



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GSE/16
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

PROPOSTA DE REQUISITOS TÉCNICOS PARA NOVAS INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA - CCAT NO BRASIL

**LINS, M.N.A (*) OLIVEIRA JR., H.P. CARVALHO, C.B.C. CARVALHO, A.C.C. ARAKAKI, H.
BRASIL, D.O.C. CORREIA, D.M.**

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO

CONSULTOR

RESUMO

Este Informe Técnico irá elencar e aprofundar as razões, necessidades e adequações necessárias como proposta dos autores para o estabelecimento e o alcance dos requisitos para as novas instalações em CCAT no Brasil.

Será feita uma discussão técnica sobre as modalidades possíveis de detalhamento dos requisitos para Anexos Técnicos e também, ou alternativamente, dos Procedimentos de Rede. Serão fornecidos elementos para análise e discussão de vantagens e desvantagens de distintos níveis de detalhamento destes anexos. Serão também tecidas considerações sobre que partes desses requisitos merecem ser remetidas ou não aos Procedimentos de Rede.

PALAVRAS-CHAVE

Procedimentos de Rede, Anexo Técnico, Projeto Básico, CCAT, Projeto Madeira

1.0 - INTRODUÇÃO

A experiência internacional demonstra que existem etapas regulares para um projeto em corrente contínua que levam a uma concepção mais adequada para o sistema onde ele será incluído, com ganhos expressivos no seu detalhamento e principalmente no custo final do projeto. Podemos resumi-las da seguinte forma:

- **Concepção inicial**

O agente do setor elétrico, normalmente a(s) concessionária(s) das instalações que serão conectadas através do elo em corrente contínua, define as suas necessidades, a partir da seleção de alternativas para a expansão do sistema. Definem-se as características desse sistema CCAT e elabora-se uma especificação inicial contendo os dados gerais do(s) sistema(s) CAAT.

- **Detalhamento inicial**

Essa especificação inicial é geralmente encaminhada para os fornecedores de sistemas CCAT para uma análise e elaboração de uma proposta inicial. Nesta fase é dado um tempo suficiente para que os fornecedores possam se debruçar sobre os dados fornecidos, elaborar comentários sobre o projeto planejado, solicitar informações adicionais, propor soluções alternativas ou mesmo identificar itens que apresentam dificuldades de atendimento.

- **Concepção final**

O agente do setor elétrico nesta fase incorpora os comentários feitos pelos fornecedores de sistemas CCAT, assim como complementa as informações solicitadas, com a possível adoção de soluções alternativas visualizadas nas discussões com os fornecedores, que podem apontar para uma solução inovadora e/ou mais econômica.

(*) Rua da Quitanda 196, 19º andar, Centro – CEP 20091-005 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 22039629 – Fax: (+55 21) 22039420 – Email: marcio_accioly@ons.org.br

- Detalhamento final

De posse da concepção final, os fornecedores podem se concentrar na formulação mais otimizada do projeto e respectivos custos, podendo ou não fornecer o projeto como um todo, de acordo com as cláusulas contratuais estabelecidas com o agente do setor elétrico.

No modelo brasileiro vigente, entretanto, as interações agente/fornecedor são balizadas pela alternativa de referência do planejamento setorial, pelo Anexo Técnico dos editais de transmissão e pelos Procedimentos de Rede.

Assim, similarmente ao modelo internacional, o planejamento setorial tem realizado reuniões com as Transmissoras, o ONS e os principais fornecedores de sistemas CCAT, onde são discutidos os principais pontos de futuros projetos, obtendo-se uma visão ampla do setor, o que enriquecerá não só os estudos para o relatório R2 (Detalhamento da Alternativa), bem como fornecerá subsídios à elaboração do Anexo Técnico do empreendimento.

Para o escoamento da geração da UHE Belo Monte, está prevista uma mistura de reforços no sistema CAAT e a implantação de dois bipolos em CCAT ± 800 kV, partindo da SE Xingu, com um terminal inversor denominado Minas e outro terminal inversor denominado Rio. Diferentemente do projeto do Rio Madeira, a energia inicialmente gerada por Belo Monte escoará pelo sistema CA e com isso será possível trabalhar com um maior prazo e detalhamento da transmissão CCAT.

Esse artigo parte do pressuposto que a licitação de um projeto CCAT será dividida em lotes, cobrindo conversoras e linhas de transmissão, conforme modelo aplicado ao projeto do Rio Madeira. Visando o aperfeiçoamento do processo licitatório e da posterior análise do Projeto Básico, serão apresentadas idéias e conceitos para futuras revisões dos Procedimentos de Rede e das especificações do Anexo Técnico de leilões de CCAT. Complementarmente, será realizada uma avaliação dos impactos que estas propostas teriam na análise do Projeto Básico das instalações de transmissão associadas ao escoamento das usinas do Rio Madeira. Grande parte das propostas contidas neste artigo já se encontram na versão do Submódulo 2.5 dos Procedimentos de Rede submetida para apreciação da ANEEL.

2.0 - CONVERSoras CCAT

2.1 Cálculo do Circuito Principal

2.1.1 Influência da resistência da linha CC e temperaturas

Item de fundamental importância para o dimensionamento das conversoras, historicamente são fornecidos os valores máximos de resistência por km a 20°C das linhas, tanto CC como a linha do eletrodo, e o valor máximo dos eletrodos de terra no Anexo Técnico. Mas isso não é suficiente para o dimensionamento, já que estarão ainda faltando a temperatura de operação da linha, para a qual deve ser calculada a sua resistência, que depende da corrente nominal e da temperatura ambiente esperada ao longo da rota, bem como o comprimento total da linha.

Para os recentes projetos de CCAT no Brasil, tem-se adotado a temperatura média das máximas anuais da região na qual a conversora será instalada, sem que seja utilizada redundância de refrigeração, para o dimensionamento das conversoras em potência nominal. Experiência internacional mostra que alterações de clima no entorno das áreas onde essas conversoras são instaladas podem trazer algum tipo de redução de capacidade de transmissão decorrente do aumento dessas temperaturas médias. A adoção da temperatura máxima pode ser uma opção.

A adoção de resistências CC e temperaturas ambiente não adequadas podem levar a restrições operativas pela falta de dimensionamento dos equipamentos. No projeto do Rio Madeira, essa abertura levou a utilização de valores de temperatura ambiente diferentes entre os bipolos. Os autores entendem que há vantagens significativas na definição prévia dos comprimentos máximos das LTs e também das temperaturas necessárias nos cálculos. Entretanto, essas questões merecerão uma discussão detalhada com a ANEEL, já que alteram a sistemática até então adotada. No caso de empreendimentos compartilhados, os valores adotados devem ser acordados.

2.1.2 Consideração do filtro PLC

O processo de conversão CA/CC é um gerador natural de harmônicos. Parte desses harmônicos é suprimida da rede através de elementos em derivação - filtros, tanto no lado CA como no lado CC. Especificamente no lado CA, harmônicos até a 50ª ordem da frequência fundamental são tratados e filtros podem ou não ser necessários, dependendo dos requisitos de distorção harmônica. Entretanto, harmônicos de ordem mais elevada podem causar distorção em sistemas de comunicação que utilizam linhas CA, como os sistemas PLC. Nestes casos, harmônicos de ordem superior devem ser igualmente tratados e filtros poderão ser necessários. Para sistemas mais atuais, que utilizam OPGW, esses filtros não devem ser necessários.

A necessidade de avaliação desses elementos de filtragem deverá ser incluída nos Procedimentos de Rede e sua influência no dimensionamento do circuito principal também. Alternativamente, essa influência deverá ser dimensionada, mas a instalação poderá ser feita em estágio posterior, caso se detectem problemas durante a operação. Em ambas as hipóteses, o layout da estação conversora deverá prever tais novos elementos. A não consideração prévia desses filtros poderá levar a restrições operativas de transmissão em situações extremas.

2.1.3 Consideração das sobrecargas

No projeto do Rio Madeira, as conversoras foram dimensionadas para suportar, a qualquer momento, as seguintes sobrecargas, sem perda de vida útil, para fazer frente à perda de um polo (linha ou conversor), nas condições de temperatura ambiente para as quais é possível a transmissão da potência nominal do bipolo:

- sobrecarga de longa duração de 33% da potência nominal por 30 minutos;
- sobrecarga de curta duração de 50% da potência nominal por 5 segundos, com redução em rampa suave até o valor de sobrecarga de longa duração.

Essas sobrecargas têm a função de ajudar o sistema CA no caso de falha de algum elemento, conversora ou linha CC, isto é, um polo CC, de maneira que as condições pré-falha não sejam drasticamente alteradas. Essa consideração de falha é necessária, já que somente o aumento da potência iria requerer uma maior compensação reativa e consequentemente uma maior necessidade de elementos de compensação reativa que poderão advir do polo em falta. Isso também é válido para o caso de distorção harmônica que iria proporcionalmente aumentar.

Para futuros empreendimentos CCAT, como o escoamento da UHE Belo Monte, a menos que o sistema CA necessite e suporte uma sobrecarga contínua, o que poderá impactar em aumento de custos, o requisito de sobrecarga deverá ser mantido atrelado a uma falha de polo. Uma análise mais detalhada do comportamento do sistema CA poderá determinar um requisito de sobrecarga com o sistema CCAT completo, sempre levando em consideração uma folga de reativos e relaxamento do requisito de distorção harmônica.

Recomenda-se que requisitos mínimos de frequência dessas sobrecargas sejam incluídos no Anexo Técnico, mas a duração entre um ciclo e o próximo deverá ser deixada para a determinação do fornecedor do sistema CCAT.

As sobrecargas intrínsecas (low ambient) permanecerão sendo necessárias e os ciclos de aplicação, bem com a sua frequência, deverão ser deixados a cargo dos fornecedores CCAT.

Nenhuma outra sobrecarga, além das especificadas ou intrínsecas, deverá ser exigida.

2.1.4 Consideração da potência nominal do inversor

A potência nominal da conversora normalmente operando como inversor deverá ser determinada naturalmente considerando-se a potência nominal do retificador e as perdas ôhmicas na linha CC, isto é, nenhum valor adicional deverá ser definido. Caso a operação reversa com plena potência transferida seja necessária, somente neste caso o valor deverá ser previamente definido no Anexo Técnico, acarretando em um custo maior nas válvulas, transformadores conversores, compensação reativa e filtros CA. O mesmo se aplica à tensão nominal do inversor.

2.1.5 Consideração de curto-circuito

Historicamente, é responsabilidade da Transmissora identificar os valores de curto-circuito máximos e mínimos a serem adotados no projeto das estações conversoras, fazendo uso das informações de configuração da rede definidas pelo planejamento e considerando todas as condições operativas possíveis, rede completa e (n-1). No projeto do Rio Madeira, este enfoque acarretou valores diferentes para esses valores de curto-circuito para cada um dos bipolos em questão, com impacto no dimensionamento das conversoras.

Para os futuros projetos CCAT, propõem-se incluir no Anexo Técnico esses valores de curto-circuito máximo e mínimo, monofásico e trifásico, bem como os respectivos equivalentes da rede CA, em ambos os lados. Os equipamentos CC deverão ser dimensionados para curto-circuito com base na magnitude da capacidade de interrupção dos disjuntores CA especificados pelo Anexo Técnico.

Isso evitará que qualquer evolução das redes CA durante a vida útil das estações conversoras impacte em medidas mitigadoras para redução de curto-circuito no lado CC, principalmente nas válvulas.

2.1.6 Consideração dos reatores de alisamento

Até a década de 90, existia um reator de alisamento único por polo CC. Recentemente, os fornecedores CCAT têm optado pela divisão desse elemento entre o polo CC e a barra de neutro, como forma de baratear o seu custo. Isso não tem impacto expressivo no cálculo do circuito principal, mas altera o custo do filtro CC e a coordenação de isolamento das válvulas.

Mantendo-se um valor mínimo de indutância deste reator no polo CC, para proteção contra descargas atmosféricas entrando pela linha CC, o fabricante poderá otimizar seu projeto conforme suas práticas.

2.1.7 Consideração da utilização de transformadores conversores com 2 ou 3 enrolamentos

Tem sido observado que, por questões de confiabilidade, não existem diferenças significativas entre a opção por transformadores conversores com 2 ou 3 enrolamentos, sendo a opção exercida por questões de transporte, estrutura e logística própria de fabricação e experiência ou preferência de cada fornecedor.

Essa opção deverá ser deixada livre, mas a Transmissora deverá explicitar claramente, na documentação do Projeto Básico, todas as tolerâncias máximas nas reatâncias dos transformadores conversores (entre unidades, entre fases, etc.) com o intuito de facilitar posteriormente a avaliação dos cálculos de geração harmônica das conversoras, com impacto direto no dimensionamento dos filtros CA.

2.1.8 Consideração da combinação das configurações de operação, modos de operação e variações dos sistemas CA

Deverão ser definidas no Anexo Técnico todas as combinações necessárias das configurações de operação, modos de operação e variações dos sistemas CA.

2.1.9 Consideração da utilização da “Neutral Bus Ground Switch” (NBGS)

Empreendimentos CCAT devem contar, em cada polo conversor e na conexão à linha do eletrodo, com um número de chaves seccionadoras suficiente para viabilizar as combinações possíveis de paralelismo (caso existam dois bipolos paraleláveis), retorno metálico e retorno pela terra, com a utilização de dispositivos MRTB (Metalic Return Transfer Breaker) e GRTS (Ground Return Transfer Switch).

Adicionalmente, a inclusão específica de uma NBGS (Neutral Bus Ground Switch), de maneira a possibilitar a continuidade de operação em caso de contingência na linha do eletrodo ou no próprio eletrodo, deverá ser discutida como proposta para o próximo leilão de CCAT. A falta dessa informação no Anexo Técnico impactou em soluções diferentes para o projeto dos bipolos do Rio Madeira.

2.2 Cálculo da Compensação Reativa

Cada estação conversora deve ser equipada com equipamentos de compensação reativa necessários à sua operação, desde a condição de bloqueio até plena carga, em qualquer situação operativa, com fluxo transmitido em ambos os sentidos dentro dos limites estabelecidos no Anexo Técnico, considerando a faixa de tensão e frequência das barras CA estabelecidos nos Procedimentos de Rede. Poderá ser considerado algum valor de reativo disponibilizado pelo sistema, mas isso dependerá das condições estudadas pelo planejamento setorial e variará de projeto para projeto, sendo definido no Anexo Técnico. O cálculo deverá levar em consideração tanto as tensões máximas e mínimas, como as frequências máximas e mínimas, erros de medição, além de tolerância na reatância dos transformadores conversores. Isso não foi levado em consideração inicialmente no projeto do Rio Madeira.

A necessidade ou não de dimensionamento de compensação reativa adicional para as condições de operação fora das nominais, normalmente definidas como sobrecargas, tensão reduzida e etc. será definido projeto a projeto, no Anexo Técnico.

É proposto que as manobras de bancos de capacitores ou filtros e sub-bancos na barra de CA da conversora não devem provocar variação na tensão superior a 3% em relação à tensão pré-manobra, mesmo com o menor nível de curto-circuito em condição de critério (n-1). Isso se aplica às manobras intencionais de elementos de compensação reativa em função do despacho do elo CCAT.

Os bancos terão tratamento distinto e sua manobra, normalmente por questões de proteção, não deverão causar falhas de comutação, o que irá limitar o tamanho desses bancos, em função da potência de curto-circuito dos sistemas CA. Esse arranjo de filtros ou bancos de capacitores, sub-bancos e bancos de filtros está apresentado na Figura 1.

O atendimento aos requisitos de variação de tensão deverá ser demonstrado por meio de cálculos estáticos.

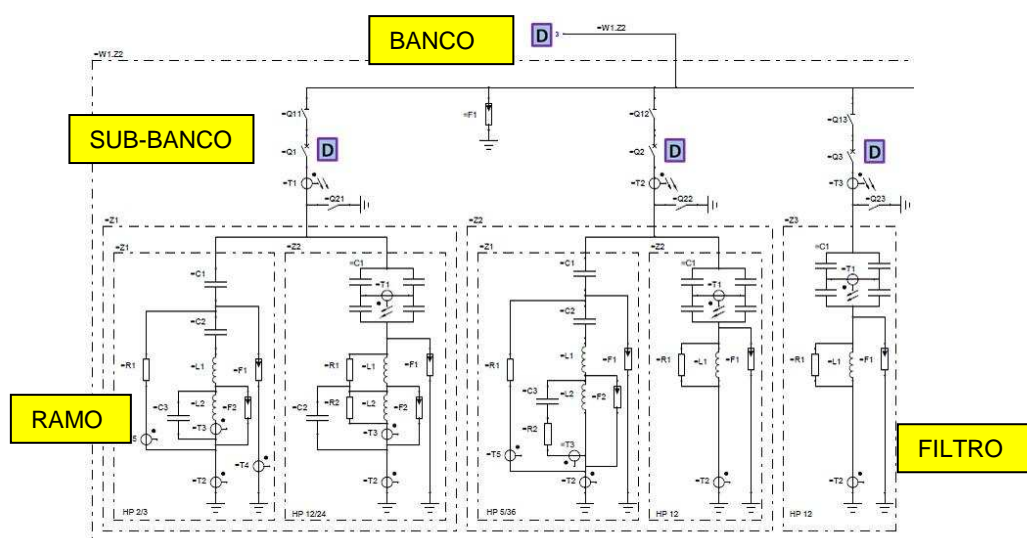


FIGURA 1 – Diagrama Esquemático de Arranjos de Filtros/Compensação Reativa

2.3 Dimensionamento dos Filtros CA

2.3.1 Estabelecimento do lugar geométrico (LG) das impedâncias da rede CA

Historicamente, foi adotado o princípio de que a Transmissora deveria determinar o envelope de impedância

harmônica da rede CA, considerando os diversos cenários de evolução da rede ao longo do período de concessão, nos patamares de carga leve, média e pesada, para as configurações de rede completa e (n-1) da rede CA externa. A não inclusão do LG nos Anexos Técnicos pode ter impacto direto no prazo de finalização da concepção desses elementos. Desta forma, sugere-se que nos futuros projetos CCAT inclua-se previamente o lugar geométrico das impedâncias da rede CA no Anexo Técnico.

2.3.2 Determinação da metodologia de cálculo

De maneira a evitar longas discussões sobre qual o método mais adequado, ou mesmo evolução de metodologias tradicionalmente aplicadas, será definido que a metodologia a ser adotada para o cálculo da distorção harmônica no ponto de acoplamento comum (PAC) deve representar a instalação conversora através do seu equivalente Norton e a rede externa através de envelopes de impedância nos Procedimentos de Rede.

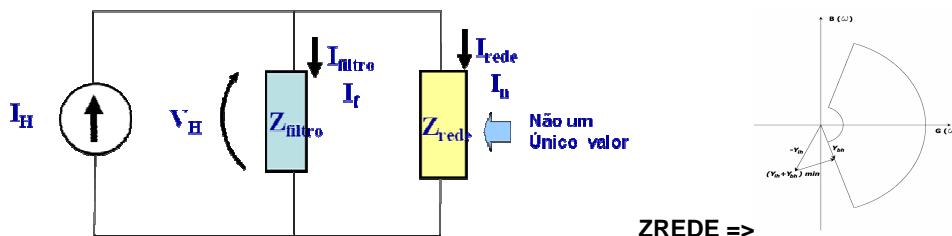


FIGURA 2 – Modelo para Dimensionamento dos Filtros CA

Alternativamente, desde que sejam apresentados resultados comprovadamente mais conservadores, outras metodologias poderão ser propostas pela Transmissora.

2.3.3 Definição da capacidade dos filtros (rating)

Deverá ser considerada, além das contribuições das correntes harmônicas geradas pelas conversoras, a contribuição das correntes harmônicas provenientes da rede externa (background), com base nos limites globais inferiores de tensões harmônicas definidas no Submódulo 2.8, revisão 3, dos Procedimentos de Rede.

2.3.4 Otimização de solução

Caso ocorra a instalação de mais de um bipolo, na estação retificadora ou inversora, licitados em um mesmo leilão ou não, mas com a mesma finalidade, deverá se procurar a concepção de um projeto integrado, do ponto de vista de projeto dos filtros CA. Neste caso, deverá ser considerada a mesma representação do envelope de impedâncias do sistema CA.

2.3.5 Proteção e manobra dos filtros CA

Os sub-bancos e filtros ou bancos de capacitores, conforme Figura 1, deverão ser protegidos individualmente. Com isso, a atuação dos disjuntores individuais de cada sub-banco e filtros ou bancos de capacitores deverá funcionar para todo tipo de falha, além da manobra regular para compensação reativa. Não será admitido nenhum outro procedimento operacional e nem a adoção de retardos na proteção de maneira intencional.

Caso a solução de filtros envolva a adoção de banco de filtros, a atuação da proteção deverá ser implantada sem causar nenhuma restrição operativa. Adicionalmente, caso esse banco de filtros, para um arranjo de barra tipo disjuntor e meio, fique localizado no mesmo vão de uma LT fora do escopo da estação conversora, o disjuntor interligador de barra deverá ser escopo dessa estação conversora.

2.4 Dimensionamento dos Filtros CC

Historicamente, a Transmissora é responsável pelo estabelecimento dos limites da corrente equivalente de distúrbio ao longo das linhas CC e linhas de eletrodo, de maneira a não permitir que as correntes harmônicas produzam interferências em linhas telefônicas em operação na data de comissionamento do elo CC, acima dos limites das normas correspondentes. Desta forma, a fim de evitar um grau de incerteza no dimensionamento dos filtros CC, propõe-se definir os valores limites de corrente equivalente de distúrbio previamente no Anexo Técnico. Uma idéia é considerar os valores máximos de 500 mA para operação bipolar e 1000 mA para a operação monopolar, caso não haja tempo suficiente na etapa de concepção para um estudo de coordenação indutiva.

De toda a forma, é responsabilidade da Transmissora mitigar os efeitos de interferências que venham a ser identificadas.

2.5 Coordenação de Isolamento

2.5.1 Margens de proteção

Apesar de não constarem do Anexo Técnico do projeto do rio Madeira, as Transmissoras envolvidas neste projeto adotaram valores sugeridos em guias internacionais. Por não ser uma questão polêmica, a proposta é incluir as margens de proteção nos Procedimentos de Rede.

2.5.2 Disparo protetivo

Item de grande discussão no projeto do Rio Madeira, é fundamental que se considere claramente no Anexo Técnico que a utilização de disparo protetivo seja adotada apenas como proteção secundária da válvula, cabendo aos para-raios das mesmas a função de proteção principal contra sobretensões, independentemente se a válvula pertence à estação retificadora ou inversora.

2.5.3 Esquema de proteção por para-raios

Esse requisito deverá ser deixado em aberto, cabendo à Transmissora ou ao fornecedor CCAT utilizar a sua experiência, desde que siga guias internacionais.

2.5.4 Casos críticos de dimensionamento

A prática mostra que, com exceção de projetos não tradicionais, cabe ao fornecedor CCAT com anuência da Transmissora definir, a partir da sua experiência, os casos mais críticos relevantes para o dimensionamento dos seus equipamentos, seguindo guias internacionais ou mesmo acrescentando investigações e critérios próprios, de maneira que os projetos possam ser desenvolvidos com um determinado nível de conservadorismo.

Essa prática deve ser seguida em projetos CCAT no Brasil. Entretanto, foi observado que os fornecedores CCAT aplicaram conceitos diferentes nos bipolos do Rio Madeira. A proposta é definir que o caso de aplicação e limpeza de falta na barra CA da conversora com bloqueio do bipolo e permanência temporária dos filtros e transformadores conversores seja utilizado tanto para o dimensionamento de para-raios, bem como para o dimensionamento de disjuntores dos bancos de filtros. Este caso, apesar de severo, encontra-se previsto em guias internacionais (1) e evitará divergência entre dimensionamentos no caso de bipolos conectados em um mesmo ponto, de fornecedores diferentes.

Apesar de ser uma questão polêmica, esse caso de dimensionamento está sendo proposto para os Procedimentos de Rede, sem necessidade de item específico no Anexo Técnico.

2.5.5 Compartilhamento de barramentos/pátios CA

Para o caso específico de entrada em operação de um segundo elo CC na subestação CA terminal, a Transmissora responsável pelo novo elo deverá compatibilizar o seu projeto de coordenação de isolamento para o pátio CA com a coordenação de isolamento do elo CC existente ou a ser implantado anteriormente, evitando sobrecarregar os para-raios deste primeiro elo. Deverão ser avaliadas eventuais diferenças de distribuição de corrente entre para-raios do projeto atual e do projeto anterior, para dimensionamento das energias a serem dissipadas.

Assim, os valores de "Lightning Impulse Withstand Voltage" (LIWV) e de "Switching Impulse Withstand Voltage" (SIWV) deverão ser os mesmos. A energia a ser dissipada por cada bipolo nos para-raios conectados na barra CA deverá ter a mesma ordem de grandeza, caso o sistema CA seja mantido similar ao longo da evolução da entrada em operação dos elos.

2.6 Válvulas

Está sendo proposto para os Procedimentos de Rede que a Transmissora deva definir um nível mínimo de redundância de tiristores, por válvula, não inferior a 3% do número total de tiristores necessários para a operação.

2.7 Perdas

Propõe-se que as perdas constem do Anexo Técnico e deverão ser compatíveis com os valores identificados pelos estudos do planejamento setorial. Historicamente, em operação normal, com potência nominal, as perdas máximas admissíveis em cada estação conversora não deverão ser superiores a 0,75% da potência nominal da conversora, incluindo todos os equipamentos, sistemas e serviços auxiliares necessários a operação nas temperaturas definidas para o cálculo da potência nominal do elo CC. Esse critério deverá ser mantido.

2.8 Controle Mestre

Para o efetivo desempenho do controle mestre, o mesmo deve ser projetado para receber todas as informações de estado dos equipamentos e grandezas analógicas da própria subestação, de usinas e/ou de terminais remotos conectadas a SE, de modo a facilitar a sua atuação no sentido de proteger equipamentos e unidades geradoras preservando a operação do SIN. O controle mestre deve ser rápido o suficiente para que a sua ação seja efetiva, no caso de ocorrência de algum evento, o que será determinado pelos estudos.

Esse assunto depende de projeto a projeto e sua concepção deverá constar no Anexo Técnico.

2.9 Integrador

No projeto do Rio Madeira, a ANEEL adotou a divisão por lotes do empreendimento. Como existiam muitos empreendedores tanto de geração como de transmissão em uma mesma subestação, surgiu a necessidade de uma entidade coordenadora ou mesmo de integradora de soluções, de maneira que informações pudessem ser transferidas e analisadas conjuntamente, tudo isso ainda agravado pelo fato de termos um agente responsável pelo projeto da linha CC e outro pelo projeto das estações conversoras. A situação foi um pouco mais complicada pelo fato que existiu a necessidade de análise conjunta das soluções dos projetos das estações conversoras para

Transmissoras e fornecedores diferentes.

Propõe-se que seja formalizada nos próximos projetos em CCAT a figura de um integrador para projetos dessa magnitude. Esse assunto requer ampla discussão pelo setor e ANEEL.

2.10 Ruído Audível

Ruído audível é um dos fenômenos mais importantes tanto para linhas quanto para subestações CCAT. Pode ser determinante no que diz respeito ao layout de uma estação conversora, onde a principal fonte de ruído é o transformador conversor. No caso de linhas CC, é um ruído de banda larga, com contribuições estendendo-se até altas frequências. Ao contrário de linhas CA, os níveis de ruído produzido por linhas CC são mais elevados em tempo bom e diminuem com mau tempo.

As principais fontes de ruído produzidas em sistemas CCAT são corona nas linhas e nos barramentos e cabos das conversoras; transformadores conversores e outros; reatores de filtro, reatores de compensação reativa ou de controle de tensão e reatores de alisamento; e válvulas e seu sistema de refrigeração.

Os critérios utilizados para avaliação da aceitabilidade do nível de ruído produzido por linhas e conversoras CCAT podem ser diferentes para áreas externas (possível perturbação a transeuntes, moradores ou animais) e para áreas internas (possível perturbação a pessoas que trabalham nas estações conversoras ou nas linhas). De modo geral, o ruído audível gerado por linhas de transmissão não deve exceder, em áreas residenciais, a níveis no entorno de 50 dBA durante o dia, ou de 40 dBA durante a noite.

Os critérios estabelecidos no Anexo Técnico do projeto do Rio Madeira determinavam que o valor da tensão de ruído audível externo à subestação não deveria exceder 58 dBA sob tensão operativa máxima. Algumas Transmissoras questionaram tal valor, argumentando que a prática mundial seria adotar valor em torno de 70 dBA. Como o Anexo Técnico não era claro a respeito, ficou acordado que, na fase do Projeto Básico, deveria ser demonstrado através de simulações/cálculos o atendimento ao critério na borda da subestação para cada conversora individualmente. Caso necessário, deveria ser indicada a aplicação de medidas mitigadoras, tais como blindagem acústica, aumento da área da SE, construção de muro, etc.

Na fase de especificação e Projeto Básico, é fundamental a consideração de medidas preventivas, uma vez que as corretivas, principalmente no que diz respeito a linhas CC, podem ser de difícil e onerosa implementação. É também importante que estejam previstos e detalhados ensaios de medição de ruído a serem realizados na fase de aceitação. Entre as medidas corretivas a serem consideradas, cabe mencionar a geração de ruído em contrafase, a instalação de paredes isolantes no entorno dos equipamentos e a construção de muros em ângulo nas bordas das conversoras.

No projeto do Rio Madeira, ficou acordado que seriam realizadas medições após o comissionamento de cada uma das instalações para demonstrar o atendimento individual de cada uma separadamente e simultâneo de todas as instalações. Caso o nível seja superado para a operação simultânea de todas as instalações, deverão ser tomadas medidas corretivas de acordo com orientação a ser dada pela ANEEL.

Será proposto para os novos projetos CCAT que o limite de ruído audível de 58 dBA seja atendido para a condição de operação individual e para a condição de operação simultânea de todas as instalações existentes, CC e CA.

2.11 Estudos: Projeto Básico x Projeto Executivo

Foi estabelecido no edital do projeto do Rio Madeira que o prazo para apresentação, análise e aprovação do Projeto Básico deveria levar um total de 8 meses, sendo 4 meses para a apresentação e 4 meses para aprovação. Isso se mostrou insuficiente para um projeto dessa complexidade e principalmente pela falta do fornecimento prévio dos dados principais para o dimensionamento das conversoras.

Como a aprovação do Projeto Básico é uma condição para a obtenção de financiamentos públicos, é proposto que apenas os estudos e relatórios que efetivamente definam as características de equipamentos deverão constar desta etapa do projeto. Estudos e relatórios envolvendo desempenho do sistema serão também passíveis de análise e aprovação, mas deverão, pela própria natureza do processo, ser analisados em outra etapa denominada de Projeto Executivo. Essa separação e os respectivos documentos a serem analisados deverão constar do Anexo Técnico. Será proposto também um aumento do tempo de análise do Projeto Básico para 12 meses.

3. LINHAS CCAT

O projeto básico de uma linha de transmissão de corrente contínua de até ± 600 kV, polo-polo, não apresenta grau de complexidade superior ao projeto básico de uma linha de transmissão de corrente alternada de até 500 kV, fase-fase. Para o nível de tensão de ± 800 kV, a falta de normas técnicas que tratam do cálculo das emissões eletromagnéticas de campo elétrico e corrente iônica, considerando o efeito das cargas parciais e o estabelecimento de níveis máximos para a exposição humana a esses campos, é o principal ponto de discussão e de dificuldade para o estabelecimento de requisitos técnicos.

A brochura nº 473 do CIGRE, de agosto de 2011, com o título "Electric field and ion current environment of HVDC overhead transmission lines", trata sobre o campo elétrico e a corrente iônica gerados pelas linhas aéreas CCAT, contendo a descrição do fenômeno, os métodos de cálculo analítico e experimental conhecidos, os resultados de medições de campo em linhas existentes e avaliações sobre o impacto à saúde humana e ao meio ambiente. Os

conceitos e resultados desta brochura servirão de base para a definição da silhueta da estrutura típica das linhas de transmissão dos bipolos de ± 800 kV que escoarão a energia da UHE Belo Monte.

Dada a falta de normas que tratam desse assunto, o pioneirismo do tema no Brasil e à pequena quantidade de instalações em operação no mundo e à falta de dados históricos robustos sobre o desempenho de linhas de transmissão de corrente contínua de ± 800 kV ou acima, pode-se dizer que ainda existe um longo caminho a ser percorrido em termos de aprendizado, universalização do conhecimento e domínio tecnológico em ± 800 kV.

4. DIVISÃO EM LOTES DO LEILÃO

Essa questão é de responsabilidade da ANEEL. Entretanto, a experiência com o projeto do Rio Madeira mostrou ser vantajoso que as conversoras de um mesmo bipolo (retificador e inversor) pertençam a uma única Transmissora, enquanto que a linha CC, eventualmente, poderá pertencer a outra proprietária.

5. ANEXO TÉCNICO X PROCEDIMENTOS DE REDE

De forma geral, para projetos de transmissão, todos os itens relacionados com normas, procedimentos de cálculo e valores de referência deverão constar dos Procedimentos de Rede, enquanto os Anexos Técnicos deverão descrever as características particulares de cada projeto em questão.

O Submódulo 2.5 dos Procedimentos de Rede, “Requisitos mínimos para elos de corrente contínua”, versão 2.0, aprovado pela ANEEL através da Resolução 461/11, ainda não incorpora as alterações decorrentes da experiência obtida com o projeto do Rio Madeira. Caso esta nova versão, ora em discussão, não seja aprovada até a publicação do Anexo Técnico do projeto CCAT de Belo Monte, será necessário que os requisitos que poderiam estar definidos nos Procedimentos de Rede sejam incluídos no Anexo Técnico deste projeto.

6. CONCLUSÃO

Assim como o projeto de escoamento da geração da usina de Itaipu foi um marco na engenharia nacional, o projeto do sistema de transmissão das usinas do Rio Madeira em CCAT reativou a gestão do conhecimento dessa tecnologia no país, reativando o aprendizado e a disseminação do assunto.

O modelo de licitações praticado no setor elétrico brasileiro, que segue a orientação da ANEEL, estabelece um alto grau de funcionalidade na definição dos requisitos a serem estabelecidos num Anexo Técnico de um leilão de transmissão. Este conceito se baseia na atribuição de responsabilidades ao ganhador do leilão por apresentar um desempenho compatível com o esperado e a sua penalização em caso de não observância do desempenho esperado.

O projeto do Rio Madeira foi o primeiro de grande magnitude com utilização de tecnologia CC desde a reformulação do arcabouço regulatório do setor elétrico. Tal fato contribuiu, conjuntamente com o pequeno espaço de tempo disponível entre a disponibilização do Anexo Técnico e a realização do leilão, que não houvesse tempo hábil para as Transmissoras detalhar com a profundidade necessária a especificação dos elos CCAT para seus fornecedores. Este fato teve impacto direto no desenvolvimento do projeto, postergando a conclusão das análises do Projeto Básico e principalmente trazendo soluções diferentes entre os dois bipolos.

Parte dos problemas detectados poderia ter sido evitada com um Anexo Técnico menos funcional. Outro recurso seria a utilização ou intermediação dos Procedimentos de Rede, mas a versão do mesmo disponível àquela época não se encontrava adequada para um projeto de Rede Básica dessa magnitude.

Os autores entendem que a aprovação da nova versão do Submódulo 2.5 dos Procedimentos de Rede já enviada a ANEEL para colocação em audiência pública, bem como a disponibilização de alguns requisitos mais detalhados nos futuros Anexos Técnicos evitarão muitas discussões, com ganhos expressivos no custo dos projetos, menor prazo na aprovação dos Projetos Básicos e soluções mais integradas, com um desempenho global mais otimizado para o SIN.

Os autores agradecem aos envolvidos no projeto do Rio Madeira, quer sejam Transmissoras, fornecedores CCAT, consultores, EPE e à própria ANEEL pelas relevantes contribuições técnicas obtidas em discussões, que ajudaram no entendimento dos problemas detectados no desenvolvimento deste projeto e suas possíveis soluções.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Guidelines for the Application of Metal Oxide Arresters without Gaps for HVDC Converter Stations, CIGRÉ, WG 33/14.05

(2) Projeto Básico do Rio Madeira

8. DADOS BIOGRÁFICOS



Márcio Nunes Accioly Lins, nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 1958; Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, em 1981. Atuou como engenheiro na Promon Engenharia, de 1982 a 2000, com passagens totalizando 6 anos na ABB Power Systems, em Ludvika, Suécia, na área de HVDC. Ocupa atualmente cargo de especialista na Gerência de Padrões de Desempenho e Requisitos Mínimos para as Instalações da Rede Básica do ONS, sendo responsável pela atualização e manutenção da base de dados técnica corporativa (BDT). Participa também da análise de Projetos Básicos, com ênfase em transmissão CCAT.



Hélio Pessoa nasceu em 1957, no Rio de Janeiro. É engenheiro eletricista formado pela PUC-RJ em 1982. Trabalhou em Itaipu, Eletronorte e na iniciativa privada em empresas de consultoria (Main e Marte Engenharia). Possui experiência em estudos de planejamento, de operação e de engenharia, envolvendo dimensionamento e aquisição de equipamentos. Especialista em estudos elétricos, com ênfase em modelagens de rede e na interação equipamento-rede trabalha há 12 anos no ONS, sendo que os últimos 8 anos na área voltada para a avaliação de Projetos Básicos e elaboração de Anexos Técnicos de Leilões de Transmissão.



Carlos Campinho nasceu em 1962 em Petrópolis. É engenheiro eletricista formado pela UCP em 1985. Trabalhou como projetista de linhas de transmissão para empresas de consultoria e de construção de linhas de transmissão e como consultor para o PNUD dentro do Projeto de Eficiência Energética da Eletrobras. Trabalha atualmente no ONS em assuntos relacionados a linhas de transmissão.



Antônio Carlos C. de Carvalho nasceu em 1955 no Rio de Janeiro. É engenheiro formado em 1978 na UFRJ e mestre em sistemas de potência pela COPPE/UFRJ (1984). É membro do CIGRE e é especializado na interação equipamentos-rede. Trabalhou com P&D no CEPEL e em desenvolvimento de equipamentos na ABB. Atualmente ocupa a Gerência de Padrões de Desempenho e Requisitos Mínimos da Rede Básica no ONS.



Humberto Arakaki nasceu em 1943. É engenheiro formado em 1968 na UFRJ, fez o Power System Engineering Course (PSEC 1971-1972) - Schenectedy - USA, trabalhou em Furnas de 1968 até 2002 e presta serviços ao ONS desde 2003, na Gerência de Padrões de Desempenho e Requisitos Mínimos das Instalações da Rede Básica.



Dalton de Oliveira Camponês do Brasil, nascido em São Paulo/SP em 1949, obteve o grau de engenheiro eletricista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1972 e o grau de mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco em 1996. Atualmente trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) como assessor da Diretoria de Administração dos Serviços de Transmissão.



Delmo de Macedo Correia, nascido em 1953 no Rio de Janeiro, é engenheiro eletricista pela UFF em 1975, mestre em sistemas de potência pela UFPE em 1992 e doutor em eletrotécnica teórica pela Universidade Técnica de Hamburg em 1998. Membro do CIGRÉ e do IEEE, suas áreas de interesse são qualidade de energia e engenharia de equipamentos. Trabalhou em estudos de engenharia na IESA, Themag e projetos de P&D na UFPE e na USP. Trabalha atualmente no ONS.