

Estudo Básico

Introdução da Transmissão de Energia Elétrica de Alta Eficiência por Supercondutividade no Brasil

Sumário Executivo

Fevereiro 2017

Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA)

**Shikoku Electric Power Co., Inc.
Furukawa Electric Co., Ltd.
Mayekawa MFG. Co., Ltd.**

| |
|--------|
| 中南 |
| JR |
| 16-049 |

Índice

| | | |
|---|---|-----------|
| Capítulo 1 | Resumo do presente estudo..... | 1 |
| 1.1 | Objetivo e contexto | 1 |
| 1.2 | Resultados do estudo..... | 1 |
| Capítulo 2 | Desenvolvimento da tecnologia de transmissão e distribuição de energia elétrica por supercondutividade | 3 |
| 2.1 | Desenvolvimento no Japão | 3 |
| 2.2 | Desenvolvimento em outras partes do mundo..... | 3 |
| Capítulo 3 | Roteiro de implementação (<i>roadmap</i>) do cabo supercondutor..... | 5 |
| Capítulo 4 | Proposta de Projeto de P&D laboratorial..... | 7 |
| 4.1 | Objetivo do projeto | 7 |
| 4.2 | Resumo do projeto | 7 |
| 4.3 | Equipamentos, instalações e cronograma do projeto..... | 8 |
| 4.4 | Orçamento e estrutura de execução do projeto..... | 9 |
| Capítulo 5 | Estudo de casos para a planta piloto..... | 10 |
| 5.1 | Objetivo da planta piloto..... | 10 |
| 5.2 | Locais candidatos para a instalação da planta piloto nas empresas de transmissão de energia..... | 10 |
| 5.3 | Projeto conceitual nos locais candidatos (incluindo o orçamento) | 11 |
| 5.4 | Estrutura de execução | 13 |
| Capítulo 6 | Próximas etapas | 14 |
| Apêndice | | 15 |
| Apêndice 1 Projeto do local candidato para a planta piloto | | |
| Apêndice 2 Análise das especificações e dos custos do locais candidato para a instalação da planta piloto (resumo) | | |

Capítulo 1 Resumo do presente estudo

1.1 Objetivo e contexto

Cabos supercondutores apresentam alta eficiência e elevada ampacidade, transportando de 3 a 9 vezes mais corrente que cabos isolados convencionais com as mesmas dimensões. Além de serem mais compactos que cabos convencionais, não emitem calor e nem campos magnéticos, possibilitando um melhor aproveitamento de áreas subterrâneas e faixas de servidão

A tecnologia de transmissão por supercondutividade detida pelo Japão é mundialmente avançada (o país que domina todos os segmentos tecnológicos envolvidos no processo) e a expectativa é de que se torne a tecnologia de transmissão da próxima geração. O Japão tem realizado vários esforços para reduzir as suas perdas na transmissão e distribuição, e dentre eles a tecnologia de transmissão por supercondutividade tem sido desenvolvido principalmente pelas companhias de energia desde a segunda metade da década de 1980, e no momento a fase de validação já está concluída e a tecnologia se encontra praticamente a um nível comercial. No entanto, a rede de transmissão doméstica no Japão já está estabelecida e não existem perspectivas de grandes demandas para o futuro o que acaba inibindo os planos de construção de novas linhas de transmissão. Por conta disso, a tecnologia se encontra numa situação de falta de oportunidades para a sua aplicação em sistemas de energia elétrica dentro do Japão.

Já o Brasil possui uma área territorial 22 vezes maior que o Japão, e existem diversos planos de desenvolvimento de fontes de energia e de construção de linhas de transmissão a longa distância de grande escala destinados às grandes áreas de consumo para atender à crescente demanda no consumo de energia.

Visando ao estabelecimento de uma cooperação para a introdução desta tecnologia no Brasil, a Japan International Cooperation Agency (JICA) entrou em contato com a Eletrobras em março de 2015. A Eletrobras solicitou o apoio técnico do Cepel, que desde então vem participando de todas as reuniões e discussões sobre este tema. Esta cooperação envolveria transferência de conhecimento e tecnologia.

O presente estudo serve como levantamento básico para a aplicação da tecnologia japonesa de transmissão por supercondutividade à rede de transmissão brasileira, buscando estabelecer planos para ensaios e demonstrações e avaliar as especificações relacionadas à tecnologia em questão. . Dessa modo, configura-se um projeto a longo prazo para a aplicação da tecnologia de transmissão por supercondutividade a nível comercial num horizonte aproximado para o ano 2030.

1.2 Resultados do estudo

Através da discussão entre as três partes, a Eletrobras, o CEPEL e a JICA, juntamente com as empresas de transmissão da Eletrobras, foram estabelecidos os três itens abaixo como resultados do presente estudo:

(1) Criação do roteiro de implementação (*roadmap*) do cabo supercondutor (Capítulo 3);

- (2) Definição das diretrizes e especificações para o Projeto de P&D Laboratorial (Capítulo 4);
- (3) Estudos de caso das plantas piloto candidatos para a demonstração da transmissão de energia por supercondutividade em corrente alternada (Capítulo 5).

No momento as partes citadas acima estão em discussão para a realização do estudo de viabilidade, chamado pela sigla FS - Feasibility Study.

Capítulo 2 Desenvolvimento da tecnologia de transmissão e distribuição de energia elétrica por supercondutividade

2.1 Desenvolvimento no Japão

São mostrados na Tabela 2-1 os principais resultados obtidos até agora pelo Japão no desenvolvimento de cabos supercondutores. No ensaio de demonstração realizado na Subestação Asahi da Tokyo Electric Power Company (Projeto Yokohama), foi realizada a operação de longo período com a instalação de um cabo trifásico a três condutores (*three-core cable*¹) de 240 m de comprimento. Além disso, foi feito um outro ensaio a nível laboratorial pela Furukawa Electric com cabo supercondutor de alta tensão a 275 kV. No momento, no âmbito dos projetos nacionais estão sendo avaliadas a segurança dos cabos supercondutores e a sua capacidade de recuperação em situações de desastres, e estima-se que a sua viabilização a nível comercial se realize em torno de 2025 a 2030.

Tabela 2-1 Desenvolvimento de cabos supercondutores no Japão

| Projeto | Local | Rede | Tensão | Corrente | Comprimento | Período | Participante(s) |
|------------------------------|------------------|------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------|---|
| Super-ACE | CRIEPI | | 77 kV | 1.000 A | 500 m | 2004 a 2005 | Furukawa Electric |
| Projeto Yokohama | Subestação Asahi | | 66 kV | 3.000 A | 240 m | 2007 a 2013 | SEI, Mayekawa, TEPCO |
| Projeto MPACC | Shanyang (CN) | | 275 kV | 3.000 A | 30 m | 2008 a 2012 | Furukawa Electric |
| Projeto Ishikari Cabo HTS CC | Ishikari | | DC20 kV DC20 kV | 5.000 A 2500 A | 500 m 1000 m | a partir de 2013 | Chub3 Univ. Chiyoda, SEI, Sakura internet |

2.2 Desenvolvimento em outras partes do mundo

O desenvolvimento de cabos supercondutores é realizado também na Europa, Estados Unidos, Coreia do Sul e China. Na Tabela 2-2 são mostradas instalações de cabos supercondutores conectados ao sistema. O projeto Ampa City que se iniciou em 2014 utiliza um cabo do tipo triaxial¹ com extensão de 1 km, o maior do mundo atualmente. O projeto tem o objetivo de tornar viável a transmissão de grandes correntes em baixa tensão que permitirá reduzir o espaço necessário para uma subestação.

Tabela 2-2 Desenvolvimento de cabos supercondutores pelo mundo (instalados na rede)

| País | Projeto | Local | Tensão | Corrente | Comprimento | Ano | Participante(s) |
|---------------|---------------|-------------|---------|----------|-------------|------|----------------------|
| EUA | Rede Nacional | Albany | 34,5 kV | 1.000 A | 350 m | 2006 | SEI, BOC, Superpower |
| EUA | AEP | Columbus | 13,2 kV | 3.000 A | 200 m | 2006 | Southwire |
| EUA | LIPA | Long island | 138 kV | 2.400 A | 600 m | 2008 | Nexans, AMSC |
| UE | Dinamarca | Copenhague | 30 kV | | 30 m | 2001 | NKT |
| UE | Ampa City | Essen | 10 kV | 2.300 A | 1000 m | 2014 | Nexans |
| Coreia do Sul | Genie | Ichon | 22,9 kV | 1.260 A | 500 m | 2011 | KEPCO, LG cable |

¹ Existem três tipos de configurações de cabo supercondutor: (i) Núcleo único (single core)- Cada fase é alojada em um duto individual, (ii) Trifásico a três condutores (three core) - Três fases alojadas em um único duto e (iii) Triaxial - Três fases coaxiais alojadas em um único duto.

A tabela não inclui diversos projetos que encontram-se em fase Laboratorial e Piloto, mas ainda não foram instalados na rede.



Figura 2-1 Projeto Yokohama (Japão)

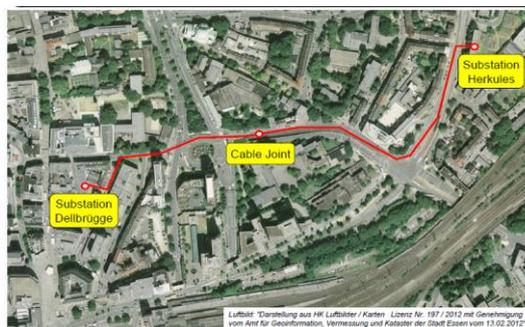


Figura 2-2 Layout do projeto Ampa City

Capítulo 3 Roteiro de implementação (roadmap) do cabo supercondutor

Foram realizadas discussões com a Eletrobras e o CEPEL sobre a implementação e a viabilização comercial da transmissão de energia por supercondutividade no Brasil, que resultaram no roteiro de implementação (roadmap) mostrado na Figura 3-1.

As possibilidades contempladas nesse roteiro de implementação são:

1. Transmissão por supercondutividade em corrente alternada.
2. Transmissão por supercondutividade em corrente contínua a longas distâncias.

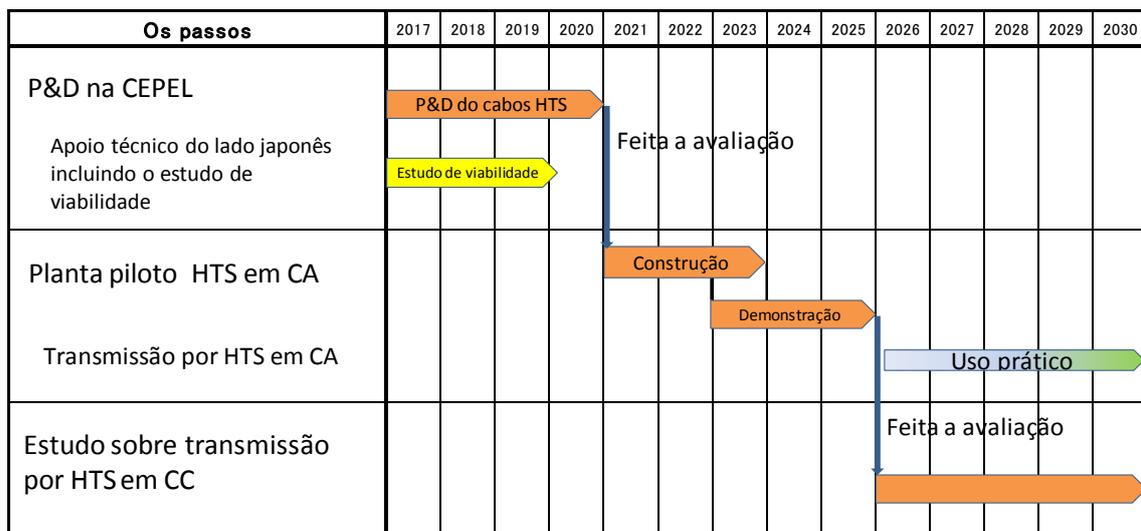


Figura 3-1 Roteiro de implementação da transmissão de energia por supercondutividade

As futuras etapas incluindo os procedimentos para o recebimento da cooperação japonesa tanto no âmbito financeiro como no âmbito técnico serão organizadas no Capítulo 6, sendo que neste capítulo serão apresentados os passos de cunho técnico.

(1) Primeiro passo: Projeto de P&D de ensaios laboratoriais no CEPEL

Para a aplicação desta tecnologia no Brasil é necessário desenvolver um sistema de cabo supercondutor de alta temperatura (HTS – High Temperature Superconductor) em escala laboratorial que esteja em conformidade com a rede de energia do país, o que requer projetos de prototipagem e avaliação de cada elemento componente. O projeto de P&D será realizado no CEPEL, com o apoio técnico do Japão. Concomitantemente ao projeto, será realizado o estudo de viabilidade (FS) técnica e econômica de uma futura Planta Piloto. Além disso, também serão considerados conforme necessário, a capacitação de recursos humanos e a instalação de equipamentos relativos ao cabo supercondutor. Os detalhes são apresentados no Capítulo 4.

(2) Segundo passo: Planta piloto para cabo supercondutor em CA

O segundo passo é a avaliação das características técnicas em campo através da planta piloto

de transmissão por corrente alternada. O segundo passo será realizado com base na avaliação obtida no P&D realizado no primeiro passo, bem como no estudo de viabilidade. Para a realização da planta piloto é necessária a sua conexão ao sistema de energia o que requer a participação indispensável de uma empresa de transmissão associada à Eletrobras, além do próprio CEPEL. É recomendado que a planta piloto seja construída num local sob controle de uma empresa de transmissão de energia. A avaliação do local candidato mais adequado, o seu formato e o tamanho de execução do projeto devem ser feitos concomitantemente à realização do 1º passo. Ao término do segundo passo, as avaliações feitas serão refletidas na viabilização comercial da transmissão em corrente alternada. Os detalhes são apresentados no Capítulo 5.

(3) Terceiro passo: Avaliação da transmissão de energia por supercondutividade em corrente contínua

O terceiro passo diz respeito à avaliação da transmissão de energia por supercondutividade em corrente contínua. Será realizada uma avaliação específica relacionada ao método de implementação da tecnologia com base nos conhecimentos obtidos no primeiro e segundo passo. Além disso, será necessário fazer uma avaliação econômica comparativa com as linhas de transmissão aéreas e subterrâneas usadas no momento, sendo necessária a discussão sobre os custos que o cabo supercondutor pode alcançar numa produção em massa. A transmissão em corrente contínua a longa distância pretende fazer a transmissão para uma distância de 2.000 a 3.000 km, e para a sua avaliação é necessária experiência prévia numa linha de transmissão por supercondutividade em corrente alternada. No presente relatório fica registrado que esse passo será futuramente avaliado.

A Figura 3-2 mostra o roteiro de implementação (primeiro e segundo passos) do cabo supercondutor para transmissão em CA.

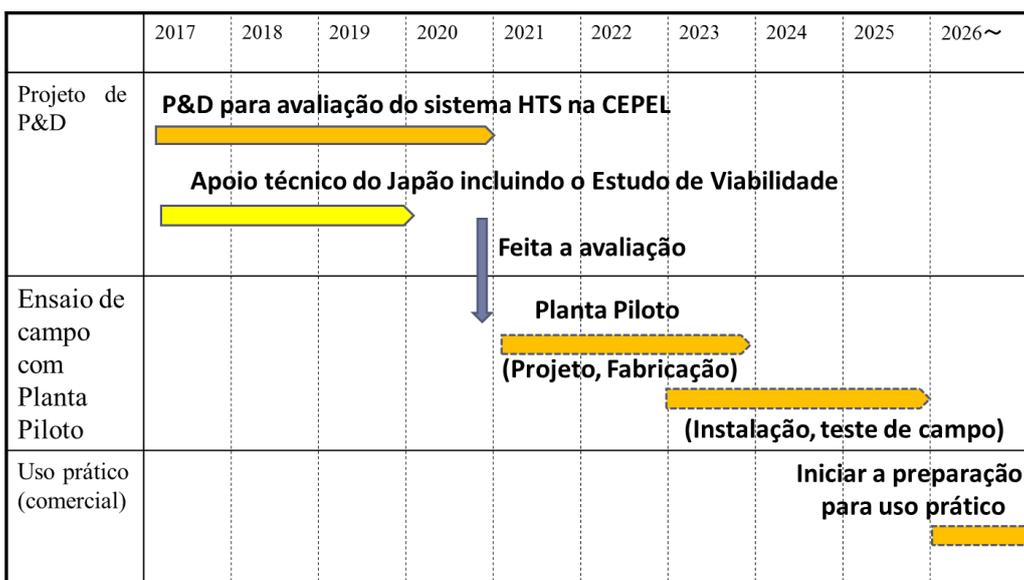


Figura 3-2 Roteiro de implementação da transmissão de energia por supercondutividade

Capítulo 4 Proposta de Projeto de P&D laboratorial

4.1 Objetivo do projeto

Para implementar o cabo supercondutor é necessário desenvolver o produto que esteja em conformidade com a rede de energia elétrica do Brasil e realizar uma avaliação geral considerando as questões pertinentes à instalação do cabo, a sua manutenção, a confiabilidade e a conformidade. Para tanto é preciso realizar um projeto de P&D, paralelamente ao estudo de viabilidade (FS), sendo que o FS deve levar em conta o cabo supercondutor desenvolvido no projeto P&D.

Além disso, através do projeto P&D serão feitas a capacitação de recursos humanos e a instalação de equipamentos relacionados ao cabo supercondutor em escala laboratorial.

4.2 Resumo do projeto

Para o local de implementação foi escolhido o Laboratório de Adrianópolis do CEPEL que é munido de pessoal capacitado e infraestrutura laboratorial para ensaios de alta corrente e alta tensão. No local será desenvolvido o cabo supercondutor a começar pela avaliação de protótipos de cabo supercondutor com 5 m de comprimento. O método e os itens de avaliação são mostrados na Figura 4-1. A avaliação será feita através de dois métodos, o primeiro pelo teste de tanque aberto (*open bath test*) que despense pouco tempo para a sua preparação, e o segundo pelo teste com cabo montado (*cable assembly test*) que apesar de demandar tempo na sua preparação permite fazer circular o nitrogênio líquido e aplicar a tensão requerida. O teste de tanque aberto vai selecionar a configuração e a estrutura do cabo, enquanto que a avaliação final será feita pelo teste com cabo montado.

Além disso, será realizado o estudo de viabilidade (FS) em paralelo com o projeto de P&D, que fará um estudo detalhado da planta piloto incluindo a seleção dos seus locais candidatos.

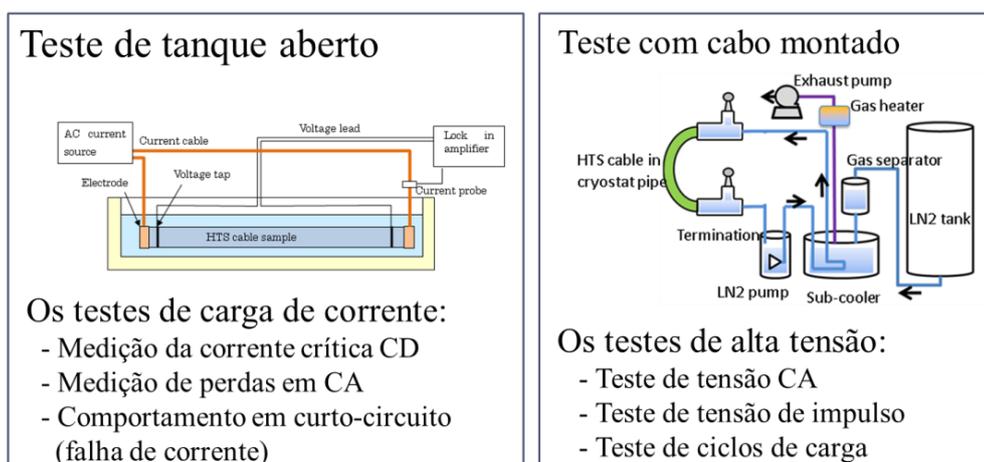


Figura 4-1 Métodos de ensaio (LN2 – Nitrogênio líquido)

4.3 Equipamentos, instalações e cronograma do projeto

O cronograma do ensaio de laboratório é mostrado na Figura 4-2. Nos dois primeiros anos serão realizados principalmente testes de tanque aberto, e no mesmo período serão preparados os equipamentos para o teste do conjunto montado do cabo, que serão realizados na metade final do projeto. Na Tabela 4-1 é mostrada a lista de equipamentos e instalações necessários.

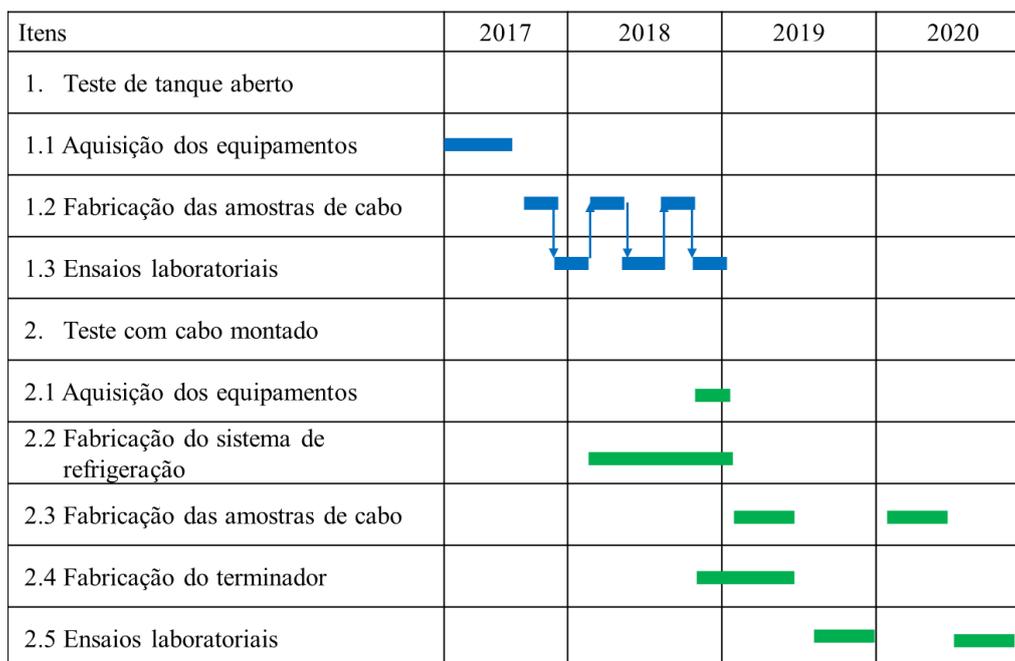


Figura 4-2 Cronograma de ensaios de laboratório

Nota: Sugere-se que nos Itens de fabricação e testes em fábrica haja acompanhamento de representantes das Empresas Eletrobras.

Tabela 4-1 Lista de equipamentos e instalações necessários para o teste de laboratório

| Item | Especificação |
|------------------------------------|--|
| LN2 tanque aberto | |
| Fonte de corrente CC | 10V - 10 kA |
| Fonte de corrente CA | 6000A (90 kVA) |
| Condensador de fase CA | 100 kVA |
| Transformador de tensão CA | 180 kV-1,11 A / 600 kV 2 A |
| Equipamento para tensão de impulso | Impulso de 4000 kV |
| Ponte Schering | Medidor Hipotronics |
| Multi (voltímetro) digital | Multímetros Fluke |
| Amplificador de bloqueio (lock-in) | Minipa MPC-303 DI / 0-30 V/3 A |
| Amplificador CC | Estabilizador de Fonte MINIPA MPC-303DI |
| Transformador de corrente | Medição da corrente CA (sonda de corrente tipo grampo) |
| Instalações de alta corrente | 100 kA/ 3s (monofásico) |
| Gravador de dados | YOKOGAWA MobileCorder MV100 |

| | |
|--------------------------------|--|
| Osciloscópio | Visualização da onda de tensão de impulso, onda de corrente de falta, etc. |
| Equipamentos de medição de PD | |
| Bomba a vácuo | Dispositivo de bombeamento turbo-vácuo |
| Detector de vazamento de hélio | |
| Sistema de circulação LN2 | |
| Terminais | |

Nota: Os campos destacados em cinza se referem aos equipamentos que ainda não são existentes em Adrianópolis e necessitam ser adquiridos.

4.4 Orçamento e estrutura de execução do projeto

Na Tabela 4-2 é mostrado o orçamento do lado brasileiro necessário para a execução do projeto de P&D. Deve-se notar que neste orçamento não está incluso o custo de pessoal do lado Brasileiro.

Tabela 4-2 Orçamento do projeto de P&D

| Item | Valor (US\$) |
|-----------------------|--------------|
| Instalações de ensaio | 700.000 |
| Consumíveis | 129.000 |
| Total | 829.000 |

Nota: Valores estimados com base em levantamento realizado no CEPEL de Adrianópolis

A estrutura de execução do projeto é mostrada na Tabela 4-3. A execução deste projeto laboratorial será realizada pelo CEPEL, em conjunto com empresa(s) de transmissão do Sistema Eletrobras, com recursos da P&D ANEEL. A JICA realizará a assistência técnica para o presente projeto de P&D (sem ônus adicionais) com a premissa de que haja a solicitação pelo governo brasileiro do empréstimo em ienes ao governo japonês para a realização da futura Planta Piloto.

Tabela 4-3 Estrutura de execução do projeto de P&D

| | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Aquisição | CEPEL |
| Financiamento (P&D ANEEL) | Empresa(s) de transmissão |
| P&D | CEPEL e empresa(s) de transmissão |
| Suporte técnico | JICA |

Capítulo 5 Estudo de casos para a planta piloto

5.1 Objetivo da planta piloto

A planta piloto é um sistema de transmissão de energia por supercondutividade em pequena escala e é composto pelo próprio cabo supercondutor, pelos acessórios do cabo para conexões terminais e intermediários, pelo sistema de refrigeração, sistema de controle, equipamentos de energia para conectar a planta à rede, dispositivos de segurança como disjuntores e todos os elementos para a instalação da planta necessários para a viabilização de um sistema de cabo supercondutor. A operação da planta piloto confirmará as especificações necessárias e permitirá a verificação da segurança de cada instalação, as especificações e a capacidade do sistema como um todo, a obtenção dos métodos de operação e controle. A realização do ensaio de verificação a longo prazo permitirá desenvolver, confirmar e validar os riscos de falha e a confiabilidade, a recuperação em situações de falha e a manutenção requerida para a tecnologia.

5.2 Locais candidatos para a instalação da planta piloto nas empresas de transmissão de energia

Foi realizada junto às empresas Chesf, Eletronorte, Eletrosul e Furnas, que pertencem ao Sistema Eletrobras, a explicação sobre o objetivo da planta piloto acima mencionado, os benefícios do cabo supercondutor e a solicitação para a apresentação dos locais candidatos para a instalação da planta piloto. Como resultado, foram feitas apresentações específicas dos locais candidatos pela Chesf, Eletronorte e Eletrosul. Na Tabela 5-1 estão listados os locais candidatos, a Figura 5-1 mostra a sua localização.

Tabela 5-1 Lista de locais candidatos para a instalação da planta piloto

| Estado/ Cidade | Linha | Tensão (kV) | Potência (MVA) | Corrente (A) | Comprimento (m) |
|------------------------------|--------------------|-------------|----------------|--------------|-----------------|
| Ceará/ Fortaleza | Fortaleza I – II | 230 | 265 | 665 | 150 |
| Ceará/ Fortaleza | Fortaleza I – II | 230 | 800 | 1600 | 150 |
| Pernambuco/ Recife | Bongi - Açonorte | 230 | 400 | 800 | 1500 |
| Pernambuco/ Recife | Joairam - Bongi | 230 | 800 | 1.600 | 1500 |
| Bahia/ Sobradinho | Sobradinho - Bahia | 230 | 265 | 665 | 550 |
| Mato Grosso/ Ribeirãozinho | Barra do Peixe | 138 | 200 | 837 | 70 |
| Mato Grosso do Sul/ Dourados | Dourados | 230 | 400 | 1000 | 350 |
| Santa Catarina/ Caminho Novo | Palhoça | 230 | 400 | 1000 | 260 |
| Santa Catarina/ Bairro | Biguaçu | 230 | 400 | 1000 | 150 |
| Paraná/ Londrina | Londrina | 230 | 400 | 1000 | 200 |

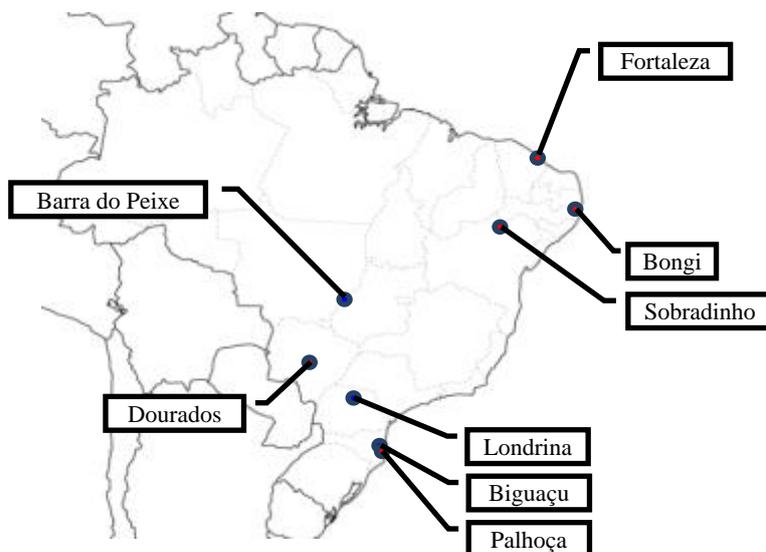


Figura 5-1 Localização dos locais candidatos

5.3 Projeto conceitual nos locais candidatos (incluindo o orçamento)

Com base nos locais candidatos para planta piloto apresentados pelas três empresas de transmissão, foi realizado o estudo de projeto para um sistema de cabo supercondutor. No estudo considerou-se que a transmissão de energia a 230 kV seria feita por um cabo supercondutor de condutor único (*single-core*), e a transmissão de energia a 138 kV por cabos supercondutores tanto de condutor único como trifásico a três condutores (*three core*). A forma de instalação poderia ser em dutos (canaleta, trincheira) ou subterrânea. O custo de obra local não foi calculado já que depende do método de instalação e dos custos locais de mão-de-obra e dos materiais. Esta avaliação de custo de obra deverá ser realizada no estudo de viabilidade (FS).

A futura implementação da planta piloto de cabo supercondutor no Brasil será financiada pela JICA, uma vez que a empresa manifestou interesse em estabelecer uma parceria para esse projeto com o governo Brasileiro.

Primeiramente, será necessária uma consulta à Comissão de Financiamentos Externos (COFIEEX) do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão como pré-condição para buscar-se o financiamento da JICA. Havendo aprovação da COFIEEX, o passo seguinte seria o encaminhamento do pedido de financiamento ao Congresso Nacional.

Tabela 5-2 Especificações dos cabos e o custo inicial (Chesf)

| | Fortaleza I - Fortaleza II | | Bongi | | Sobradinho - Bahia |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 1cct 400MW | 3cct 800MW | -> Açonorte | C1-C2 | |
| Tensão (kV) | 230 | 230 | 230 | 230 | 230 |
| Corrente (A) | 800 | 1.600 | 800 | 1.600 | 800 |
| Comprimento (m) | 150 | 150 | 1500 | 1500 | 550 |
| Tipo de cabo | Condutor único (single core) |
| Instalação | Trincheira | Trincheira | Subterrânea | Subterrânea | Trincheira |
| Custo inicial [mil US\$] | | | | | |
| Cabo HTS | 1.140 | 1.350 | 11.400 | 12.800 | 4.200 |
| Articulação intermediária | --- | --- | 600 | 600 | 200 |
| Conjuntos de terminação | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| Sistema de refrigeração | 8.000 | 8.000 | 14.000 | 14.000 | 10.000 |
| Sistema de proteção | 2.500 | 2.500 | 2.500 | 2.500 | 2.500 |
| Instalação (obra civil) | | | | | |
| Total (Equipmentos) | 13 Milhão-US\$ | 13 Milhão-US\$ | 29 Milhão-US\$ | 31 Milhão-US\$ | 16 Milhão-US\$ |

Tabela 5-3 Especificações dos cabos e o custo inicial (Eletronorte)

| | Barra do Peixe Condutor único (single core) | Barra do Peixe Três condutores (three core) |
|---------------------------------|--|--|
| Tensão (kV) | 138 | 138 |
| Corrente (A) | 537 | 537 |
| Comprimento (m) | 70 | 70 |
| Tipo de cabo | Condutor único (single core) | Três condutores (three core) |
| Instalação | Trincheira | Trincheira |
| Custo inicial [mil US\$] | | |
| Cabos HTS | 520 | 520 |
| Articulação intermediária | --- | --- |
| Conjuntos de terminação | 900 | 600 |
| Sistema de refrigeração | 5.000 | 5.000 |
| Sistema de proteção | 2.500 | 2.500 |
| Instalação (obra civil) | | |
| Total (Equipmentos) | 9 Milhão-US\$ | 9 Milhão-US\$ |

Tabela 5-4 Especificações dos cabos e o custo inicial (Eletrosul)

| | Dourados | Biguaçu | Palhoça | Londrina |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Tensão (kV) | 230 | 230 | 230 | 230 |
| Comprimento (m) | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| Comprimento (m) | 350 | 150 | 260 | 200 |
| Tipo de cabo | Condutor único (single core) |
| Instalação | Trincheira | Trincheira | Trincheira | Trincheira |
| Custo inicial [mil US\$] | | | | |
| Cabos HTS | 2669 | 1144 | 1983 | 1525 |
| Conjuntos de terminação | 900 | 900 | 900 | 900 |
| Sistema de refrigeração | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 |
| Sistema de controle | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 |
| Instalação (obra civil) | | | | |
| Total (Equipmentos) | 14 Milhão-US\$ | 13 Milhão-US\$ | 13 Milhão-US\$ | 13 Milhão-US\$ |

5.4 Estrutura de execução

A estrutura de execução da planta piloto terá a Eletrobras exercendo a função de coordenador geral, e a(s) empresa(s) de transmissão onde será(ão) operadas a(s) planta(s) piloto realizarão aquisição dos materiais, a obra e a sua operação com apoio técnico do CEPEL e da JICA.

O projeto da planta piloto será executado através da cooperação com o Japão e com o recebimento de recursos e tecnologias necessários para realização do mesmo (conforme mencionado no item acima).

Tabela 5-5 Estrutura de implementação da planta piloto

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| Coordenação | Eletrobras |
| Aquisição | Empresa(s) de transmissão |
| Apoio financeiro | JICA |
| Recebimento do financiamento | Eletrobras |
| Operação | Empresa(s) de transmissão |
| Suporte técnico | CEPEL, JICA |

Capítulo 6 Próximas etapas

O presente documento apresenta um projeto de longo prazo e que tem por objetivo viabilizar a utilização comercial de cabos supercondutores, sendo que em fevereiro de 2017 será concluído o estudo básico e haverá a necessidade de se prosseguir esses trabalhos conforme as etapas mostradas abaixo:

Primeira Etapa: Escolha dos locais candidatos para a realização de uma ou mais plantas piloto, com o propósito de apresentar a tecnologia de supercondutividade. A escolha deve ser feita pela Eletrobras em conjunto com as empresas de transmissão ligadas ao grupo. Concomitantemente, o CEPEL iniciará, a partir de 2017, o projeto de P&D que visa implantar um laboratório de tecnologia de supercondutores, esse projeto necessita da participação de pelo menos uma empresa de transmissão da Eletrobras e da aprovação da ANEEL.

Segunda Etapa: Realizar o estudo de viabilidade (FS) dos locais candidatos para a planta piloto selecionados na etapa acima. Para a realização dessa atividade é necessária a cooperação financeira e técnica da JICA. Para tanto, a Eletrobras ou outra instituição pertencente ao governo brasileiro deverá realizar uma consulta à Comissão de Financiamentos Externos (COFIEX) do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão como pré-condição para buscar-se o futuro financiamento da JICA. Essa consulta deverá passar pelo exame do governo japonês e da JICA. Desse modo ficaria pré-aprovado o pedido de financiamento. Contudo, essa pré-aprovação não implica obrigação futura de realização do financiamento, pois este dependerá da aprovação do estudo de viabilidade e dos resultados do projeto de P&D (Figura 3-2) .

Terceira Etapa: No caso dos resultados do estudo de viabilidade (FS) e ensaios laboratoriais (Projeto de P&D ANEEL) serem aprovados, será realizada a validação da planta piloto do local candidato, escolhido como o mais adequado. Para a implantação da planta piloto, a Eletrobras deve então confirmar em seu nome ou através de outra instituição pertencente ao governo brasileiro a necessidade do financiamento com a JICA pré-aprovado na etapa anterior. Tanto o governo japonês como a JICA irão proceder com o exame de aprovação da cooperação financeira com base nesta solicitação.



Figura 6-1 Diagrama relativo aos próximos passos

Apêndice

Apêndice 1 Projeto do local candidato para a planta piloto (possibilidades de instalação)

① Barramento de subestação (linha de conexão, linha do barramento)

Com o objetivo de aproveitar o espaço físico da subestação, fez-se o estudo de aplicação da tecnologia de supercondutividade no barramento. A configuração do projeto é apresentada na Figura A-1, mostrando o cabo supercondutor (HTS) em paralelo com a linha convencional, garantindo a segurança e confiabilidade do sistema.

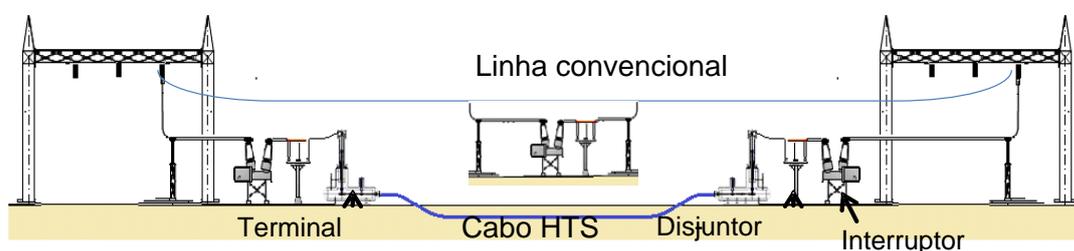


Figura A-1 Sistema de cabo HTS na subestação

② Linha de transmissão subterrânea alternativa para a linha aérea

É apresentada na Figura A-2 o desenho de configuração de uso do cabo supercondutor como alternativa para a linha aérea de transmissão em áreas urbanas, mostrando o cabo supercondutor (HTS) em paralelo com a linha convencional, garantindo a segurança e confiabilidade do sistema.

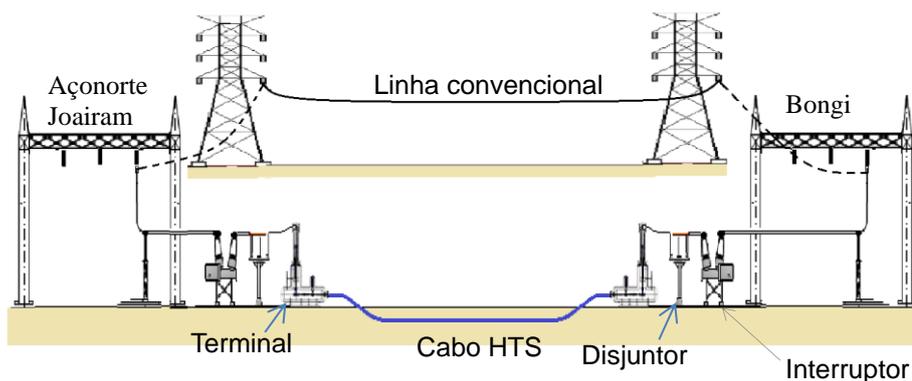


Figura A-2 Exemplo de instalação de cabo subterrâneo em substituição à linha aérea

Apêndice 2 Análise das especificações e dos custos dos locais candidato para a instalação da planta piloto (resumo)

| Empresa | Chesf | | | | Eletronorte | | Eletrosul | | | | |
|---|-----------------|---|---|------------------|-----------------------------|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|--|
| Informações do local candidato | | | | | | | | | | | |
| Estado | Ceará | | Pernambuco | | Bahia | Mato Grosso | Mato Grosso do Sul | Santa Catarina | Santa Catarina | Paraná | |
| Cidade | Fortaleza | | Recife | | Sobradinho | Ribeirãozinho | Dourados | Caminho Novo | Bairro | Londrina | |
| Subestação | Fortaleza I | | Bongi | Joairam | Sobradinho | Barra do Peixe | Dourados | Palhoça | Biguaçu | Londrina | |
| | Fortaleza II | | Açonorte | Bongi | | | | | | | |
| Coordenadas | | | 8°03'49.5"S 34°55'42.6"W | | 9°26'11.7"S 40°49'36.0"W | 16°29'41.0"S 52°36'56.4"W | 22°16'01.9"S 54°59'37.0"W | 27°38'32.4"S 48°41'28.6"W | 27°29'04.0"S 48°44'02.4"W | 23°27'46.86"S 51° 8'21.57"W | |
| Linha | Conexão com SE | | Linhas aéreas entre SE | | Conexão SE | Substituição barramento em SE | Substituição barramento SE | Substituição barramento SE | Substituição barramento SE | Substituição barramento SE | |
| Tensão nominal | 230 kV | 230 kV | 230 kV | | 230 kV | 138 kV | 230 kV | 230 kV | 230 kV | 230 kV | |
| Capacidade | 265 MVA (1cctt) | 800 MVA (3cct) | 400 MVA | 800 MVA | 265 MVA | 200 MVA (AT4 + AT5) | 400 MVA | 400 MVA | 400 MVA | 400 MVA | |
| Comprimento | 150 m | 150 m | 1500 m | 1500m | 550 m | 70 m | 350 m | 260 m | 150 m | 200 m | |
| Projeto do cabo | | | | | | | | | | | |
| Tipo de cabo | Condutor único | Condutor único | Condutor único | Condutor único | Condutor único | Três condutores | Condutor único | Condutor único | Condutor único | Condutor único | Condutor único |
| Corrente nominal | 1000 A | 2000 A | 1000 A | 2000 A | 1000 A | 1000 A | 1000 A | 1000 A | 1000 A | 1000 A | 1000 A |
| Falha de corrente (max.) | 63 kA | 63 kA | 63 kA | 63 kA | 63 kA | 40 kA | 40 kA | 63 kA | 63 kA | 63 kA | 63 kA |
| Dimensão do cabo | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro do cabo | 153 mm | 155 mm | 157 mm | 165 mm | 157 mm | 198 mm | 126 mm | 157 mm | 157 mm | 157 mm | 157 mm |
| Peso | 14,1 kg/ m | 14,1 kg/ m | 14,1 kg/ m | 14,9 kg/ m | 14,1 kg/ m | 18,1 kg/ m | 9,7 kg/ m | 14,3 kg/ m | 14,3 kg/ m | 14,3 kg/ m | 14,3 kg/ m |
| Configuração do sistema | | | | | | | | | | | |
| Cabos supercondutores de alta temperatura (HTS) | 150 m x 3 cabos | 150 m x 3 cabos | 1500 m x 3 cabos | 1500 m x 3 cabos | 550 m x 3 cabos | 70 m x 1 cabo | 70 m x 3 cabos | 350 m x 3 cabos | 260 m x 3 cabos | 150 m x 3 cabos | 200 m x 3 cabos |
| Terminador | 6 terminadores | 6 terminadores | 6 terminadores | 6 terminadores | 6 terminadores | 2 terminadores | 6 terminadores | 6 terminadores | 6 terminadores | 6 terminadores | 6 terminadores |
| Articulações | N.A. | N.A. | 9 articulações | 9 articulações | 3 articulações | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |
| Sistema de refrigeração | 10 kW | 10 kW | 20 kW | 20 kW | 10 kW | 5 kW | 5 kW | 10 kW | 10 kW | 10 kW | 10 kW |
| Especificação do sistema de refrigeração | | | | | | | | | | | |
| Taxa de fluxo | 25 L/ min.-cabo | 25 L/ min.-cabo | 25 L/ min.-cabo | 25 L/ min.-cabo | 25 L/ min.-cabo | 20 L/ min. | 10 L/ min. | 20 L/ min.-cabo | 20 L/ min.-cabo | 20 L/ min.-cabo | 20 L/ min.-cabo |
| Temperatura de entrada | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K | 70 K |
| Temperatura de saída | 73 K | 75 K | 77 K | 77 K | 75 K | 74 K | 75 K | 75 K | 75 K | 74 K | 75 K |
| Pressão de entrada | 0,93 MPa | 0,93 MPa | 0,73 MPa | 0,73 MPa | 0,98 MPa | 0,4 MPa | 0,49 MPa | 0,71 MPa | 0,63 MPa | 0,53 MPa | 0,58 MPa |
| Pressão de saída | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa | 0,4 MPa |
| Capacidade térmica total | 4,5 kW | 5,7 kW | 15,2 kW | 18,8 kW | 6,8 kW | 2,0 kW | 2,8 kW | 5,7 kW | 5,1 kW | 4,5 kW | 4,8 kW |
| Máx. taxa de fluxo | 50 l/ min | 50 l/ min | 75 l/ min | 90 l/ min | 50 l/ min | 20 l/ min | 20 l/ min | 40 l/ min | 40 l/ min | 40 l/ min | 40 l/ min |
| Estimativa de custo | | | | | | | | | | | |
| Cabos supercondutores de alta temperatura (HTS) | 1140 k-US\$ | 1350 k-US\$ | 11400 k-US\$ | 12800 k-US\$ | 4200 k-US\$ | 520 k-US\$ | 520 k-US\$ | 2670 k-US\$ | 2000 k-US\$ | 1150 k-US\$ | 1550 k-US\$ |
| Articulações do cabo | N.A. | N.A. | 600 k-US\$ | 600 k-US\$ | 200 k-US\$ | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |
| Conjunto de terminadores | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ | 600 k-US\$ | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ | 900 k-US\$ |
| Sistema de refrigeração | 8000 k-US\$ | 8000 k-US\$ | 14000 k-US\$ | 14000 k-US\$ | 8000 k-US\$ | 5000 k-US\$ | 5000 k-US\$ | 8000 k-US\$ | 8000 k-US\$ | 8000 k-US\$ | 8000 k-US\$ |
| Sistema de proteção | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ | 2500 k-US\$ |
| Obra civil | | | | | | | | | | | |
| Instalação | | | | | | | | | | | |
| Custo de operação | 125 k-US\$/ ano | 138 k-US\$/ ano | 420 k-US\$/ ano | 590 k-US\$/ ano | 150 k-US\$/ ano | 51 k-US\$/ ano | 57 k-US\$/ ano | 138 k-US\$/ ano | 131 k-US\$/ ano | 125 k-US\$/ ano | 128 k-US\$/ ano |
| Pontos de discussão | | | | | | | | | | | |
| Custo dos equipamentos (milhão USD) | 13 | 13 | 29 | 31 | 16 | 9 | 9 | 14 | 13 | 13 | 13 |
| Benefícios | | Capacidade adequada para cabo HTS. | 1500m é o cabo HTS mais longo do mundo. Joairam - Bongi reduz o número de linhas de 2 para 1 | | | Podemos escolher o cabo de três condutores (three core) pelo fato da tensão ser baixa. | | | | | |
| Questões | | A aplicação de cabos HTS em todas as linhas não é realista porque os blackouts ocorrem numa vasta área. | Projeto desafiador | | | A Eletronorte entende que este local apresenta um comprimento demasiado curto e não permite avaliar o potencial e os benefícios da tecnologia supercondutora. | | | | A Eletrosul tem outro plano para a subestação. Não existem mais espaços. | A Eletrosul tem outro plano para a subestação. Não existem mais espaços. |
| Avaliação | | Descartado da candidatura | Bongi - Açonorte ; 1 linha de circuito -> 1 linha de cabo HTS Joairam - Bongi; 2 linhas de circuito -> 1 linha de cabo HTS | | | Descartado da candidatura. Busca de novo local candidato. | | | | Descartado da candidatura | Descartado da candidatura |

