

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE DE ALTO NÍVEL (SCAN) PARA GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM REDES DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO

Alex Renan Arrifano Manito
Marcelo Pinho Almeida – marcelopa@iee.usp.br
Mauricio Andres Rodriguez Cassares
Jose Cesar de Souza Almeida Neto
Pedro Ferreira Torres
Roberto Zilles

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente
Gilberto Figueiredo Pinto Filho
Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Civil

Resumo. A utilização de sistemas de armazenamento de energia como ativos em redes de transmissão e distribuição é um tema relativamente novo no planejamento da expansão das redes elétricas. Apesar dos benefícios potenciais, tais como o controle de tensão e o achatamento de picos em diversos pontos da rede, ressaltam-se os riscos associados com a falta de experiência relativa ao controle e ao gerenciamento deste tipo de aplicação. Este artigo apresenta um sistema de controle de alto nível (SCAN) para sistemas de armazenamento de energia integrados a sistemas de distribuição ou de transmissão. Os testes realizados ilustram o funcionamento do SCAN em um sistema piloto implementado no Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Palavras-chave: Armazenamento, Controle de Alto Nível, Recurso Energético Distribuído

1. INTRODUÇÃO

Dispositivos que agregam flexibilidade aos sistemas elétricos de potência, como, por exemplo, sistemas de armazenamento de energia, vêm ganhando importância à medida que fontes renováveis não despacháveis aumentam sua participação na matriz energética e avanços tecnológicos reduzem os custos associados com aquisição e implantação de tais dispositivos. Sua integração em redes de transmissão e distribuição possibilita o uso eficiente de recursos físicos e econômicos juntamente com um fornecimento robusto e confiável de eletricidade, especialmente em sistemas de potência com uma proporção significativa de energia renovável intermitente. Dentre seus potenciais benefícios estão: o aumento da capacidade de absorção de fontes renováveis não despacháveis por redes elétricas (*hosting capacity*), valorização da energia gerada por fontes não despacháveis, adiamento de investimentos em expansão de capacidade das redes, entre outros. Assim, diversas pesquisas têm focado na utilização de elementos ativos para o oferecimento de suporte em redes elétricas, por exemplo, Hung *et al.* (2014) discutem a utilização de fotovoltaico e bateria para redução de perdas e melhoramento da estabilidade de tensão, Mohamad *et al.* (2021) propõe um método de alocação de bateria para redução da limitação de geração fotovoltaica, Koller *et al.* (2015) apresenta o desempenho de um sistema de armazenamento com baterias para oferecimento de suporte de rede instalado em Zurich e Gevorgian *et al.* (2020) apresenta o desempenho de controles desenvolvidos para demonstrar a utilização de sistemas fotovoltaico com bateria em diversas situações de operação conjunta.

Estes sistemas podem introduzir flexibilidade de gerenciamento em diversos pontos de uma rede, não somente no ponto de instalação (ponto de interface com a rede), o que extrapola funções locais como arbitragem e controle de tensão no ponto de conexão e permite que tais sistemas sejam utilizados como ativos em redes elétricas de potência. Contudo, a utilização de armazenamento como ativo de redes elétricas foge às abordagens tradicionais para expansão de redes, o que resulta em riscos associados a falta de experiência relativa ao controle deste tipo de tecnologia. Este artigo apresenta um sistema de controle de alto nível (SCAN) para sistemas de armazenamento de energia integrados em redes de transmissão ou distribuição, cuja operacionalidade está sendo avaliada em um sistema piloto implementado no Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. O artigo apresenta uma descrição do sistema de controle na seção 2, o arranjo experimental na seção 3, os testes realizados utilizando as diversas funções disponíveis na seção 4 e as conclusões e considerações finais na seção 5.

2. SISTEMA DE CONTROLE

O SCAN tem como objetivo atuar sobre diversos pontos da rede elétrica, fornecendo suporte segundo suas funções e compensando as variações de forma a manter os valores de *set point* ajustados pelo operador. O SCAN foi desenvolvido de forma a assentar-se sobre funções básicas presentes em sistemas de armazenamento de energia, neste caso, o ajuste sobre os valores de potência ativa e potência reativa injetados ou absorvidos, de forma que sua aplicação não está restrita a nenhum fabricante específico. A Fig. 1 (a) mostra um diagrama com a arquitetura geral do SCAN e a Fig. 1 (b) apresenta o diagrama de blocos do controle de compensação.

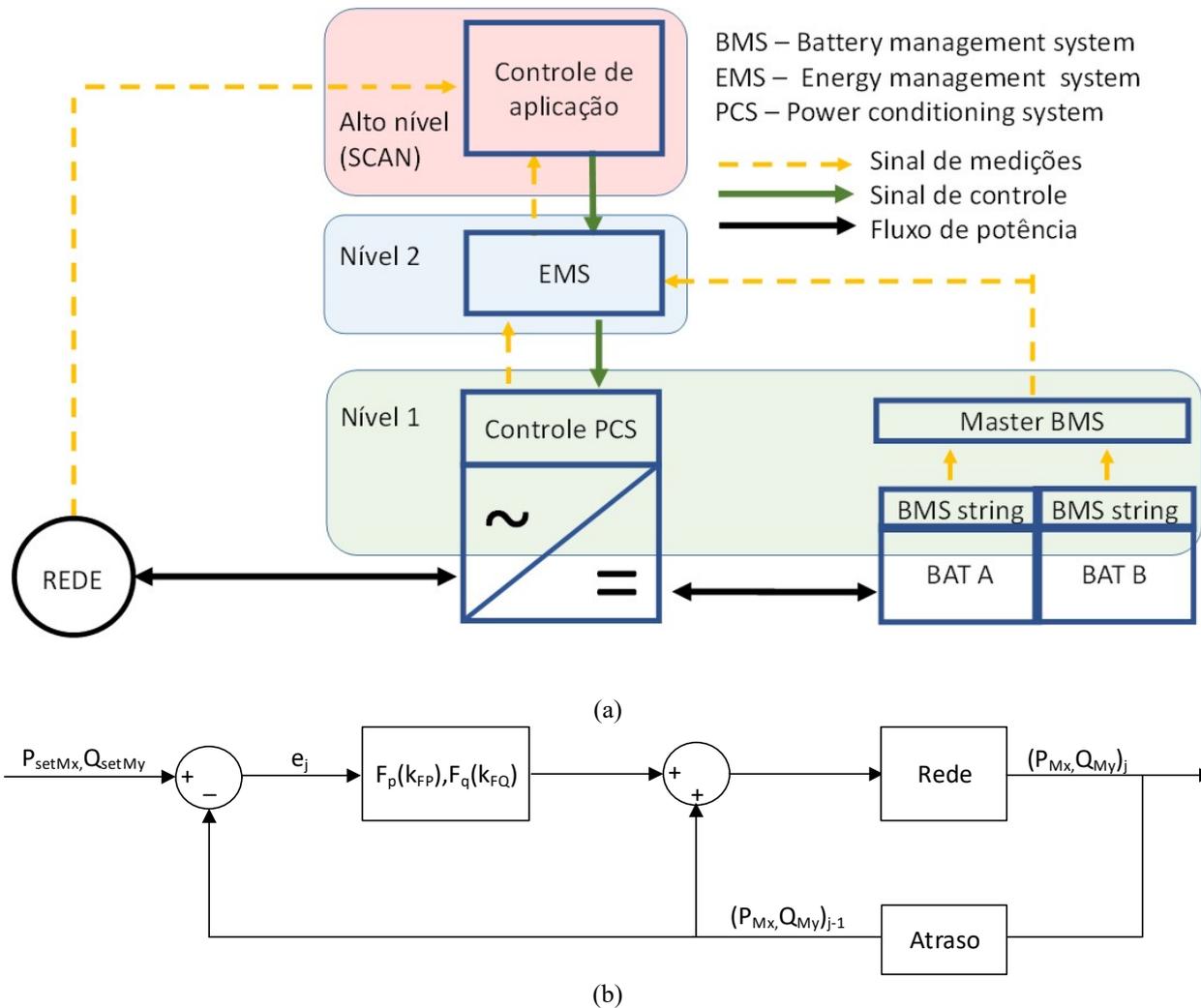


Figura 1 – Arquitetura do SCAN. (a) componentes do sistema e (b) digrama de blocos do controle.

O SCAN se vale dos dados de diversos pontos de medição (M) para direcionamento do suporte e da compensação por meio do controle do fluxo de potência do sistema de armazenamento de energia. A compensação de variações foi desenvolvida segundo de um controle do tipo proporcional integral de forma a implicitamente incluir perdas em elementos da rede, como transformadores e/ou perdas nas linhas. Assim, os valores de *set point* ajustados serão aqueles a serem alcançados em um M em particular, devendo o SCAN realizar a compensação do valor de saída do sistema de armazenamento para alcançar o objetivo especificado. Os parâmetros K_{FP} e K_{FQ} são responsáveis por controlar a inércia sintética do SCAN para, respectivamente, as funções de potência ativa e reativa, e expressam o percentual de compensação do erro.

O SCAN considera os controles envolvendo potência ativa e reativa de forma independente. Assim, uma função pode ser alocada para o controle de potência ativa e uma função diferente pode ser alocada para o controle de potência reativa, incluindo a possibilidade das funções em potência ativa e reativa atuarem simultaneamente em pontos M diferentes. Contudo, considerou-se que, para a implementação do SCAN, as funções de potência ativa possuem prioridade de uso da curva de capacidade do sistema de armazenamento de energia, de modo que, caso haja concorrência pela capacidade de fornecimento de potência, esta será alocada prioritariamente à função de controle de potência ativa. A função de potência reativa contaria apenas com o restante da capacidade disponível para fornecimento de potência, dada pela raiz da diferença quadrática entre a potência ativa solicitada e a potência aparente máxima disponível. As funções descritas a seguir foram implementadas para controle da rede:

Limitação de rampa de geração fotovoltaica: consiste em evitar oscilações superiores a um determinado limiar de variação de potência de modo a tornar o perfil de geração fotovoltaica mais suave. Neste modo o sistema de armazenamento de energia atua como uma inércia para a geração fotovoltaica.

Despachabilidade do ponto de controle: Consiste em controlar o fluxo de potência ativa e reativa no ponto de controle. Neste modo o SCAN opera de forma a compensar variações em torno de um valor desejado, ajustado pelo usuário. Esta função difere da apresentada anteriormente por manter o fluxo de potência no ponto de controle em um valor fixo, enquanto a anterior amortece variações de potência.

Limitação de fluxo de potência: consiste em limitar a potência máxima, tanto demandada quanto injetada, que pode ser trocada entre dois pontos da rede elétrica. Neste modo o SCAN atua de forma a limitar apenas se o valor absoluto do fluxo de potência for maior que o limiar ajustado. *Peak shaving* e capacidade virtual são duas aplicações possíveis para essa função.

Controle de SoC (State of Charge – Estado de Carga): consiste a garantir que, ao final de um dado período, o estado de carga (SoC) da bateria será aquele desejado pelo usuário. Neste modo o SCAN estima a potência demandada/fornecida a partir da informação de SoC proveniente do Master BMS e do tempo restante dentro do período definido pelo usuário para atuação desta função.

Arbitragem: consiste em definir diretamente os valores de potência ativa e reativa a serem demandados/fornecidos pela bateria.

Compensação de reativos: consiste em ajustar o fator de potência desejado. Neste modo o sistema de armazenamento de energia atua de forma a controlar o fluxo de potência reativa necessário para atingir o fator de potência especificado pelo usuário.

Além das funções propriamente associadas com o controle de potência ativa e reativa, o SCAN também possui funções auxiliares necessárias para fornecer robustez e flexibilidade na operação. Ao iniciar o funcionamento, o SCAN primeiramente valida a possibilidade de controle e gerenciamento por meio de uma varredura dos sinais da rede de medidores, somente habilitando o controle após esta fase. Durante a operação, também é contabilizada a possibilidade de perda de comunicação com os elementos da rede de medição e controle e, neste caso, o SCAN pode entrar em estado de proteção se alguma condição de funcionamento, estabelecida pelo usuário, for violada (atualmente o SCAN está programado para manter o funcionamento desde que no máximo três falhas de comunicação consecutivas com um mesmo ponto da rede ocorram). A flexibilidade está associada com o concatenamento de funções, o qual permite que o operador programe a operação diária segundo o número de funções que desejar. As funções são programadas com horários de início e término, de modo a fazer com que o sistema desempenhe automaticamente diversas funções ao longo do dia segundo as necessidades pré-estabelecidas da rede.

3. ARRANJO EXPERIMENTAL

O SCAN, apresentado na seção 2, foi implementado em um sistema piloto de testes conectado à rede elétrica de média tensão (MT) do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP) no âmbito do projeto de P&D estratégico da ANEEL PD 00068-0038/2016, aproveitando parte da infraestrutura pré-existente, implantada durante o P&D estratégico da ANEEL PD 00068-0029/2011. A Fig. 2 apresenta uma visão geral da rede na qual o SCAN foi implementado. Nota-se que se trata de parte da rede de MT interna do IEE-USP que possui cargas, geração distribuída e um sistema de armazenamento de energia conectados em baixa tensão (BT) a partir de transformadores de potência MT/BT. O sistema de armazenamento de energia utiliza baterias do tipo LYP (Lithium Yttrium Iron Phosphate).

A rede de medidores consiste nos pontos M1, M2 e M3, onde foram instalados medidores de energia multigrandezas na interface do sistema de armazenamento de energia com a rede de MT interna do IEE, na interface do sistema de geração fotovoltaica com a rede de MT interna do IEE e interface entre a rede de MT interna do IEE com a rede externa em MT da USP, respectivamente. Adicionalmente, outras medições provenientes do Energy Management System (EMS) do sistema de armazenamento de energia, como o SoC, também são coletadas. O SCAN deve oferecer suporte a qualquer um dos pontos M segundo as funções descritas na seção 2. O armazenamento de energia possui capacidade de 100 kVA / 200 kWh, e foi concebido para poder compensar, em termos de energia, em torno da metade, e integralmente, em termos de potência, a geração fotovoltaica durante um dia médio na cidade de São Paulo. Isto foi feito para que o sistema de armazenamento pudesse influenciar de maneira significativa os fluxos internos de potência dentro da rede do IEE-USP, podendo até mesmo provocar reversão de fluxo no ponto M3, mesmo que por tempo limitado, e assim viabilizar diversas configurações e análises.

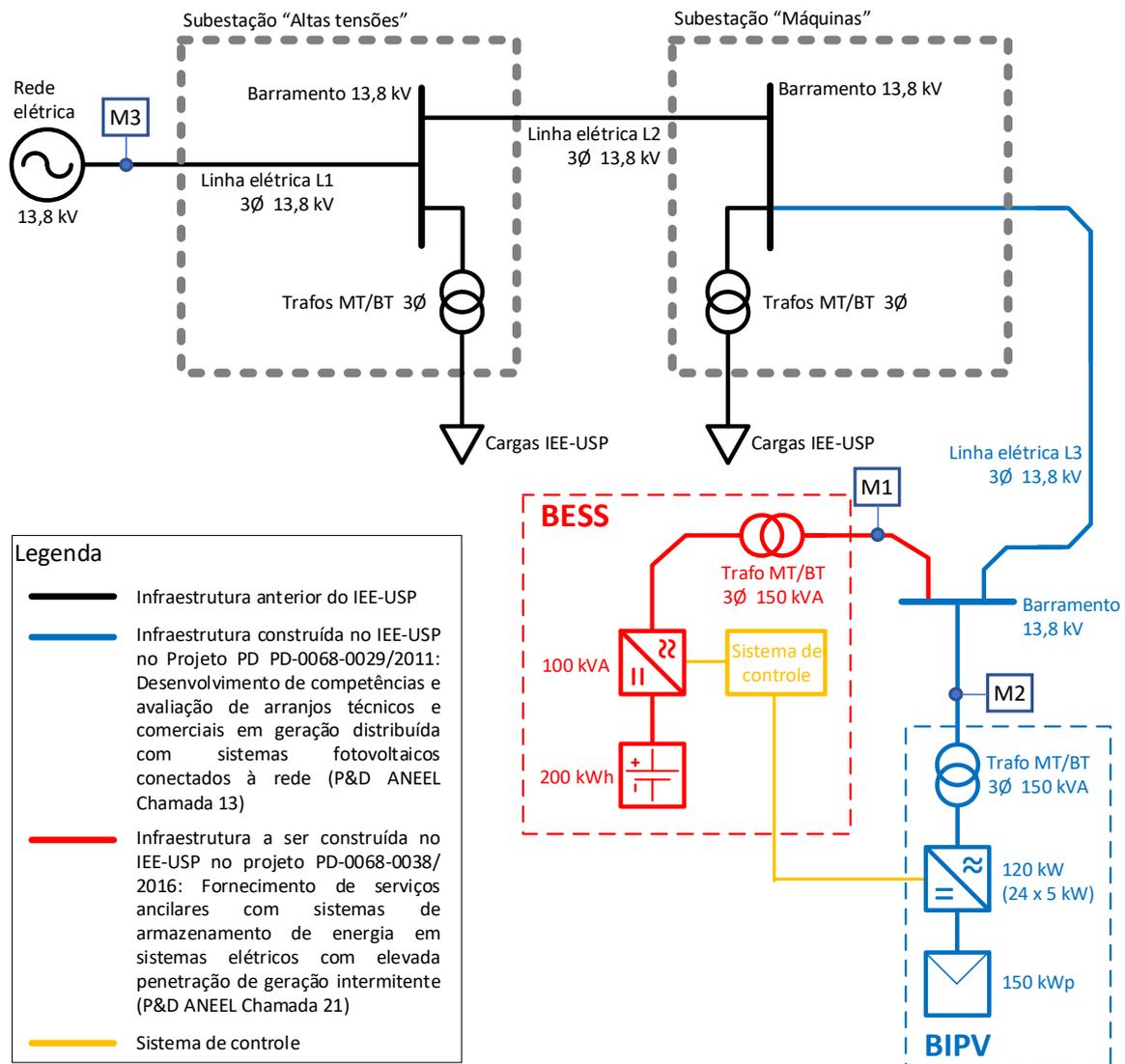


Figura 2 – Diagrama da rede interna do Instituto de Energia e Ambiente onde o SCAN foi implementado.

A estrutura de transmissão de sinais, tanto de controle como de medição, utiliza infraestrutura híbrida, consistindo em uma rede RS485, uma rede *mesh* sem fio e uma rede ethernet. A Fig. 3 (a) apresenta a vista aérea das instalações do IEE-USP com destaque para os pontos de interesse do sistema piloto, enquanto que a Fig. 3 (b) apresenta o diagrama esquemático da infraestrutura de comunicação. Devido à extensão da rede, a utilização de cabeamento físico se tornaria muito custosa, o que levou a opção por uma rede *mesh* sem fio. A Fig. 3 também apresenta o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF), de onde é possível medir e controlar todo o sistema. Todos os sinais de comunicação e controle utilizam protocolo MODBUS para transmissão das mensagens.

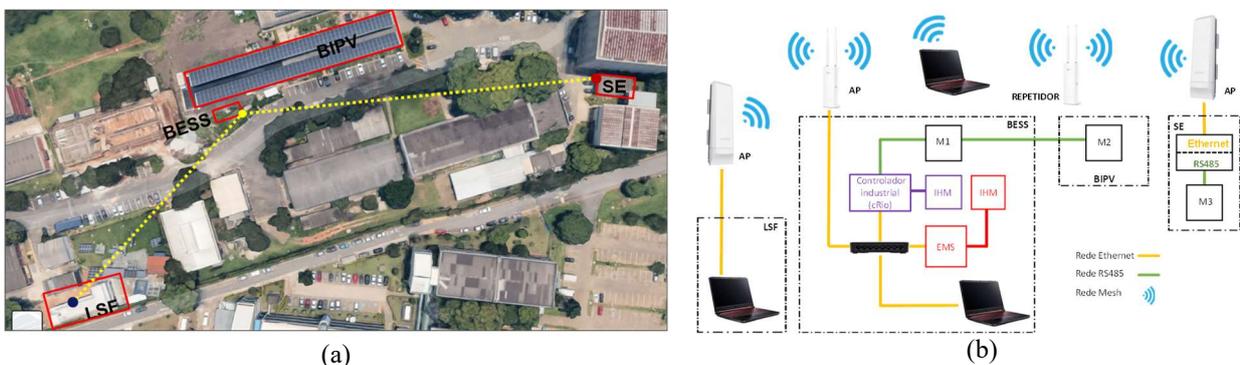


Figura 3 – Rede de dados implementada. (a) Vista aérea das instalações dentro do IEE-USP. (b) Diagrama esquemático da rede de comunicação e controle.

O SCAN foi implementado em um computador industrial (*CompactRIO* CRIO9033) do fabricante *National Instruments*, como pode ser visto na Fig. 4, e a interface de operação foi programada em linguagem *LabVIEW*, conforme apresentado na Fig. 5. Na interface de operação pode ser obtida a visualização gráfica do comportamento dos pontos M da rede de comunicação, além dos valores instantâneos apresentados na tabela no lado direito. A interface permite que o operador tenha uma visão holística de como a rede se comporta. Nos campos *controle P* e *controle Q* o operador pode determinar a função a ser utilizada, o valor atribuído de ajuste para a função e os momentos de início e término da função. Como mencionado anteriormente, neste campo o operador pode indicar o número de funções de operação que desejar.



Figura 4 – Infraestrutura de controle do SCAN. (a) Computador industrial. (b) *Touch screen* para interface com o computador industrial dentro do container do sistema de armazenamento de energia.

O SCAN faz uma varredura pela rede a cada dois segundos de forma a capturar rapidamente variações de potência. O armazenamento dos dados é realizado segundo o valor parametrizado pelo usuário, o qual deve informar o número de medições consecutivas para integralização (atualmente o sistema opera com integralização de dez medições consecutivas). Isso foi realizado para manter a velocidade de operação e preservar a memória de massa do computador.

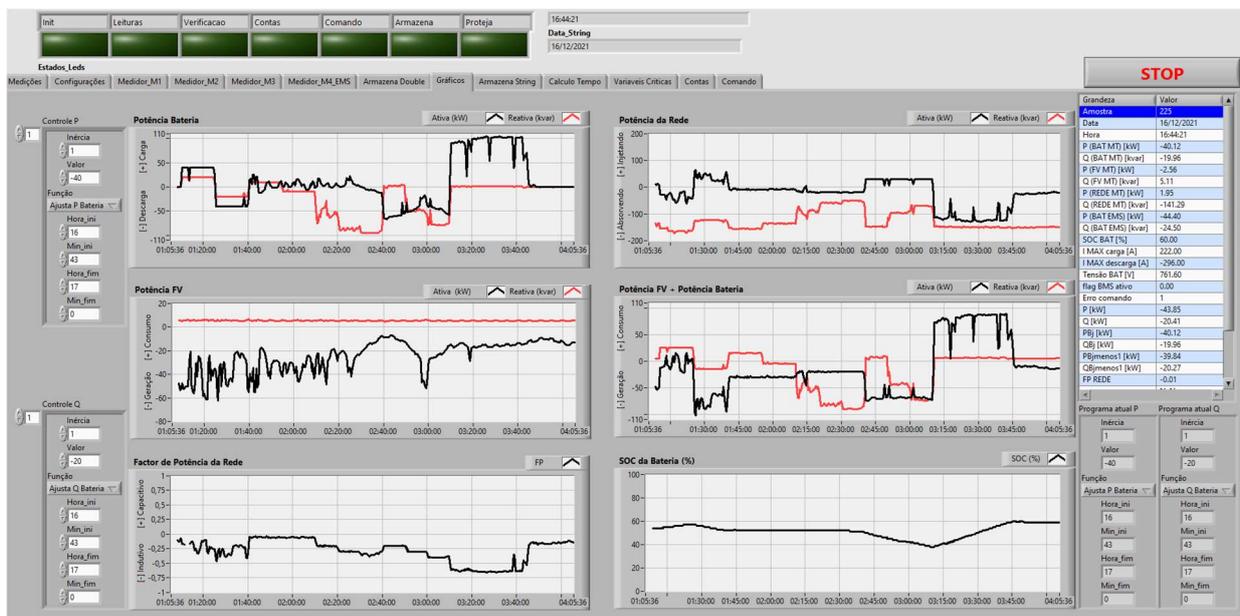


Figura 5 – Interface de operação e monitoramento do SCAN.

4. TESTES

De forma a averiguar o funcionamento do SCAN, foram realizados testes contemplando diferentes situações operacionais. Estas englobam funções distintas de controle para potência ativa e reativa nos diferentes pontos M. O primeiro teste, apresentado na Fig. 6, visa o controle das potências ativa e reativa no M1 (ponto de interface do sistema de armazenamento de energia) em duas situações distintas utilizando a função *arbitragem*. Na situação apresentada na região A da Fig. 6, as potências ativa e reativa foram ajustadas respectivamente para 40 kW e 20 kvar. Na região B, as potências ativa e reativa foram ajustadas respectivamente para -40 kW e -20 kvar. Conforme observado nos gráficos, o SCAN seguiu o ajuste desejado, compensando as perdas no transformador de acoplamento entre o sistema de armazenamento de energia e a rede.

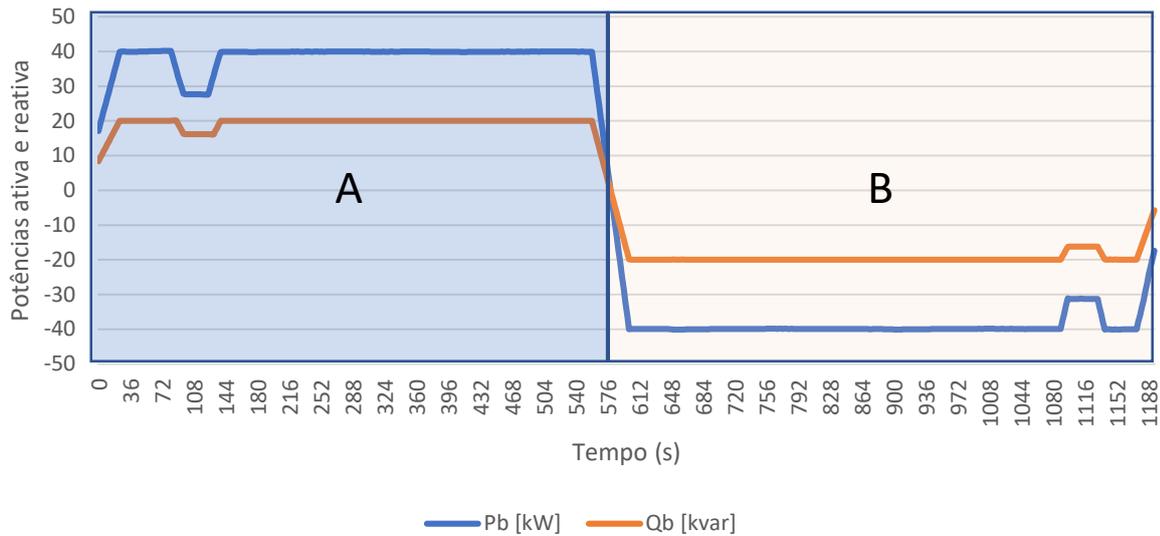


Figura 6 – Controle das potências ativa e reativa no M1.

O segundo teste, apresentado na Fig. 7, consiste na função *despachabilidade no ponto de controle* considerando a potência ativa total proveniente da soma de M1 e M2 (emulando um sistema de geração fotovoltaica com armazenamento de energia associado), bem como a função *arbitragem* para potência reativa no ponto M1. Durante o período de teste, o valor ajustado para o balanço entre a potência fotovoltaica (Pfv) e a potência do sistema de armazenamento (Pb) foi de 30 kW. Desta forma, a potência da bateria deveria compensar as variações na geração fotovoltaica de forma a manter um valor fixo de potência na linha elétrica L3 da Fig. 2. Simultaneamente ao cumprimento da função para a potência ativa, a bateria deveria fornecer uma potência reativa de 10 kvar (região A) e, posteriormente, -10 kvar (região B). Nota-se nas medições apresentadas na Fig. 7 que a bateria conseguiu manter o objetivo desejado com poucas oscilações, apesar das variações significativas na potência fornecida pela geração fotovoltaica.

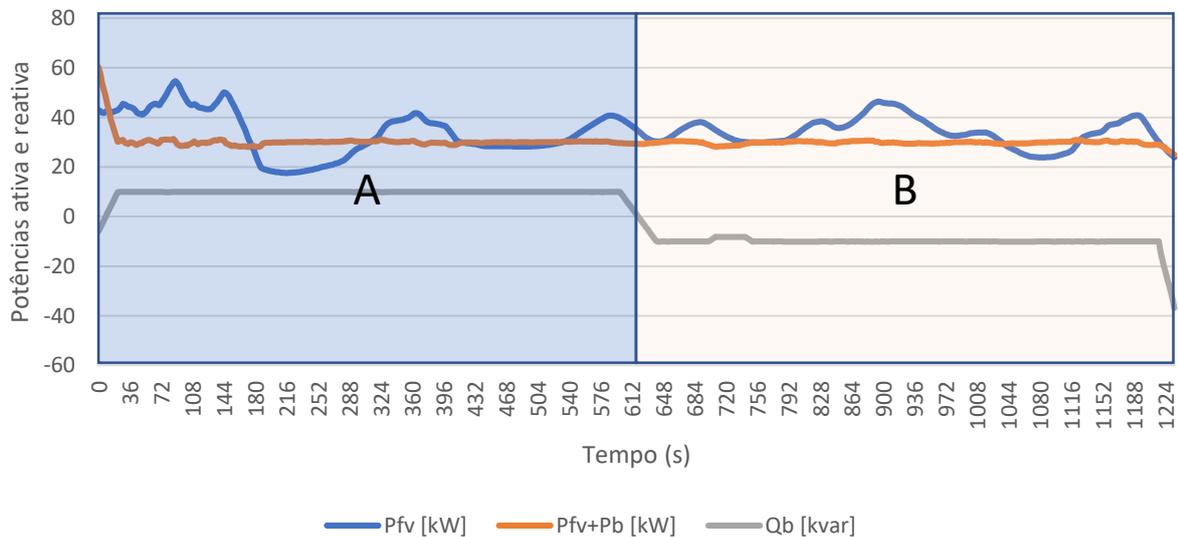


Figura 7 – Controle simultâneo da despachabilidade da geração fotovoltaica e da potência reativa gerenciada pelo sistema de armazenamento de energia.

O terceiro teste, apresentado na Fig. 8, consistiu na função *despachabilidade no ponto de controle* considerando a potência ativa total proveniente da soma de M1 e M2 (emulando um sistema de geração fotovoltaica com armazenamento de energia associado), bem como o controle do fator de potência (função *compensação de reativo*) no ponto M3 (ponto de interface com a rede externa). Durante o teste, o valor ajustado para o balanço da potência fotovoltaica (Pfv) e da potência do sistema de armazenamento (Pb) foi de 20 kW. Novamente, a potência do sistema de armazenamento de energia deveria compensar as variações na geração fotovoltaica de forma a manter um valor fixo de potência na linha elétrica L3 da Fig. 2. Simultaneamente ao cumprimento da função para a potência ativa, a bateria deveria manter o fator de potência de interface com a rede (M3) em valores pré-estabelecidos (-0,2, -0,3 e -0,4 respectivamente para os períodos compreendidos nas regiões A, B e C da Fig. 8). Nota-se nas medições apresentadas na Fig. 8 que a bateria conseguiu

manter, na medida do possível, o objetivo desejado. Durante parte do teste houve perda de comunicação com um dos medidores da rede, o que causou uma perda momentânea de controle visível no centro da região A da Fig. 8. Na região C é apresentada uma das características do SCAN: como o controle de potência ativa tem preferência sobre o controle de potência reativa, o ajuste do fator de potência estava sendo limitado pela capacidade máxima de fornecimento do sistema de armazenamento de energia, enquanto mantinha a função de potência ativa no valor de ajuste desejado.

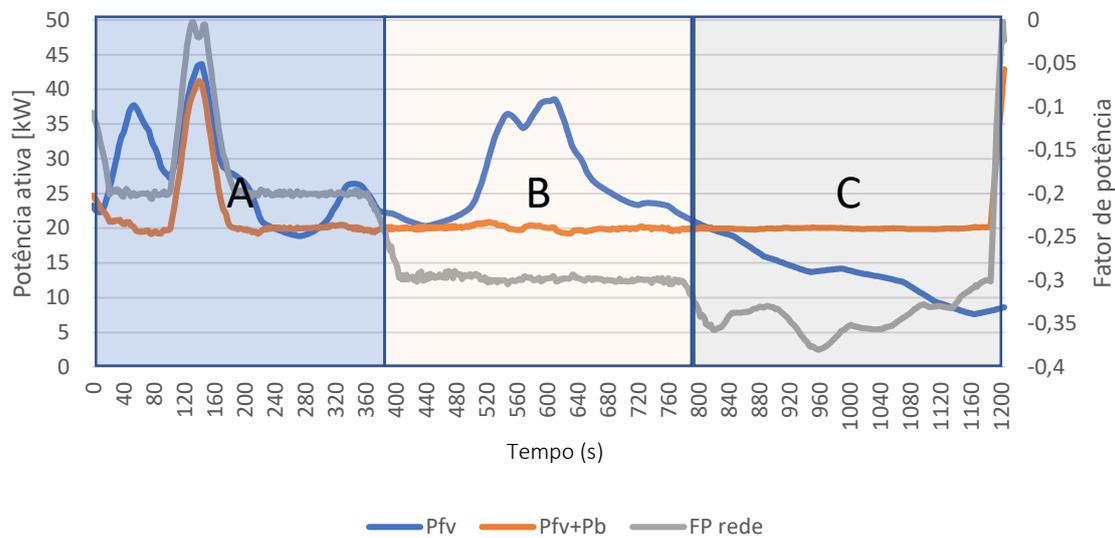


Figura 8 – Controle simultâneo da despachabilidade da geração fotovoltaica e do fator de potência na interface com a rede externa.

O quarto teste, apresentado na Fig. 9, consiste na função *despachabilidade no ponto de controle* para a potência ativa no ponto M3 (barramento de interface entre a rede interna e externa do IEE-USP), além do controle do fator de potência (função *compensação de reativo*) também no ponto M3. Neste caso, a potência ativa de interface com a rede externa foi mantida em 30 kW, de forma que a bateria deveria compensar quaisquer variações tanto do sistema de geração fotovoltaica, quanto das cargas do IEE-USP. Simultaneamente ao cumprimento da função para a potência ativa, a bateria deveria manter o fator de potência em valores pré-estabelecidos (-0,2, -0,3 e -0,4, respectivamente para os períodos compreendidos nas regiões A, B e C da Fig. 9). Nota-se nas medições apresentadas na Fig. 9 que a bateria conseguiu manter o objetivo desejado, porém com alguns momentos onde houve falha de comunicação.

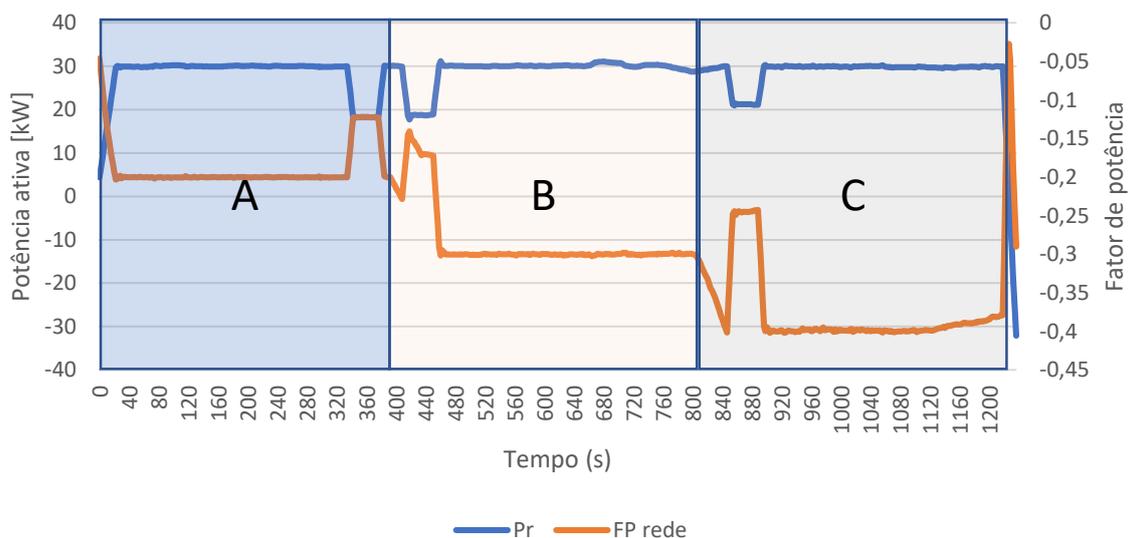


Figura 9 – Controle simultâneo de despachabilidade da potência ativa e do fator de potência no ponto de interface do IEE-USP com a rede externa.

O quinto teste consistiu em avaliar a função *controle de SoC*. Neste teste foi feito o ajuste para que o valor do estado de carga da bateria fosse de 60% ao final do período alocado para a função. Nota-se, na Fig. 10, que o controle cumpriu sua função. Contudo, pode-se visualizar no gráfico dois pontos onde houve falha de comunicação com o EMS da bateria.

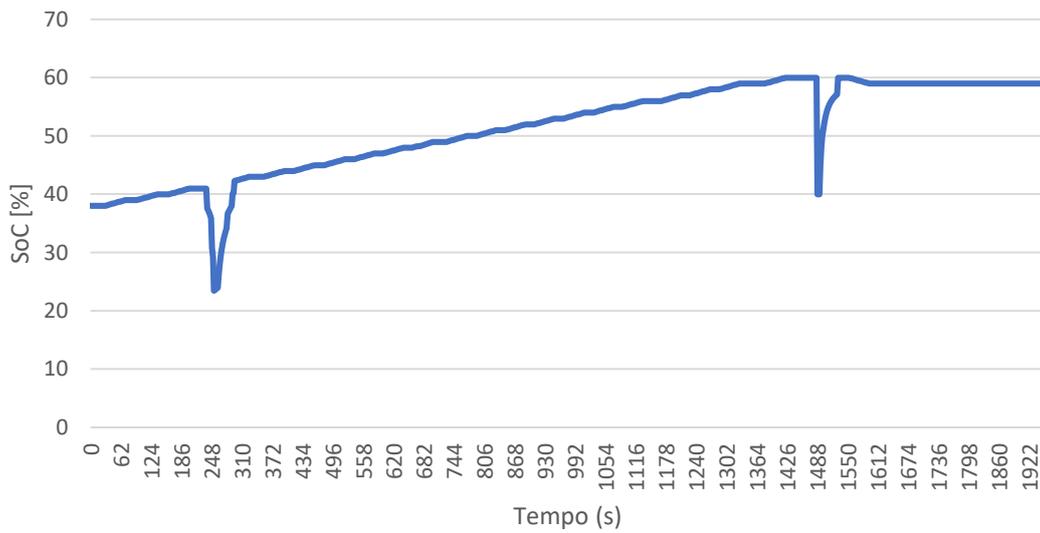


Figura 10 – Controle do estado de carga do sistema de armazenamento de energia.

O sexto teste consistiu em avaliar o controle de rampa implementado no BESS instalado no IEE/USP. No teste apresentado na Fig. 11, o algoritmo foi ajustado para ser ativado com oscilações iguais ou superiores a 400 W/s, o que, para a potência instalada da geração FV em questão, evitaria oscilações acima de 20%/min (em relação à potência nominal). Nota-se que a bateria absorve as variações da geração FV tanto na borda de subida quanto na borda de descida, e que o conjunto sofre uma pequena oscilação inicial devido ao fato de o controle esperar que o gatilho seja acionado para poder iniciar o amortecimento. Também se nota que o BESS possui um offset de -6 kW, o qual se deve às cargas internas do container que abriga o BESS. Ressalta-se que o container instalado no IEE/USP, devido às atividades de pesquisa, possui área maior que um container comercial com a mesma capacidade de armazenamento, resultando em maior consumo com condicionamento de ar. A Fig. 12 apresenta a taxa de rampa das amostras da Fig. 11 organizadas de forma crescente, onde se percebe que o algoritmo reduziu as taxas de rampas mais acentuadas. Também se observa que há um pequeno aumento de variações de menor magnitude devido à operação de amortecimento do BESS.

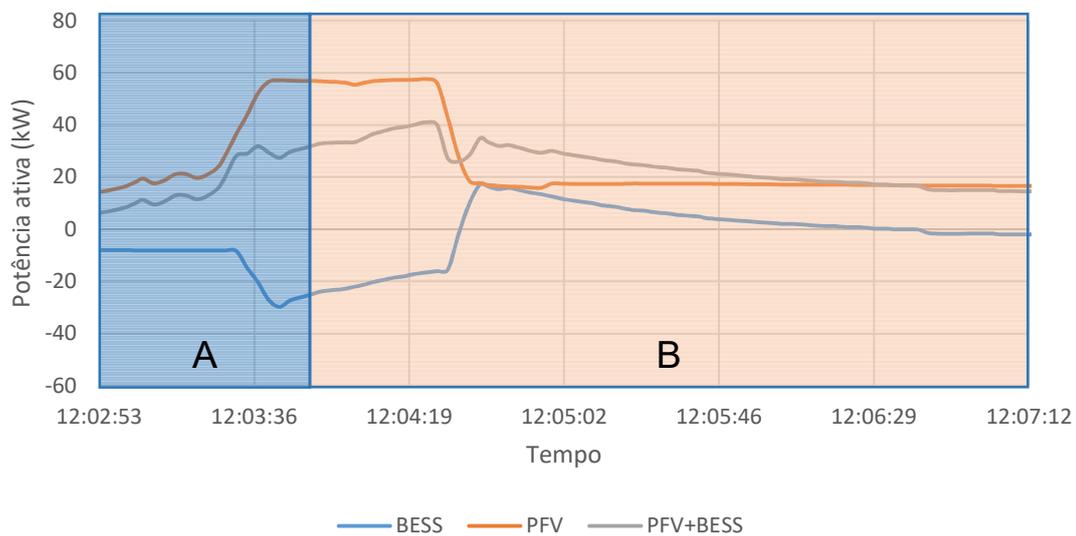


Figura 11 – Controle de amortecimento de curta duração implementado no BESS instalado no IEE/USP. Os períodos A e B são contínuos.

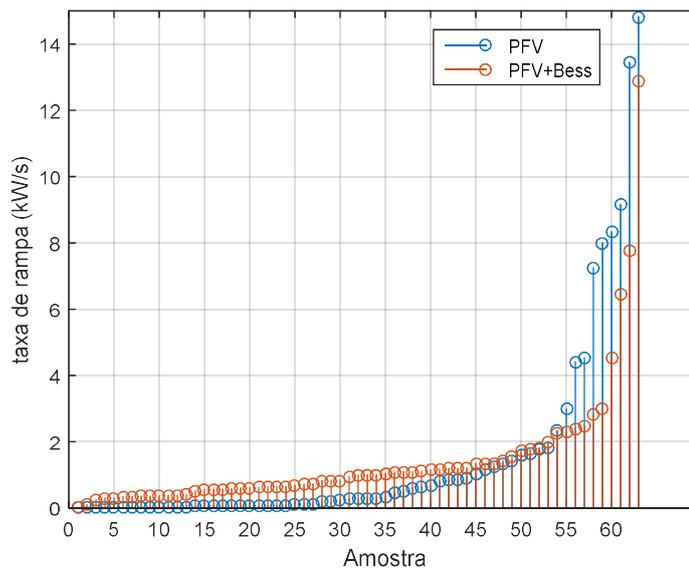


Figura 12 – Valor absoluto da taxa de rampa organizada em ordem crescente.

As falhas de comunicação observadas durante os testes ocorreram, basicamente, por dois motivos. O primeiro, e mais significativo, foi por atraso de comunicação entre o computador de controle e um dos medidores de energia cuja conexão é wireless. Esse problema foi solucionado com a instalação de um repetidor entre a antena do computador de controle, localizado no container do BESS, e a antena do medidor de energia. O segundo motivo das falhas tem origem na comunicação entre o computador de controle e o EMS do BESS. Apensar de ser uma comunicação via cabo, em alguns momentos o EMS apresenta um tempo de latência maior, pois está realizando outras operações de comunicação com os demais equipamentos do container. Em ambos os casos, o atraso na comunicação faz com que o sistema de controle de alto nível entenda que há um problema, e inicie um procedimento de proteção que consiste em zerar a potência fornecida/absorvida pelo BESS. Em relação às falhas de comunicação com o EMS, ainda estão sendo estudadas maneiras de mitigar os efeitos das mesmas no SCAN.

5. CONCLUSÕES

O SCAN foi projetado para ser um sistema de controle de alto nível que se assenta sobre funções comuns em sistemas de armazenamento de energia com baterias, quais sejam, o controle de potência ativa e reativa. Desta forma, o SCAN não está vinculado a um equipamento de um fabricante específico, podendo ser implementado em qualquer equipamento que possua interface de dados com protocolo MODBUS para ajuste das potências ativa e reativa. A utilização de um computador industrial, como o CRIO9033, e a linguagem de programação gráfica, como o LabVIEW, não são requerimentos imprescindíveis para implementação das funções atualmente disponíveis, podendo o mesmo algoritmo ser implementado em outra linguagem, como Python, por exemplo, utilizando outro computador industrial que possa suportar o funcionamento contínuo. Contudo, a infraestrutura mencionada foi escolhida para possibilitar futuras expansões com estratégias de controle mais rápidas fazendo uso do FPGA nativo do computador industrial utilizado (CRIO9033).

No caso do SCAN implementado no IEE/USP, os testes apresentaram controle satisfatório dos pontos de operação desejados nas funções em que foram testados, apesar de eventuais falhas de comunicação. Além disso, o controle proporcional integral foi suficiente para compensar perdas decorrentes dos elementos da rede interna do IEE/USP, principalmente o transformador de acoplamento do sistema de armazenamento de energia com linha de MT. Se a compensação dos elementos de rede não for realizada, o gerenciamento terá um desempenho sub-ótimo, seja com valores menores que o desejado para o caso de descarga da bateria, seja com valores acima do desejado para o caso de carga. Além disso, a função para *Controle de SoC* teria desempenho insatisfatório, uma vez que a bateria não atingiria o estado de carga desejado ao final da operação.

Ressalta-se que, no presente estudo, o sistema de controle foi ajustado para zerar o erro de regime permanente no ponto de medição, o que nem sempre será desejável devido à impedância da rede. Se a impedância da rede for elevada, devido, por exemplo, a um ponto de compensação muito distante do ponto de atuação (no caso o barramento da bateria) pode ser que a eliminação do erro de regime permanente gere problemas de sobre ou sub tensão em outros barramentos. No caso do presente estudo, foi possível zerar o erro de regime permanente sem causar problemas referentes à qualidade de energia na rede interna do IEE/USP.

Com relação à velocidade de atuação do SCAN, o mesmo foi capaz de manter os valores de ajuste constantes inclusive para o caso da função de *despachabilidade do ponto de controle* do sistema fotovoltaico, mesmo na ocorrência de um dia parcialmente nublado e com variações consideráveis de potência. Ressalta-se que, apesar disso, o SCAN foi

desenvolvido para aplicações consideradas em regime permanente, de forma que este algoritmo não poderia ser utilizado (da forma como atualmente o *hardware* está implementado) para atuação em caso de transitórios eletromagnéticos.

Agradecimentos

O trabalho descrito nesse artigo está associado com as atividades de pesquisa do projeto de P&D estratégico da ANEEL PD 00068-0038/2016, intitulado “FORNECIMENTO DE SERVIÇOS ANCILARES COM SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS COM ELEVADA PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO INTERMITENTE”, com o apoio financeiro da ISA-CTEEP e contrapartidas da USP. Os autores agradecem as instituições citadas pelo suporte no desenvolvimento das pesquisas realizadas.

REFERÊNCIAS

- Gevorgean V., Koralewics, P., Shah, S., Wallen, R., Mendiola, E., Morjaria, M, 2020. Provisiono of Grid Services by PV Plants with Integrated Battery Energy Storage System, Preprint. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78140.pdf>
- Hung, D. Q., Mithuananthan, N., Bansal, R. C., 2014. Integration of PV and BES units in commercial distribution systems considering energy loss and voltage stability, Applied Energy vol 113, pp 1162 – 1170.
- Mohamad, F., Teh, J., Lai, C., 2021. Optimun allocation of battery energy storage system for power grid enhanced with solar energy, Energy, vol. 223.
- Koller, M., Borsche, T., Ulbig, A., Andersson, G., 2015. Review of grid applications with the Zurich 1MW battery energy storage system, Electrical Power System Research, vol. 120, pp 128-135.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A HIGH-LEVEL CONTROL SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF ENERGY STORAGE SYSTEMS IN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION GRIDS

Abstract. *The use of energy storage systems as an asset in transmission and distribution networks is a relatively new topic in power grid expansion planning. Despite the potential benefits, such as voltage control and peak flattening at various points in the network, the risks associated with the lack of experience related to the control and management of this type of technology should be carefully considered. This article presents a high-level control system for energy storage system in transmission or distribution grids. The performed tests illustrate the operation of the control system in a pilot project implemented at the Institute of Energy and Environment of the University of São Paulo.*

Key words: *Energy storage, High-Level Control, Distributed energy resource*