

Modos de Operação do inversor bidirecional aplicáveis ao Sistema Fotovoltaico Conectado a rede com armazenamento de Energia

Mirella Augusto Rodrigues¹
Eduardo Félix Ribeiro Romanelli¹
Jair Urbanetz Junior¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

O crescente aumento do uso de fontes de energia renováveis e da Energia Renovável requer novas estratégias para o gerenciamento da Energia Elétrica, uma vez que estas fontes são limitadas pelo meio ambiente. A Energia Solar Fotovoltaica, por exemplo, tem sua produção afetada pela irradiação solar e pelo sombreamento, sendo a intermitência uma de suas principais características. A fim de garantir a confiabilidade, a flexibilidade e a qualidade, são utilizados sistemas de armazenamento de energia, compondo juntamente com os inversores bidirecionais os Sistemas Fotovoltaicos conectados a rede com armazenamento de energia. Estes inversores permitem o gerenciamento da energia através dos modos de operação. Estes Modos de Operação irão executar a carga e a descarga do banco de baterias promovendo redução do pico de demanda, deslocamento do pico de demanda ou simplesmente executará a descarga do banco de baterias durante as faltas da concessionária. Sendo assim, o objetivo deste artigo será apresentar uma revisão bibliográfica sobre os seguintes modos de operação: *Peak Shaving*, *Load Shift* e *UPS*. **Palavras-chave:** Inversor Bidirecional, Sistemas Fotovoltaicos com armazenamento de Energia, Modos de Operação, Geração distribuída, Energia Renovável, *Peak Shaving*, *Load Shift*, *UPS*

ABSTRACT

The increasing number of Renewable Energy Sources and Distributed Generation requires for new electrical energy management strategies, once these sources are limited by the Environment. The production of Solar Photovoltaic Energy is affected by Solar Irradiation and Shadowing and the Intermittence is the main characteristic. In order to maintain the reliability, the flexibility, and the quality are used Energy Storage Systems, composing with the Bidirectional inverters, the Grid-Connected Photovoltaic Systems with energy storage. These Inverters allow the Energy management through the Operation Modes. These Operation Modes will execute charge and discharge of the Battery Bank, reducing the peak of Electricity Demand, promoting the Load Shifting or simply execute the battery bank discharge during the energy provider faults. Thus, the main goal of this article is a review about three operation modes: *Peak Shaving, Load Shift e UPS (Uninterruptible Power Supply)*.

Keywords: Bidirectional Inverter, Grid-Connected Photovoltaic Systems with energy storage, Operation Modes, Distributed Generation, Renewable Energy, Peak Shaving, Load Shift, UPS

1. INTRODUÇÃO

A Energia Solar é uma das formas de energia mais promissoras, por ser uma forma de energia limpa, silenciosa disponível em todo planeta. Em especial, o Brasil possui condições privilegiadas em razão do seu grande potencial fotovoltaico, pois apresenta altos índices de irradiação, uma vez que seu local menos ensolarado possibilita uma produção maior de energia do que a Alemanha em seu local mais ensolarado (Pereira *et al*, 2017). No Brasil, ocorreu um grande avanço com a promulgação da resolução 482/2012 e suas atualizações, as resoluções 517/2012 e a 687/2015 (EPE, 2014). Os Sistemas Fotovoltaicos conectados a rede (SFVCR) além de serem considerados uma forma de geração distribuída, também de contribuir para que a energia gerada seja próxima do ponto de consumo (Tiepolo *et al*, 2017). Os SFVCR são formados pelos módulos fotovoltaicos, pelo inversor e pelo medidor bidirecional de energia que deverá medir a energia injetada e a consumida da rede (Tiepolo *et al*, 2017). Um dos grandes desafios da Geração Fotovoltaica é o impacto

que a intermitência pode causar juntamente com as restrições de carga em função das variações da irradiação (Daud *et al*, 2012). Dessa forma, os SFVCR podem fazer o uso de um Sistema de Armazenamento, que poderão ser baterias, supercapacitores ou ainda as células de combustível (Marcos *et al*, 2017). O inversor por sua vez, deverá ser bidirecional, uma vez que deverá permitir a conexão das baterias e dos módulos. Além disso, os inversores irão gerenciar os ciclos de carga e descarga da bateria. O excedente de energia produzida pelos módulos será armazenado nas baterias e quando estas estiverem totalmente carregadas, a energia deverá ser injetada na rede (Arostegi, 2013). Nesse caso, o sistema de armazenamento não precisa ser grande, apenas o suficiente para proteger o consumidor dos altos preços (Rasin e Rahman, 2015). Outra vantagem oferecida pelos SFVCR com armazenamento de energia é a possibilidade de se implementar os modos de operação do inversor bidirecional, os quais são essenciais para contribuir com o gerenciamento da qualidade de energia e com o gerenciamento da demanda e do consumo de energia, com foco na redução do custo (Marcos *et al*, 2017). Diante disso, este artigo irá realizar um estudo de revisão dos modos de operação que compõem o chamado Gerenciamento de energia pelo lado da demanda, composto pelos modos *Peak Shaving* e *Load Leveling*, também chamado de *Load Shifting* ou *Time Shift*. Por fim, o outro modo de operação que deverá ser apresentado será o modo *UPS (Uniteruptible Power Supply)* uma vez que esse modo é utilizado para que o sistema de armazenamento seja o suprimento de energia da carga durante as faltas ocasionadas pela concessionária.

2. *Peak-Shaving*

Os picos de carga de um determinado sistema, ou seja, curtos períodos ao longo do dia onde uma maior potência é requerida caracterizam o perfil de carga no sistema elétrico (Martins *et al*, 2018).

No Brasil, há a necessidade de contratação da demanda para consumidores enquadrados no Grupo A, em que a tensão de ligação é igual ou maior que 2,3kV, composto por consumidores comerciais e industriais (COPEL, 2019). Para estes consumidores, a ultrapassagem de demanda é caracterizada, quando os picos de

carga e estes ultrapassam em mais de 5% o valor da demanda contratada (ANEEL, 2010).

Dessa forma, a utilização de Sistemas Fotovoltaicos conectados a rede com armazenamento de energia juntamente com um sistema de controle de carga e descarga das baterias oferecem uma solução para a redução dos picos de carga do sistema (Boyouk *et al*, 2018). Nestes sistemas, o banco de baterias deverá ser carregado em períodos de menor demanda e descarregado em períodos de maior pico de demanda (Martins *et al*, 2018).

Na figura 1, pode-se verificar graficamente como o *Peak Shaving* irá atuar, em violeta está representado o período de carregamento da bateria quando o pico de carga está baixo. Em verde está representado o período de descarregamento da bateria quando o pico de carga está alto. E por fim, em branco, está o perfil de carga após a atuação do *Peak Shaving*.

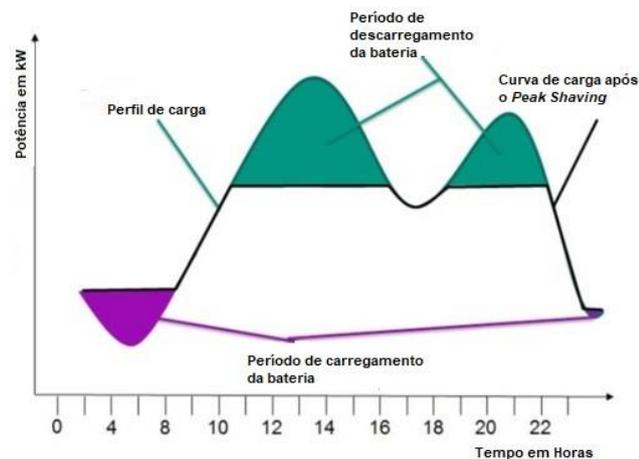


Figura 1 - Atuação do *Peak Shaving*. Adaptado de Boyouk *et al* (2018)

3. Load Shifting/ Load Leveling

Load Shifting consiste na redução do pico de demanda de horário-ponta para os horários intermediários e fora-ponta, podendo ser considerada uma técnica simples de gerenciamento de carga (Sinha e De, 2016).

No Brasil, consumidores enquadrados no Grupo A, a tarifa possui valores diferentes para o horário-ponta e fora ponta, sendo o primeiro mais caro. Além da demanda contratada, se o consumidor estiver enquadrado na modalidade tarifária azul, assim como o valor da tarifa, o valor da demanda também varia conforme os

horários ponta e fora-ponta. Já os consumidores enquadrados no Grupo B por sua vez, pertencentes a modalidade tarifária Branca, o valor da energia varia ao longo do dia, tendo diferentes valores para o horário ponta, intermediário e fora-ponta, sendo o primeiro maior (COPEL, 2019).

Na figura 2, pode-se observar os efeitos da utilização da técnica *Load Shifting* para o gerenciamento de energia. Na curva azul, antes da aplicação da técnica, tem-se o pico de carga de maior duração no horário ponta. Dessa forma, após a atuação do *Load Shifting*, pode-se observar na curva vinho que o pico de carga foi deslocado para o horário-ponta onde o valor da demanda é mais baixo. Isso ocorre em razão do carregamento das baterias no período Fora-Ponta e o descarregamento no período Ponta.

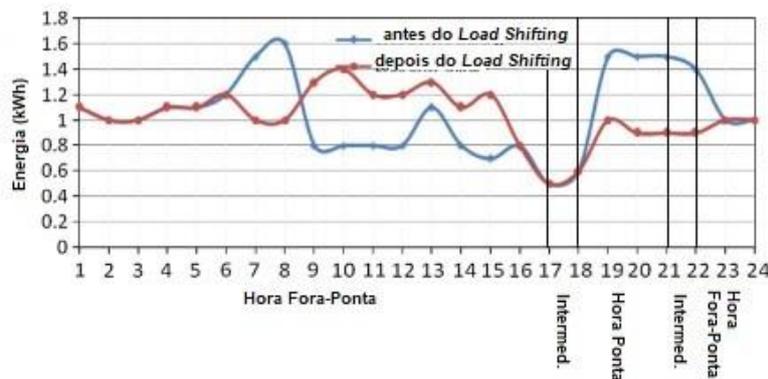


Figura 2 - Atuação do *Load Shifting*. Adaptado de Rajev e Ashok (2015)

4. UPS (*Uninterruptible Power Supply*)

As fontes ininterruptas de energia são responsáveis por fornecer energia emergencial para determinadas cargas a fim de protegê-las dos distúrbios na rede elétrica (Niroomand e Karshenas, 2010).

Durante uma falta, por segurança, um Sistema fotovoltaico deverá ser desconectado do Sistema elétrico. Porém se este Sistema estiver conectado a um banco de baterias, estas poderão funcionar tal qual uma *UPS* (Burlaka *et al*, 2018).

Inversores fotovoltaicos quando operam igualmente uma *UPS*, também podem ser classificados como tal. De acordo com a norma IEC 62040-3 as *UPS*'s podem ser classificadas de três formas: Espera passiva, dupla conversão e interativa com a rede.

Inversores de espera passiva dependem da tensão e da frequência da rede e o banco de baterias só irá atuar quando houver falta da rede elétrica. Inversores de dupla conversão independem da tensão e frequência da rede, além de possuir dois estágios de conversão, um retificador e um inversor *offgrid*. No primeiro, obtém-se a energia, no Segundo, a carga será alimentada. Por fim, Inversores Interativos com a rede, são semelhantes aos Inversores de espera passiva, porém na entrada de seu circuito possuem uma chamada de interface de potência que tem a finalidade de reduzir a distorção harmônica de corrente e limitar a corrente de curto-circuito (Bellinaso, 2017).

Na figura 3, pode-se observar um resumo das três classificações das *UPS*'s.



Figura 3 - Classificação do Modo *UPS*. Adaptado de Bellinaso (2017)

5. Conclusão

Neste artigo, Podemos observar a importância da implementação dos modos de operação do inversor bidirecional em Sistemas Fotovoltaicos Conectados a rede com armazenamento de energia. Tais modos irão auxiliar no gerenciamento da energia elétrica uma vez atuando no carregamento e descarregamento do banco de baterias. O primeiro modo apresentado, o modo *Peak Shaving*, irá atuar no carregamento das baterias no período de menor pico de demanda e descarregamento das mesmas no período de maior pico de demanda, alterando o perfil de carga do consumidor. O Segundo modo apresentado, o modo *Load Shifting*, irá atuar deslocando o pico de carga do horário ponta para o horário intermediário ou for a-ponta. Por fim, foi apresentado o modo *UPS*, em que o banco de baterias irão atuar durante as faltas da concessionária, suprimindo as cargas essenciais.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a UTFPR pelo apoio e infraestrutura disponibilizada para esta pesquisa e a COPEL-DISTRIBUIÇÃO pelo apoio e financiamento dos recursos para a realização deste projeto de P&D “ANEEL PD 2866-0464/2017 – Metodologia para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por Fontes Incentivadas”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), “Resolução Normativa 414/2010”, Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf> >

AROSTEGI, A. B., “*New Optimized Electrical Architectures of Photovoltaic Generators with High Conversion Efficiency*”. Tese de Doutorado da Universidade de Toulouse, 2013.

BELINASSO, L. V., “*Inversores Fotovoltaicos conectados à rede com armazenamento de energia – Classificação, recomendações técnicas e gerenciamento*”, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

BOYOUK, N., MUNZKE, N., HILLER, M., “*Peak Shaving of a Grid connected-Photovoltaic Battery System at Helmholtz Institute Ulm (HIU)*”, 2018.

BURLAKA, V., PODNEBENNAYA, S., GULAKOV, S., “*Residential Uninterruptible Power Supply System with Renewable Energy Sources and Battery Pack*”, 2018.

COPEL, “Taxas e Tarifas”, Disponível em < <https://www.copel.com/hpccopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpccopel%2Ftarifas%2Fpagcopel2.nsf%2Fverdocatual%2F23BF37E67261209C03257488005939EB> >

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). “*Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos*”, Rio de Janeiro, 2014.

DAUD, M. Z., MOHAMED, A., WANIK, M. Z. Che, HANNAN, M. A., “*Performance Evaluation of Grid-Connected Photovoltaic System with Battery Energy Storage*”, 2012.

MARCOS, V. M. M., MARTÍNEZ, M. A. G., GONZÁLEZ, F. B., MONTERO, M. I. M., “*A Grid Connected Photovoltaic Inverter with Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage*”, 2017.

MARTINS, R., HESSE, H. C., JUNGBAUER, J., VORBUCHNER, T., MUSILEK, P., “*Optimal Component Sizing for Peak Shaving in Battery Energy Storage System for Industrial Applications*”, 2018.

NIROOMAND, M., KARSHENAS, H., “*Review and Comparison of Control Methods for Uninterruptible Power Supplies*”, 2010.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., GONÇALVES, A. R., COSTA, R. S., LIMA, F. J. L., RÜTHER, R., ABREU, S. L. de, TIEPOLO, G. M., PEREIRA, S. V., SOUZA, J. G. de. *“Atlas Brasileiro de Energia Solar”*, 2ª Edição. São José dos Campos, 2017.

RASIN, Z., RAHMAN, M. F., *“Control of DC-DC Converter for Battery Storage in Grid-Connected Quase-Z-Source PV Inverter”*, 2015.

SINHA, A., DE, M., *“Load Shifting Technique for Reduction of Peak Generation Capacity Requirement in Smart Grid”*, 2016.

TIEPOLO, G. M., PEREIRA, E. B., JUNIOR, J. U., PEREIRA, S. V., GONÇALVES, A. R., LIMA, F. J. L. de, COSTA, R. S., ALVES, A. R., *“Atlas Solar do Estado do Paraná”*, 1ª edição, Curitiba, 2017.