



Estrutura do Sistema Elétrico de Potência

Geração – Transmissão – Distribuição – Utilização

Helon David de Macêdo Braz
helon@cear.ufpb.br

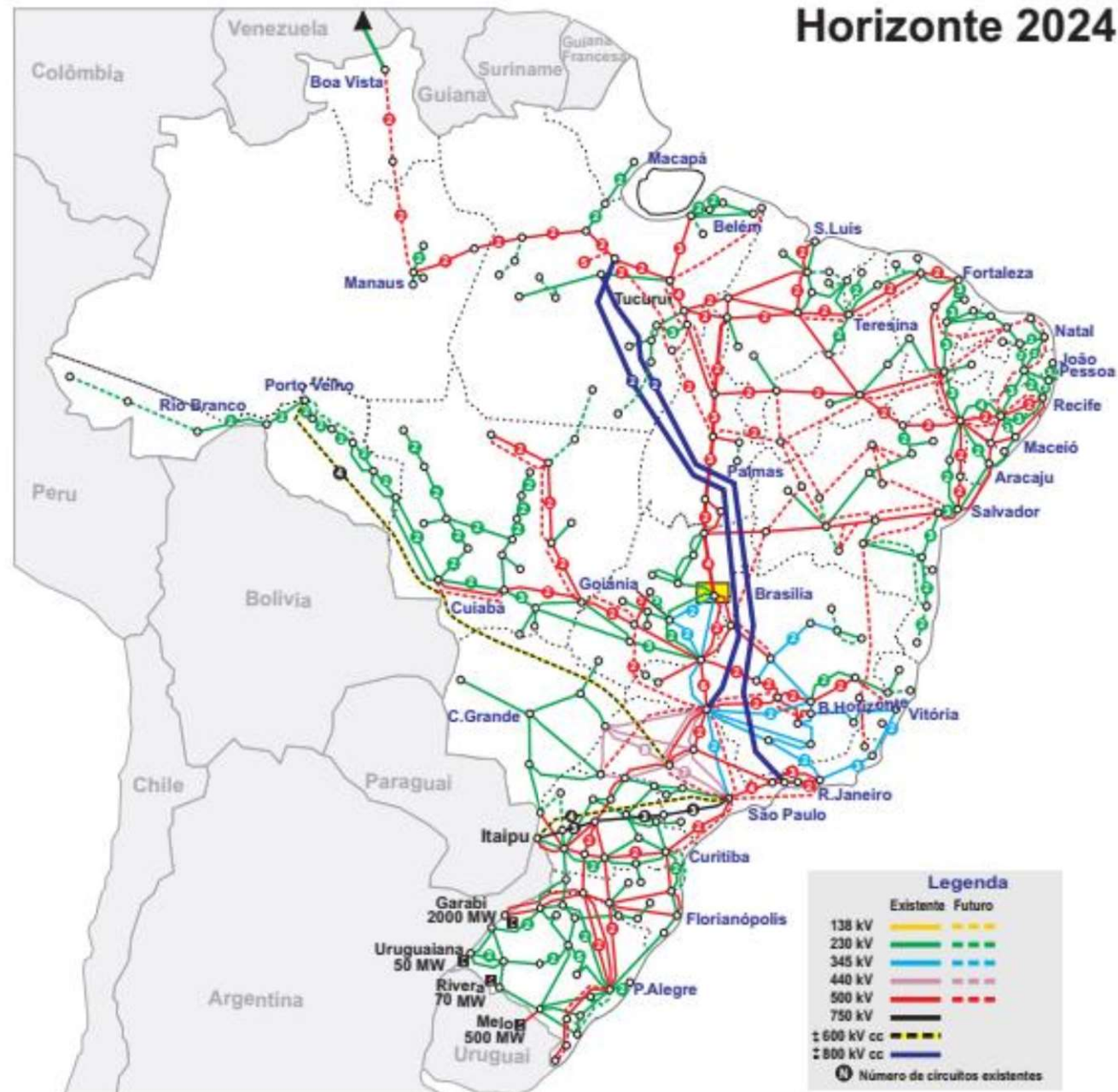


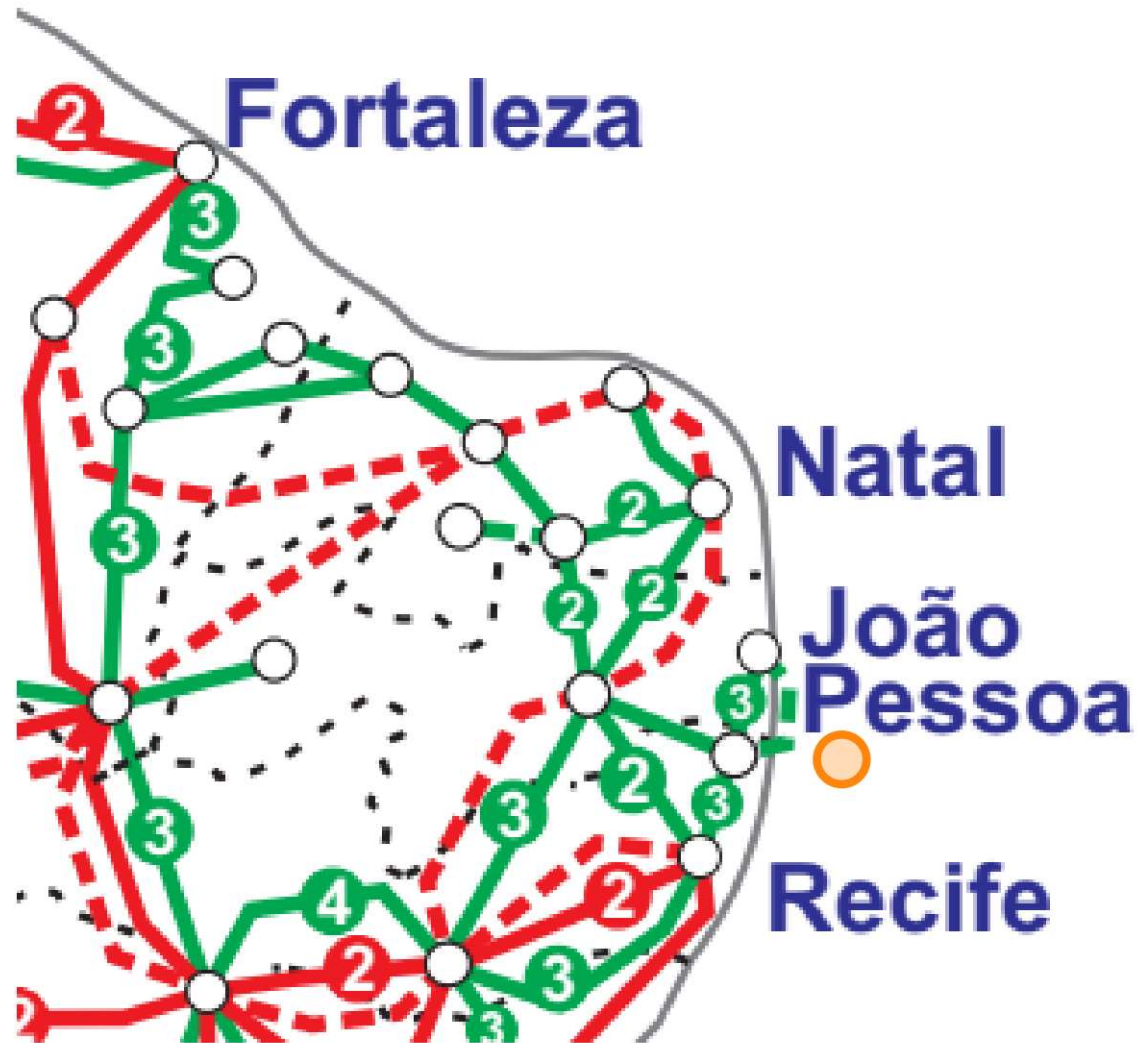
Antes de falar na estrutura dos Sistemas Elétricos de Potência (SEPs), uma série de questionamentos podem ser feitos:

- O que são SEPs?
- Qual é o seu propósito?
- Como funcionam?
- Quem opera o sistema 24x7?
- Quem planeja as expansões?
- Quem executa as expansões?
- As técnicas estudadas em Circuitos Elétricos valem para SEPs?
- O que mais?

Nosso interesse aqui é apresentar os SEPs de forma geral...

Estrutura do SEP: SIN

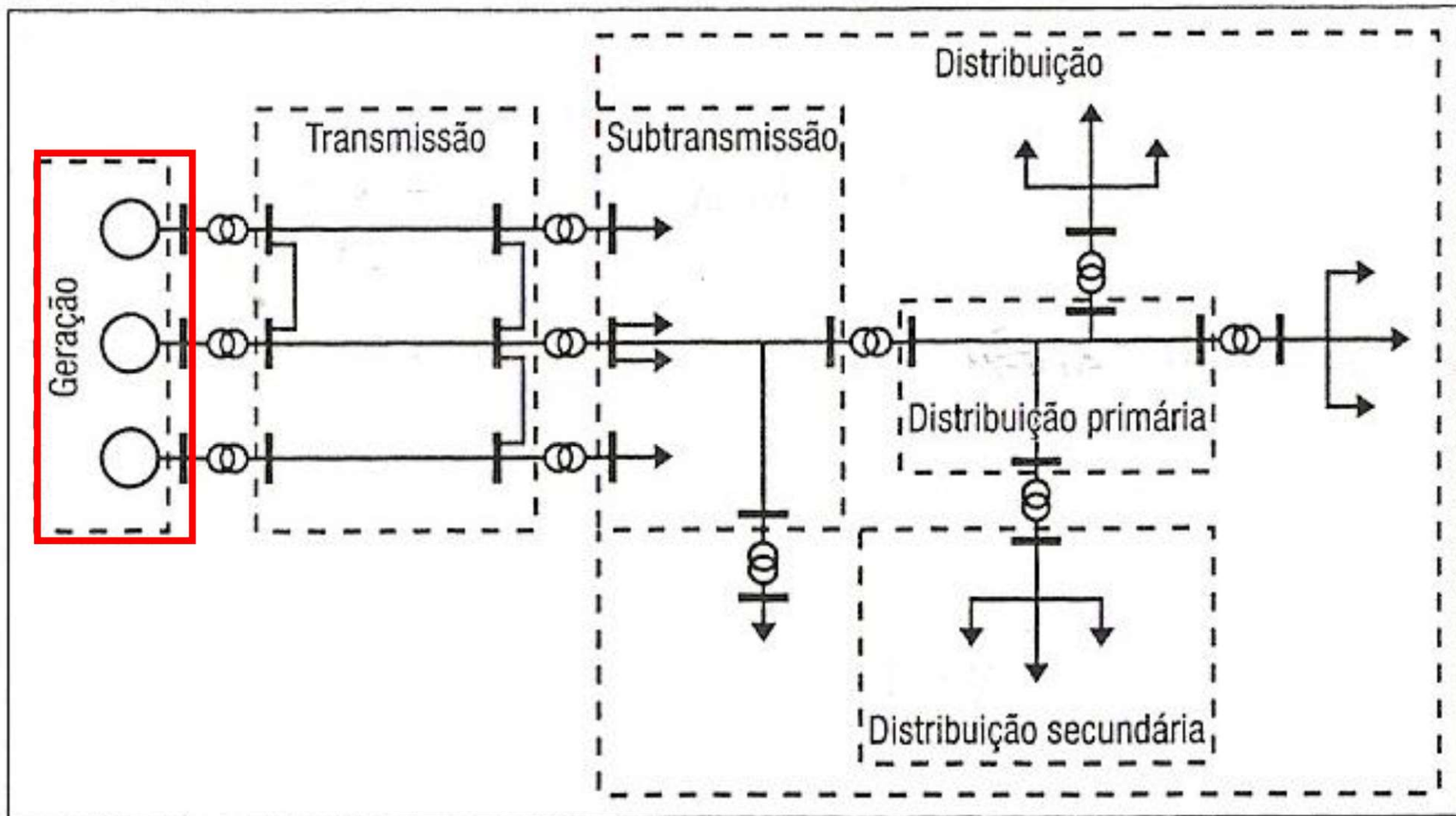




Para ver um mapa atualizado: <https://sig.ons.org.br/app/sinmaps/>



- Mas, qual é a estrutura do SEP (imagem do livro do Nelson Kagan)?





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Geração**

1. Não gera. Converte!
2. Topologia: Pontual.
3. Tensão: $V \leq 25 \text{ kV}$
4. Várias fontes: hidrelétricas, térmicas, eólicas, marés, etc...
5. Térmicas: óleo, gás, nuclear, solar, carvão, geo-térmica, bio-massa, etc...

Estrutura do SEP: Geração



COUNTRY COMPARISON :: ELECTRICITY - PRODUCTION



Electricity - production compares the annual electricity generated expressed in kilowatt-hours.

Filter by the Region:

All



RANK	COUNTRY	(KWH)	DATE OF INFORMATION
1	<u>CHINA</u>	5,883,000,000,000	2016 est.
2	<u>UNITED STATES</u>	4,095,000,000,000	2016 est.
3	<u>INDIA</u>	1,386,000,000,000	2016 est.
4	<u>RUSSIA</u>	1,031,000,000,000	2016 est.
5	<u>JAPAN</u>	989,300,000,000	2016 est.
6	<u>CANADA</u>	649,600,000,000	2016 est.
7	<u>GERMANY</u>	612,800,000,000	2016 est.
8	<u>BRAZIL</u>	567,900,000,000	2016 est.
9	<u>FRANCE</u>	529,100,000,000	2016 est.
10	<u>KOREA, SOUTH</u>	526,000,000,000	2016 est.

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/252rank.html>

10/09/2020

Estrutura do SEP: Geração



COUNTRY COMPARISON :: ELECTRICITY - CONSUMPTION



Electricity - consumption compares total electricity generated annually plus imports and minus exports, expressed in kilowatt-hours.

Filter by the Region:

All



RANK	COUNTRY	(KWH)	DATE OF INFORMATION
1	<u>CHINA</u>	5,564,000,000,000	2016 est.
2	<u>UNITED STATES</u>	3,902,000,000,000	2016 est.
3	<u>INDIA</u>	1,137,000,000,000	2016 est.
4	<u>JAPAN</u>	943,700,000,000	2016 est.
5	<u>RUSSIA</u>	909,600,000,000	2016 est.
6	<u>GERMANY</u>	536,500,000,000	2016 est.
7	<u>CANADA</u>	522,200,000,000	2016 est.
8	<u>BRAZIL</u>	509,100,000,000	2016 est.
9	<u>KOREA, SOUTH</u>	507,600,000,000	2016 est.
10	<u>FRANCE</u>	450,800,000,000	2016 est.

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/252rank.html>

10/09/2020

Estrutura do SEP: Geração



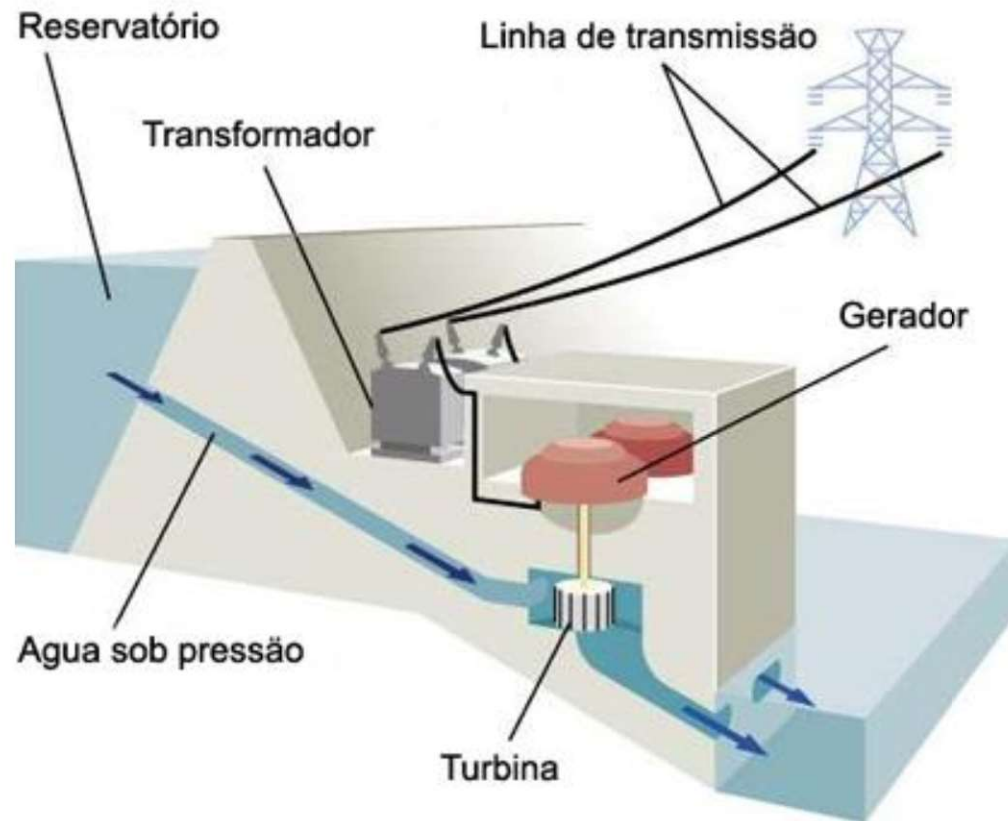
Top 25 Countries by Electricity Production (TWh)

Rank	Location	Total (TWh)	Coal	Gas	Hydro	Nuclear	Wind	Solar
—	World	30,853	10,587	6,796	4,419	2,765	2,497	2,131
1	China	10,073	5,860	303	1,354	445	992	834
2	United States	4,387	653	1,865	236	782	453	303
3	India	2,058	1,534	57	156	54	82	134
4	Russia	1,221	225	538	210	216	6	3
5	Japan	1,022	326	347	78	85	11	102
6	Brazil	745	16	48	415	16	108	75
7	Canada	633	25	93	364	89	39	8
8	South Korea	618	205	169	4	180	3	29
9	France	518	2	30	57	338	49	22
10	Germany	497	125	78	20	7	137	61

Consulta em 06/09/2026: <https://www.globalelectricity.org/production-by-country/>



Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Geração Hidrelétrica**



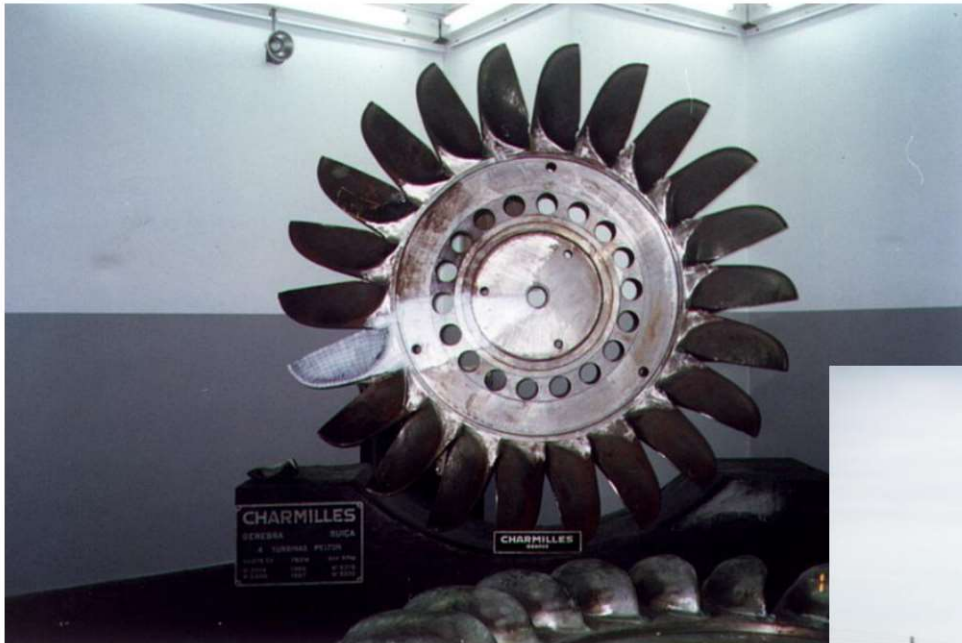


Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Geração (Usina de Xingó)**



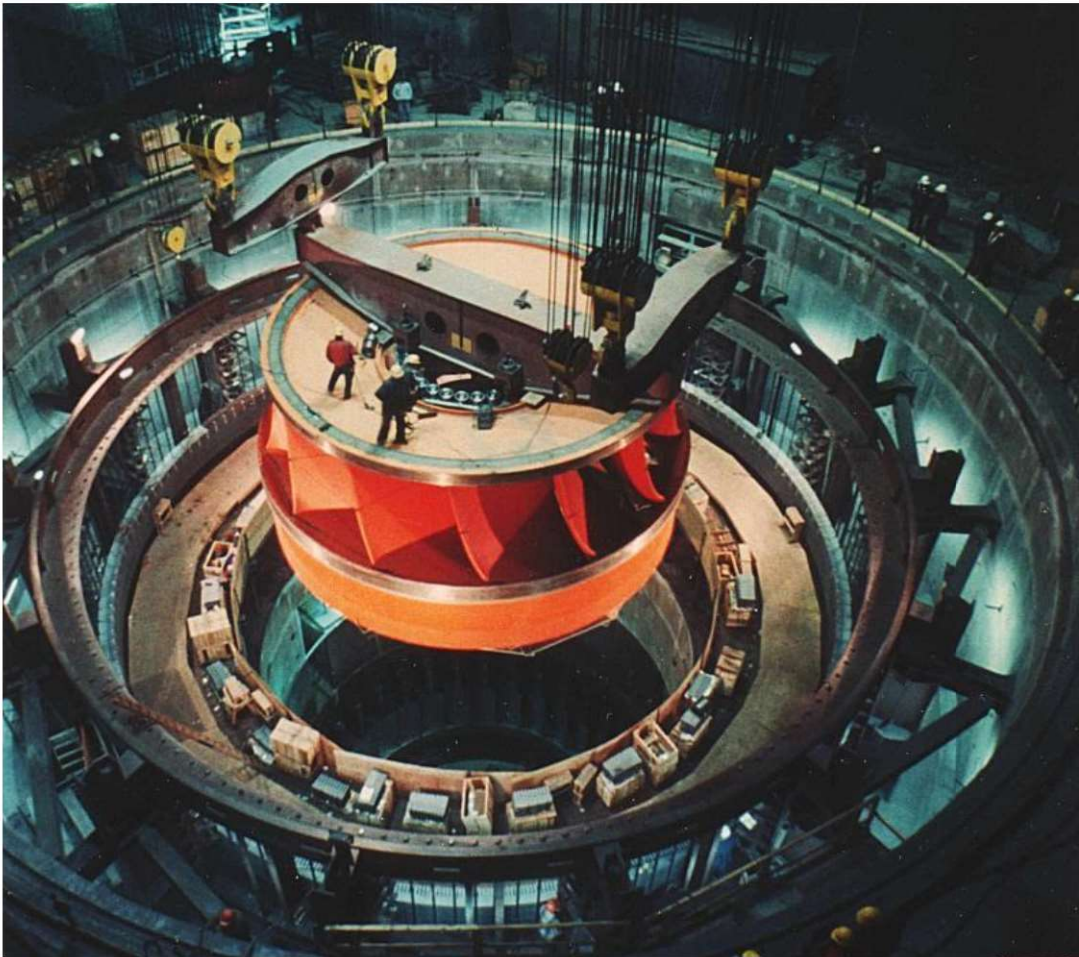


Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Turbina Pelton**





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Turbina Francis**



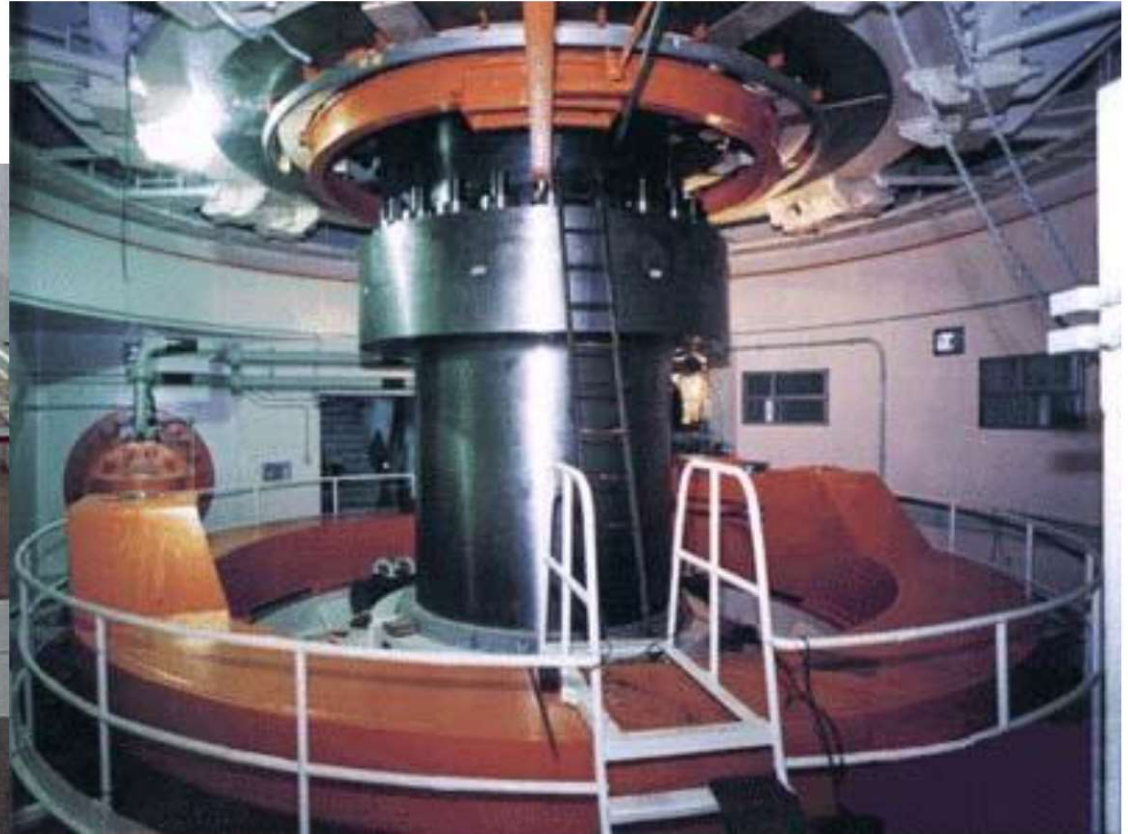


Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Turbina Kaplan**



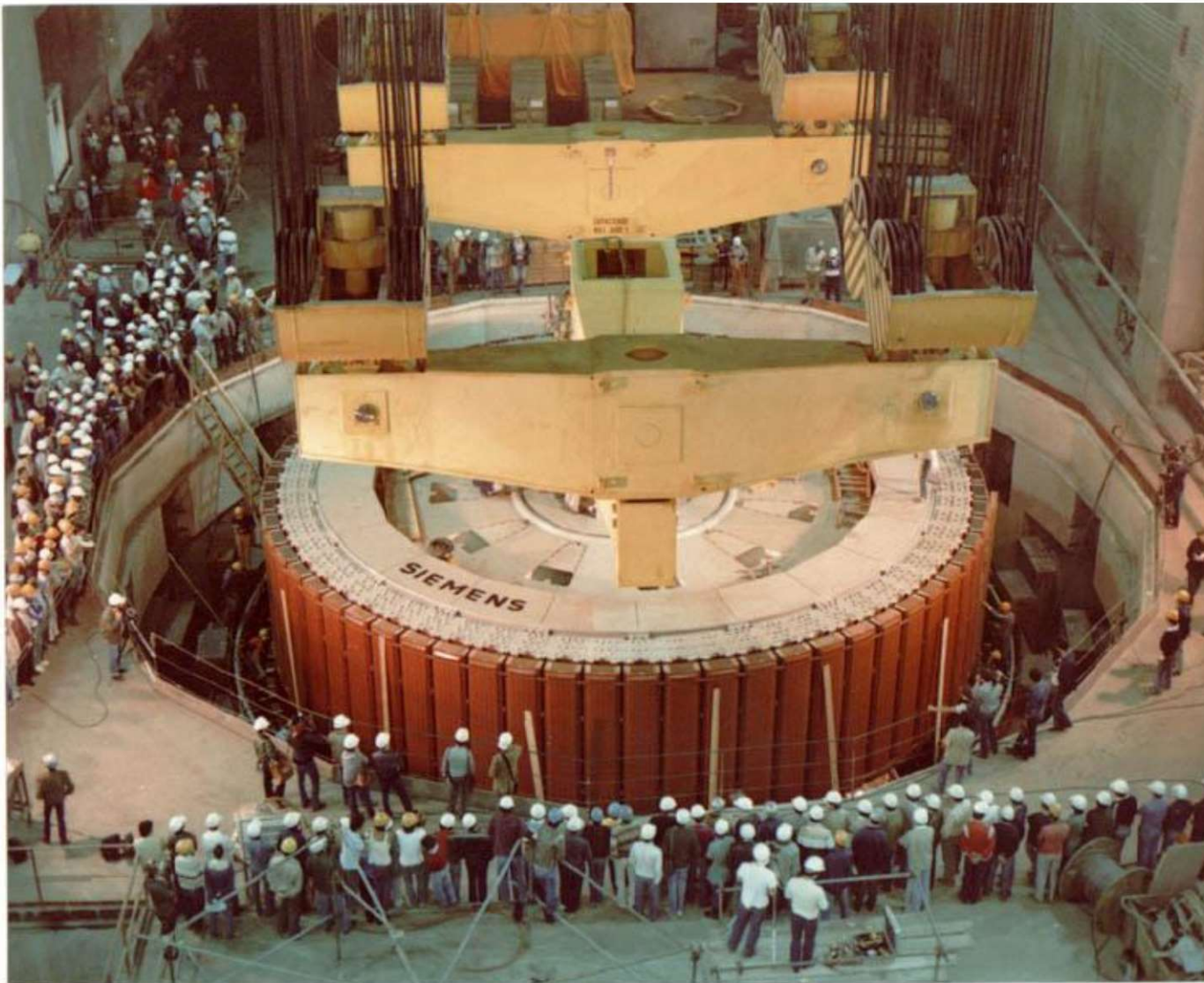


Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Gerador Elétrico**





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Rotor de um Gerador de Itaipu**



Estrutura do SEP: Geração



Dez Maiores Usinas do País

<https://www.aneel.gov.br/siga>
10/09/2020

Nº	Usina	Potência (kW)
1º	Belo Monte	11.233.100,00
2º	Tucuruí	8.535.000,00
3º	Itaipu (Parte Brasileira)	7.000.000,00
4º	Jirau	3.750.000,00
5º	Santo Antônio	3.568.000,00
6º	Ilha Solteira	3.444.000,00
7º	Xingó	3.162.000,00
8º	Paulo Afonso IV	2.462.400,00
9º	Itumbiara	2.082.000,00
10º	Teles Pires	1.819.800,00

Consultado em 06/09/20206:
<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>

	B	E	F	L	M
	NomEmpreendimento	SigUFPrincipal	SigTipoGeracao	DatEntradaOperacao	MdaPotenciaOutorgadaKw
1	Belo Monte	PA	UHE	20/04/2016	11233100
5	Tucuruí	PA	UHE	30/12/1984	8535000
13	Itaipu (Parte Brasileira)	PR	UHE	01/04/1989	7000000
14	Jirau	RO	UHE	06/09/2013	3750000
15	Santo Antônio	RO	UHE	30/03/2012	3568000
23	Ilha Solteira	SP	UHE	18/07/1973	3444000
33	Xingó	SE	UHE	16/12/1994	3162000
34	Paulo Afonso IV	BA	UHE	01/12/1979	2462400
49	Itumbiara	MG	UHE	24/04/1980	2082000
50	Teles Pires	PA	UHE	07/11/2015	1819800
51	São Simão	GO	UHE	01/01/1978	1710000
52	Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (Foz do Areia)	PR	UHE	01/10/1980	1676000
53	Jupia (Engº Souza Dias)	SP	UHE	14/04/1969	1551200
62	Porto Primavera (Engº Sérgio Motta)	SP	UHE	22/01/1999	1540000
68	Luiz Gonzaga (Itaparica)	PE	UHE	31/01/1988	1479600
69	Itá	RS	UHE	15/06/2000	1450000
72	Marimbondo	MG	UHE	25/10/1975	1440000
81					

Estrutura do SEP: Geração



Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Outorgada)
CGH	813.644,77	811.129,77	736	0,46%
CGU	50,00	50,00	1	0,00%
EOL	16.146.003,86	16.092.522,86	653	9,22%
PCH	5.407.080,49	5.355.148,57	419	3,09%
UFV	3.025.726,25	3.017.726,25	3904	1,73%
UHE	102.999.428,00	103.026.876,00	219	58,81%
UTE	44.755.194,79	43.011.586,89	3062	25,55%
UTN	1.990.000,00	1.990.000,00	2	1,14%
Total	175.137.128,16	173.305.040,34	8996	100,00%

GGG	Descrição
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-elétrica
EOL	Central Geradora Eólica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

<https://www.aneel.gov.br/siga>

http://www2.aneel.gov.br/scg/formacao_CEG.asp

10/09/2020

Estrutura do SEP: Geração



Consulta em 28/04/2026

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	220	103.523.266,00	103.235.221,00	47,26%
UTE	3113	55.361.494,00	49.064.487,36	22,46%
EOL	1589	52.752.133,86	34.810.653,86	15,94%
UFV	20821	114.042.181,94	22.374.833,68	10,24%
PCH	534	7.394.267,71	6.037.519,57	2,76%
UTN	3	3.340.000,00	1.990.000,00	0,91%
CGH	717	941.256,13	918.456,13	0,42%
Total	26997	337.354.599,64	218.431.171,60	100,00%

GGG	Descrição
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-elétrica
EOL	Central Geradora Eólica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

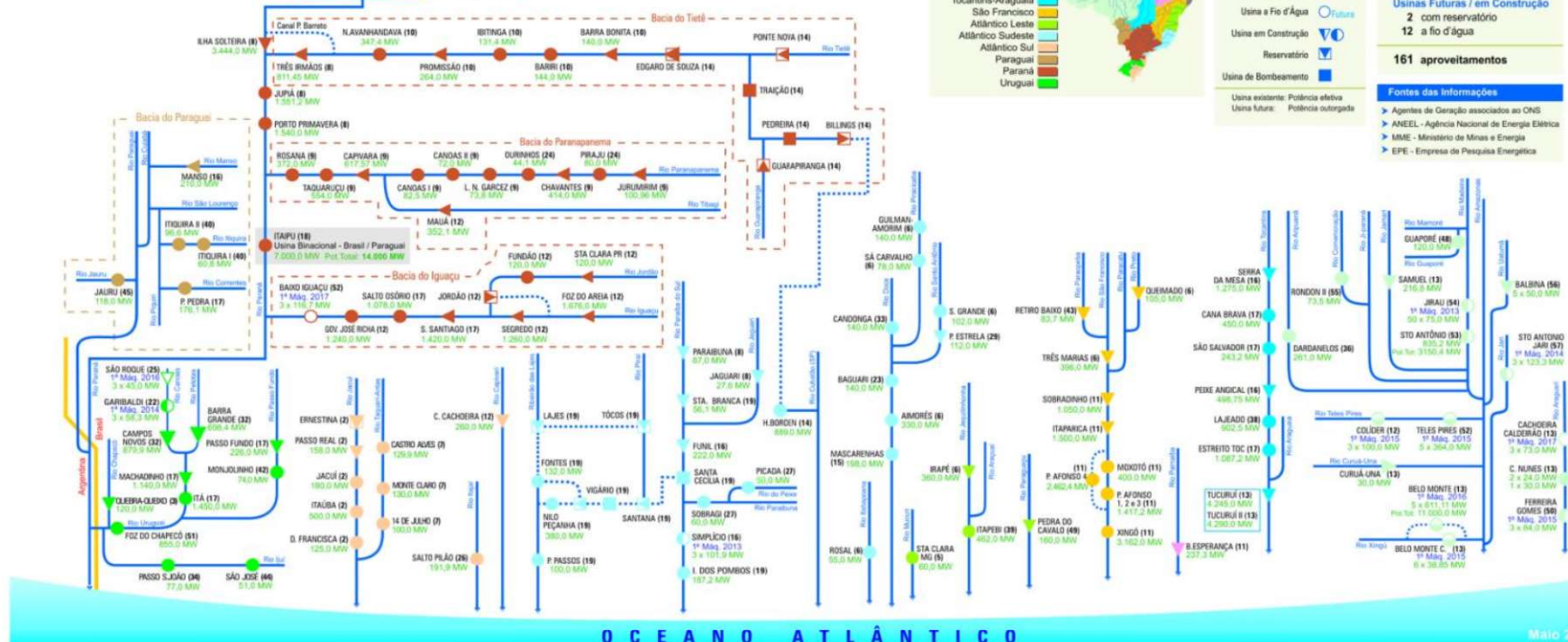


Power BI

<https://app.powerbi.com> > view

Sistema de Informações de Geração da ANEEL

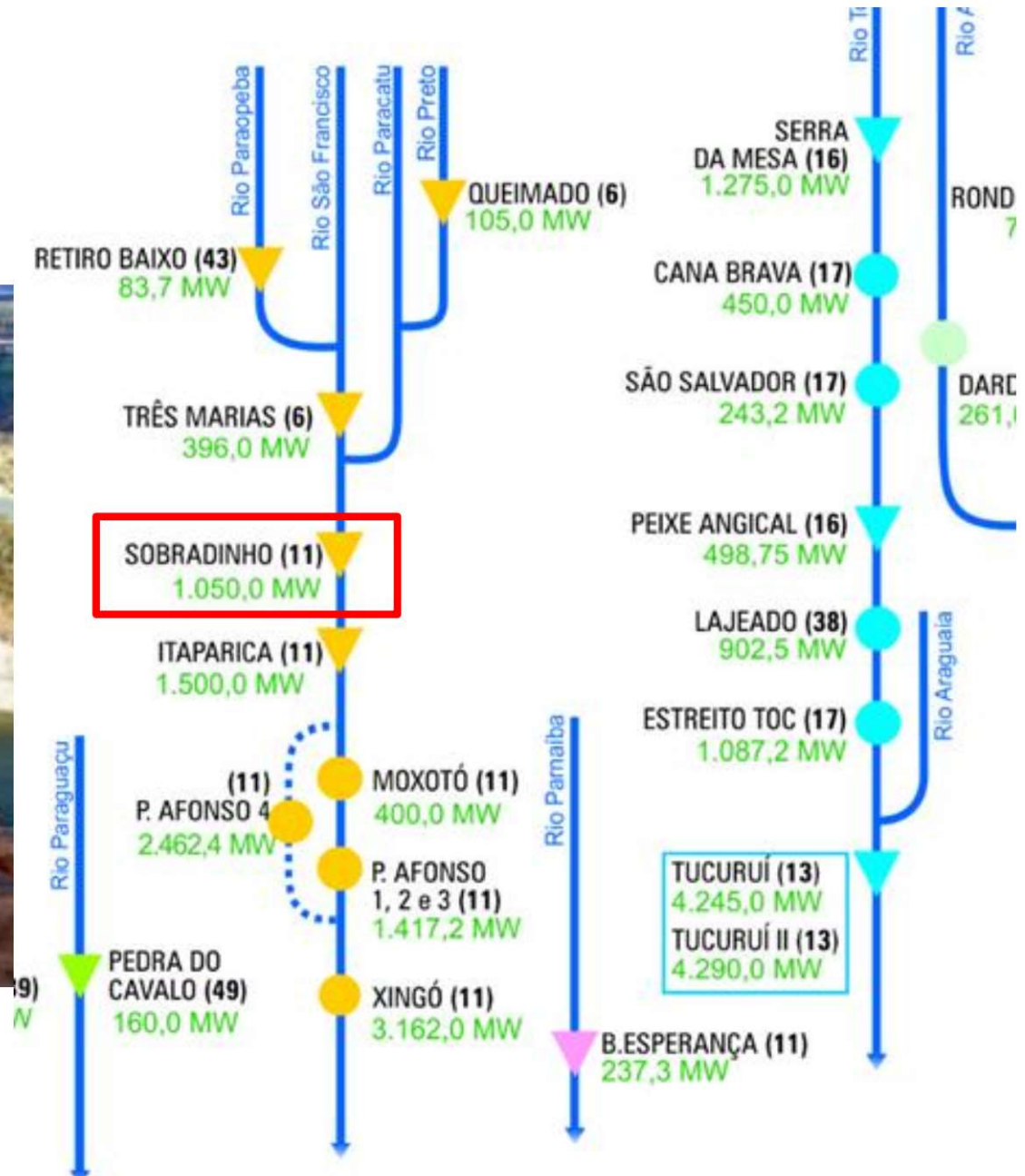
Sistema de Informações de Geração da ANEEL. SIGA. Press Enter to explore data ... Baixe aqui o banco de dados de empreendimentos outorgados do SIGA. Press ...





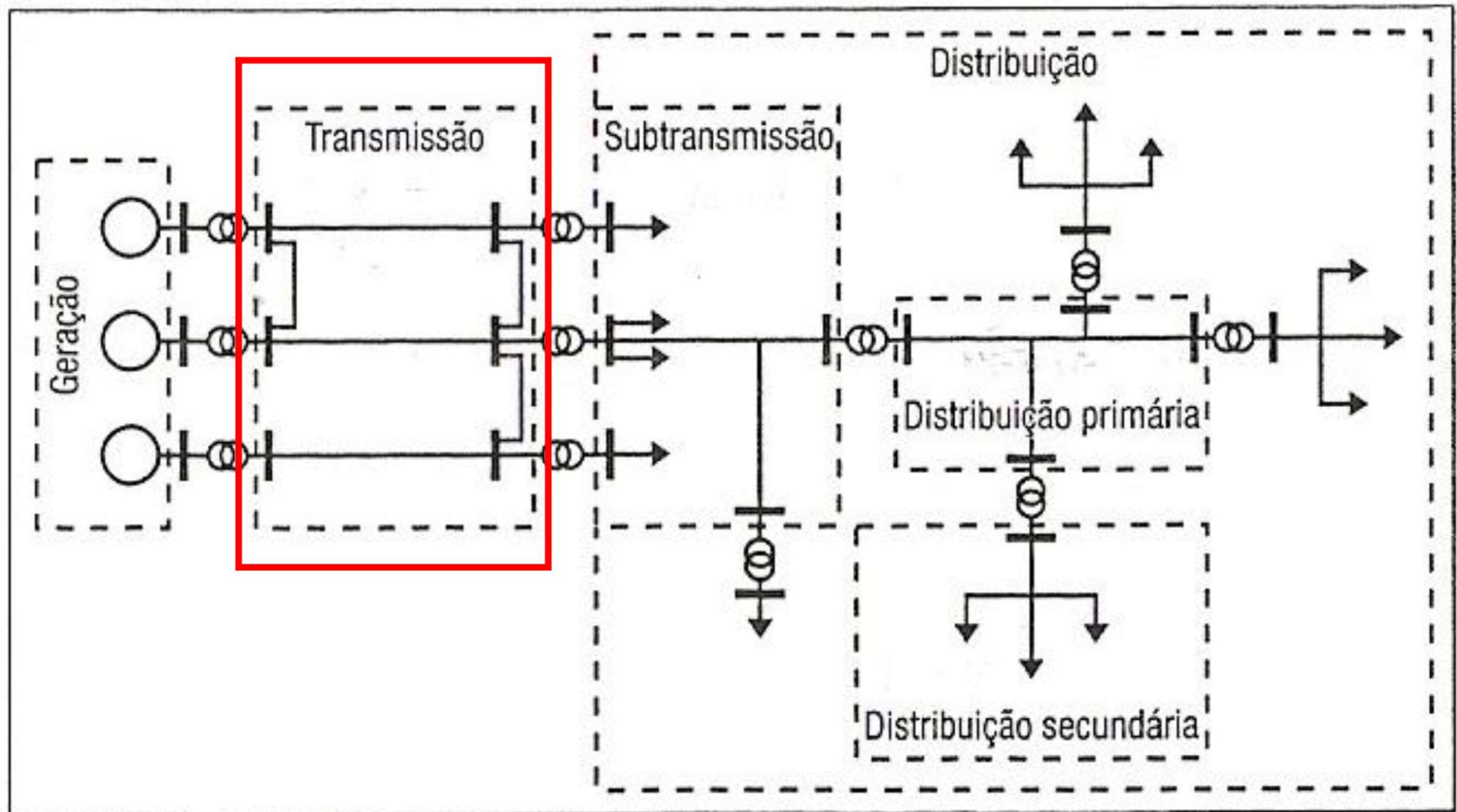
Detalhe do Rio São Francisco

Xingó





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Transmissão**





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Transmissão**

1. Objetivo: Conectar as usinas geradoras aos locais de consumo.
2. Topologia: Fortemente malhado para ter maior confiabilidade.
3. **Critério N-1.**
4. Alta capacidade de Transmissão: $230 \text{ kV} \leq V \leq 1000 \text{ kV}$
5. Sistema Interligado Nacional (SIN)
6. Grandes consumidores... (Exemplo: Coteminas em Campina Grande)
7. Transmissão CA e CC (**Guerra das Correntes**: filme e documentário)

Estrutura do SEP: Transmissão



EXTENSÃO DA REDE BÁSICA DE TRANSMISSÃO

800 kV CC	2019 9.204 km	2024 9.204 km
750 kV	2019 1.722 km	2024 1.722 km
600 kV CC	2019 9.544 km	2024 9.544 km
500 kV	2019 51.121 km	2024 74.558 km
440 kV	2019 6.911 km	2024 7.130 km
345 kV	2019 9.515 km	2024 11.031 km
230 kV	2019 53.739 km	2024 68.339 km
TOTAL	141.756 km	181.528 km

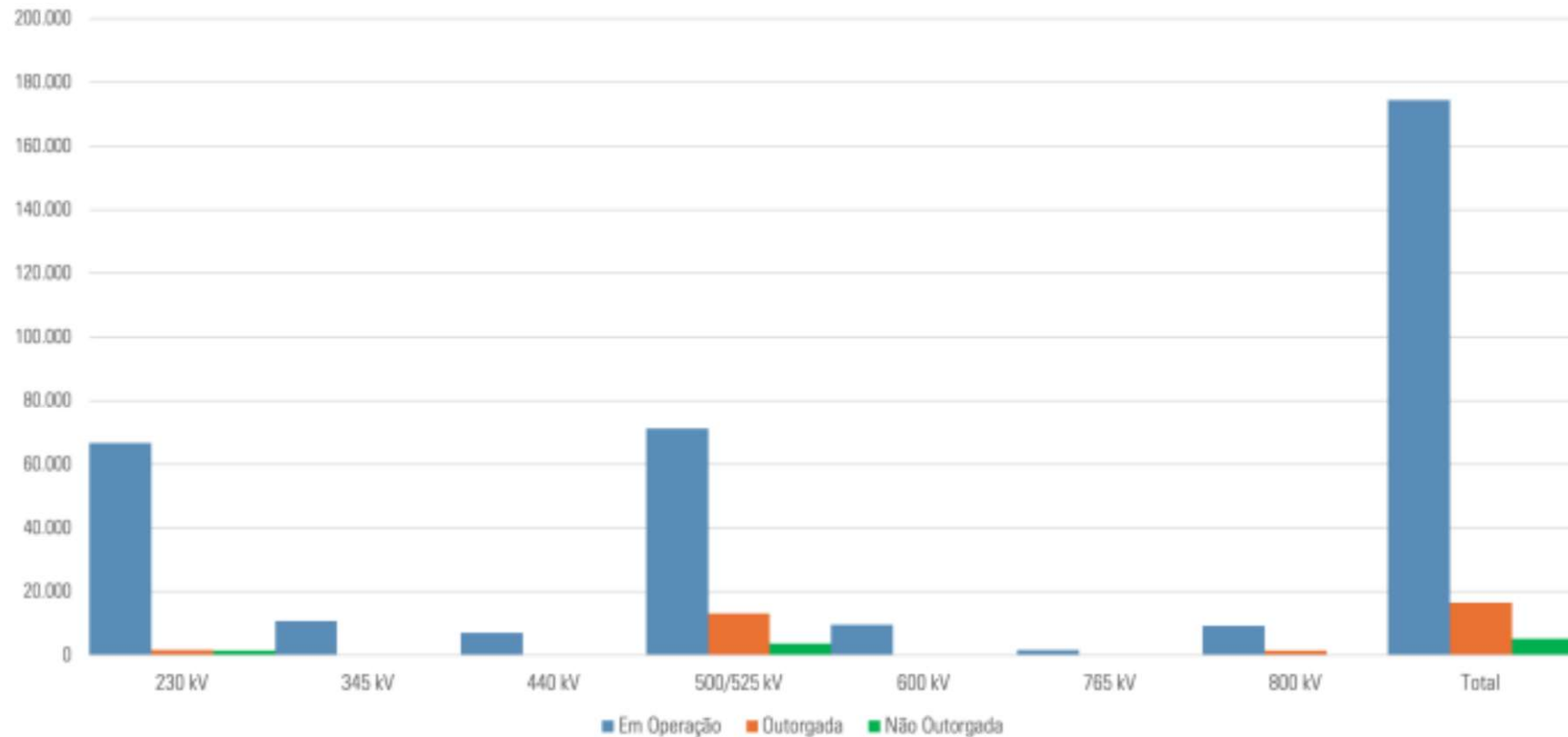
Fonte: 2019 - Sumário PAR/PEL 2020-2024



PAR/PEL 2025

Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN

Extensão das Linhas de Transmissão (km)



Estrutura do SEP: Transmissão



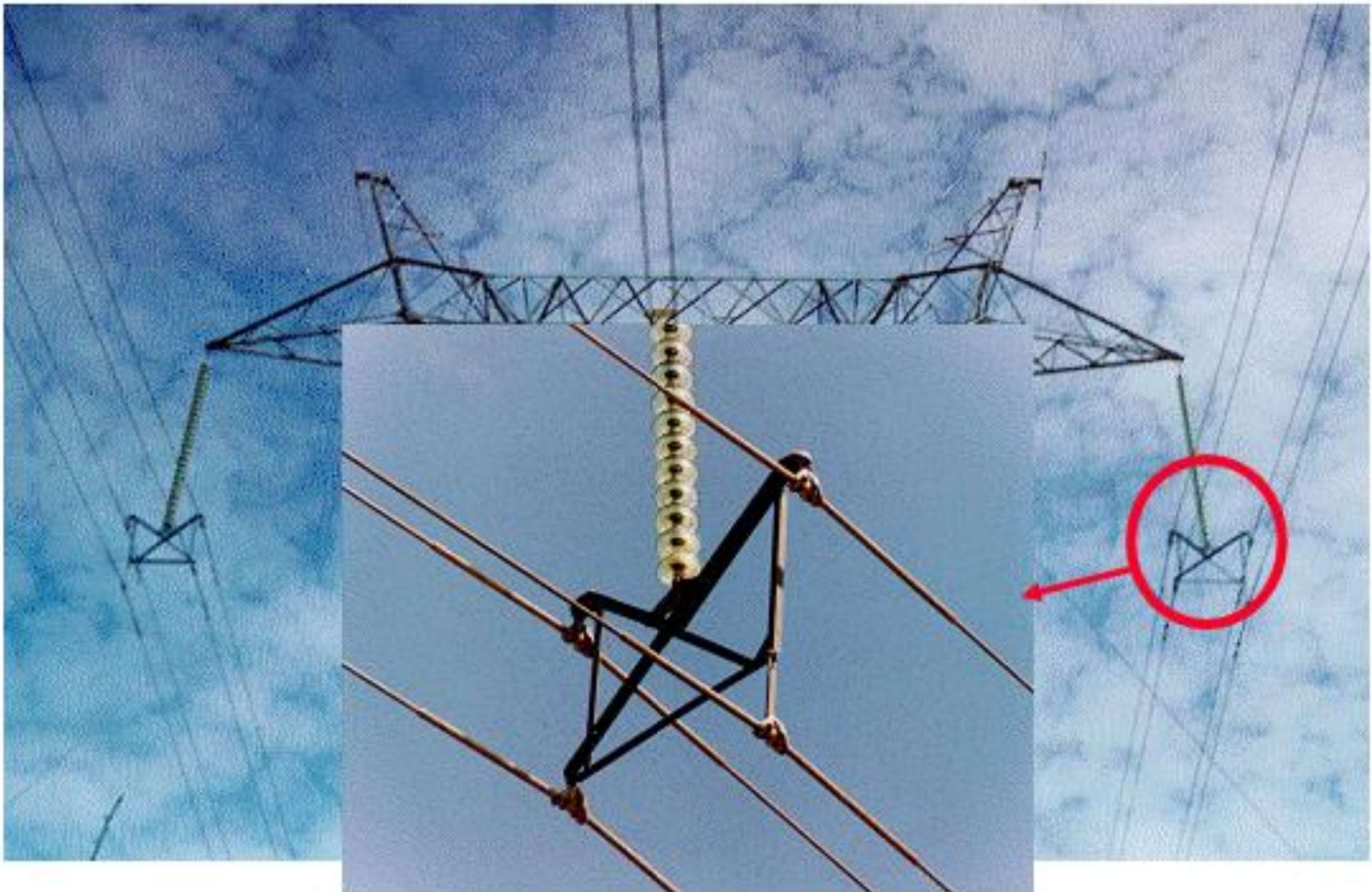




500 kV - Torre Compacta Raquete



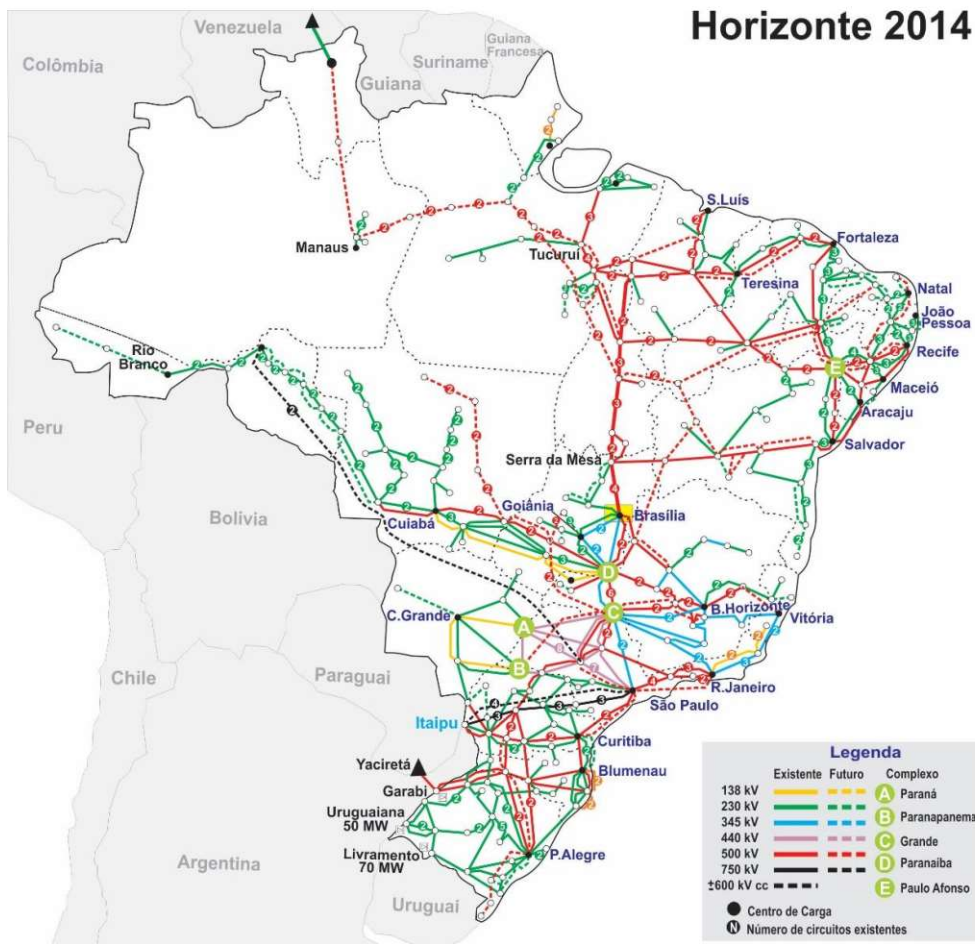
230 kV - Torre Compacta Raquete



Estrutura do SEP: Transmissão

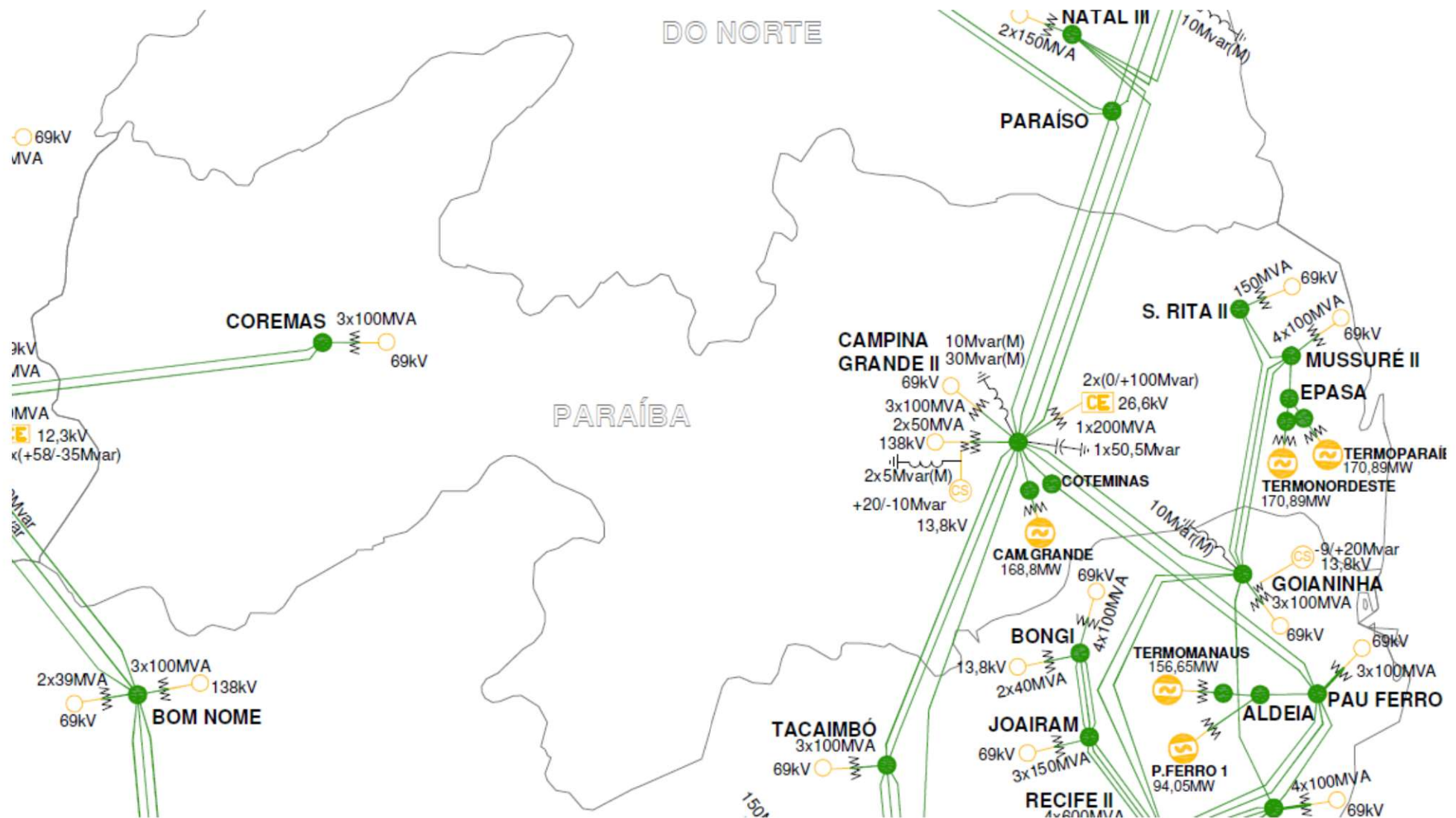


SIN



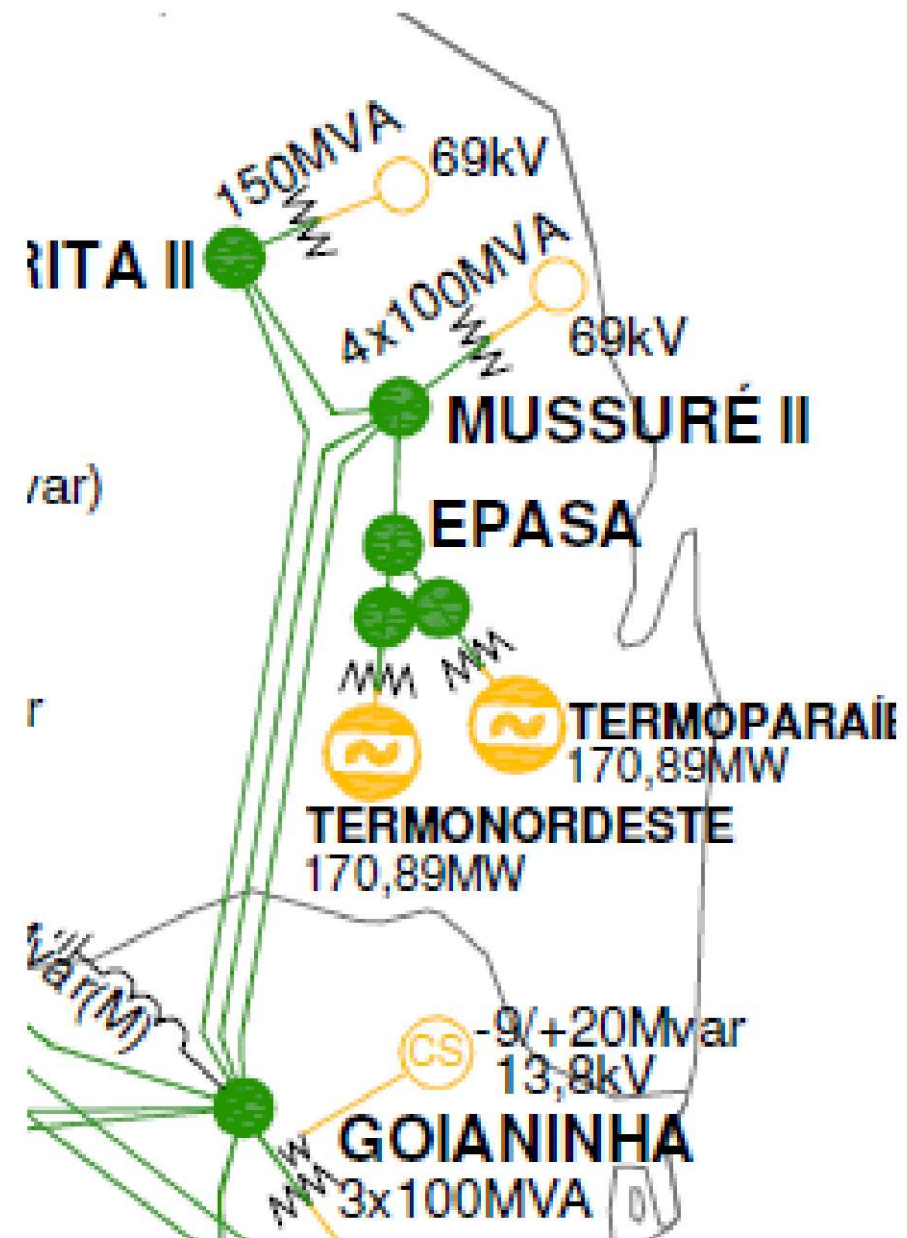


Paraíba no Horizonte 2014



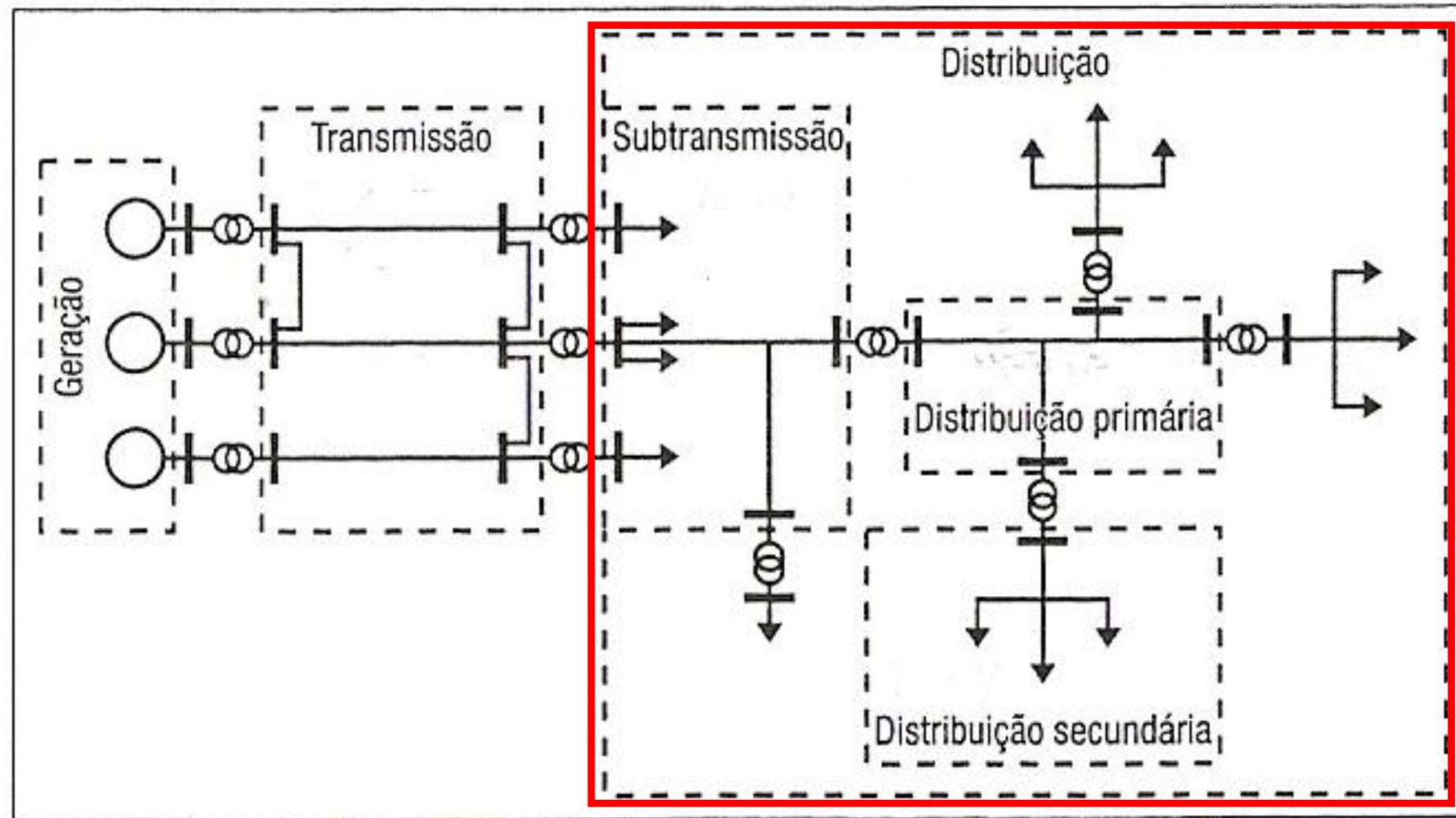


João Pessoa no Horizonte 2014





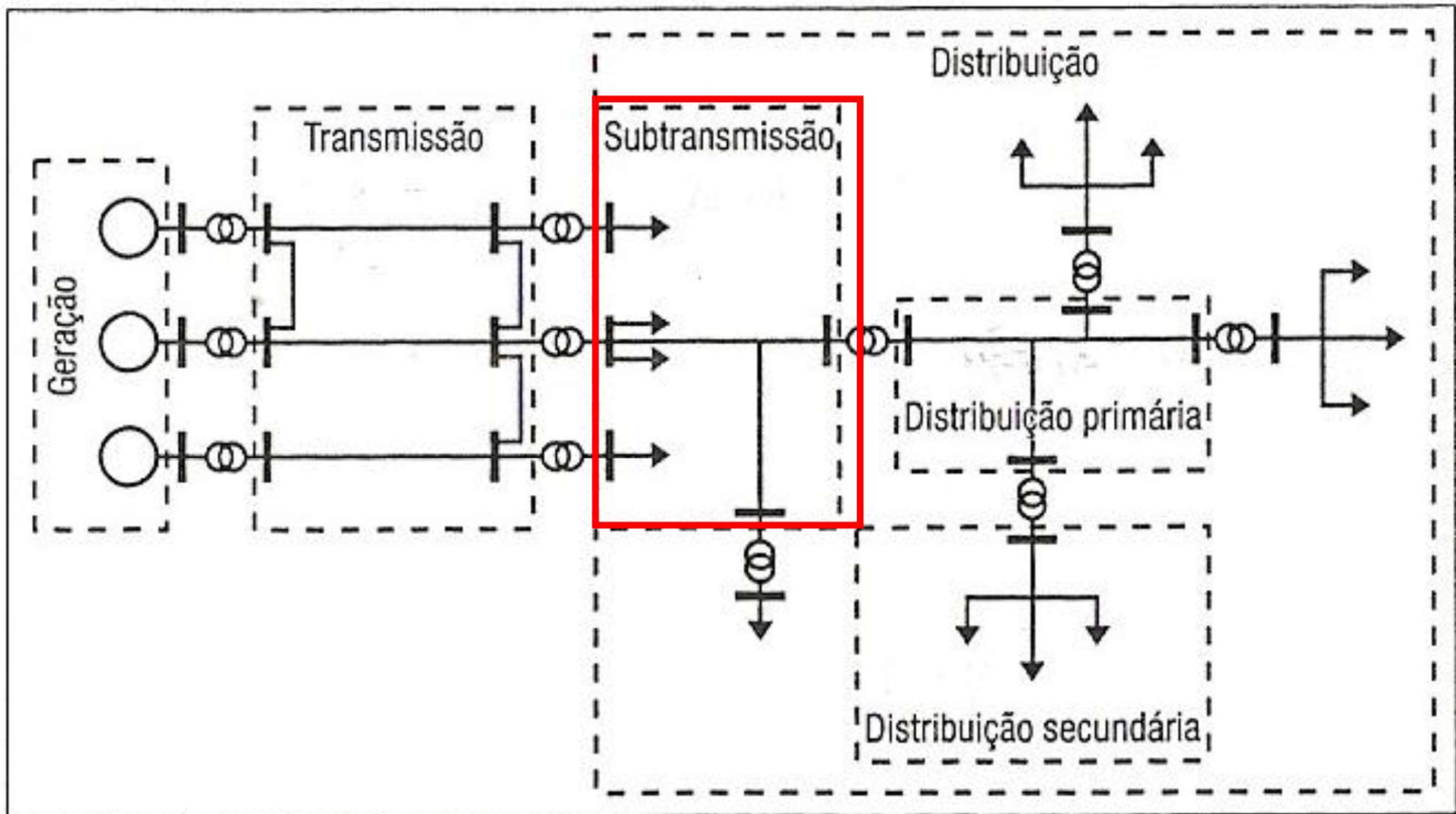
Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Distribuição**



Sub-Transmissão, Distribuição Primária e Distribuição Secundária



Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Sub-Transmissão**





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Sub-Transmissão**

1. Faz parte da Distribuição. Pode ter sido Transmissão no passado.
2. Topologia: Malhado.
3. Tensão: $69 \text{ kV} \leq v \leq 138 \text{ kV}$
4. Energisa, EDAL, etc...
5. Consumidores industriais...

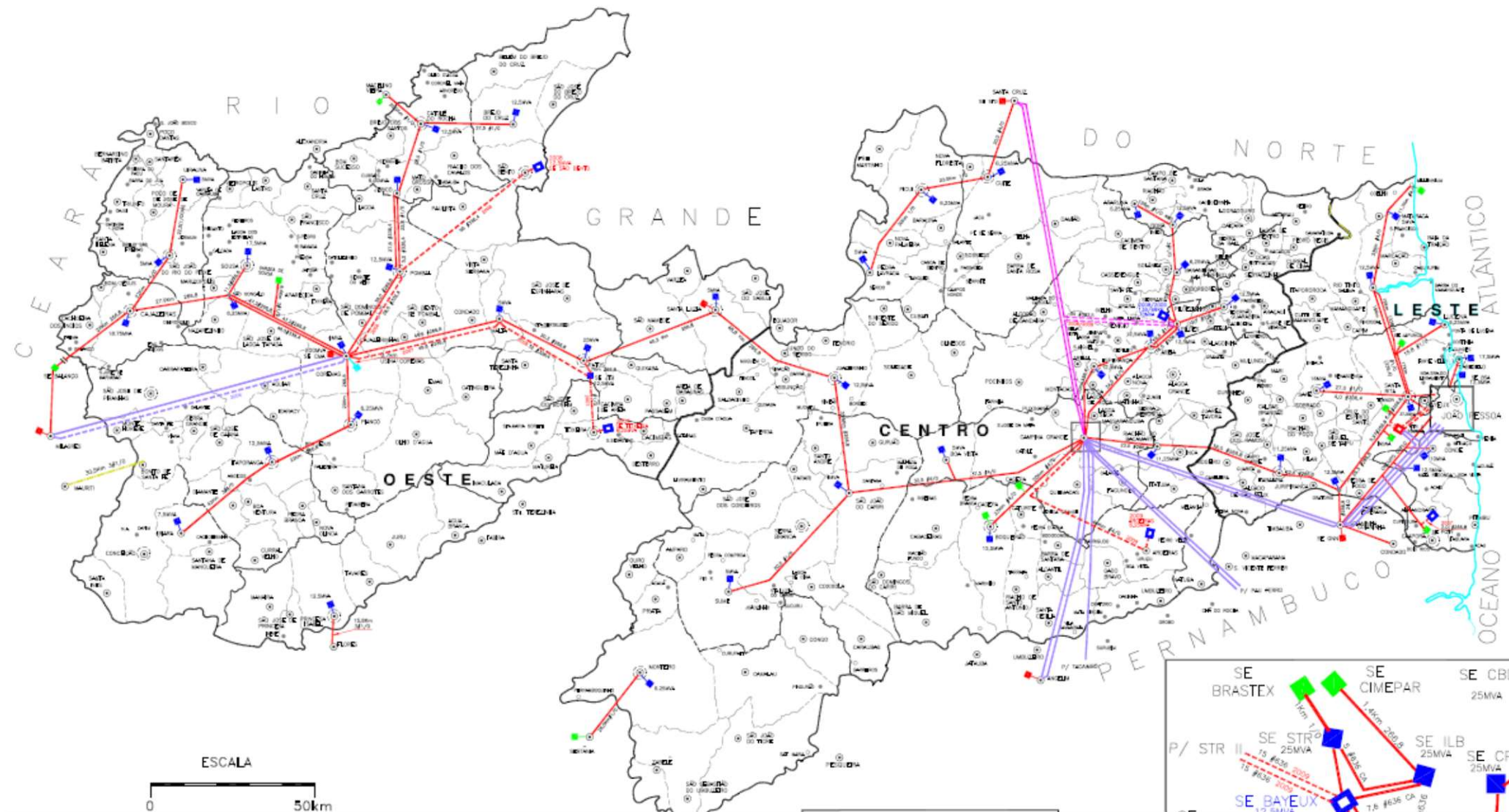
Estrutura do SEP: Sub-Transmissão



Estrutura do SEP: Sub-Transmissão



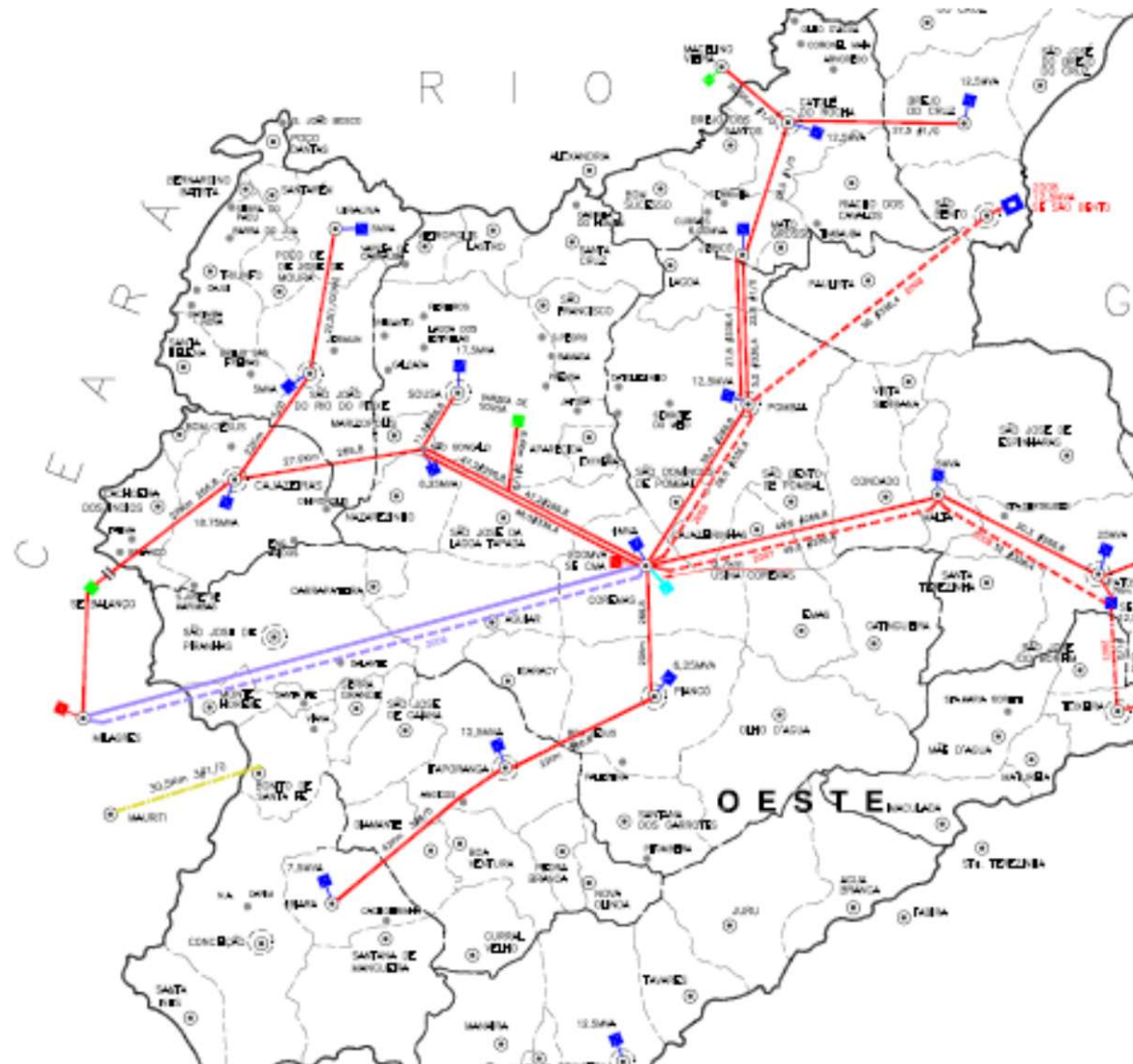
Rede da Energisa na Paraíba



Estrutura do SEP: Sub-Transmissão

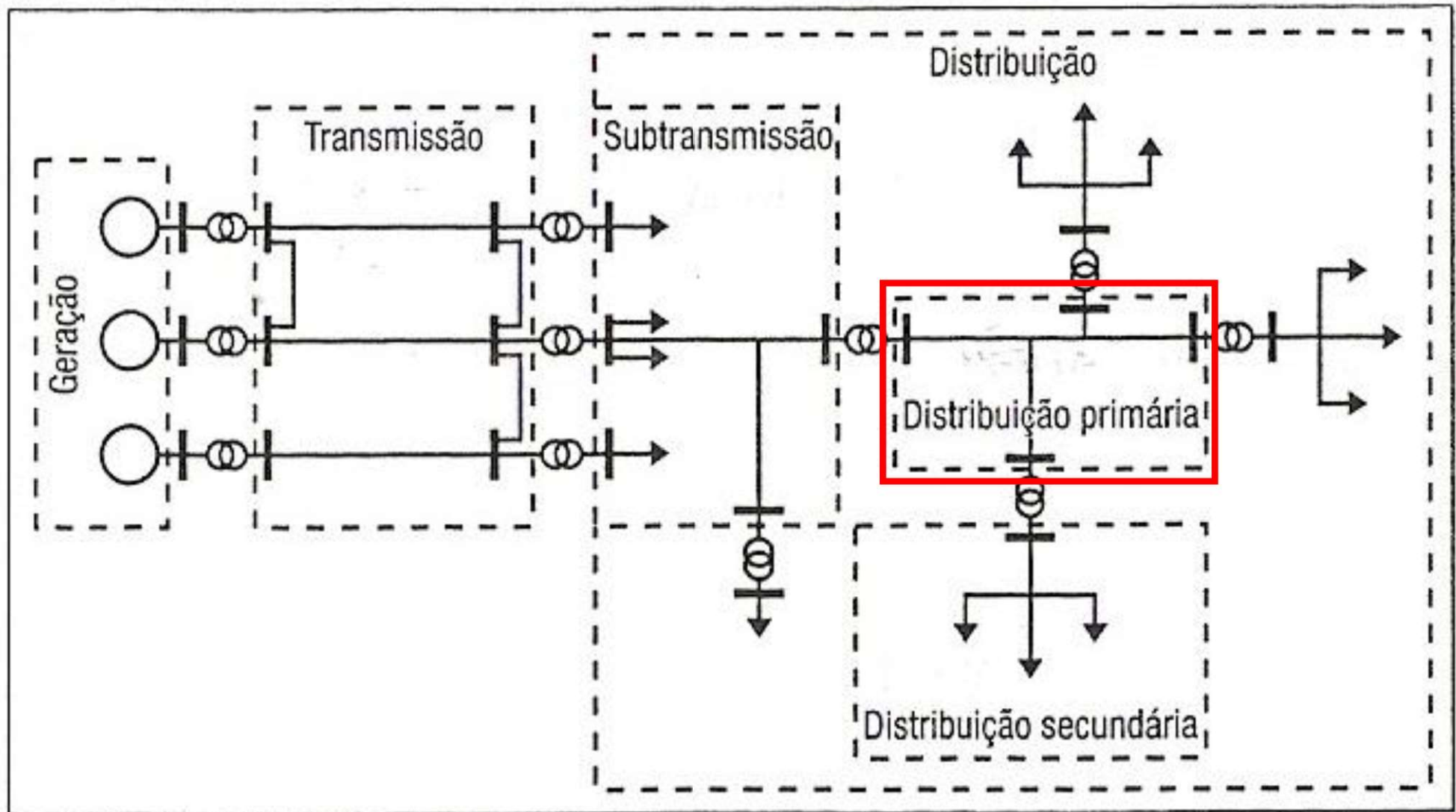


Rede da Energisa na Paraíba: Oeste





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Distribuição Primária**





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Distribuição Primária**

1. Faz parte da Distribuição.
2. Tensão: $13.8 \text{ kV} \leq v \leq 34.5 \text{ kV}$
3. Energisa, EDAL, etc... Rede da universidade!
4. Consumidores: condomínios, clubes, etc...
5. Topologia: Radial. Podendo ter "Recursos".
6. Medição geralmente na saída dos alimentadores.

Estrutura do SEP: Distribuição Primária



Estrutura do SEP: Distribuição Primária



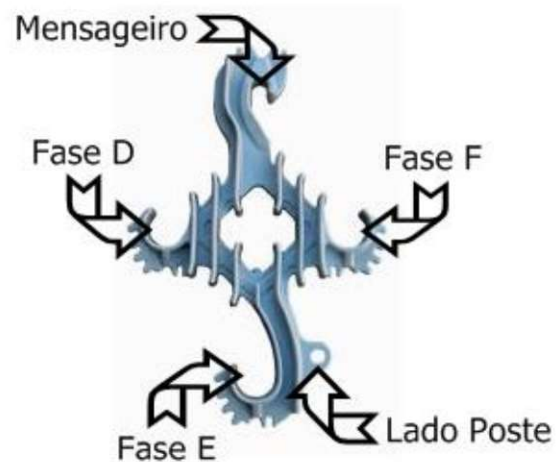
Estrutura do SEP: Distribuição Primária



Estrutura do SEP: Distribuição Primária



Rede Compacta:

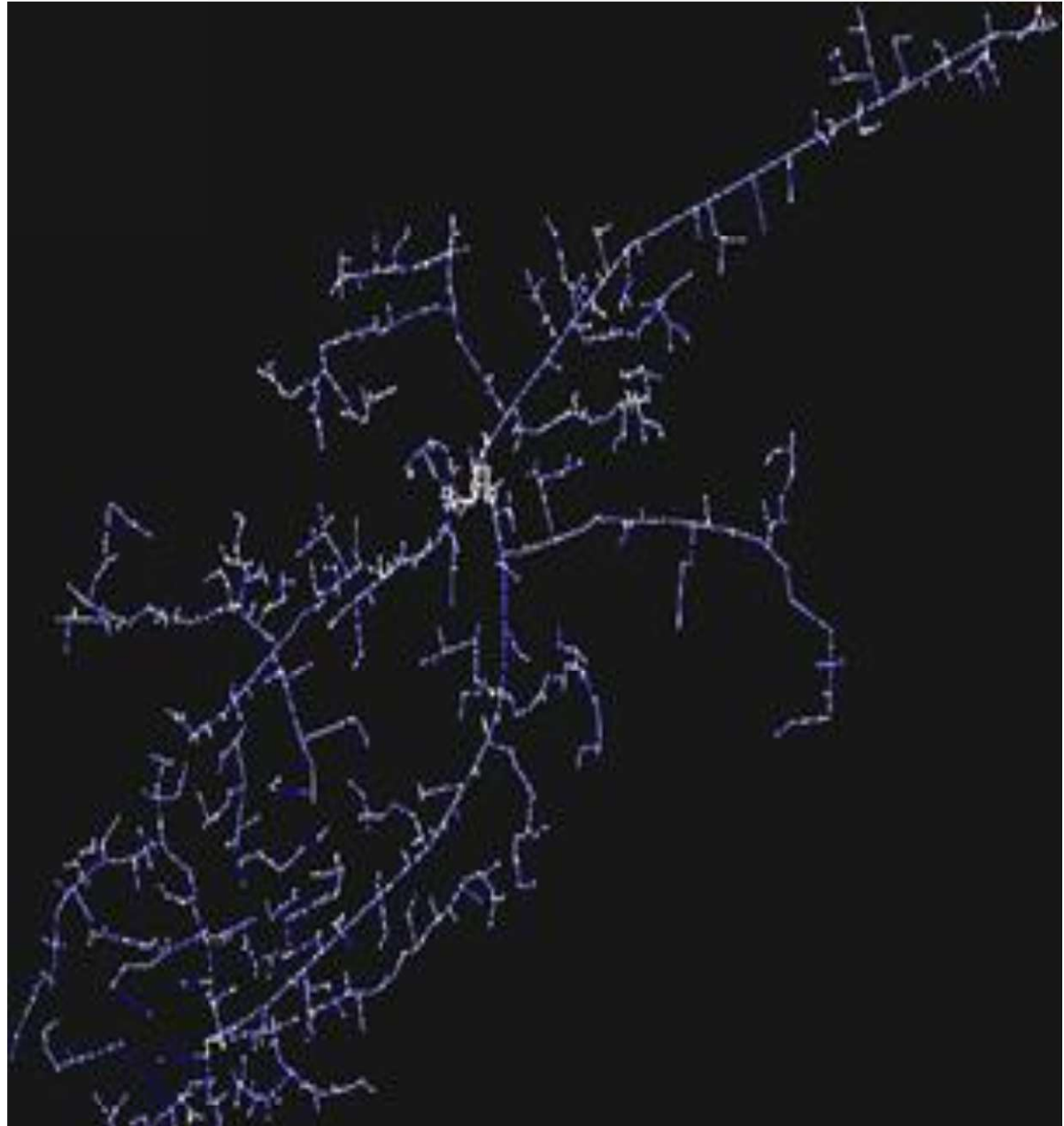




Distribuição Primária

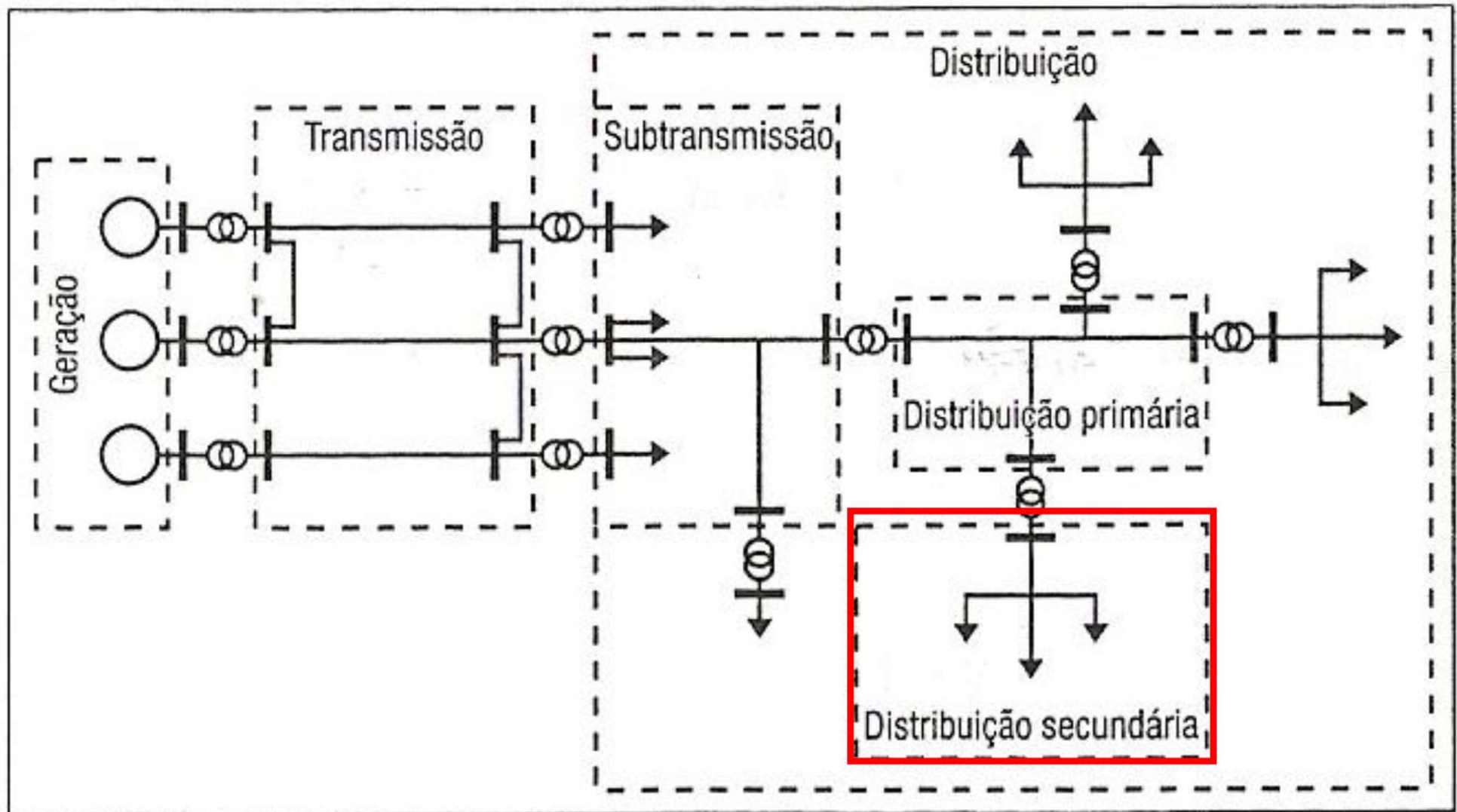
Sistema de Informação

Geográfica (SIG)





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Distribuição Secundária**





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Distribuição Secundária**

- 1. Faz parte da Distribuição.
- 1. Topologia: Todos em paralelo.
- 1. Tensão: 110 V ou 220 V fase-terra.
- 1. Energisa, EDAL, etc... Rede da universidade!
- 1. Consumidores: residenciais.

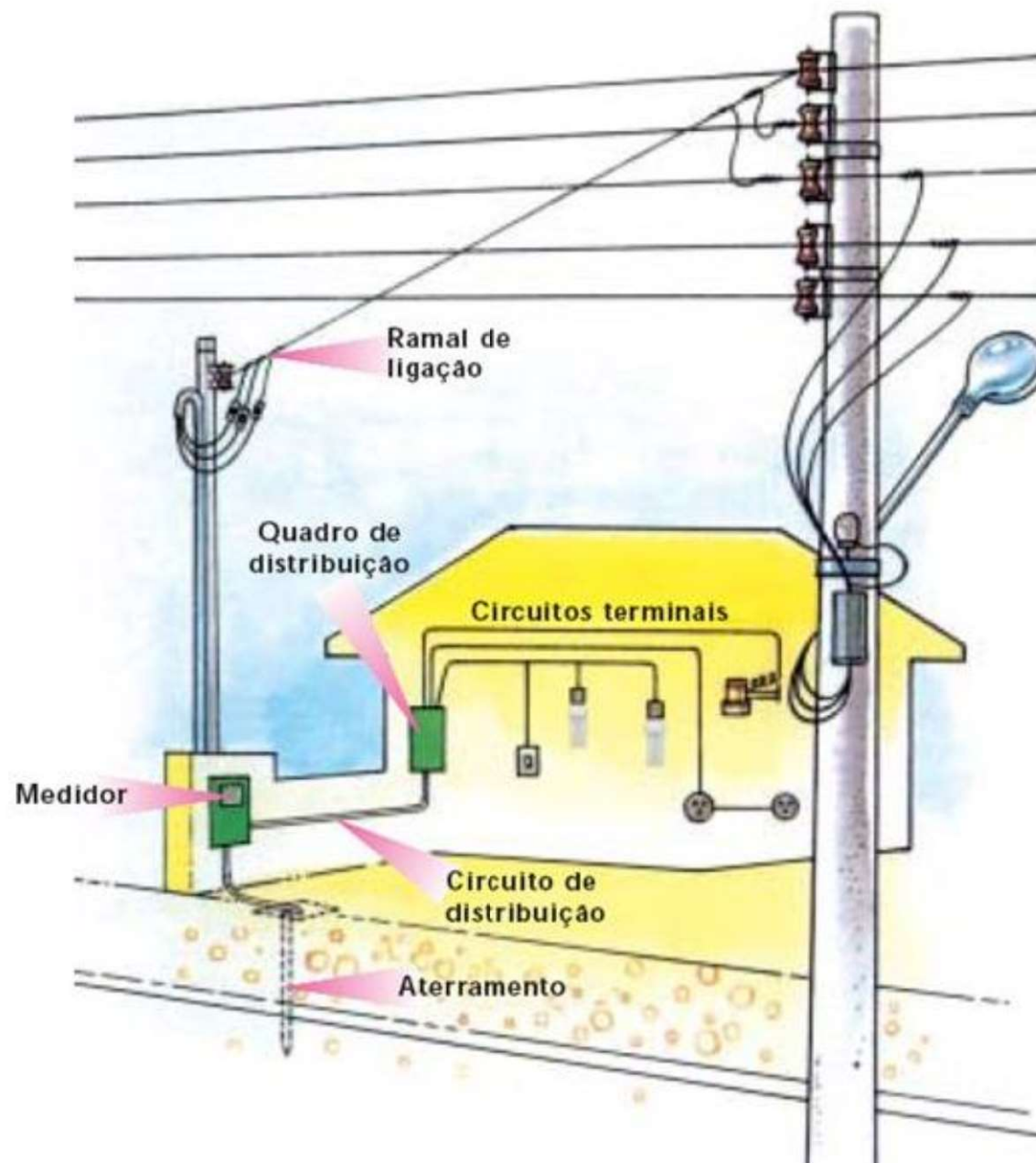
Estrutura do SEP: Distribuição Secundária



Rede
Primária

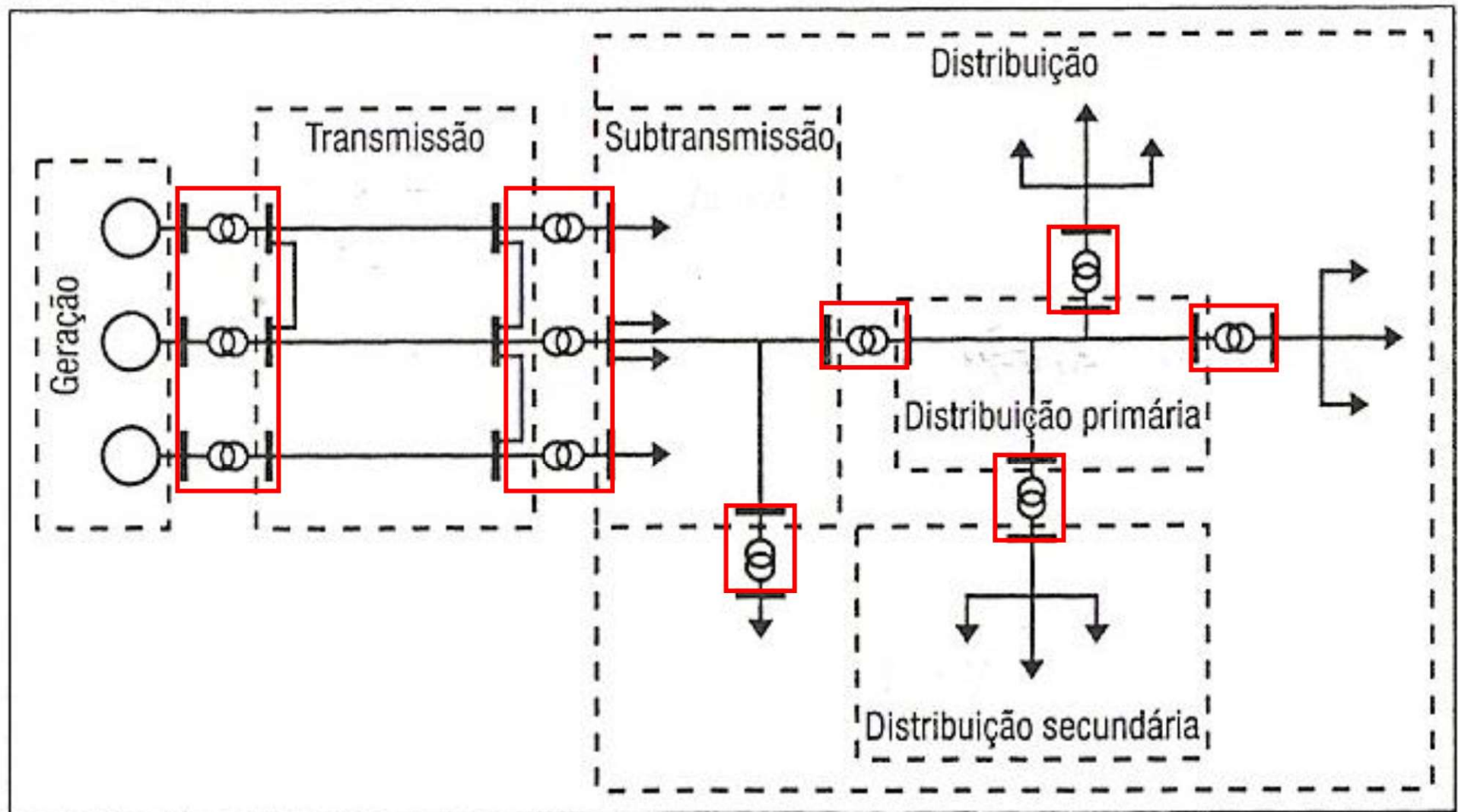
Rede
Secundária

Estrutura do SEP: Distribuição Secundária





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: Transformações





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Transformadores**

1. Entre níveis de tensão diferentes, há transformadores.
2. Os transformadores podem ser: Elevadores ou Abaixadores de Tensão.
3. Os transformadores podem ser: Monofásicos em bancos trifásicos ou Trifásicos.
4. Rede da universidade!
5. Exemplos...

Estrutura do SEP: Transformadores





1. Núcleo
2. Enrolamentos
3. Tanque principal
4. Tanque de expansão de óleo
5. Buchas
6. Comutador sob carga
7. Acionamento do comutador sob carga
8. Radiadores/Trocadores de calor
9. Painel de controle
10. Secador de ar
11. Termômetros

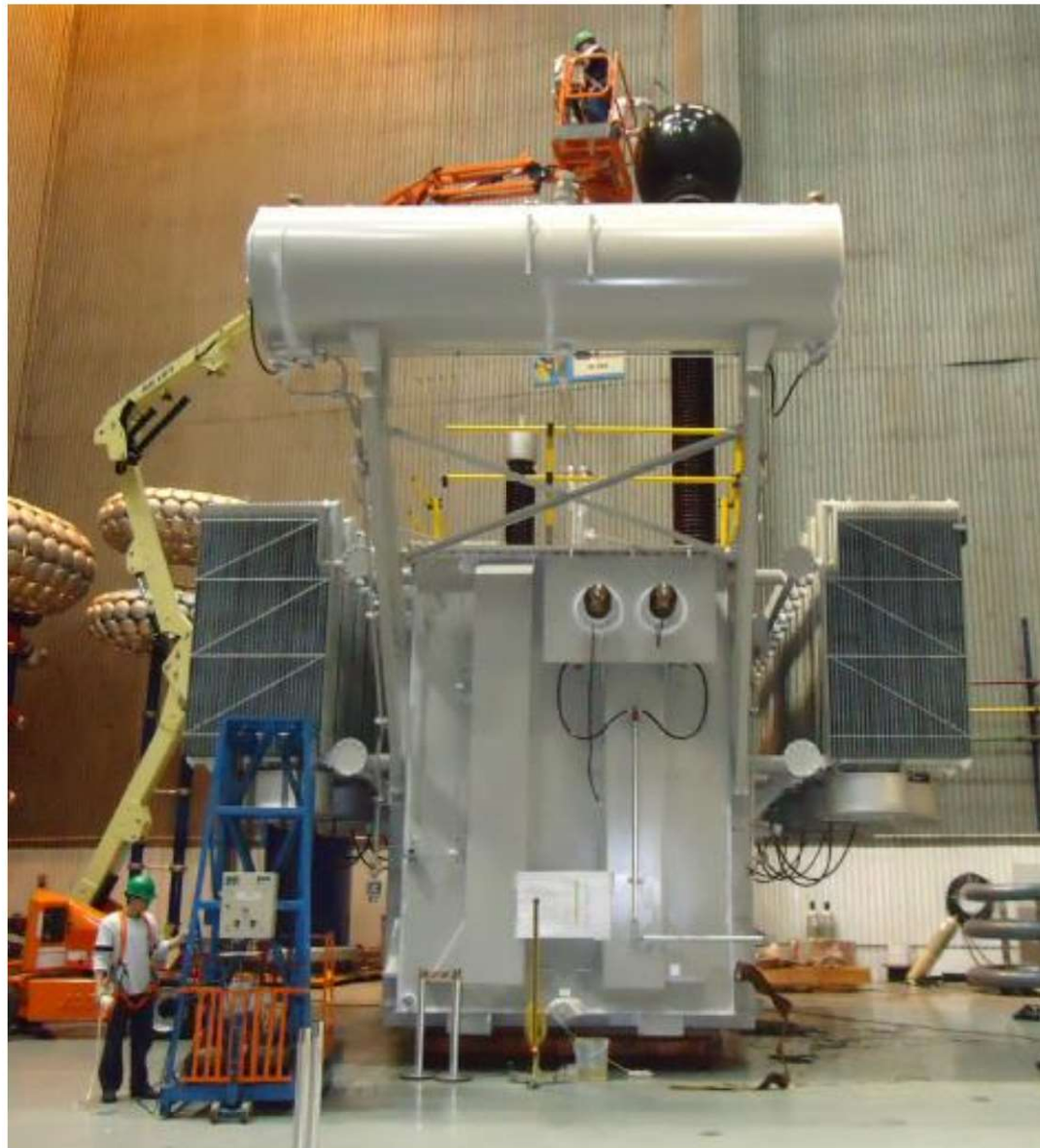


Transformador Trifásico de 150 MVA – SE Santa Rita II (95% de confiança)





Transformador Monofásico de 400 MVA – SE Pecém



Estrutura do SEP: Transformadores



Estrutura do SEP: Transformadores



Subestação de Distribuição Rio Largo – 69/13,8 kV





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Subestações**

Os transformadores estão fisicamente alocados em instalações chamadas de Subestações.

As Subestações podem ser: ao tempo ou abrigadas.
Elevadoras, Abaixadoras, Seccionadoras...





SE Zebu II da Chesf





SE Mussuré II da Chesf





Subestação de 500 kV – Colinas, Miracema, Gurupi (Seccionadora)



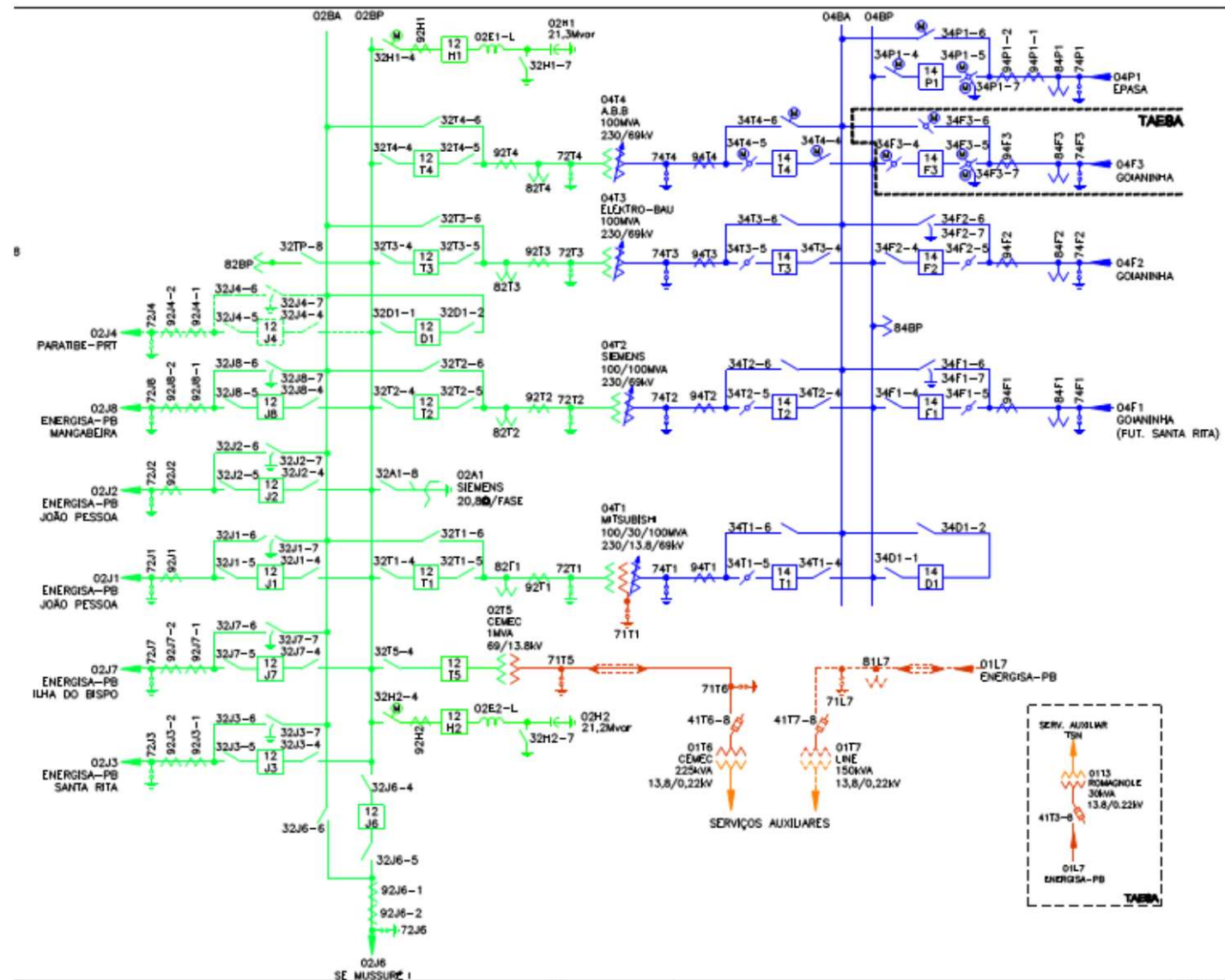


SUBESTAÇÃO JAGUARÉ - ESCELSA
TRAFO DE 69/13,8KV - 12,5MVA

Estrutura do SEP: Subestações



Diagrama
unifilar:



D1 EM 05/08/2011.



SE MUSSURÉ II - MRD

GERÊNCIA
GRL

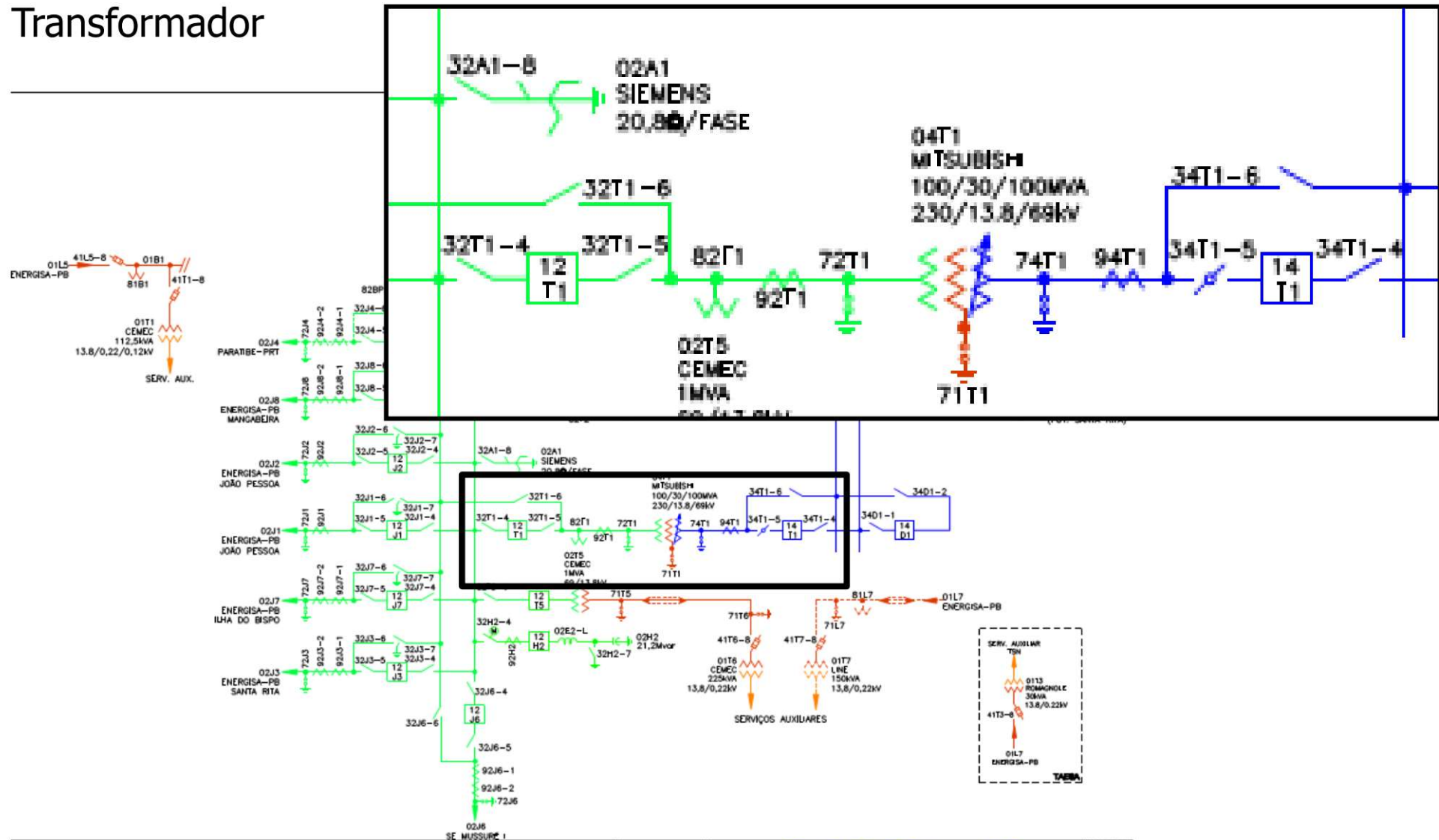
DOMO-97.01.072 REV. 15 - 08/08/2011 MGÊNCIA-08/08/2011

APROVADO: Erasmo Menezes
RESPONSÁVEL: F. Pereira

Estrutura do SEP: Subestações



Transformador



MODIFICAÇÕES :
RETIRADO DE OPERAÇÃO O TC 92D1 EM 05/08/2011.



SE MUSSURÉ II - MRD

GERÊNCIA
GRL

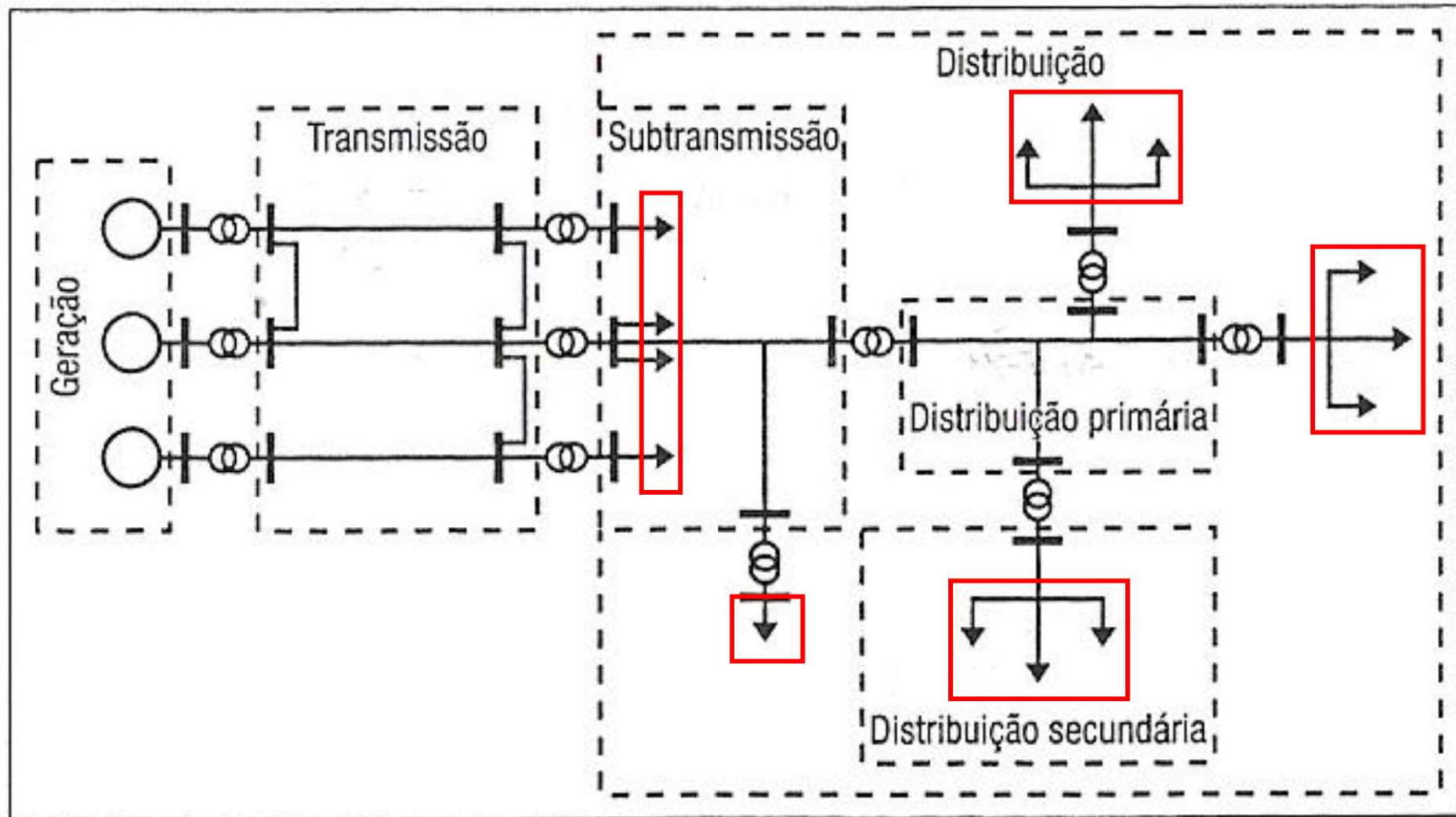
DOM0-97.01.072 REV. 15 - 08/08/2011 MGÊNCIA-08/08/2011
APROVADO: Erasmo Meneses
RESPONSÁVEL: F. Pereira

[illegible]

011	APROVADO: Erasmo Menezes
	RESPONSÁVEL: F. Pereira



Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Cargas/Utilização**





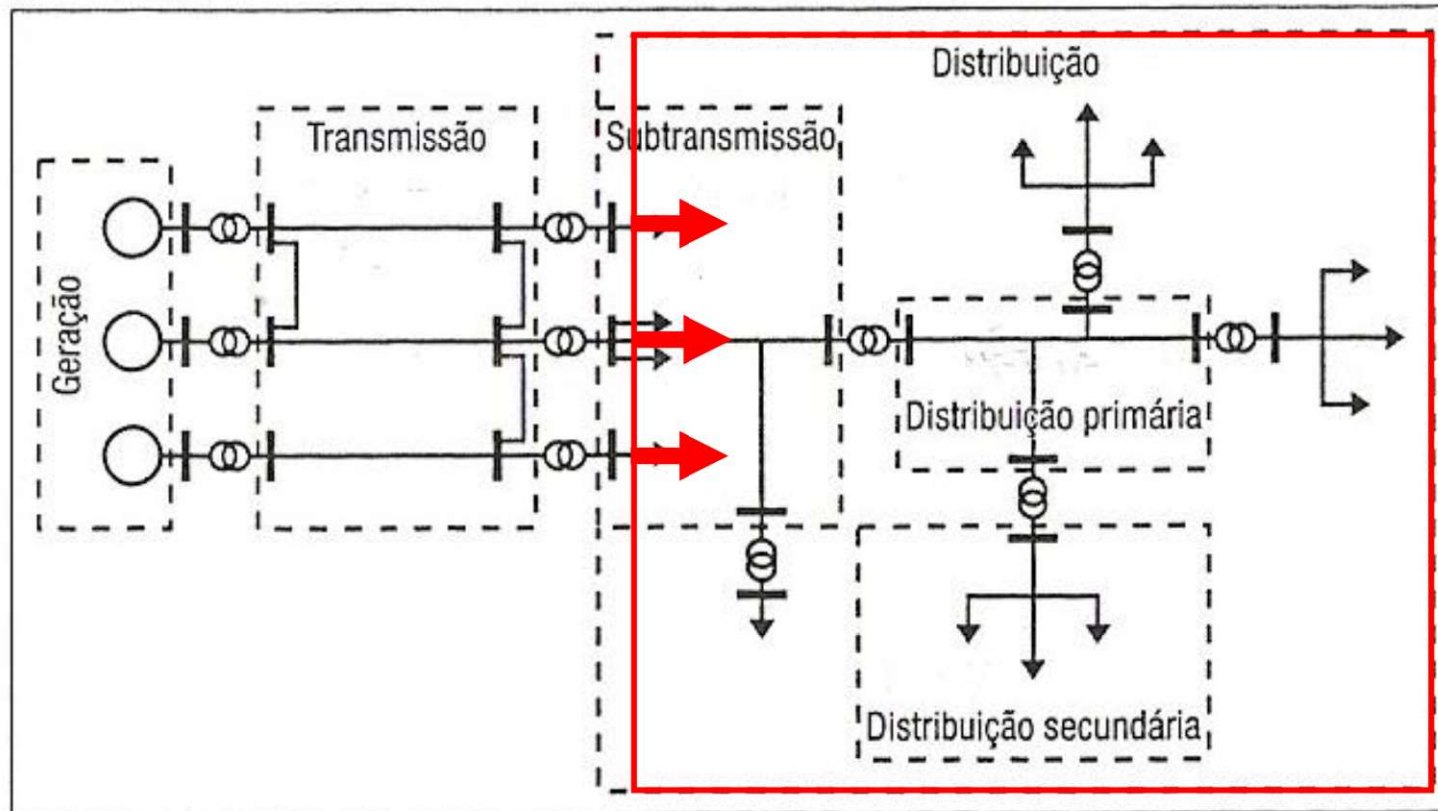
Estrutura do Sistema Elétrico de Potência: **Cargas/Utilização**

1. Energia elétrica na forma elétrica é inútil.
2. O consumo ocorre pela sua transformação em outras formas: **cargas**.
3. Motores, Aquecimento, Resfriamento, Luz, Cozinhar, Computadores, etc...
4. Queremos: continuidade, magnitude e frequência constantes, senoidal.
5. Não há como controlar... **A carga depende da vontade dos consumidores.**
6. GTD operam para atender a essa carga "aleatória": **Não tem bateria!**
7. A carga é caracterizada por vários fatores: Carga, Demanda, Perdas, etc...

Assuntos de Distribuição de Energia Elétrica!



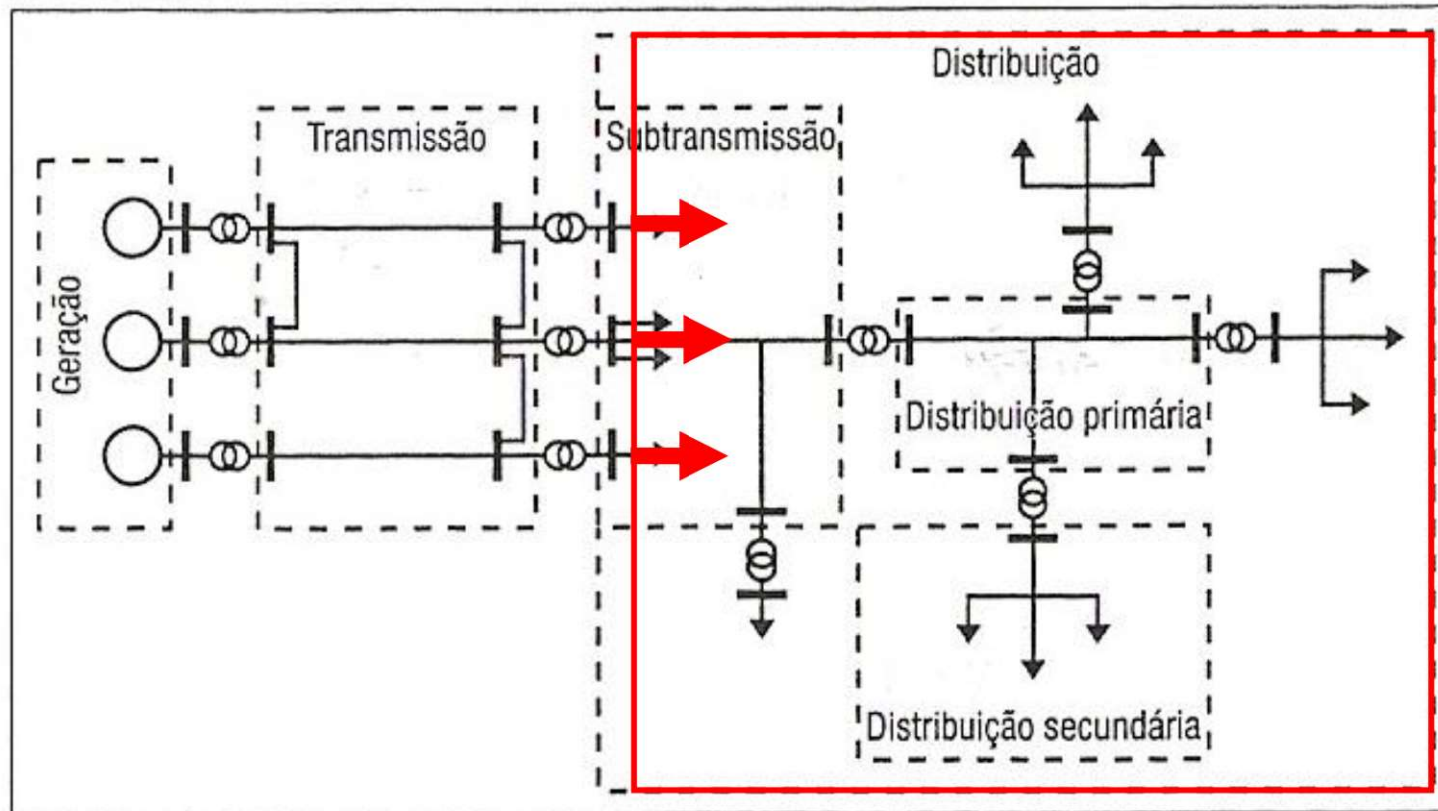
ASE: Geração + Transmissão + "Carga"



1. Na análise dos sistemas elétricos de potência é usual estudar **Geração + Transmissão**, modelando os sistemas de **Distribuição** como **Cargas Fictícias** conectadas nas barras do sistema de transmissão.



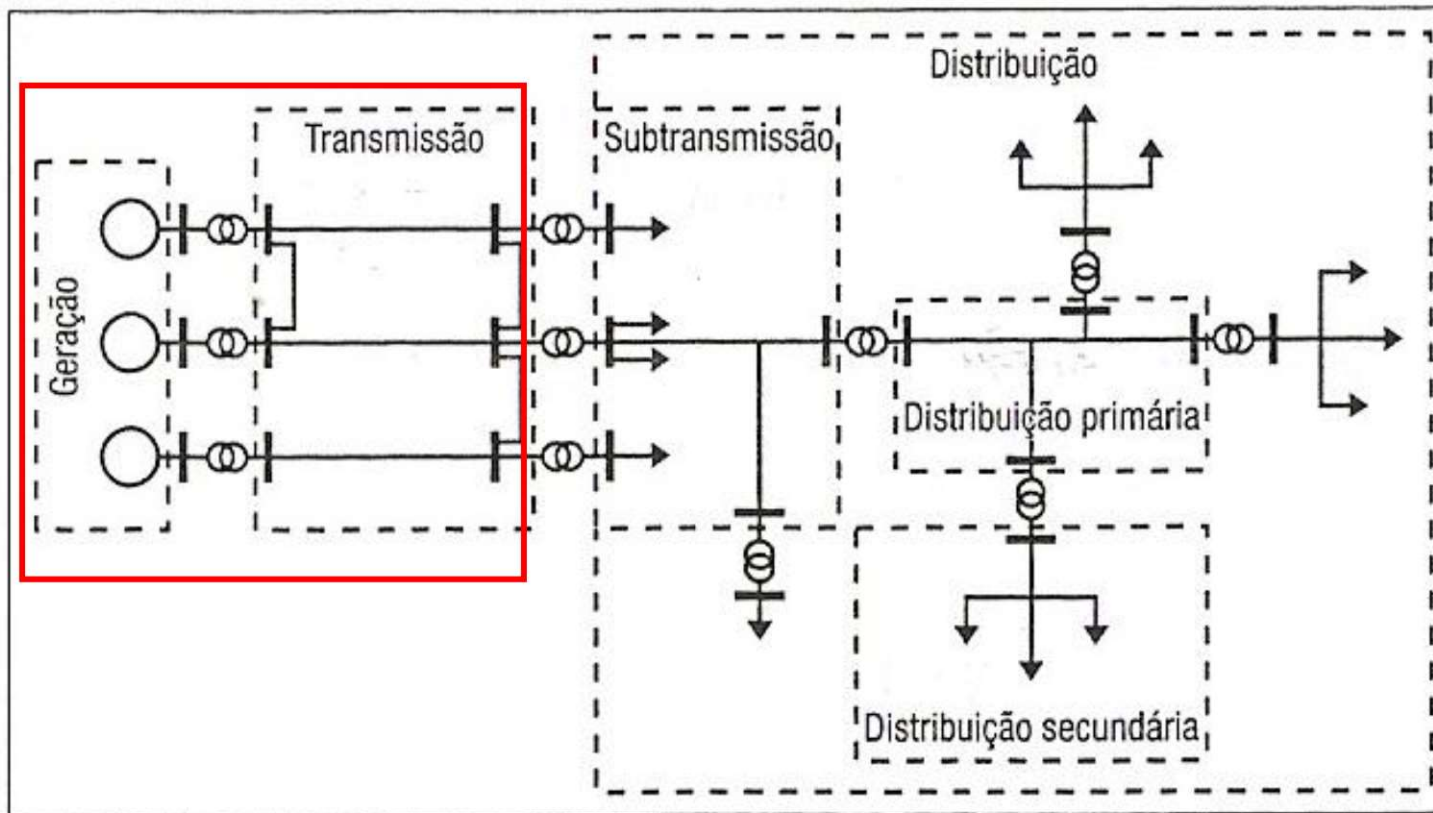
ASE: Geração + Transmissão + "Carga"



2. A disciplina **Análise de Sistemas Elétricos** adota esse modelo simplificado.
3. Na unidade 1, o interesse é no modelo da rede.
4. Na unidade 2, o sistema opera em regime permanente.
5. E, na unidade 3, o sistema opera no chamado regime dinâmico.



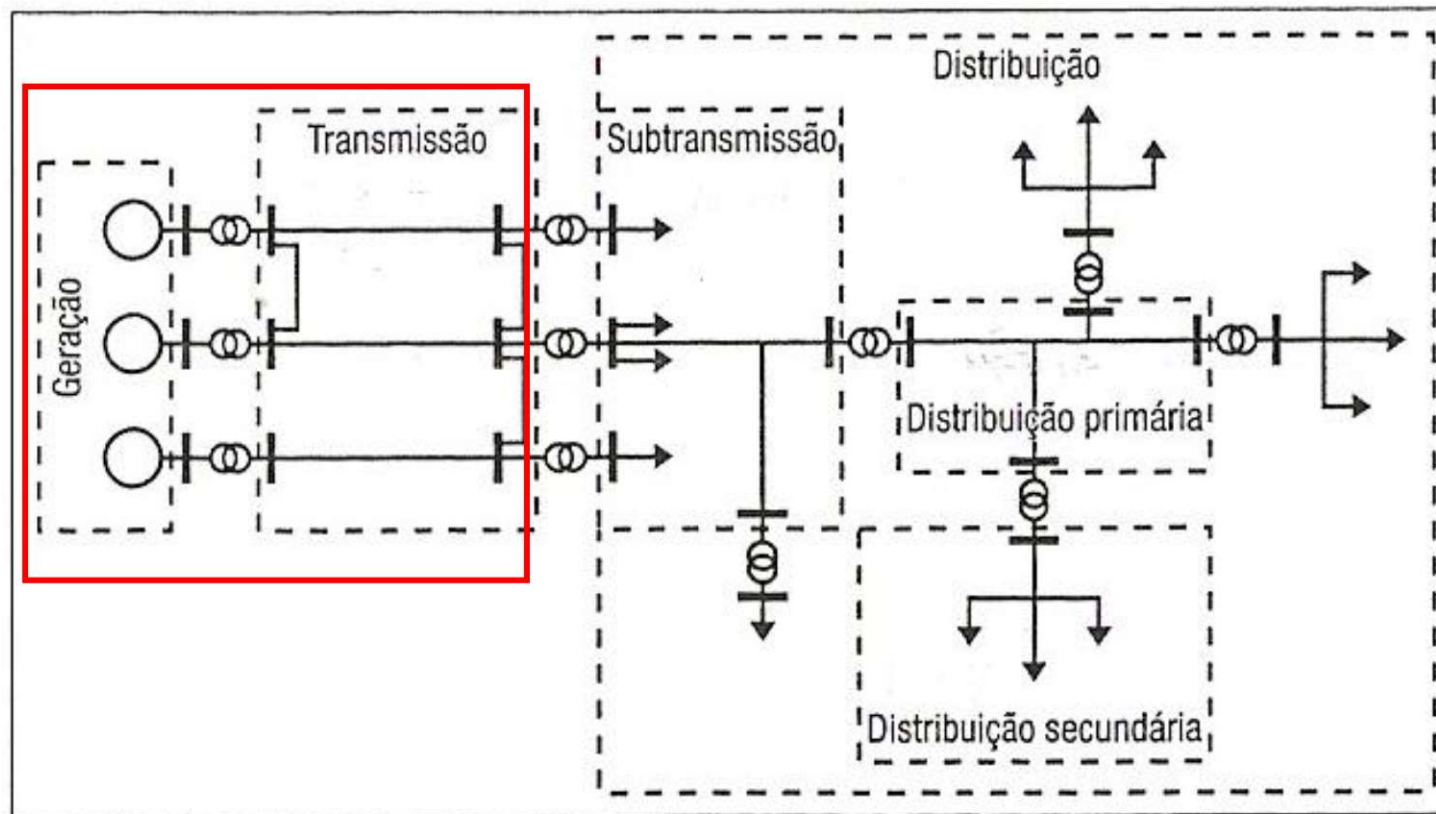
DEE: Fontes Ideais + Distribuição + Cargas



1. Na análise dos sistemas elétricos de potência é usual estudar a **Distribuição** modelando **Geração + Transmissão** como fontes de tensão controlada.



DEE: Fontes Ideais + Distribuição + Cargas

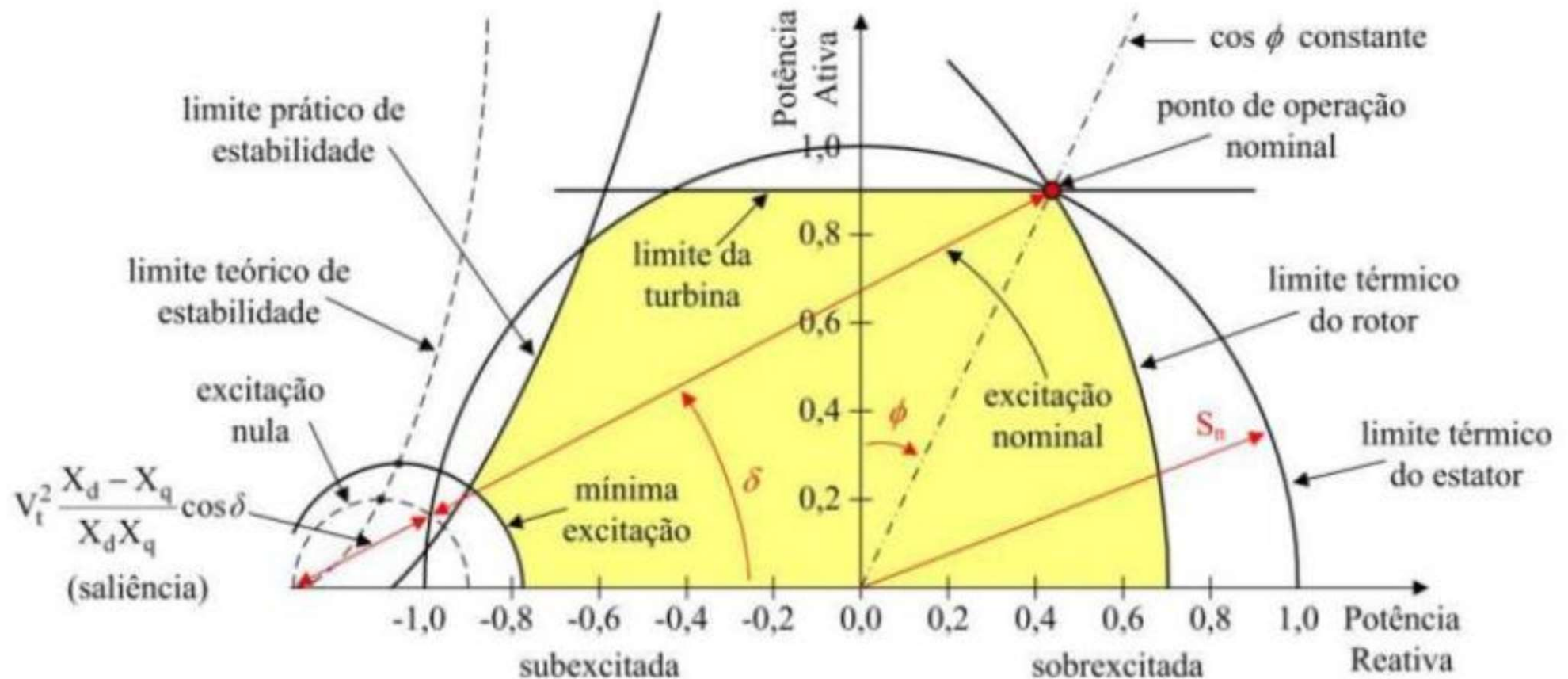


2. A disciplina **Distribuição de Energia Elétrica** adota esse modelo simplificado.
3. Há um enfoque maior na distribuição primária, pois a subtransmissão se assemelha muito à transmissão e a distribuição secundária é tratada nas disciplinas voltadas para instalações elétricas.



Curva de Capacidade dos Geradores Síncronos

O sistema opera sem “bateria”. Para cada gerador síncrono se tem um “ponto de operação”. Quando a carga muda, os geradores reagem e mudam seus pontos de operação. Geração persegue a carga continuamente, mas limitada à área amarela.





Estrutura do Sistema Elétrico de Potência

Geração – Transmissão – Distribuição – Utilização

Helon David de Macêdo Braz
helon@cear.ufpb.br