

3

Aspectos gerais da transmissão em CC e CA

Tanto a ciência envolvendo a eletricidade como as suas aplicações práticas iniciaram em corrente contínua (CC). A corrente alternada (CA) foi sua sucessora. As descobertas básicas de Galvani, Volta, Oersted, Ohm, e Ampère foram em corrente contínua. A primeira aplicação prática foi um telégrafo alimentado em CC por baterias eletromecânicas e usando a terra como um circuito de retorno. [16]

A primeira estação elétrica no mundo, localizada na “Pearl Street” em Nova Iorque, foi construída por Thomas A. Edison e iniciou a operação em 1882. Ela fornecia corrente contínua em 110 V através de rede tubular e atendia uma área de aproximadamente 1 milha (1,6 km) de raio para 59 clientes em Manhattan. Edison já tinha desenvolvido um gerador CC bipolar movido por máquinas a vapor. Em poucos anos estações similares estavam em operação nos distritos centrais na maior parte das grandes cidades do mundo.

Com o advento do transformador, dos circuitos polifásicos e do motor de indução nos anos de 1880 e 1890 foi possível implantar o sistema elétrico de potência em CA. O transformador, simples, robusto e eficiente, tornou possível o uso de diferentes níveis de tensão para geração, transmissão, distribuição e uso. Em particular possibilitou também a transmissão da potência em alta tensão para longas distâncias.

A exploração da potência da água dos rios, usualmente acessível em lugares distantes dos grandes centros de carga, impulsionou a transmissão em CA. O motor de indução, especialmente o motor de indução polifásico, é também simples, robusto e barato, e serve para a maioria das propostas industriais e residenciais. Os comutadores de motores CC e geradores, somados aos requisitos de manutenção, impõem limitações na tensão, velocidade e dimensões dessas máquinas. A tensão por barramento do comutador não deve exceder 22 V para não ocorrer excessiva descarga. Devido à necessidade de elevar a tensão por comutador, são requeridos muitos barramentos e em grandes dimensões. As

grandes dimensões requerem baixa velocidade para que o comutador e os enrolamentos possam suportar a força centrípeta. E uma máquina de baixa velocidade é pesada e mais cara que uma de alta velocidade para a mesma classe. Com o advento das turbinas a vapor, que são melhores para altas velocidades, caracterizou-se uma maior vantagem para os geradores CA.

Quando o primeiro sistema CA apareceu, surgiram duros argumentos entre os proponentes para os sistemas CC. Os adeptos de CC justificavam que CA é perigoso porque usa alta tensão. Como resultado das suas vantagens, contudo, o sistema de potência elétrica CA tornou-se na maior parte universal. A potência foi gerada, transmitida, distribuída e usada em corrente alternada. Se a corrente contínua era necessária para algum uso particular, como dispositivo de ajuste de velocidade de motores ou processo eletrolítico, a corrente alternada era convertida em contínua localmente por motor-gerador ou conversores síncronos, ou mais tarde, por retificadores a arco de mercúrio. Os últimos vestígios da distribuição CC estão em redes de trabalho em baixa tensão nos centros de grandes cidades como, por exemplo, em bondes, vias férreas interurbanas e suburbanas e alguns túneis longos ou seções de linhas férreas em montanha. Finalmente, porém, redes de trabalho CA de baixa tensão substituíram as redes de trabalho CC de baixa tensão, locomotivas diesel substituíram as locomotivas a vapor e os ônibus a diesel e gasolina substituíram a maior parte dos bondes e linhas interurbanas. A vitória da corrente alternada sobre a corrente contínua estava completa.

Em relação à aceitação geral da transmissão CA, alguns engenheiros jamais esqueceram as vantagens da transmissão em CC. Foi então proposta não a troca da CA, mas um suplemento com CC. Especialmente, eles queriam superpor um “link” de transmissão CC sobre um sistema de CA, ou a interconexão de dois sistemas CA por uma linha de transmissão CC. A geração, uso, e a maior parte da transmissão e distribuição deveriam permanecer em CA.

Como uma planta de transmissão CC requer que CA seja convertida em CC e transmitida pelo “link” CC, e que o CC seja reconvertido em CA no final do “link”, a viabilidade e vantagem da planta CC dependem do desenvolvimento dos conversores comutadores para alta tensão e potência. Na Figura 19 são apresentadas as duas opções típicas de transmissão em HVDC e ATCA.

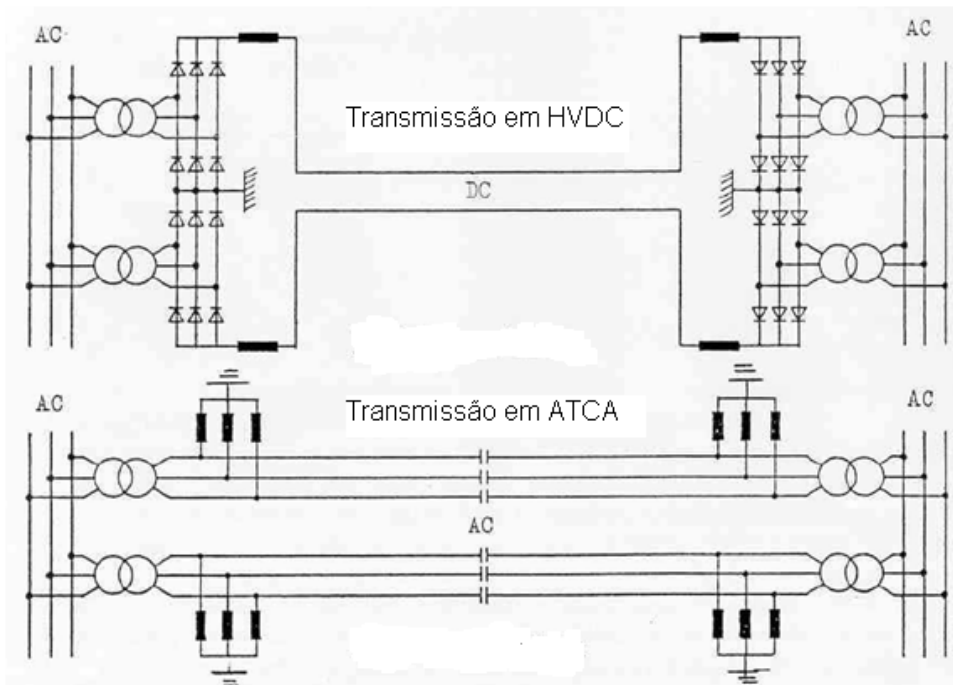


Figura 19 - Opções típicas de transmissão em HVDC e ATCA

Resumindo, na transmissão em HVDC é necessário somente um par de cabos, válvulas retificadoras e reatores para controlar a corrente, enquanto para a transmissão em ATCA são necessários no mínimo três cabos e reatores “shunt”, para evitar sobretensões durante o chaveamento da linha em função da alta capacitância.

3.1. Interligações de sistemas elétricos através de elos HVDC

São várias as razões para se fazer interligações de sistemas elétricos, incluindo diferenças da demanda (diária ou sazonal), desequilíbrio entre geração e carga, otimização das reservas de capacidade de geração, créditos de CO₂ e diferenças de preço de energia. Antigamente, as pequenas concessionárias, geralmente integradas verticalmente (geração, transmissão e distribuição), eram conectadas com seus vizinhos por meio de extensão dos sistemas CA, para um melhor aproveitamento dos seus recursos. Estas interconexões eram de extensão geográfica limitada e seguiam oportunidades locais. Entretanto, ao final da década de 1950 e nos anos 1960, as tecnologias de transmissão já haviam sido desenvolvidas de forma a permitir interligações a maiores distâncias e com maior

potência. Estas tecnologias, na maioria tensões ATCA mais altas, acopladas a compensação série e HVDC, foram, em grande parte, desenvolvidas para a conexão de geradoras hidrelétricas remotas, mas serviam também para a interconexão de sistemas elétricos, incluindo o uso de cabos submarinos. [17]

Naquela época, os avanços concentravam-se mais na América do Norte e Europa, mas logo alcançaram outras áreas do globo. Na América do Norte estes sistemas síncronos tendem a ser no sentido Norte-Sul, frequentemente motivados pelas geradoras hidrelétricas existentes. Já na Europa, onde se desenvolveu uma área síncrona mais emaranhada, as interligações foram feitas através de cabos submarinos HVDC para travessias marítimas ou de conversores “back-to-back” [17] para a rede da Europa Oriental. Durante a década de 1990, tanto a América do Norte como a Europa, e também outras partes do mundo, iniciaram um processo para desmembrar as concessionárias integradas verticalmente em companhias separadas de geração, transmissão e distribuição, bem como para introduzir novos agentes, tais como agentes de comercialização de energia, etc. Este processo teve como objetivo aumentar a concorrência, reduzindo assim o preço ao consumidor, o que, porém, tem colocado maior carga nos sistemas de transmissão.

O comércio de eletricidade começou a atingir maiores distâncias e percorrer rotas não consideradas à época do planejamento das redes. Isto resultou no fluxo de energia e fluxo paralelo através de caminhos indesejáveis, muitas vezes não envolvendo as partes comerciais. Embora o congestionamento na transmissão e fluxos indesejáveis de energia não sejam problemas novos, eles certamente tornam-se mais aparentes com o livre acesso e o comércio. Além disso, pode-se dizer que, na América do Norte e Europa, a implantação de novas interconexões não acompanhou o ritmo de tais desenvolvimentos. Enquanto isto, em outras partes do mundo, em regiões com um maior desenvolvimento de carga, as interligações estavam se desenvolvendo tanto em ambientes liberais, quanto em ambientes planejados centralmente.

Interligações HVDC são utilizadas tanto dentro dos limites das áreas síncronas, como também para integrá-las, competindo, portanto, com Extra Alta Tensão - EHVAC (tensões > 800 kV), que dispõe de vários dispositivos modernos que asseguram seu desempenho satisfatório. Uma das notáveis interligações CA é

o elo brasileiro Norte – Sul, que conecta duas grandes áreas e usa um alto nível de compensação série, inclusive capacitores séries controlados por tiristores.

3.2. Vantagens do HVDC

Sabendo que a maioria dos sistemas de transmissão de energia está utilizando com incontestável sucesso EHVAC, cabe perguntar em quais as circunstâncias dever-se-ia então usar HVDC. Nos casos de longas distâncias, sejam terrestres ou submarinas, uma das questões é de ordem econômica, ou seja, como economizar em linhas ou cabos a fim de cobrir os aumentos dos custos das estações. Entretanto, isto é, muitas vezes, um problema secundário, com relação a outras considerações, tais como impacto no meio ambiente ou a controlabilidade de HVDC. Quando se trata de distâncias mais curtas, inclusive zero, como no caso de conversores “back-to-back” (BtB), é a controlabilidade que confere a vantagem decisiva para uso de HVDC. Esta vantagem pode ser usada para enfrentar qualquer um dos inúmeros desafios encontrados com a utilização de HVDC. São listadas abaixo as vantagens de utilização de HVDC:

- Permite interligação de sistemas, utilizando características de ajustes de potência/frequência não compatíveis com conexão síncrona.
- Impede fluxos indesejáveis em linhas de transmissão CA paralelas.
- Controla intercâmbios, possivelmente com sinais adicionais, para garantir que as margens de estabilidade do sistema sejam mantidas.
- Controla o fluxo de energia e evita a sobrecarga, prevenindo disparos em cascata, restringindo assim falhas do sistema em condições de contingência múltipla.
- Restringe a potência de curto-circuito.
- Permite a conexão de sistemas elétricos que operam em frequências diferentes, podendo-se citar as conversoras de Rivera (Brasil-Uruguai) e Garabi (Brasil-Argentina).
- Fornece suporte de potência reativa para linhas CA longas, nos casos de emprego de CCC (Capacitor Commutated Converters) ou VSC (Voltage Source Converters) [17]

- Evita colapso de tensão, por meio de suporte reativo dinâmico, que aumenta as margens de estabilidade.
- Oferece capacidade de “Black Start” [17] ou alimentação de carga passiva.

Além das vantagens técnicas existem também as vantagens de ordem econômica e ambiental oferecidas por linhas ou cabos de custo mais baixos, redução de faixas de servidão e níveis mais baixos de campos eletromagnéticos. Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os níveis de tensão e potência para ATCA e uma comparação com HVDC.

Tabela 4 - Níveis de tensão e potência para ATCA

kV	MW
345/362	500 - 700
500/525	1000 - 1500
760/765	2000 - 3000
1000/1050	4000 - 6000

Tabela 5 - Comparação entre HVDC e ATCA em ITAIPU

ITAIPU	
ATCA	HVDC
6300 MW – 3x765 kV	6300 MW – 2x600 kV

Na Figura 20 Jardim [22] mostra, de forma teórica, que a transmissão em HVDC é mais econômica que a transmissão em ATCA a partir de 1000 km.

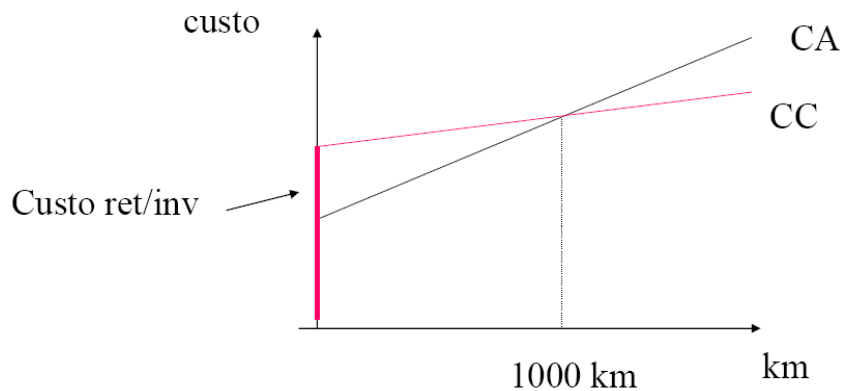


Figura 20 - Comparação de custos para a transmissão em HVDC e ATCA

Diante das inúmeras vantagens da utilização da transmissão em HVDC e pelas Tabelas 4 e 5 pode-se observar que a transmissão em HVDC, para distâncias da ordem de 1000 km, é mais econômica e vantajosa pois, para a mesma potência transmitida, a transmissão em HVDC utiliza equipamentos com menor tensão, portanto menor custo, e ocorre também uma redução significativa na utilização de cabos e torres de transmissão, além da redução na faixa de servidão, entre outras.

3.3.

Transmissão de energia em grande escala

Se as dez usinas hidrelétricas e as duas termelétricas que compõem o parque gerador de FURNAS fossem comparadas a fábricas de energia, as 43 subestações integrantes de seu sistema de transmissão seriam, por analogia, os centros atacadistas. Dentro desta vasta rede que se estende pelas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a Subestação de Ibiúna destaca-se como um grande centro de distribuição de energia em larga escala. Subordinada ao Departamento de Produção São Roque, criado juntamente com o Departamento de Produção Paraná para dar apoio à transmissão da energia gerada por ITAIPU, a Subestação de Ibiúna é considerada a maior unidade conversora de corrente contínua em alta tensão do mundo. Instalada em um terreno com mais de 270 hectares e possuindo uma área energizada de cerca de 63 hectares, este verdadeiro complexo industrial, localizado no interior do estado de São Paulo, é responsável pela transmissão de cerca de 37.000 gigawatt-hora (GWh), energia equivalente a 13% do consumo do país e a 43% do consumo do estado de São Paulo.

A subestação de Ibiúna tem um papel relevante no segmento de transmissão do Sistema Interligado Nacional e ocupa uma posição estratégica no setor elétrico brasileiro. Por fazer parte do sistema de transmissão da Usina de ITAIPU, realiza o transporte do maior bloco de energia do país, servindo como referência tecnológica de transmissão em corrente contínua. A unidade possui equipamentos exclusivos como conversores HVDC, transformadores conversores, bancos de filtros para harmônicos de 3^a, 5^a, 11^a e 13^a ordem e bancos de filtros passa alta. [18]

Depois de percorrer mais de 790 km, a energia é transformada em corrente alternada com frequência de 60 Hz, na Subestação de Ibiúna, e distribuída para

Campinas, Guarulhos, Tijuco Preto, Interlagos e Batéias, de acordo com a Figura 21.



Figura 21 - Ilustração do sistema de geração e transmissão de energia de ITAIPU

A capacidade instalada das dezoito máquinas autorizadas pelo tratado de ITAIPU é de 12.600 MW. A energia gerada em 60 Hz (metade das máquinas) é transmitida através de três circuitos na tensão de 765 kV em corrente alternada. Parte da energia gerada em 50 Hz é convertida para corrente contínua e transmitida até Ibiúna através de dois elos de +/- 600 kV em corrente contínua, onde é convertida para tensão alternada na frequência de 60 Hz. Ao longo de 2002, a Subestação de Ibiúna foi responsável pela transmissão de um volume de energia equivalente a 140% do total produzido pelo parque gerador de FURNAS. Pelas características peculiares da subestação, a operação de seus equipamentos faz com que alguns trabalhos rotineiros ganhem relevância. Anualmente são realizadas cerca de 9.600 manobras de chaveamento de filtros, de partidas e paradas de pólos e conversores, de rampeamentos de potência etc. Para os

equipamentos de grande porte, realizam-se mais de 20 mil manobras anuais, além de mais de 547 mil ações diárias de rotina como reconhecimento de alarmes e inspeções diárias em equipamentos. [18] São apresentados na Tabela 6 os principais equipamentos, quantidades e suas funções básicas.

Tabela 6 - Principais equipamentos e suas funções básicas

Quantidade	Tipo de equipamento	Função
8	Conversores de 787 MW	Convertem a energia recebida em CC para CA
24	Transformadores Conversores	Compatibilizam os níveis de tensão existentes na saída dos conversores com os existentes no sistema elétrico
6	Bancos de Filtros para Harmônicos	Eliminam as imperfeições (harmônicos) geradas durante o processo de conversão da energia de CC para CA
5	Bancos de filtros passa alta	Eliminam imperfeições de harmônicos de ordem elevada

Energizada em outubro de 1984, a Subestação de Ibiúna foi montada com os mais modernos equipamentos existentes no mundo, através de contrato tipo *turn-key*, com a empresa ASEA, atualmente denominada Asea Brown Boveri (ABB). De acordo com o gerente do Departamento de Produção de São Roque, naquela época, especialistas estrangeiros foram enviados para as unidades de FURNAS, que serviram como banco de provas para a ABB. [18]

O gerente de produção de São Roque ressalta ainda que, além de ser uma referência no segmento de transmissão brasileiro e mundial, a subestação, que possui mais de 1.300 equipamentos principais (transformadores de potência, disjuntores, retificadores etc), se destaca como uma das unidades com forte contribuição para o faturamento da Empresa. A subestação também foi a pioneira em FURNAS e na América Latina quando recebeu, em 1998, sua certificação ISO 14001, referente à gestão ambiental.

3.4.

Novos projetos para expansão da transmissão em HVDC no Brasil

O aumento da população requer cada vez mais energia e as reservas naturais são cada vez mais escassas, e por outro lado, a produção e o uso de energia estão

aumentando a poluição mundial. O protocolo de Kyoto limita o uso de alguns tipos de combustíveis, além de incentivar o uso de energias renováveis e limpas. Por estes motivos o Brasil necessita urgentemente realizar análises de energia e projetar novas maneiras de gerar energia com a preocupação com o meio ambiente.

Nos últimos vinte anos aproximadamente, com o crescimento da população e o consumo acelerado em todos os setores, ocorrem ações e estudos para melhora da qualidade de vida da população em relação ao meio ambiente e práticas sustentáveis. O setor de energia passa a ter uma atenção especial por meio de estudos específicos em relação à busca e descobrimento de uma eficiência energética.

Eficiência energética é a capacidade de utilizar menos energia para produzir a mesma quantidade de iluminação, aquecimento, transporte e outros serviços baseados no consumo de energia. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, automaticamente consome-se mais energia. No Brasil, assim como em outros países, os investimentos nesta área aumentaram bastante, alternando a política energética conforme a gestão governamental.

Conforme dados obtidos no relatório de Balanço Energético Nacional de 2009, o consumo de energia do setor residencial apresentou crescimento em 2009 de aproximadamente 5%, o setor comercial apresentou aumento acima da média, 7%, e as indústrias apresentaram pequena variação positiva da ordem de 3%. Hoje se tem o setor industrial como o maior consumidor de energia do País, seguido pelo residencial, comercial e público. [19]

Atualmente no Brasil, com a entrada de mais de 19 milhões de pessoas das camadas mais pobres no mercado de consumo entre 2001 e 2008, e a realização da Copa do Mundo em 2014 e da Olimpíada em 2016, as oportunidades abertas pelo plano de expansão do sistema elétrico nacional se multiplicam - da geração à distribuição. [20]

As principais fontes (estruturas) de energia do Brasil, geradoras de eletricidade, são: Hidroelétricas (74%), Termoelétricas (14%) (biomassa, gás natural, carvão mineral, óleo combustível e óleo diesel), Usinas nucleares (3%) e Energia importada (9%). As fontes renováveis são predominantes na produção de energia elétrica no Brasil, com aproximadamente 89%.

Apenas com este cenário, a previsão é de que o consumo de energia passe de 400 mil GWh por ano para 600 mil GWh por ano até 2017. Estima-se que 30% da energia virá de termoelétricas movidas a biomassa, centrais eólicas e pequenas centrais Hidrelétricas e 70% será suprido por usinas hidrelétricas. [20]

Os investimentos no Brasil, voltados para a geração de energia especificamente de fontes eólicas e hidrelétricas, têm empreendimentos previstos para diversas regiões, tais como nos rios Parnaíba, Teles Pires, Belo Monte e Rio Xingu. Os investimentos no Brasil devem ser na grande maioria de empresas internacionais, com parcerias públicas e privadas. Conforme previsto nas políticas públicas nacionais, estes investimentos devem ocorrer mais intensamente no campo de energia renovável e com incentivos ao desenvolvimento de novas tecnologias que beneficiem e preservem os recursos naturais do país. [20]

É apresentada, nas Figuras 22, 23 e 24, uma ilustração dos investimentos recentes na geração e expansão da transmissão de energia elétrica, conectando o norte ao sudeste e nordeste do país. A seguir são informadas as previsões da quantidade e tipo de energia gerada por estes investimentos. [21]

A Usina de Belo Monte (Fig. 23), já licitada em 2010, terá uma capacidade instalada de 11.233 MW, sendo a casa de força principal com 18 unidades geradoras, totalizando 11.000 MW e a casa de força complementar com 6 unidades geradoras totalizando 233 MW. Inicialmente será conectada ao Sistema Interligado através de subestação Seccionadora Xingu 500 kV, subestação integrante do sistema já em construção Tucuruí-Macapá-Manaus, localizada no estado do Pará, por meio de cinco linhas de transmissão em 500 kV. Entretanto, antecipa-se que será necessária a ampliação das capacidades das interligações Norte-Sudeste/Centro-Oeste e Norte-Nordeste para assegurar o requisito indicado pelas análises energéticas para os anos finais do horizonte decenal. Os reforços nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste bem como a ampliação das interligações acima citadas, estão sendo avaliadas e eventualmente poderá ser utilizada tecnologia CC.

A transmissão das Usinas do Rio Madeira (Fig. 24), por exemplo, Jirau e Santo Antonio, com capacidade instalada total de 6.450 MW, já foi licitada e será basicamente em corrente contínua por dois bipolos de 3150 MW, em +/- 600 kV. [21]

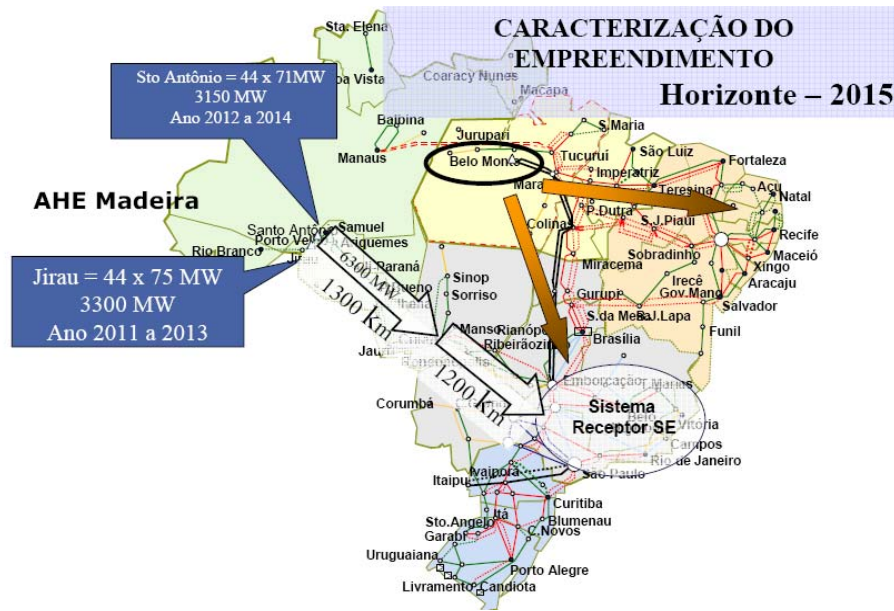


Figura 22 - Investimentos e projetos da expansão da transmissão até 2015

Planta de Belo Monte

Características do Projeto
Dois estágios de 5500 MW cada



Figura 23 - Projetos da expansão da geração e transmissão para Belo Monte [22]

Planta do Madeira

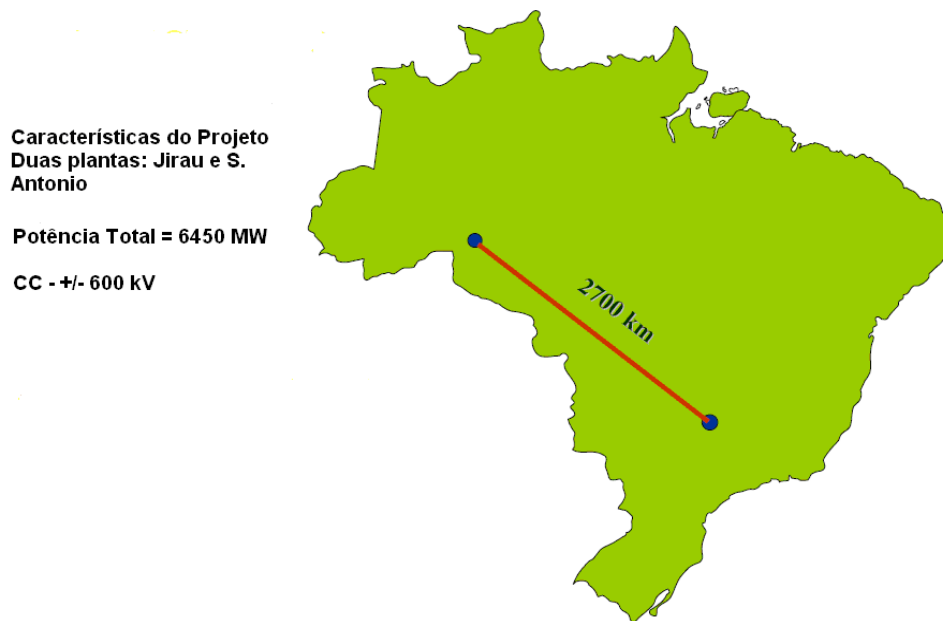


Figura 24 - Projetos da expansão da geração e transmissão para o Madeira [22]

3.5. Tendências tecnológicas

A rede elétrica é uma infraestrutura indispensável da sociedade de hoje, sem a qual todas as funções da comunidade vão cessar. Na Europa, tanto a geração e transmissão estão perto do limite de capacidade, e em particular as atuais interligações da rede europeia norte-sul “back-bone” já estão totalmente carregadas. Além disso, as perdas na transmissão, que já respondem por 10% de toda a energia gerada, estão em alguns casos com ameaça de aumento de tal forma que a transmissão seria impraticável.

Há uma necessidade urgente para a introdução de novas fontes de energia, com baixas emissões de gases do efeito estufa. Fontes renováveis de energia, muitas vezes localizadas remotamente em relação às principais zonas de população, são vistas como a resposta ambientalmente aceitável para manter a segurança do fornecimento de energia. Por conseguinte, para a transmissão em larga escala de energia a longas distâncias (> 1000 km) é obrigatório o emprego da transmissão em HVDC, que é universalmente considerada como a solução para estas redes essencialmente longas.

No entanto, nenhuma infraestrutura metrológica atualmente existe para apoiar a proposta de HVDC em níveis de trabalho de 800 kV. Consequentemente HVDC não pode ser mensurado com confiabilidade para efeitos de proteção ou de faturamento, a sua qualidade não pode ser monitorada com exatidão suficiente e os fabricantes de equipamentos não podem determinar com exatidão a interação na redução das perdas de energia.

Assim, transmissão de energia em HVDC é crucial para o sucesso na captação de fontes de energia renováveis. Um programa de pesquisa (EURAMET – projeto ENG07) denominado “Metrology for High Voltage Direct Current” foi destinado a apoiar a metrologia para as necessidades da transmissão de energia em HVDC. Este programa irá proporcionar diversas melhorias para a presente infraestrutura da metrologia em HVDC: exatidão nas medidas em HVDC, determinação de perdas em sistemas de HVDC, medições de qualidade de energia em subestações de HVDC e medição DC. É um esforço combinado de 7 institutos nacionais de metrologia Europeus, uma universidade e um parceiro industrial, teve início no 4º trimestre de 2010 e terá uma duração de 3 anos. Os custos são da ordem de 4.2 milhões de euros. [4]

3.6.

O programa de pesquisa do EURAMET

Os objetivos do projeto podem ser amplamente descritos em três campos: avaliação de perdas, qualidade de energia e medição. (Alta tensão CC é um subcampo com impacto em avaliação de perdas e medição). Por razões de ordem prática estes três campos foram divididos em cinco grupos de trabalho descritos abaixo:

Grupo 1: Avaliação de perdas

As perdas de energia de um sistema de transmissão HVDC podem ser diretamente avaliadas em termos econômicos, e minimizando perdas reduz-se também as emissões de gases de efeito estufa. Para os projetistas decidirem sobre as alternativas do sistema de transmissão o conhecimento com exatidão das perdas esperadas formam uma parte importante da avaliação do projeto. Por esta razão, propor a medição adequada de perdas em sistemas de HVDC é indispensável.

A última geração de válvulas conversoras CC utiliza uma tecnologia que exige uma medição precisa dos transitórios rápidos de tensão e corrente, a fim de determinar as perdas. O programa de pesquisa vai determinar o estado-da-arte da instrumentação e métodos para avaliar as perdas nestes sinais rápidos, bem como oferecer condições técnicas para estimá-las na fase de concepção, com exatidão suficiente para cobrir as necessidades dos projetistas dos conversores.

Como as estações conversoras facilitam a transmissão de energia em massa, a redução das perdas ainda relativamente pequenas pode se traduzir em economia de energia em grande escala. A detecção e a melhoria da eficiência destas pequenas alterações exigem uma mudança de fase na melhoria da exatidão de medição. A determinação das perdas da estação conversora completa, ou mesmo de um sistema de transmissão HVDC, exige medições muito exatas da potência em ambos os lados, CA e CC. A aplicação representa um grande desafio da metrologia em que a medição de energia tem que ser levada a um novo nível de exatidão.

Para os componentes, especialmente as válvulas conversoras, métodos e instrumentos serão desenvolvidos, permitindo a medição de perdas na presença de transitórios de corrente e tensão. O tratamento adequado dos erros de fase no circuito de medição representa um verdadeiro desafio, e outros métodos usando, por exemplo “coolant flow rate” [23], medições com temperatura elevada como validação, ou até mesmo como método complementar, poderão ter de ser avaliados.

Grupo 2: Alta tensão CC

Há um foco especial sobre medição de alta tensão CC nas subestações conversoras, a qual ainda não é suficientemente exata para a determinação das perdas. Os trabalhos serão realizados para fornecer nova infraestrutura de medição no local da calibração do lado CC, instalação de divisores nas estações conversoras, bem como referências para laboratórios industriais, para fornecer a rastreabilidade essencial. Em ambos os casos (Grupos 1 e 2), a tensão esperada foi aumentada para 1MV, considerando um aumento na tensão para os futuros projetos de HVDC.

Grupo 3: Qualidade de Energia

Conversores utilizados em sistemas HVDC podem produzir harmônicos e inter-harmônicos que são injetados no sistema. Existem diversos códigos de redes

relacionados a limitar a poluição harmônica de tais sistemas, porém existem também problemas prévios com inter-harmônicos, que na sua maioria não são medidos e não são regulamentados. O efeito de tais inter-harmônicos pode ter uma influência significativa sobre a qualidade de energia da rede (PQ) que, entre outros efeitos indesejáveis, dá origem a um aumento das perdas. Um esforço será feito para desenvolver e implementar novas capacidades para a avaliação “in loco” de harmônicos e inter-harmônicos e estudar seus efeitos prejudiciais.

O projeto de filtros em estações de HVDC, necessários para atenuar o efeito dos harmônicos, requer conhecimento da impedância da rede em uma faixa específica de frequências. Novos métodos robustos serão desenvolvidos para determinar esta impedância com exatidão suficiente para permitir a mitigação eficaz e impedir a falha do componente.

Grupo 4: Medição

Medição correta é um pré-requisito para o faturamento correto e para o comércio justo. A medição do lado CC está, em muitos casos, como ponto lógico na interface entre quem compra e vende energia na rede CC. Devido à falta de consenso sobre princípios corretos de medição e o aceite de soluções técnicas, essa opção para medição não é usada atualmente.

Embora os candidatos adequados para os transdutores primários de corrente e tensão para a medição do lado CC estejam disponíveis, não há nenhum serviço de calibração disponível para provar que eles cumpriram completamente os requisitos da medição. Especificações para medidores elétricos do lado CC não estão disponíveis ao público e não há consenso sobre os métodos dos ensaios de tipo e rotina para tais medidores. No entanto, com o aumento na projeção das ligações em HVDC, e o resultado da escalada em transações financeiras entre as nações e diferentes operadores comerciais, existe a necessidade de alocar os custos significativos das perdas da estação conversora e isso só pode ser alcançado por meio da medição do lado CC.

Novas capacidades de medição para o lado CC e aparelhos de medição são necessários, e serão desenvolvidos, tanto para a calibração de alto nível de laboratório e para as necessidades de calibração durante a fabricação dos dispositivos de medição. Uma necessidade futura de verificações em subestações finais é também esperada.

Uma pesquisa pré-normativa será realizada para definir os requisitos básicos para medidores elétricos para CC, tanto para os atuais circuitos analógicos de entrada, mas também para o futuro, com transdutores de corrente e tensão com sinais digitais de saída. Ensaios e métodos de ensaios serão realizados visando à calibração e à implementação de procedimentos de ensaios para ambos os tipos de medidores de energia CC.

Uma barreira para a medição do lado CC é a falta de disponibilidade de medidores de energia adequados. Uma demonstração de medidores de energia CC será construída e testada de acordo com os princípios estabelecidos pelo projeto. O medidor será instalado em uma estação de HVDC real e comparado com a medição instalada atualmente no lado CA. Um novo tipo de transformador de corrente (TC) não invasivo para calibração de transformadores de corrente CA será desenvolvido e utilizado para caracterizar os TCs instalados, a fim de avaliar o desempenho do medidor de energia na estação de HVDC escolhida.

Este programa de trabalho vai culminar em um novo cenário e irá além do estado da arte para possibilitar a eficaz e eficiente implementação da transmissão em HVDC, em resposta a necessidade urgente de energia dos países da União Européia.

Grupo 5: Perspectiva

O programa de pesquisa abordando as questões de investigação acima teve início no 4º trimestre de 2010, com duração prevista de 3 anos. Os participantes irão trabalhar em tarefas complementares incidindo em suas áreas e experiências específicas. O resultado final será tanto uma nova capacidade de calibração, mas também novos equipamentos como divisores de referência para HVDC com características asseguradas e protótipos de medidores de energia em CC.

No próximo capítulo será abordado o projeto propriamente dito do padrão, com detalhes construtivos, desenhos, materiais utilizados e ensaios dielétricos para comprovar o seu desempenho e suportabilidade.