



**GRUPO VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE TRANSMISSÃO Á LONGA DISTÂNCIA EAT-CC e CA, COM NOVOS  
DESENVOLVIMENTOS DAS TECNOLOGIAS.**

**John Graham \***

**Victor Lescale**

**Geir Biledt**

**ABB Power Technologies**

**RESUMO**

Este trabalho trata das vantagens do uso de EAT-CC para transmissão de grandes blocos de energia e discute os benefícios em comparação com sistemas radiais de EAT-CA. As considerações incluem planejamento de sistemas híbridos, ou seja, CC como tronco, com CA em paralelo. Este leva em consideração a relação entre as capacidades dos sistemas paralelos e o tamanho da rede receptora durante as fases de execução da usina. As vantagens do uso de HVDC para transmissão de grandes blocos de energia, não somente para ligação com usinas remotas, mas também dentro de sistemas já existentes, onde frequentemente ocorrem grandes fluxos sazonais, devido às características naturais das usinas hidrelétricas, estão tratados.

**PALAVRAS-CHAVE**

EAT-CC, EAT-CA, HVDC, transmissão, longa distância

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O planejamento atual do sistema elétrico interconectado do Brasil contempla grandes empreendimentos hidroelétricos na Região Amazônica. Esse planejamento inclui empreendimentos hidroelétricos como Rio Madeira e Belo Monte, ambos com grande capacidade de geração de energia, com valores sazonais diferentes e envolvendo distâncias de transmissão bastante longas até os principais centros de carga. Ambos os empreendimentos possuem capacidade final planejada da ordem de 10.000 MW e distâncias de transmissão de mais de 2.000 km, o que significa que deverá ser analisada a utilização de transmissão em EAT-CC, em níveis de tensão de até  $\pm 800$  kV.

Este documento descreve a possível utilização de  $\pm 800$  kV e as configurações ótimas da linha e do conversor, de modo a fornecer a solução mais econômica e mais segura. Os pontos de conexão das linhas de EAT-CC com a rede levam em consideração os grandes fluxos de energia existentes em bases sazonais, em consequência das características naturais das usinas hidroelétricas, tanto das novas como das existentes.

Para os estudos descritos neste documento, o sistema brasileiro é o do ano 2015 e a base instalada de geração é da ordem de 100.000 MW. A Região Sudeste é responsável por cerca de 65% do consumo, o que nos leva a considerar a utilização de EAT-CC nesses novos projetos, nos quais as distâncias de transmissão dos grandes blocos de energia são superiores a 2.000 km.

No planejamento oficial para o ano de 2015 (1) estão em desenvolvimento dois grandes complexos hidroelétricos na Bacia Amazônica. O projeto Rio Madeira inclui duas usinas no Brasil: Santo Antônio, com 3.150 MW e Jirau, com 3.300 MW, que deverão estar plenamente operacionais em 2015. O projeto Belo Monte, no Rio Xingu, será iniciado posteriormente e assume-se que terá uma capacidade instalada de 5.500 MW em 2015. As localizações geográficas dessas usinas estão ilustradas na Figura 1. No caso de Belo Monte, pode-se observar que a proximidade com a interconexão Norte-Sul existente, um forte elo de três linhas de 500 kV com compensação série, exerce um impacto significativo sobre a solução ótima, assim como a necessidade de abastecer o Nordeste do Brasil, algumas vezes a partir do Sudeste.

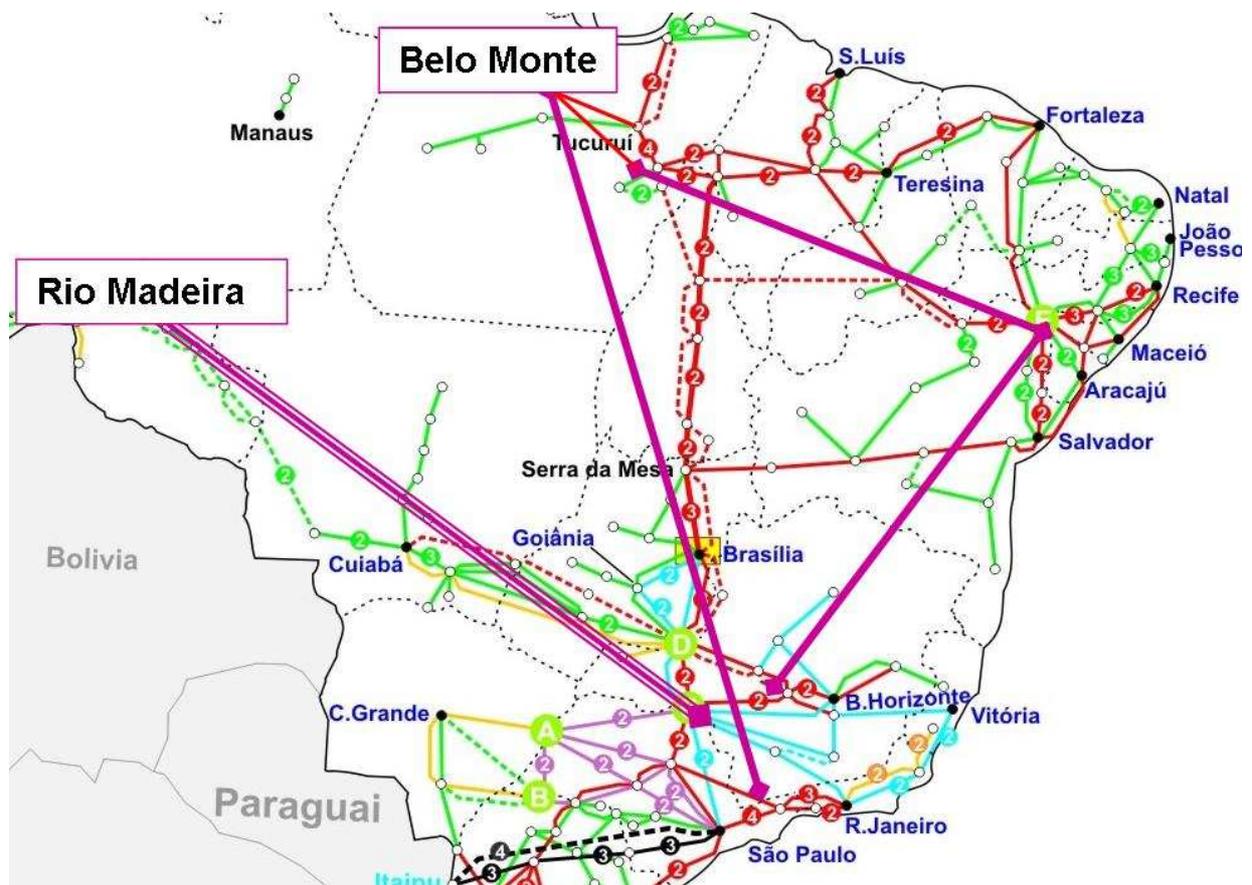


FIGURA 1 – Rede Básica do Brasil, conforme estudado para 2015

## 2.0 - CONFIGURAÇÃO EAT-CC

Uma vez que os sistemas de transmissão considerados tem níveis de potência elevada, foram planejados em configuração bipolar, com linha de transmissão bipolar. De importância particular é o tratamento das contingências do sistema de transmissão. A maior unidade geradora é de 1.300 MW e o sistema interligado permite a perda de uma unidade deste tamanho durante a operação. Entretanto, o sistema permite perda de qualquer um dos elementos, sem redução da capacidade de transmissão, e isso se aplica às linhas. Essas considerações conduzem à limitação da potência nominal do pólo ao redor de 1.500 MW e à utilização da capacidade de sobrecarga para a redução da perda de capacidade de transmissão no caso de saída do pólo. Está proposta uma linha bipolar, com eletrodos de aterramento em cada subestação e retorno metálico utilizado no caso de falta de energia no pólo da subestação, como no caso de manutenção. Essa se tornou a norma de fato, no caso de projetos recentes de linhas de transmissão, e pode ser considerada válida com base na longa experiência de operação do Sistema Itaipu. Embora não utilize retorno metálico, o projeto da linha é muito similar ao aqui proposto e demonstra que falhas permanentes na linha são muito raras e, quando ocorrem, sempre envolvem falhas nas torres ou seja: em ambos os pólos.

### 2.1 Escolha do Nível de Tensão

Para o caso de distâncias de transmissão de mais de 2.000 km, um trabalho anterior (2) discute a escolha da configuração ótima de EAT-CC, considerando 2.000 km como a distância entre a usina hidroelétrica e o centro de carga. A Figura 2 abaixo mostra o custo total da transmissão para cada potência de bipólo, como uma função do valor das perdas.

Na Figura 2 pode-se observar que, com as distâncias e as potências envolvidas,  $\pm 800$  kV é um candidato óbvio, com  $\pm 600$  kV sendo atraente para potências do bipólo próximas de 2.000 MW. Entretanto, para fins de comparação este estudo, considerou  $\pm 800$  kV e  $\pm 600$  kV.

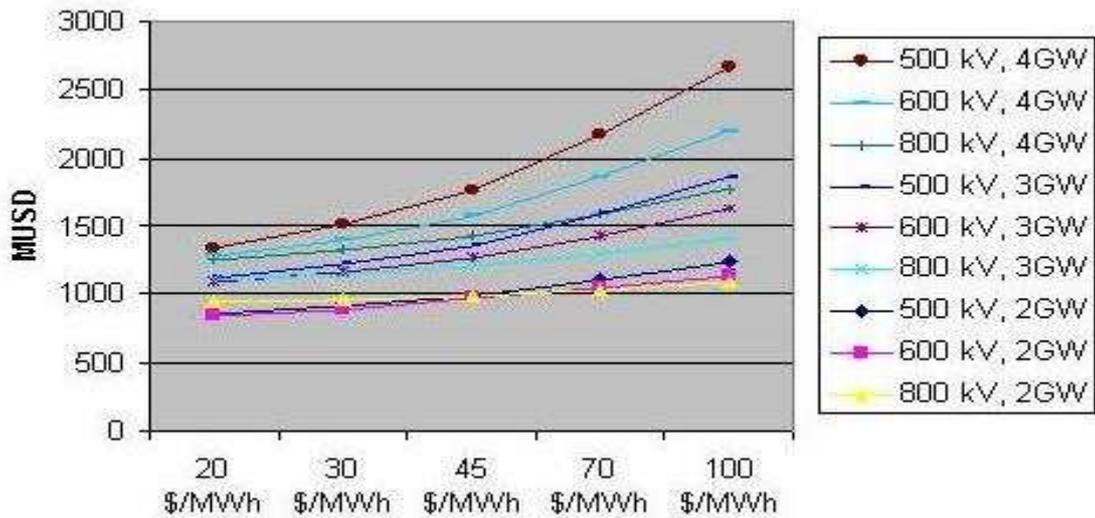


FIGURA 2 – Custo Total como Função do Valor das Perdas

## 2.2 Desenvolvimento e Testes de $\pm 800$ kV

O sistema EAT-CC de Itaipu tem operado para mais que vinte anos em  $\pm 600$  kV com muito bom desempenho. Para  $\pm 800$  kV os cálculos e testes, tanto de tipo como rotina, são necessário, porem o comportamento de longa duração precisa ser verificado. Para atender isso, todas as peças relevantes de equipamento têm sido instaladas num circuito de teste e energizado em 855 kV desde novembro de 2006. Não houve problemas com os equipamentos e o circuito vai permanecer em operação por pelo menos seis meses. O circuito de teste inclui uma “sala de válvulas” onde a temperatura esta mantida entre 50 a 60°C, para simular as condições de operação das buchas. A bucha do transformador penetra dentro dessa sala, sendo conectada á bucha de parede. Os outros equipamentos são instalados no ar livre, juntos com o gerador de tensão e um protótipo de reator de alisamento com núcleo de ar. Figura 3 em baixo mostra partes desse circuito.

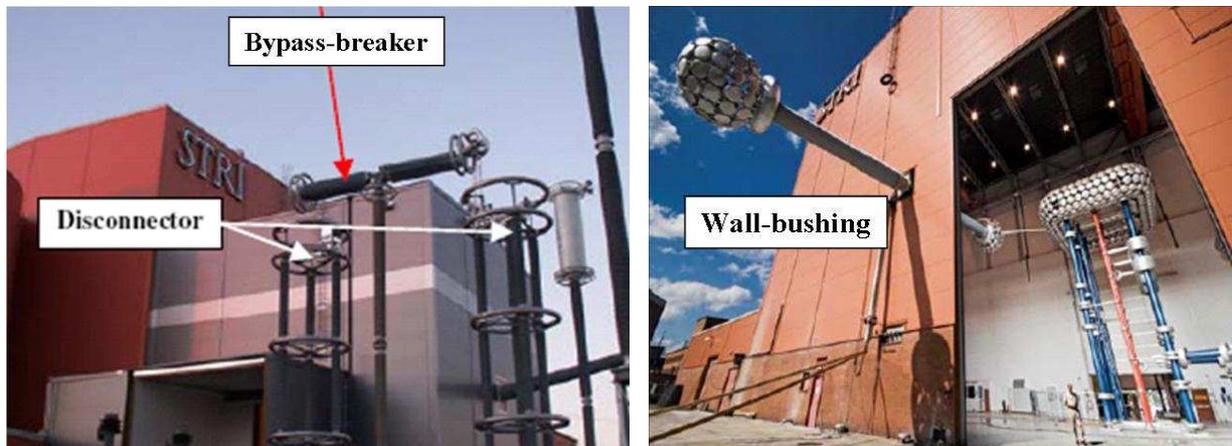


FIGURA 3 – Testes em equipamentos de  $\pm 800$  kV no laboratório da STRI, Suécia.

Nesta data, março 2007, todo equipamento essencial para  $\pm 800$  kV tem sido fabricado como um componente ou protótipo e testado. Os equipamentos considerados essenciais são transformador conversor, buchas EAT-CC do transformador e de parede, para raios de pólo, divisor de tensão, reator de alisamento, capacitores de RI, chaves seccionadoras, chaves de by-pass, e até isoladores pedestais. O protótipo do transformador tem todos os detalhes da geometria da isolamento em tamanho final. O protótipo do reator de alisamento tem isolamento para plena tensão, mas sem capacidade de corrente.

### 2.3 Configuração do Conversor

Sistemas EAT-CC da classe 3.000 MW  $\pm$  500 kV, com um único conversor de 12 pulsos por pólo estão em operação comercial em vários projetos e têm demonstrado excelente desempenho operacional. Com base nessa experiência, propõe-se utilizar conversor único de 12 pulsos para potências de até cerca de 3.500 MW. Caso sejam necessárias classes de potência superiores (3.500 a 6.000 MW), terão que ser utilizadas duas conversoras de 12 pulsos conectadas em série ou paralelo. Os motivos são o peso de transporte dos transformadores conversores e a perda de capacidade de transmissão no caso de saída de um conversor. Tanto para conversores de 12 pulsos simples como para duas por pólo, os transformadores conversores poderão ser do tipo monofásico com dois enrolamentos ou do tipo monofásico com três enrolamentos. Devido a restrições de transporte, para conversores de 12 pulsos de potências mais elevadas estão previstos transformadores monofásicos com dois enrolamentos. A título de exemplo, se forem utilizados transformadores monofásicos com dois enrolamentos nos sistemas bipolares de 3.000 MW  $\pm$  800 kV considerados neste documento, nesse caso, com um único conversor de 12 pulsos cada transformador será da classe de aproximadamente 300 MVA, o que significa peso de transporte de aproximadamente 300 toneladas. Esses e outros detalhes dos equipamentos serão analisados mais detalhadamente na referência (3) sobre transmissões em EAT-CC de  $\pm$  800 kV.

Um conversor de EAT-CC possui uma capacidade inerente de sobrecarga de cerca de 10% para o requisito de 30 minutos considerado. Maior capacidade de sobrecarga poderá ser conseguida por meio da capacidade de resfriamento das válvulas tiristores e dos transformadores conversores. Outros equipamentos conectados em séries deverão ser de capacidades compatíveis, particularmente o reator de alisamento. Uma vez que a capacidade de sobrecarga é necessária para compensação da falha de um pólo conversor, não serão necessários filtros de CA adicionais.

### 2.4 Otimização da Linha de Transmissão

As linhas de transmissão consideradas nesta comparação se baseiam no projeto de  $\pm$  600 kV de Itaipu. A experiência com as duas linhas de transmissão de 900 km tem sido extremamente boa. O índice médio de falhas é menor que uma falha por 100 km/ano e, além disso, menos que 20% dessas falhas exigiram intervenção do operador para restaurar o pólo. De particular importância é o fato de que as falhas da linha são solucionadas muito rapidamente e envolvem apenas um pólo.

Com base nessa experiência, propomos uma linha de transmissão bipolar, com estações aterradas por meio de eletrodos de terra e com retorno metálico a ser utilizado no caso de saída de um dos pólos da estação, como no caso de manutenção. Isso tem sido amplamente utilizado em projetos recentes de EAT-CC com linhas aéreas e pode ser considerado válido, com base na longa experiência de operação do Sistema Itaipu. Embora não utilizando retorno metálico, o projeto é muito similar ao aqui proposto. Durante 20 anos de operação observou-se que falhas em linhas de um único pólo são transientes, solucionados em menos de um segundo (80%), ou são reenergizadas pelo operador em questão de minutos. Casos de falha permanente têm sido devidos exclusivamente a colapso de torres da linha e, nesse caso, ambos os pólos da linha ficaram indisponíveis.

A linha de transmissão de  $\pm$  600 kV de Itaipu foi utilizada como base, assumindo-se torres estaiadas em 80% do traçado, com dois cabos guarda e com cadeias tipo "I" para suspensão dos isoladores. As características de ambas as linhas se encontram na Tabela 1 abaixo, devendo-se observar que a seção transversal total do condutor é fornecida para fins de análise econômica.

	Condutor	Al mm <sup>2</sup>	Isoladores	polo-polo	Servidão
$\pm$ 600 kV	4xThrasher	1.171	32x510	16 m	80 m
$\pm$ 800 kV	4xKiwi	1.090	43x510	20 m	100 m

TABELA 1 – Características das linhas EAT-CC

Foi considerado um feixe de quatro condutores ACSR com espaçamento de 450 mm, uma vez que há ampla experiência no Brasil com esse tipo de configuração. No caso do projeto Rio Madeira, utilizando  $\pm$  800 kV, verificou-se que o condutor Kiwi é o mais econômico, utilizando um valor de perda de 40 a 50 US\$/MWh. Com espaçamento de 20 metros entre pólos, esse condutor proporciona um gradiente de superfície médio de 21 kV/mm e máximo de 26 KV/km. De acordo com normas amplamente aceitas (4) (5), esse valor permite desempenho aceitável. Para a opção de  $\pm$  600 kV, foi considerado o maior condutor ACSR normalmente utilizado (Thrasher), embora provavelmente um condutor maior possa ser mais econômico. Isso é discutido com mais detalhes no Item 4.1.

### 3.0 - CONFIGURAÇÃO EATCA

Embora tenham sido realizados estudos para os sistemas de EAT-CC, para o sistema de EAT-CA foram

considerados dados publicados pelo CCPE (6) para o sistema de transmissão Rio Madeira. Esse sistema preliminar em EAT-CA não foi otimizado e nem projetado de acordo com os mesmos critérios econômicos utilizados para o EAT-CC. Entretanto, serve para ilustrar as diferenças técnicas.

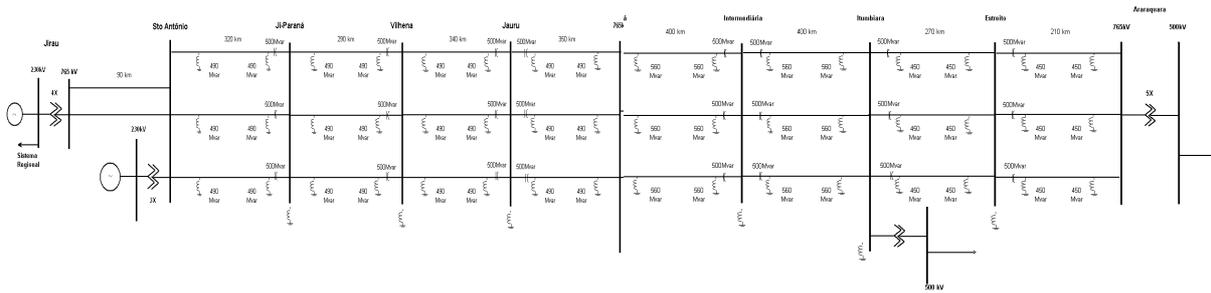


FIGURA 4 – Transmissão em EATCA para Rio Madeira

As três linhas de 765 kV possuem condutor com grande seção transversal, utilizando um feixe de 6 cabos Dipper (alumínio, com 689 mm<sup>2</sup>). Mesmo com um projeto relativamente compacto para reduzir a indutância da linha, é utilizada compensação em série de 65%. Além disso, foi assumida compensação em derivação de 85%. Pode-se observar que para a capacidade de transmissão de 6.500 MW são necessárias três linhas, cada uma delas dividida em oito seções, exigindo sete subestações intermediárias. Cada seção de linha possui um banco de capacitores em série e dois bancos de reatores shunt.

#### 4.0 - DISCUSSÃO DA TECNOLOGIA DE TRANSMISSÃO

Neste item são discutidas as características técnicas dos três modos alternativos para a transmissão de 6.500 MW. As duas alternativas em EAT-CC foram analisadas com o objetivo de determinar a tensão ótima, enquanto a alternativa em EAT-CA é comparada com base em uma configuração determinada.

##### 4.1 Aspectos Econômicos e Perdas

Uma vez que a alternativa em EAT-CA não foi estudada em profundidade pelos autores, não será possível uma comparação econômica rigorosa. Entretanto, estimativas aproximadas de investimento indicam que a alternativa em EAT-CA é pelo menos 60% mais cara que a alternativa em EAT-CC com  $\pm 600$  kV. Comparando-se as duas alternativas em EAT-CC, ambas otimizadas para feixe de quatro condutores, a alternativa com  $\pm 600$  kV apresentou custo ligeiramente superior, mas com menor custo do conversor, resultando em uma diferença de investimento de cerca de apenas 2% menor do que com  $\pm 800$  kV.

Embora para as duas alternativas em EAT-CC o investimento seja muito similar, a avaliação das perdas na linha de transmissão é de grande importância. Foi verificado perdas na carga nominal de 330 MW em  $\pm 800$  kV versus 530 MW em  $\pm 600$  kV, assumindo perdas de tempo bom por efeito corona. A avaliação dessa perda é complexa, devendo, para a determinação da perda de energia, ser levado em conta o fator de carga da geração, os efeitos sazonais e a contribuição para a capacidade na demanda máxima do sistema. Considerando as premissas utilizadas, estima-se que a alternativa de  $\pm 800$  kV apresenta uma vantagem econômica total de cerca de 10%. É interessante observar que para as três linhas de 765 kV foi constatada uma perda de cerca de 500 MW, considerando a transmissão de 6.500 MW.

##### 4.2 Operação e Manutenção

Uma análise geral da configuração para transmissão de 6.500 MW por 2.500 km mostra que comparamos uma solução com três linhas em EAT-CA e nove subestações, com uma solução com duas linhas em EAT-CC e duas estações conversoras. A solução em EAT-CA pode ser vista como tendo uma disposição distribuída de instalações e grandes investimentos em linhas de transmissão, enquanto a solução em EAT-CC concentra os equipamentos em duas subestações de alta tecnologia e investimentos reduzidos em linhas de transmissão.

Em relação à manutenção da subestação, a existência de dois pontos para sediar equipes de trabalho competentes é uma vantagem em relação a bases distribuídas e equipes menores.

##### 4.3 Considerações Ambientais

Do ponto de vista ambiental, o principal impacto é decorrente das linhas de transmissão. Nesse caso, as vantagens das alternativas em EAT-CC com duas linhas são consideráveis em relação à alternativa em EAT-CA com três linhas. Uma vez que as linhas são projetadas de acordo com os mesmos critérios, os impactos da interferência elétrica são similares, exceto quanto ao fato de que para as linhas em EAT-CC a influência de campos magnéticos é considerada insignificante.

A experiência com a transmissão de Itaipu indica a vantagem de direitos de passagem separados para cada circuito separado por distância suficiente para evitar efeitos meteorológicos simultâneos (7). As necessidades estimadas das faixas de servidão são de três de 100 m para 765 kV, de dois de 80 m para 600 kV e de dois de 100m para  $\pm$  800 kV.

Em relação às subestações, atualmente a maior preocupação é com o ruído audível. Sob esse aspecto, poderia ser vantajoso ter duas subestações ao invés de nove, de modo que possa ser reduzido o processo de mitigação do ruído. Deve-se observar que, tanto para EAT-CA como para EAT-CC, as maiores fontes de ruído audível são os transformadores e os reatores.

## 5.0 - IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA.

Devido às consideráveis vantagens da utilização de sistemas troncais de transmissão em EAT-CC, neste item são discutidas as características específicas dos dois projetos. São analisadas as preocupações relacionadas a cargas intermediárias, assim como a futuros empreendimentos de geração.

### 5.1 Rio Madeira

A localização deste empreendimento, assim como a região atravessada para alcançar os principais centros de carga, favorece a utilização de um sistema radial sólido. As cargas locais da usina de Porto Velho são atendidas por um sistema de 230 kV até Cuiabá e, em seguida, são conectadas ao sistema central em 500 kV. Poderiam ser estudadas várias possibilidades para manter o desempenho desse sistema síncrono dentro dos critérios, de modo a formar um sistema realmente híbrido. Tem sido proposto o uso de conversores *back-to-back* para desacoplar esses componentes (8) e isso certamente proporciona uma solução robusta. São necessários outros estudos de dimensionamento e é possível que possam ser utilizadas outras soluções. É interessante observar que o sistema Itaipu, em EAT-CC, embora não seja um sistema híbrido verdadeiramente síncrono, tem o relativamente fraco sistema paraguaio conectado ao retificador. No sistema Itaipu é utilizada controle de frequência em 50 Hz no EAT-CC para garantir desempenho aceitável no Paraguai e essa solução tem provado ser extremamente satisfatória. Sob esse aspecto, o sistema Itaipu pode ser utilizado para a obtenção de alguma experiência operacional relacionada a esquemas especiais de proteção (*special protection schemes* - SPS), tanto para a transmissão de três linhas em 765 kV e quanto a de dois bipólos em EAT-CC. Cada um deles está conectado à geração de 6.300 MW em Itaipu e os SPSs são utilizados para evitar falhas severos do sistema no caso de faltas de segunda contingência (9). No sistema de 765 kV, durante mais de 20 anos de operação houve 159 operações do SPS, das quais 13 ataram incorretamente. No EAT-CC houve duas operações do SPS, mas foram corretas e devidas a eventos externos.

No ano estudado, com 6.500 MW de capacidade de geração instalada, pode-se observar que são necessários dois bipólos para manter as dimensões da unidade aceitáveis para atender contingências do conversor e também facilita o desenvolvimento em etapas. Isso conduz a uma configuração de pólo com um conversor de 1.625 MW, utilizando transformadores monofásicos com dois enrolamentos.

O estudo das contingências é bastante simples, devido à configuração radial, e foi incluída capacidade para sobrecarga de 33% para cobrir saídas de pólo. As necessidades adicionais de energia reativa e de filtragem de harmônicos para os três pólos remanescentes são atendidas pelos filtros dos pólos que estão fora de serviço. Isso implica em um barramento para conexão dos filtros, incluindo redundância. Foi assumido o requisito de tempo de sobrecarga de 30 minutos, sendo esse um valor normalmente utilizado e considerado adequado para o redespacho do sistema.

Além disso, com o objetivo de aproveitar totalmente a controlabilidade do sistema de EAT-CC, é necessário estudar a coordenação com a usina de geração. Esse estudo deverá incluir a disposição das conexões, a otimização do fornecimento de energia reativa, o controle da frequência e outros benefícios obtidos devido a estreita cooperação com a geração. Estudos similares também deverão ser feitos para otimizar a conexão com o sistema receptor, no qual as perdas poderão ser reduzidas e expansão necessário minimizada.

### 5.2 Belo Monte

O sistema Belo Monte é fortemente influenciado pela interconexão Norte-Sul em 500 kV existente, compreendendo três linhas de transmissão paralelas com outras conexões em 500 kV para o nordeste, todas compensadas em série com níveis bastante elevados. Durante o período de vazões elevadas no norte, não apenas Belo Monte, mas outras usinas hidroelétricas estarão operando em plena potência. Isso acrescenta a necessidade de coordenação das características dessas interconexões com os elos de EAT-CC propostos.

Para fins de estudos, o ponto de conexão com a rede sudeste de 500 kV foi considerado como a subestação Emborcação existente, sendo esse o ponto central próximo aos maiores reservatórios de armazenagem. No caso de ambas as estações retificadoras serem localizadas em Belo Monte, constatou-se a necessidade de uma

capacidade total de conversão de cerca de 6.000 MW, devido ao elevado nível total de geração no norte e no nordeste, com fluxo líquido de energia para o sudeste. Tendo em vista essa situação, decidiu-se utilizar bipólos com características similares aos de Rio Madeira (ou seja: de 3.250 MW). Entretanto, devido à capacidade de sobrecarga de 30 minutos utilizada no sistema de 500 KVac, não há requisitos de sobrecarga para os conversores. No caso de alto nível de geração em Marabá, e também o fluxo reverso de energia no período da seca, tornaram atraente o deslocamento de um dos bipólos para Itacaiúnas, uma subestação de 500 kV existente na extremidade norte da interconexão Norte-Sul. Isso aumenta a possibilidade mostrada na Figura 1, na qual o bipólo tronco oriundo de Belo Monte possui características similares ao de Rio Madeira, incluindo a sobrecarga de 30 minutos, e um bipólo de tamanho menor é utilizado em Itacaiúnas, com uma configuração multi-terminal para Emborcação, com um estação de mesma potencia na região de Paulo Afonso. Como primeira sugestão, a capacidade dessa transmissão poderia ser de 2.250 MW, em até  $\pm 600$  kV, e poderia permitir a transmissão de energia para a Região Nordeste tanto a partir do norte como do sudoeste. Deve-se observar que essa solução evita novas interconexões com as subestações existentes na Região Norte/Nordeste e não aumenta os níveis de curto circuito.

## 6.0 - CONCLUSÃO

Consideradas as grandes potências e distâncias envolvidas nos grandes empreendimentos hidroelétricos previstos para o Brasil, a utilização de EAT-CC e, em particular de  $\pm 800$  kV, tem demonstrado ser uma solução muito atraente. A experiência de longo prazo com o sistema Itaipu de  $\pm 600$  kV, associada aos avanços na tecnologia de EAT-CC, confirma as vantagens dessa técnica para transmissão de energia em longas distâncias.

A implementação da solução EAT-CC fornece outros benefícios. O desenvolvimento em etapas adotado em grandes usinas de geração hidroelétrica pode ser facilitado e as localizações de recebimento de energia podem ser otimizados com facilidade. O impacto ambiental reduzido devido ao número reduzido de linhas e as dimensões reduzidas das mesmas para corrente contínua facilita o processo de licenciamento ambiental e reduz o tempo e o custo necessários para a obtenção do direito de passagem.

Devido a características inerentes da tecnologia EAT-CC, a controlabilidade da transmissão de energia proporciona vantagens adicionais. Além disso, nos pontos de recebimento próximos aos centros de carga, a EAT-CC não contribui para aumentar o nível de curto circuito, o que pode ser vital para algumas localidades de conexão.

Considerada essa experiência muito boa em termos de alta disponibilidade e confiabilidade, espera-se que tensões mais elevadas tornem viáveis distâncias de transmissão maiores. As avaliações econômicas deixam claro que, no caso de interconexão de duas grandes usinas hidroelétricas a centros de carga distantes por meio de EAT-CC, a tensão de  $\pm 800$  kV apresenta os menores custos analisados, tornando essa a solução mais econômica. Essa tendência de utilizar as tensões mais elevadas disponíveis já foi confirmada em 1979, quando foi escolhido o uso de tensão de  $\pm 600$  kV para o sistema Itaipu, com base em uma avaliação econômica que incluiu propostas firmes para conversores de  $\pm 500$  kV a  $\pm 600$  kV [10].

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EPE, PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2006 - 2015
- (2) John Graham et al, HVDC Power Transmission for Remote Hydroelectric Plants, Cigré SC B4, September 2005 Bangalore, India
- (3) V. Lescale et al, Power Transmission with HVDC at 800 kV, B4-106, CIGRÉ, Paris, 2006
- (4) Addendum to CIGRÉ Document No. 20 (1974), CIGRÉ Brochure No. 61 Chapter 7, 1996.
- (5) Maruvada, P.S., Corona Performance of High-Voltage Transmission Lines, Research Studies Press Ltd., Baldock, Hertfordshire, U.K., 2000.
- (6) CCPE, Perspectivas de Novos Empreendimentos de Transmissão no Brasil, SEMINÁRIO INTERNACIONAL em SISTEMAS DE TRANSMISSÃO MAIS EFICIENTES, Cigré, Rio de Janeiro, Julho, 2004.
- (7) Afonso de Oliveira e Silva et al, RELIABILITY AND UPGRADING STUDIES OF THE 765 kV ITAIPU TRANSMISSION SYSTEM, SC 22-101, CIGRÉ, Paris, 2000
- (8) EPE, HVDC STUDIES UNDER DEVELOPMENT IN BRAZIL, Brasil-China-India summit Meeting on HVDC and Hybrid Systems, Rio de Janeiro – July 2006

- (9) RUI JOVITA G. CORRÊA DA SILVA et al, SPECIAL PROTECTION SCHEMES IN OPERATION AT ITAIPU POWER PLANT, B5-203 CIGRÉ, Paris, 2006
- (10) Carlos A. O. Peixoto: "Itaipu 6300 MW HVDC Transmission System Feasibility and Planning Aspects", Phoenix, Arizona, USA, March 1980.

#### 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**John Graham** nasceu em 1942, em Northampton, Inglaterra. Graduou-se em Engenharia Elétrica em 1965, pela Universidade de Warwick, Inglaterra. Sua experiência profissional inclui trabalho para a Teshmont Consultants, no Canadá, e para a Brown Boveri, na Suíça. Trabalha no Brasil desde 1972, inicialmente em estudos para a integração da Usina Itaipu ao sistema brasileiro. Ingressou na ASEA, atualmente BBC, em 1982 e esteve envolvido no comissionamento do sistema EAT-CC de Itaipu. Trabalhou na ABB da Índia, no projeto EAT-CC Rihand-Delhi e, mais recentemente, no Brasil, tanto no estudo como no projeto da conexão Argentina - Brasil *back-to-back* 2 200 MW (Garabi)..

**Victor F. Lescale** nasceu em 1944, no México. Graduou-se em Engenharia Elétrica em 1966, pela Universidade do México. Possui mais de 30 anos de experiência em, entre outras áreas, relés de proteção e controle, instalação e comissionamento de AT e EAT, planejamento de sistemas de energia, projetos especiais, controle em EAT-CC, engenharia e gerenciamento de projetos internacionais de EAT-CC.

**Geir Biledt** nasceu em 1958, em Moss, Noruega. Graduou-se em Engenharia Mecânica em 1980, pela Universidade de Linköping, Suécia. Ingressou na ASEA AB em 1981 e exerceu vários cargos em projetos de ATCC no Brasil, EUA, Zaire e Malásia, entre outros. Em 2000 ingressou na ABB Ltd., no Brasil, como Gerente de Transmissão e Distribuição. Em 2004 assumiu o cargo de Gerente de Desenvolvimento de Negócios para a América Latina, cargo que ocupa até hoje.