
PROJETO BÁSICO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO ASSOCIADO ÀS USINAS DO RIO MADEIRA E A APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE REDE DO ONS

Dalton de O. C. do Brasil*
ONS
Rio de Janeiro /RJ - Brasil

Delfim M. Zaroni**
ONS
Brasília/DF – Brasil

Mauro P. Muniz***
ONS
Rio de Janeiro/RJ

Paulo Gomes****
ONS
Rio de Janeiro/RJ

***Resumo** – Ao final de 2007 e início de 2008, foram realizados os leilões para os aproveitamentos hidroelétricos referentes às usinas hidroelétricas (UHE) de Santo Antonio e Jirau, a construir no Rio Madeira, no estado de Rondônia, com capacidades instaladas previstas de 3150 MW e 3300 MW, respectivamente. Para escoar todo esse montante de 6450 MW de energia gerada, foi realizado em novembro/2008, o leilão ANEEL 007/2008, relativo à licitação para contratação de serviço público de transmissão de energia elétrica, mediante outorga de concessão, incluindo a construção, a operação e a manutenção das instalações de transmissão do Sistema Interligado Nacional - SIN.*

As usinas do Rio Madeira e o sistema de transmissão associado são considerados projetos de grande interesse estratégico para o Brasil, aumentando a oferta de energia elétrica e garantindo a continuidade e a segurança do suprimento ao SIN, de forma significativa.

O objetivo deste trabalho é o de relatar a nossa experiência relativa à fase de análise e aprovação da conformidade dos projetos básicos. Serão abordadas as principais discussões ocorridas em relação aos requisitos de caráter funcional incluído no Anexo Técnico, à interpretação dos mesmos pelos consórcios / fabricantes vencedores e os respectivos rebatimentos no Projeto Básico, particularmente no que refere ao Circuito Principal, Filtros e Compensação Reativa e Coordenação de isolamento das subestações conversoras.

Além disto, será dado destaque a alguns pontos com forte repercussão nos aspectos operacionais futuros, dentre eles: a) Número Mínimo de Máquinas em Santo Antônio e Jirau para operação completa do sistema e definição da compensação reativa; b) Localização da SE Coletora de Porto Velho; c) Tecnologia da conversão back to back (B&B); d) Número de enrolamentos nos transformadores conversores em Porto Velho e em Araraquara; f) Localização, arranjo e conexão dos filtros em Porto Velho e Araraquara.

Palavras chave: Corrente Contínua; HVDC; Projeto Básico; Rio Madeira; Transmissão.

1 INTRODUÇÃO

A partir de 2005, os resultados dos estudos de planejamento elétrico e energético já indicavam a expansão da geração a partir da Amazônia. O planejamento do setor energético brasileiro indicava como a principal alternativa para a ampliação da geração de energia elétrica no país a exploração da energia hidráulica nos rios da Amazônia.

Naquela época, os estudos sinalizavam para o médio prazo a permanência da participação majoritária da energia hidráulica na matriz energética, muito embora com o incremento da participação da energia das usinas térmicas e também da ampliação da integração das fontes alternativas de energia, inclusive a geração eólica. Os grandes projetos de geração previstos eram no Rio Madeira, com a construção das usinas de Jirau e Santo Antonio, no Rio Xingu, com a construção de Belo Monte, e outros aproveitamentos no Rio Tapajós, conforme mostrado na Figura 1. O aproveitamento da energia gerada na Amazônia foi previsto para ocorrer

sempre em localidades com distâncias superiores a 2000 quilômetros, conforme estudos de mercado e como mostrado também na mesma Figura 1.

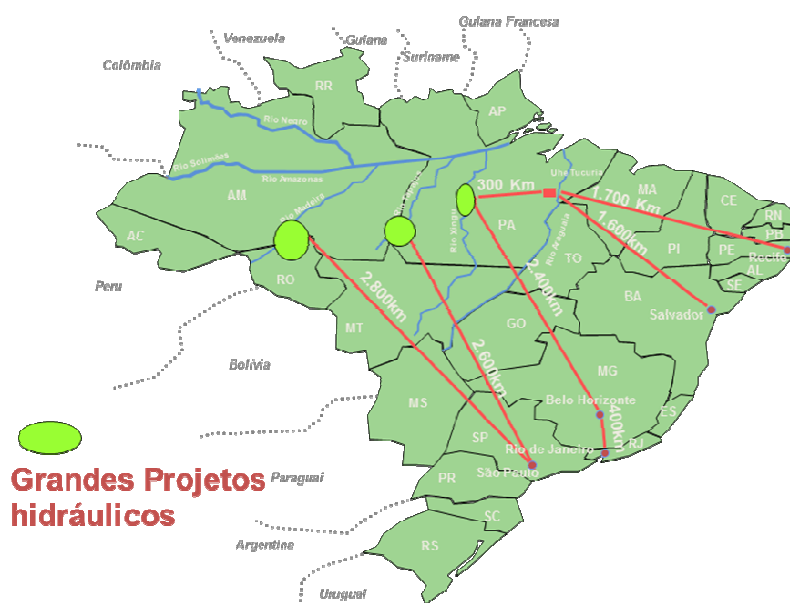


FIGURA 1 – Distâncias dos grandes projetos hidráulicos aos centros de carga

Assim, ao final de 2007 e início de 2008, foram realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL os leilões para os primeiros aproveitamentos hidroelétricos a serem construídos nessa fase de expansão da geração do Sistema Interligado Nacional e na Amazônia, que foram os leilões referentes às usinas hidroelétricas (UHE) de Santo Antonio e Jirau, a construir no Rio Madeira, no estado de Rondônia, com capacidades instaladas previstas de 3150 MW e 3300 MW, respectivamente. As usinas do Rio Madeira e o sistema de transmissão associado são considerados projetos de grande interesse estratégico nacional, aumentando a oferta de energia elétrica e garantindo a continuidade e a segurança do suprimento ao SIN, de forma significativa.

Os estudos de planejamento que definiram a integração das usinas do Madeira (UHE Jirau e UHE Santo Antônio) ao SIN contemplaram três alternativas de transmissão: uma alternativa em corrente alternada (CA), uma alternativa híbrida (CA/CC) e uma alternativa em corrente contínua (CC).

Para a transmissão e especificamente para o escoamento de todo esse montante de 6450 MW de energia gerada, foi realizado em 26/ novembro/2008, o leilão ANEEL 007/2008, relativo à licitação para contratação de serviço público de transmissão de energia elétrica, mediante outorga de concessão, incluindo a construção, a operação e a manutenção das instalações de transmissão do SIN. Nesse leilão, conforme definição do Ministério de Minas e Energia- MME e da ANEEL foram oferecidas as duas alternativas mais atrativas, de acordo com os estudos de planejamento, uma alternativa híbrida (CA/CC) e uma alternativa em corrente contínua (CC). A alternativa de transmissão em CC saiu vencedora. Esta alternativa é constituída pelos seguintes elementos: dois bipolos de corrente contínua (2x3150 MW em tensão de 600 kVCC), entre as SE Coletora Porto Velho (RO) e Araraquara (SP), com uma extensão aproximada de 2.375 km; dois conversores “back-to-back” (2x400 MW); duas linhas de transmissão em 230 kV entre as SE Coletora Porto Velho e Porto Velho e a SE Araraquara e suas interligações, conforme ilustrado na Figura 2.

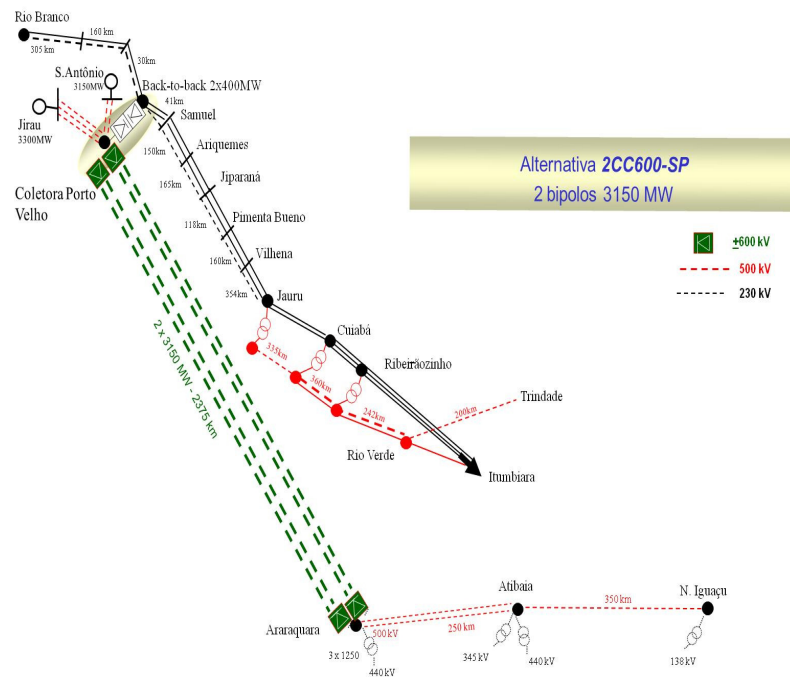


FIGURA 2 – Alternativa de transmissão em CC vencedora do Leilão ANEEL 007/2008

A estratégia adotada pela ANEEL para a concessão dos serviços de transmissão foi a divisão das instalações de transmissão em sete lotes, conforme informações e resultados apresentados anteriormente. A Figura 3 apresenta o diagrama unifilar correspondente às instalações de transmissão associadas às usinas do Madeira, com indicação dos sete lotes.

Na Tabela 1, são descritos os elementos integrantes de cada lote, bem como as transmissoras responsáveis pelos empreendimentos licitados naquela ocasião.

As transmissoras vencedoras e responsáveis pelos 7(sete) lotes (de A à G) são consórcios e incorporam empresas como ELETORNORTE, ELETROSUL, ABENGOA, ANDRADE GUTIERREZ, CYMI, CTEEP, FURNAS e CHESF, além de tradicionais fabricantes de equipamentos como ABB e AREVA.

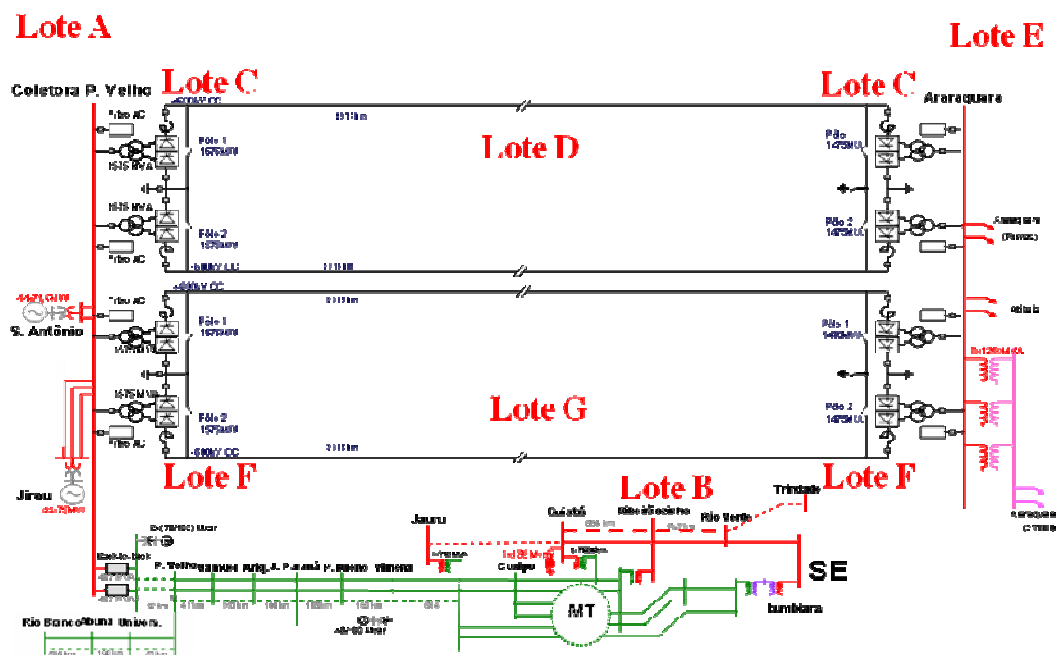


FIGURA 3 – Sistema de Transmissão do Madeira e os sete lotes

As características dos leilões, a constituição do Sistema de Transmissão do Madeira (dois bipolos em corrente contínua), a composição desse sistema em sete lotes, a meta de início de operação em 26/02/2012, por si só, já sinalizam o desafio que já está sendo enfrentado pelo setor e pelo ONS. O único projeto de transmissão em corrente contínua realizado no país remonta ao início dos anos 80, com a construção da Usina Binacional de Itaipu. A metade da capacidade instalada de geração, na época 6300 MW, dessa usina foi interligada ao sistema brasileiro por um sistema de corrente contínua. Decorridos quase 30 anos, para o novo empreendimento, está sendo necessário o resgate e a aplicação de muitos dos conhecimentos e “expertise” adquiridos naquela época. Importante lembrar também que a tecnologia de transmissão em corrente contínua (HVDC) continuou a ser aplicada no mundo inteiro, inclusive com aperfeiçoamentos técnicos e tecnológicos. A transferência, disseminação e ampliação de conhecimentos em corrente contínua para os novos profissionais são etapas fundamentais e de máxima prioridade. Ressaltamos ainda que este processo de formação e de gestão de conhecimentos será, em grande parte, aproveitável em outros grandes projetos em andamento ou em prospecção no país, como são os casos de Belo Monte e dos aproveitamentos no Rio Tapajós.

Lote	Descrição	Empresa Transmissora
A	SE 500/230 kV Coletora Porto Velho; Duas Estações Conversoras CA/CC/CA Back-To-Back 400MW e LTs 230 kV Coletora Porto Velho - Porto Velho C1 e C2	Porto Velho Transmissora de Energia S.A.
B	LTs 500 kV Cuiabá - Ribeirãozinho C2 e Ribeirãozinho - Rio Verde Norte C2	Catxerê Transmissora de Energia S.A.
C	Conversoras do Bipolo 1: SE Coletora Porto Velho e SE Araraquara 2	Estação Transmissora de Energia S.A.
D	LT Nº 01 ±600 kV CC Coletora Porto Velho - Araraquara 2	Interligação Elétrica do Madeira
E	LT 500 kV Araraquara 2 - Araraquara (FURNAS) C1 e C2 e LT 440 kV Araraquara 2 - Araraquara (CTEEP) C1 e C2; e SE Araraquara 2 - 500/440 kV - 4.500 MVA	Araraquara Transmissora de Energia S. A.
F	Conversoras do Bipolo 2: SE Coletora Porto Velho e SE Araraquara 2	Interligação Elétrica do Madeira
G	LT Nº 02 ±600 kV CC Coletora Porto Velho - Araraquara 2	Norte Brasil Transmissora de Energia S. A.

TABELA 1- Descrição dos lotes e transmissoras responsáveis

2 AS ATIVIDADES DO ONS

O Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS começou a trabalhar no Projeto de Transmissão do Madeira já na fase de elaboração do Edital do Leilão, apoiando a ANEEL e em conjunto com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE. O envolvimento do ONS neste sistema de transmissão compreendeu e compreende diversas etapas, desde a sua contribuição na elaboração do Anexo Técnico do Leilão, em seguida pela análise dos respectivos projetos básicos de cada lote e a verificação das suas conformidades com o Anexo Técnico, a elaboração dos estudos operativos e finalmente a etapa de integração operacional e comercial das instalações. Para isto, foi montada uma estrutura de trabalho, na qual são destaques: uma Coordenação Geral, integrada por um representante de cada Diretoria Técnica do ONS, um Coordenador Técnico e seis Grupos de Trabalho específicos.

Esses grupos têm a responsabilidade de verificar a conformidade dos projetos básicos das instalações em relação aos requisitos estabelecidos no edital, disseminando a absorção dos conhecimentos, além de suportar,

tecnicamente, os atos de formalização do Operador na emissão dos pareceres técnicos. Os seis grupos tratam os seguintes temas:

- Estudos relativos ao Circuito Principal (Main Circuit);
- Estudos associados aos filtros;
- Estudos de coordenação de isolamento;
- Estudos de Sistemas;
- Estudos de Proteção e Controle;
- Projetos das linhas de transmissão em corrente contínua.

3 SITUAÇÃO DO PROJETO

As Transmissoras vencedoras entregaram à ANEEL os respectivos projetos básicos dos seus empreendimentos em 26.02.2009 e, a partir desse marco, começaram as análises dos mesmos por parte do ONS e da EPE. Dos sete lotes, aqueles que compreendem especificamente o fornecimento de equipamentos em corrente contínua são os lotes A, C e F.

A tabela 2 apresenta uma visão geral da situação do projeto básico destes lotes em outubro/2010.

Lote	Nº Documentos Entregues	Nº Documentos Aprovados
A	132	56%
C	119	44%
F	123	14%

TABELA 2 – Visão Geral do Projeto

No que se refere à previsão de entrada do sistema HVDC, os principais marcos estão relacionados a seguir:

- Pátio 230 e 500 kV da SE Coletora Porto Velho (Lote A): 01/09/2011;
- Início operação comercial UHE Santo Antônio: 01/12/2010;
- Conversoras Back to Back (Lote A): 26/02/2012;
- Conversoras Bipolo 1 e Linha CC do Bipolo 1 (Lotes C e D): 01/04/2012;
- Conversoras Bipolo 2 e Linha CC do Bipolo 2 (Lotes F e G): 01/04/2013.

4 ASPECTOS RELEVANTES DO PROJETO BÁSICO

Durante a fase de análise do projeto básico, várias questões foram tratadas entre ANEEL, ONS, EPE e Transmissoras, envolvendo tanto pontos relativos à interpretação do Anexo Técnico como propostas alternativas feitas pelas Transmissoras. Neste item são apresentados os principais pontos tratados e a solução encontrada para cada um deles.

4.1 Número Mínimo de Máquinas nas Usinas de Santo Antônio e Jirau

Em face da inexistência de reservatório de regularização, os perfis de geração das usinas de Jirau e Santo Antônio acompanham o perfil das vazões naturais afluentes, com gerações mais altas no período entre dezembro e junho e uma menor geração de energia nos meses de julho a novembro, com o mínimo observado no mês de setembro.

Para determinação do número mínimo de máquinas que deverão estar sincronizadas para que o sistema de transmissão possa operar sem restrições, foram elaboradas curvas de permanência da geração mínima. Estas curvas foram baseadas em ocorrências de cada ano da série histórica simulada, considerando o histórico de vazões naturais de 1931 a 2007 e a configuração eletro-energética prevista em dez/2013 no PMO de junho de 2009, adotando-se a motorização desta UHE completa e destacando-se os valores máximos, médios e mínimos mensais para cada uma das usinas do rio Madeira, conforme apresentadas na Figura 4.

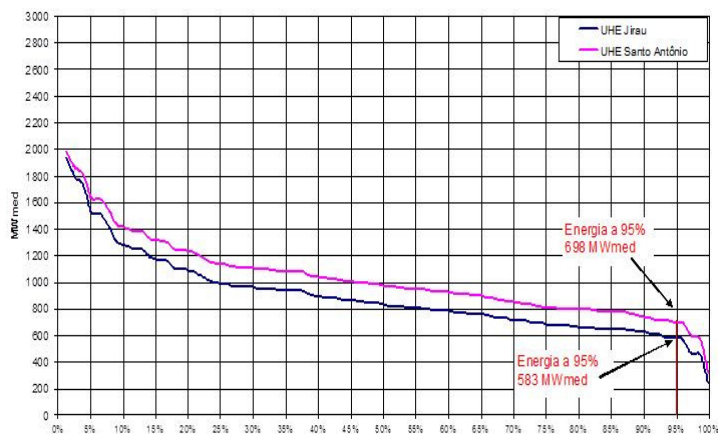


FIGURA 4 – Curvas de permanência de geração mínima

Na Figura 4, estão ressaltados os valores com 95% de permanência, correspondendo ao montante 698 MW médios para a UHE Santo Antônio e 583 MW médios para a UHE Jirau, ou seja, há apenas 5% de valores inferiores a estes montantes.

Estabeleceu-se que com a potência elétrica gerada nas UHE Jirau e Santo Antônio de 1326 MW, correspondente aproximadamente à permanência de 95% e com um número mínimo de 25 máquinas, sendo 14 em Santo Antônio e 11 em Jirau, o sistema de transmissão deveria ser projetado para operar de forma integral. Ou seja, o sistema deveria operar com todos os seus componentes presentes, compreendendo os dois bipolos e as duas conversoras, respeitando os requisitos técnicos do anexo técnico do edital e dos procedimentos de rede.

Para um nível de potência inferior a este seriam estabelecidas medidas operativas sem, entretanto, comprometer a segurança do sistema e a integridade dos equipamentos. Também requisitos e critérios incluídos no anexo técnico e nos procedimentos de rede poderão ser avaliados e/ou flexibilizados nesta situação.

Nestas condições, caracterizadas por um carregamento reduzido nos bipolos de corrente contínua, a primeira medida operativa a ser considerada será o desligamento de um pólo, de um bipolo ou das conversoras back to back. Esta medida operativa, além de mostrar-se adequada para ajustar o desempenho do sistema frente ao dimensionamento do sistema de transmissão, apresenta os benefícios de um melhor controle de tensão e do balanço de reativos. Isto porque para carregamentos reduzidos as pontes conversoras consomem uma quantidade significativamente menor de reativos e, em consequência, tem-se uma maior injeção de reativos na rede de corrente alternada, particularmente no sistema receptor de Araraquara. Uma maior injeção de reativos neste sistema pode acarretar níveis de tensão elevados no sistema receptor, notadamente nos períodos de carga leve e mínima, levando à necessidade de abertura de circuitos, o que degradaria a segurança elétrica do SIN.

A adoção desta medida de desligamento de conversoras deverá ocorrer no período anual de reduzida geração nas usinas de Santo Antonio e Jirau e deverá permanecer durante este período, não se caracterizando, portanto, em uma medida operativa intermitente. Deve ser ressaltado que o desligamento de um bipolo completo somente deverá ser adotado para valores de fluxo no bipolo remanescente tais que a eventual perda do mesmo não traga quaisquer problemas à segurança elétrica do SIN. Considerando o período de aflúências mais crítica no rio Madeira, historicamente verificado no mês de setembro, onde o despacho nas usinas de Santo Antonio e Jirau pode ser muito reduzido, o recurso operativo de desligamento de conversoras pode alcançar até o desligamento dos 2 bipolos de corrente contínua, ficando, neste caso, o escoamento da energia gerada em Jirau e Santo Antônio feito através dos 2 back- to- back. O detalhamento destas e de outras medidas operativas deverá ser feito por ocasião dos estudos pré-operacionais. Nesta oportunidade deverão também ser avaliadas as possibilidades de operação das máquinas de Jirau e Santo Antônio em períodos de baixas aflúências com um nível menor de engolimento, ou seja,

com um menor despacho por unidade, resultando em um maior número de máquinas em operação, o que tende a reduzir a necessidade de adoção das medidas operativas.

4.2 Localização da SE Coletora de Porto Velho e configuração de conexão das UHE S. Antônio e Jirau

No início da fase de projeto básico, a Transmissora responsável pelo Lote A encontrou dificuldades na aquisição e liberação do terreno previsto para a instalação da SE Coletora de Porto Velho para a localização prevista no edital do leilão. Isto se deveu basicamente ao fato do mesmo estar localizado em uma região próxima do perímetro urbano da cidade e por apresentar dificuldades de expansão e de chegada das linhas de transmissão. Desta forma foi realizada inspeção de outros locais de forma a contornar estas dificuldades. Após uma série de tratativas foi finalmente selecionada outra localização que distava aproximadamente 5 km da originalmente prevista, trazendo impactos nos comprimentos das linhas de transmissão de conexão das UHEs de Santo Antônio (aumento de aproximadamente de 5 km no comprimento) e Jirau (reduzindo o comprimento em aproximadamente 5 km). Esta mudança resultou em diversas negociações entre os empreendedores, culminando finalmente em acordo.

Também houve alterações nas configurações de conexão das usinas. Para o caso da UHE Santo Antônio, estava previsto no edital do leilão a chegada de 6(seis) linhas em 500 kV na SE Coletora de Porto Velho para efetuar a conexão desta usina. Em decorrência de uma otimização de seu projeto foram discutidas diversas conexões alternativas, ficando finalmente estabelecido uma conexão através de 4(quatro) linhas de transmissão, sendo uma em circuito duplo e duas em circuitos simples, conectando as 3 casas de força desta UHE com a SE Coletora. Nesta nova configuração, não ocorre restrição de geração para condição de contingência e, no caso da perda do circuito duplo, há uma restrição de um montante máximo que não impacta a segurança do SIN. No caso da UHE Jirau, estava previsto no contrato de concessão da mesma a conexão através de 3(três) circuitos. Na fase de projeto básico, o empreendedor procurou otimizar esta configuração para apenas 2 circuitos, porém utilizando uma alternativa de feixes expandido de subcondutores. No entanto, por razões de impacto na segurança do sistema, em caso de perda dos 2 circuitos, ficou confirmada finalmente a conexão através de 3 circuitos em 500 kV.

4.3 Transformadores Conversores

Nos Anexos Técnicos do edital do leilão para os lotes C e F, os requisitos relativos aos transformadores conversores estabeleciam transformadores monofásicos com 2(dois) enrolamentos, com 1(uma) unidade de reserva por estação para a unidade de ligação Y/Y e outra para a ligação D/D. Assim, para os Lotes C (Bipolo 1) e F (Bipolo 2) estavam previstos 14 transformadores por cada estação em cada bipolo, num total de 28 (2x14) transformadores. A Transmissora do Lote C (Bipolo 1) ofereceu para a estação retificadora de Porto Velho, transformadores monofásicos com 3 enrolamentos, portanto com 6 unidades para esta SE e uma unidade de reserva. Esta alteração deveu-se principalmente à questão de facilidade de transporte. Os transformadores desta SE serão importados e chegarão ao sítio através de navio, enquanto para o terminal inversor de Araraquara seu transporte será via terrestre, impedindo o transporte de transformadores monofásicos de 3 enrolamentos, devido ao seu peso. A partir desta proposta, foram realizados pelo proponente diversos estudos, particularmente sobre aspectos de confiabilidade para demonstrar que esta alternativa atendia os requisitos de disponibilidade constantes no edital.

Para o Lote A (Back to Back) os transformadores conversores serão trifásicos de 3 enrolamentos (1 para cada estação de cada conversora), num total de 4 unidades e uma reserva para cada estação.

4.4 Tecnologia na Conversora Back to Back em Porto Velho

O Anexo Técnico para o Lote A previa a instalação em Porto Velho de 2(duas) conversoras Back to Back 500 kV/230 kV com potência nominal de 400 MW cada uma, com tecnologia tradicional de conversão. Como o sistema receptor 230 kV de Porto Velho é relativamente fraco, com uma potência de curto-circuito da ordem de 600 MVA, o Anexo Técnico previa a instalação de compensadores síncronos nesta SE por parte da Transmissora vencedora, como forma de prover a necessária estabilidade de tensão para o processo de conversão. Alternativamente a Transmissora ofereceu a instalação de 2(dois) conversores com tecnologia CCC, ou seja, com a inclusão de capacitores série, ligados em série com os transformadores conversores. A aceitação desta tecnologia alternativa só foi concluída após a realização por parte da Transmissora/Fabricante de uma série de estudos de sistema (regime permanente e dinâmico), incluindo a utilização do PSCAD,

demonstrando que esta alternativa atendia aos requisitos do Anexo Técnico. Além disto, foi também objeto destes estudos as condições de recomposição do sistema Acre/Rondônia após um bloqueio destes conversores. Como resultado destes estudos, foi incluído no controle do inversor uma característica especial que irá aumentar a estabilidade transitória viabilizando a operação em sistemas fracos, mesmo com SCR menor que 1(um).

4.5 Arranjo de conexão dos bancos de filtros e compensação reativa de 500 kV

O Anexo técnico previa a conexão de cada banco de filtros CA e de cada equipamento de compensação reativa dos pátios 500 kV das estações conversoras em um bay do arranjo do tipo DJM (disjuntor e meio) e todos dispostos nas extremidades do barramento, de forma similar ao arranjo utilizado no projeto de Itaipu.

As Transmissoras dos Lotes A e C propuseram bancos de filtros (ilha) formados por sub-bancos conectados em ilhas ligadas em um bay do arranjo do tipo DJM, dispostos junto aos transformadores conversores, conforme prática do fabricante destes Lotes demonstrada na Figura 5.

No processo de avaliação deste arranjo de conexão alternativo foram realizadas diversas análises e feitas discussões, particularmente no que se refere aos seguintes pontos:

- a) Manobra de filtros ou sub-bancos em condição normal de operação, com ou sem falha de disjuntores:
- Sem falha de disjuntor: propostas A e B equivalentes;
 - Com falha de disjuntor durante atuação do controle: propostas equivalentes, dependendo da lógica do RPC (Reactive Power Control). Esta informação ainda não está disponível oficialmente, mas o projeto deverá seguir a filosofia regular da ABB;
 - Com falha de disjuntor durante atuação da proteção:
 - A: Na situação mais severa (falha do disjuntor central do bay), ocorre perda de um bay completo do arranjo D $\frac{1}{2}$, podendo ser retirados 2 bancos de filtro, ou, na pior das hipóteses 1 banco e 1 conversora. Conseqüências: grande ΔV e possível falha de comutação no caso de Araraquara, não admitida no Anexo Técnico.
 - B: Na falha de disjuntor de um dos bancos da ilha, ocorre a perda total da ilha. Conseqüências: grande ΔV e possível falha de comutação no caso de Araraquara, não admitida no Anexo Técnico.

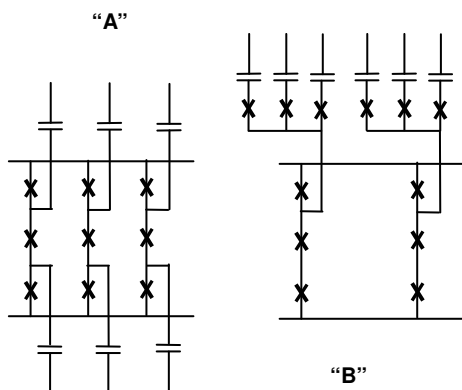


FIGURA 5 – “A”= Anexo Técnico/Procedimentos de Rede; “B”= Proposta da Transmissora

- b) Eliminação de faltas em filtros ou sub-bancos:
- Sem falha de disjuntor:
 - A: Perda do próprio banco;
 - B: No caso de falta entre o bay DJM e a ilha, a abertura acarretará a perda da ilha. A colocação de um TC entre o disjuntor do banco e o banco permitiria criar uma zona de diferencial curto, propiciando a coordenação das proteções do banco com esta.
 - Com falha de disjuntor na atuação da proteção:

- A: perda de um bay completo do arranjo D½, podendo ser retirados 2 bancos de filtro, ou, na pior das hipóteses 1 banco e 1 conversora.
- B: perda da ilha. Eliminação de falta entre o bay de DJM e a ilha, com falha do disjuntor acarreta a perda da ilha e de um transformador conversor.

c) Confiabilidade e Disponibilidade:

Conforme cálculos apresentados pela Transmissora/Fabricante, o arranjo B proposto apresenta um nível de disponibilidade superior ao arranjo A, não impactando os índices de confiabilidade requeridos pelo Edital.

d) Manutenção e Sequência de Manobra:

Conforme comentário da Transmissora, no arranjo alternativo proposto, o número de manobras de disjuntores e seccionadoras é reduzido, diminuindo a manutenção e risco de falhas nestes equipamentos.

Em função destas ponderações este arranjo alternativo foi aceito, desde que sejam atendidos os seguintes requisitos:

- Garantia de que os sub-bancos tivessem proteção individual, ou seja, que as proteções dos sub-bancos atuem para todos os tipos e localização de defeitos a jusante do disjuntor dos mesmos. Isto é, se necessário, deveria ser incluído um TC adicional;
- Que os disjuntores dos sub-bancos sejam capazes de abertura dos mesmos em qualquer condição;
- A disponibilização dos resultados dos estudos do PSCAD mostrando o impacto da abertura de toda ilha de banco e seu impacto no desempenho do elo CC (falha de comutação). No caso de Araraquara a maior ilha deverá ficar limitada a uma ordem de 600 MVar e, em Porto Velho, da ordem de 800 MVar;
- As Transmissoras deverão confirmar que as máquinas de Santo Antônio e Jirau suportam as correntes harmônicas que serão injetadas para a condição de abertura da única ilha de filtros em Porto Velho, estando em operação apenas 1 bipolo com 1500 MW;
- A relação das vantagens da conexão em ilha em relação à conexão individual dos filtros.

Além destes pontos também foi discutida a localização das ilhas de filtros na SE Araraquara 500 kV. Conforme previsto no Edital as mesmas deveriam ser localizadas nos extremos do barramento, conforme esquema utilizado para o sistema de Itaipu. No sentido de evitar a circulação de correntes harmônicas geradas nos conversores (localizados na parte central deste barramento) até os filtros e no sentido de reduzir os ruídos audíveis particularmente gerados nos filtros, as Transmissoras propuseram que os mesmos fossem localizados também na parte central do barramento, próximos das conversoras. O entendimento sobre este ponto exigiu muitas negociações com a Transmissora do Lote E, responsável pela instalação do módulo geral desta SE, tendo-se convergido para esta proposta.

4.6 Desempenho e Rating dos Filtros de 500 kV

Os requisitos de desempenho harmônico nos Procedimentos de Rede estabelecem que qualquer agente conectado em qualquer barra deve atender um conjunto de limites individuais de distorção harmônica (tensão), os quais devem ser calculados considerando que este agente é o único produtor de harmônica conectado naquela barra. O conjunto de critérios considera outro indicador relativo ao limite global de distorção harmônica, o qual é superior ao individual e inclui o efeito de outros agentes conectados na mesma barra ou em outras barras do sistema. Este tipo de especificação foi utilizado para cada conversora de cada lote do projeto do Madeira, sem considerar a outra conversora e filtros do outro lote.

Desta forma, a distorção harmônica produzida por todos os conversores em cada barra não foi estabelecida. Foi especificado que o desempenho harmônico relativo ao limite individual deveria ser respeitado por cada conversor, mesmo com um banco de seus filtros desconectado.

Devido a este critério, o mesmo envelope de impedância harmônica da rede deveria ser utilizado por cada conversora nos seus cálculos de desempenho harmônico, porém o mesmo não foi fornecido no Anexo Técnico. Desta forma o cálculo deste envelope por cada agente poderia resultar em valores discrepantes. No entanto, ao longo do projeto básico foram realizadas negociações entre os agentes, culminando com a

utilização do mesmo envelope de impedância.

Embora seja possível operar com filtros diferentes para cada conversora na mesma barra, também houve para o terminal inversor de Araraquara uma negociação sobre os filtros que resultou positiva, pois foram acordados filtros similares neste terminal para cada uma das conversoras. No entanto, no terminal retificador os filtros para cada conversora deverão ser diferentes.

As principais dificuldades enfrentadas ao longo do projeto básico relativo ao projeto dos filtros podem ser sumarizadas como segue:

- O Anexo Técnico não fixou a metodologia de cálculo das distorções harmônicas na barra da conversora a partir das correntes harmônicas calculadas pelo agente e do envelope da impedância harmônica. Esperava-se que fosse aplicado o método mais convencional de encontrar a pior situação baseado no circuito equivalente de Norton, o que acabou não acontecendo para todas as harmônicas, porém com segurança por parte do agente que o cálculo era adequado.
- No caso do rating dos filtros também houve alguma dificuldade pelo Anexo Técnico não ter estabelecido a metodologia e premissas de cálculo do mesmo. No entanto, uma cláusula estabelece que os filtros não podem sair por overrating.

Assim, como o agente é responsável pelo desempenho operativo de sua instalação e, portanto, do desempenho harmônico e “rating” dos filtros, foi aceito o projeto desses filtros com a ressalva que deverá ser instalada monitoração contínua de harmônicas nas barras das conversoras.

Em suma, pode-se concluir que é possível a especificação de filtros pertencentes às barras com conversoras pertencentes a diferentes proprietários é possível, utilizando a formatação de especificação independente utilizada no projeto do Madeira. Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados de forma a considerar a interação harmônica entre estas conversoras.

5 PRINCIPAIS DIFICULDADES

Considerando que este foi o primeiro projeto deste porte enquadrado no novo modelo do setor elétrico brasileiro, isto é, através de leilão por lotes, era de se esperar que algumas dificuldades surgissem ao longo do processo de projeto básico e da aprovação de sua conformidade com o Anexo Técnico do leilão. Estão relacionadas a seguir as principais dificuldades que foram encontradas e comentários em relação às mesmas:

5.1 Prazos

Embora tenham sido estabelecidos prazos um pouco mais estendidos para o projeto do Madeira, em comparação com outros leilões da transmissão, entende-se que os mesmos não tenham sido completamente suficientes para que o projeto básico fosse desenvolvido, analisado e aprovado como previsto. Foi estabelecido no processo do leilão um prazo de aproximadamente 3(três) meses para apresentação por parte das 7 Transmissoras vitoriosas do certame para entrega dos respectivos projetos básicos e da ordem de 4 meses para análise e aprovação da conformidade dos mesmos com o Anexo Técnico por parte da ANEEL. Apenas para efeito de comparação simplificada, os prazos envolvidos no projeto, contratação e análise do sistema HVDC de Itaipu, semelhante em termos de porte ao projeto do Madeira, foram significativamente maiores (alguns anos). Dada à complexidade do projeto do Madeira, decorridos mais de um ano da entrega do projeto básico, existem ainda várias pendências, que estão sendo consideradas e discutidas no âmbito da fase de detalhamento ou projeto executivo. Alguns equipamentos dos lotes cujas instalações devem ser comissionadas no início de 2012 já estão em processo de fabricação e testes, sendo que os seus respectivos empreendedores ainda não obtiveram a aprovação do projeto básico, o que é uma condição necessária para liberação do financiamento pelo BNDES.

5.2 Especificação Técnica x Especificação Funcional

Os requisitos técnicos contidos no Anexo Técnico do Edital de Licitação não se constituem propriamente em requisitos de uma especificação técnica, mas procuram estabelecer apenas os requisitos técnicos funcionais das novas instalações, os quais deveriam servir de base para a elaboração da especificação técnica do empreendimento por parte das Transmissoras vencedoras e para a contratação dos equipamentos junto aos

fabricantes. Em razão dos prazos exíguos envolvidos no processo do leilão, já comentado anteriormente, não foram preparadas especificações técnicas. A contratação foi feita com base no Anexo Técnico, que não detalha de forma suficiente as características técnicas dos equipamentos a serem fornecidos pelos fabricantes. Julga-se que este foi um dos aspectos que demandou a maior parte das discussões sobre interpretação dos requisitos técnicos.

5.3 Divisão em lotes

Não há dúvidas que a divisão do empreendimento em lotes para o processo do leilão é fundamental para aumentar a competitividade e consequentemente alcançar a necessária modicidade tarifária. A experiência acumulada nos processos de leilão da transmissão iniciados no ano 2000 demonstram que este é um caminho adequado. No entanto, considerando o porte do projeto do sistema de transmissão do Madeira e sua particularidade de utilizar a tecnologia de corrente contínua, a escolha da divisão dos lotes não é uma tarefa trivial. Houve muita reflexão e discussão na forma como os lotes seriam definidos. Duas alternativas básicas poderiam ser consideradas em termos de conversoras: todas as conversoras do lado da estação retificadora como um lote ou as conversoras de um mesmo bipolo (estação retificadora e inversora) como um lote. Esta última alternativa foi a escolhida para o projeto do Madeira. Destaca-se que, para esta alternativa, a principal dificuldade refere-se à parte de compartilhamento de instalações e controles. Por exemplo, na SE Coletora de Porto Velho existirão cinco agentes compartilhando o barramento de 500 kV desta SE: 2 agentes geradores e 3 agentes transmissores (Lotes A, C e F), o que poderá impor dificuldades. Podem ser citados como exemplos dessas dificuldades:

O compartilhamento da compensação reativa e filtros das conversoras;

A compatibilização dos níveis de isolamento das várias instalações conectadas no mesmo pátio CA;

A interação operacional necessária através de esquemas de controle e proteção.

Aliada a estas questões, a inexistência de uma figura integradora com a atribuição de conduzir a necessária compatibilização de requisitos, prazos e interesses por parte dos agentes que compartilham as instalações foi verificada como um ponto importante e que deveria ser repensado em outros projetos similares.

No que se refere à divisão dos lotes relativos às linhas de transmissão em corrente contínua, verificou-se que a alternativa proposta, ou seja, as linhas dos bipolos em lotes específicos parecem ser adequadas.

5.4 Aspectos de confidencialidade

O anexo técnico do edital estabeleceu que deveriam ser desenvolvidos estudos de desempenho dinâmico, com o uso de ferramentas apropriadas como ATP ou PSCAD, pelos fabricantes das conversoras de forma a demonstrar o atendimento aos requisitos de sistemas, particularmente quanto aos seguintes aspectos:

Operação dos conversores durante faltas no sistema, incluindo tempo de recuperação dos elos CC após a aplicação de faltas CA;

Interação entre controles de diferentes conversores;

Requisitos quanto às falhas de comutação.

Para a configuração completa do sistema, quando todos os conversores estarão comissionados, haverá conversores e controles fornecidos por diferentes fabricantes. Desta forma o desenvolvimento destes estudos deveria contar com a representação apropriada de cada conversor/controle, o que demanda o intercâmbio de modelos de conversor/controle por cada fabricante. Para esta finalidade procurou-se negociar com os fabricantes o intercâmbio de modelos Black Box, quando seriam mantidos os requisitos de confidencialidade de cada um. No entanto, não foi possível concluir esta negociação com sucesso, impondo, portanto, alguma dificuldade na realização destes estudos. De forma a contornar estas dificuldades acordou-se o seguinte procedimento:

Cada fabricante individualmente realizaria os estudos de desempenho dinâmico considerando a modelagem completa do seu conversor/controle e replicaria este modelo para o outro conversor;

O estudo completo final, com a representação detalhada própria de cada conversor/controle seria realizado nas instalações do Operador do Sistema, através do simulador/RTDS que será fornecido pelos fabricantes e implantados na sua sede.

Como há um intervalo de tempo de aproximadamente um ano entre a entrada do primeiro bipolo e do segundo, foi possível contornar em tempo hábil esta dificuldade. Porém, em outros casos, isto pode não ser possível.

Ressalta-se, portanto, a importância de tratar esta questão previamente ao lançamento do edital em casos onde o sistema será dividido em diversos lotes.

6 CONCLUSÃO

O sistema de transmissão do Madeira constitui-se num grande desafio e marco para o setor elétrico brasileiro, pela sua importância, porte, particularidades técnicas e sua forma de contratação.

Ao longo do seu processo de implantação, em curso, várias dificuldades, apresentadas neste artigo, têm sido enfrentadas, porém as soluções foram encontradas a partir de discussões e negociações com todos os agentes envolvidos no processo.

A grande experiência que tem sido adquirida neste processo deverá se constituir em um excelente subsídio às instituições, empresas e fabricantes para aplicação de melhorias em outros projetos similares que deverão ser desenvolvidos no Brasil, como, por exemplo, o sistema de transmissão associado às usinas de Belo Monte.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ONS – Procedimentos de Rede – www.ons.org.br;

[2] ANEEL – Edital do Leilão 007/2008 – www.aneel.gov.br.