

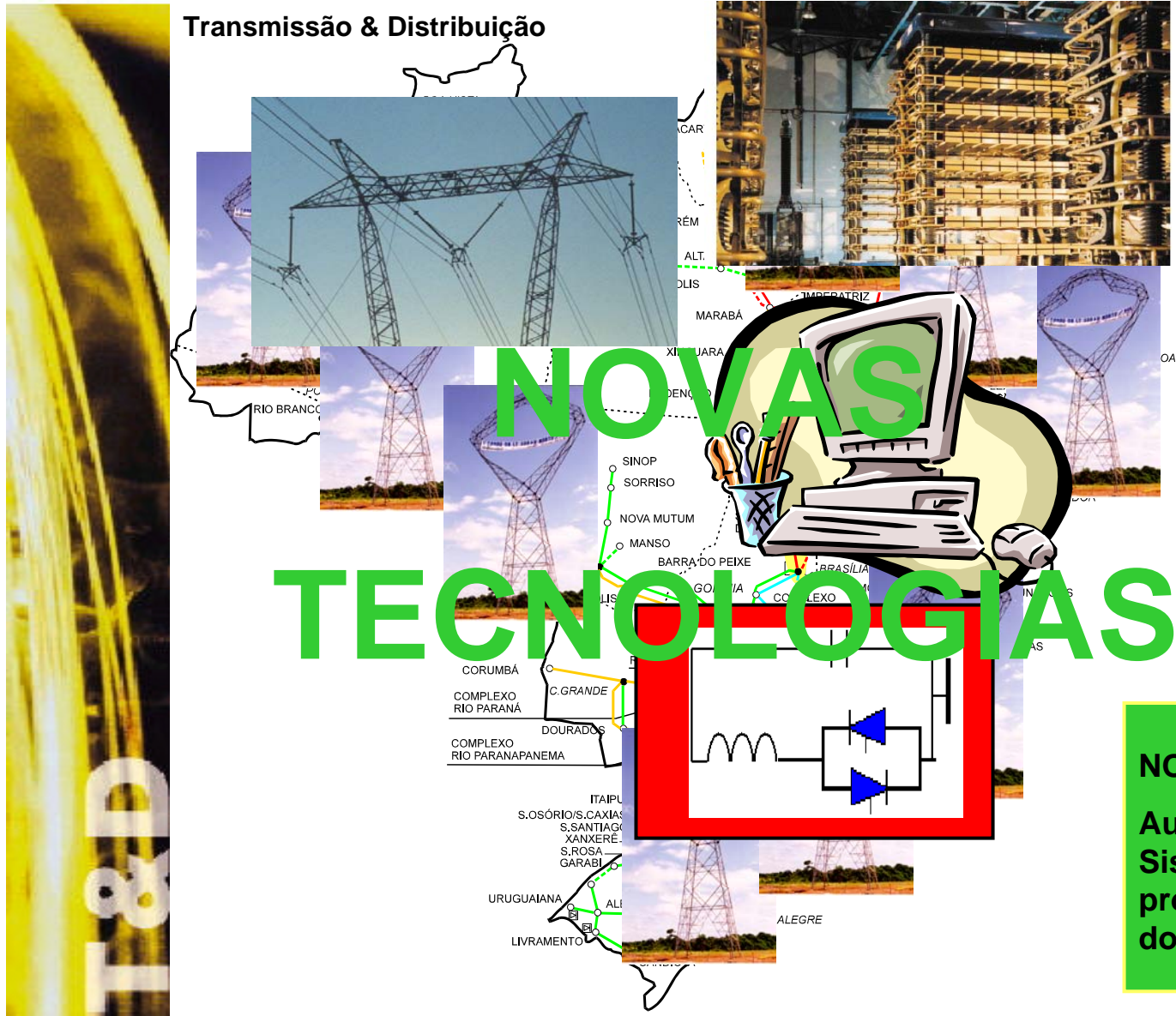
**INSERÇÃO DE NOVAS  
TECNOLOGIAS PARA AUMENTO  
DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE  
TRANSMISSÃO**

**Carlos Gama**  
**[carlos.gama@vatech-td.com.br](mailto:carlos.gama@vatech-td.com.br)**

## CONTEÚDO

- **Introdução e Motivação**
- **Novas Tecnologias – Tipos, Conceitos e Preconceitos**
- **O que significa “Aumento de Eficiência”?**
- **Como Estudar e Comparar Alternativas**
- **Como Especificar uma Nova Tecnologia**
- **Novo Modelo da Transmissão**
- **Sugestões**
- **Futuros Grandes Projetos de Transmissão no Brasil**
- **Considerações Finais**

**Transmissão & Distribuição**



**NOVAS  
TECNOLOGIAS**

**10.000 km de Linhas de Transmissão nos últimos 5 anos**

**Investimento: > 6 Billions R\$**

**Capacidade Sistêmica de Transmissão = CST**

**Capacidade Térmica das Linhas = CTL**

**CTL É BEM SUPERIOR A CST**

**NOSSO DESAFIO:**

**Aumentar CST e a Confiabilidade do Sistema ao menor custo possível, propiciando uma melhor utilização dos ativos de Transmissão**

Transmissão & Distribuição

## Inteligência em Regime Permanente:

Soluções desprovidas de um sistema de controle capaz de variar dinamicamente seus parâmetros (elementos PASSIVOS)

- LPNE (Linhas de Potência Natural Elevada)
- Compensação Reativa Fixa (Série ou Shunt)

## Inteligência em Regime Dinâmico:

Soluções providas de um sistema de controle capaz de variar dinamicamente seus parâmetros (elementos ATIVOS)

- FACTS
- HVDC

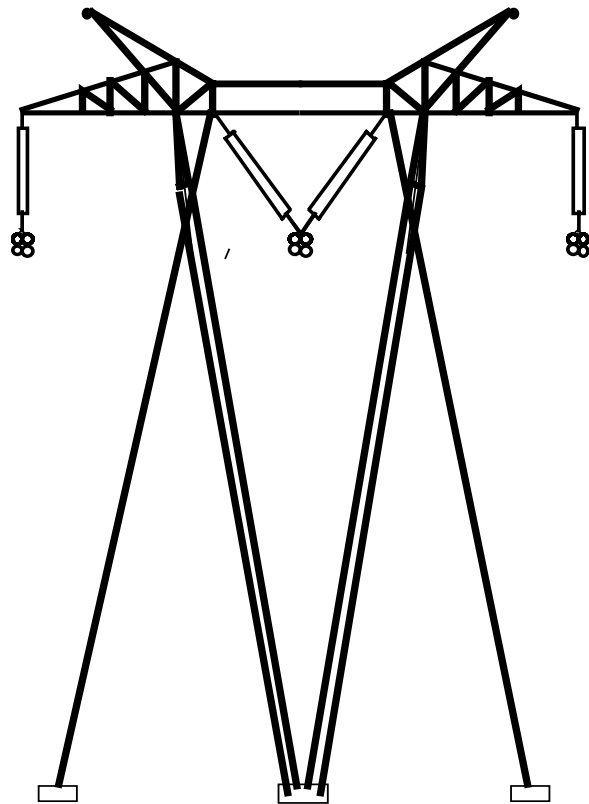
## Sistemas Especialistas:

Soluções baseadas na tecnologia da informação (microprocessadores) podendo desempenhar papel ativo no sistema ou apenas servir a uma plataforma de aquisição de dados e monitoramento.

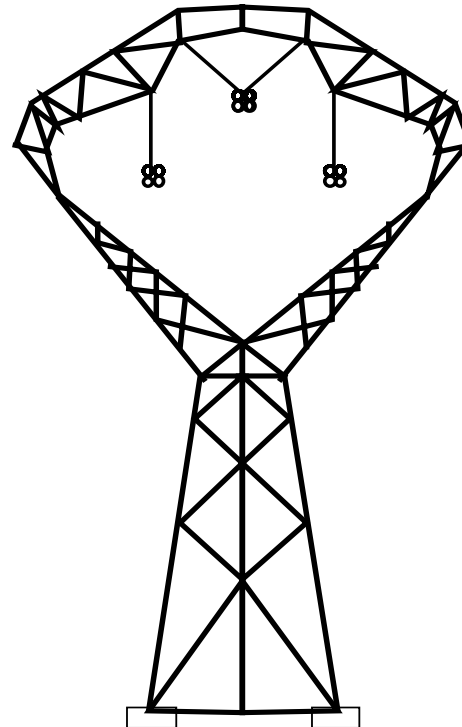
- Esquemas Especiais de Proteção
- EMS – Sistemas de Gerenciamento de Energia
- Sistemas Integrados de Monitoramento
- Sistemas de Medição Fasorial

**FOCO: Aumento da Observabilidade e Controlabilidade do Sistema de Transmissão**

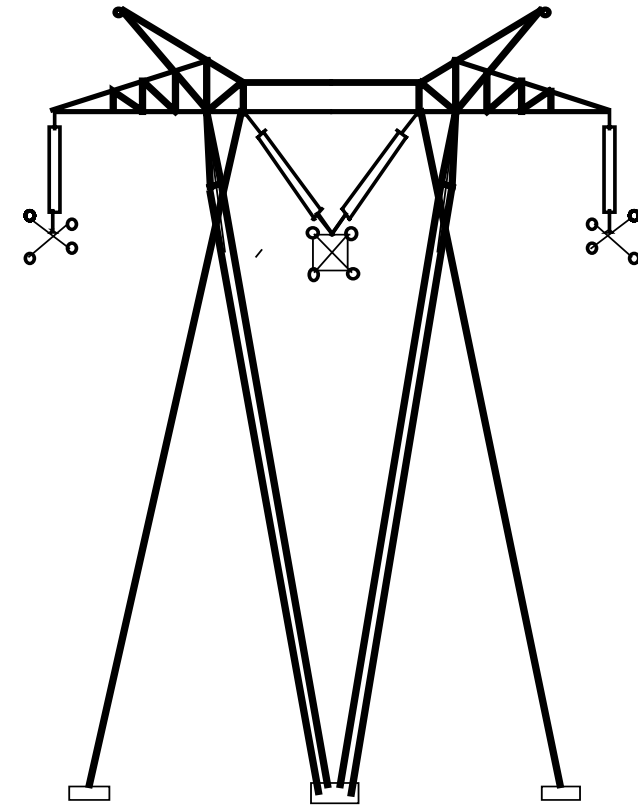
## Transmissão & Distribuição



Regular  
SIL- 900 to 1000MW



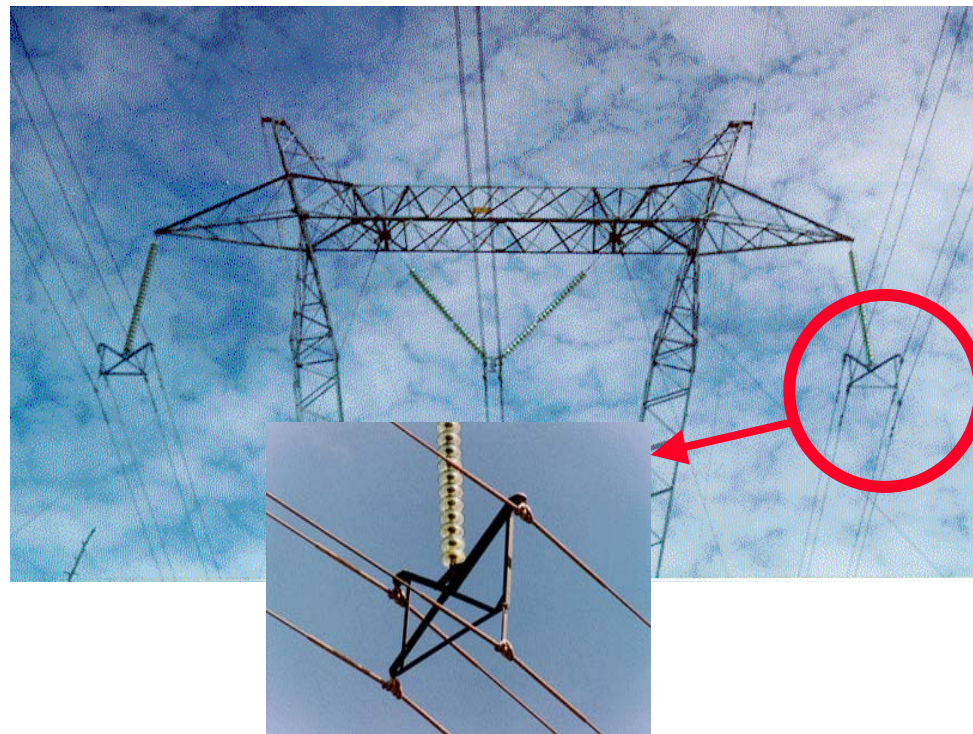
Compact  
SIL- 1200MW



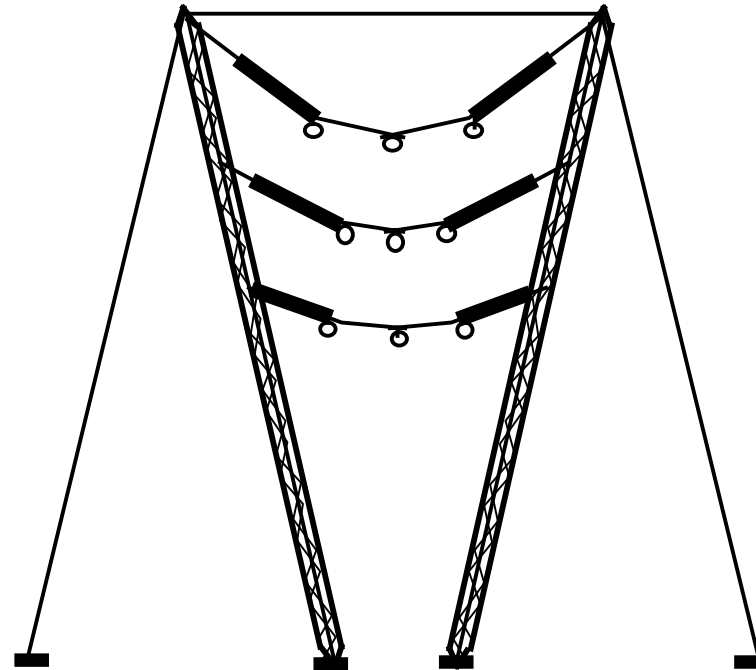
BEX  
SIL- 1200 to 1400MW

Transmissão & Distribuição

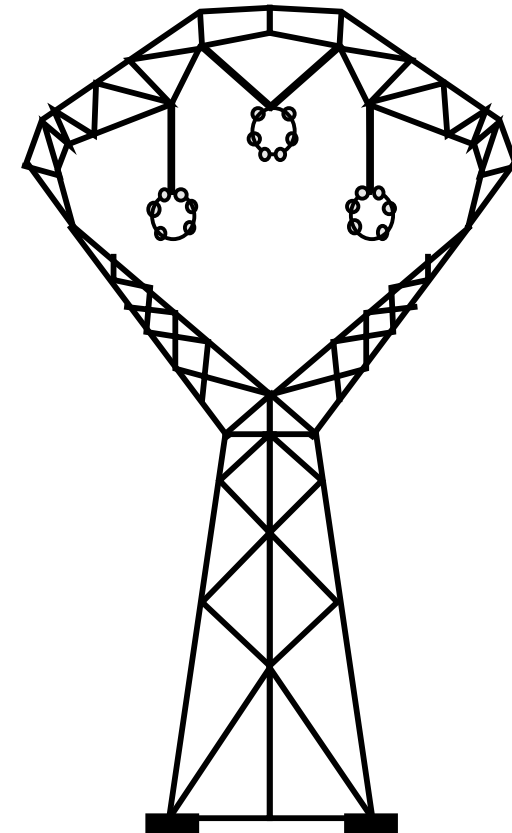
## LPNE – FEIXE EXPANDIDO



## Transmissão & Distribuição



230kV HSIL design conception  
SIL up to 360 MW  
(regular design SIL-130MW)



500kV HSIL  
design conception  
SIL up to 2000 MW



## FACTS (Flexible AC Transmission Systems)

### First concept:

Power Electronic based Devices with the objective of providing the AC Systems with more flexibility

### More recently (IEEE)

Power Electronic based Devices with the objective of providing the AC Systems with more flexibility **being also a source of ancillary services**

Transmissão & Distribuição

## FACTS

How to extend the concept

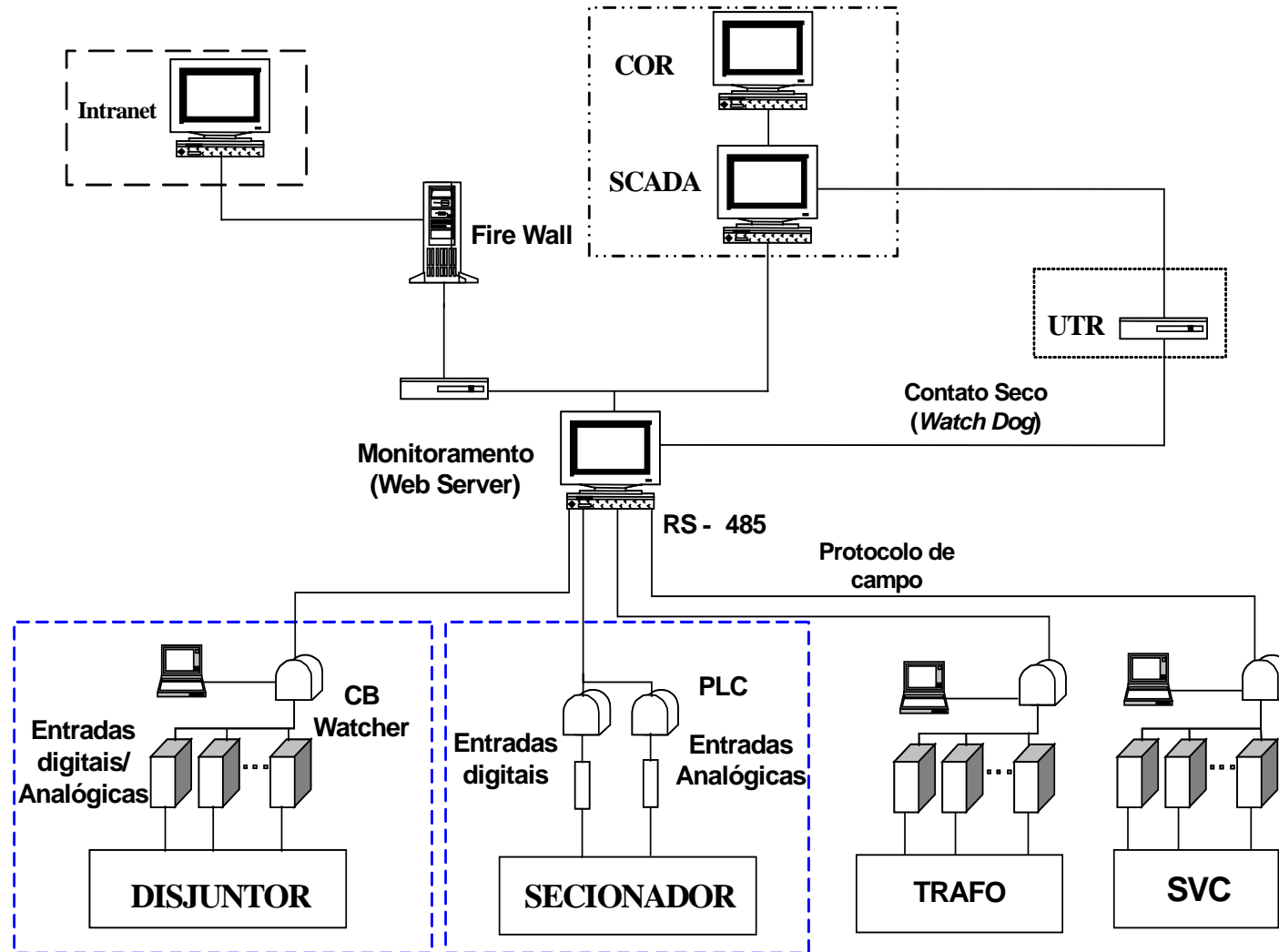
Focusing more the solution than the technology:

**Any cost effective proposal involving or not power electronics that can be rapidly implemented to solve specific problems of power systems and increase its efficiency.**



<b>FACTS DEVICES</b>	
<p>1.<sup>a</sup> <b>Generation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Switched Capacitors/Reactors</li> <li>• Series Compensation</li> </ul>
<p>2.<sup>a</sup> <b>Generation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SVC : Static Var Compensator</li> <li>• TCSC : Thyristor Controlled Series Capacitor</li> <li>• TCVR : Thyristor Controlled Voltage Regulator</li> <li>• TCPAR: Thyristor Controlled Phase Angle Regulator</li> </ul>
<p>3.<sup>a</sup> <b>Generation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• STATCOM : Static Compensator</li> <li>• SSSC : Static Synchronous Series Compensator</li> </ul>
<p>4.<sup>a</sup> <b>Generation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UPFC : Unified Power Flow Controller</li> <li>• IPFC : Interline Power Flow Controller</li> </ul>

## Transmissão & Distribuição



Transmissão & Distribuição

## ❑ Preconceito

**Tecnologia para países ricos, fora da nossa realidade**

## ❑ Conceito

**Toda nova tecnologia, qualquer que seja seu campo de aplicação, nasce justamente para promover a redução de custos através da otimização de processos existentes ou da substituição destes por outros mais eficientes**

**São justamente os países em desenvolvimento quem mais podem se beneficiar da aplicação de novas tecnologias.**

Transmissão & Distribuição

- **O que significa aumentar a eficiência de um sistema de transmissão**

**Significa aumentar a capacidade de transmissão sem comprometer a confiabilidade, preferencialmente aumentando também a confiabilidade, obedecendo uma relação benefício/custo atrativa**

Transmissão & Distribuição

## 1 - Colapso de Tensão

## 2 – Oscilações Eletromecânicas

**São estes os dois fenômenos que, em última análise, limitam os sistemas de transmissão e provocam colapso generalizado do sistema de potência (blackouts)**

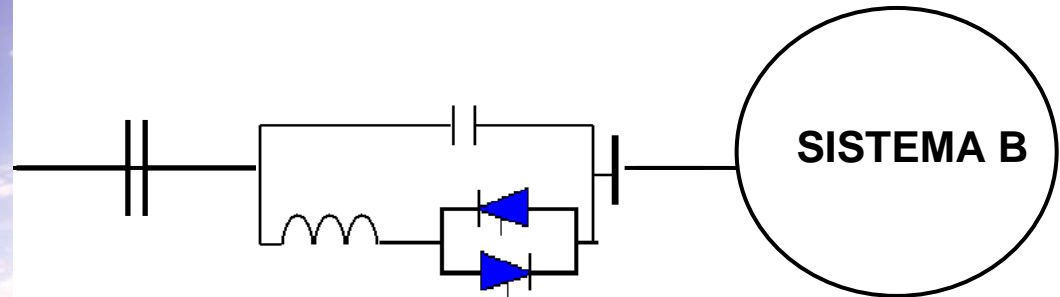
Transmissão & Distribuição

1000 km - 500 kV

Linhas Longas > baixo sincronismo  
(colapso de tensão)

Interligação de Sistemas > Oscilações de  
baixa frequência

SIL = 1300 MVA



SIL 850      CT = ZERO

SIL 1300      CT = 200 MW

SIL 1300 + FSC      CT = 500 MW

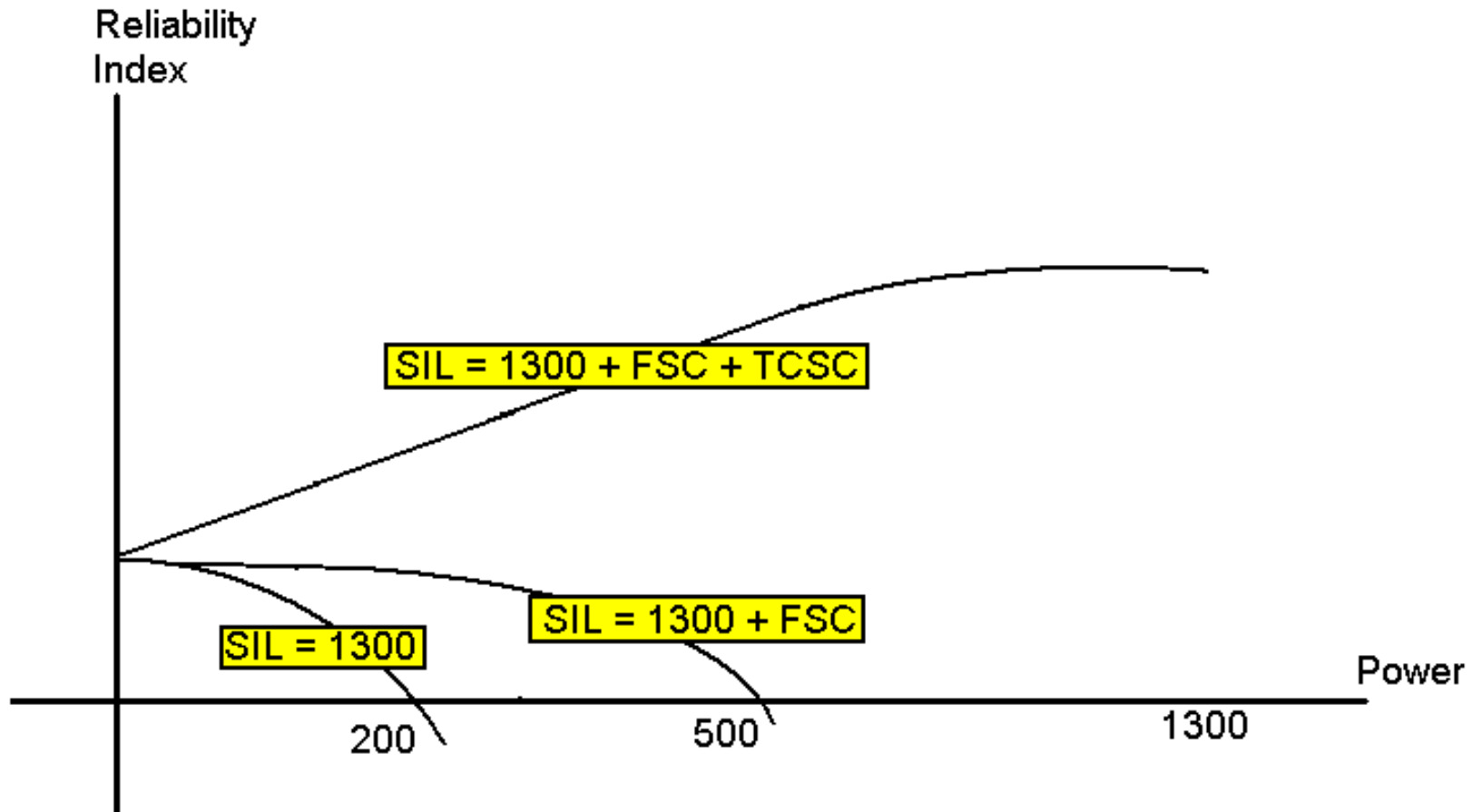
SIL 1300 + FSC+TCSC      CT = 1300 MW

**CT = CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO**



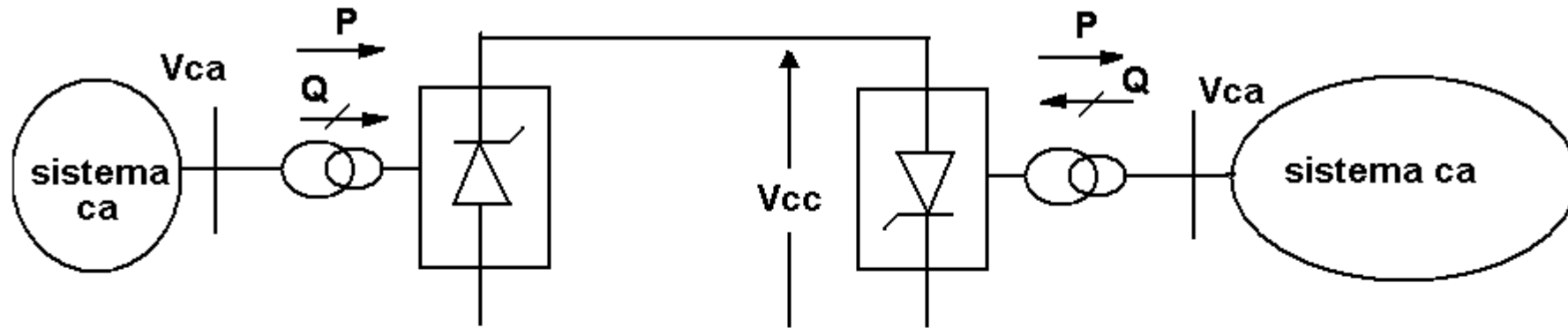
# Improving Transmission Systems (TS)

Transmissão & Distribuição



# Interligando Sistemas com HVDC

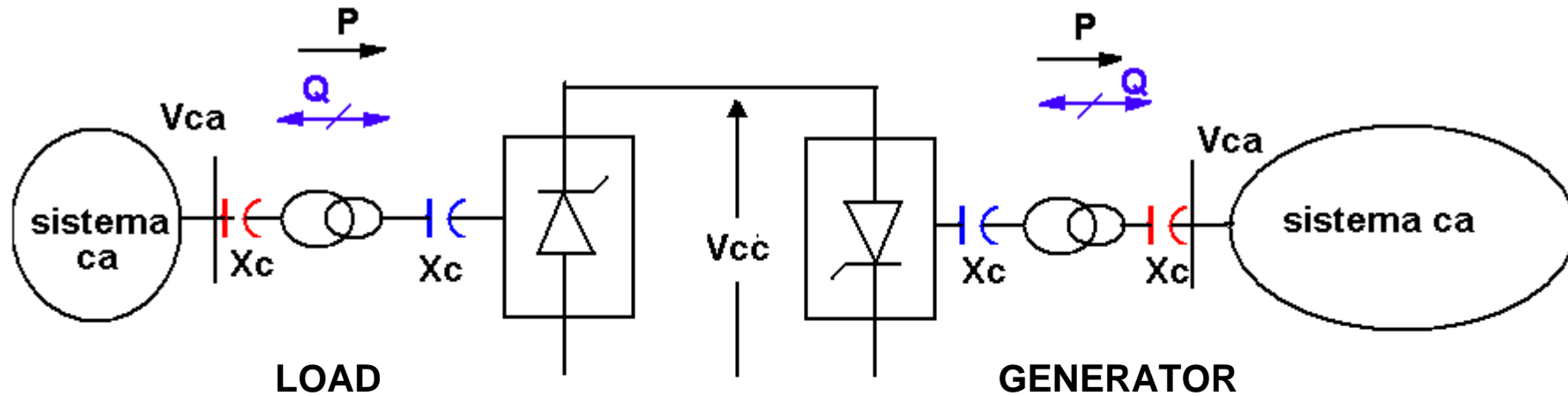
Transmissão & Distribuição





- 1 - HVDC combinado com Compensação Série (solução para Colapso de Tensão)**
- 2 – VSC – Voltage Sourced Converters (interligação de redes com baixa potência de curto-circuito)**

# HVDC with Series Compensation



$$P = P_{ordem} = \text{cte.}$$

$$I_{ordem} = \frac{P_{ordem}}{V_{cc}}$$

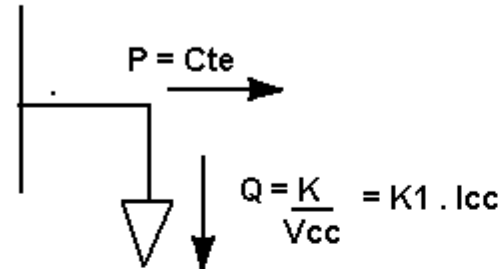
$$Q = K3.Xc.(I_{cc})^2 - K1.I_{cc}$$



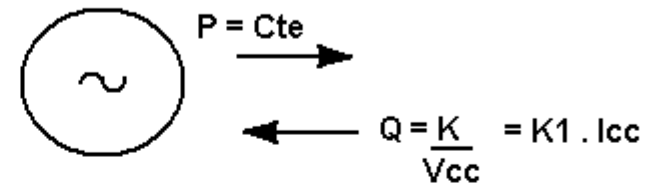
Parte A)

HVDC CONVENCIONAL

Retificador



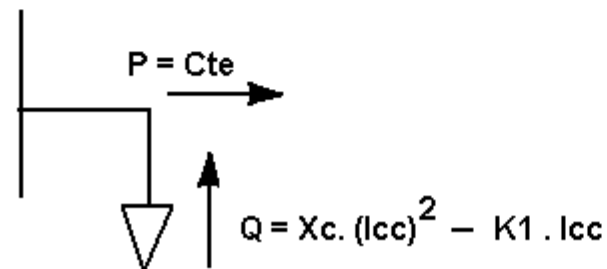
Inversor



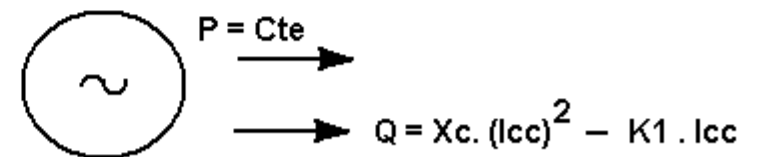
Parte B)

HVDC CCC

Retificador



Inversor



## Como estudar e comparar Alternativas

**Quem planeja Sistemas de Transmissão precisa cada vez mais ter um amplo e sólido conhecimento de:**

- 1 - Dinâmica de Sistemas de Potência**
- 2 - Controle de Sistemas de Potência**
- 3 - Equipamentos**

**A interação com os Provedores de Tecnologia é  
ESSENCIAL**

Transmissão & Distribuição

## Contribuição da Indústria (Fabricantes)

“Ser parte da solução”

**Como modelar corretamente um novo Equipamento**

**Como estudar uma aplicação**

**Como prover informações confiáveis sobre custos**

## Comparando Alternativas

**O essencial é determinar a eficiência das Alternativas possíveis em termos de R\$/MW, ou seja, qual o investimento necessário para se aumentar a capacidade de transmissão em 1 MW.**

**De posse deste custo marginal de incremento da capacidade de transmissão e do impacto na confiabilidade do sistema é que se pode proceder a uma comparação justa de Alternativas**



Transmissão & Distribuição

## Qual a melhor filosofia: uma ET funcional ou uma bem detalhada?

- ❖ Saber o que se quer comprar
- ❖ Saber transmitir isto de forma clara e objetiva aos Fabricantes

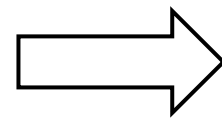
Aqui não existem GENÉRICOS, nem Antibióticos de Amplo Espectro e nem equipamentos “ultra secretos”

As soluções viáveis para um determinado problema são exaustivamente analisadas e consolidadas em fóruns abertos de discussão como o IEEE e CIGRÉ, com a participação dos Fabricantes, Transmissores, Consultores e Universidades.

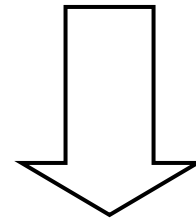
## Novo Modelo da Transmissão

❖ Transmissor Remunerado em Função da Disponibilidade

❖ Parcela Variável

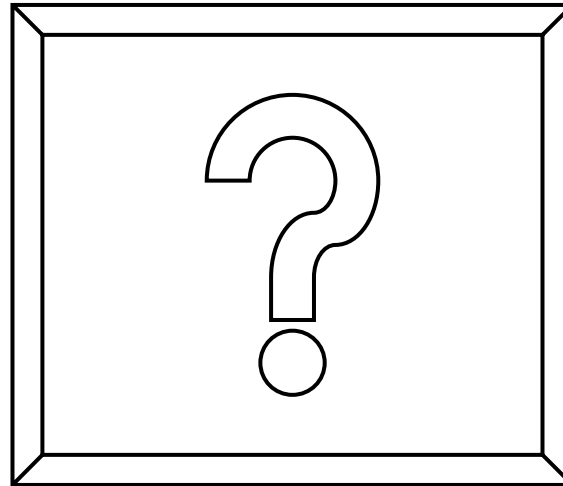


**INVESTIDOR PROCURA MINIMIZAR RISCOS  
OPTANDO POR SOLUÇÕES TRADICIONAIS**

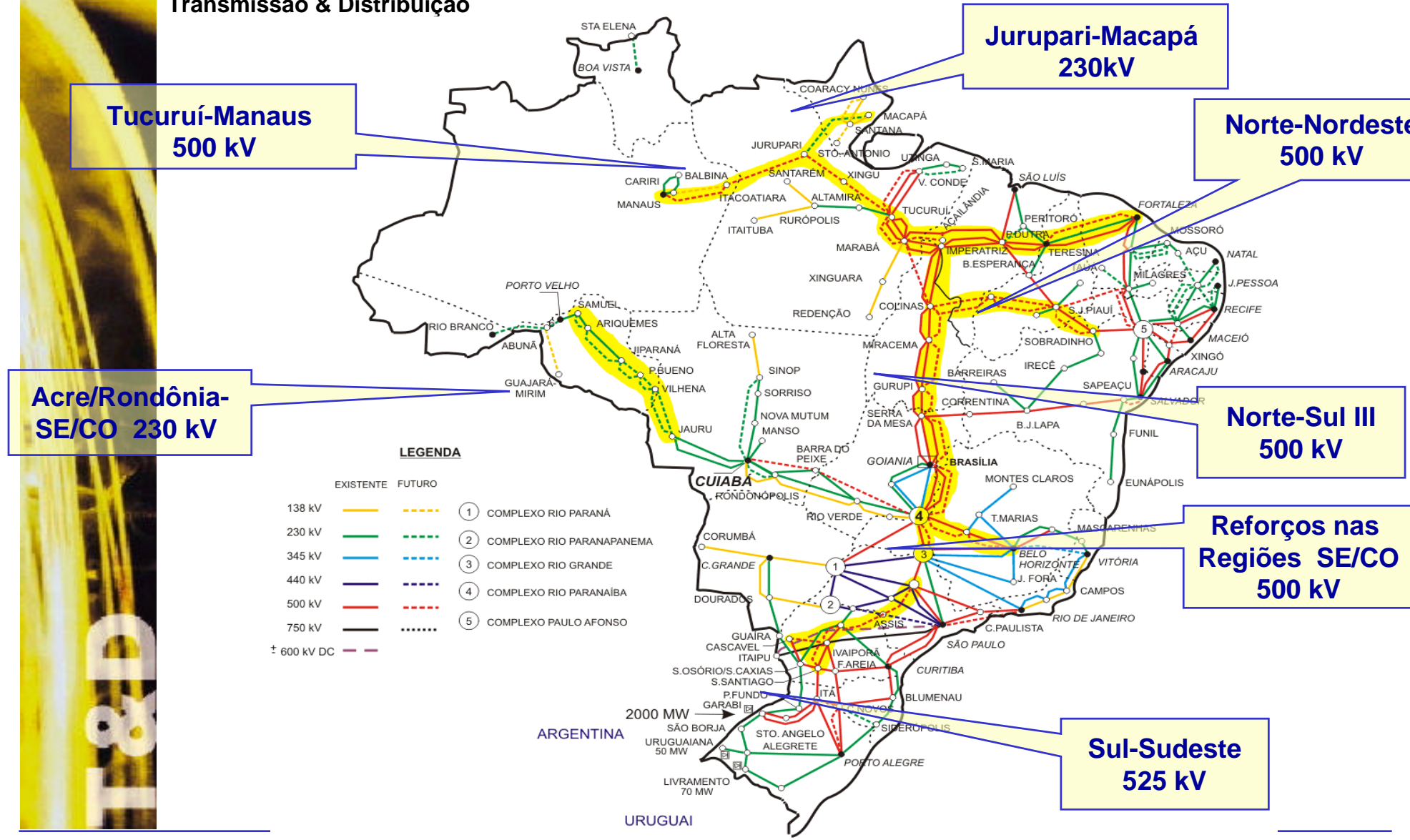


**NÃO HÁ INCENTIVO À APLICAÇÃO DE NOVAS  
TECNOLOGIAS**

## Transmissão & Distribuição



## Transmissão & Distribuição



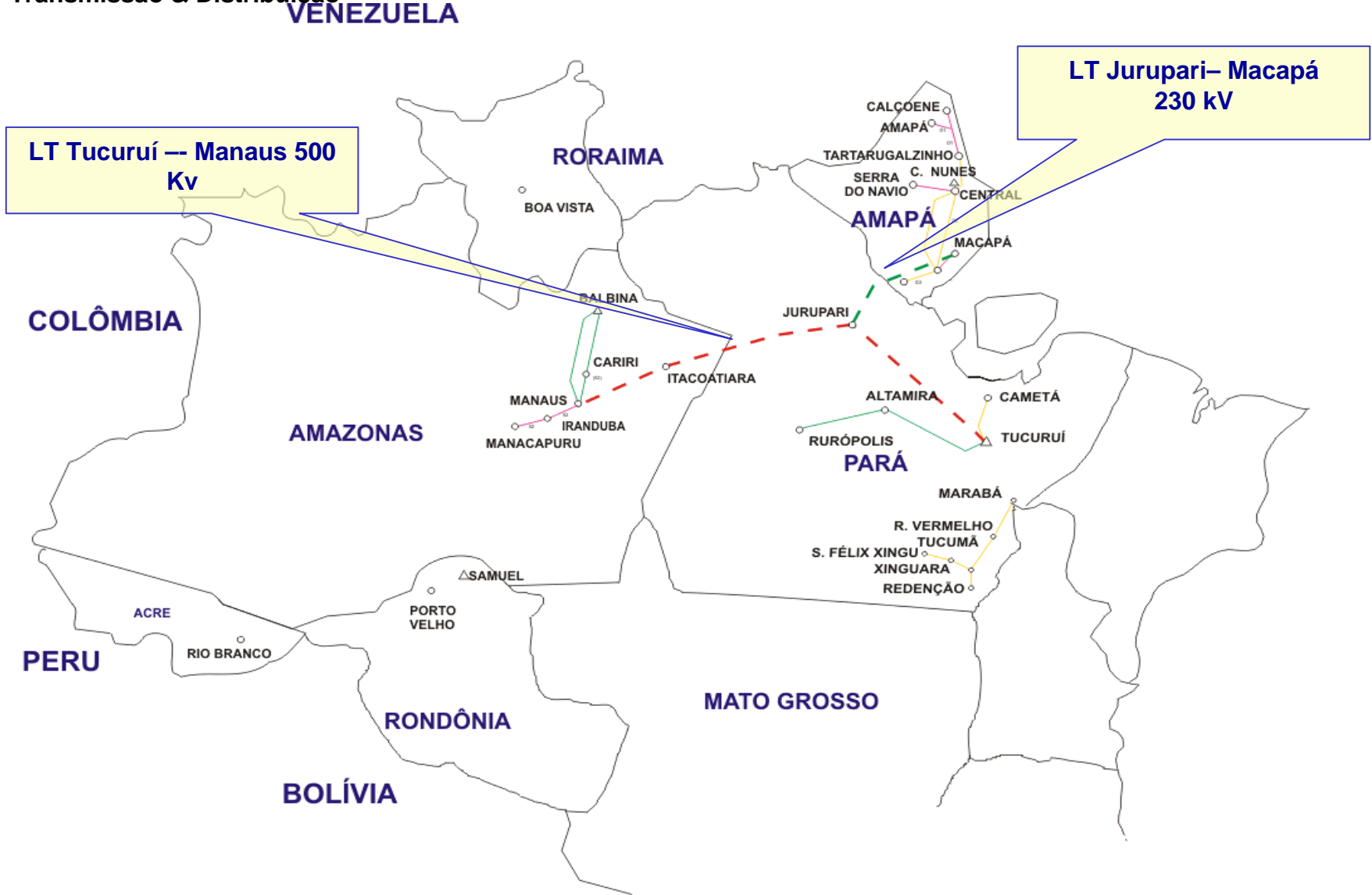
## FUTURO – GRANDES PROJETOS DE TRANSMISSÃO

- ❑ INTERLIGAÇÃO TUCURUI – MANAUS
- ❑ SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE BELO MONTE
- ❑ SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MADEIRA

# INTERLIGAÇÃO TUCURUI – MANAUS 500 KV - 2500 MW - 1600 km

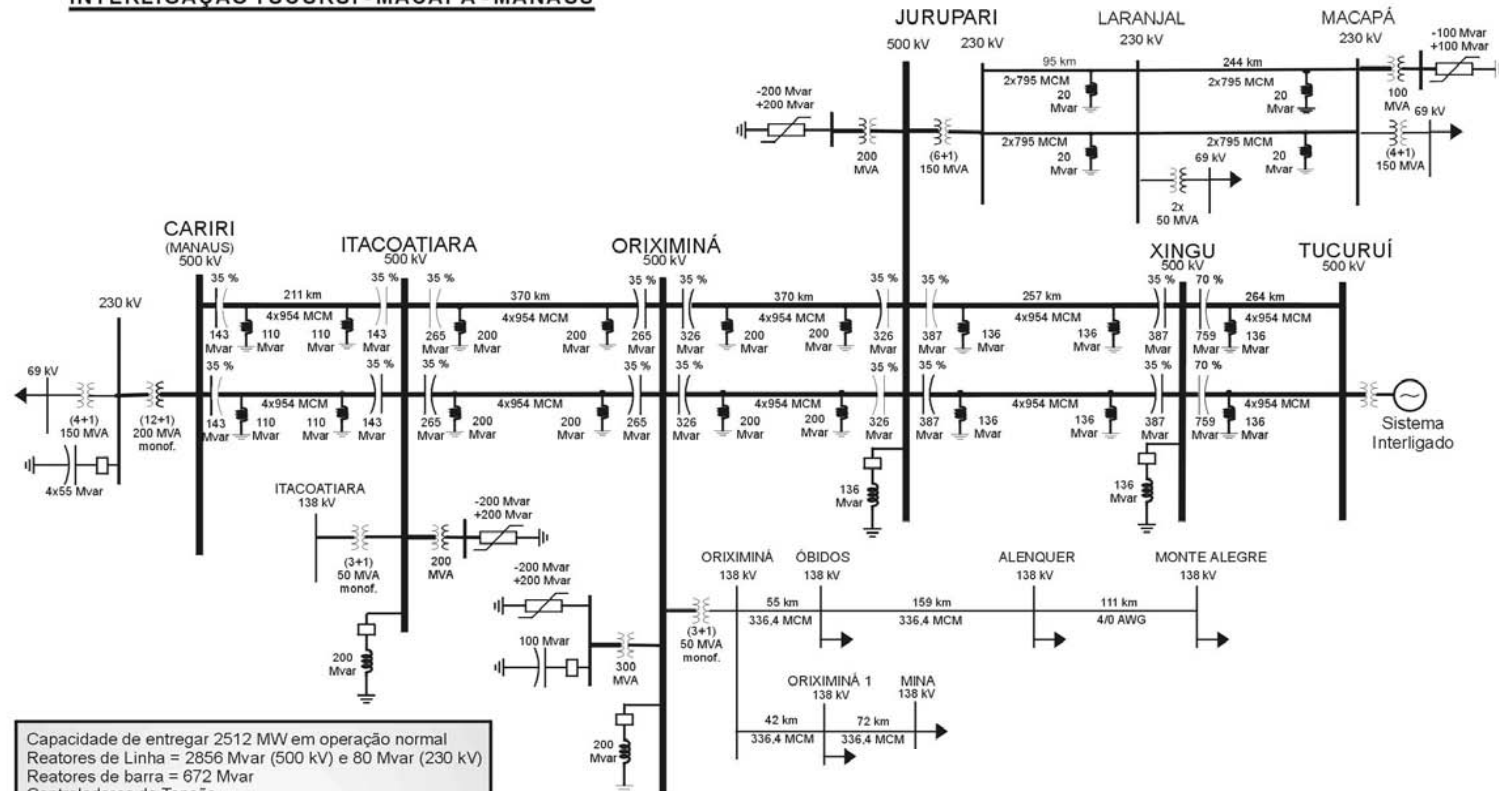


Transmissão & Distribuição



## Transmissão & Distribuição

### INTERLIGAÇÃO TUCURUI - MACAPA - MANAUS



Capacidade de entregar 2512 MW em operação normal  
 Reatores de Linha = 2856 Mvar (500 kV) e 80 Mvar (230 kV)  
 Reatores de barra = 672 Mvar  
 Controladores de Tensão  
 -200/+200 Mvar, em Itacoatiara  
 -200/+200 Mvar, 100 Mvar em Oriximiná  
 -200/+200 Mvar, em Jurupari  
 -100/+100 Mvar, em Macapá  
 Compensação Série: 6002 Mvar (500 kV)  
 Transformadores = 2950 MVA  
 Comprimento total das linhas = 1472 km (500 kV)  
 339 km (230 kV)  
 Perdas Totais = xxx MW médios, xxx%

# 500 kV - 2500 MW - 1600 Km

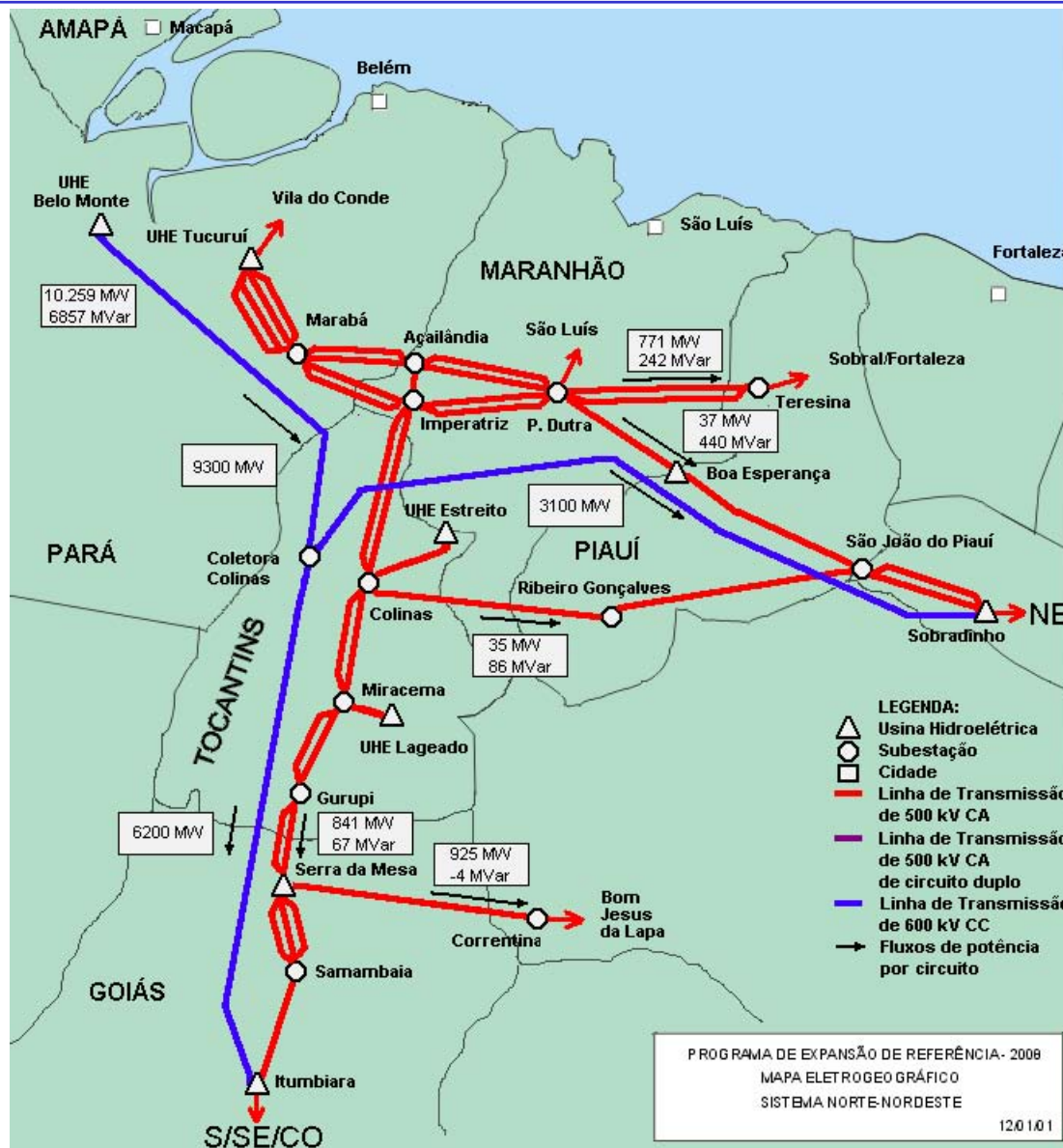




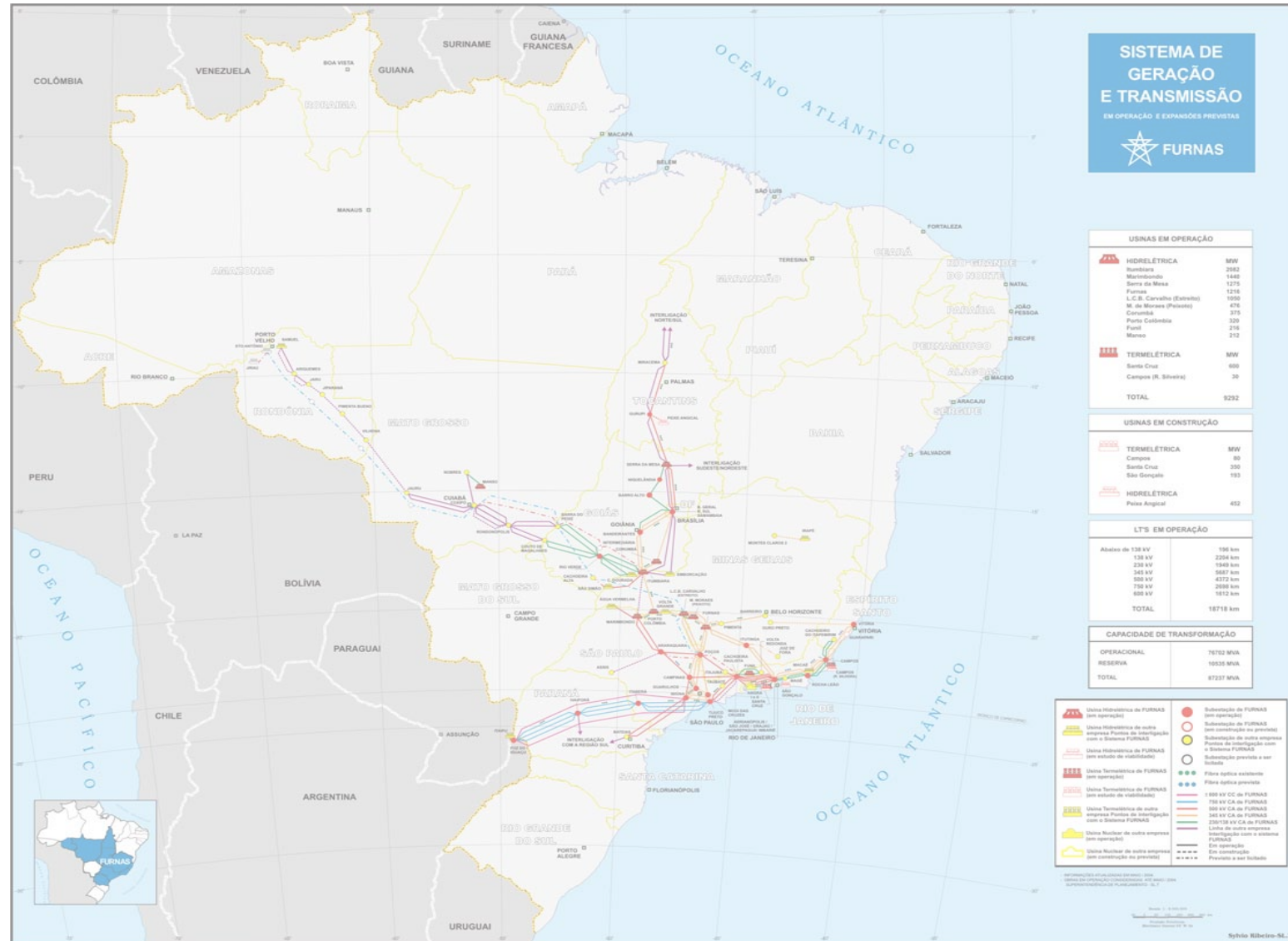
# Sistema em 600 kV HVDC para Sobradinho e Itumbiara

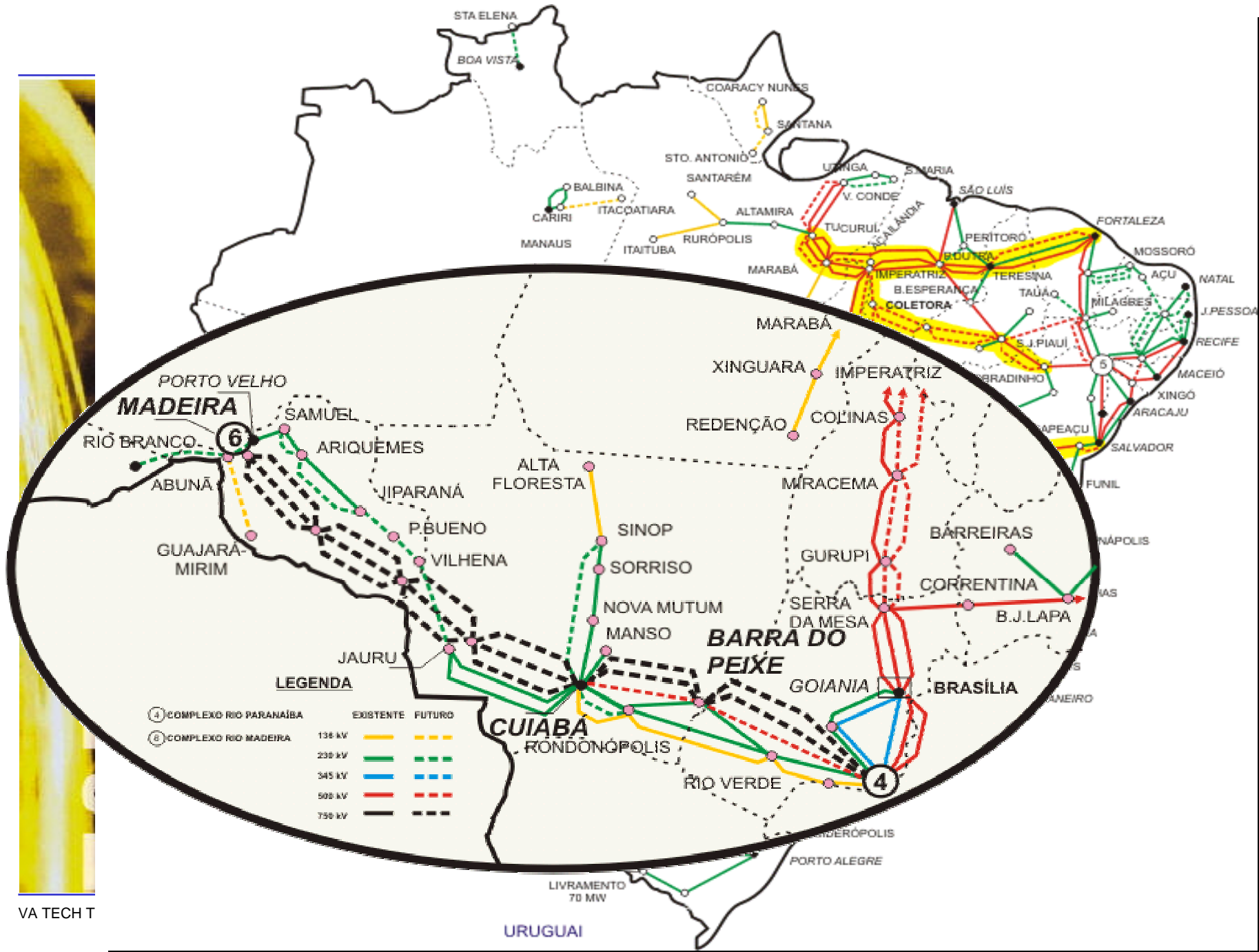


## Transmissão & Distribuição



# Transmissão & Distribuição



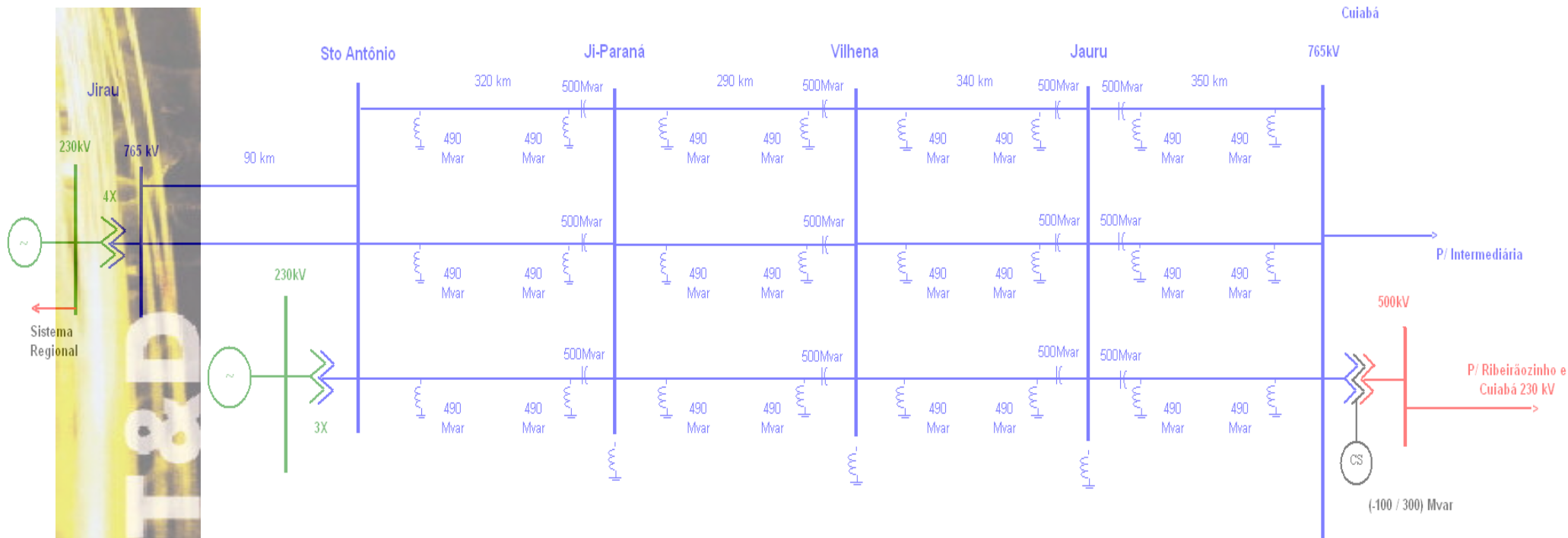


Transmissão & Distribuição

*ESTUDOS DE VIABILIDADE (em andamento)*

**Diagrama Unifilar Esquemático**

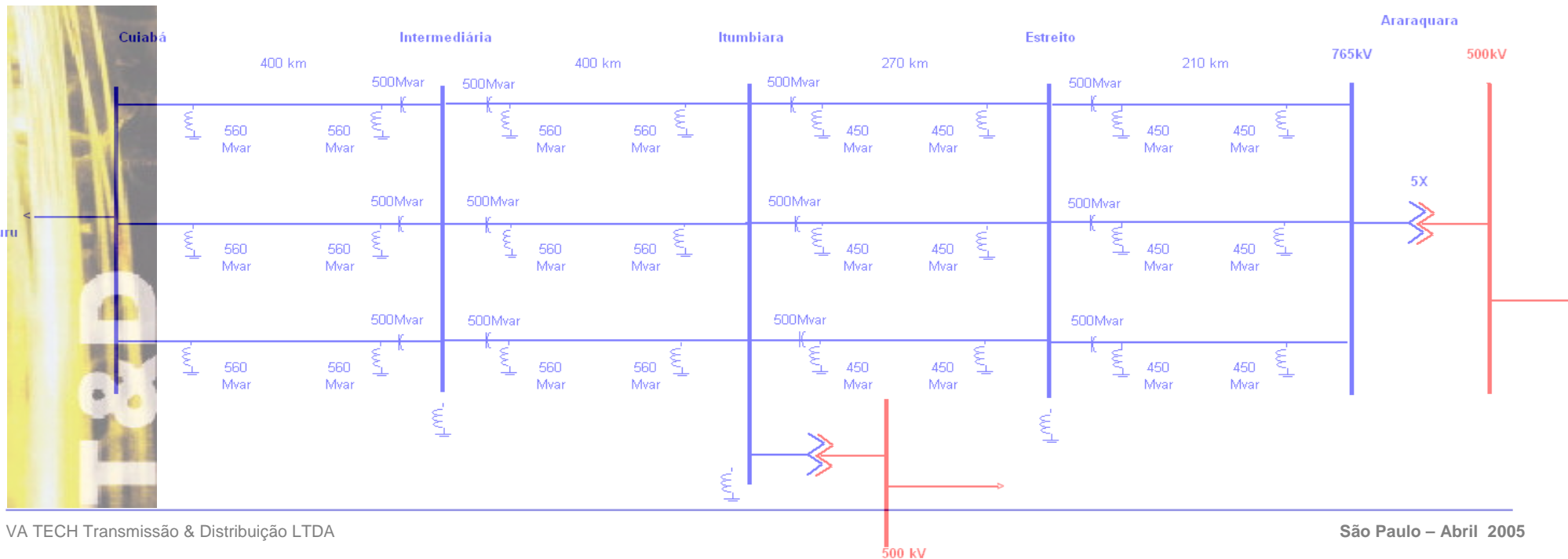
**Corrente Alternada 765 kV – trecho usinas / Cuiabá**



## ESTUDOS DE VIABILIDADE (em andamento)

### Diagrama Unifilar Esquemático

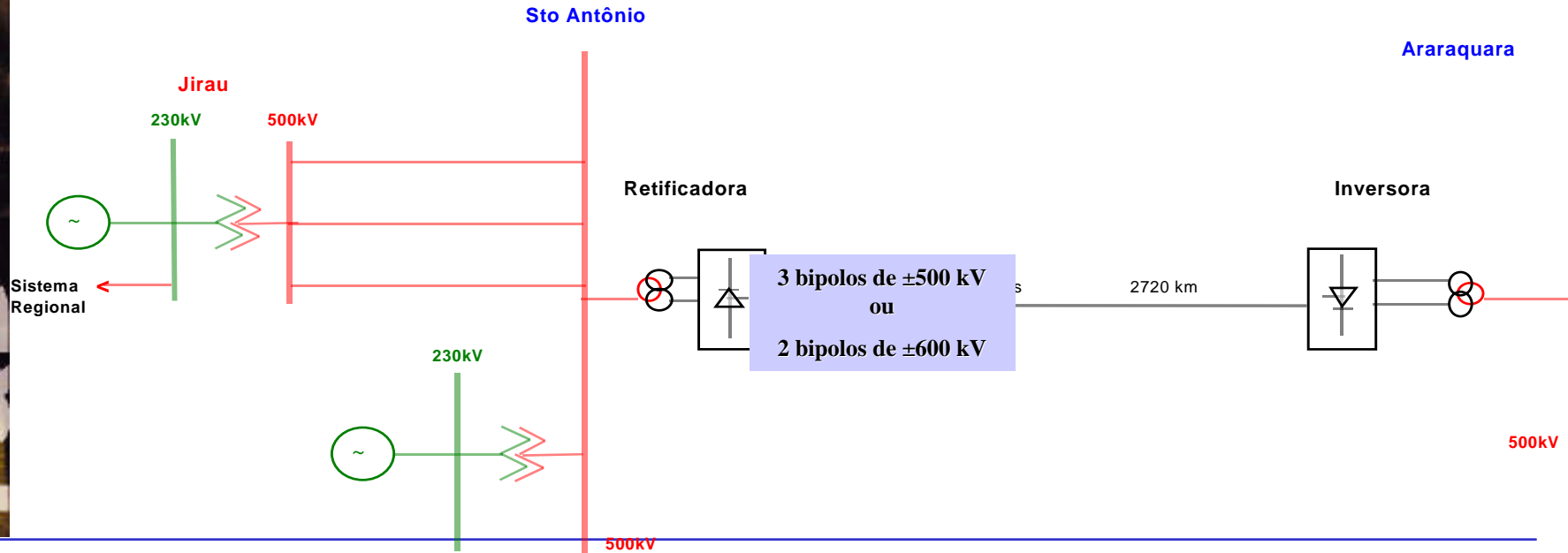
### Corrente Alternada 765 kV – trecho Cuiabá/Araraquara



# *ESTUDOS DE VIABILIDADE (em andamento)*

## Diagrama Unifilar Esquemático

### Corrente Contínua $\pm 500$ kV



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ❑ Existe uma enorme gama de Novas Tecnologias disponíveis e que podem aumentar consideravelmente a eficiência dos sistemas de transmissão.
- ❑ A aplicação de Novas Tecnologias exige uma sólida “expertise” de quem planeja e opera os sistemas de transmissão. A interação com os Fabricantes é essencial para o sucesso das implementações
- ❑ Ainda falta no Modelo da Transmissão um vetor de incentivo à aplicação de Novas Tecnologias

**NOVAS TECNOLOGIAS REDUZEM CUSTOS**

Transmissão & Distribuição

**“NÃO ANDE SEMPRE PELO CAMINHO TRAÇADO, POIS ELE  
CONDUZ SOMENTE ATÉ ONDE OS OUTROS JÁ FORAM”**

**“Alexandre Graham Bell”**

**OBRIGADO PELA ATENÇÃO !!!!!**



Transmissão & Distribuição

## Qual a melhor filosofia: uma ET funcional ou uma bem detalhada?

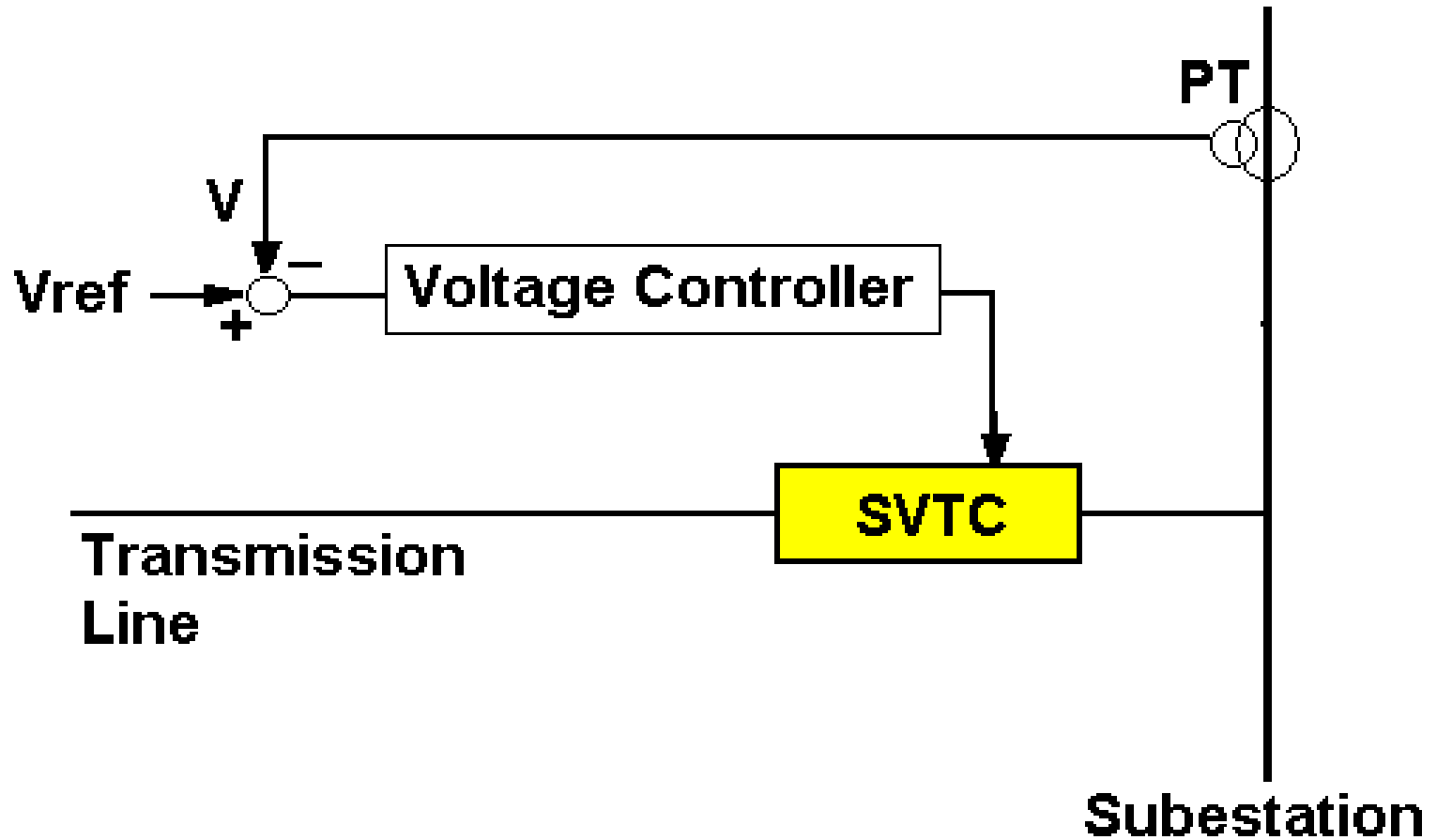
- ❖ Saber o que se quer comprar
- ❖ Saber transmitir isto de forma clara e objetiva aos Fabricantes

Aqui não existem GENÉRICOS, nem Antibióticos de Amplo Espectro e nem equipamentos “ultra secretos”

As soluções viáveis para um determinado problema são exaustivamente analisadas e consolidadas em fóruns abertos de discussão como o IEEE e CIGRÉ, com a participação dos Fabricantes, Transmissores, Consultores e Universidades.

# Series Voltage Controller (SVTC)

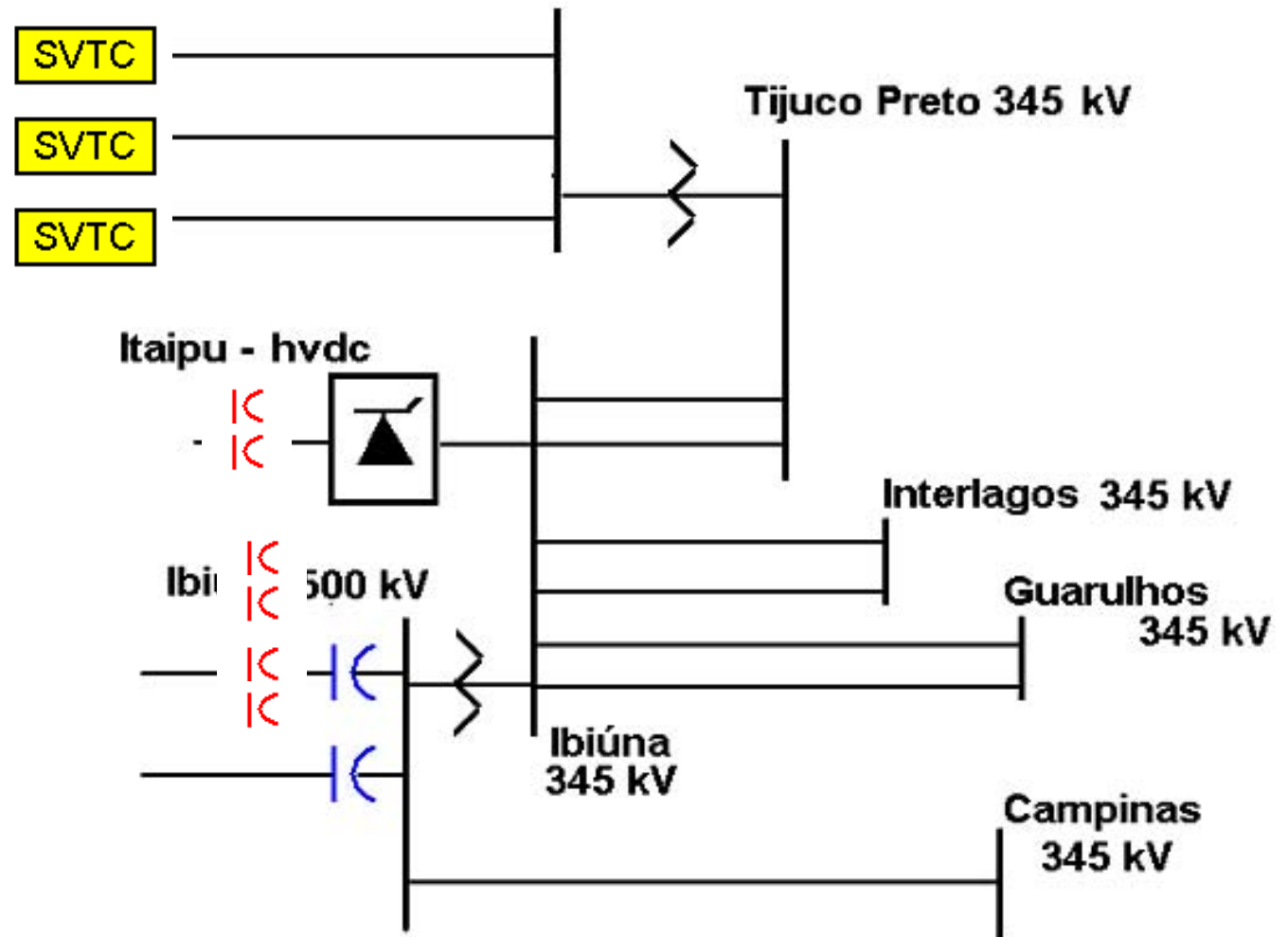
Transmissão & Distribuição





Transmissão & Distribuição

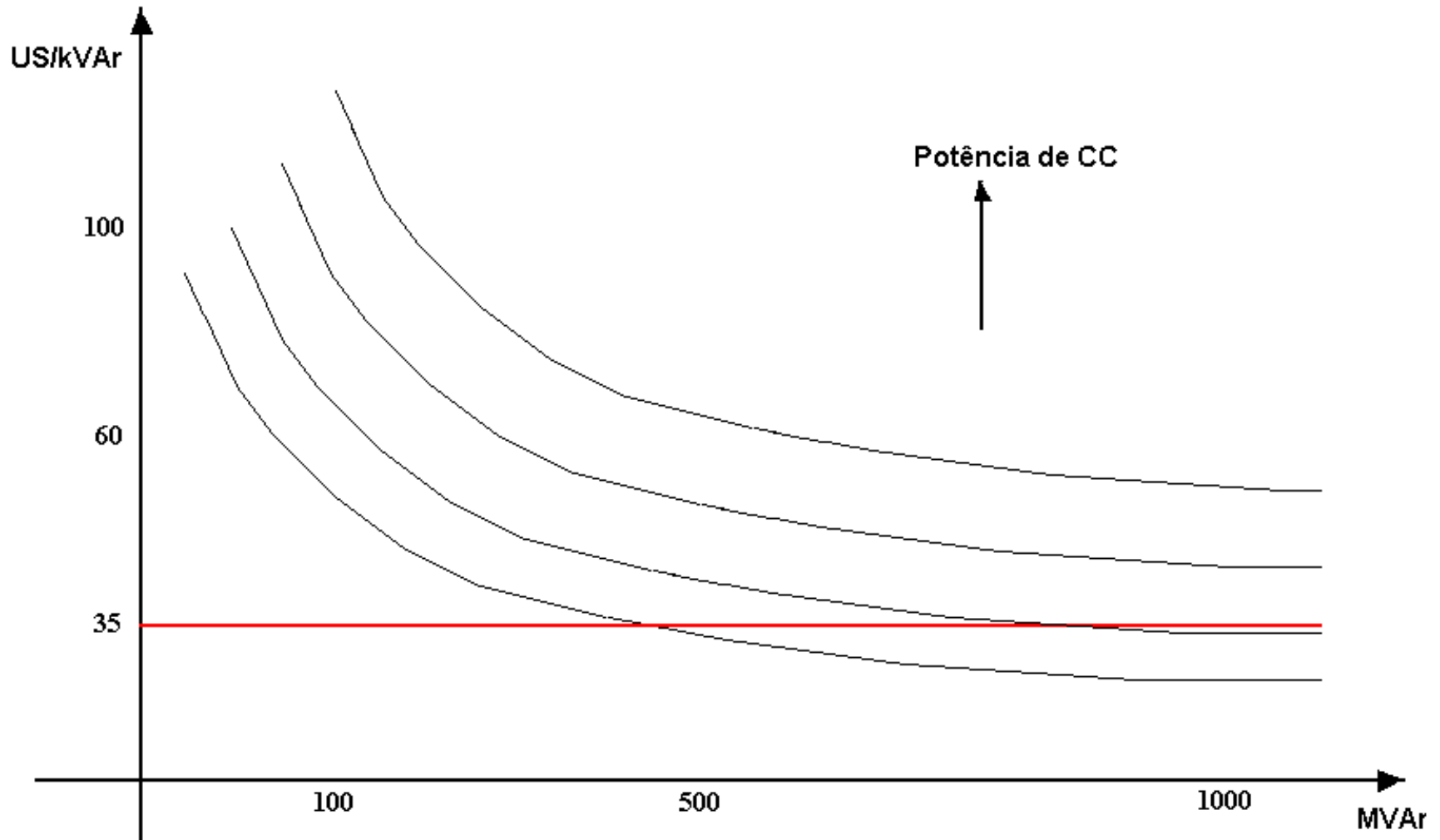
## Tijuco Preto 765 kV



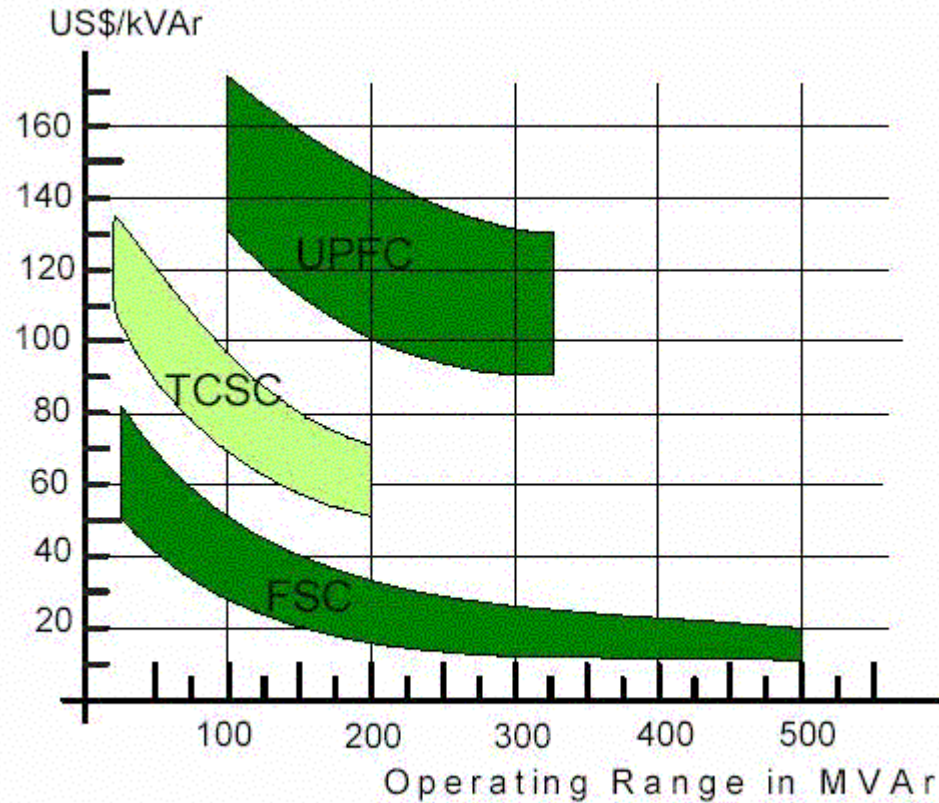
# Series Compensation – Costs Figures



Transmissão & Distribuição



## Market prices – series devices



Source: Siemens AG Database

Transmissão & Distribuição

## Market prices – shunt devices

