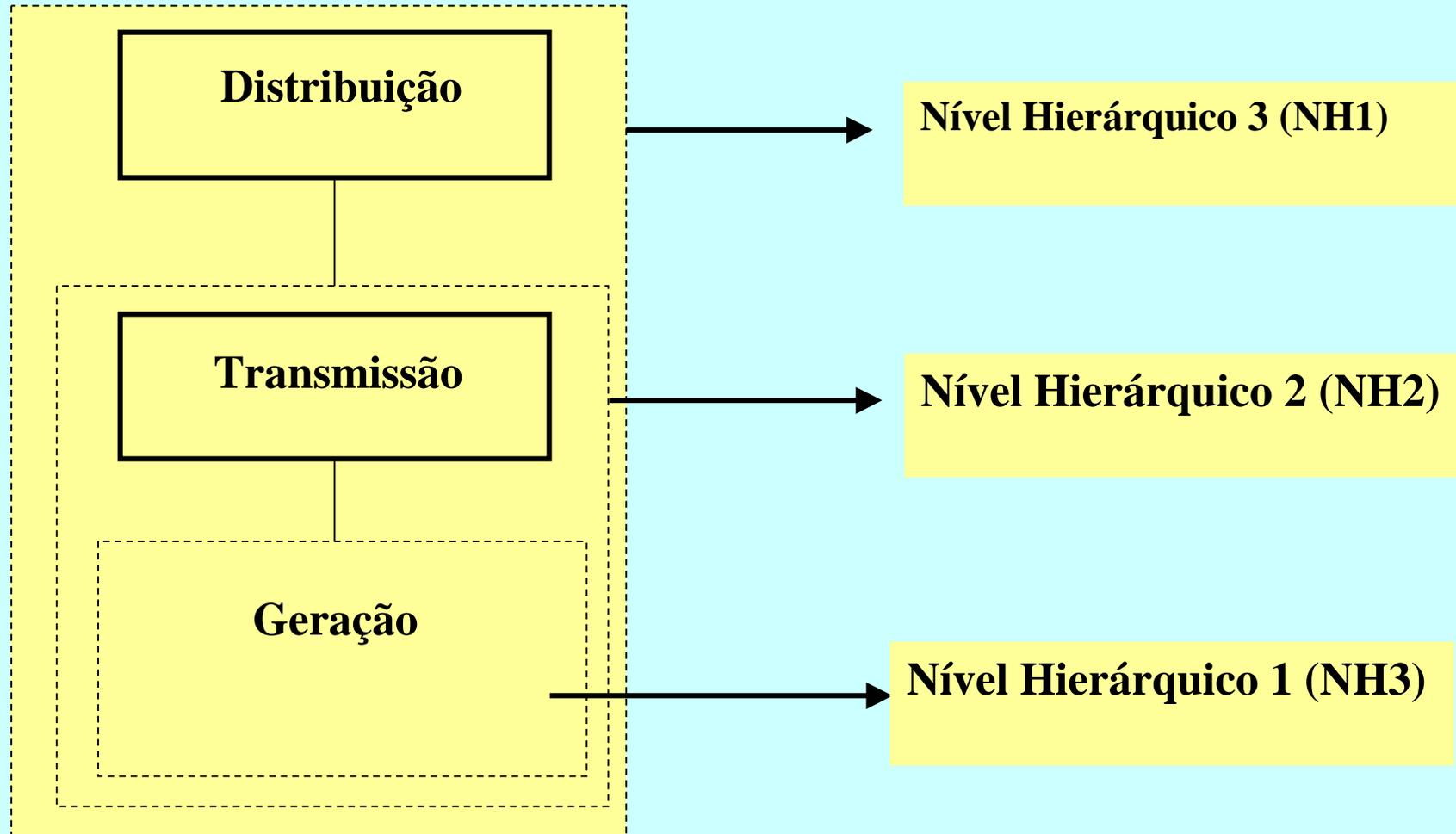


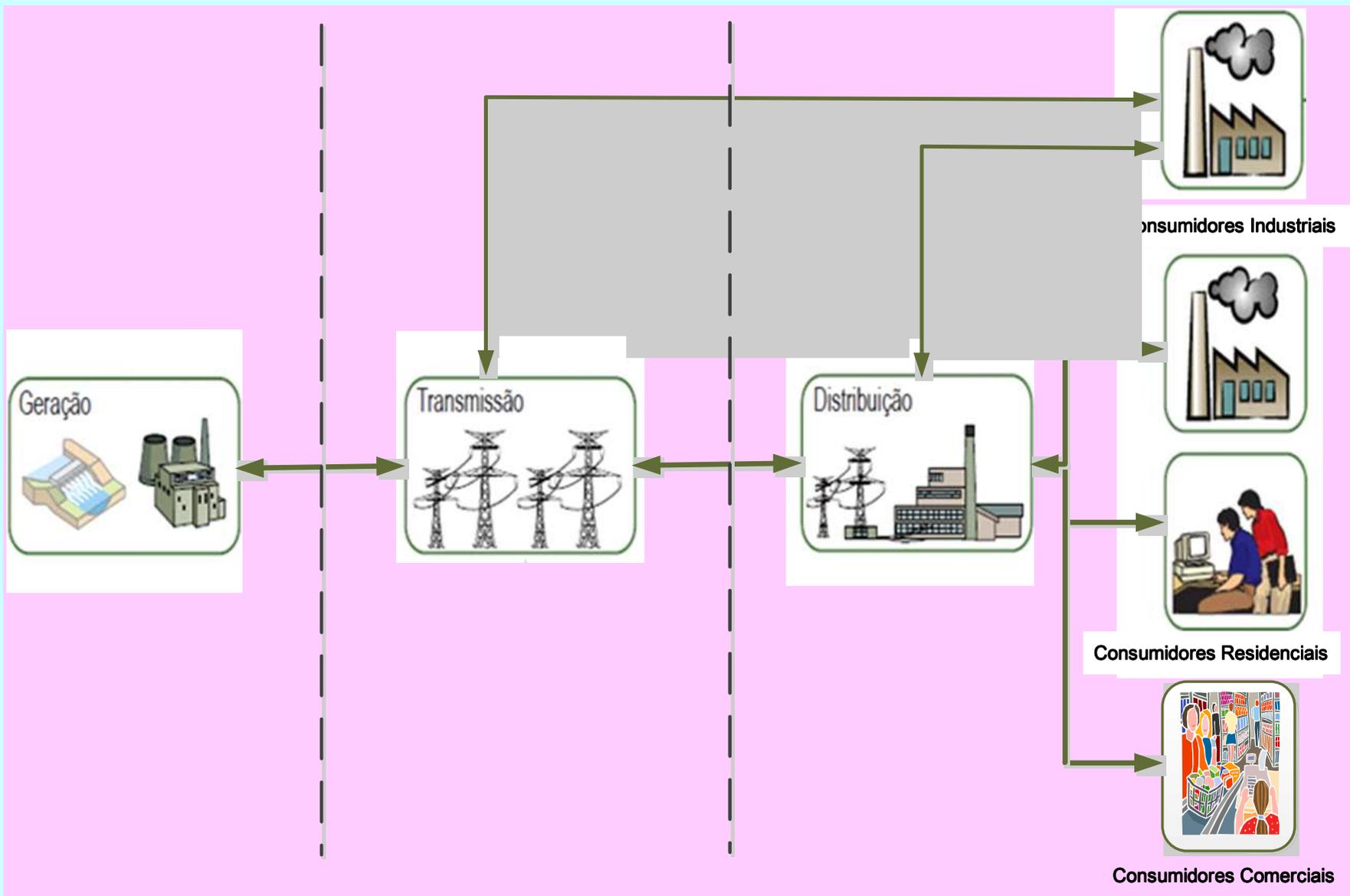
# AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

1

# Introdução/recordação Sistemas de Potência

**Os sistemas de potência são divididos em três zonas funcionais para fins de planejamento, operação e análise: geração, transmissão e distribuição,. Estas zonas podem ser combinadas em níveis hierárquicos (BILLINGTON; ALLAN, 1984).**





**Ilustrativa da divisão funcional dos sistemas de potência (Machado 2013)**

**Capacidade instalada no Brasil, em 2013 = 123894,49 Megawatts (MW)  
 2846 usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, nucleares, pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL,2013)**

<b>Empreendimentos em Operação</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>	
<b>Biomassa,Maré motriz e outras fontes</b>	<b>418</b>	<b>253.413</b>	
<b>Usinas Eólicas</b>	<b>94</b>	<b>2.074.541</b>	
<b>Pequenas Centrais Hidrelétricas</b>	<b>457</b>	<b>4.441.746</b>	
<b>Usina Fotovoltaica</b>	<b>14</b>	<b>7.617</b>	
<b>Usinas Hidrelétricas</b>	<b>190</b>	<b>80.105.581</b>	
<b>Usinas Termelétricas</b>	<b>1671</b>	<b>35.004.595</b>	
<b>Usinas Nucleares</b>	<b>2</b>	<b>2.007.000</b>	
<b>Total</b>	<b>2.846</b>	<b>123.894.493</b>	

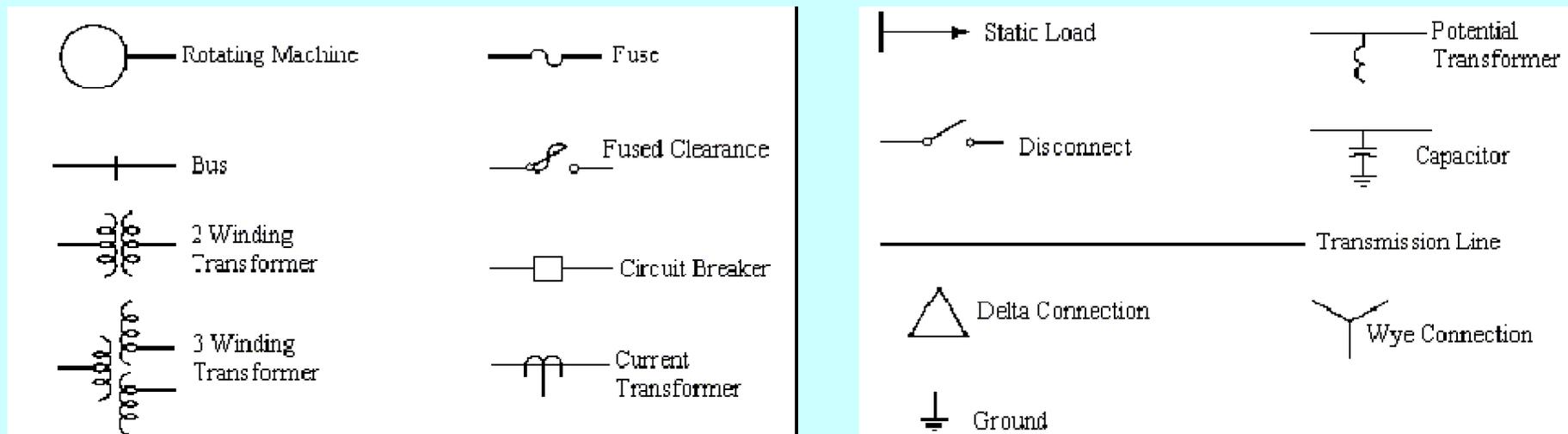


**Mapa da localização das Usinas Hidrelétricas Brasileiras (ANEEL,2008)**

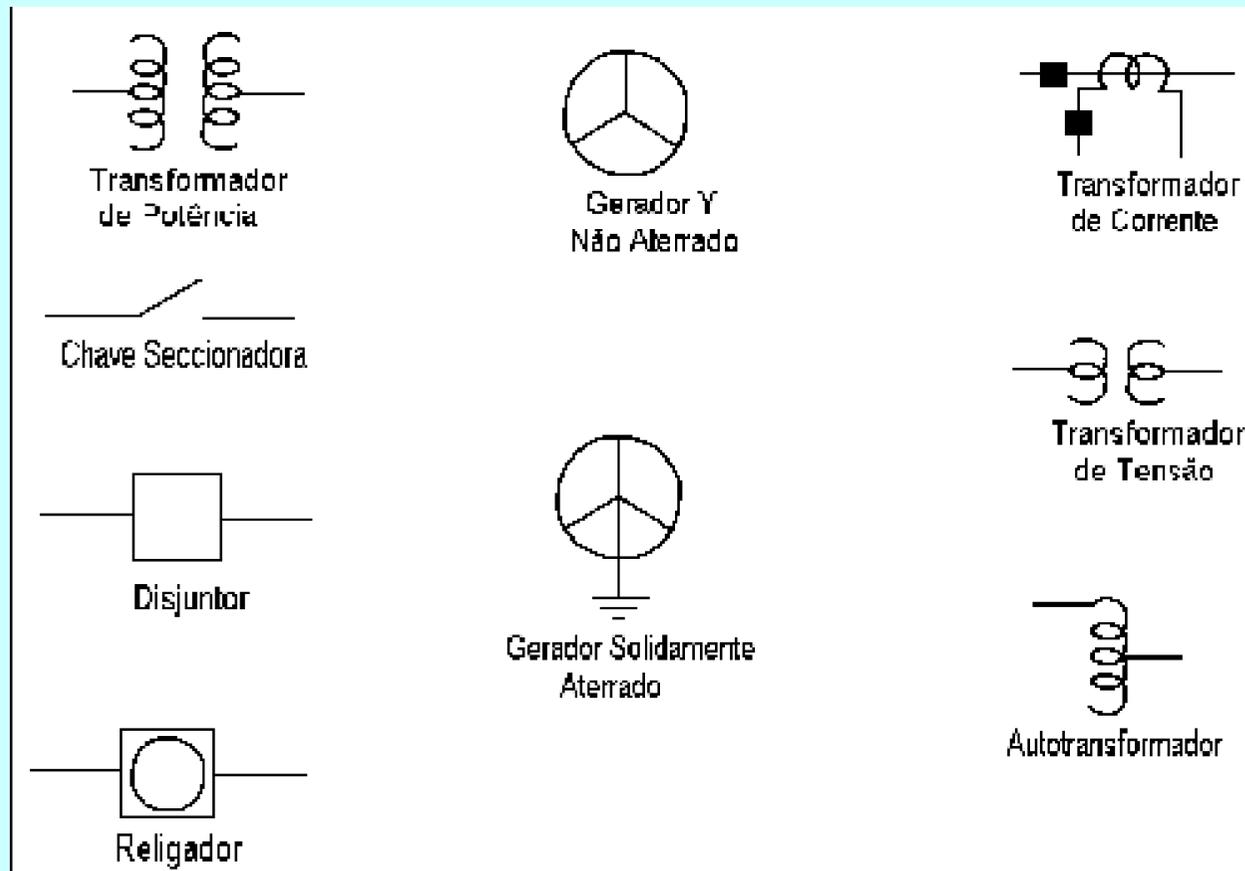
# 2

## Representação Esquemática de Sistemas de Potência

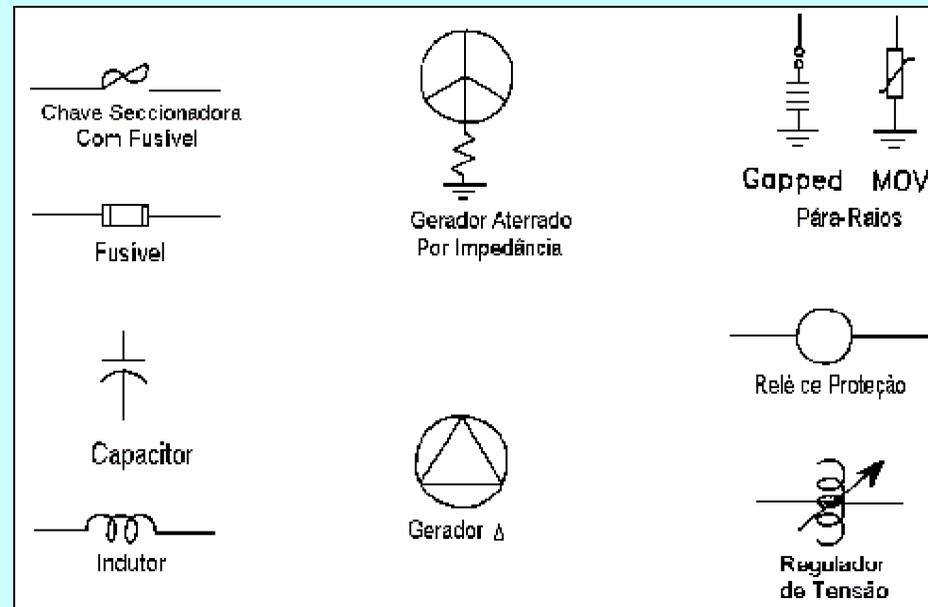
- Os símbolos para representação dos componentes elétricos são:



# Representação Esquemática de Sistemas de Potência



# Representação Esquemática de Sistemas de Potência



# Características dos Sistemas Elétricos de Potência

- Normalmente são trifásicos;
- Apresentam um grande número de componentes;
- Possuem transformadores que particionam o sistema em seções de diferentes níveis de tensão.

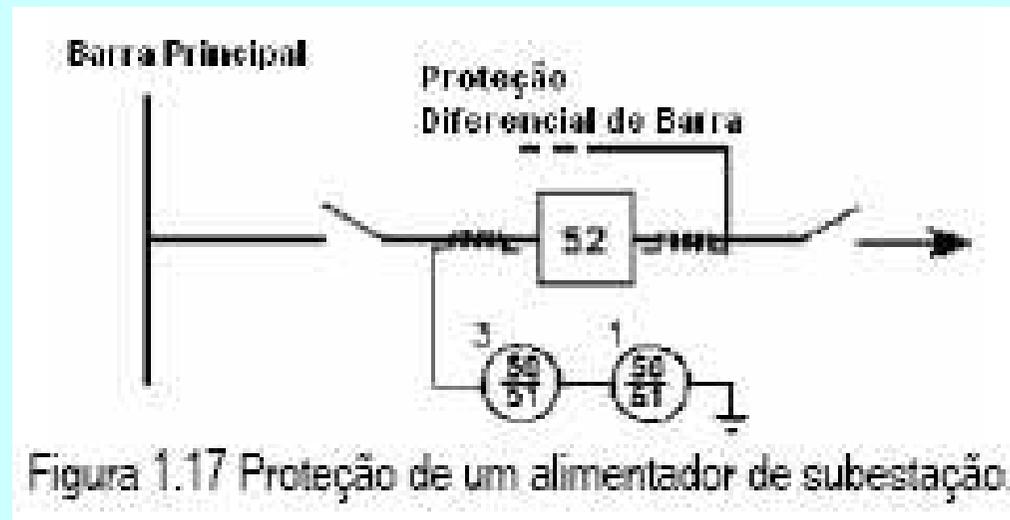
## Representação do Sistema Elétrico

- Os sistemas elétricos podem ser representados graficamente através de:
  - Diagramas Unifilares
  - Diagramas Multifilares
  - Diagrama Equivalente por Fase



# Proteção

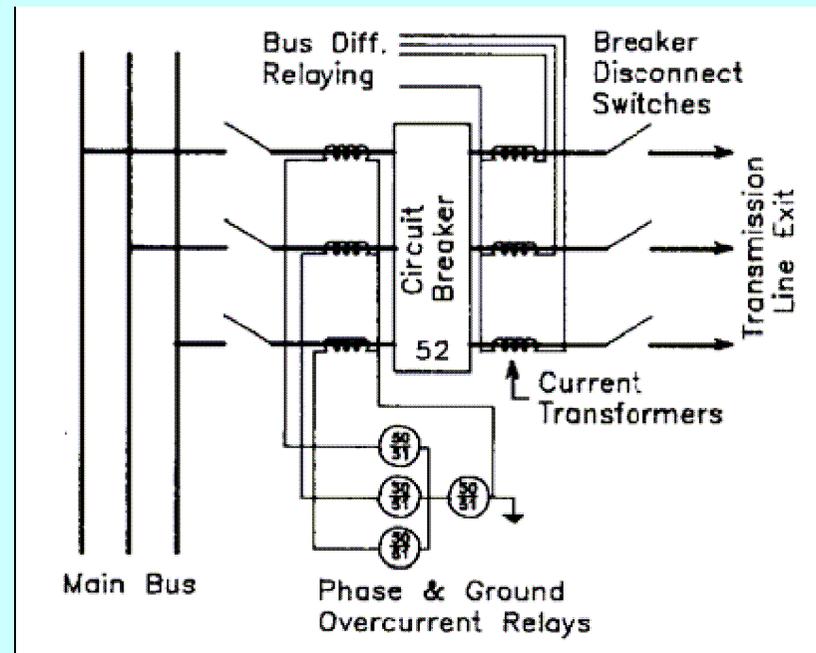
- cada elemento de um sistema elétrico deve ser protegido através de um sistema de proteção.



# Diagrama Multifilar

- Os diagramas multifilares podem ser bifásicos ou trifásicos.
- As Figuras a seguir ilustram um diagrama trifilar, representando um circuito de saída de linha e uma linha de transmissão interligando subestações, respectivamente.

# Diagrama Multifilar



Saída de um circuito de uma subestação de sub-transmissão.

# Diagrama Multifilar

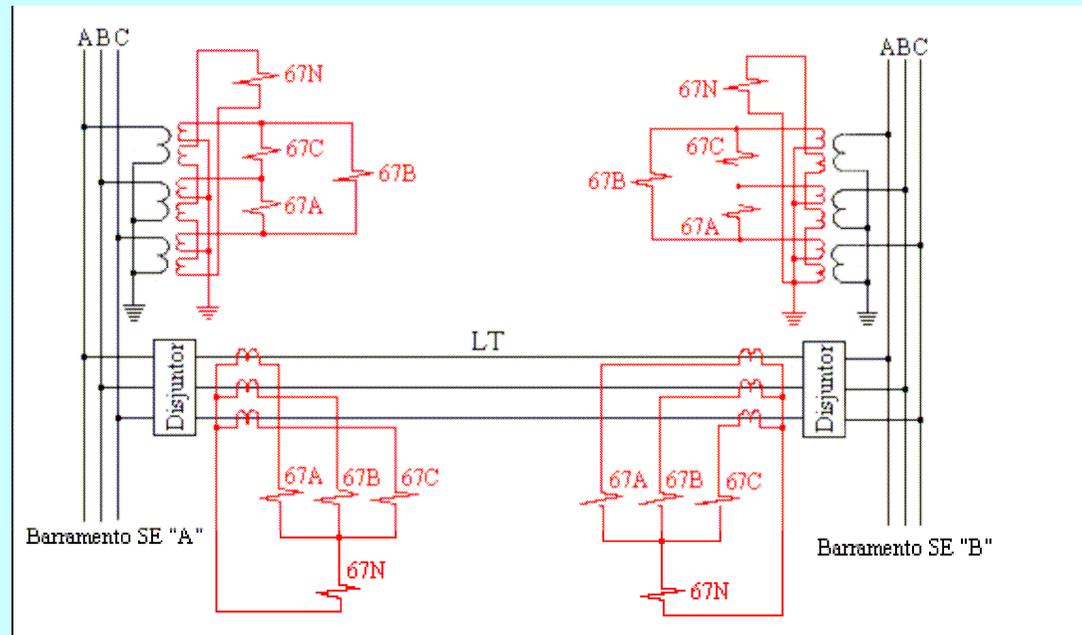


Diagrama trifilar de uma LT interligando subestações com proteção sobrecorrente direcional função 67.

# Diagrama Equivalente Por Fase

- Representa as grandezas normalizadas.
- Simplifica a análise numérica.
- Elimina o efeito particionador dos transformadores.
- Usado para mostrar os dados de impedância de geradores, linhas, transformadores, capacitores, cabos, etc.

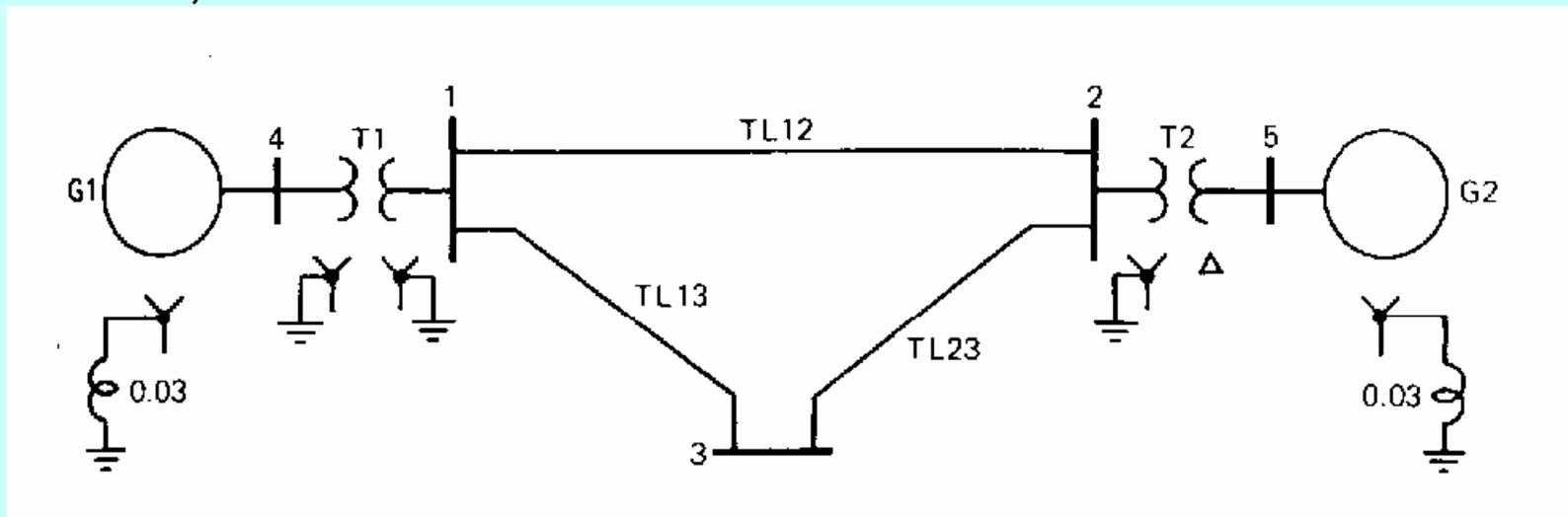
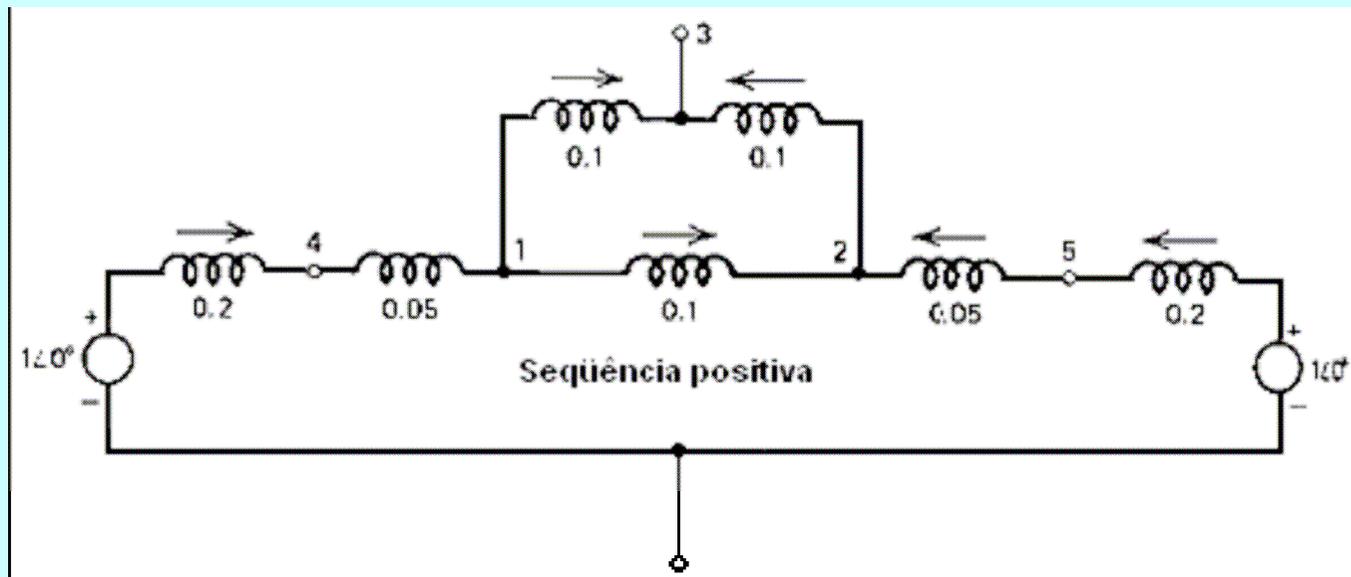


Diagrama unifilar de sistema elétrico de potência.

# Diagrama de Impedâncias

- As impedâncias são usadas para cálculos de queda-de-tensão, curto-circuito, carregamento de circuitos, etc.



## **SISTEMAS DIGITAIS PARA AUTOMAÇÃO ELÉTRICA**

**Os sistemas digitais são utilizados para a automação da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Empregados para: supervisão, comando, controle e proteção**

**Classificação quanto a processos:**

- a - Sistemas de supervisão do sistema de potência.**
- b - Sistema de automação de subestações.**
- c - Sistema de automação de usinas.**
- d - Sistema de automação da distribuição.**

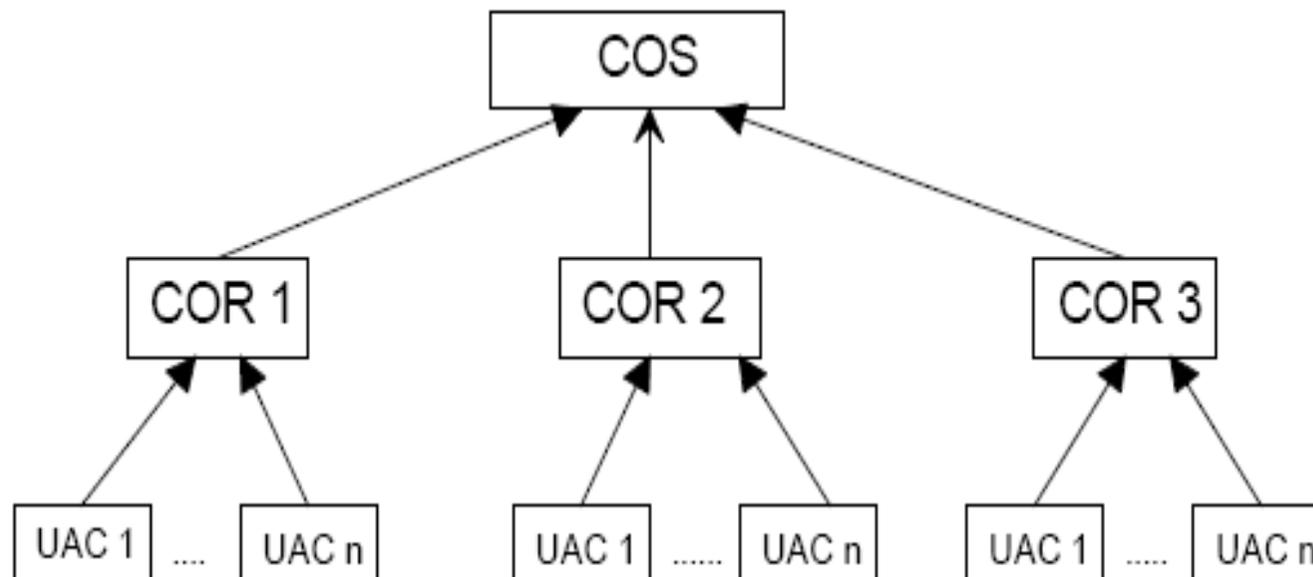
**SISTEMAS DE SUPERVISÃO E CONTROLE DO SISTEMA DE POTÊNCIA** também denominado Sistema de Supervisão e Controle (SSC), ou Despacho de Carga, ou Sistema de Gerenciamento da Energia (*EMS: Energy Management System*), provê os meios para coordenação da operação e da manutenção do sistema elétrico de uma forma global.

O SSC é composto por vários níveis hierárquicos de ação.

a - UAC- Unidade de Aquisição de Dados e Controle.

b - COR- Centro de Operação Regional

c - COS- Centro de Operação do Sistema



**SSC - Sistema de supervisão e controle: níveis hierárquicos (Jardini)**

As UACs são instaladas nas usinas geradoras e nas subestações. Fazem a aquisição de dados do processo e o comando de manobra de equipamentos. Neste nível encontram-se a interface com o processo. As funções são:

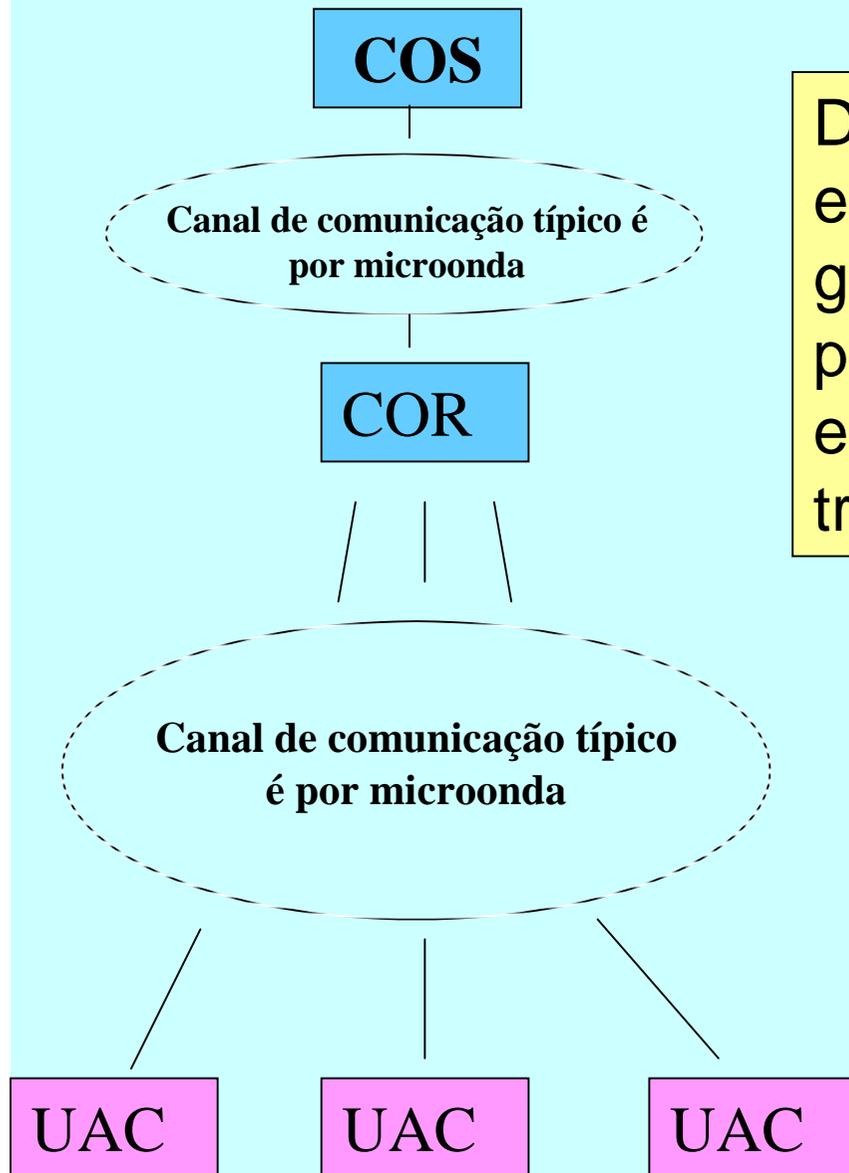
**a - Entrada de Dados de Variáveis Analógicas:**

aquisição de valores de tensão, corrente, temperaturas, níveis de reservatório, dentre outros.

**b - Entrada de Dados de Variáveis Digitais:** aquisição de informação sobre o estado ou posição de disjuntores (aberto ou fechado), de chaves, ou de equipamento ligado ou desligado.

**c - Saídas Digitais:** mudança de posição de contato aberto/fechado permitindo assim o telecomando de equipamentos e dispositivos (chaves, disjuntores etc.)

**d - Saídas Analógicas:** fornecimento de valores contínuos para ajuste da referência (*set point*) de componentes eletrônicos dedicados de controle, como os reguladores de tensão e de velocidade de geradores, e sinais para medidores analógicos tipo amperímetros.



Dados relevantes para um SSC: estado dos disjuntores das linhas, geradores e transformadores, as potências ativas e reativas em cada elemento, e a tensão nos vários trechos de barra.

Dados sem interesse ao SSC, como por exemplo, o estado dos disjuntores do serviço auxiliar da estação.

## **COS**

No COS está localizado um sistema digital para as funções denominadas de "alto nível“:

- a - Previsão de carga ligada, em base horária.
- b - Programação hidro energética, previsão de cheias e vazões efluentes nos reservatórios.
- c - Fluxo de potência.
- d - Estimador de estado.
- e - Análise de contingência (análise de segurança).
- f - Otimização da geração e transmissão.
- h - Controle automático de geração (CAG), ou o controle de carga e frequência.
- i - Coordenação da manutenção, etc.

## **COR**

O COR tem a função COR a função SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). interface homem-máquina (IHM) adequada ao operador da rede regional.

- a - Operação e o atendimento das subestações e usinas de uma região da área global.
- b - Sinais de telecomando dos disjuntores, os sinais para partir e conectar um dado gerador na usina, e chegam todos os dados coletados nas UAC.

**No COS podem também terem ligação direta com as UACs correspondentes à malha principal do sistema. Portanto, nele pode estar também incluída a função SCADA. Tanto no COR como no COS encontram-se facilidades para geração de relatórios gerenciais e técnicos. Nos SSCs onde estão incorporados outros níveis de ação tais como:**

**a - COU: Centro de Operação de um conjunto de Usinas.**

**b - CAU: Centro de Atendimento de um conjunto de Usinas.**

**c - OS: Centro de Operação de um conjunto de Subestações.**

**d - CAS: Centro de Atendimento de um conjunto de Subestações.**

**f - COD: Centro de Operação da Distribuição.**

**Alguns SSC em operação no Brasil:**

**a - ELETROBRÁS (COS em Brasília)**

**b - FURNAS (COS no Rio)**

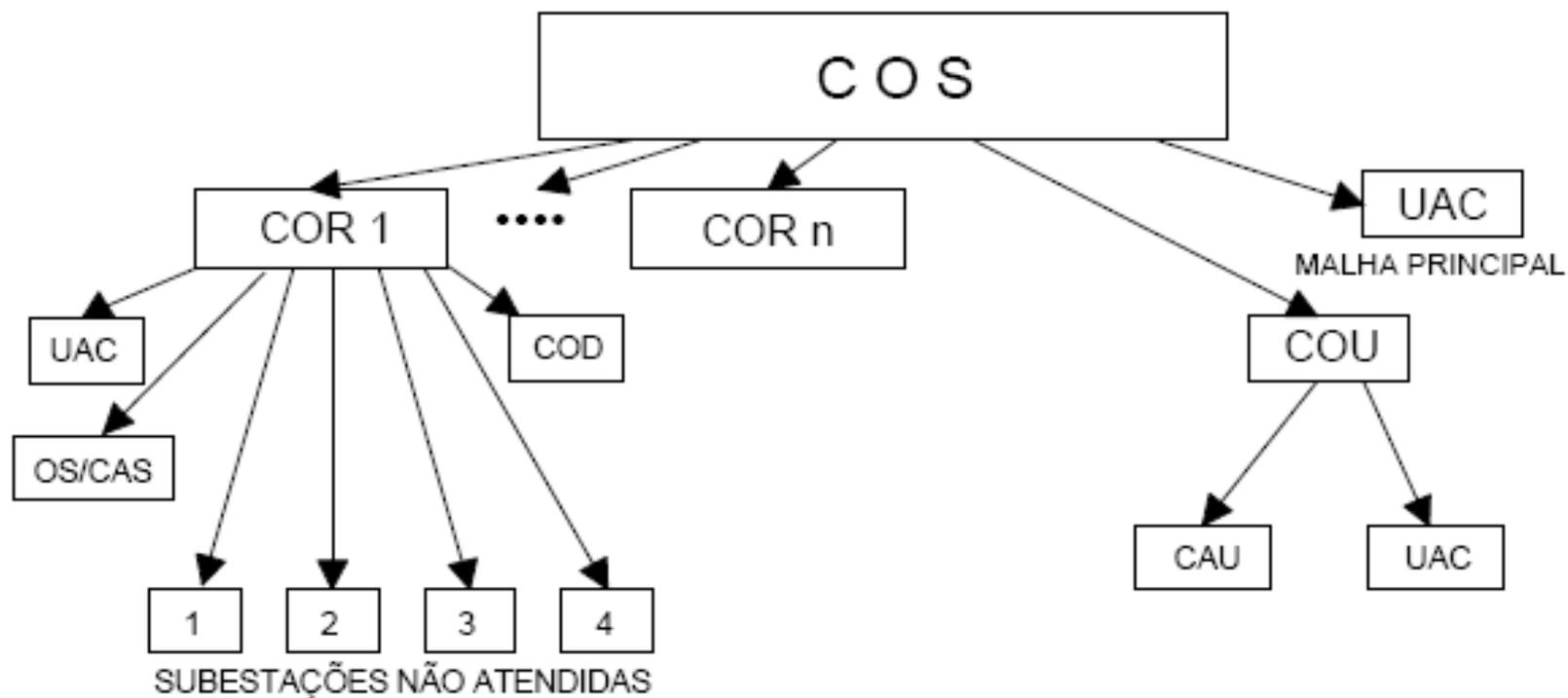
**c - ELETRONORTE (COS em Brasília)**

**d - ELETROSUL, (COS em Florianópolis)**

**f - CESP (COS em Bom Jardim)**

**g - CPFL (COS em Campinas)**





### SSC com outras funções hierárquicas (Jardini)

**Obs. Os SSC citados trocam informações entre si, visto que todos os sistemas de transmissão são interligados e portanto, interdependentes.**

# **SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES**

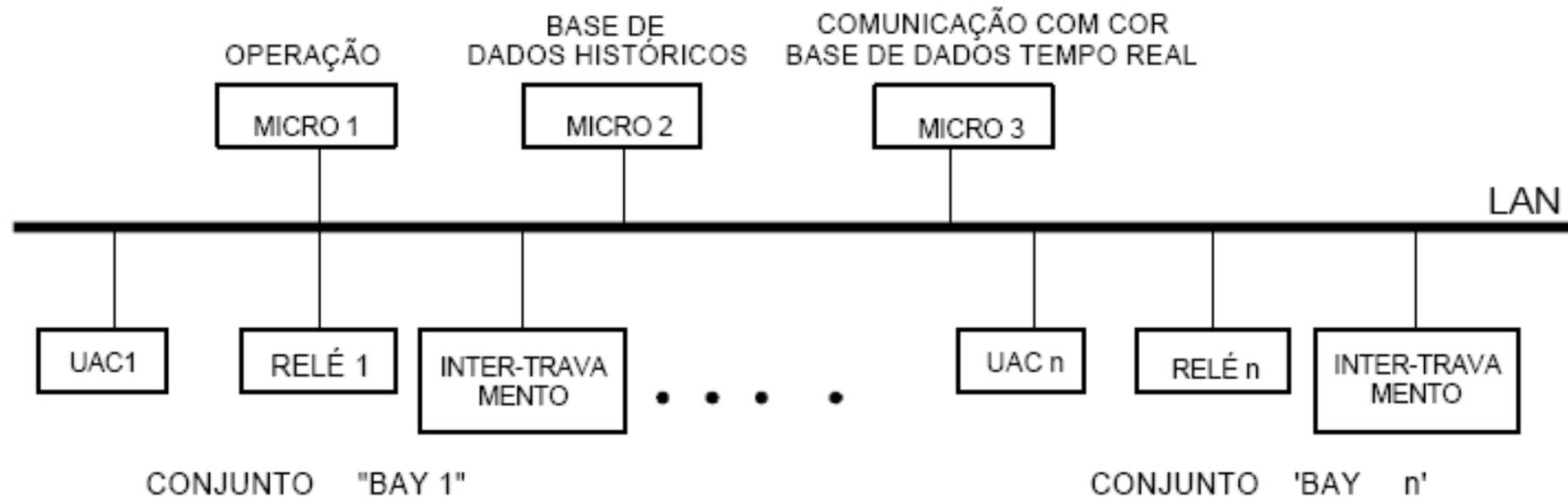
**Dois níveis hierárquicos:**

**a - o nível interface com o processo e aquisição de dados:**

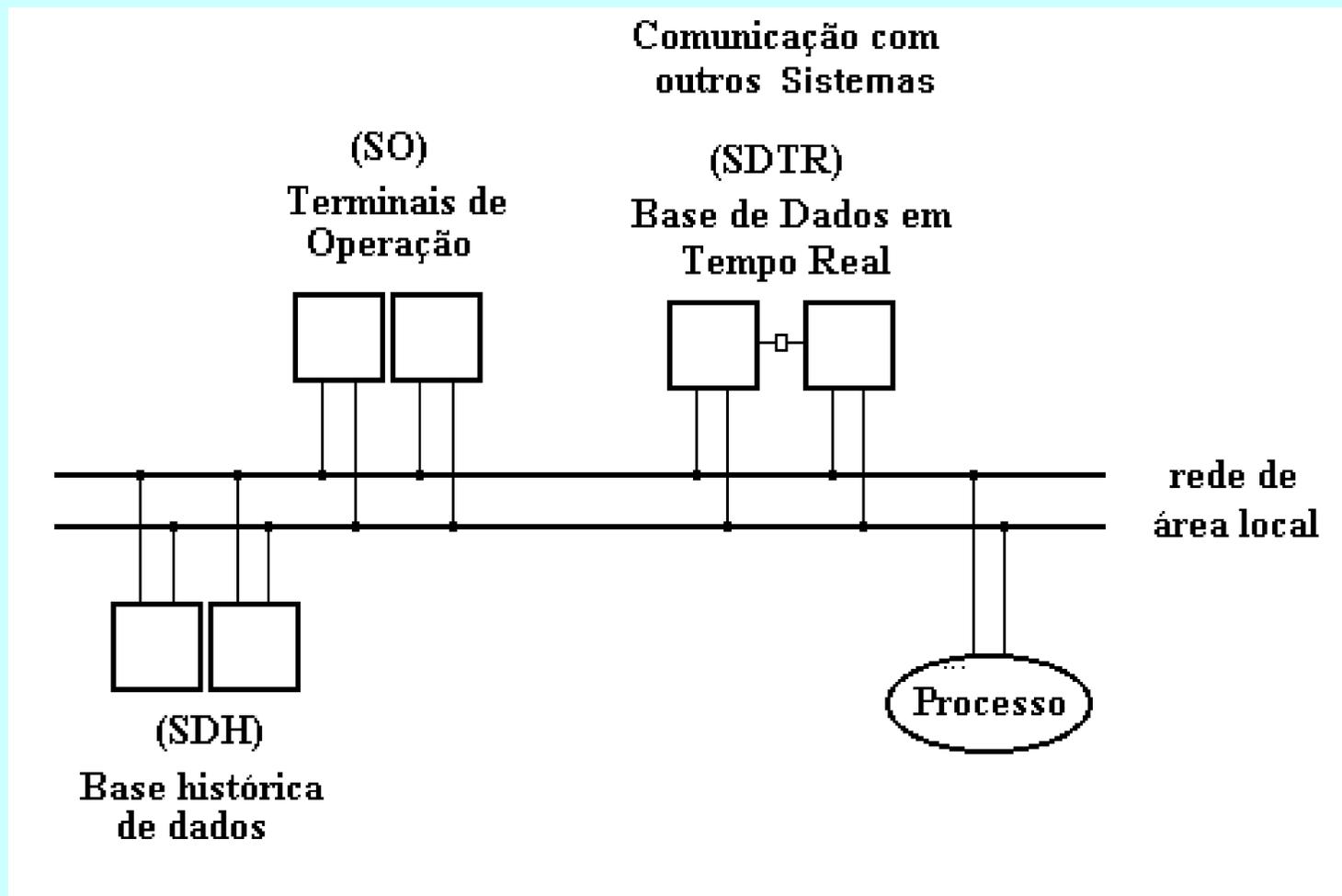
unidades de aquisição de dados (UAC) e os outros equipamentos dedicados como os reles de proteção (digital ou não), os equipamentos de oscilografia, as unidades para intertravamento, e os controladores e equipamentos tipo compensador estático por exemplo.

**b - nível de comando e supervisão também denominado**

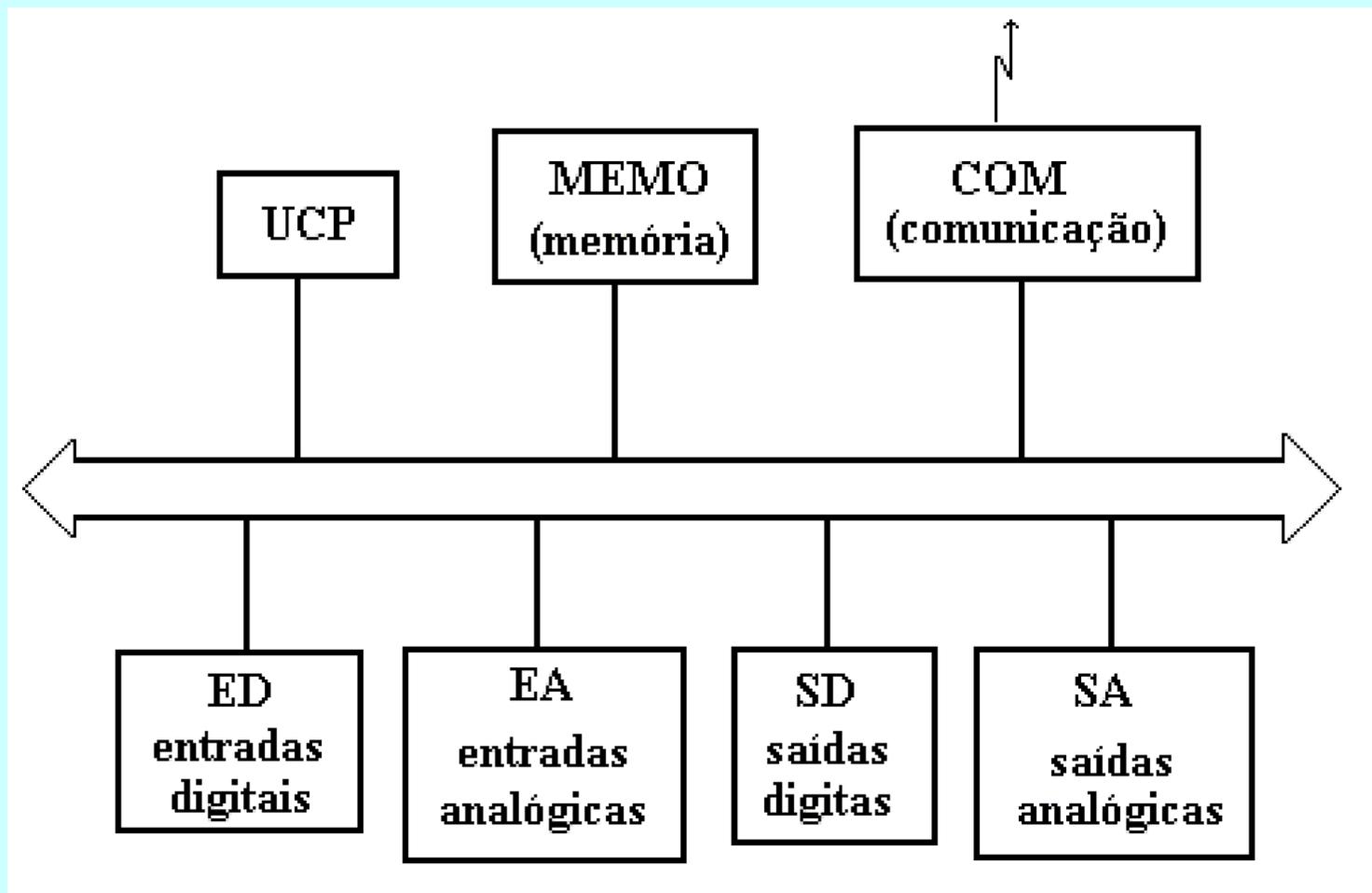
**Sistema Central. Principais Funções:** Sinalização ou monitoração de estado (*status*) de equipamentos, medição, proteções (de linha, de transformador, de barra, de reator, por perda de sincronismo, etc.), monitoração das proteções, religamento automático, estimativa de localização de falta na linha, telecomando, proteção por falha de disjuntor, controle de equipamentos de chaveamento,(intertravamento), seqüência automática de chaveamentos, monitoração de sobrecarga em transformadores, controle local de tensão e fluxo de reativo, corte seletivo de cargas (*load shedding*), sincronização, alarmes, indicação e registro de seqüência de eventos, oscilografia, interface homem-máquina, impressão de relatórios, interface com COR/COS e outros sistemas, autodiagnose etc.



**Sistema genérico típico de automação de subestação (Jardini) normalmente composto por vários microcomputadores ou estações de trabalho (*workstation*) ligados em rede de área local (LAN : *Local Area Network*). Os equipamentos digitais do nível de interface com o processo, se ligam ao Sistema Central diretamente na rede local ou através de processadores de comunicação encarregados de receber as informações e transmiti-las para a rede.**



Configuração do sistema central (Jardini)

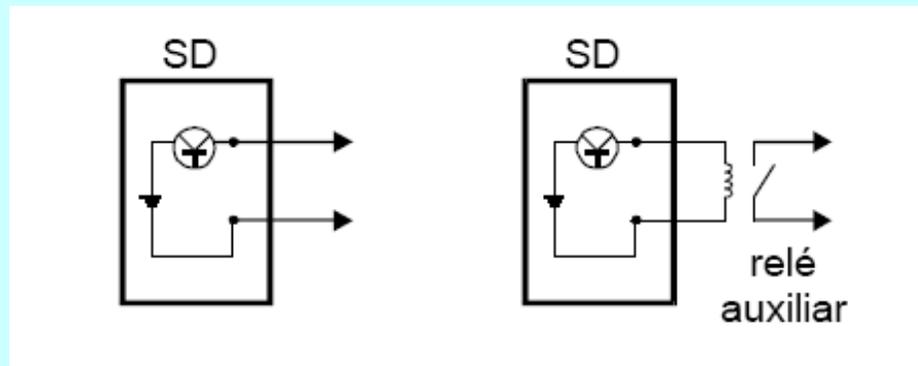
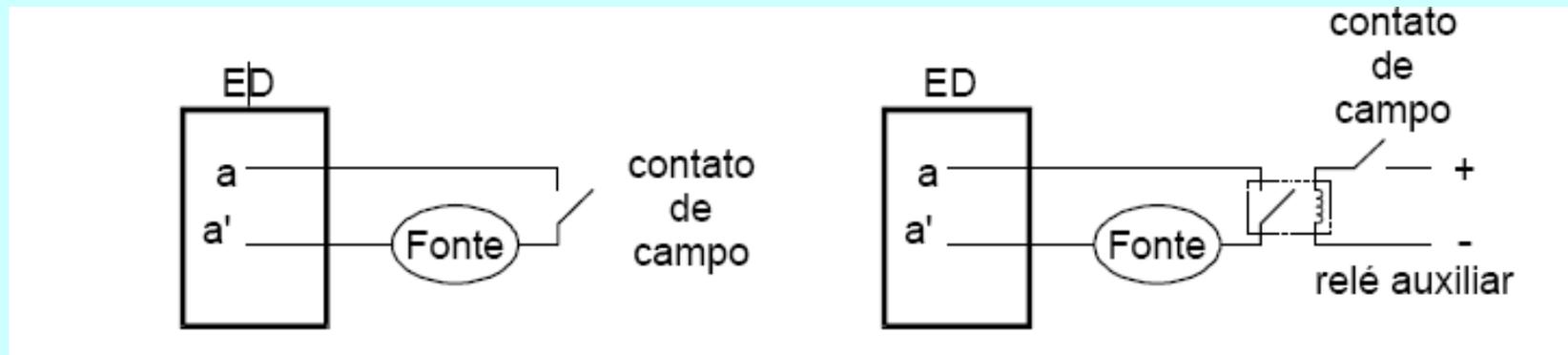


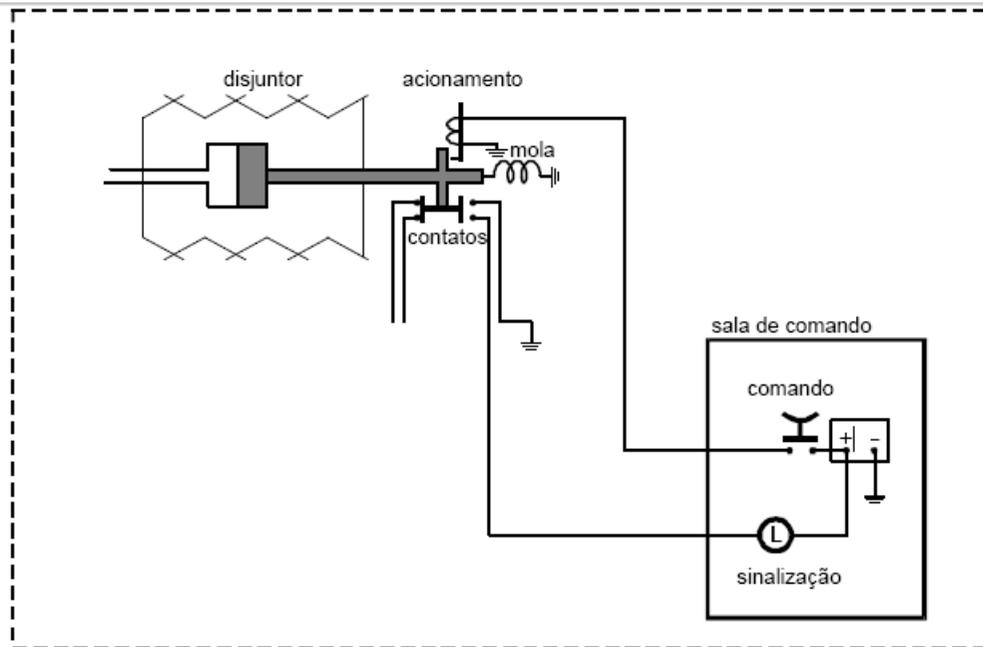
**Blocos da UAC (Jardini)**

**Em uma UAC ainda existem dois blocos: fonte e borneira**

**Entradas Digitais:** São cartões ligadas as entradas digitais (contatos) passando por acopladores ópticos e proteções (varistores). Um cartão pode acomodar desde 4 até 48 entradas digitais.

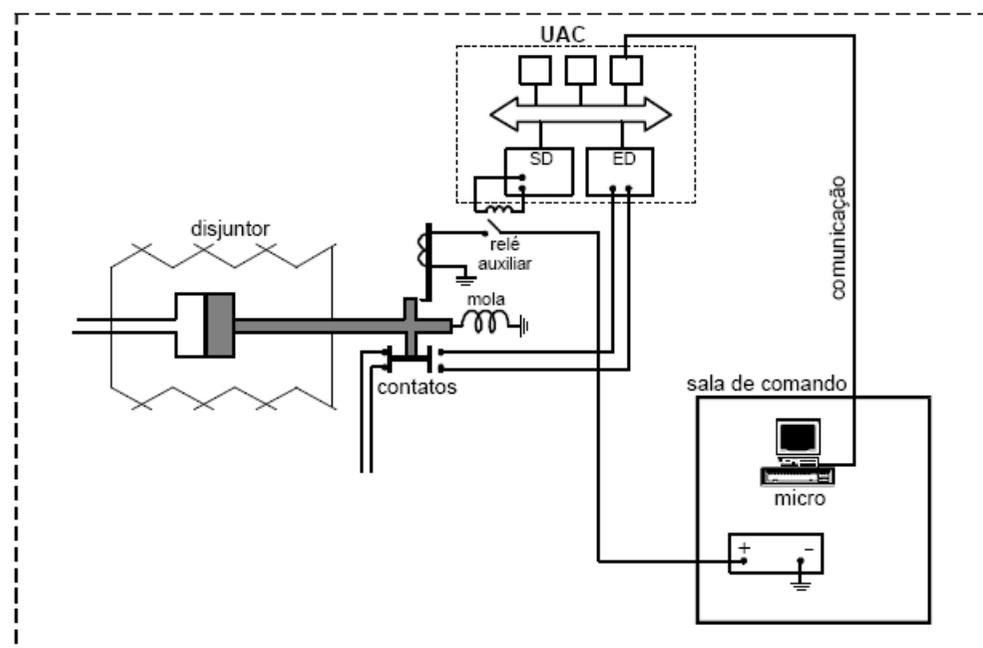
**Saídas Digitais:** cada qual possuem também um endereço na UAC. Nas figuras são mostradas as ligações esquemáticas de entradas, feita por via direta ou via rele auxiliar e de saídas





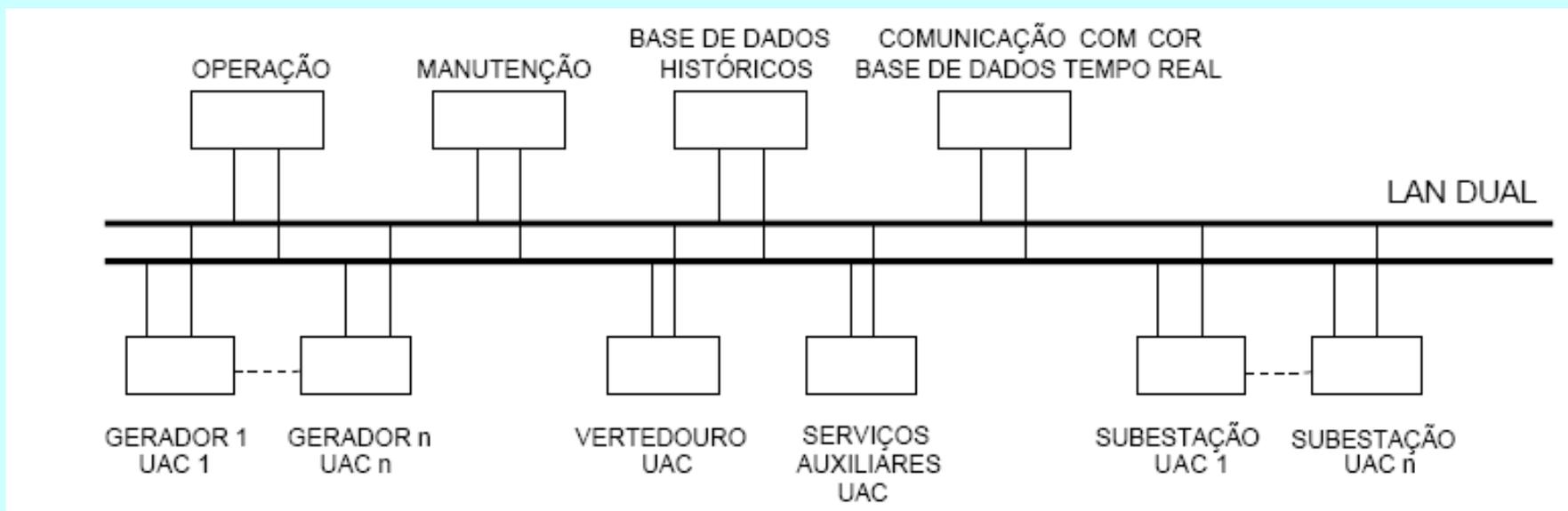
a) Comando convencional

## Telecomandos (Jardini)



b) Telecomando digital

# SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DE USINAS



**Sistema de automação de usinas (Jardini)**

**Principais funções: Medições, comando, controle e proteção, Alarmes, Seqüência de eventos, Supervisão de estado de equipamentos, Partida, parada, sincronização de grupos geradores, Supervisão, controle, proteção da subestação elevadora, Despacho da usina, consistindo do controle conjunto ou individual, de potência ativa, de tensão/reativos, Proteção dos geradores, Operação automática dos vertedouros, etc.**



Ilustração de UHE de represamento (Norte Energia,2011) (Machado 2013)

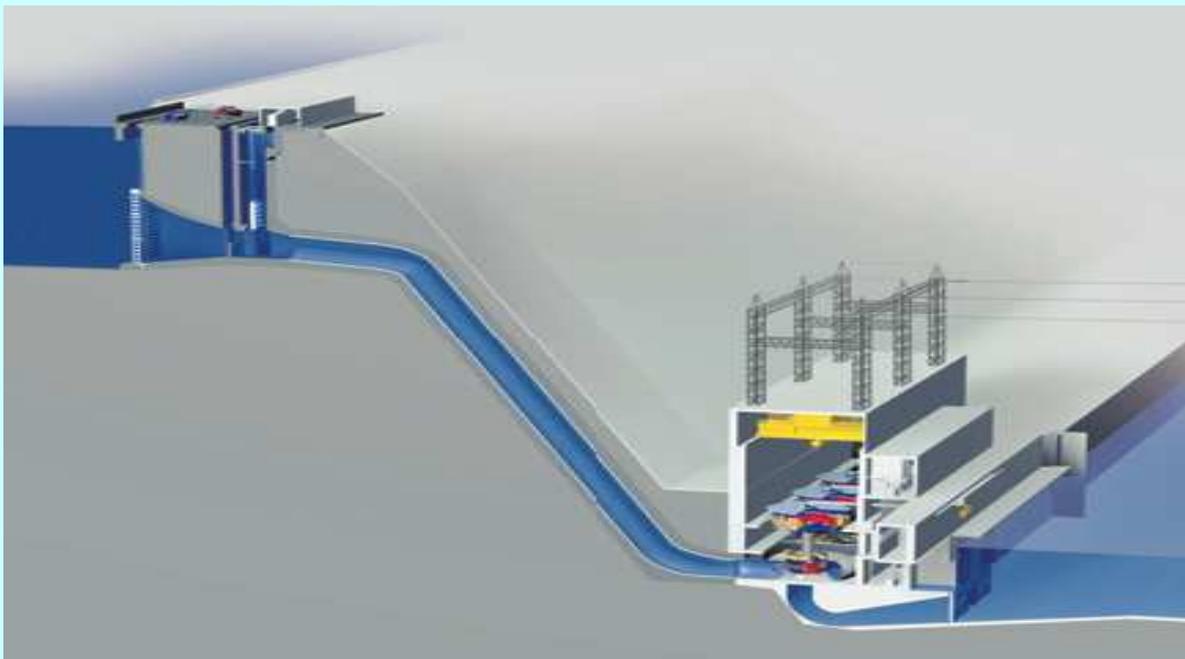
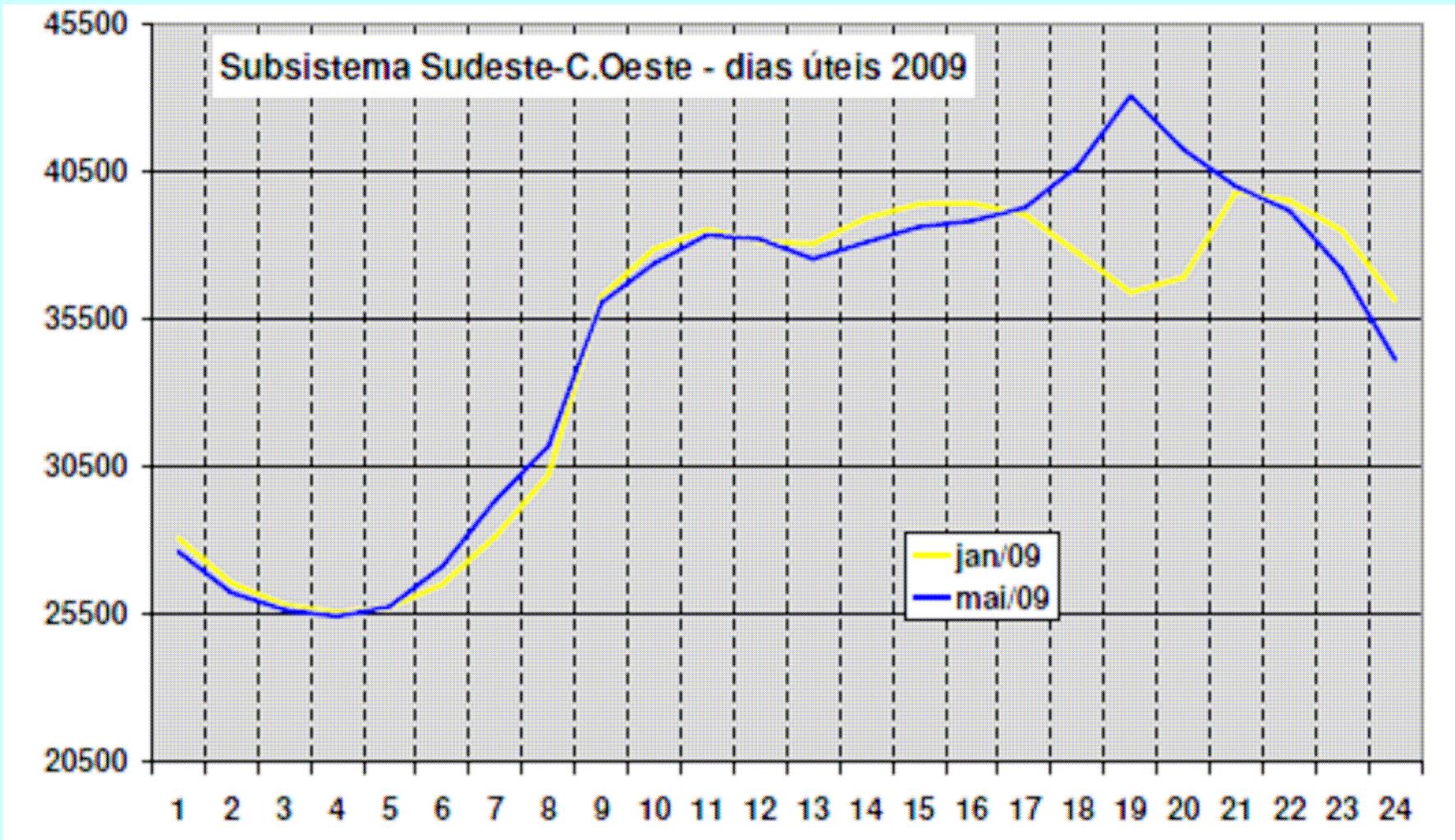


Ilustração de UHE de desvio (Voith Hydro, 2008) (Machado 2013)

**Fator de  
capacidade  
de uma UHE**

$$FC = \frac{\textit{Produção Média}}{\textit{Produção de Pico}}$$

**Dois conceitos de sistemas elétricos de potência: as curvas de carga e de produção o despacho (REIS,2003).**



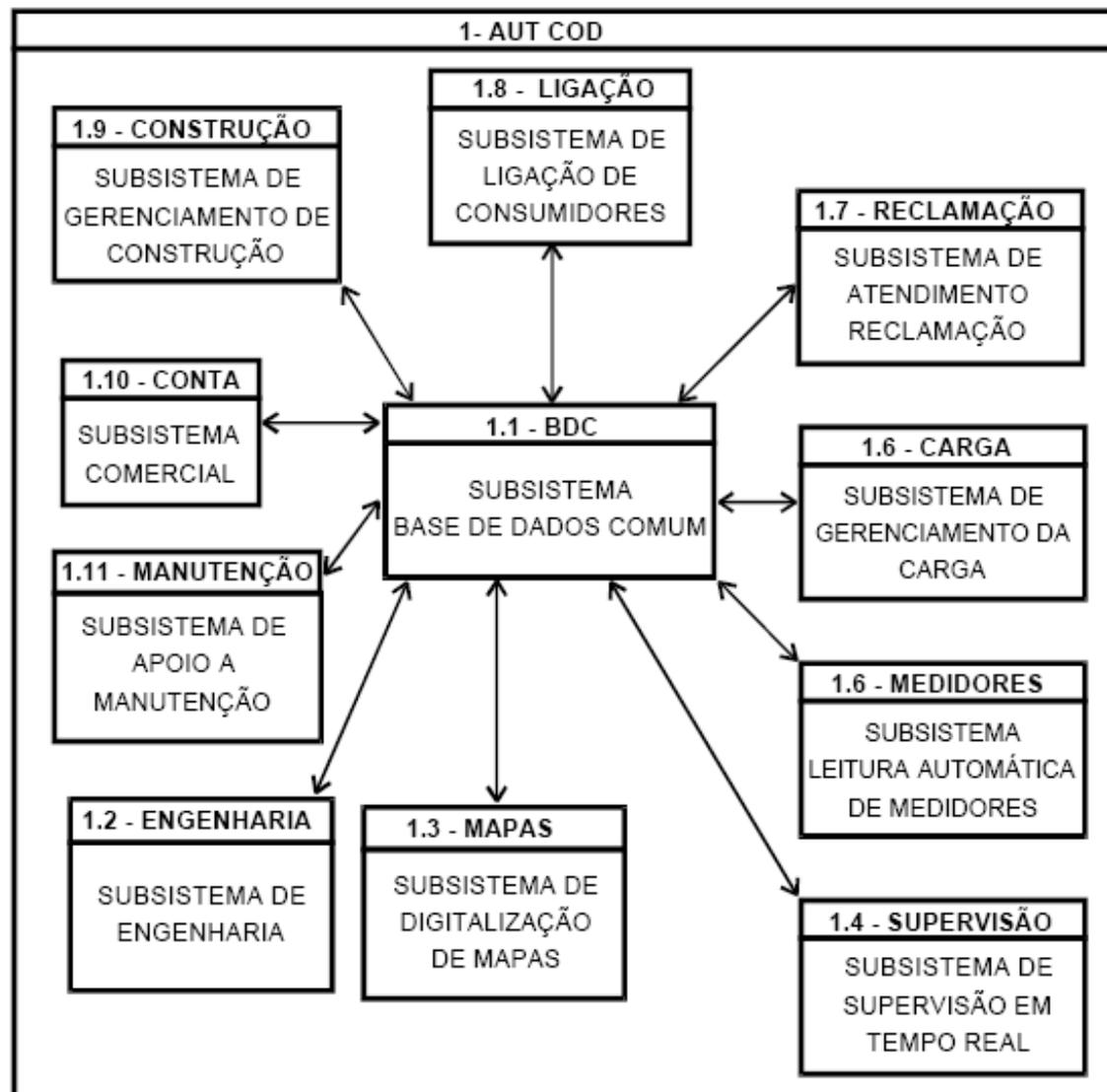
**Curva de Carga diária do Sistema SE/CO em MW (adaptado de ONS, 2011)(Machado 2013)**

**Valor de Demanda Média, cuja integração no tempo fornece a energia consumida**

**Valor de Demanda Máxima, que é o maior valor instantâneo da carga no período considerado.**

**A demanda média está relacionada à capacidade do parque gerador alimentar, continuamente, a carga suprida, influenciando, então, a energia firme**

# SISTEMA DE AUTOMAÇÃO OU INFORMATIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO



Automação da distribuição (Jardini)

## **REFERÊNCIAS:**

**Jardini J. A. Sistemas Elétricos de Potencia Automação.**

**Reis,L.B. Geração de Energia Elétrica:tecnologia,inserção ambiental,planejamento,operação e análise de viabilidade.** Barueri, São Paulo,3<sup>a</sup> edição, Editora Manole,2003.

**Machado, A. N.,Metodologia de avaliação da confiabilidade de plantas de geração de energia** Tese Doutorado EPUSP 2013.

**ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, Planejamento da Operação Elétrica de Médio Prazo 2009-2010,** 2011.

Apostilas PEA (GEPEA).