

CONFIGURAÇÕES E TOPOLOGIAS PARA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO POR BATERIAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE MICROGERAÇÃO

Weliton da Maia – welitondamaia@gmail.com

Jair Urbanetz Júnior – urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, PPGSE

Resumo. Este trabalho trata de apresentar as configurações e topologias para integração de armazenamento por meio de baterias em sistemas fotovoltaicos de microgeração. É evidenciado que a integração de sistemas de armazenamento em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) é uma tendência mundial e vem demonstrando grande potencial quando considerado o crescimento da fonte solar. A aplicação de baterias em SFCR, geralmente, está atrelada no desenvolvimento de tecnologias de inversores bidirecionais, também chamados de inversores multifuncionais ou conversores fotovoltaicos multifuncionais (CFMs). Atualmente no Brasil, não existe normativas específicas que tratam sobre inversores fotovoltaicos conectados à rede com bateria, trazendo a necessidade de se trabalhar com normas e orientações de UPS (Uninterruptible Power Supply), que possuem funcionamento similar por se tratar de conversores C.C./C.A. acoplados a baterias. Os CFMs possuem 3 principais modos de operação: modo conectado à rede, modo retificador e modo ilhado. Para as configurações dos CFMs, baseado nas configurações de UPS, tem-se: espera passiva, dupla conversão e interativa com a rede. Por fim, o estudo das configurações e topologias de inversores multifuncionais que possibilitam a adoção de baterias é importante para o bom desenvolvimento dessa aplicação no âmbito dos sistemas fotovoltaicos distribuídos, principalmente de microgeração.

Palavras-chave: Conversores Fotovoltaicos Multifuncionais, Armazenamento, Microgeração

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo foi e está sendo expressivo. Segundo dados do relatório REN21 (2021), com 139 GW adicionados, o ano de 2020 bateu recorde de capacidade instalada adicionada pelo 8º ano consecutivo. Esse expressivo número, somado aos anos anteriores, totaliza 760 GW de capacidade total instalada no mundo. No Brasil esse crescimento da energia solar fotovoltaica não foi diferente, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2021b) apresentados pelo Sistema de Geração Distribuída (SIGD) o país possuía até a data de 10 de janeiro de 2022 a capacidade instalada de 8,64 GW de potência na modalidade de geração distribuída (GD). Em relação as usinas fotovoltaicas não pertencentes ao modelo de GD, apresentada também pela ANEEL (2021a) pelo Sistema de Informação de Geração da ANEEL (SIGA), a capacidade instalada chega a 4,63 GW. Somando as duas fontes de dados temos um montante de 13,27 GW de capacidade instalada de fonte solar fotovoltaica.

Dentro desse crescimento expressivo da fonte solar, outros nichos de mercados estão começando a se desenvolver, como é o caso da energia solar com armazenamento. Segundo o relatório do REN21 (2021), em 2020 os países da Áustria e Itália forneceram apoio financeiro para instalações de sistemas fotovoltaicos de pequeno porte que possuíam armazenamento. Áustria fomentou cerca de 36 milhões de euros e Itália 20 milhões de euros. No mesmo relatório é apontado que a demanda por sistemas de energia solar fotovoltaica com armazenamento por baterias cresceu nos Estados Unidos em 2020. Aproximadamente 6% dos sistemas fotovoltaicos para aplicação atrás do medidor e 25% de todos os contratos de usinas de grande porte continham algum tipo de armazenamento.

Segundo Pinho e Galdino (2014), há pelo menos duas classificações para sistemas fotovoltaicos: isolados (SFI) e conectados à rede (SFCR). Os sistemas isolados geralmente possuem algum tipo de armazenamento de energia como baterias. Já os SFCR dispensam o uso de acumuladores pois toda a energia gerada pode ser consumida diretamente pela carga próximo ao gerador ou injetada na rede elétrica convencional.

Tradicionalmente os SFCR não possuem baterias, entretanto, com a queda dos preços das tarifas *Feed-in-Tariff*, queda dos preços da instalação de sistemas fotovoltaicos e o aumento dos preços das tarifas de energia elétrica, o interesse pela utilização de SFCR com armazenamento de energia vem mudando (RASIN; RAHMAN, 2015). Dessa forma, pode-se considerar que o SFCR com armazenamento seria uma terceira classificação de sistema fotovoltaico. Esse tipo de sistema também pode ser encontrado na literatura como: CFM (Conversor Fotovoltaico Multifuncional), SFH (Sistema Fotovoltaico Híbrido – Por mais que essa seja a forma incorreta de denominá-lo), SFCR com armazenamento e SFCR com *backup* de energia. Segundo Bellinaso (2017), recentemente, os conversores fotovoltaicos denominados multifuncionais, que reúnem as características de conversores de sistemas fotovoltaicos isolados e conectados à rede, estão sendo amplamente estudados. Os CFMs operam basicamente de 3 formas: modo conectado à rede fornecendo potência à rede elétrica, modo retificador recebendo energia da rede para carregar as baterias e pelo modo ilhado fornecendo energia do banco de baterias para as cargas.

Para Simpkins et. al. (2016), a utilização de armazenamento de energia por meio de baterias pode permitir que o excesso de energia solar produzida durante o dia seja utilizado a noite, evitando a injeção na rede quando esta for

desfavorável financeiramente. As baterias também podem aliviar picos de demanda durante o dia ou ser recarregadas pela própria rede durante períodos que a energia elétrica consumida é mais barata. Em alguns locais, as unidades consumidoras (UC) podem fornecer serviços ancilares para rede elétrica contribuindo com a qualidade de energia. Segundo Perez (2015), a utilização de sistemas armazenamento de energia trazem diversas melhorias, das quais pode-se citar: melhoramento da qualidade e confiabilidade, gerenciamento da demanda de potência, suporte de tensão e frequência, alívio de congestionamento da transmissão, autorrestabelecimento da energia, potência reserva suplementar disponível, capacidade de suprimento e postergação de investimento.

2. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Atualmente, no Brasil, não há uma norma específica que discorra sobre inversores em sistemas fotovoltaicos conectados à rede que utilizem armazenamento de energia por baterias. Segundo Bellinaso (2017), os inversores fotovoltaicos são a interface entre geradores fotovoltaicos (FV) e as cargas de corrente alternada. Os inversores conectados à rede injetam a potência gerada pelo sistema FV diretamente na rede, sendo que, em caso de condições não nominais de tensão e frequência a desconexão da rede é obrigatória, de acordo com as normas NBR 16149 e NBR IEC 62116. Quando se fala de inversores multifuncionais ou CFMs, que possuem características de inversores conectados à rede com o adicional do uso de sistemas de armazenamento por baterias, por ser uma tecnologia recente, normas específicas ainda não foram desenvolvidas. Entretanto, devido aos seus modos de operação, esses conversores podem ser caracterizados como a união de SFCR e UPS, o que nos permite usufruir das normas de inversores conectados à rede mencionados anteriormente, NBR 16149 e NBR IEC 62116, e as normas referentes a UPS, NBR 15204 e IEC 62040.

A seguir é apresentado brevemente as normativas atuais e futuras relacionadas a sistemas fotovoltaicos que podem impactar o uso de SFCR com baterias.

2.1 Legislação Atual

A já muito difundida norma brasileira que regulamenta a geração distribuída é a REN nº 428:2012 da ANEEL (2012). Nessa norma é estabelecido as condições gerais para ao acesso de microgeração e minigeração, do sistema de compensação, além de outras providências. Entretanto, a normativa 482 não estabelece ou faz qualquer menção aos geradores de energia com armazenamento de energia por baterias, muito menos sobre a possibilidade de autorização de injeção de energia elétrica na rede por meio da energia armazenada em baterias acopladas a sistemas fotovoltaicos.

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 2011) possui a Portaria nº 4 de 2011 específica para avaliar a conformidade dos equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico. Dentre os equipamentos avaliados estão: módulos fotovoltaicos, controlador de carga e descarga de baterias, inversores para sistemas autônomos com potência nominal entre 5 W e 10 kW, inversores para sistemas conectados à rede com potência nominal de até 10 kW e baterias.

Atualmente, a Portaria 4 possui uma série de limitações, dentre elas podemos destacar três

- O nível de potência máxima para homologação é de 10 kW, mesmo que exista no mercado uma ampla gama de inversores que ultrapassam essa potência;
- Não menciona sobre inversores para sistemas conectados à rede com uso de bateria;
- No que tange a baterias é aplicável apenas as tecnologias estacionárias alcalinas níquel-cádmio e de chumbo-ácido, não fazendo menções a baterias como as de Lítio ou outras tecnologias atuais.

2.2 Possíveis alterações nas normas

Durante os anos 2019 e 2021, foi amplamente discutido possíveis alterações na normativa REN nº 482 que regula a geração distribuída no Brasil. Na data de 01 de outubro de 2019 a ANEEL realizou a abertura da audiência pública nº 001/2019 com a submissão de 5 alternativas de mudanças no sistema de compensação. A audiência pública nº 001/2019 cominou na consulta pública (CP) nº 25/2019 com desfecho em 30 de março de 2021, sendo apresentado na Nota Técnica 30-2021 (ANEEL, 2021c) a alternativa 5 como a única alternativa viável para a continuação do sistema de compensação. Entretanto, por determinação do TCU (Tribunal de Contas da União), na data de 15 de abril de 2021, foi suspenso o acordão 3063/2020 que possibilitava a ANEEL realizar as revisões na REN nº 482, estando esta suspensa até o momento.

Em paralelo aos acontecimentos de possíveis alterações da REN nº 482, foi apresentado na câmara dos deputados a PL 5829/2019 (Brasil, 2021), que teve aprovação na câmara dos deputados em 24 de agosto de 202. Em 15 de dezembro de 2021 foi votada e aprovada pelo senado. Em 16 de dezembro de 2021 retornou a câmara por questões de modificação do texto, mas foi votada e aprovada no mesmo dia. Na data de 06 de janeiro de 2022 o texto da PL 5829 foi sancionado pelo presidente, tornando-se a Lei nº 14.300 (Brasil, 2022). Dentre as diversas diretrizes, pode se destacar:

- Artigo 1º, parágrafo IX: por definição, se considera as fontes de geração fotovoltaica até 3 MW despacháveis quando utilizarem baterias com capacidade de pelo menos 20% da geração mensal da usina;
- Artigo 1º, parágrafo XII: por definição, se considera as microrredes a integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistemas de distribuição, podendo operar de forma conectada à rede ou isolada;

- Artigo 2º: as concessionárias ou permissionárias deverão atender as solicitações de acesso de unidades consumidoras com ou sem sistema de armazenamento, bem como sistemas híbridos;
- Artigo 23: a possibilidade de contratação de serviços ancilares por meio de fontes despacháveis.

Outra norma que está passando por alterações é a portaria 4 do INMETRO. Na consulta pública nº 16 de 11 de abril de 2021 (INMETRO, 2021), a instituição apresentou algumas propostas que visam a alteração da portaria. Das que podemos destacar envolvendo armazenamento são:

- Homologação de baterias para sistemas conectados à rede ou não, para as tecnologias de chumbo-ácido, níquel-cádmio, níquel-hidreto metálico e lítio;
- Homologação de inversores fotovoltaicos conectados à rede com bateria, inclusive trazendo 3 modos de operação: conectado à rede, modo ilhado e em modo carga;
- Homologação de sistema de gerenciamento de bateria.

3. CONFIGURAÇÕES E TOPOLOGIAS DE SFCR COM BATERIA

Para a exemplificação das configurações, topologias e modos de operação possíveis de SFCR com bateria foi utilizado manuais de operação de fabricantes atuantes no mercado brasileiro, o material produzido pela *Global Sustainable Energy Solutions* (GSES, 2020) denominado “*Grid Connected PV Systems With Battery Energy Storage Systems Installation Guidelines*”, a CP nº 16 do INMETRO (2021), as normativas IEC 62040-3 “*Uninterruptible power systems (UPS) - Part 3: Method of specifying the performance and test requirements*” e NBR 15014 (ABNT, 2004) “*Conversores a semicondutor – Sistema de alimentação de potência ininterrupta, com saída em corrente alternada (nobreak) – terminologia*” e, por fim, a tese de doutorado de Bellinaso (2017) “*Inversores fotovoltaicos conectados à rede com armazenamento de energia – classificação, recomendações técnicas e gerenciamento*”.

3.1 Configurações

Segundo Bellinaso (2017), por falta de normatização específica e similaridade da aplicação, os CFMs podem ser classificados de uma forma similar às fontes ininterruptas (UPSs). A IEC 62040-3 classifica UPSs em três configurações: espera passiva, dupla conversão e interativa com a rede. Seguindo a mesma linha, a NBR 15014 (ABNT, 2004) traz 3 configurações possíveis: *On line*, interativo (convencional, ferorrressonante e simples conversão) e, por fim, a configuração *stand-by*. As duas normas correspondem a configurações idênticas, sendo a norma brasileira visivelmente baseada na norma internacional.

Espera passiva. Segundo a norma NBR 15014 (2004), na configuração de UPS de espera passiva, a carga é alimentada diretamente com a energia da rede de corrente alternada (C.A.) (modo rede). Nessa configuração a UPS é classificada como VFD (*voltage and frequency dependent*). O conversor em conjunto com a bateria só entra em operação (modo bateria) quando as características da rede c.a. estiverem fora das faixas operacionais. Quando o conversor e bateria entram em operação uma chave desliga a entrada da rede C.A., evitando retroalimentação.

Segundo Belinaso (2017), é possível aplicar a mesma configuração de UPSs para CFMs, onde o inversor deve operar também em modo conectado à rede. Na figura 1 é apresentado 3 topologias para a configuração em espera passiva:

- (a) CFM com dois conversores C.C./C.A., sendo um deles trabalhando como retificador na entrada da rede permitindo carregar as baterias em uma potência reduzida;
- (b) CFM com um único conversor C.C./C.A., do tipo bidirecional. Nessa configuração o equipamento possui duas entradas, uma para a rede e outra para as cargas, sendo que a chave de desconexão da rede (S1) é interna ao equipamento;
- (c) CFM com um único conversor C.C./C.A., do tipo bidirecional. Nessa configuração o equipamento possui apenas uma entrada para rede e as cargas, se fazendo necessário a inclusão de uma chave de desconexão da rede (S1) externa ao equipamento.

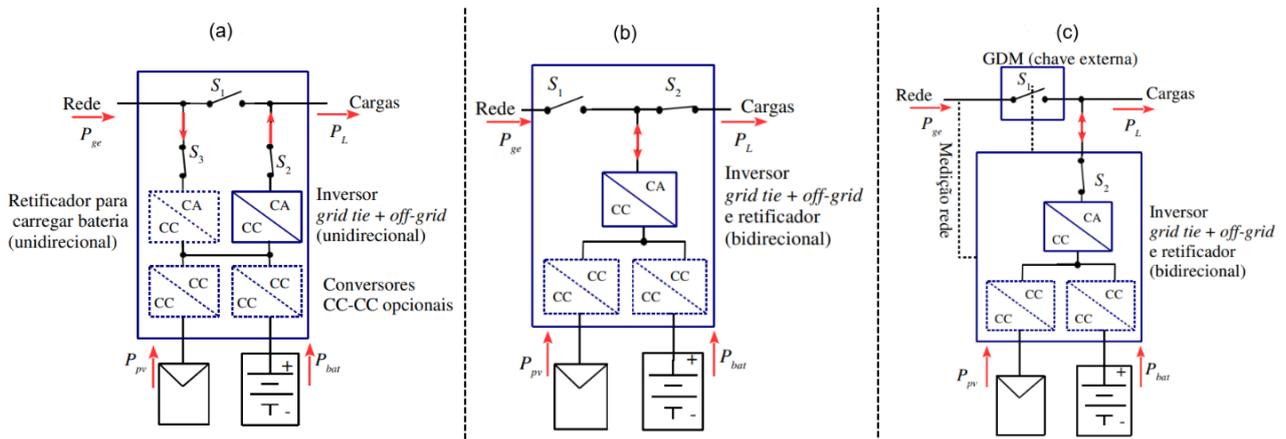


Figura 1 – Configurações de espera passiva: (a) com retificador para carregar baterias; (b) com conversor único e chave de desconexão interna; (c) com conversor CC-CA único e chave de desconexão externa

Fonte: Bellinaso, 2017.

Dupla conversão. Segundo a NBR 15014 (2004), a operação de UPS do tipo dupla conversão, a carga é continuamente alimentada pelo conjunto retificador e inversor (modo rede). Em resumo, é realizada uma conversão C.A. para C.C. e posteriormente C.C. para C.A. Dessa forma, a UPS de dupla conversão opera independente da frequência e da tensão, classe VFI (*voltage and frequency independent*). O sistema de bateria e inversor só entra em operação quando as características da rede c.a. estiverem fora das faixas operacionais.

Para Bellinaso (2017), uma desvantagem dessa configuração é a redução da eficiência devido ao duplo processamento da energia. Uma possibilidade de melhoria é a inserção da chave (S_3) possibilitando a alimentação das cargas diretamente pela rede, possibilitando a energização das cargas em caso de falha dos conversores e aumentando a eficiência do inversor no modo conectado à rede. Na figura 2 é apresentada a configuração no modo dupla conversão.

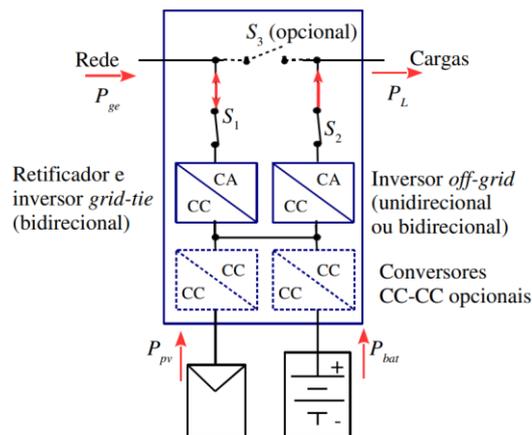


Figura 2 – Configurações de dupla conversão

Fonte: Bellinaso (2017).

Interativa com a rede. Segundo a NBR 15014 (2004), a operação de UPS do tipo interativo com a rede, a tensão de saída para as cargas permanece estabilizada independente da tensão da rede C.A. de entrada, mas dependente da frequência da rede C.A. de entrada (modo rede). Classificado como VI (*voltage independent*). A partir do momento que é identificado que as características da rede c.a. de entrada estão fora da faixa operacional estabelecidas pelo *nobreak*, o conjunto conversor e bateria entram em operação mantendo a alimentação da carga e uma chave desliga a entrada da rede c.a.

Segundo Bellinaso (2017), essa configuração apresenta um único conversor C.C./C.A. bidirecional e é semelhante com a configuração de espera passiva, sendo que a diferença está na adição de uma impedância Z ou uma interface de potência junto à entrada da rede. Bellinaso conclui que essa interface de potência é usualmente um estabilizador de tensão que corrige a tensão nas cargas através de um transformador ou autotransformador. Tanto a interface quanto a impedância Z apresentam três objetivos: i) reduzir a distorção harmônica; ii) limitar a corrente de curto-circuito; e iii) permitir a regulação da tensão das cargas prioritárias. Na NBR 15014 (2004), a interface de potência é apresentada como um transformador ferroressonante.

Na figura 3 é apresentado as três possibilidades dentro da configuração de CFM na configuração interativa com a rede. Da mesma forma que a de espera passiva também pode apresentar a chave de desconexão interna ou externa.

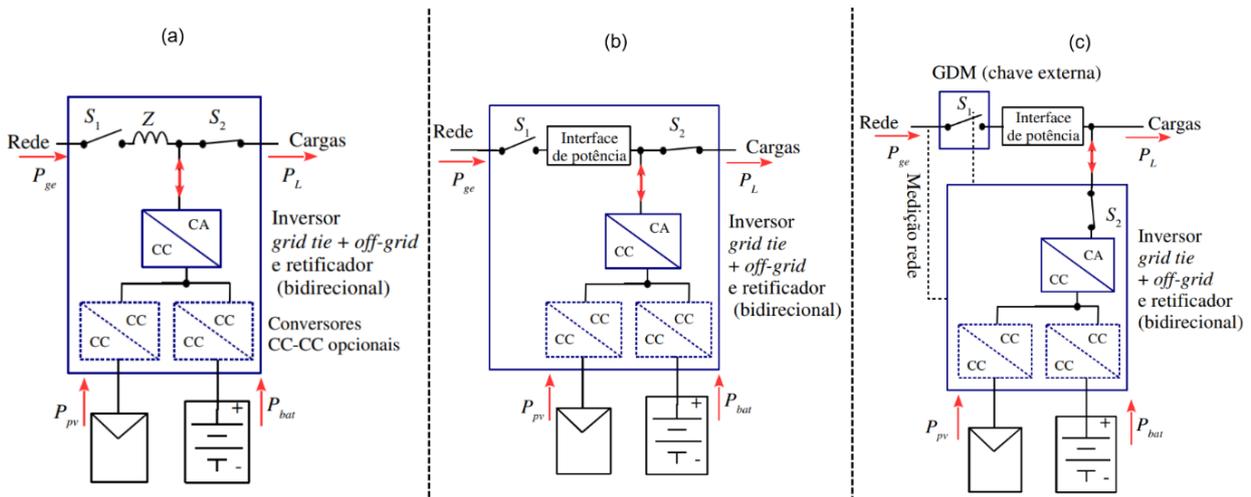


Figura 3 – Configurações interativa com a rede: (a) com impedância; (b) com chave de desconexão interna; (c) com chave de desconexão externa

Fonte: Bellinaso (2017).

Configuração em 3 ou 4 portas. Há ainda as configurações de ensaios dado pela CP N° 16 do INMETRO (2021), possível nova definição da portaria 4 do INMETRO, que apresenta os SFCR com bateria em dois tipos de configurações: SFCR com bateria com configuração de inversor de 4 portas e SFCR com bateria com configuração de inversor de 3 portas. Essa denominação dada pela CP N° 16 é uma nomenclatura diferente das configurações apresentadas de UPS mas possui o mesmo princípio de funcionamento quando comparadas com as configurações de dupla conversão (4 portas) e espera passiva com chave externa (3 portas). Ambas as configurações são apresentadas na figura 4

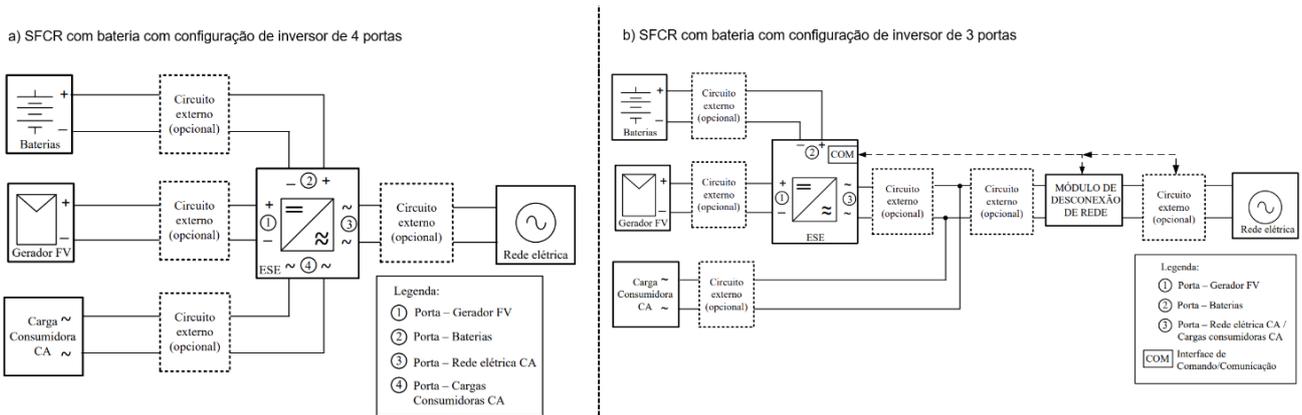


Figura 4 – Configurações de SFCR com bateria com inversor de 4 portas (a) e com inversor de 3 portas (b)

Fonte: adaptado de INMETRO, 2021.

3.2 Topologias

Com base nas configurações dos CFMs apresentados, é possível elaborar uma série de topologias e arranjos utilizando SFCR com baterias. A seguir são apresentadas possíveis topologias segundo o material produzido pelo GSE e por três fabricantes atuantes no mercado brasileiro (Huawei, Growatt e Fronius) que compartilham tecnologias baseadas nas configurações apresentadas.

SFCR com bateria e inversor único. No mínimo, um SFCR com bateria, irá consistir em um arranjo fotovoltaico, um conversor multifuncional (CFM) e um sistema de baterias. Em alguns sistemas há também um equipamento condicionador de potência que adiciona algumas funcionalidades ao sistema (GSES, 2020).

Na figura 5 é demonstrado a topologia básica de um SFCR com bateria.

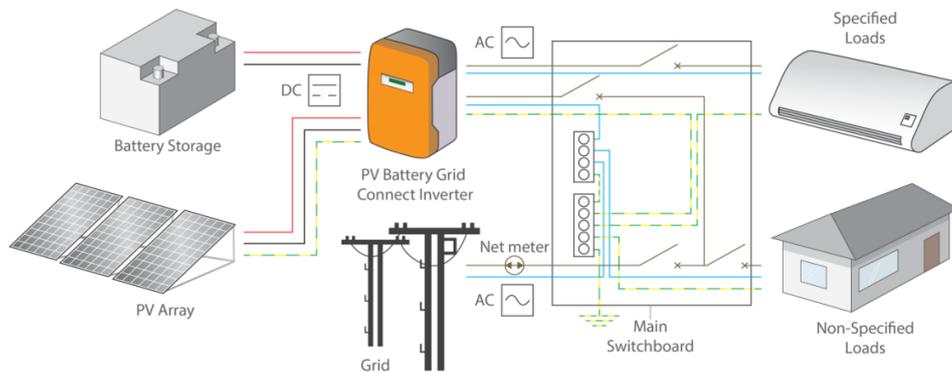


Figura 5 – Configuração básica de um SFCR com bateria e inversor único
Fonte: GSES, 2020.

O CFM apresentado na figura 5 possui entradas específicas para a bateria e para o arranjo fotovoltaico, o que resulta em um inversor apenas para ambos os sistemas. Esse tipo de inversor multifuncional requer a substituição completa do inversor antigo em caso de um *retrofit* (GSES, 2020).

SFCR com inversor único e controlador solar separado. Nessa configuração é adotado a topologia de um inversor único, entretanto, existe uma única entrada em formato de barramento C.C. para o arranjo fotovoltaico e o sistema de bateria. Além disso, há um controlador solar entre o barramento e o arranjo fotovoltaico que tem como objetivo controlar a tensão e corrente na entrada do barramento. Assim como na configuração anterior, essa topologia também necessita da troca do inversor existente no sistema em um caso de *retrofit*. Na figura 6 é apresentado essa topologia de inversor único com controlador solar separado.

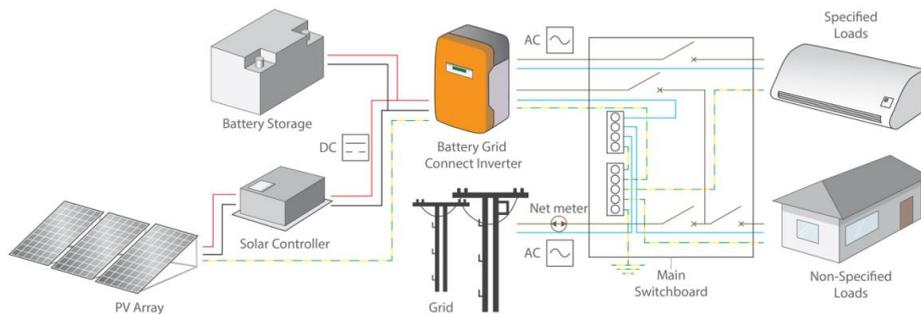


Figura 6 – Configuração de um SFCR com bateria, inversor único e controlador cc separado
Fonte: GSES, 2020.

SFCR com dois inversores. Na configuração apresentada na figura 7, há dois inversores no mesmo sistema, um conectado diretamente a bateria e um segundo inversor conectado ao arranjo fotovoltaico. Essa configuração permite que o inversor conectado possa trabalhar sendo carregado pela rede ou alimentando cargas específicas e o segundo inversor funcione da forma convencional conectado à rede fornecendo energia para todas as cargas e injetando energia excedente na rede. Essa topologia pode ser facilmente inserida em um sistema existente em um caso de *retrofit*.

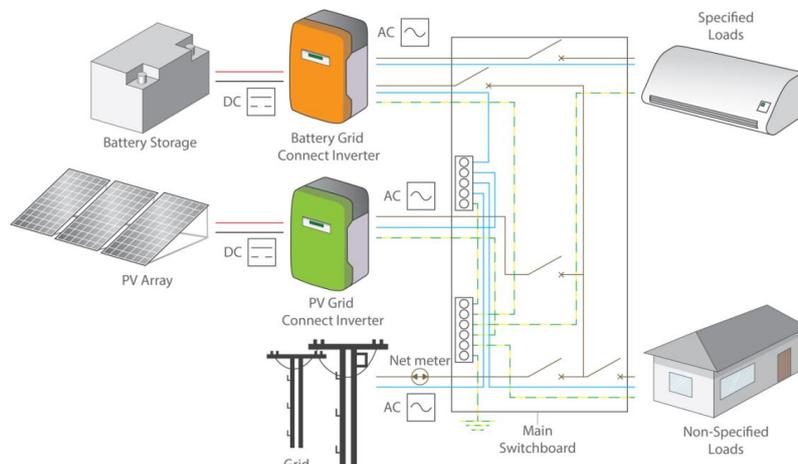


Figura 7 – Configuração básica de um SFCR com baterias com dois inversores
Fonte: GSES, 2020.

Inversores Huawei. A fabricante Huawei (2021), no manual do usuário das baterias LUNA2000, apresenta três modos de operação compatíveis com sua linha de inversores multifuncionais: Sistema de Armazenamento de Energia (ESS) conectado à rede elétrica, ESS conectado ou não à rede elétrica e ESS não conectado à rede elétrica. Dentre esses modos de operação é apresentada algumas topologias, como a da figura 8, onde a bateria funciona como um acumulador de energia sendo acionado em momentos oportunos complementando a geração do inversor. Nesse modo não há chave de seccionamento para isolar as cargas, sendo assim, quando não houver energia da rede não haverá geração de energia proveniente do arranjo e/ou da bateria.

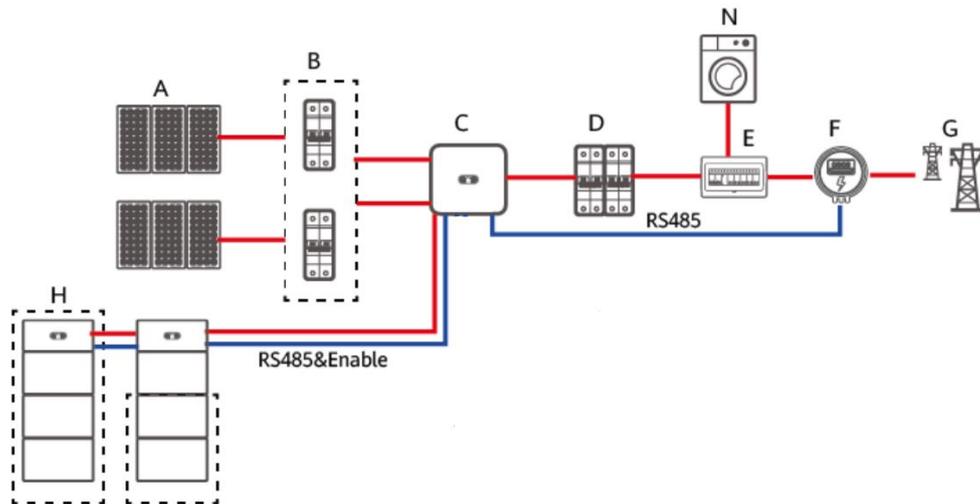


Figura 8 – Topologia ESS conectada à rede elétrica, Inversor + Bateria (A - Arranjo Fotovoltaico, B - Interruptor CC, C - Inversor Huawei SUN2000, D - Interruptor CA, E - Quadro de distribuição, F - Sensor de energia elétrica inteligente, G - Rede elétrica, H - Bateria LUNA2000 e N - Cargas gerais)

Fonte: Huawei, 2021.

No modo ESS básica conectada ou não à rede elétrica, a Huawei (2021) apresenta a topologia que permite a utilização da energia elétrica proveniente das baterias em momentos de falta da concessionária. Nesse modelo há a necessidade de uma chave de desconexão (chamada de *backup* pela fabricante) que mantém o fornecimento de energia para cargas prioritárias isolando a rede elétrica externa.

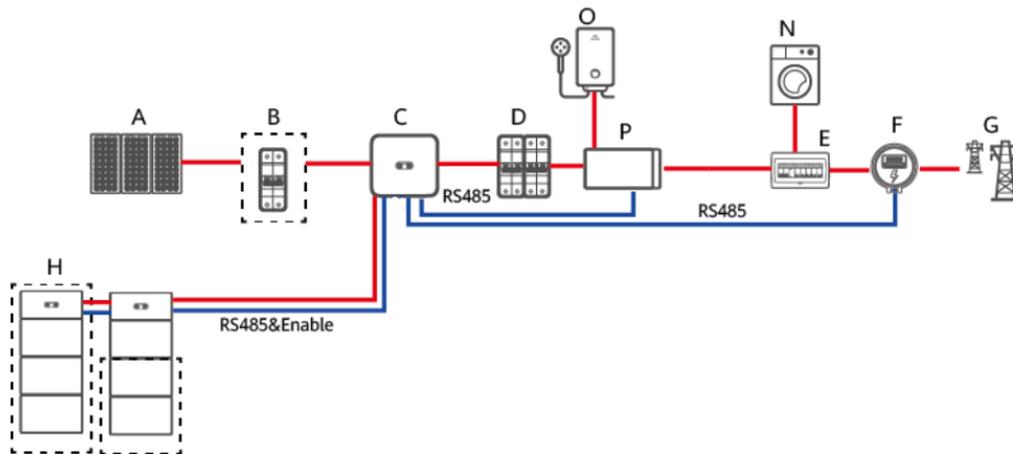


Figura 9 – Topologia ESS básica paralela não conectada à rede elétrica, Inversor + Bateria (P - Backup e O - Cargas prioritárias)

Fonte: Huawei, 2021.

Inversores Growatt. A fabricante Growatt (2021), possui duas linhas de inversores conectados à rede com bateria, a linha SPH e SPA. A linha SPH, assim como outras fabricantes, apresenta a integração de geradores fotovoltaicos com armazenamento por baterias, possibilitando o fornecimento de energia para cargas prioritárias. Entretanto, em sua linha SPA, é apresentado o inversor sem a entrada do arranjo fotovoltaico, trabalhando apenas com bateria e a rede. Na figura 10 é apresentado a topologia do inversor SPA que, em uma expansão ou *retrofit*, também pode trabalhar com inversores multifuncionais que possuem a entrada do arranjo fotovoltaico, assim como apresentado na figura 7. É possível observar que nessa topologia também é necessária uma chave de transferência para separar cargas prioritárias das cargas gerais conectadas à rede.

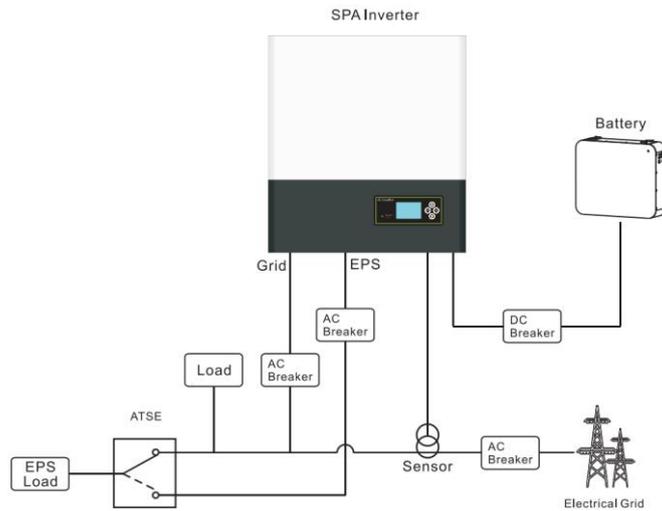


Figura 10 – Topologia para conexão do inversor SPA Growatt
Fonte: Growatt, 2021.

Inversores Fronius. A fabricante Fronius (2021), possui a linha de inversores multifuncionais GEN24. Assim como a Huawei e Growatt, também é possível o fornecimento de energia para cargas prioritárias e a injeção de energia complementar das baterias à rede. Além disso, a fabricante traz a possibilidade de *fullbackup*, onde o inversor com o painel FV e bateria alimenta todas as cargas da UC, e *PV Point* onde há uma saída externa isolada para alimentação de cargas específicas de até 3 kW. O *PV Point* traz o mesmo entendimento da configuração de CFM de dupla conversão. As configurações apresentadas pela Fronius permitem classificar a linha GEN24 como 3 e 4 portas. Na figura 11 é possível identificar a topologia com a função *PV Point* da linha GEN24.

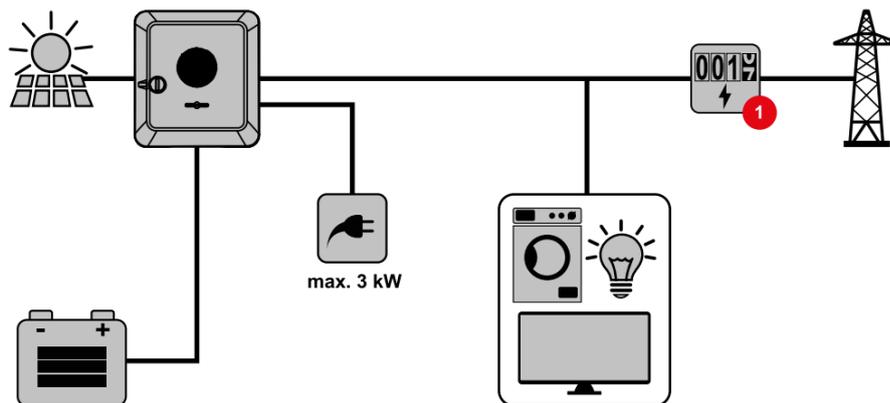


Figura 11 – Topologia com *PV Point* GEN24 Fronius
Fonte: Fronius, 2021.

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As configurações apresentadas neste trabalho levaram em conta a inexistência de normas, principalmente brasileiras, que apresentassem configurações ou topologias especificamente relacionadas a conversores fotovoltaicos multifuncionais. Dentro do que foi apresentado, as normas referentes a UPSs se adequaram para a realização da análise pois tratam de orientações para sistemas de conversores que também trabalham com a integração da rede C.A. e baterias, fazendo apenas o complemento da adição de uma porta de entrada C.C. de um arranjo fotovoltaico.

Dentro das possibilidades de configurações apresentadas, a configuração de espera passiva de conversor único e chave interna parece ser mais aderente aos sistemas fotovoltaicos, levando em conta a eficiência, redução de custos e possibilidades de modos de operação. A eficiência e redução de custos é retratada pela utilização de um único conversor C.C./C.A. e a adoção de chave de desconexão interna. No que se refere aos modos de operação, a funcionalidade do sistema de baterias atuar fornecendo energia para à rede traz diversas melhorias ao sistema elétrico e possibilidade de serviços.

As topologias baseadas em inversores com espera passiva e chaveamento externo, facilitam a inserção de novos SFCR com bateria, inclusive trazendo de fábrica as funcionalidades como controlador de carga, controle da bateria e comunicação com chaves externas para ilhamento do sistema.

Visando a atividade de *retrofit* de sistemas já existentes, as topologias que possuem menor intervenção são as que possuem dois inversores. O primeiro inversor já existente com entrada para os painéis e sem bateria. O segundo inversor adicionado posteriormente com entrada para bateria, sem entrada para painéis e trabalhando em paralelo com a rede CA. Essa versão compreende o que foi apresentado nos inversores Growatt da linha SPA.

Os inversores que possuem a configuração com somente a chave de desconexão do tipo interna, possuem uma desvantagem em relação aos inversores com chave externa. Essa desvantagem se situa na impossibilidade de se realizar o ilhamento do sistema, podendo alimentar as cargas em um momento de falta. Sua atuação principal está concentrada no fornecimento de energia pelo seu banco de bateria em paralelo com o fornecimento da rede local, podendo diversificar sua carga e descarga buscando otimizar a geração solar fotovoltaica.

Um ponto a ser destacado é a utilização imprescindível de chaves de desconexão, internas ou externas, que garantem a isolamento do circuito C.A. da rede de entrada do circuito C.A. provindo do conversor conectado a bateria. Por norma, a desconexão do inversor da rede de distribuição é obrigatória, garantindo que o sistema não trabalhe de forma ilhada. Atualmente, a desconexão dos inversores convencionais conectados à rede é realizada internamente, enquanto nos inversores multifuncionais, em algumas topologias, há uma ou mais chaves externas que são controladas por meio de sinais vindo do próprio inversor e de medidores inteligentes conectados a instalação. Alguns pontos de atenção devem ser considerados nessas topologias:

- Pode haver uma grande distância entre as chaves de desconexão e o inversor, aumentando a possibilidade de falhas na instalação do sistema. Dessa forma, a execução de testes durante o comissionamento é imprescindível;
- O sistema de chaveamento deve conter algum tipo redundância ou ter níveis altos de confiabilidade para que não ocorra ilhamento desproposital do sistema em momentos de falha da rede;
- Quando ocorrer a reconexão do inversor na rede de forma instantânea (bateria rede) e este depender de leituras de medidores inteligentes localizados posteriores as chaves de desconexão, é imprescindível que o sincronismo seja realizado de forma precisa e segura para garantir a integridade das cargas da instalação.

Segundo relatório da empresa de pesquisas em energia Greener (2021), os preços das baterias de lítio caíram 89% desde 2010, chegando em 2020 a patamares de 135 USD/kWh. Dentro de um sistema fotovoltaico, essas baterias podem constituir quase 50% do custo total do sistema. O estudo ainda afirma que dentro das possibilidades, a aplicação de sistemas de armazenamento tem maior competitividade financeira em unidades consumidoras de média tensão que possuem uma variação mais alta no valor da energia no horário de ponta e fora de ponta cobrada pela distribuidora. Com base nisso, mesmo não sendo abordado ao decorrer deste trabalho sobre os custos dos sistemas com armazenamento, é válido afirmar que os sistemas residências possuem uma barreira financeira a ser quebrada maior que os sistemas comerciais e industriais. Entretanto, visando os benefícios desse tipo de aplicação, principalmente ligados ao *backup* de energia aumentando a confiabilidade do sistema, o mercado residencial rural ou de regiões afastadas dos grandes centros pode ser cotado como promissor para o desenvolvimento dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 2012. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, Brasília.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 2021a. SIGA - Sistema de Informação de Geração da ANEEL. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/siga>>. Acesso em 10 de jan. de 2022.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 2021b. SISGD - Sistema de Geração Distribuída. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em 10 de jan. de 2022.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 2021c. Nota Técnica nº 0030/2021-SRD/SGT/SRM/SCG/SMA/ANEEL - Análise das contribuições da CP nº 25/2020 e proposta de revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída. Brasília.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). ABNT NBR 15014:2004 – Conversor a semicondutor – Sistema de alimentação de potência ininterrupta, com saída em corrente alternada (*nobreak*) - Terminologia. 2003. Comitê Brasileiro de Eletricidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). ABNT NBR 16149:2013 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. 2013. Comitê Brasileiro de Eletricidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). ABNT NBR IEC 62116:2012 – Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 2012. Comitê Brasileiro de Eletricidade. Rio de Janeiro.
- Bellinaso, L. V. Inversores Fotovoltaicos Conectados à Rede com Armazenamento de Energia – Classificação, Recomendações Técnicas e Gerenciamento. 2017. Tese de doutorado, PPGEE, UFSM, Santa Maria.
- Brasil. Câmara dos Deputados. 2021. Projeto de Lei 5829/2019 - Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Disponível em: <camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2062732&filename=Tramitacao-PL+5829/2019>. Acesso em 05 de dez. de 2021.
- Brasil. Presidência da República. 2022. Lei nº 14.300 de janeiro de 2022 - Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável

- Social (PERS). Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm >. Acesso em 10 de jan. de 2022.
- FRONIUS. Fronius Primo GEN24 PLUS – Manual de Instruções. 2021. Disponível em <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/instaladores-e-parceiros/dados-tecnicos/todos-os-produtos/inversor/fronius-primo-gen24-plus/fronius-primo-gen24-3-0-plus>>. Acesso em 10 de jan. de 2022.
- GREENER. Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento – Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras. 2021. Disponível em <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-do-mercado-de-armazenamento-de-energia-no-brasil-2021/>>. Acesso em 23 de fev. de 2022.
- GROWATT. Growatt SPA1000-3000TL BL – User Manual. 2021. Disponível em < <https://www.ginverter.pt/show-43-591.html>>. Acesso em 10 de jan. de 2022.
- GSES - Global Sustainable Energy Solutions. 2020. Grid Connected PV Systems With Battery Energy Storage Systems Installation Guidelines. Pacific Power Association. Disponível em: < <https://www.ppa.org.fj/publications-2/> >. Acesso em 10 de nov. de 2021.
- HUAWEI. Manual do usuário do LUNA2000-(5-20)-S0. Disponível em: < <https://support.huawei.com/enterprise/br/doc/EDOC1100173566>>. Acesso em 10 de jan. de 2022.
- Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). 2011. Portaria nº 004, de 4 de janeiro de 2011. Brasília.
- Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). 2021. Consulta Pública nº 16, de 11 de abril de 2021. Brasília.
- Perez, F. Inserção e Controle de Armazenadores de Energia em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. 2015 Dissertação de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A, 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL - CRESESB.
- Rasin, Z. Rahman, M. F. Control of Bidirectional DC-DC Converter for Battery Storage System in Grid-connected Quasi-ZSource PV Inverter. 2015. IEEE Xplore. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7409540>>. Acesso em 23 de out. de 2021.
- REN21. renewables 2021 global status report. 2021. Paris. ISBN 978-3-948393-03-8. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf >. Acesso em 10 de out. de 2021.
- Simpskins, T. Anderson, T. Cutler, D. Olis, D. Optimal Sizing Od A Solar-Plus-Storage System For Utility Bill Savings And Resiliency Benefits. *National Renewable Energy Laboratory – NREL*. 2016. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66088.pdf>>. Acesso em 23 de out. de 2021.

CONFIGURATION AND TOPOLOGIES FOR INTEGRATION OF BATTERY STORAGE SYSTEMS IN MICROGENERATION PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Abstract. *This paper presents the configurations and topologies for storage integration through batteries in microgeneration photovoltaic systems. It is evident that the integration of grid-connected photovoltaic systems (GCPVS) storage, is a global trend and has shown great potential when considering the growth of solar power generation. The application of batteries in GCPVS is generally linked to the technological advancement of bidirectional inverter technologies, also called multifunctional inverters or multifunctional converters. Currently, there are no specific regulations for photovoltaic inverters connected to the grid with battery systems, highlighting the need to work with UPS standards and guidelines, which have similar operation because they are DC/AC converters coupled to batteries. Within multifunctional photovoltaic converters (MPC) we have 3 main operating modes: grid connected mode, rectifier mode and islanded mode. For MPC configurations, based on UPS configurations, we have: passive standby, double conversion and line interactive. Finally, the study of configurations and topologies of multifunctional inverters that enable the adoption of batteries is important for the good development of this application in the scope of distributed photovoltaic systems, mainly microgeneration.*

Key words: *Multifunctional Photovoltaic Converters, Storage, Microgeneration*