

<http://dx.doi.org/10.48005/2237-3713rta2023v12n3p97109>

Inserção da energia renovável como alternativa sustentável e aumento da confiabilidade no fornecimento de energia para subestações de transmissão

Renewable energy insertion as a sustainable alternative and increased reliability in the power supply to transmission substations

Eder Luiz de Mello

Universidade Federal Fluminense - UFF
edermello@id.uff.br

Quezia de Moraes da Costa

Universidade Federal Fluminense - UFF
queziamoraes@id.uff.br

Márcio Zamboti Fortes

Universidade Federal Fluminense - UFF
mzamboti@id.uff.br

RESUMO ESTRUTURADO

Os sistemas fotovoltaicos têm apresentado altas taxas de crescimento em todo o mundo, abrindo caminho para a geração de energia segura, limpa, confiável e renovável. Os serviços auxiliares em corrente alternada devem ter duas fontes de alimentação, sendo uma fonte externa e outra da própria subestação e um grupo motor gerador para emergências. Os serviços auxiliares de corrente contínua são alimentados pelo retificador e pelo banco de baterias. A proposta deste artigo é apresentar a terceira fonte de alimentação para os serviços auxiliares de corrente contínua renovável, sistema fotovoltaico, tornando o sistema mais seguro e sustentável sem emissão de poluentes e com a utilização de uma fonte inesgotável de energia, energia.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico; Serviço ancilar; Subestação; Retificador e Baterias

STRUCTURED ABSTRACT

Photovoltaic systems have demonstrated significant growth rates globally, paving the way for the generation of safe, clean, reliable, and renewable energy. Auxiliary services in alternating current can be provided by the appropriate concessionaire, the generator engine group, or the auxiliary service transformer, with the latter being the most used. Direct current auxiliary services are powered by the rectifier and the battery bank. The proposition in this article is to introduce a third power source for auxiliary renewable direct current services—utilizing a photovoltaic system. This approach aims to enhance the safety and sustainability of the system, eliminating pollutant emissions and relying on an inexhaustible source of energy.

Keywords: Photovoltaic Systems; Ancillary Service; Substation; Rectifier and Batteries

1. INTRODUÇÃO

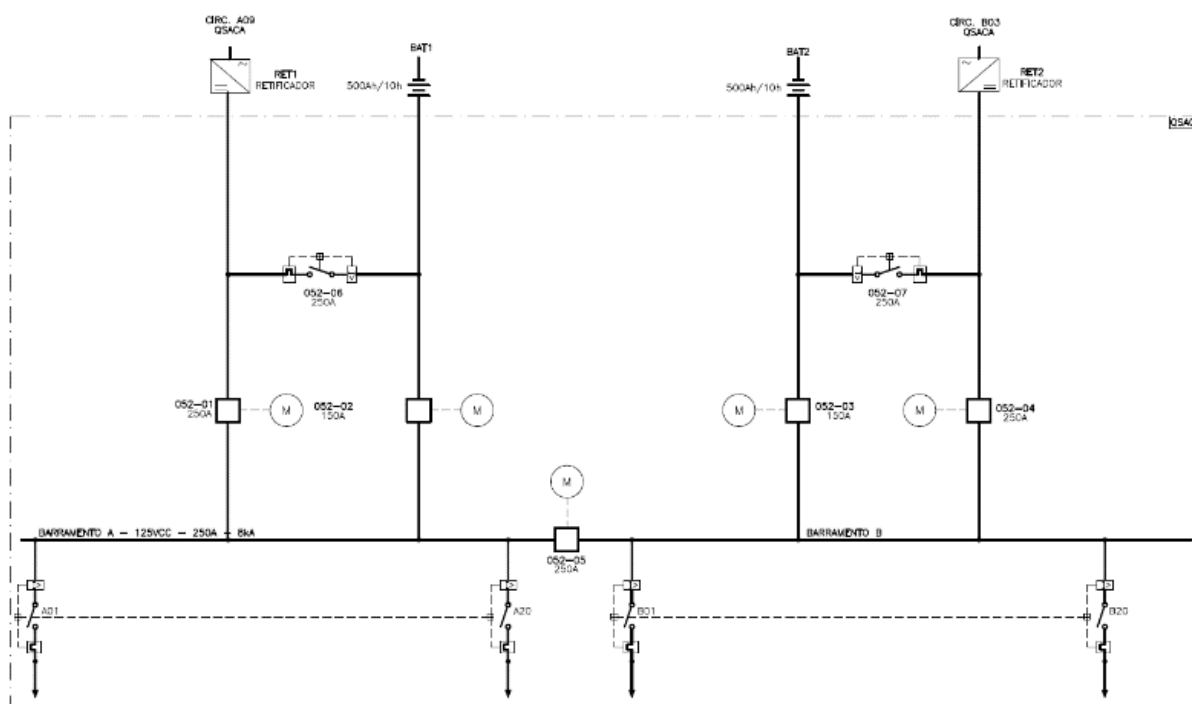
Serviço auxiliar é o nome dado a forma de suprir a demanda de energia consumida para o correto funcionamento da própria subestação. Essa energia é consumida em corrente contínua e em corrente alternada.

Os serviços auxiliares de corrente contínua (CC) fornecem energia aos sistemas de proteção, supervisão e controle devem ter dois conjuntos independentes de bancos de baterias com retificadores, alimentando cargas independentes com nível de tensão em 125Vcc e cada conjunto deve ser dimensionado para suprir toda a carga prevista em regime contínuo. É permitido o paralelismo entre os bancos de baterias. Cada conjunto bateria-retificador deve atender a toda a carga prevista para regime contínuo pelo período mínimo de 5 (cinco) horas [1].

Além disso, os serviços auxiliares CC para alimentação dos sistemas de telecomunicações com nível de tensão em 48Vcc são iguais ao descrito anterior, mas com autonomia para 10 (dez) horas e devem ser independentes [2].

A Figura 1 apresenta o circuito básico dos serviços auxiliares de CC do sistema de proteção, supervisão e controle, em 125Vcc, que é o mesmo do sistema de telecomunicações, em 48Vcc.

Figura 1 – Barra dupla do serviço auxiliar de CC (Fonte: Autoria Própria)



Os serviços auxiliares em corrente alternada (CA) devem ter, no mínimo, duas fontes de alimentação, nas seguintes configurações: uma fonte externa proveniente da distribuidora local e outra interna da própria subestação ou duas fontes internas da própria subestação. As fontes internas da subestação devem ser providas por meio de terciário de transformador existente ou por meio de transformador convencional dedicado para esse fim a ser instalado pelo Agente de transmissão. Em caso de falta de tensão nas duas fontes de alimentação CA, deve ser previsto um grupo motor-gerador com partida automática e capacidade para alimentação das cargas essenciais da subestação [3].

Conforme a Resolução Normativa nº 884/20 a definição das cargas essenciais são aquelas necessárias para iniciar o processo de recomposição da subestação, em caso de seu desligamento total ou parcial. Conforme as normativas do submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, fazem parte das cargas essenciais todo o sistema de automação e proteção (SPCS/MPCC - Sistema de Proteção, Controle e Supervisão/ Medição, Proteção, Comando e Controle), servidores, IHMs (Interface Homem Máquina) do sistema SCADA (Sistema de

Supervisão e Aquisição de Dados), bastidores de rede e painéis de telecomunicações e afins. As cargas são classificadas de acordo com o grau de continuidade que é exigido pelas fontes de energia e podem ser classificadas pelos seguintes grupos:

1. Cargas Permanentes:
2. Cargas Essenciais:
3. Cargas não Essenciais:
4. Cargas de Emergência:

Este artigo propõe apresentar a inserção de uma nova fonte de energia para fazer parte do sistema de atendimento ao serviço auxiliar em subestações de Transmissão com objetivo de aumentar a confiabilidade e a resiliência dos serviços auxiliares. A resiliência neste trabalho define a capacidade do serviço auxiliar resistir às contingências em caso de falha das outras opções de fonte de alimentação, assegurando o menor tempo possível de interrupção do fornecimento de energia e retornando de forma rápida ao estado normal de operação [4]. A nova fonte de energia utilizada é a geração fotovoltaica que não emite poluentes durante sua operação, renovável, sustentável e acima de tudo confiável. A geração fotovoltaica se mostra eficaz sendo um investimento atrativo social e ambientalmente, bem como mitiga o risco de indisponibilidade da subestação em caso de falha das outras opções de fonte para alimentação do serviço auxiliar. Desta forma, reduz a dependência de fontes de energia únicas e aumenta a resiliência dos sistemas auxiliares. Há outras fontes renováveis que poderiam ser utilizadas, por exemplo energia eólica, mas possui um alto custo comparada com a solar.

O serviço auxiliar de corrente alternada é destinado a suprir energia as cargas como motores, iluminação e tomadas, conversores CA/CC, dentre outras. A configuração do sistema de serviço auxiliar de corrente alternada, talvez seja a mais difícil se obter uma padronização, uma vez que depende do número de unidades geradoras da usina e do sistema elétrico em que ela será implantada.

2. SUBESTAÇÕES

De acordo com a instrução [5], uma subestação pode ser definida como parte do sistema elétrico que compreende um conjunto de equipamentos, dispositivos de manobras, proteção, controle, transformação, condutores e outros acessórios, destinados a proteção, medição, manobra e transformação de grandezas e alguns elementos com funções específicas no sistema conhecido como *bays* que permitem a composição da subestação em módulos, e além de obras civis e estruturas de montagem que funcionam de forma interdependente para atender ao sistema elétrico.

As subestações (SE) são pontos de convergência, entrada e saída, de linhas de transmissão, sua frequência, constituem uma interface entre dois subsistemas, e cada vão da subestação deve possuir dispositivos de proteção (relés) e equipamento de disjunção com a finalidade de limitar os impactos proporcionados por ocorrências no sistema elétrico tais como: descargas atmosféricas, colisão, falhas de equipamentos, curtos-circuitos etc.

As funções mais importantes dos sistemas de subestação são, de acordo com [6], é monitorar o status de equipamentos e de sobrecarga em transformadores, medição, proteção de linha, barra, reator, perda de sincronismo, supervisão das proteções, religamento automático, localização de falha na linha e no disjuntor, telecomandos, intertravamento entre outros.

A corrente alternada é a mais utilizada para transmissão de energia no Brasil. Porém a partir de algumas centenas de quilômetros, é preciso construir subestações intermediárias para

realizar uma compensação reativa, de modo a manter um perfil de tensão que torne a transmissão estável.

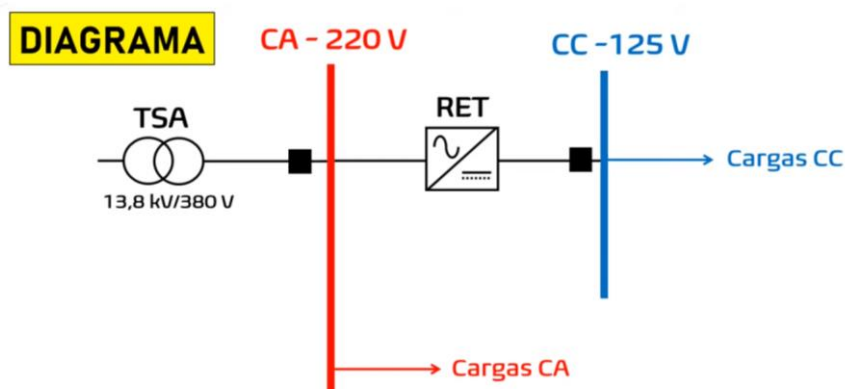
Destinados a transportar a energia elétrica desde a fase de geração até a fase de distribuição, abrangendo processos de elevação e abaixamento de tensão elétrica, realizados em subestações próximas aos centros de consumo. Essa energia é transmitida em corrente alternada (60 Hz) em elevadas tensões (138 a 500 kV). Os elevados potenciais de transmissão se justificam para evitar as perdas por aquecimento e redução no custo de condutores e métodos de transmissão da energia, com o emprego de cabos com menor bitola ao longo das imensas extensões a serem transpostas, que ligam os geradores aos centros consumidores.

3. SUBSISTEMA EM CORRENTE CONTINUA (CC)

O sistema de CC é utilizado para suprir energia segura e confiável para circuitos de comando, controle e proteção, sinalização, transdutores e alarme, geralmente os serviços auxiliares de corrente contínua independem das condições do sistema de potência principal. São fontes que requerem alimentação confiáveis, normalmente constituídas por baterias de acumuladores operando em regime de flutuação, associados em paralelo a retificadores carregadores de baterias. O regime de flutuação, os carregadores alimentados pelo barramento de cargas essenciais, fornecem corrente na tensão nominal do sistema, às cargas de serviços auxiliares e ao conjunto de baterias, mantendo estas sempre carregadas.

Os serviços auxiliares de corrente contínua, tem como função fornecer a tensão de controle 125Vc, utilizada na ausência da fonte de energia em corrente alternada. São alimentados pelo retificador e pelo banco de baterias. Dentre essas cargas estão todo o sistema de automação e proteção (SPCS/MPCC), servidores e IHMs do sistema SCADA, bastidores de rede e painéis de telecomunicações, dentre outros. Entende-se desta forma que os serviços auxiliares possuem o importante papel de fornecer em todo o conjunto de equipamentos e painéis necessários para a operação contínua dos sistemas de geração, transmissão e distribuição no sistema elétrico de potência (SEP) operante. A Figura 2 apresenta um diagrama básico dos serviços auxiliares.

Figura 2 – Diagrama dos serviços auxiliares (Fonte: Autoria Própria)



Legenda:

TSA- Transformador de serviços auxiliares em 13,8 KV que reduz na baixa tensão para 380V trifásico e 220V monofásico;

CA – Barramento de corrente alternada em 220Volt;

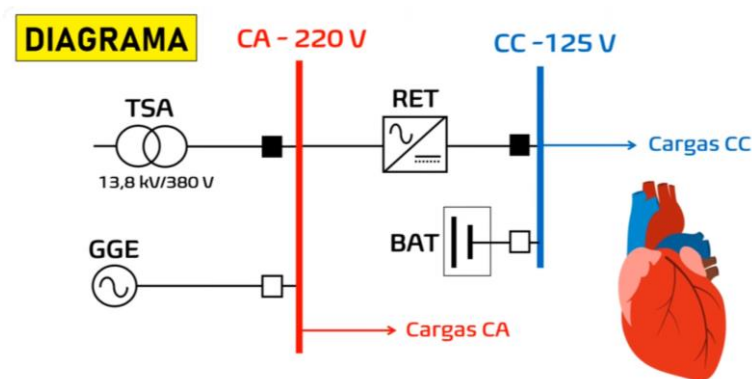
RET – Retificador de converter corrente alternada em corrente contínua;

CC – Corrente contínua 125 Volt.

Se no transformador de serviços auxiliares ocorrer algum defeito, o grupo-motor gerador (GMG) de emergência é ativado e se no retificador ou no GMG ocorrer problema o banco de baterias assume a alimentação ininterrupta dos serviços auxiliares em CC. A Figura 3 apresenta o GMG (GGE) e o banco de baterias (BAT) demonstrando que as cargas em CC é o coração da subestação.

O GMG de emergência é utilizado quando há a indisponibilidade do transformador dos serviços auxiliares ou interrupção na rede elétrica de distribuição local. O GMG é um gerador à diesel acoplado a um alternador. Já o retificador transforma a tensão de entrada CA em tensão de saída CC, ou seja, retifica a onda de entrada, ele é projetado para manter uma tensão maior que a de descarga das baterias, conhecida como tensão de flutuação, de forma que, em condições normais, a bateria não descarrega, apenas mantém sua carga. Na ocorrência de falta de alimentação das fontes CA ou curto-circuito na sua entrada, a tensão no retificador reduz próximo a zero e, conseqüentemente, cai a tensão CA de entrada. A tensão na saída do retificador também cai e a tensão da bateria passa a ser maior que na saída do retificador, passando a assumir a carga desse sistema auxiliar e permitindo manter a tensão para: Comando de disjuntores/chaves e telecomandos; alimentação de sistemas de sinalização; alimentação auxiliar de relés/sistemas de proteção; alimentação de painéis sinóticos; iluminação de emergência; alimentação de sistemas de medição/telemetria. Ao retornar a tensão CA, o retificador reconhece e pode colocar a bateria em recarga. Essas fontes de alimentação tanto em CA e CC em baixa tensão, são o coração da subestação provendo todos os recursos para o bom funcionamento de cada equipamento.

Figura 3 – Diagrama dos serviços auxiliares (Fonte: Autoria Própria)



Legenda:

TSA- Transformador de serviços auxiliares em 13,8 KV que reduz na baixa tensão para 380V trifásico e 220V monofásico;

CA – Barramento de corrente alternada em 220Volt;

RET – Retificador de converter corrente alternada em corrente contínua;

CC – Corrente contínua 125 Volt;

GGE – Grupo gerador;

BAT – Grupo de baterias.

4. BANCO DE BATERIAS

As baterias são um conjunto de pilhas ligadas em série, ou seja, dispositivos eletroquímicos nos quais ocorrem reações de oxirredução, o que produz a corrente elétrica. As baterias foram os primeiros sistemas inventados pelo homem para produzir e armazenar energia elétrica, na forma de CC, elas podem apenas armazenar energia em corrente contínua, ou seja, energia que só flui em um sentido. O nível de produção de energia quando é superior ao consumo, a energia produzida em excesso é utilizada para carregar as baterias, funcionando os inversores como retificadores para suprir o consumo, e em situações de equilíbrio entre a energia produzida e consumida os inversores asseguram a carga de manutenção das baterias [7].

Para suprir um sistema de serviço auxiliar de corrente contínua é necessário ter retificadores e bancos de baterias para que os sistemas funcionem de forma ininterrupta, os bancos de baterias precisam ser baterias recarregáveis, desta forma, pode-se salientar que há quatro principais tipos de baterias recarregáveis em comercialização: Níquel-Cádmio – Ni-Cd, Níquel-Hidreto Metálico – Ni-Mh, Lítio-Íon – Li-Íon e Chumbo-ácido – Pb-ácido [8]. As baterias de chumbo-ácido são consideradas as baterias mais econômicas [9]. Em subestações, quando há, por algum motivo, a falta de alimentação CA que alimenta os retificadores, a principal aplicação das baterias Pb-ácido é alimentar sistemas de telecomunicações, sistema de controle, sinalizações, alarme e tele medição, para que o sistema continue operante, nesse caso é indicado a bateria estacionária para os sistemas que necessitam de longos períodos de energia sem interrupção.

A bateria de acumuladores deve permitir a alimentação das cargas essenciais durante o período suficiente para efetuar todas as atuações e as manobras necessárias. Este intervalo de tempo em que a bateria mantém a tensão mínima por elemento (normalmente 90% da tensão nominal) necessária ao bom funcionamento do sistema é conhecido como autonomia da bateria. Os principais tipos de bateria utilizados atualmente são: Chumbo-ácido e Alcalinas (níquel/cádmio). A capacidade das baterias chumbo-ácidas é, geralmente, de 10 horas, ao passo que as alcalinas podem ser de 3, 5 ou 10 horas. A Tabela 1 apresenta as faixas de tensão para as baterias de acumuladores.

Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico, ONS, (Submódulo 2.6, 2016, p. 27), “Em caso de falta de alimentação CA, cada banco de bateria deve ter autonomia de no mínimo 10 (dez) horas, para atender à carga total dos equipamentos de telecomunicações da subestação.” Desta forma, até a tensão final cada elemento terá 1,75V, além de tal consideração, também será levado em consideração que o valor de tensão de flutuação de cada elemento será 2,15V.

5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O tema principal abordado no artigo, é a apresentação da terceira fonte de alimentação para serviços auxiliares de corrente contínua renovável, que será sistema fotovoltaico, tornando o sistema mais seguro e sustentável sem emissão de poluentes e com a utilização de uma fonte inesgotável de energia.

Sistema fotovoltaico conectado a rede, conhecido como sistema *on grid* e sistema fotovoltaico isolado da rede, basicamente é composto pelos módulos fotovoltaicos (comumente chamados de placas solares) e pelo(s) inversor(es) interativo(s), que é conhecido internacionalmente como

grid-tied interactive inverter e os componentes de integração do sistema (chamados internacionalmente de *Balance of System – BOS*), que são as estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos e os componentes elétricos de proteção. São um conjunto de equipamentos capaz de transformar a energia do sol em energia elétrica e jogá-la na rede elétrica de energia através de painéis solares, e essa energia gerada alimenta diretamente um banco de baterias, a qual alimenta o que for necessário.

Tabela 1- Faixas de tensão para bateria de acumuladores

Descrição	Tipo de bateria	Nomenclatura	Faixa Aceita	Valor mais comum
Tensão nominal do equipamento	-	V _n	12V-24V -48V-60V-110V-125V-220V-250V	125V
Tensão máxima do equipamento	-	V _{máx}	V _n +(5% ou 10% ou 20%)	V _n + 10%
Tensão mínima do equipamento	-	V _{min}	V _n -(5% ou 10% ou 20%)	V _n – 10%
Tensão de flutuação/elemento	Chumbo-ácido	V _{fl}	2,15V a 220V	2,2V
Tensão de flutuação/elemento	Alcalina	V _{fl}	1,38 V a 1,42V	1,40V
Tensão final de descarga	Chumbo-ácido	V _{fd}	1,6V a 1,85V	1,80V
Tensão final de descarga	Alcalina	V _{fd}	0,95V a 1,15V	1,05V
Tensão de equalização	Chumbo-ácido	V _{eq}	2,20V a 2,50V	233V
Tensão de equalização	Alcalina	V _{eq}	1,40V a 1,70V	1,55V

Os painéis solares convertem a energia do sol em energia elétrica através das células fotovoltaicas, esse sistema tem como objetivo levar energia elétrica a locais de difícil acesso.

O funcionamento do sistema conectado à rede é feito por intermédio do inversor interativo – ou inversor *grid-tied* que recebe a energia gerada pelas placas solares, em corrente contínua (CC), e a transforma em energia elétrica de corrente alternada (CA), com forma de onda igual à energia elétrica fornecida pela distribuidora local e oferece segurança contra apagões, porque integram um banco de baterias e conseguem alimentar diretamente os aparelhos consumidores de energia elétrica. Esse sistema *on grid*, trabalha em paralelo com a rede pública de distribuição de energia elétrica, ou seja, opera da mesma forma que uma usina elétrica convencional.

Os sistemas fotovoltaicos (FV) são considerados sistemas de energia confiáveis, econômicos e ecologicamente corretos [10], chama a atenção que o desempenho do FV é afetado pela temperatura, especialmente em um clima tropical. Além disso, a eficiência elétrica

e a potência de saída de um módulo fotovoltaico dependem linearmente da temperatura operacional ao redor da célula fotovoltaica. Para que possamos compreender o funcionamento do dispositivo de operação da energia solar fotovoltaica é essencial ter a ciência do histórico e sua grande evolução no mercado.

A energia solar fotovoltaica tem sido utilizada em uma grande escala em diversos países desenvolvido, como Estados Unidos, Alemanha e Japão. O seu crescimento em extensão tem sido muito rápido nos últimos 20 anos, e não somente pela sua forma de ser considerada sustentável, mais sim pela redução do seu custo de produção, o que se tornou viável a sua aplicação, inclusive em locais que já contam com energia elétrica convencional. Uma vantagem adicional da energia solar fotovoltaica, é que a forma de onda gerada pelos painéis solares, do tipo contínua em baixa tensão, geralmente são de 12Vcc ou 24Vcc. O futuro da energia solar fotovoltaica apresenta-se de forma espetacularmente promissora. Devido à exaustão das reservas naturais conhecidas a utilização de combustíveis fósseis deverá cair acentuadamente nos próximos 50 anos. Isto abrirá uma oportunidade única para fazer da energia solar fotovoltaica uma das fontes de energia mais importantes dentro da matriz energética mundial, pois ela é gerada através de irradiação dos raios solares através do fenômeno físico conhecido como efeito fotovoltaico, que surge com o processo de instalações de placas solares produzida em material semicondutor, que quando as partículas de luz solar fótons incidirem, os elétrons do material semicondutor entram em movimento e geram eletricidade. Essa geração de energia é considerada totalmente limpa, pois se baseia nas fontes renováveis de energia mais abundante e amplamente disponível no planeta, outro ponto de suma importância, é que ela não precisa de nenhum sistema para possuí-la e segundo os dados [11], o ano terminou com aproximadamente 295 GW de capacidade global de geração de energia renovável.

A energia solar nem na sua maior planta industrial de geração solar fotovoltaica já construída no mundo, que se localiza em Carrissa Plain na Califórnia, que gera algo de 6MW, teria a capacidade em potência de se comparar com as principais linhas de transmissão do Brasil, provando então que a energia solar não tem condições técnicas e nem pretensão de querer ser utilizada em linhas de transmissão para conduzir a energia por ela gerada, portanto, a intenção da energia solar, é no apoio da operação e manutenção.

A vantagem da utilização da energia solar fotovoltaica é que a mesma reúne diversas características necessária para ser utilizada como fonte de energia de dispositivos, pois além de ter facilidade na instalação, alta confiabilidade e baixo custo, ela é renovável, não gera resíduos, pode ser modularizada de acordo com as exigências de crescimento de demanda do dispositivo consumidor, gera energia limpa e com altíssima qualidade, dispensa manutenção programada, pode ser transportada para qualquer local, não consome combustíveis fósseis, não gera interferência com a natureza e com o local aonde for instalada, tem custo extremamente reduzido, comparada com qualquer outra alternativa de geração de energia elétrica.

As dimensões reduzidas do arranjo solar fotovoltaico contribuem favoravelmente para a sua instalação em linhas de transmissão. Muitas vezes o próprio corpo das torres metálicas é aproveitado para a fixação dos dispositivos e do arranjo solar fotovoltaico, escolhem-se para instalação pontos da torre que permitam a fixação do conjunto solar de forma segura e confiável, sempre obedecendo a orientação e posicionamento dos painéis solares como manda a técnica.

Portanto, pode ser anexado a todas as partes de um edifício fora do telhado, como uma parede de cortina, guarda-sol da janela ou lateral da varanda. O FV também pode aumentar o aproveitamento de energia instalando na posição vertical alta. No entanto, este método só funciona se houver um contorno de paisagem altamente elevado (como um penhasco na direção do sol) ou um arranha-céu na ilha (como uma torre de comunicação). O processo 485000.000178/2019-64, determina que a SRT análise solução de painéis solares com bancos

de baterias, como fonte alternativa de alimentação de serviços auxiliares em corrente alternada, para incorporação nos procedimentos de rede.

6. FALHAS EM SISTEMAS DE TRANSMISSÃO

Em 3 de dezembro de 2019 a ANEEL publicou a Nota Técnica [12] em conjunto com a ONS por meio do processo 48500.001266/2019-83 para tratar da revisão dos Submódulos 2.3 e 10.14 dos Procedimentos de Rede. Em resumo a consulta pública consultou as transmissoras quanto a inserção da terceira fonte de energia para criar outra redundância para as fontes de corrente alternada externas antes que seja necessário o acionamento de grupo motor-gerador (GMG) para alimentação das cargas essenciais, serviços auxiliares, da subestação.

A nota técnica também apresenta que 55% das solicitações para flexibilização da regra constante no item 8.10.3 do Submódulo 2.3 – Requisitos mínimo para subestações e seus equipamentos pedem como segunda fonte de alimentação o GMG como alternativa.

Neste documento a Aneel pontua a crescente demanda de flexibilização e por este motivo a área técnica da Aneel verificou a necessidade de incorporar nos Procedimentos de Rede soluções inovadoras nos requisitos mínimos para subestações como fonte alternativa de alimentação de serviços auxiliares em corrente alternada, como exemplo Painéis Solares com bancos de baterias.

A Tabela 2 da nota técnica apresenta as principais ocorrências do SIN em 2017 e 2018 relacionadas/associadas com falhas em serviços auxiliares (CA).

Tabela 2- Retirado da NT N° 90/2019–SRT-SCT-SFE/ANEEL [13]

Itens	Descrição
1	Os componentes mais afetados por falhas em Serviços Auxiliares CA são os de Controle de Reativos e as unidades geradoras
2	Cerca de 50,0% dos desligamentos foi causado por falha no processo de comutação automática das fontes acarretando falta de alimentação CA
3	As falhas humanas responderam por cerca de 11,0% dos desligamentos
4	Os demais desligamentos estão associados a defeitos diversos nos circuitos dos sistemas auxiliares CA, falhas em relés auxiliares, fiação, etc; e
5	Não foram identificadas apenas 3,0% das causas das ocorrências relacionadas com as falhas na alimentação dos serviços auxiliares

A Tabela 3 também da nota técnica apresenta os principais problemas identificados pela operação do SIN em relação aos serviços auxiliares (CA).

Tabela 3- Retirado da NT N° 90/2019–SRT-SCT-SFE/ANEEL [3]

Itens	Descrição
1	Problemas com o automatismo entre fontes dos serviços auxiliares impossibilitando realização de manobras em equipamentos
2	Perda de telecomando e supervisão decorrente de perda de alimentação CA retardando a recomposição de equipamentos
3	Falhas em retificadores 125 Vcc, resultando em perda dos serviços auxiliares com consequente perda do sistema de supervisão e controle da instalação
4	Problema no sistema de partida automática do grupo gerador diesel de emergência impedindo a alimentação do serviço auxiliar
5	Ausência de grupo gerador diesel como fonte alternativa de alimentação serviços auxiliares

A regulação vigente não permite que o agente e nem o Operador flexibilizem a regra de atendimento aos requisitos mínimos dos serviços auxiliares. Outro ponto de atenção é que a regulamentação atual restringe a implantação de inovações tecnológicas que podem minimizar custos operacionais sem comprometer a disponibilidade e confiabilidade destas instalações.

7. CUSTOS DE INTERRUPÇÕES

Considerando uma possível interrupção de energia na qual as opções de serviço auxiliar não atuem corretamente, se faz necessária ações de intervenção para seu funcionamento.

Para determinar o custo da interrupção no fornecimento de energia foram utilizados os dados da Empresa de Pesquisa Energética [13] e a avaliação dos custos relacionados às interrupções de energia elétrica [14]. Os seguintes parâmetros foram extraídos dos arquivos supracitados.

A Tabela 4 apresenta o consumo de energia por classe e a Tabela 5 apresenta o custo unitário das interrupções não programado por Setor, Região e Total País (R\$/kWh) conforme avaliação dos custos relacionados às interrupções de energia elétrica [14].

Com base no valor da cotação do dólar em 29 de junho de 2016, da média do custo das interrupções, R\$/kWh (2016), foi determinado o custo da interrupção para 20 de junho 2023. Os valores do dólar foram retirados do site do Banco Central do Brasil. Em (1) apresenta -se o cálculo da Região Nordeste.

$$\frac{\$}{kWh} = \frac{\text{Custo das interrupções}}{\text{Cotação do dolar base 2016}} = \frac{11,3}{3,21} = 3,52 \quad (1)$$

Para determinar o custo da interrupção atual foi utilizado a cotação do dólar do dia 20 de junho de 2023, determinado a partir da Equação 1 para cada região conforme exemplo apresenta-se em (2) e na Tabela 6.

$$\frac{R\$}{kWh} = \text{Dolar atualizado} \times \frac{\$}{kWh} = 4,79 \times 3,52 = 16,87 \frac{R\$}{kWh} \quad (2)$$

Tabela 4- Consumo por classe – AEEE-2022 EPE

Consumo por classe - 2021	GWh
Residencial	149.798
Industrial	180.366
Comercial	86.807
Rural	32.772
Poder público	13.710
Iluminação pública	14.034
Serviço público	16.668
Consumo próprio	3.348
Total	497.503
Total do Consumo em 2021 TWh	497

Tabela 5- Custo das interrupções (R\$/kWh) [15].

Setor	Nacional	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Industrial	13,9	23,7	11,7	13,8	17,3	6,6
Comercial e Serviços	18,1	9,6	8,3	30,6	24,1	8,7
Poder público	12,3	9,2	11,3	15,5	12,6	13,9
Serviço público	7,5	11,6	3,9	11,5	7,6	11,4
Rural e Rural irrigante	12,4	12,4	8,1	22,0	8,2	18,4
Residencial	19,7	18,9	18,4	16,5	20,8	19,0
Baixa Renda	4,4	5,0	4,9	4,1	3,2	4,5
Média Região	15,7	15,7	11,3	19,2	18,8	11,6

Tabela 6- Custo das interrupções em 2023

Custo das interrupções atualizados					
Região	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
R\$/KWh	15,7	11,3	19,2	18,8	11,6
Dólar em 09/06/2016	3,21				
\$/KWh em 2016	4,89	3,52	5,98	5,86	3,61
Dólar em 20/06/2023	4,79				
R\$/KWh em 2023	23,44	16,87	28,66	28,07	17,32

Com base no Consumo total de todas as classes do ano de 2021 da Tabela 4 e com base no percentual do Consumo residencial e da população da Tabela 5 foi determinado o consumo per capita de todas as classes por regiões demonstrado na Tabela 7.

Com base no consumo total de energia no ano de 2021, 497 TWh conforme Tabela 4, com base no custo das interrupções atualizados em 2023 conforme a Tabela 6 e no consumo per capita de todas as classes conforme Tabela 7 foi determinado o custo de 1 hora de interrupção por região conforme a Tabela Apêndice I.

Tabela 7- Consumo per capita de todas as classes kWh/ano [14]

Consumo Per capita Todas as Classes				
Consumo Total de 2021 TWh		497		
Região	% do consumo	Consumo/ Região (TWh)	População (milhões)	Consumo per capita- Todas as classes- KWh/ano
Norte	7,30%	36,28	19,9	1.823,17
Nordeste	17,50%	86,98	57,8	1.504,76
Sudeste	48,50%	241,05	89,9	2681,26
Sul	18,60%	92,44	30,5	3.030,89
Centro- Oeste	8,00%	39,76	16,8	2.366,67

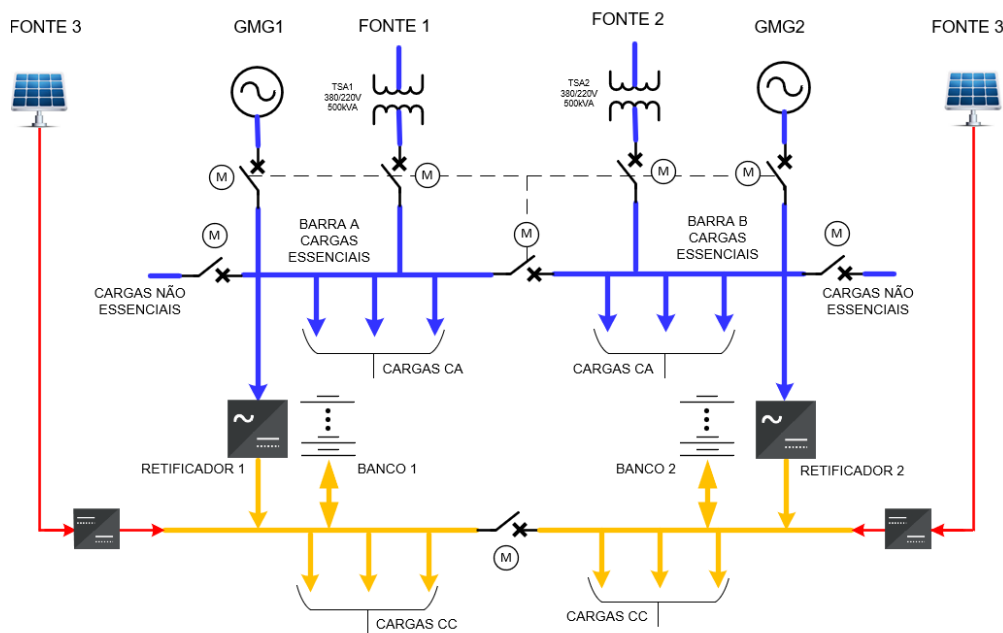
8. CONCLUSÕES

A confiabilidade e a resiliência dos serviços auxiliares das subestações são de grande importância para o regulador, Aneel, para as transmissoras e por fim para o consumidor final de todos os setores. Garantir o correto funcionamento dos serviços auxiliares é garantir uma fonte de alimentação segura e confiável que garante o fornecimento de energia em grande escala em caso de interrupções, garantindo que a subestação não pare de funcionar e mantenha o fornecimento de energia ao consumidor.

O sistema fotovoltaico é uma fonte de alimentação segura, renovável e com equipamentos de alta vida útil, baixa necessidade de manutenção além de não poluir. A escolha da energia solar como a terceira fonte de energia para os serviços auxiliares é promissora além de ser um setor em crescimento acelerado no Brasil e no mundo.

A proposta é inserir esta nova fonte de alimentação nos serviços auxiliares em corrente contínua, 125 e 48Vcc, nas subestações interligadas no SIN. A Figura 4 ilustra a terceira fonte de alimentação. Como uma nova fonte de alimentação para serviços auxiliares possui inúmeras vantagens, dentre elas, uma fonte de alimentação segura, silenciosa, renovável, equipamentos com longa vida útil, pouca necessidade de manutenção e amiga do meio ambiente por ser uma fonte limpa. A Figura 4 ilustra a terceira fonte de energia renovável, solar, inserida nos requisitos para os serviços auxiliares conforme item 8.10.3 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede [1].

Figura 4 – Diagrama proposto. (Fonte: Autoria Própria)



O sistema proposto elimina o item 2 da Tabela 2, elimina o todos os itens da Tabela 3 contribuindo para o aumento da confiabilidade na alimentação dos serviços auxiliares.

Outro dado importante além da confiabilidade é o retorno no investimento da inserção da terceira fonte de energia avaliando a interrupção de energia por região, conforme Tabela Apêndice I, avaliando a falta de energia durante 1 hora para o intervalo de 300.000 a 400.000 consumidores que possui um custo médio entre as regiões de R\$ 1.911.433,00 durante o intervalo de interrupção de energia elétrica.

Considerando o aumento da confiabilidade e o retorno do investimento sobre a inserção da terceira fonte de energia renovável, solar, também há necessidade de uma reavaliação do regulador, Aneel, pois a normatização vigente não permite a utilização desta tecnologia.

A proposta da inserção da energia solar já é um investimento que possui retorno, aumenta a confiabilidade da subestação, mas no período noturno as falhas eliminadas permanecem. Como trabalho futuro pode-se avaliar a possibilidade de a geração solar produzir hidrogênio verde, através da eletrolise da água para acumular energia como sistema de *back up* e utilizar a energia do hidrogênio nos períodos de sombreamento das placas fotovoltaicas ou durante a noite para alimentar os serviços auxiliares através de células a combustível. Porém faz necessário avaliar o retorno do investimento, pois tanto a produção do hidrogênio e a utilização deste combustível para transformá-lo em energia elétrica utilizam equipamentos importados com alto custo.

REFERÊNCIAS

- [1] ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, “Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos”, Brasil, 2011. Disponível em: <http://www.ons.org.br>, Acesso em 30 julho de 2023.
- [2] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “Resolução Normativa nº 884/20 de 09/06/2020. Submódulo 2.3 – Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos”.
- [3] ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, “Sobre o ONS – Procedimentos de Rede”, Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/historico> > Acesso em 30 julho de 2023
- [4] S. Parhizi, H. Lotfi, A. Khodaei and S. Bahramirad,, “State of the art in research on microgrids: A review”, IEEE Access, vol.3, pp. 890-925, 2015. doi: 10.1109/ACCESS.2015.2443119.
- [5] NEOENERGIA, “NOR.DISTRIBU-ENGE-0023: Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão de Distribuição à Edificação Individual”. Pernambuco: NEOENERGIA, 2017.
- [6] E.Padilla, “Substation Automation Systems: Design and Implementation”. 1st. ed. Venezuela: John Wiley and Sons, 2016.
- [7] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 14298: Sistema fotovoltaicos – Banco de baterias - Dimensionamento.” Rio de Janeiro, 1999.
- [8] STA-eletrônica, “Tipos de Baterias”, Disponível em: < <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-recarregaveis-em-geral/tipos-de-baterias>> Acesso em: 21 julho 2023.
- [9] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 16487: Bateria chumbo-ácida estacionária ventilada – Manutenção”. Rio de Janeiro, 2016.
- [10] A. Mohammed, J. Pasupuleti, T. Khatib and W Elmenreich, “A review of process and operational system control of hybrid photovoltaic/diesel generator systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.44, pp. 436-446, 2015. doi:10.1016/j.rser.2014.12.035.
- [11] IRENA - International Renewable Energy Agency. “2020-2021”. Disponível em: <https://www.irena.org/> > Acesso em : 22 julho 2023.
- [12] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “Nota Técnica Nº 90/2019–SRT-SCT-SFE/ANEEL”.
- [13] EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, “Anuário Estatístico de Energia Elétrica”, 2022.
- [14] SINAPSIS, “Avaliação dos custos relacionados às interrupções de energia elétrica e suas implicações na regulação da empresa” , 2016.ap

Tabela Apêndice I- Custo de 1 hora de interrupção por região. (Fonte: Autoria Própria)

Custo da Interrupção de Fornecimento ANO x horas por ano											
Consumidores Conectados após a SE											
Interrupção (horas)		1									
R\$/KWh em 2023		23,44		16,87		28,66		28,07		17,32	
Consumo percapita-Todas as Classes -		1.823,17		1.504,76		2.681,26		3.030,89		2.366,67	
Região		Norte		Nordeste		Sudeste		Sul		Centro-Oeste	
Intervalo de Consumidor		Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo1	Intervalo2	Intervalo1	Intervalo2	Intervalo1	Intervalo2	Intervalo1	Intervalo2
Intervalo 1	Intervalo 2	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
Até	1.000	-	4.878	-	2.898	-	8.774	-	9.711	-	4.679
1.001	5.000	4.883	24.392	2.901	14.490	8.782	43.869	9.721	48.556	4.684	23.394
5.001	10.000	24.396	48.783	14.493	28.979	43.877	87.737	48.566	97.112	23.399	46.788
10.001	20.000	48.788	97.566	28.982	57.959	87.746	175.474	97.121	194.223	46.793	93.577
20.001	30.000	97.571	146.349	57.962	86.938	175.483	263.211	194.233	291.335	93.582	140.365
30.001	40.000	146.354	195.133	86.941	115.917	263.220	350.949	291.345	388.447	140.370	187.154
40.001	50.000	195.137	243.916	115.920	144.897	350.957	438.686	388.456	485.558	187.159	233.942
50.001	100.000	243.921	487.831	144.900	289.794	438.695	877.372	485.568	971.116	233.947	467.885
100.001	200.000	487.836	975.663	289.797	579.587	877.380	1.754.743	971.126	1.942.233	467.890	935.770
200.001	300.000	975.668	1.463.494	579.590	869.381	1.754.752	2.632.115	1.942.242	2.913.349	935.774	1.403.655
300.001	400.000	1.463.499	1.951.326	869.384	1.159.175	2.632.124	3.509.487	2.913.359	3.884.465	1.403.659	1.871.539
400.001	500.000	1.951.330	2.439.157	1.159.178	1.448.969	3.509.495	4.386.858	3.884.475	4.855.582	1.871.544	2.339.424