

VIABILIDADE DE INSERÇÃO DE UM SISTEMA 1.000 kV NA REDE ELÉTRICA BRASILEIRA

jose.jardini@gmail.com
setembro 2017

- **Objetivo e Planejamento**

Trabalho anterior: TRANSMITIR R&D
Eletronorte, Furnas, Cemig, TBE, CTEEP, FDTE

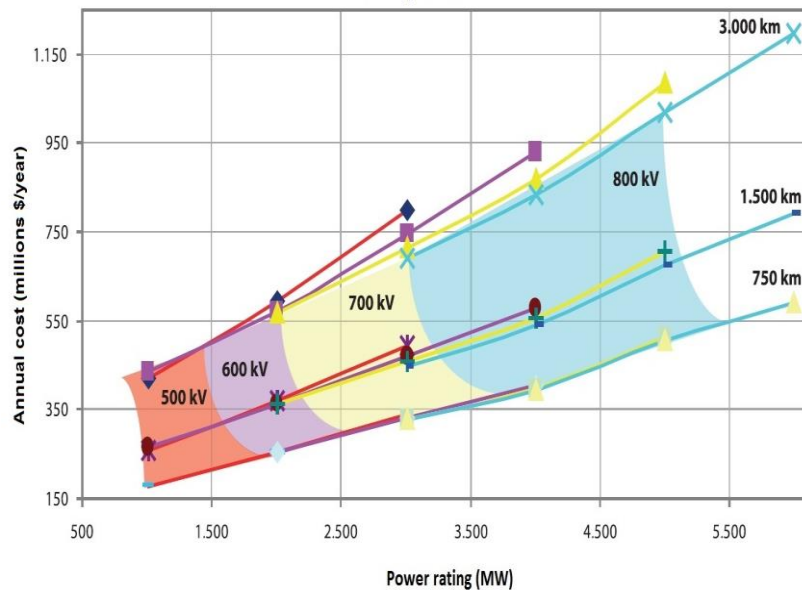
SISTEMA DE TRANSMISSÃO ECONÔMICO

Estudo de pesquisa (P&D Transmitir): Avaliação econômica de sistemas CA e CC.

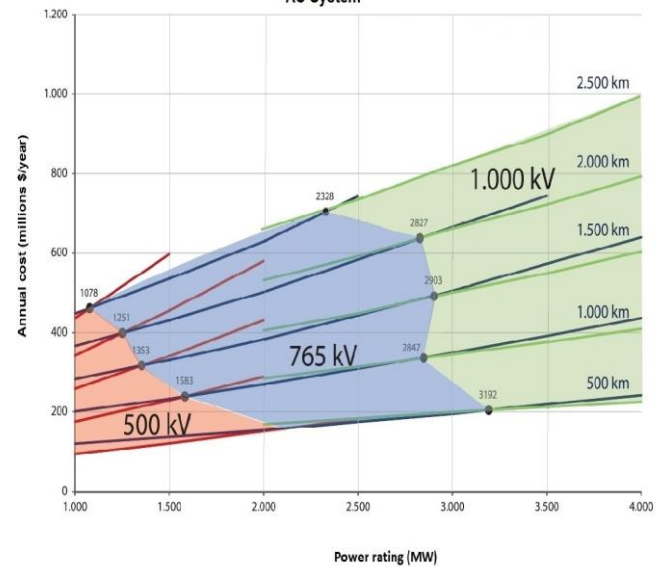
- 10 projetos HVDC (± 300 kV a ± 800 kV, 2 a 6 condutores e até 3.000 km)
- 10 projetos HVAC (500 kV, 765 kV e 1.000 kV, 4 a 8 condutores)

$$C/l = a + b V + N S (c N + d) \quad (\$/\text{km})$$

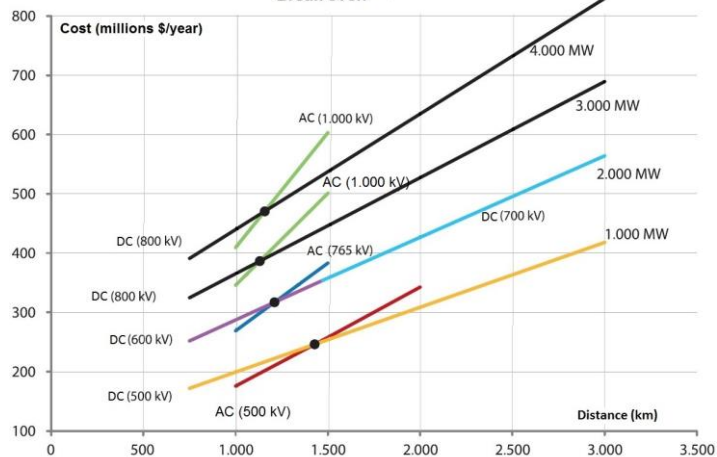
DC System



AC System



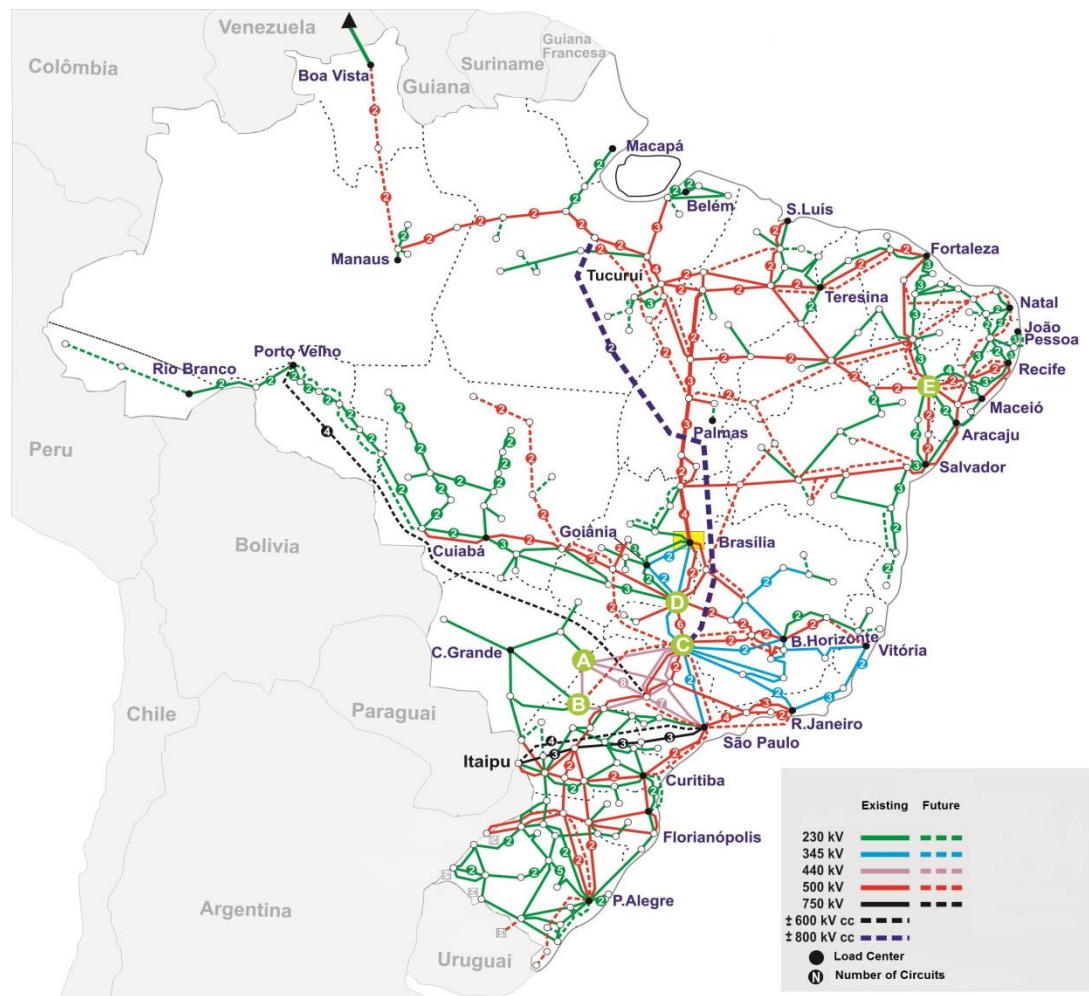
Break even



Quando usar o que?

(transmissão ponto a ponto)

- HVAC mais econômico em ≤ 1.300 km.
- 1.000 kV melhor para ≥ 3.000 MW
- 500 kV melhor para ≈ 1.500 MW



SISTEMA BRASILEIRO ATUAL (GERAÇÃO E CARGA 2015)

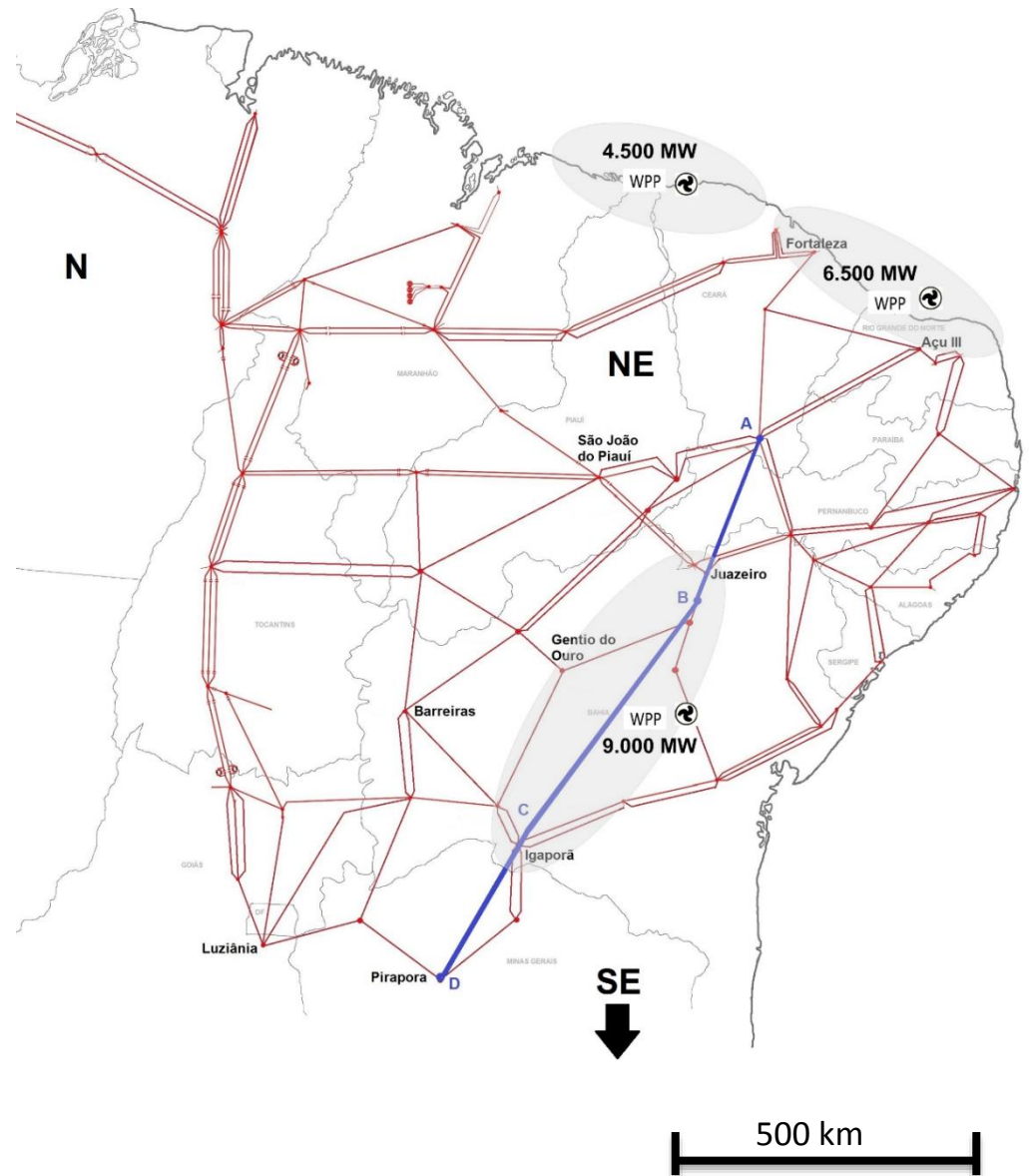
Geração (MW médio), Carga Média (MW) e Pico de Carga (MW)

	N	NE	SE	S	Total
Geração Hidrúca	5.000	3.000	16.300	19.500	43.800
Térmica (fóssil)	2.300	3.500	7.000	1.600	14.400
Nuclear			1.700		1.700
Eólica		300	500		800
Geração Total	7.300	6.800	25.500	21.100	60.700
Carga Média	5.000	9.700	36.000	10.000	60.700
Pico de Carga	6.500	12.300	51.500	16.600	~85.000

Capacidade instalada de geração (2015)

TIPO	GW
HIDRÚCA	95
TÉRMICA (FÓSSIL)	20
NUCLEAR	2
BIOMASSA	11
EÓLICA	5
TOTAL	133

- Geração eólica em terra capacidade **20 GW**
- sistema em malha 500 kV



INSERÇÃO DO SISTEMA 1.000 KV

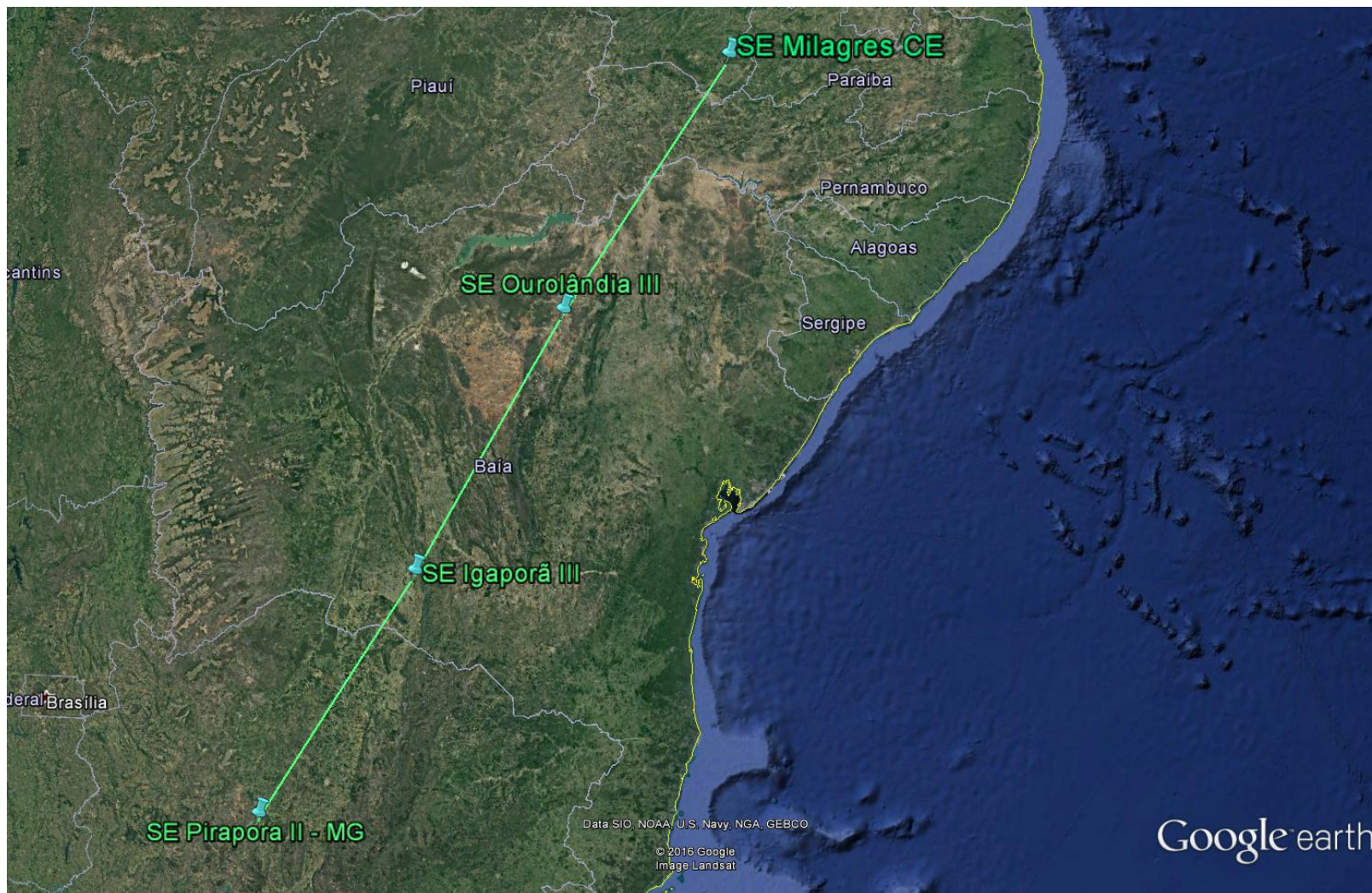
- Novas usinas hidrelétricas sem reservatórios.
- Demora no comissionamento de novas hidrelétricas.
- Períodos de pouca chuva.
- Despacho de térmicas (mais cara) para poupar reservatórios.
- Exportar excedente de geração eólica/solar do Nordeste para o Sudeste.

Linha 1.000 kV:

- Três trechos de 440 km.
- 50 % de compensação série
- 85% de compensação de reator de derivação (metade em cada extremidade)
- 4.000 MW, 8x 795 MCM ($\sim 400 \text{ mm}^2$), Tern ACSR.



Path of the 1100 kV TL



Pesquisa aonde aplicar 1000kV

A) primeira estratégia

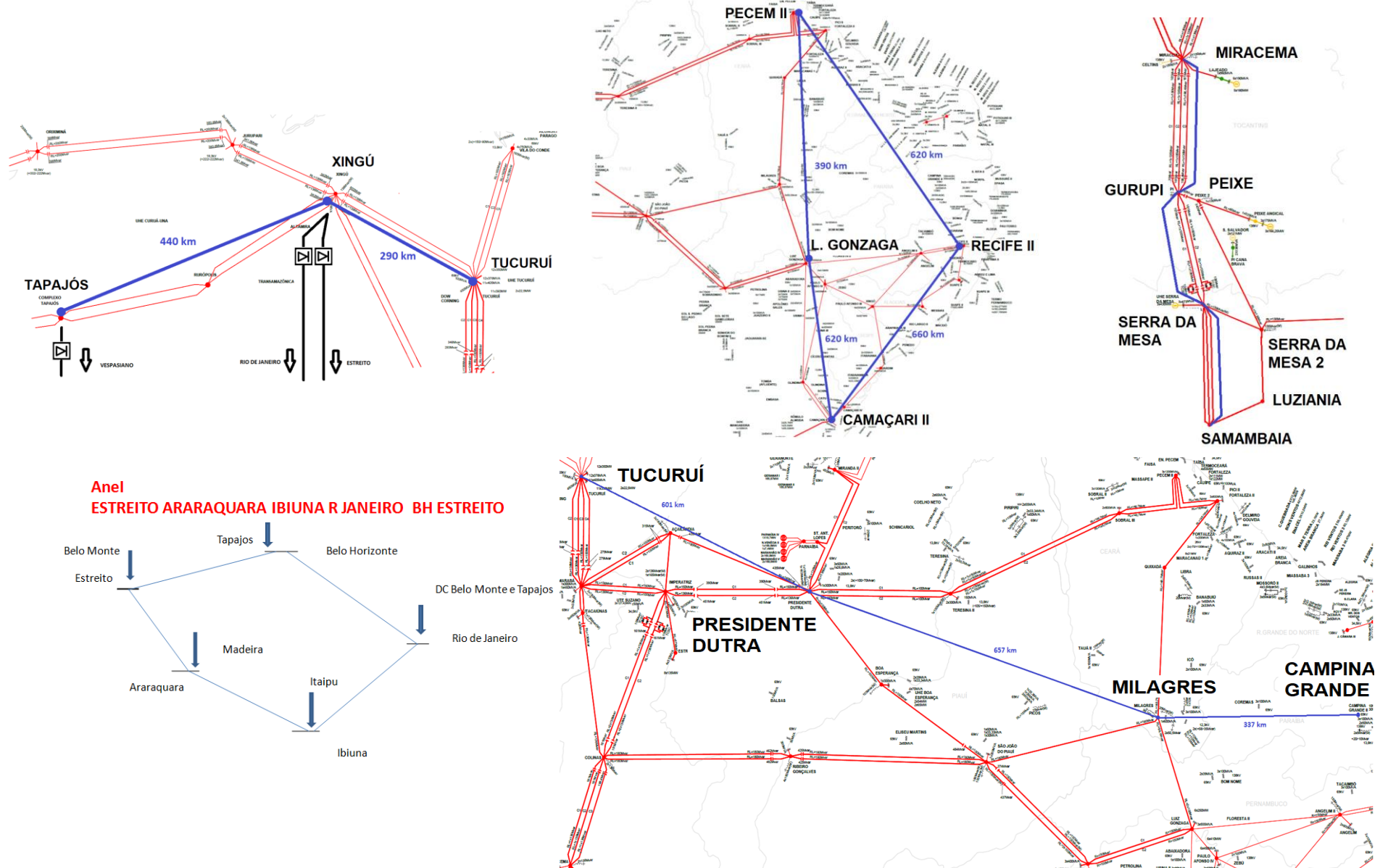
- Procurar no Plano Decenal linhas 500 kV futuras para substituir

B) Segunda estratégia

- Adicionar linha fora do PDE Expansão possível de repotencialização usinas (hidro & eólica)

C) Estratégia final

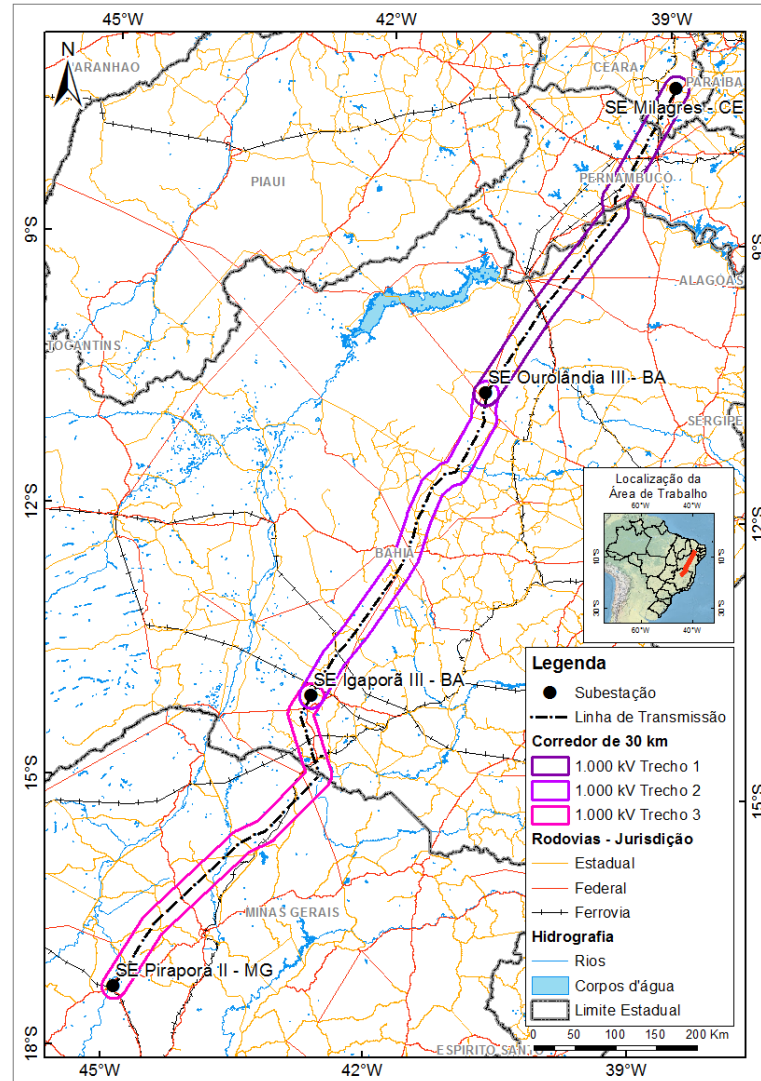
- Adicionar sistema 1.000 kV para escoamento de energia renovável do NE para o SE



Exemplos

Escolha Final

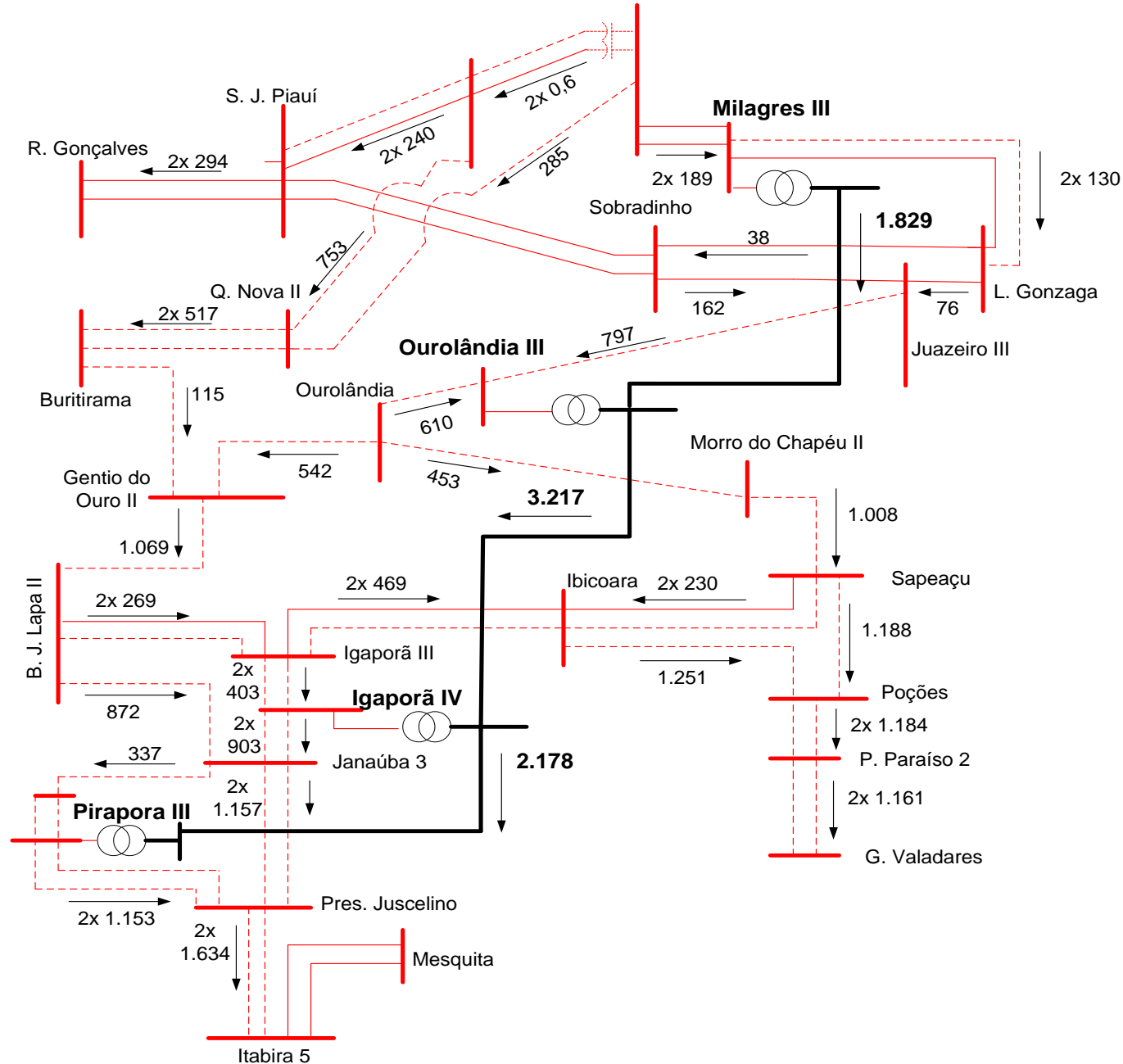
Corredor de 30 km estudo socioambiental



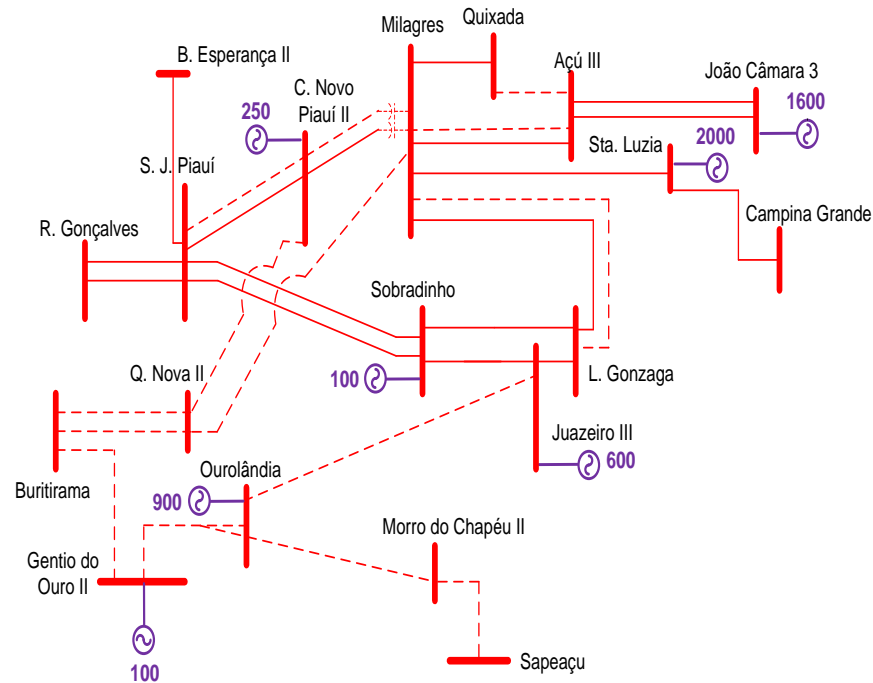
Ações Previstas (1000 kV)

1. Encaminhar o projeto para Aneel (2017).
2. Encaminhar o projeto ao MME (2017).
3. MME despacha à EPE (2018/19).
4. EPE encaminha diagnóstico ao MME (2020).
5. Se viável => Leilão (2021/22)

Fluxo de carga



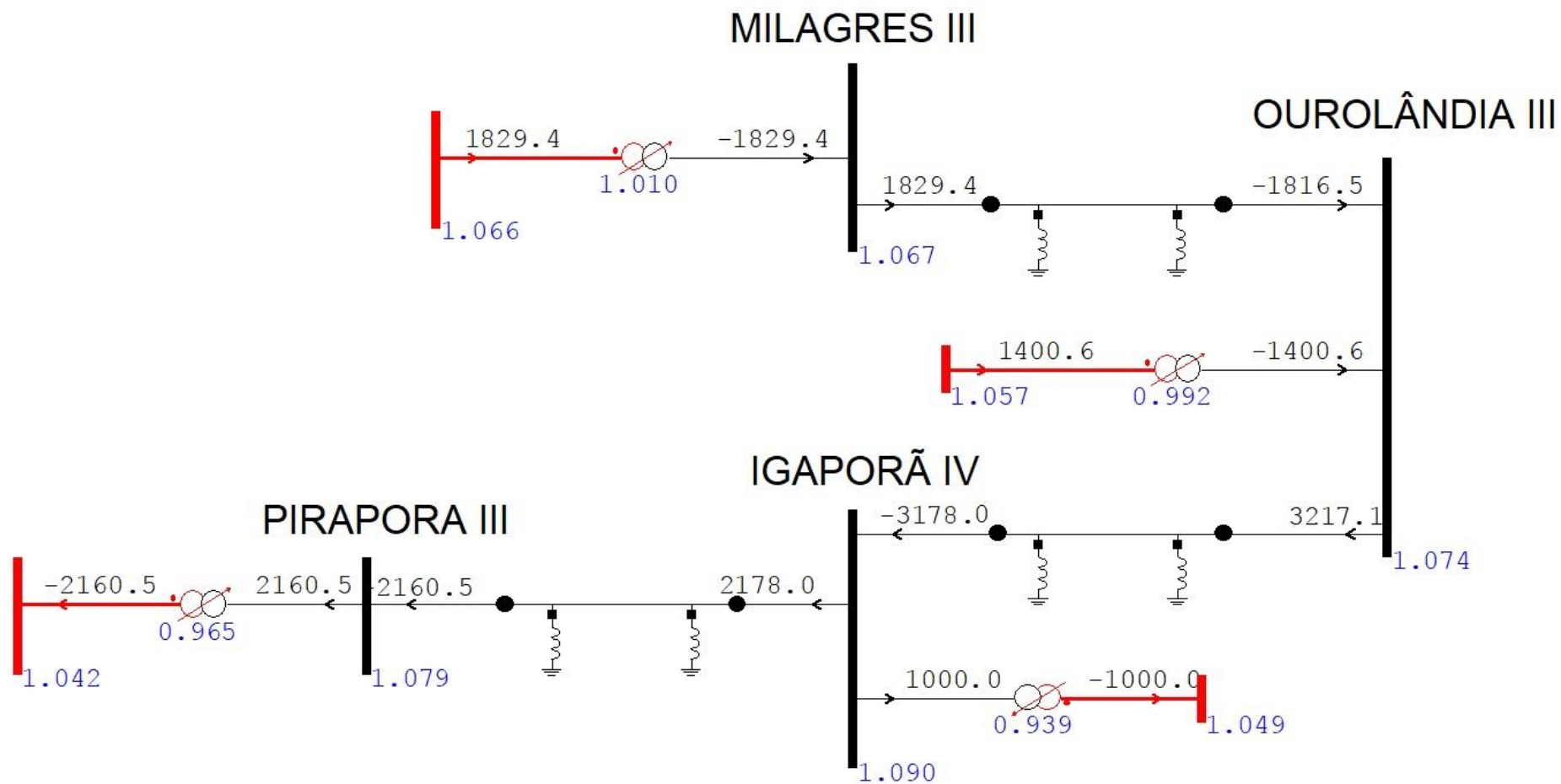
INSERÇÃO DO SISTEMA 1.000 KV



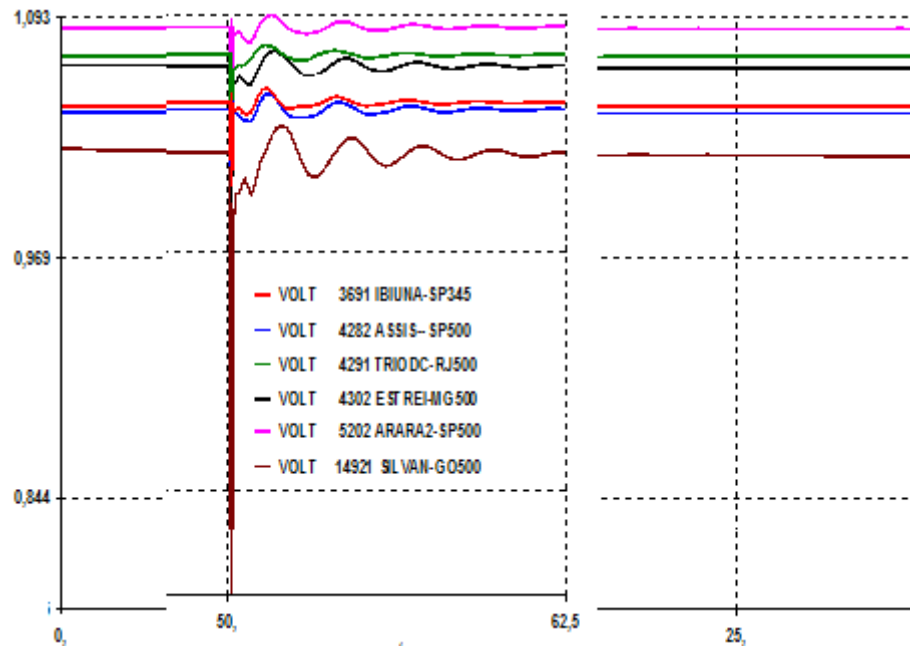
Localização do aumento de 5 GW feito na geração do PDE 2024 – região NE

Fluxo de potência na linha 1.000 kV

LOAD FLOW



Estabilidade



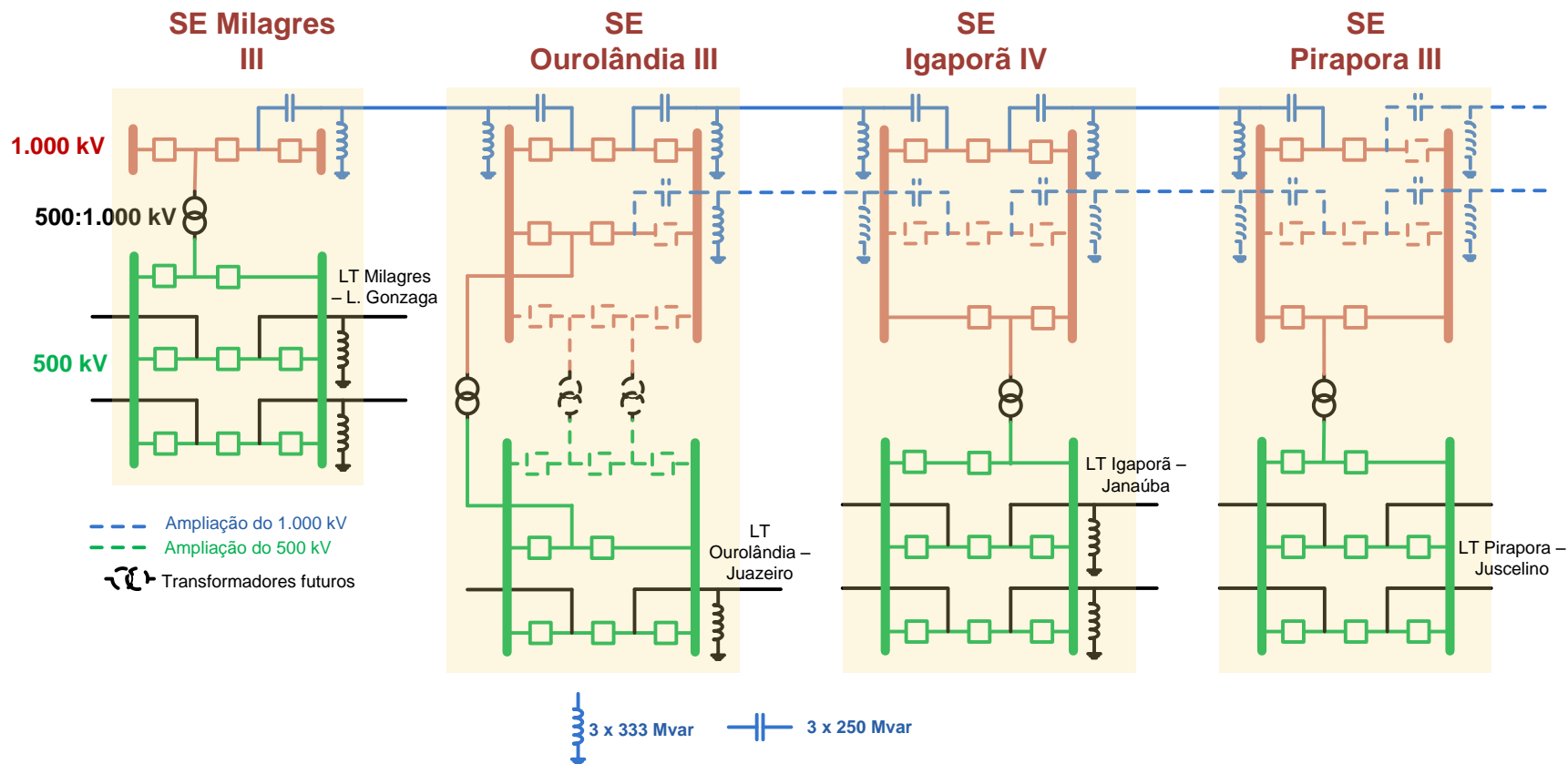
Seccionamentos de LT 500 kV

Alternativas Propostas

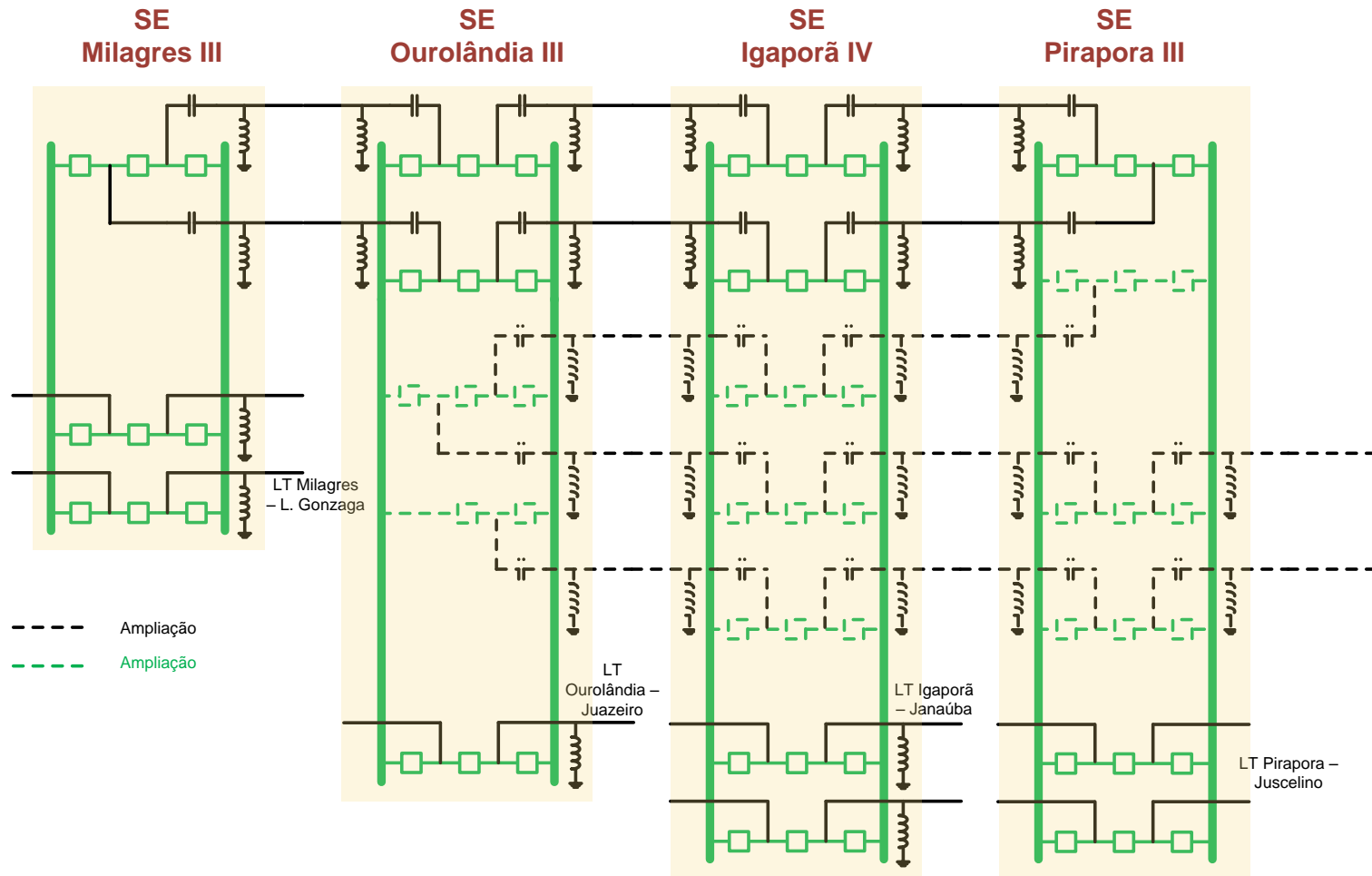
Manter os trechos com aproximadamente 440 km e deslocar reatores de linha

- 20 km ao Sul de Milagres (sentido Luiz Gonzaga)
- 20 km ao Norte de Ouroândia (sentido Juazeiro) ou 10 km ao Sul de Ouroândia (sentido Morro do Chapéu)
- 40 km ao Sul de Igaporã (sentido Janaúba) ou 20 km ao Leste de Igaporã (sentido Ibicoara)
- 20 km ao Sudeste de Pirapora (sentido Presidente Juscelino)

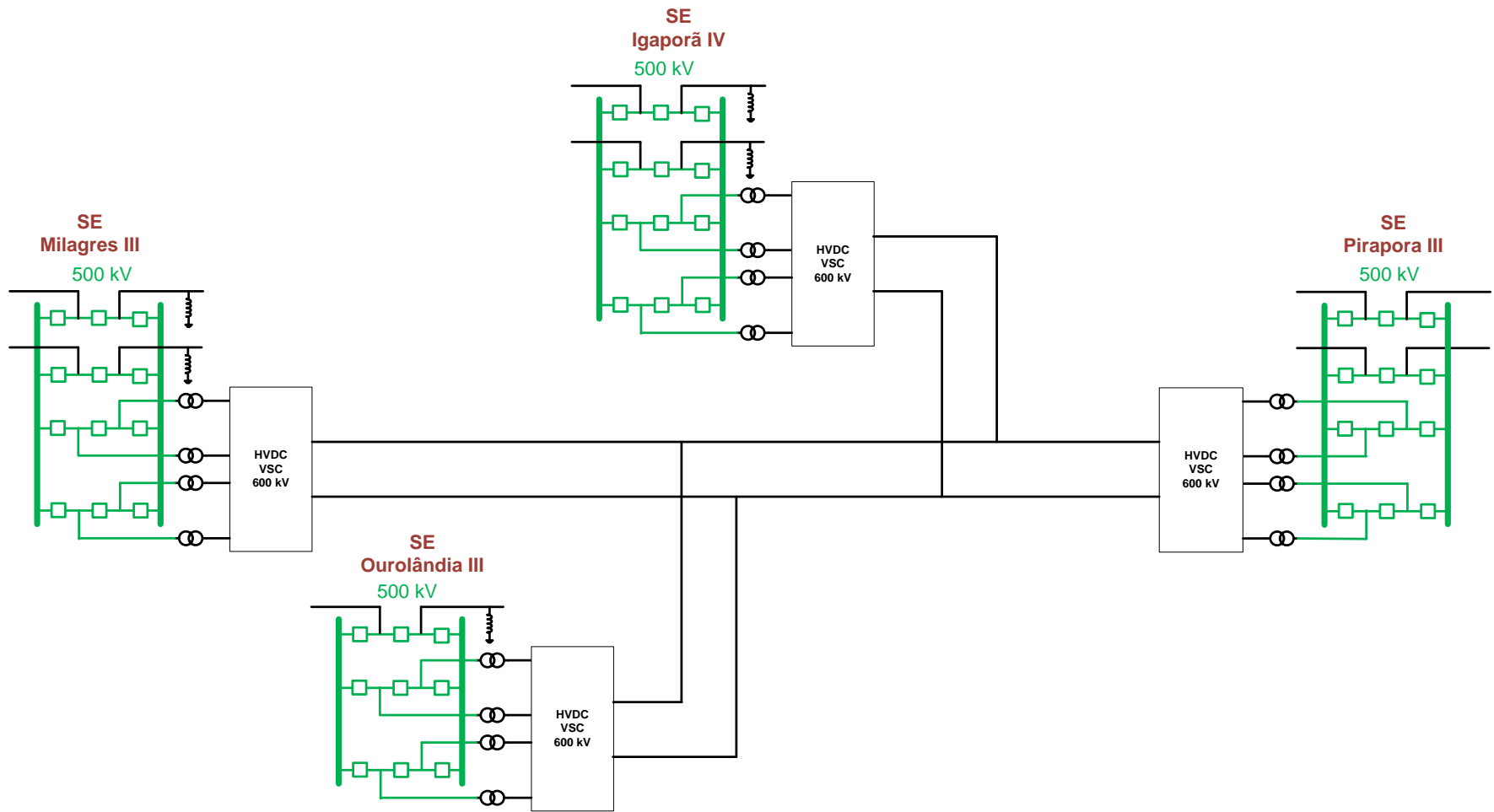
Com essa disposição, os reatores de Milagres, Ouroândia e Igaporã precisam ser deslocados, mas os **trechos ficam com aproximadamente mesmo comprimento (440 km) e Fluxos praticamente independem da escolha.**



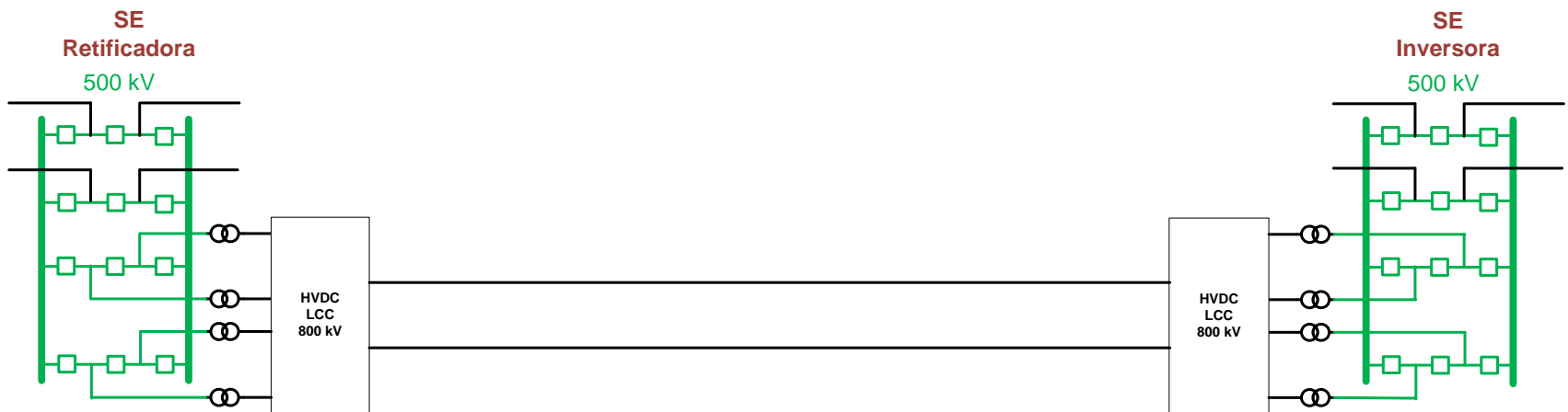
Alternativa 2: 500 kV



Alternativa 3: Multiterminal 600 kVcc (VSC)



Alternativa Balizadora: 800 kVcc LCC



Comparação de Investimentos

- $C_e = \text{R\$ } 154,00 / \text{MWh}$
- $I_f = 0,50$
- 1.000 kV:
 - Torres autoportantes: 20% (46 ton.)
 - Torres estaiadas: 80% (28,6 ton.*)
 - 8 x 795 MCM
 - 3.000 MW (Média)
- 500 kV:
 - Torres autoportantes: 30% (12,8 ton.)
 - Torres estaiadas: 70% (9,5 ton.)
 - 4 x 954 MCM
 - 6 x 795 MCM
 - 3.000 MW (Igual ao 1.000 kV)

* 33,7 ton. (calculada Nakai) x 0,85 (cross-rope) = 28,6 ton.

Comparação de Investimentos

- Referencia 800 kV cc:
 - Torres autoportantes: 20% (32,3 ton.)
 - Torres estaiadas: 80% (18,5 ton.)
 - 6 x 1590 MCM
 - 4.000 MW
- Multiterminal VSC
 - 600 kV cc
 - Milagres: 2.400 MW
 - Ouroândia: 1.400 MW
 - Igaporã: 1.000 MW
 - Pirapora: 2.800 MW
 - 4 x 2.300 MCM

Comparação de Investimentos

	R\$			
Alternativa	1000 kV	500 kV	Multiterminal VSC	Balizadora
LINHAS DE TRANSMISSÃO	2.508.213.882	3.403.535.898	1.910.040.000	2.130.113.725
TRANSFORMADORES	355.203.316	0	0	0
SUBESTAÇÕES	1.828.713.550	1.265.774.415	407.976.468	258.720.012
CONVERSORAS	0	0	3.504.599.350	2.700.000.000
SUBTOTAL EQUIPAMENTOS	4.692.130.748	4.669.310.314	5.822.615.818	5.088.833.737
Perdas nas LTs	561.804.757	1.411.643.875	558.195.633	807.914.468
Perdas nos Transformadores	145.569.312	0	0	0
Perdas nas Conversoras	0	0	364.492.801	455.616.001
TOTAL	5.399.504.818	6.080.954.189	6.745.304.251	6.352.364.205
COMPARAÇÃO	100 %	113 %	125 %	118 %

Sensibilidade 1: $F_p = 0,35$

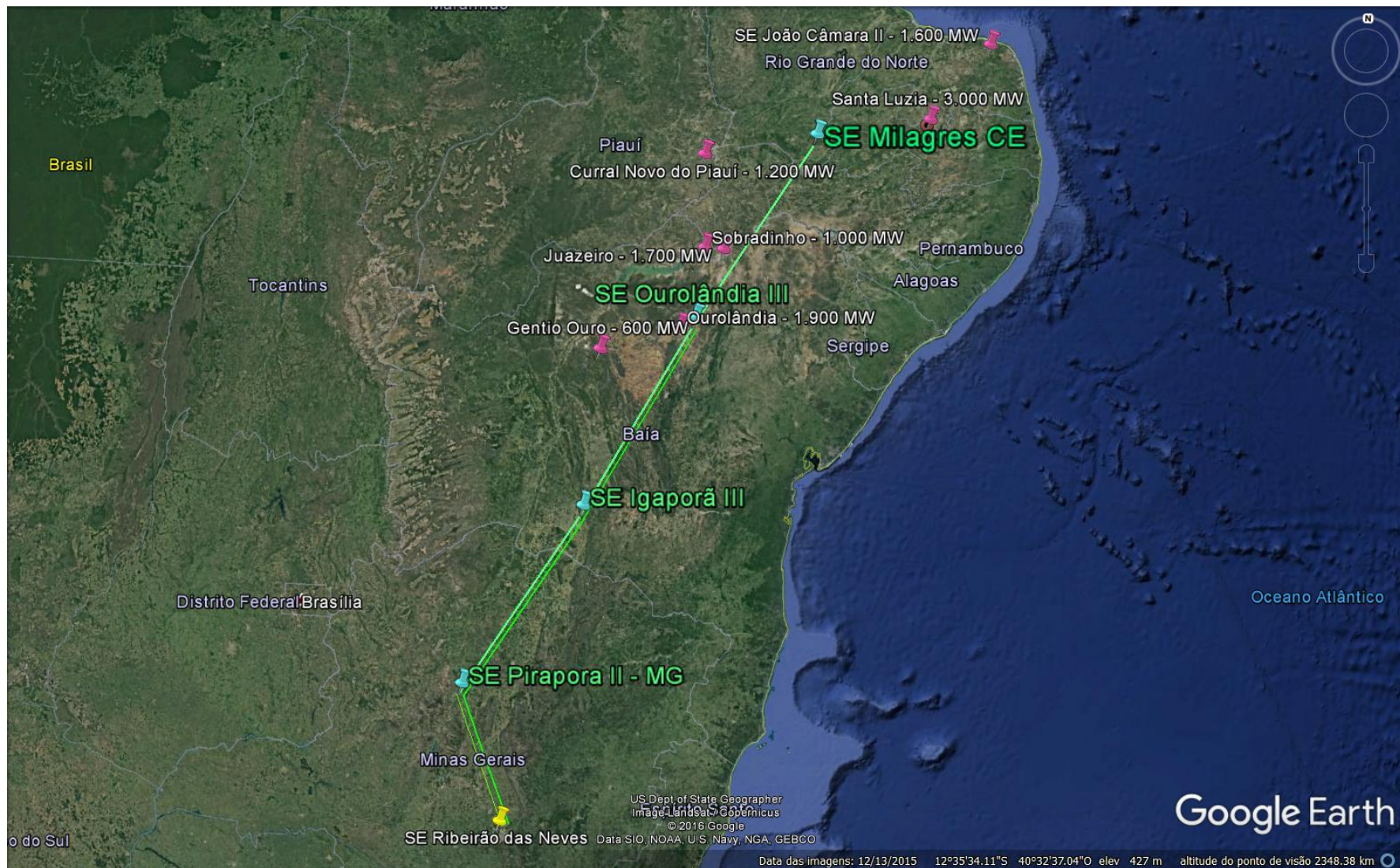
	R\$			
Alternativa	1000 kV	500 kV	VSC	Balizadora
LINHAS DE TRANSMISSÃO	2.508.213.882	3.403.535.898	1.910.040.000	2.130.113.725
TRANSFORMADORES	355.203.316	0	0	0
SUBESTAÇÕES	1.828.713.550	1.265.774.415	407.976.468	258.720.012
CONVERSORAS	0	0	3.504.599.350	2.700.000.000
SUBTOTAL EQUIPAMENTOS	4.692.130.748	4.669.310.314	5.822.615.818	5.088.833.737
Perdas nas LTs	393.263.330	988.150.713	390.736.943	565.540.127
Perdas nos Transformadores	101.898.519	0	0	0
Perdas nas Conversoras	0	0	255.144.961	318.931.201
TOTAL	5.187.292.597	5.657.461.026	6.468.497.721	5.973.305.065

COMPARAÇÃO	100 %	109 %	125 %	115 %
------------	-------	-------	-------	-------

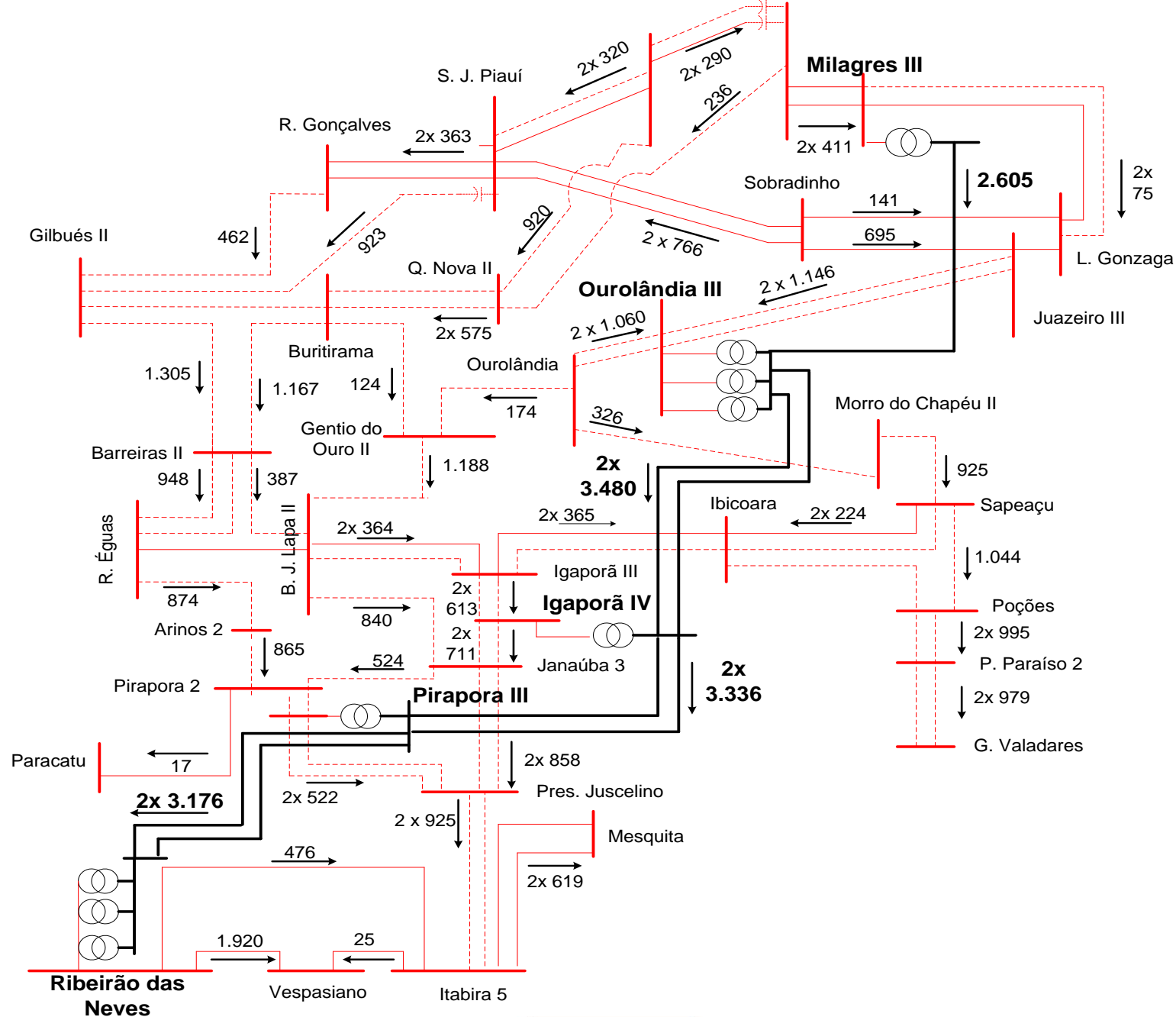
Possível expansão futura

(11 GW extra geração)

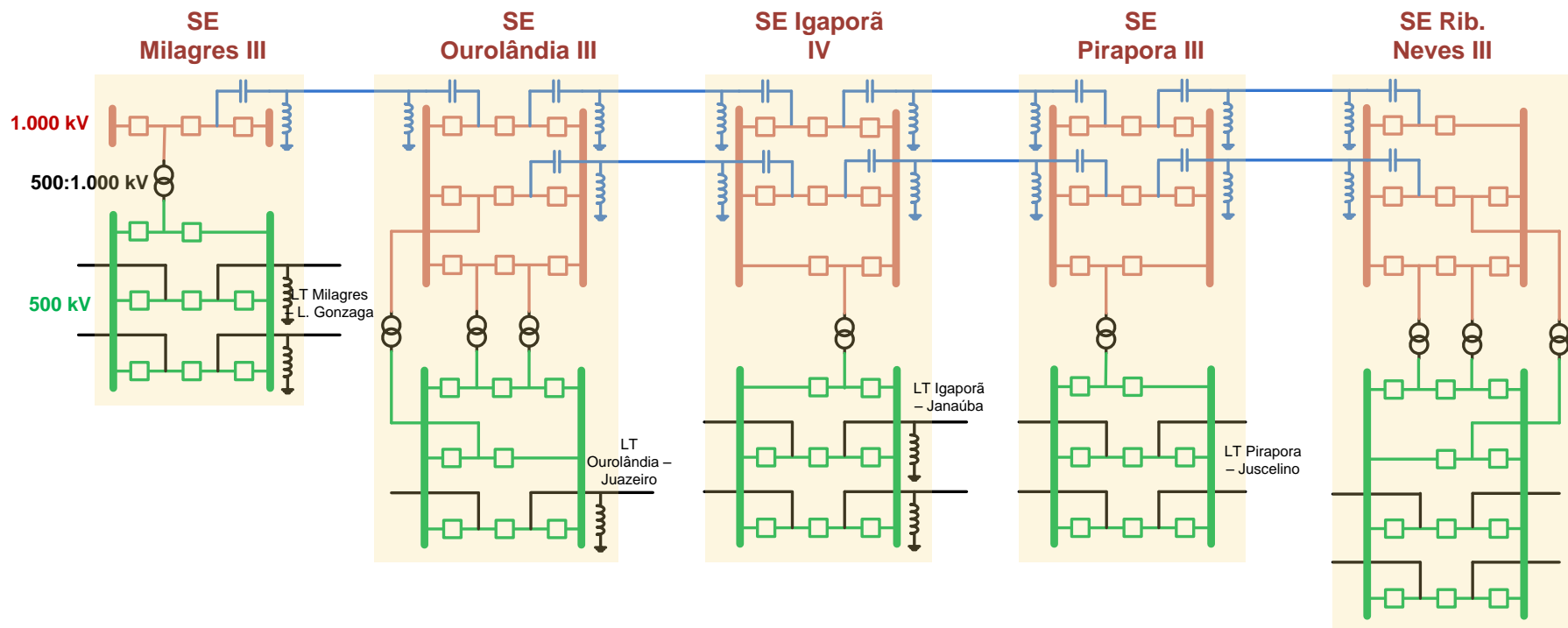
Aumento de 10.000 MW no NE



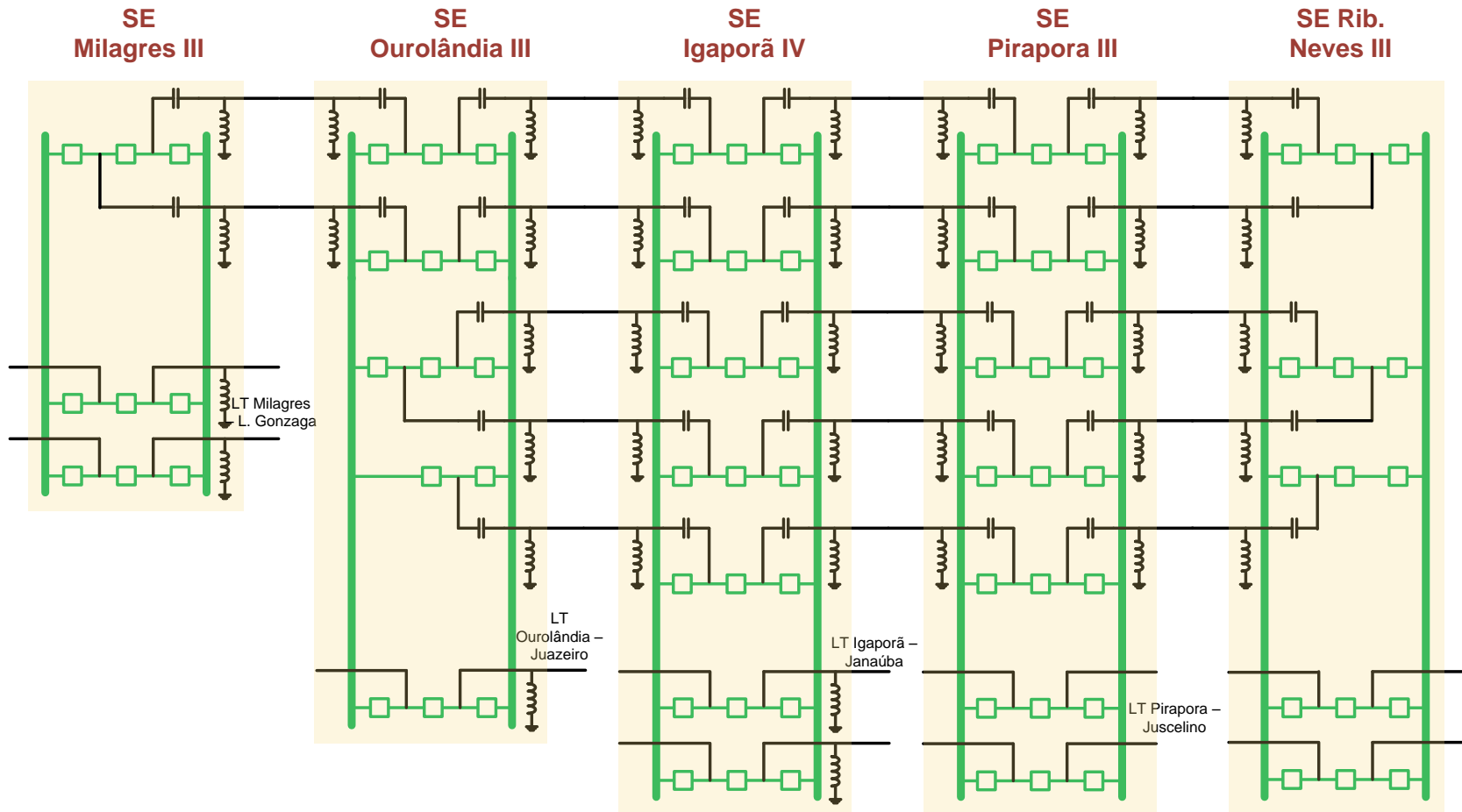
fluxo
carga



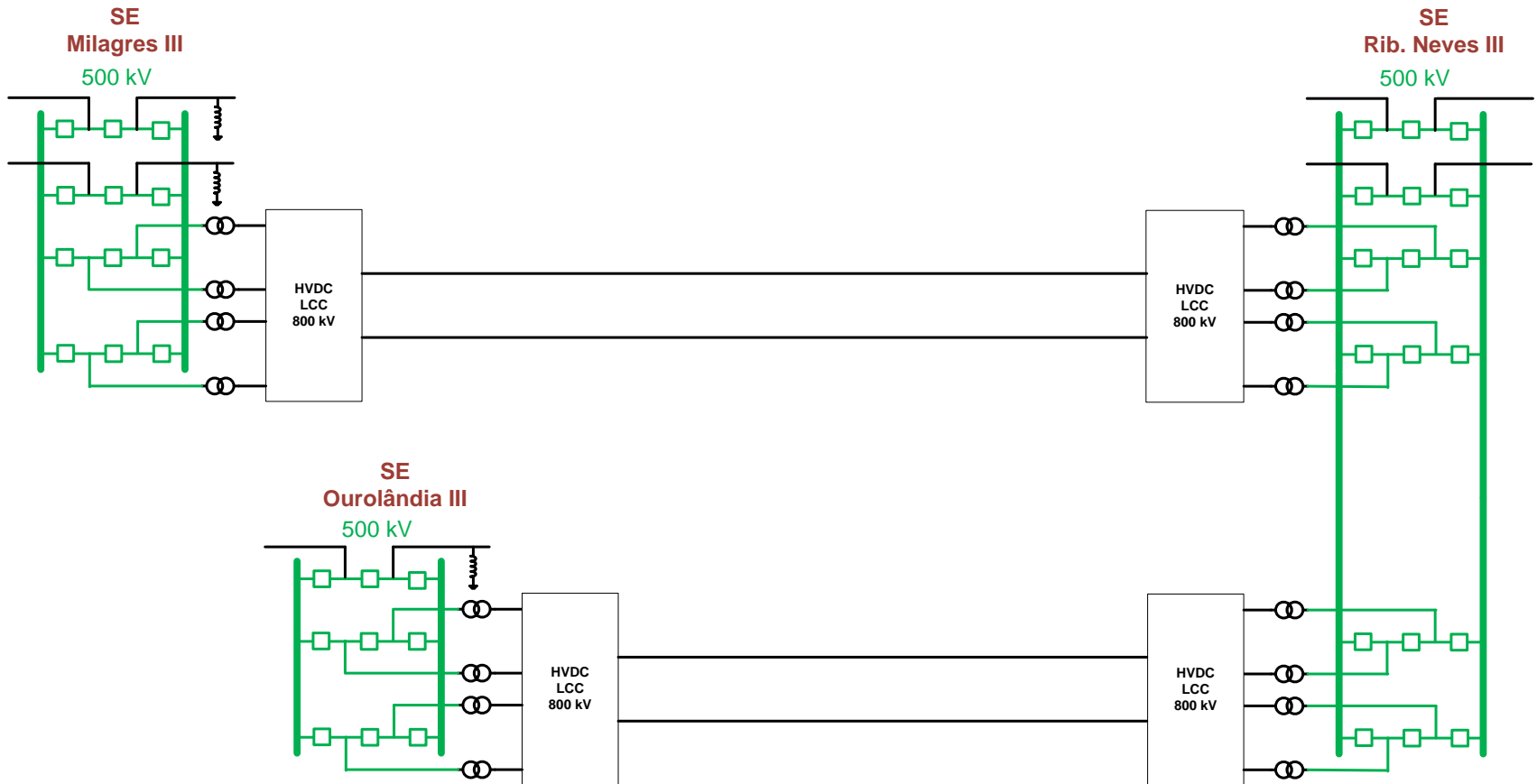
Alternativa 1: 1.000 kV



Alternativa 2: 500 kV



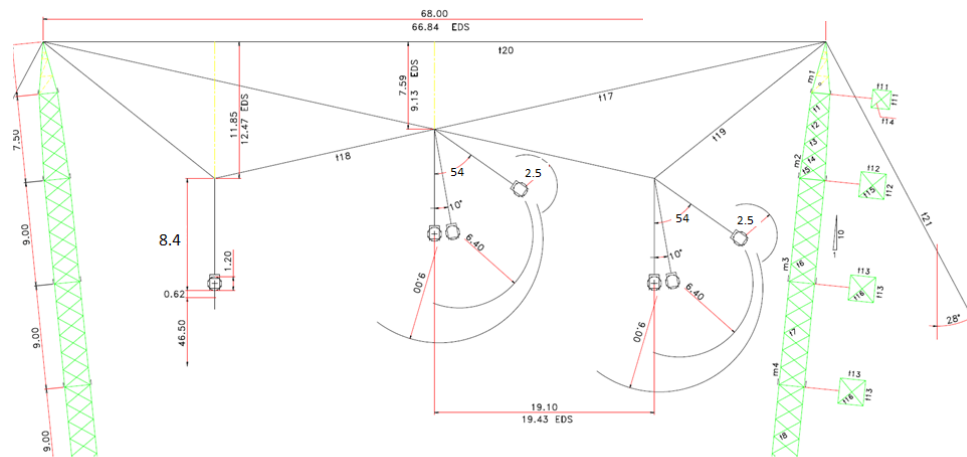
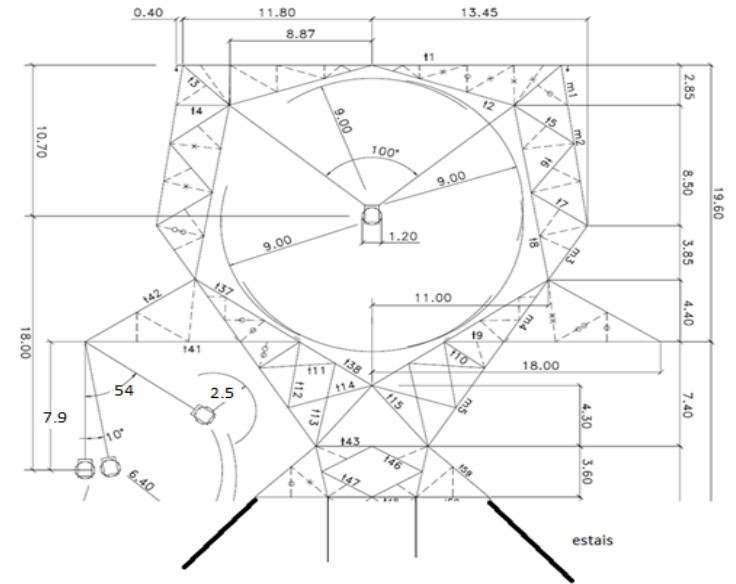
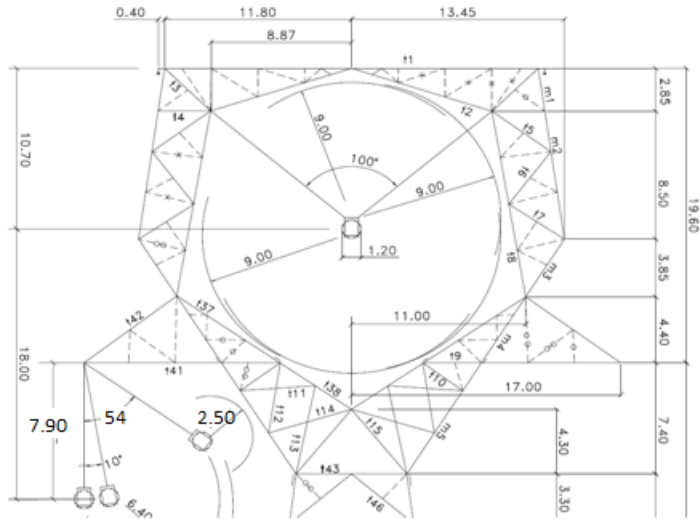
Alternativa 3: 2 Bipolos 800 kV



Comparação de Investimentos

	R\$		
Alternativa	1000 kV	500 kV	2 Bipolos LCC 800 kV
LINHAS DE TRANSMISSÃO	5.320.453.689	8.740.899.012	4.260.227.451
TRANSFORMADORES	707.887.749	0	0
SUBESTAÇÕES	3.797.843.670	2.955.858.458	407.976.468
CONVERSORAS	0	0	5.399.999.999
SUBTOTAL EQUIPAMENTOS	9.826.185.108	11.696.757.470	10.068.203.918
Perdas nas LTs	2.041.976.070	4.355.922.094	1.615.828.935
Perdas nos Transformadores	312.507.015	0	0
Perdas nas Conversoras	0	0	911.232.002
TOTAL	12.180.668.193	16.052.679.564	12.595.264.855
COMPARAÇÃO	100 %	132 %	103 %

TORRES



Artigos Publicados

- T&D LA 2016 (México):
 - Electromagnetic Transients in a 1000 kV System – Part I - Modeling and Arc Extinction
 - Electromagnetic Transients in a 1000 kV System – Part II – Line Energization, Reclosing and Insulation Coordination
 - Electromagnetic Transients in a 1000 kV System – Part III - Fault inception, clearing and load rejection
- ERIAC 2017 (May 2017)
 - Viability of Insertion of a 1000 kV System into the Brazilian Network
 - Energization Study of an Extra High Voltage Power Transformer aimed at Connecting a 1000 KV Line into the Brazilian Power Grid
 - Basic Design of a 1000 kV AC Line to Transmit Power from the NE to the SE Region of Brazil
- SNPTEE (October 2017)
 - VIABILIDADE DE INSERÇÃO DE UM SISTEMA 1.000 kV NA REDEE LÉTRICA BRASILEIRA
 - RESULTADOS DE ESTUDOS TÉCNICOS PARA A INSERÇÃODE UMA LINHA DE 1.000 kV NA REDE TRONCO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO
 - ANÁLISE DA TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA DE DISJUNTORES OPERANDO EM SISTEMAS UAT (1.000 kV)
- CIGRE Winnipeg (September/october)
 - Analysis of Equipment Requirements to Implement a 1000 kV UHV AC Transmission Line in Brazil

Transmissão em Ultra Alta Tensão em Corrente Alternada

Aplicação no Sistema Interligado Brasileiro

coorganização

José Antonio Jardim
Sergio de Oliveira Freitas
Gerald Luiz Costa Nicolo
John Francis Graham
Lito Gajon

Título original em inglês: Ultra High Voltage AC Transmission - Application in the Brazilian Interconnected System

Brasil
2017



2017-01-10



2017-01-10



LIVRO

Índice

Prefácio -Eletronorte, State Grid

Prefácio - Aneel

Sumário Executivo (Eletronorte State Grid

Sumário Executivo (Aneel)

Capitulos

1 – Perspectivas de Aplicação do Sistema de 1.000 kV no Brasil

2 - Histórico de Aplicações e Experiências Atuais da Transmissão de Energia Elétrica em Ultra Alta Tensão em Corrente Alternada

3 - Análise de Cenários para a Aplicação de 1.000 kV no Sistema Interligado Nacional

4 - Estudos de Viabilidade Técnico Econômica e Socioambiental das Alternativas (R1)

5 - Estudos de Detalhamento da Alternativa de Referência (R2)

6 - Caracterização e Análise Socioambiental da Alternativa do Empreendimento (R3)

7 - Caracterização da Rede Existente. Interface com o Sistema 1.000 kV (R4)

8 - Processo do Leilão de Empreendimentos de Transmissão

FIM

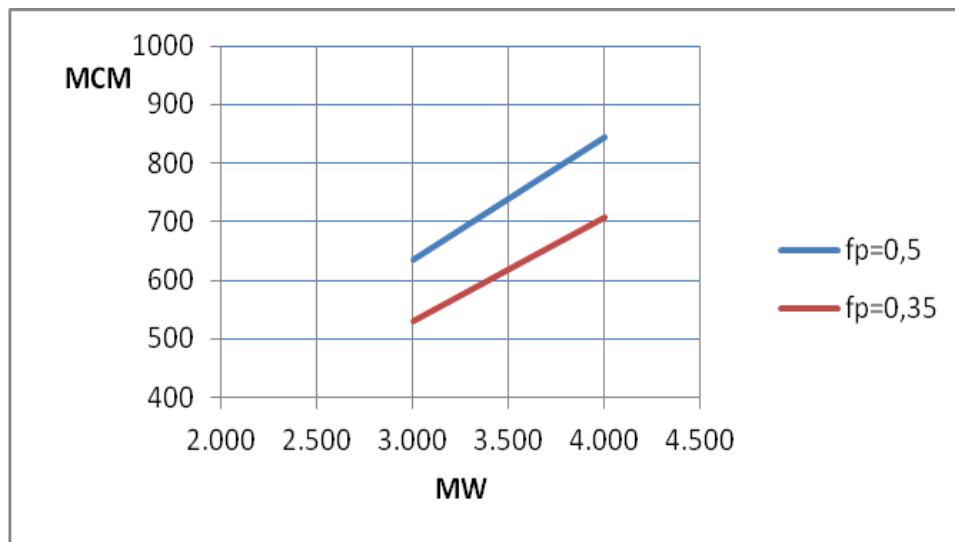
VIABILIDADE DE INSERÇÃO DE UM SISTEMA 1.000 kV NO SIN parte 2

jose.jardini@gmail.com
setembro 2017

- **Sobretensão e coordenação de isolamento**
- **Projeto de linhas**
- **Equipamentos**

- **R3**
- **R4**

R2



- 8 sub condutores/fase
selecionado 8X 795 MCM Tern

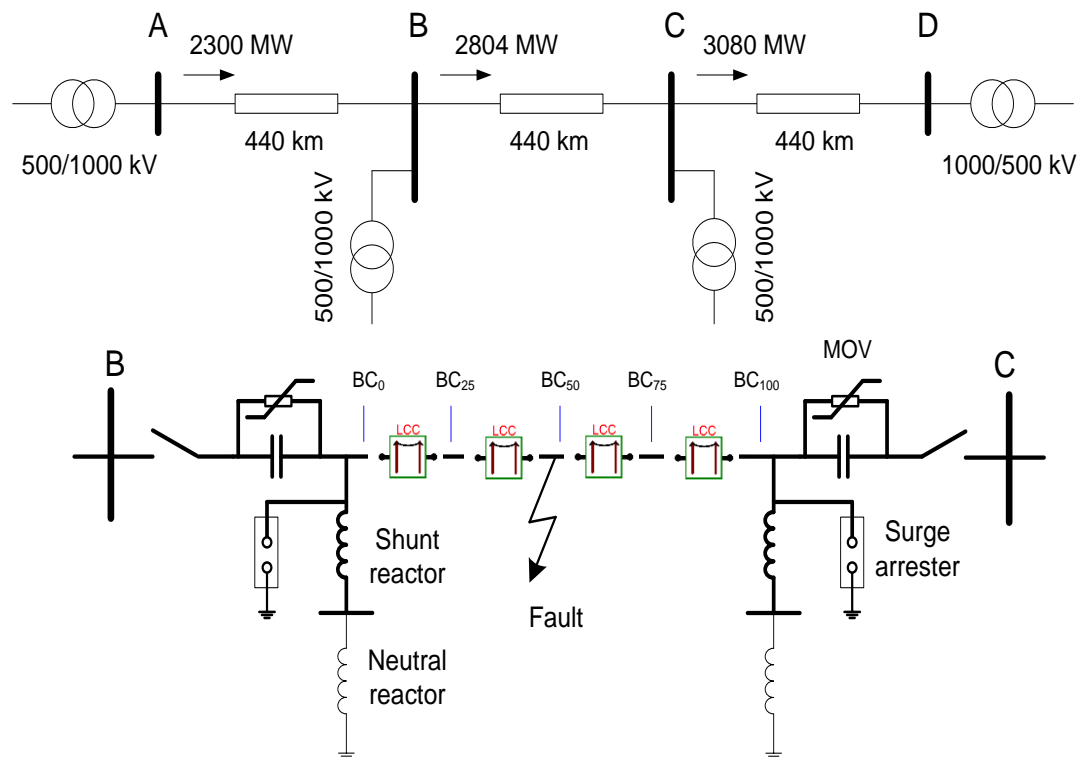
MW	$fp = 0,35$	$fp = 0,50$
3000	530	634
4000	707	845

Alternativa 6X 1192.5 MCM
conferir o gradiente de superfície

Consolidação dos estudos

- Extinção de arco
- Energização de LT
- Religamento monopolar e tripolar da LT
- Rejeição de carga
- Aplicação e eliminação de falta
- Coordenação de isolamento
- TRV
- Energização de transformador

Subestações e Equipamentos



- Gradiente superficie condutor

torre	kV/cm		configuração	Obs
	central	external	N x MCM	
Auto portante	15,99	16,06	8x954	Equiv height
monomastro	17,16	17,13	8x795	Equiv height
estaiada	19,05	17,53	8x795	Equiv height
Auto portante	17,24	17,31	8x795	Equiv height
monomastro	17,04	17,51	8x795	Mid span
estaiada	19,02	17,79	8x795	Mid span
Auto portante	17,15	17,64	8x795	Mid span
monomastro	19,10	19,10	6x954	Equiv height
monomastro	17,43	17,43	6x1192,5	Equiv height
monomastro	18,99	19,53	6x954	Mid span

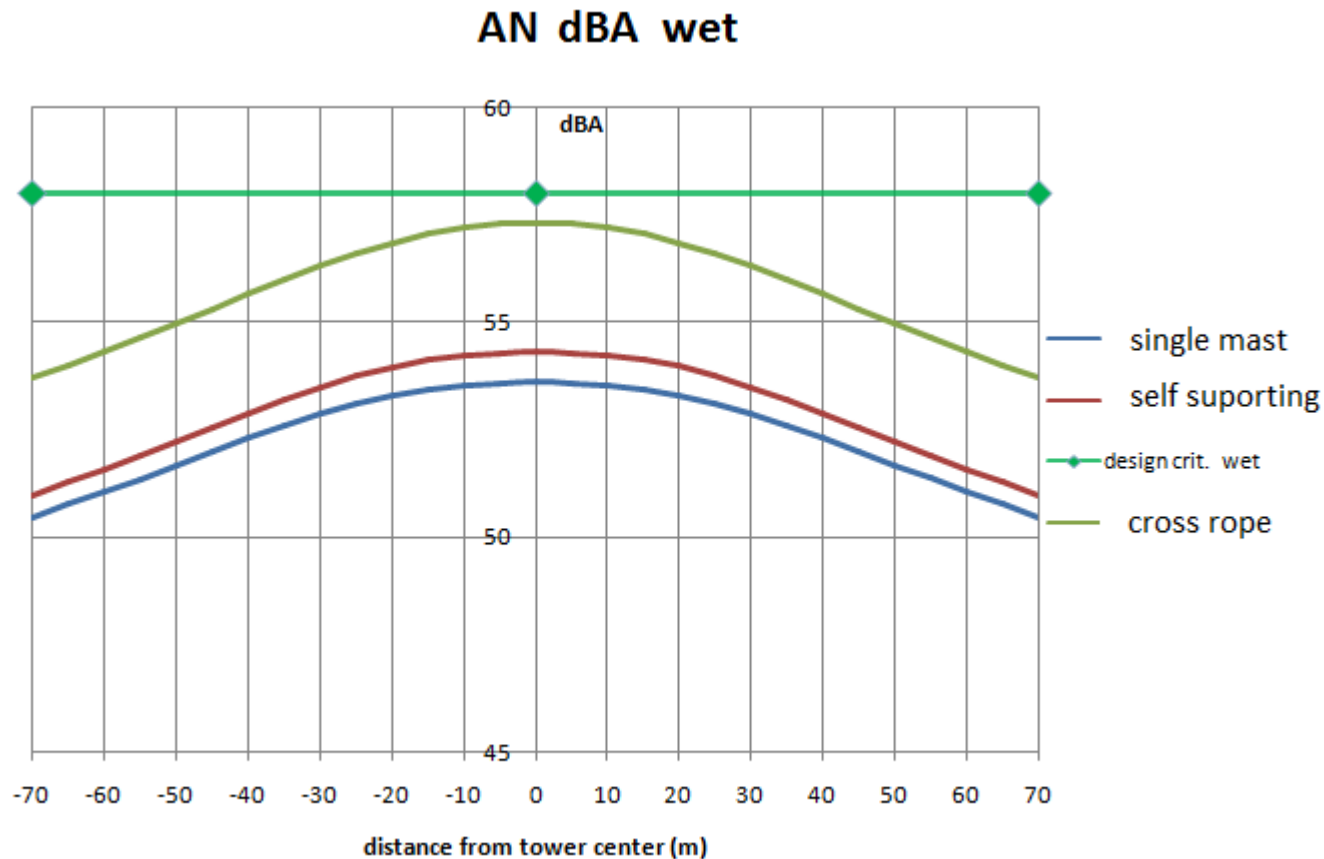
Todas configurações OK

Peek grad.

Ar dens.=1	MCM
19,75	954
20,09	795
19,39	1192,5

Ruido Audível

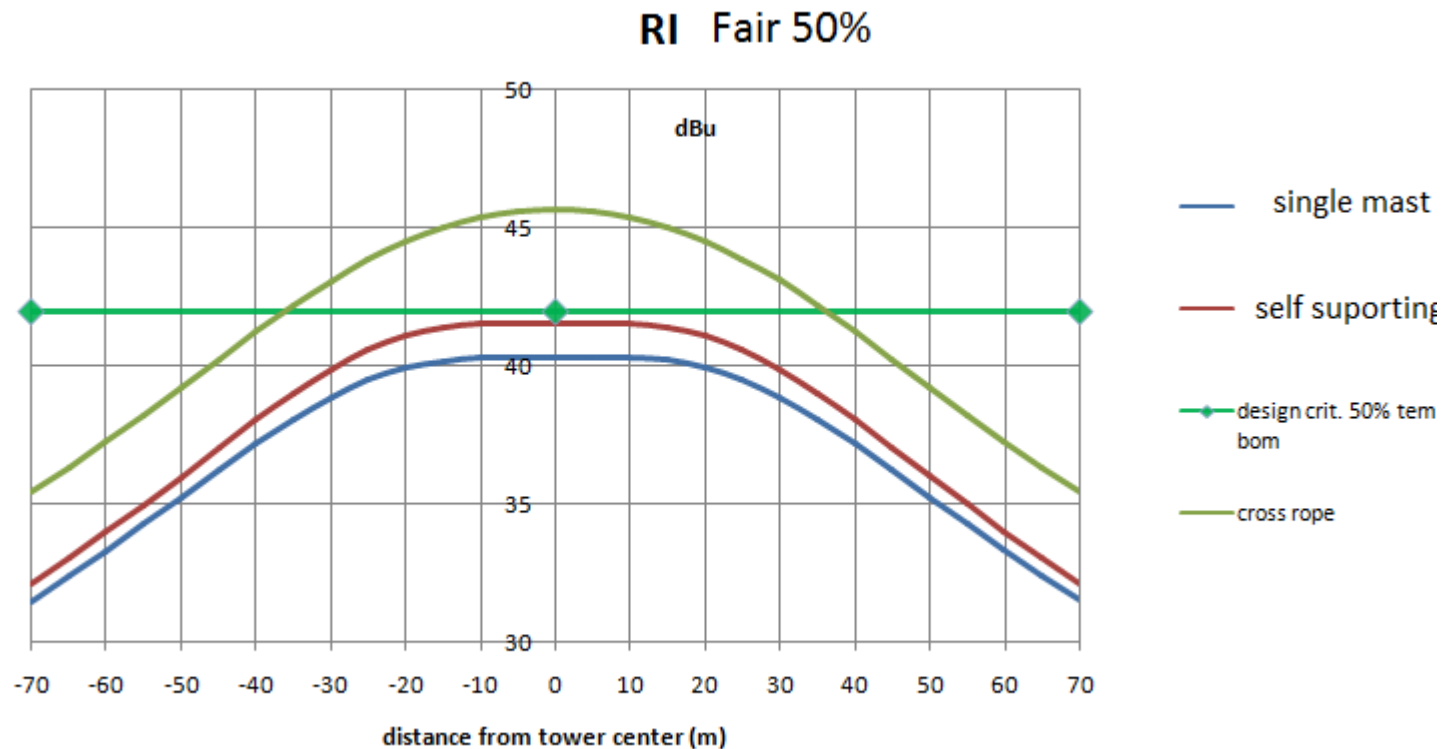
Criterio 57 dBA limite faixa condição conductor molhado



Radio Interferencia

Criterio Sinal/Ruido 24, sinal 66 dBu

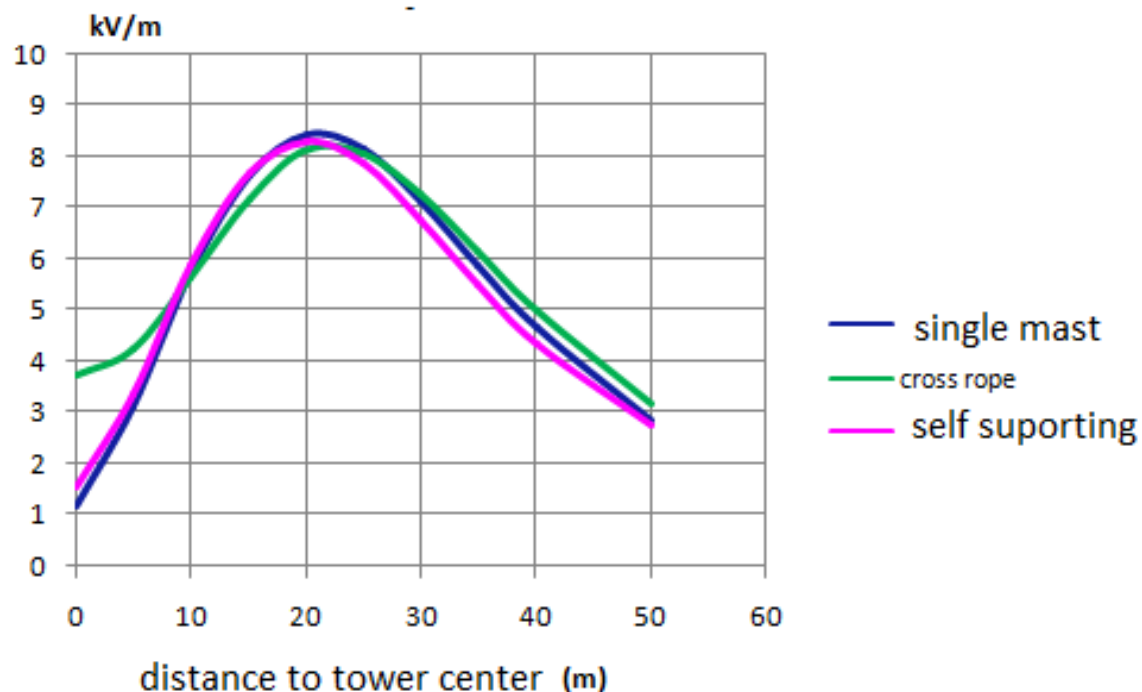
Tempo bom 50%



TV interference not critical

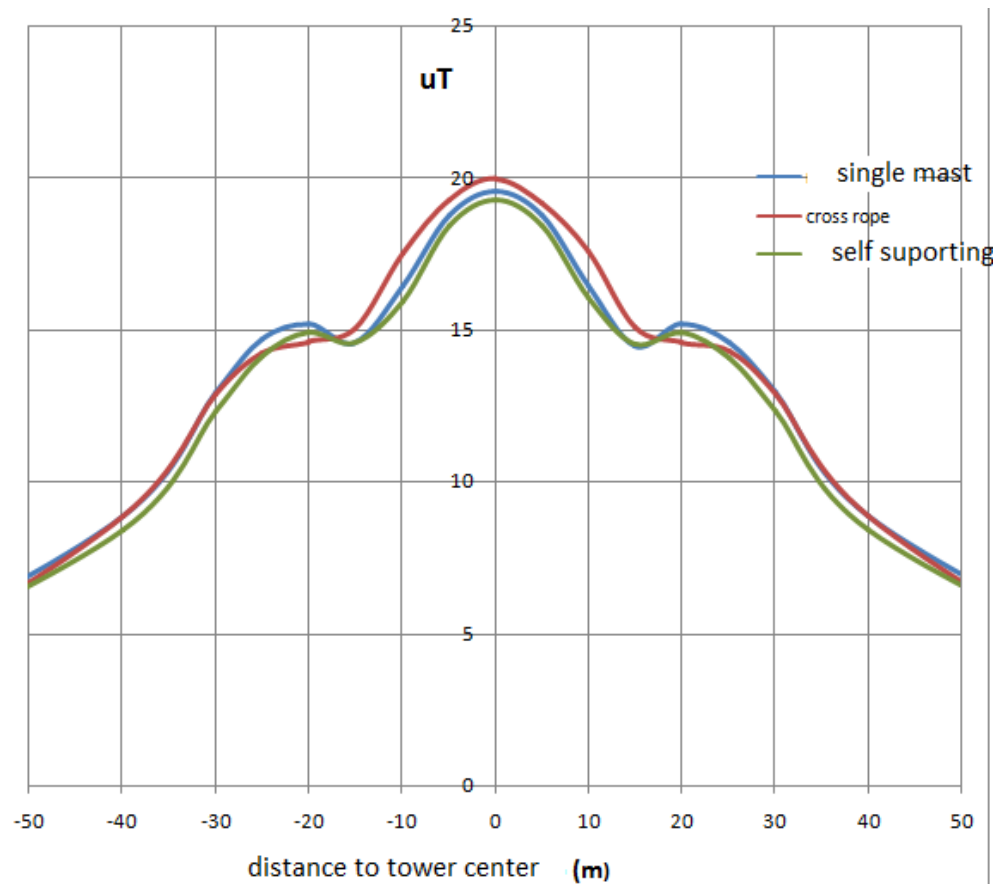
- Campo elétrico no solo

Critério 8.32 kV/m dentro Faixa; 4.16 2 limite Faixa (ICNIRP)

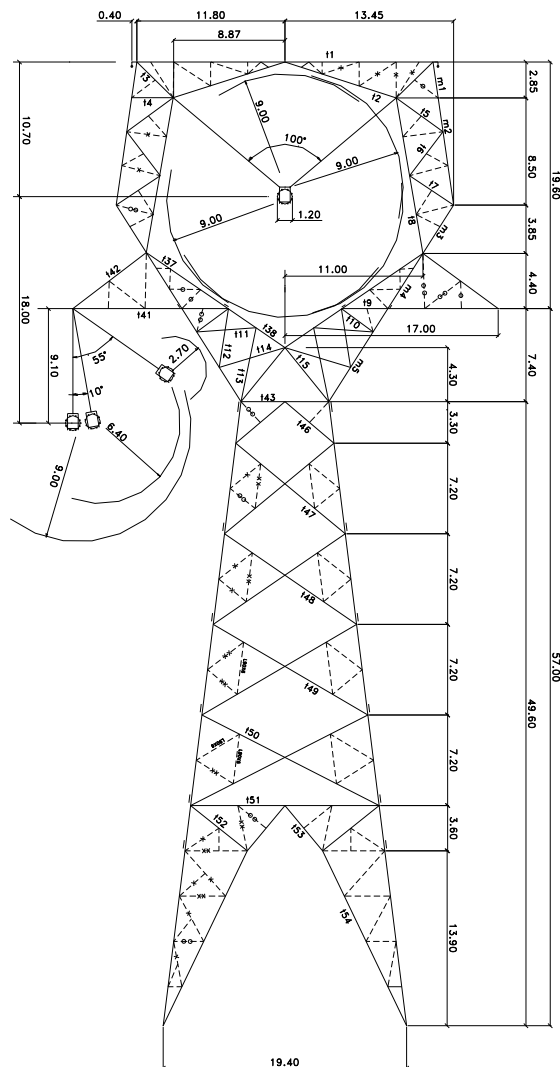


Magnetic Field

Criterio 87 uT limite faixa (ICNIRP velho)

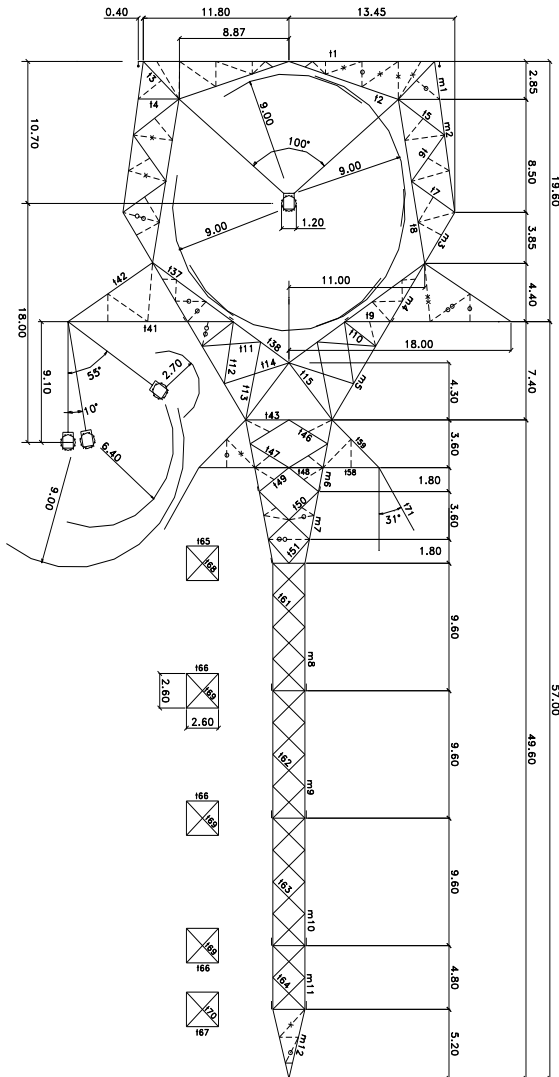


Torre Autoportante



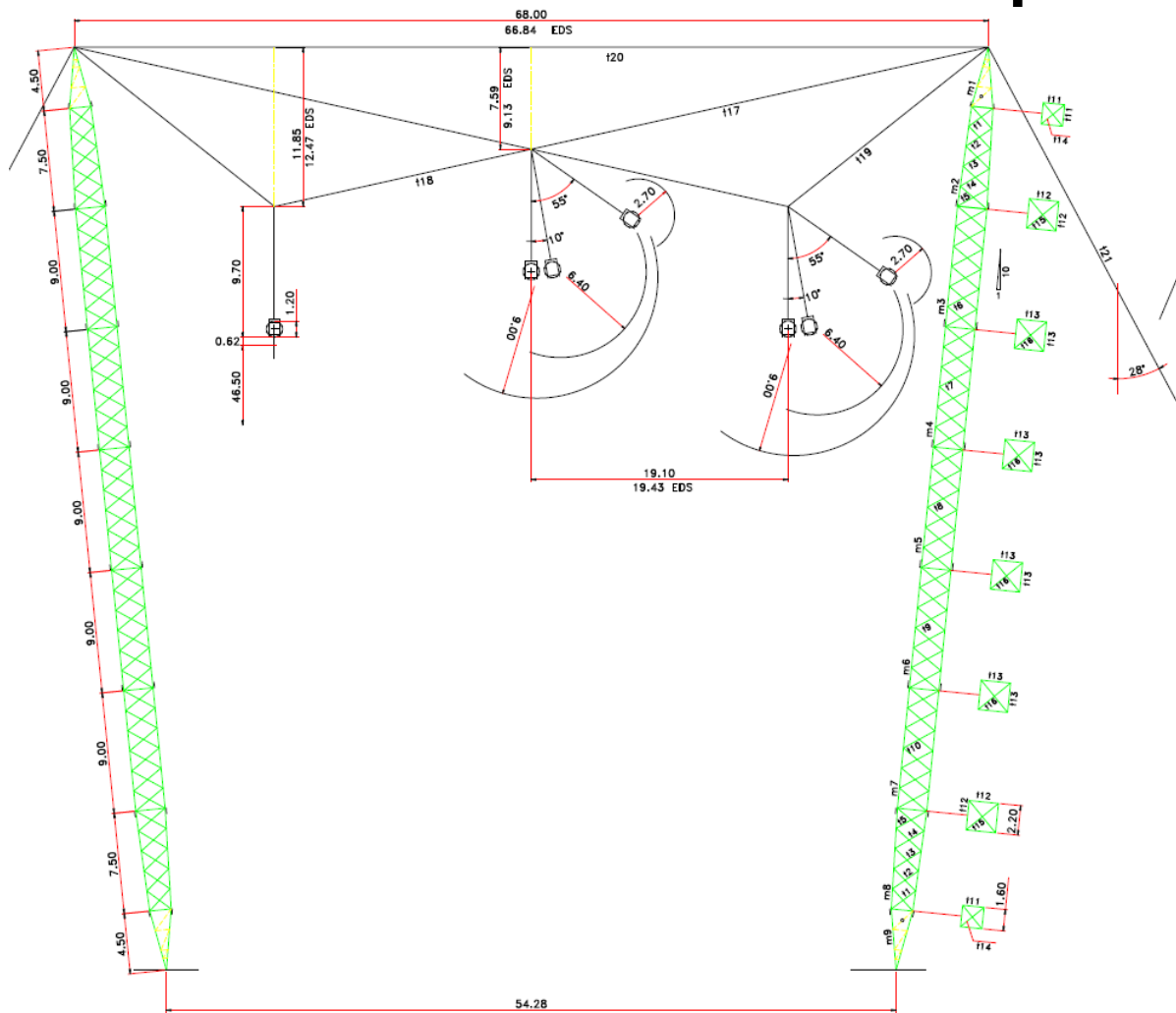
- 76,6 m de altura
- 46.145 kg

Torre Monomastro



- 76,6 m de altura
- 33.695kg
- 1.640 kg (4 estais)

Torre Trapézio

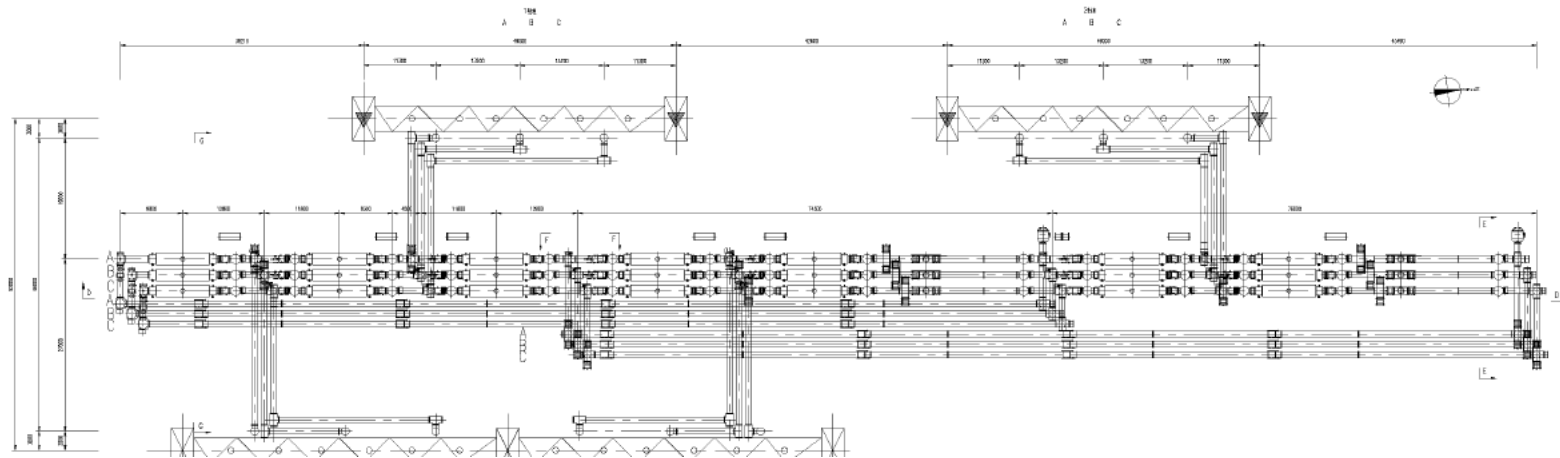


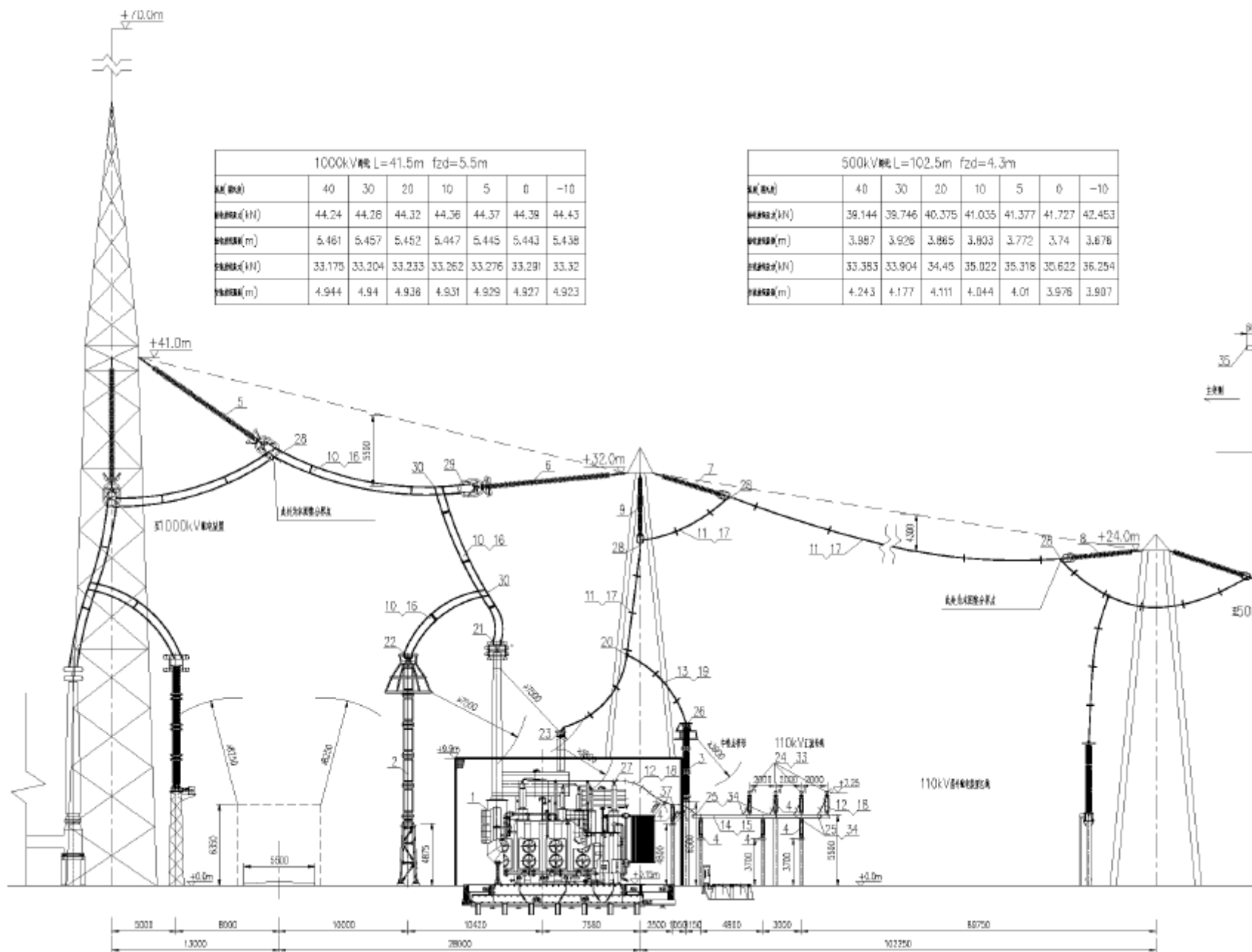
- 68,65 m de altura
- 17.600 kg
- 1.597 kg (4 estais)
- 702 kg (armação)

Estudos de equipamentos e Especificação

- Transformadores
- Reator (reator de neutro)
- Capacitor série
- Disjuntor
- Chaves, medidores, postes (em geral)
- Para-raios (Balestro)
- Compensação reativa

Subestações





R3

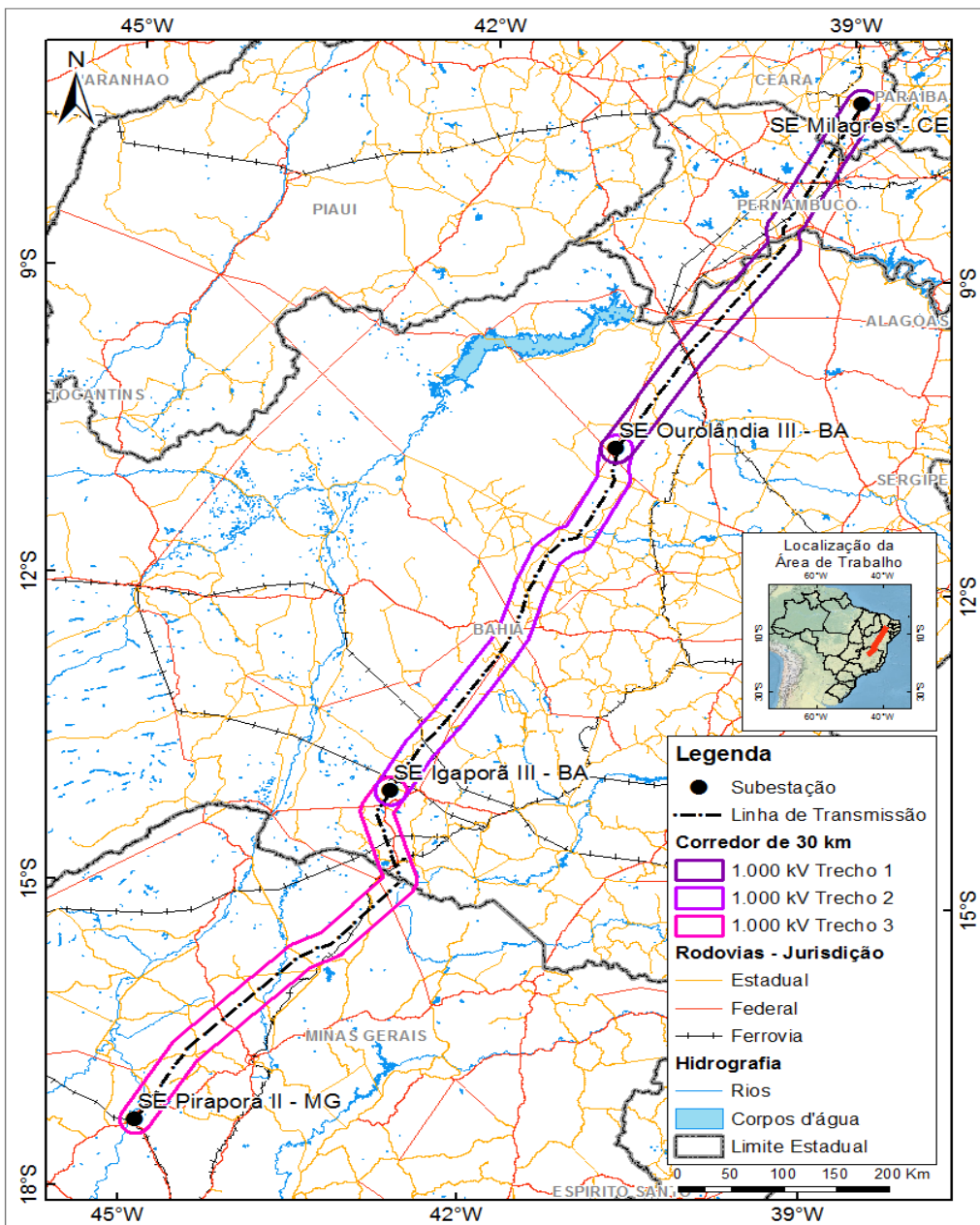
Conteúdo:

- Caracterização socioambiental
- Levantamento de dados
- Meio físico
- Meio biótico
- Meio socioeconômico
- Caracterização socioambiental dos trechos do traçado da LT
- Fichas de campo

Ambiental

Revisão e Novo Corredor

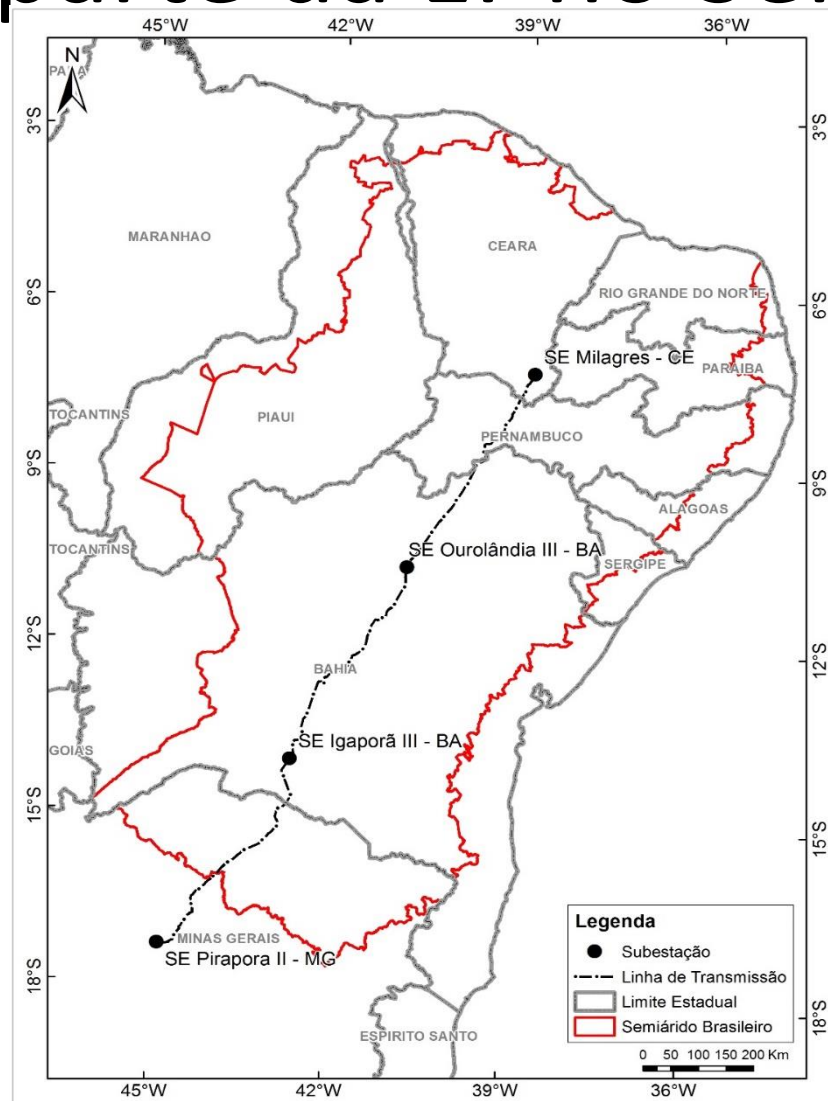
- Corredor de menor extensão: 1.282,5 km
- Corredor que evita impeditivos ambientais: 1.336,1 km

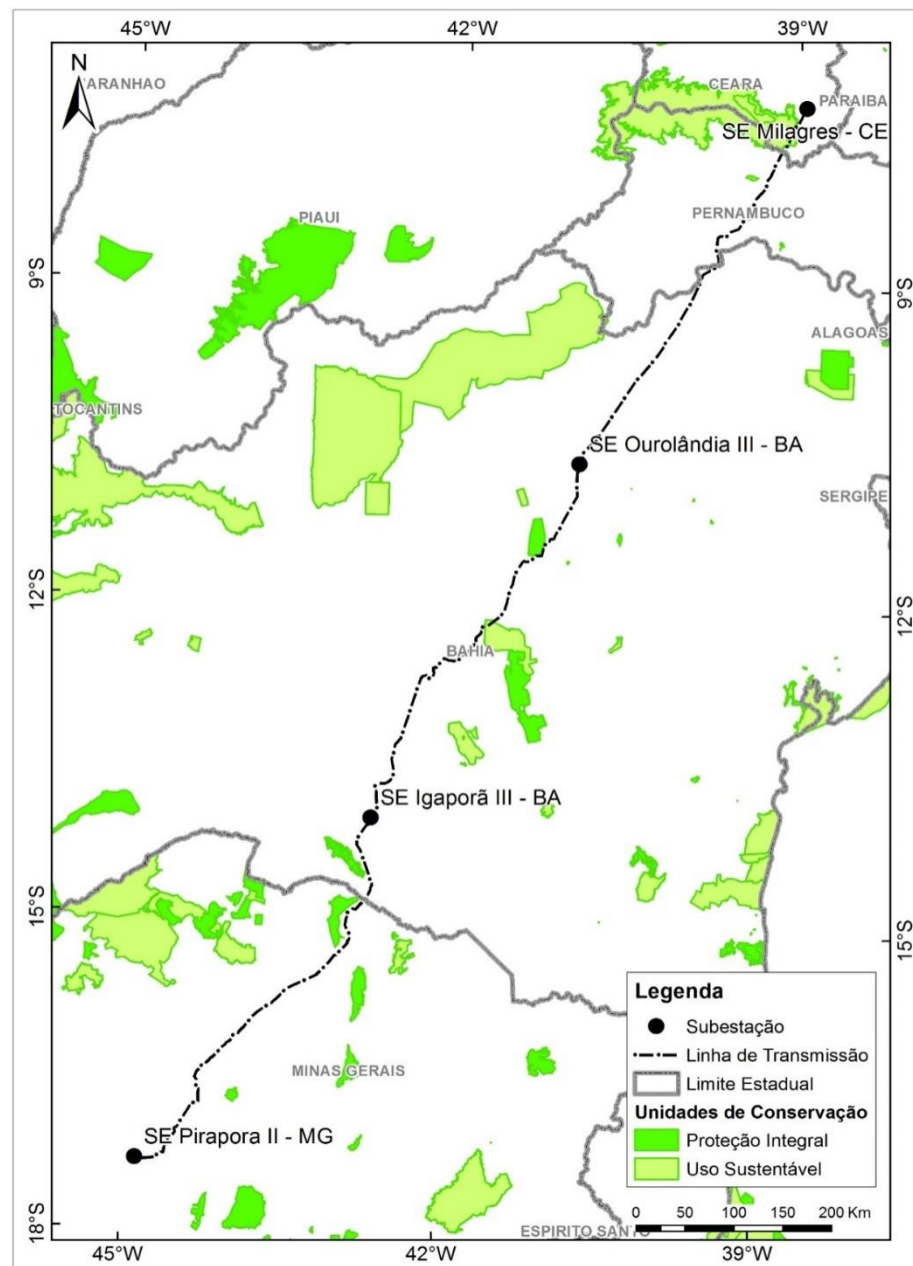


Localização da LT desviando dos impeditivos socioambientais



Maior parte da LT no Semiárido

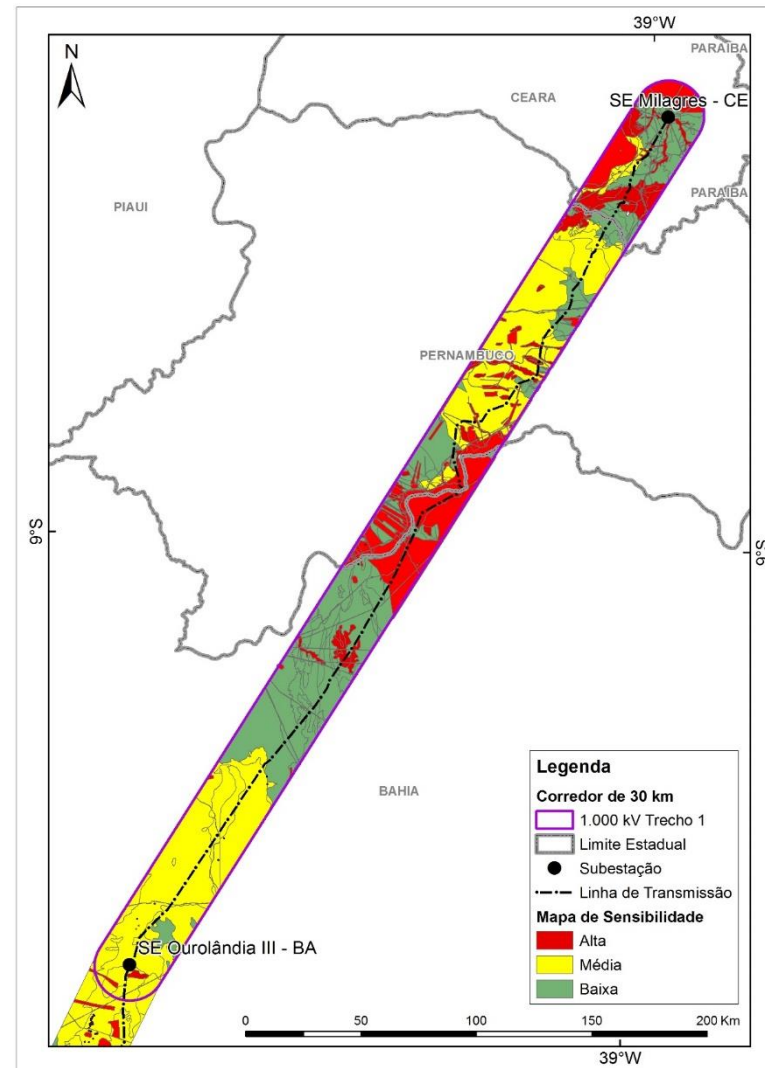




Ficha de campo (exemplo)

RELATÓRIO DE CAMPO																						
<p>Escala 1:40.000</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dados Cadastrais</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Técnico</td> <td>Alex Sousa Luciana Arasato Lairisse Costa</td> </tr> <tr> <td>Data do Campo</td> <td>2016:08:16 07:48:33</td> </tr> <tr> <td>Nº Ponto</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Nº Foto</td> <td>P1170006.JPG</td> </tr> <tr> <td>Sentido</td> <td>Ré</td> </tr> <tr> <td>Azimute</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Projeção</td> <td>GCS</td> </tr> <tr> <td>Datum</td> <td>WGS 84</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Coordenadas</td> <td>Lat: -7,434536</td> </tr> <tr> <td>Long: -38,998592</td> </tr> </tbody> </table>	Dados Cadastrais		Técnico	Alex Sousa Luciana Arasato Lairisse Costa	Data do Campo	2016:08:16 07:48:33	Nº Ponto	1	Nº Foto	P1170006.JPG	Sentido	Ré	Azimute	80	Projeção	GCS	Datum	WGS 84	Coordenadas	Lat: -7,434536	Long: -38,998592
Dados Cadastrais																						
Técnico	Alex Sousa Luciana Arasato Lairisse Costa																					
Data do Campo	2016:08:16 07:48:33																					
Nº Ponto	1																					
Nº Foto	P1170006.JPG																					
Sentido	Ré																					
Azimute	80																					
Projeção	GCS																					
Datum	WGS 84																					
Coordenadas	Lat: -7,434536																					
	Long: -38,998592																					
<p>Descrição: Área de planície não extensa e morro apresentando vegetação natural e ferrovia a V.</p>																						
<p>Foto:</p>																						

Mapa de sensibilidade do 1º Trecho



R4

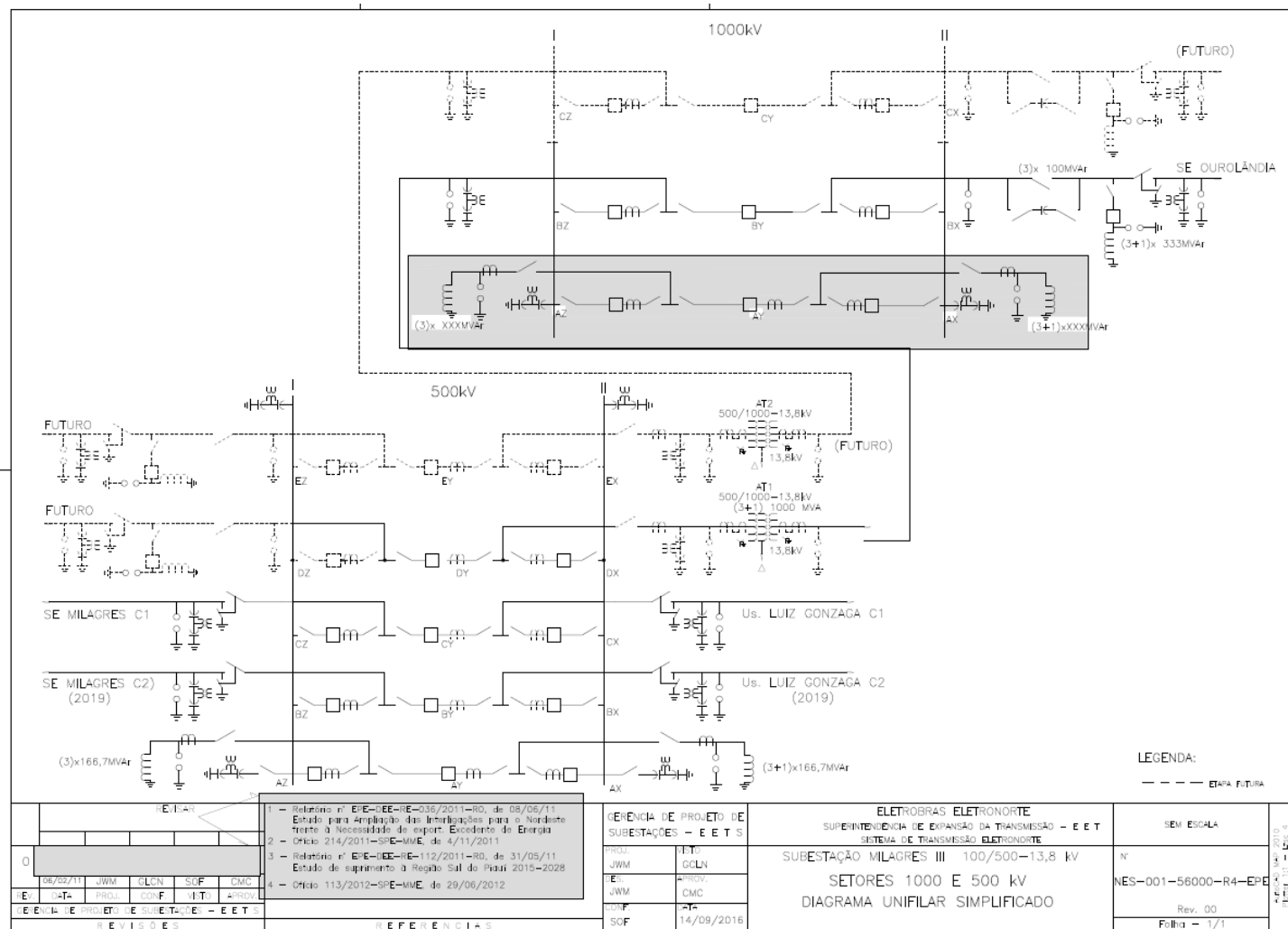
- SE Milagres
- SE Ouroolândia
- Igaporã
- Pirapora

R4

Conteúdo:

- Características principais das LTs a serem seccionadas
- Características principais da SE e equipamentos
- Instalações a serem transferidas
- Requisitos específicos para os sistemas de proteção
- Requisitos específicos para os sistemas de controle e supervisão
- Requisitos específicos para os sistemas de telecomunicações

R4 – Diagrama Unifilar(Milagres)



Artigos Publicados

- T&D LA 2016 (México):
 - Electromagnetic Transients in a 1000 kV System – Part I - Modeling and Arc Extinction
 - Electromagnetic Transients in a 1000 kV System – Part II – Line Energization, Reclosing and Insulation Coordination
 - Electromagnetic Transients in a 1000 kV System – Part III - Fault inception, clearing and load rejection
- ERIAC 2017 (May 2017)
 - Viability of Insertion of a 1000 kV System into the Brazilian Network
 - Energization Study of an Extra High Voltage Power Transformer aimed at Connecting a 1000 KV Line into the Brazilian Power Grid
 - Basic Design of a 1000 kV AC Line to Transmit Power from the NE to the SE Region of Brazil
- SNPTEE (October 2017)
 - VIABILIDADE DE INSERÇÃO DE UM SISTEMA 1.000 kV NA REDEE LÉTRICA BRASILEIRA
 - RESULTADOS DE ESTUDOS TÉCNICOS PARA A INSERÇÃO DE UMA LINHA DE 1.000 kV NA REDE TRONCO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO
 - ANÁLISE DA TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA DE DISJUNTORES OPERANDO EM SISTEMAS UAT (1.000 kV)
- CIGRE Winnipeg (September/october)
 - Analysis of Equipment Requirements to Implement a 1000 kV UHV AC Transmission Line in Brazil

Transmissão em Ultra Alta Tensão em Corrente Alternada

Aplicação no Sistema Interligado Brasileiro

coorganização

José Antonio Jardim
Sergio de Oliveira Freitas
Gerald Luiz Costa Nicolo
John Francis Graham
Lito Gajon

Título original em inglês: Ultra High Voltage AC Transmission - Application in the Brazilian Interconnected System

Brasil
2017



2017-01-10



2017-01-10



LIVRO

Índice

Prefácio -Eletronorte, State Grid

Prefácio - Aneel

Sumário Executivo (Eletronorte State Grid

Sumário Executivo (Aneel)

Capitulos

1 – Perspectivas de Aplicação do Sistema de 1.000 kV no Brasil

2 - Histórico de Aplicações e Experiências Atuais da Transmissão de Energia Elétrica em Ultra Alta Tensão em Corrente Alternada

3 - Análise de Cenários para a Aplicação de 1.000 kV no Sistema Interligado Nacional

4 - Estudos de Viabilidade Técnico Econômica e Socioambiental das Alternativas (R1)

5 - Estudos de Detalhamento da Alternativa de Referência (R2)

6 - Caracterização e Análise Socioambiental da Alternativa do Empreendimento (R3)

7 - Caracterização da Rede Existente. Interface com o Sistema 1.000 kV (R4)

8 - Processo do Leilão de Empreendimentos de Transmissão

FIM

Obrigado!

José Antonio Jardini
jose.jardini@gmail.com

(11) 2528-3662