh.

A implantação do SFVCR da UTFPR foi dividido em duas artes, em que uma parte é o sistema fotovoltaico conectado a rede com Backup e a outra parte, diferentes tecnologias de módulos para avaliação, considerando um ângulo de inclinação semelhante ao da latitude local.

A tensão de atendimento da unidade Consumidora da Universidade é 13,8kV trifásica, com uma carga instalada de 200kW.

Para a implantação foram efetuados alguns estudos, um deles utilizando o software SketchUp para fazer análise de sombreamento nos melhores e piores cenários ao longo do dia e das estações, para definir o melhor posicionamento da instalação e ângulo da inclinação dos módulos.

Na figura 1 itens (a) e (b), são mostradas algumas das análises de sombreamento na projeção da instalação dia 21/06/2019, no início da manhã as 08h00min(**a**) e as 17h00min(**b**), visando definir a melhor condição de aproveitamento dos níveis de irradiação pelos módulos fotovoltaicos.



Figura 1. Análise de sombreamento da instalação dia 21/06/2019 (a)08h00min e (b) 17h00min.

Na figura 2 itens (c) e (d), são apresentadas as análises de sombreamento dia 21/12/2019 as 08h00min(c) e as 17h00min(d).

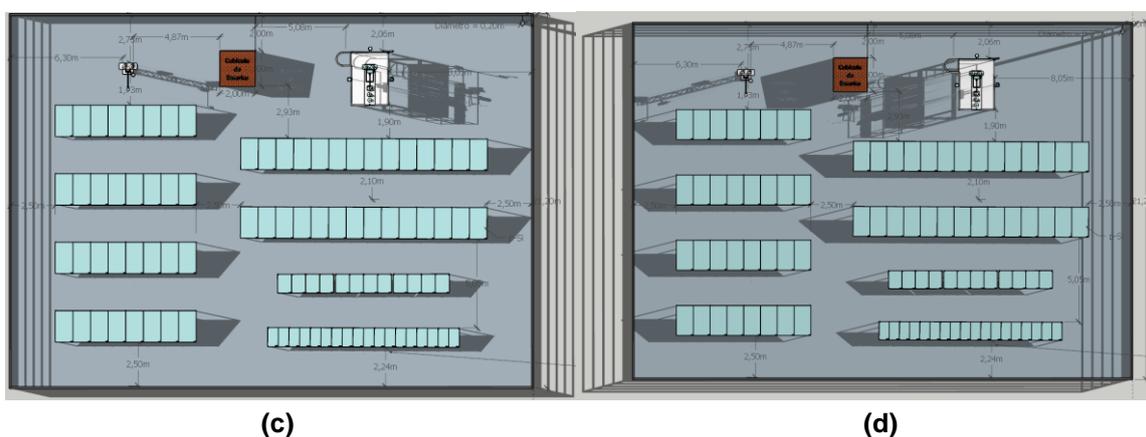


Figura 2. Análise de sombreamento da instalação dia 21/12/2019 (c)08h00min e (d) 17h00min.

Concluído a etapa de estudos preliminares para o projeto piloto, foram definidos a área e a melhor posição geográfica para instalação.

As obras para implantação do sistema foram iniciadas em 20/02/2019 e os equipamentos foram adquiridos com recursos do P&D 2866-0464/2017- Metodologia para análise, monitoramento e gerenciamento da gestão distribuída por fontes incentivadas da COPEL Distribuição.

Foi definida uma área de aproximadamente 636m², composta por 30,00m de largura por 21,20m de comprimento, mostrada na Figura 5, no mesmo local foi instalado um sistema fotovoltaico conectado à rede com Backup e quatro tecnologias diferentes para análise e monitoramento.

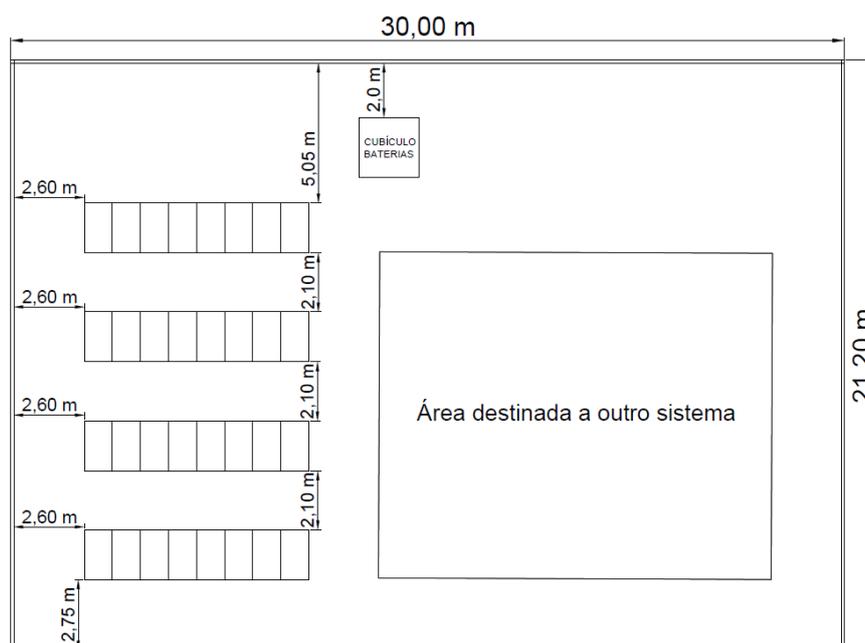


Figura 3. Planta baixa do sistema fotovoltaico conectado à rede com backup na UTFPR campus Neville.

O sistema será composto por 32 módulos fotovoltaicos de silício policristalinos 335Wp do Fabricante Qcells, totalizando 10,72kWp, dois inversores NHS bidirecional de 5kW cada e sistema de armazenamento composto por 80 elementos baterias estacionarias do tipo chumbo ácido modelo DF 1000 do Fabricante Heliar totalizando 57,6kWh em capacidade de armazenamento.

A instalação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com Backup da Sede Neville da UTFPR, possui como característica as coordenadas geográficas de latitude igual a 25,50°, longitude de 49,32 e desvio azimutal igual a 0.

SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Sistema fotovoltaico conectado à rede com dispositivo de armazenamento, utiliza o gerenciamento de energia para equilibrar o fluxo de energia, que controla o inversor bidirecional conectado a bateria, de modo que a bateria possa ser carregada ou descarregada [9]. Também podem operar como consumidor ou como fornecedor de energia em diferentes momentos criando uma combinação de fluxos de custos e receitas

Os Sistemas de armazenamento de energia podem ser classificados em mecânico, eletroquímico, químico, elétrico e térmico, conforme pode ser visualizado na Figura 6 [8].

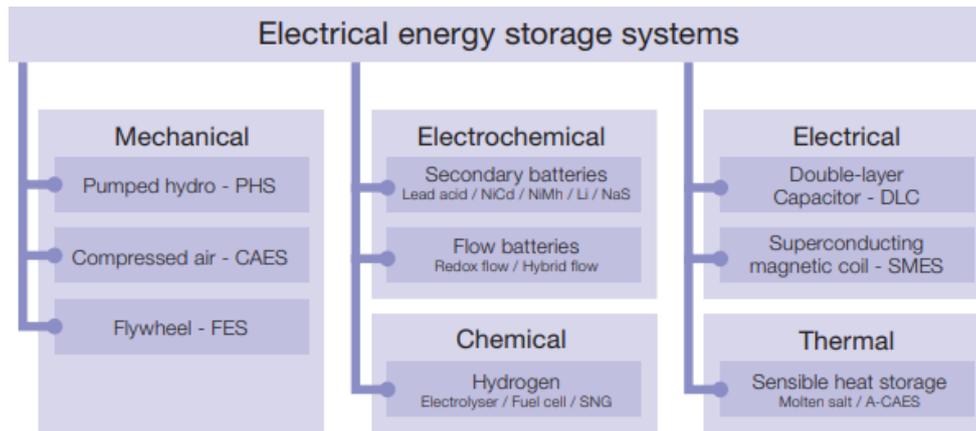


Figura 2 - Classificação dos Sistemas de armazenamento [8].

Os sistemas de armazenamento de energia podem ser utilizados em múltiplas aplicações, pois podem possibilitar a otimização da energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, gerenciando os ciclos de carga e descarga das baterias e utilizar o sistema para criar estratégias de gerenciamento de energia, que podem ser divididas em cinco grupos principais [2]:

Serviços de energia	Serviços auxiliares	Transmissão	Distribuição	Serviços de gerenciamento de energia
Capacidade de Fornecimento elétrico	Regulação	Suporte a tensão	Suporte a tensão	Qualidade da energia
	Suporte a tensão		Black Start - Para iniciar o sistema elétrico, fornecendo uma frequência de sincronização para as fontes de geração de energia.	Confiabilidade da energia
	Suplemento reserva			Deslocamento da carga no período de pico
				Gestão da demanda
				Auto consumo

Figura 3. Estratégias de gerenciamento de energia divididas em cinco grupos, adaptado de [2].

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Sede Neville, está implantando um sistema fotovoltaico conectado a Rede de 10,72 kWp e 57,6kWh de capacidade de armazenamento, a equipe do LABENS (Laboratório de Energia Solar) vai estudar e estruturar os benefícios da utilização desse tipo de tecnologia ainda em desenvolvimento no Brasil, na sequência e apresentado uma breve descrição das etapas de implantação do sistema.

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE COM BACKUP UTFPR SEDE NEVILLE

A etapa de preparação da área para instalação do sistema foi de extrema importância, foi efetuado a supressão da vegetação na camada superficial de aproximadamente 5cm, posteriormente foi demarcado o território, marcado as distancias que ficariam cada fila de

módulos, na sequência iniciou-se a preparação das caixas e a concretagem das sapatas para posterior instalação das estruturas suporte aos módulos são apresentadas na Figura 7(a), as sapatas construídas enterradas no solo, tem altura variando de 0,20 m a 0,50 m de altura acima do nível da superfície, acompanhando o desnível do terreno.

Concluída a etapa de concretagem das sapatas ocorreu a instalação de lona plástica perfurada para evitar proliferação de vegetação rasteira e foi efetuada colocação de uma camada de 5 cm de brita número 2.

Posteriormente após a concretagem das sapatas e colocação da brita, foram instalados suportes de aço galvanizado, com altura variável a partir do solo (acompanhando o desnível do terreno), voltados para o norte com uma inclinação igual à latitude de Curitiba, ou seja, 25 graus, todos com a mesma exposição, apresentado na Figura 7(b).



Figura 4. (a) Preparação das caixas para concretagem da fundação e (b) instalação dos suportes para as estruturas metálicas.

Finalizada a instalação das estruturas, foram instalados 32 módulos fotovoltaicos de silício policristalinos do fabricante Qcells de 335Wp cada, totalizando 10,72 kWp instalados, sendo 4 filas paralelas com 8 módulos cada e cada fila com uma string Box para proteção instalada na estrutura metálica, cada fileira com 8 módulos foi considerada uma string conectada ao inversor bidirecional.

Na Figura 5 (a) são apresentados o início da instalação dos módulos e o término (b).



Figura 5. (a) Início da instalação dos módulos 335Wp; (b) Término da instalação dos módulos.

Para instalar os inversores bidirecionais e os bancos de baterias que compõem o sistema, foi construído um abrigo em blocos de concreto com as dimensões 2,00x2,00x2,20m (largura x comprimento x altura) com ventilação natural e com uma porta de acesso de 0,80m que é mostrado na Figura 6.



Figura 6. Abrigo para inversores e baterias.

No abrigo foram instalados dois inversores bidirecionais do fabricante NHS de 5kW cada, que ainda estão em desenvolvimento e o sistema de armazenamento composto por 80 elementos de baterias do tipo chumbo ácido estacionarias modelo DF1000 do fabricante Heliar Freedom 60Ah-12V totalizando 57,6Wh em capacidade de armazenamento de energia, sendo sua configuração composta por 4 racks, sendo 2 racks conectados em paralelo ao inversor bidirecional, com 20 baterias em cada rack conectadas em série, que são apresentados na Figura 7.



Figura 7. Inversores NHS 5kW e Baterias Heliar DF 1000 instalados no abrigo.

Na Figura 8 é apresentado o Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede de 10,72kWp com Backup na Universidade Tecnológica Federal do Paraná concluída.



Figura 8. Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede com Backup na UTFPR sede Neville.

ESTUDO DE CASO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO CONECTADOS A REDE COM ARMAZENAMENTO

O Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF) da USP implantou um sistema fotovoltaico conectado a rede de 6,71kWp uma fonte c.c. de 10 kW, e um grupo moto-gerador de 40 kVA e um sistema de armazenamento composto por um banco de baterias VRLA, com vinte e quatro elementos associados em série, totalizando 48 V/490 Ah[11].

A energia demandada da concessionária pode ser controlada de diferentes formas. O modelo que a USP utilizou, selecionou como referencial o estado de carga do banco de baterias (do inglês State Of Charge) e o horário do dia. Os parâmetros são ajustados no inversor bidirecional, sendo necessário selecionar dois horários, colocando o início de cada horário, cujo término será o início do horário subsequente. No horário determinado é necessário selecionar os valores mínimos para conexão com a rede e os valores máximos para desconexão. A Figura 9 apresenta esta relação da gestão de demanda, o t1 representa o primeiro horário, que abrange das 6 às 18 horas, neste caso o sistema irá se conectar com a rede quando SOC estiver 40% e irá se desconectar quando o SOC estiver em 80%, já no t2 que representa o segundo horário das 18 às 6 horas do dia subsequente, a rede irá se conectar quando o SOC estiver em 30% e se desconectar quando o SOC estiver em 40%, demonstrado na Figura 9 [11].

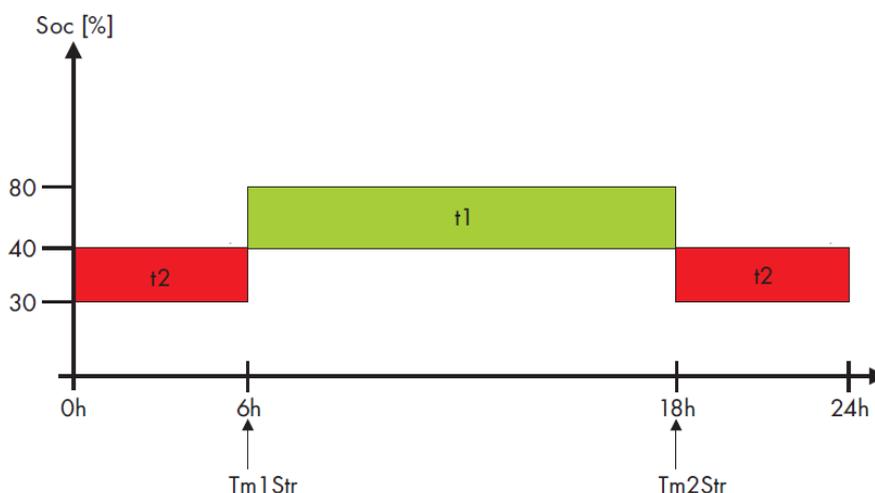


Figura 9. Estratégia horária para controle da demanda [10].

No período de desconexão da rede elétrica, o sistema de geração e/ou de armazenamento irá fornecer a energia demandada pela carga, assim como apresentado na Figura 10.

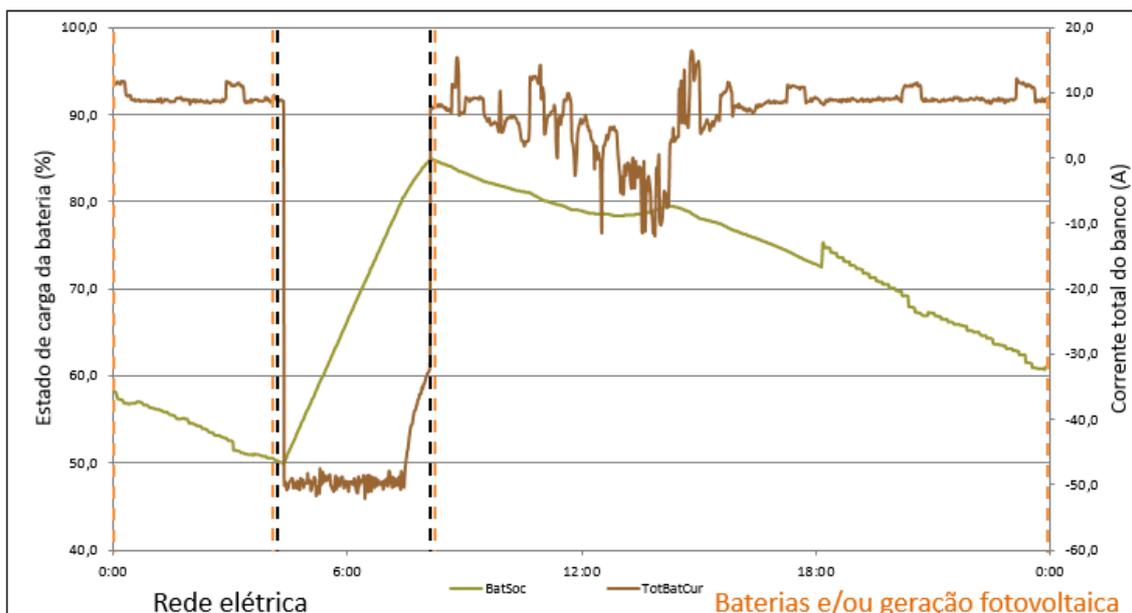


Figura 10. Exemplo de fornecimento de energia do sistema [11].

Segundo [9], a simples conexão de inversores híbridos com armazenamento à rede elétrica, sem a devida configuração de alguns parâmetros dos inversores, não se caracteriza como uma forma de geração distribuída com armazenamento. A geração distribuída deve ser capaz de realizar a troca de energia com a rede elétrica, ora demandando, ora injetando energia.

A gestão da geração torna-se possível através de parametrizações nos inversores bidirecionais, sendo necessário permitir o fluxo reverso de potência para a rede elétrica, determinar o valor máximo de potência que o sistema poderá fornecer, e o tempo máximo do fluxo de potência para a rede elétrica. Após esta parametrização é possível realizar a troca de energia com a rede elétrica; porém, a energia injetada na rede será somente a energia excedente do sistema, isso é, a energia que estiver sendo produzida quando o banco de baterias estiver com plena carga e a geração estiver maior que a demanda. Nesse momento, o sistema tem duas possibilidades: elevar a frequência para desconexão dos inversores de conexão à rede, ou injetar energia na rede elétrica. A Figura 11 apresenta um dia em que a geração estava maior que a demanda de energia e o banco de baterias estava totalmente carregado. Neste caso, a frequência foi elevada, para retirada da geração c.a. diminuindo o fornecimento de potência, e o despacho do excedente de energia para a rede elétrica não foi liberado [11].

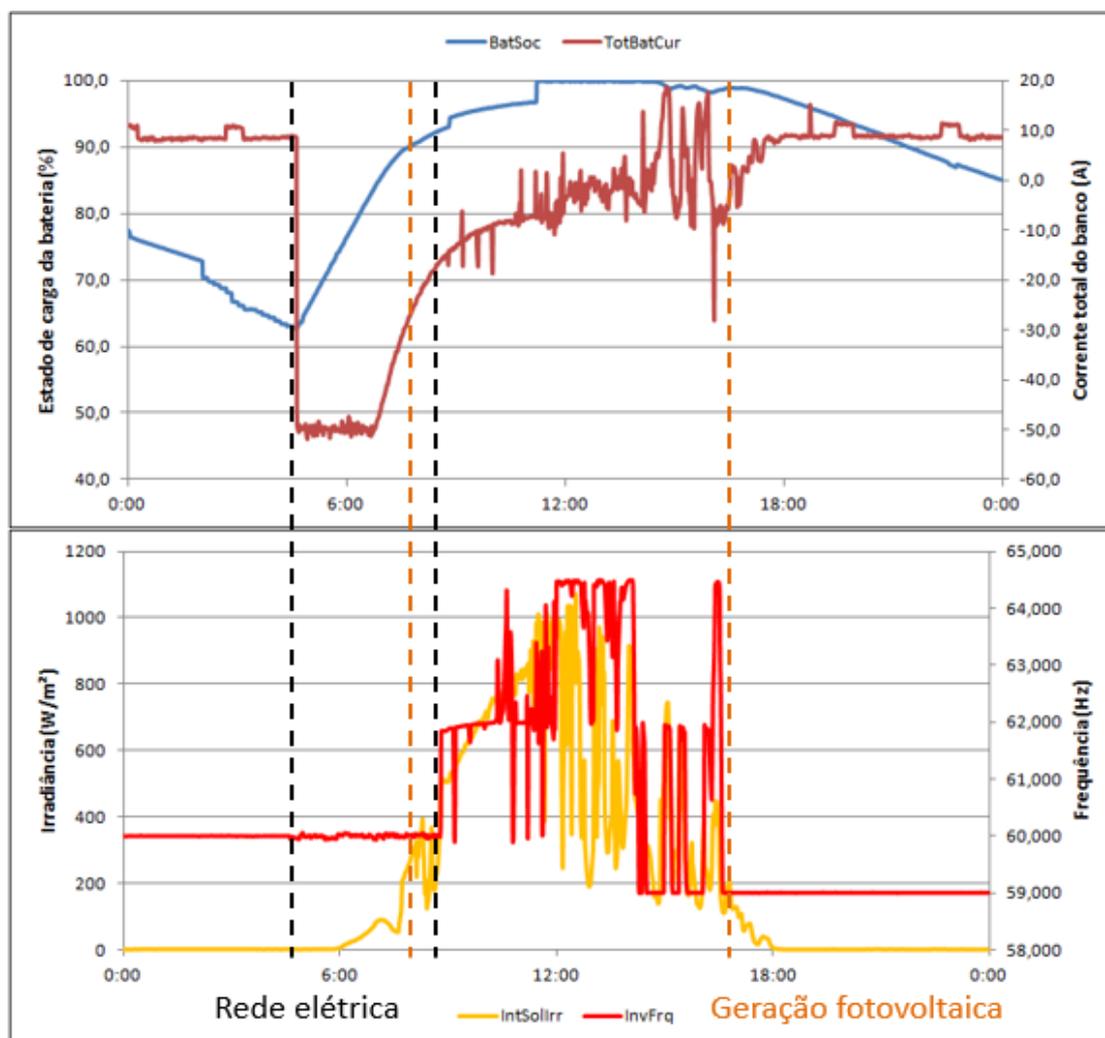


Figura 11. Exemplo de controle da geração[11].

O LACTEC implantou um sistema de 30,36 kWp com sistema de armazenamento composto por 20 baterias estacionárias de chumbo ácido, cada bateria com tensão nominal de 12V e capacidade de 220Ah totalizando 52,8 kWh em capacidade de armazenamento [9].

Para [6] que utilizou o software HOMER para fazer simulações, as baterias descarregaram durante 38 minutos no horário de ponta compreendido entre 18 e 21h para atender a carga, carregam fora da ponta quando a tarifa é mais baixa, apresentam perdas de armazenamento da ordem de 20%, apresentam energia de saída de 2717 kWh/ano, o que representa uma economia mensal de R\$ 360,00, economia anual de R\$ 4.320,00 e uma economia total de R\$ 27.618,00 até o fim da sua vida útil, em suas simulações [6] obteve também a economia monetária mensal com base nas diferentes profundidades de descarga de operação do banco de baterias que é mostrado na Figura 12.

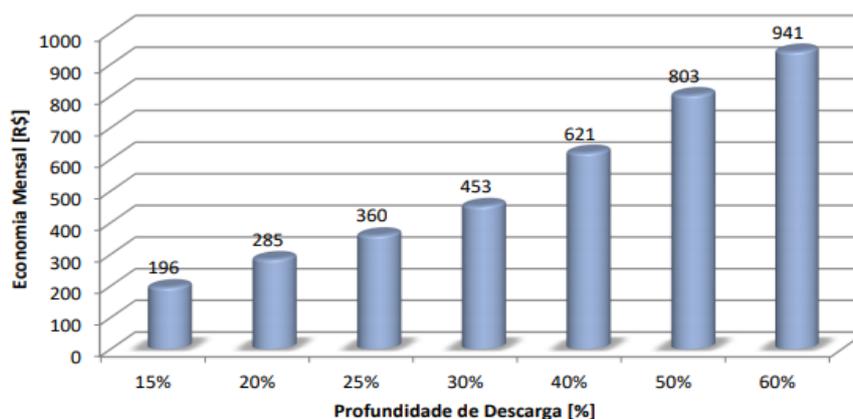


Figura 12. Economia mensal x profundidade de descarga [6].

Segundo [11] o gerenciamento melhorado de energia pode trazer benefícios para as concessionárias e consumidores desta, como achatar a curva de demanda, oferecer suporte à regulação de tensão e frequência, absorver variações bruscas de carga no sistema de distribuição, possibilitar robustez e autonomia para os prosumidores, além de potencializarem os benefícios de fontes de energia não despacháveis, uma característica comum a sistemas de geração distribuída. Contudo, apesar dos potenciais benefícios que podem ser oferecidos às redes de distribuição, sistemas com inversores bidirecionais de energia ainda precisam superar barreiras de ordem técnica, mercadológicas e regulatórias. Além da questão do custo, que atualmente se encontra relativamente alto, em grande parte devido ao armazenamento de energia com baterias.

Para [9] a maneira como a geração de energia excedente armazenada em baterias foi utilizada, apresentou uma oportunidade de redução dos custos de energia elétrica, alocando esta energia em horários onde a tarifa é mais alta.

CONCLUSÃO

Com a conclusão da implantação do sistema fotovoltaico conectado a rede com backup na UTFPR em Curitiba Sede Neville, a equipe do Laboratório de Energia Solar - LABENS está trabalhando nos protocolos de comunicação e no desenvolvimento das funções dos inversores bidirecionais de 5kW da NHS, para que os mesmos possam injetar a energia armazenada dos bancos de baterias no horário de ponta que é o horário em que o kWh custa mais caro, os inversores bidirecionais instalados ainda não são comerciais e estão em desenvolvimento e a expectativa de geração de energia elétrica anual do sistema é de 13,2 MWh.

Atualmente o SFVCR com backup da UTFPR está em desenvolvimento e o sistema está operando apenas conectado a rede com o banco de baterias carregado em flutuação, a equipe do LABENS está desenvolvendo as rotinas de operação dos inversores bidirecionais em conjunto com a NHS.

O Sistema Fotovoltaico conectado à rede com Backup, terá por função utilizar as estratégias de gerenciamento otimizado da energia do sistema implantado como o Peak Shaving, Energy time shift entre outros, visto que o mesmo poderá sintetizar parte da curva de demanda da universidade no período da ponta.

Embora Sistemas de armazenamento integrados a geração fotovoltaica tenham um custo alto, aparece no mercado que está em evolução para trazer benefícios aos consumidores e também ao setor de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) pelo apoio e infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa e a COPEL-Distribuição, pelo apoio e financiamento dos recursos para realização desde projeto de P&D “ANEEL PD2866-0464/2017 - Metodologia para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por fontes incentivadas.

REFERÊNCIAS

1. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – *Geração Distribuída*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZjM4NmM0OWYtN2IwZS00YjViLTl1MjltN2E5MzBkN2ZlMzVkliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acessado em 12/09/2019.
2. A. Akhil, G. Huff, A. B. Currier, B. C. Kaun, D. M. Rastler, S. B. Chen, A. L. Cotter, D. T. Bradshaw, and W. D. Gauntlett, *DOE/EPRI 2013 electricity storage handbook in collaboration with NRECA*. Sandia National Laboratories Albuquerque, NM, 2013.
3. Battke, B., Schmidt, T. S., Grosspietsch, D., Hoffmann, V. H. *A review and probabilistic model of lifecycle costs of stationary batteries in multiple applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013, Elsevier; Volume 25, p.240-250.
4. Cormio, C., Dicorato, M., Minoia, A., Trovato, M. *A Regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2003. Volume 7. Elsevier. 2003. p.99-130.
5. Farret, F. A., Simoes, M. G. *Integration of alternative sources of energy*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016.
6. Frehner, P. *Avaliação de cenários Técnico-econômicos para Inserção e Operação da Usina Fotovoltaica com Baterias na Rede de Distribuição*, 2017. Universidade Federal do Paraná.
7. Guney, M. S., Tepe, Y. *Classification and assessment of energy storage systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017, Elsevier; Volume 75, p.1187-1197.
8. IEC - International Electrotechnical Commission. *Electrical Energy Storage – White Paper*. <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>. Acesso em 28/05/2019.
9. Matias, J. A., AOKI A. R., RIBOLDI, V.B. *Deslocamento de carga aplicado à sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias utilizando algoritmos genéticos*. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético- CBPE, 2018.
10. Yang, Y. et al. *Integrated Size and Energy Management Design of Battery Storage to Enhance Grid Integration of Large-Scale PV Power Plants*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, IEEE, v. 65, n. 1, p. 394–402, 2018. ISSN 02780046.
11. Souza, Kauê J. F. N. C. ET al. *Geração Distribuída com Armazenamento Conectada a Rede elétrica*. Congresso Brasileiro de Energia solar – CBENS, 2018.



© 2018 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).