

Conteúdo de hoje:

3) Arquitetura de proteção

3.1) Tecnologias

3.1.1) Eletromecânica

3.1.2) Estática

3.1.3) Digital

3.2) Arquitetura de software para proteção de sistemas elétricos

3.2.1) Tratamento e armazenamento de dados de entrada (filtros, etc.)

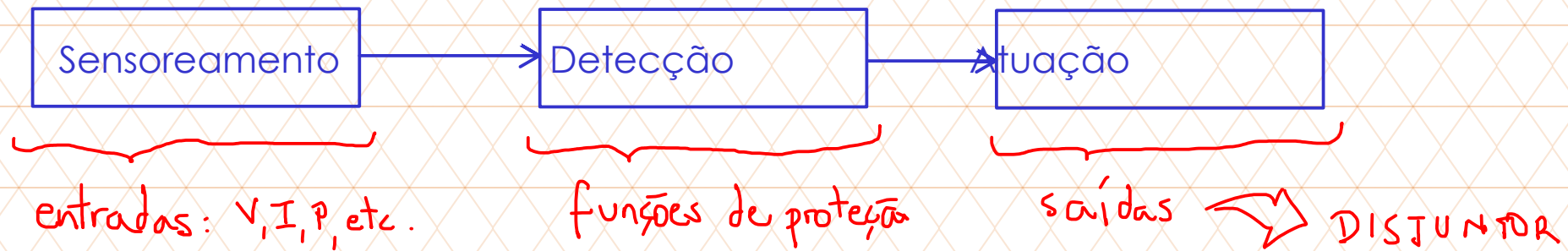
3.2.2) Processamento de dados (cálculo de grandezas de interesse)

3.2.3) Processamento da função de proteção

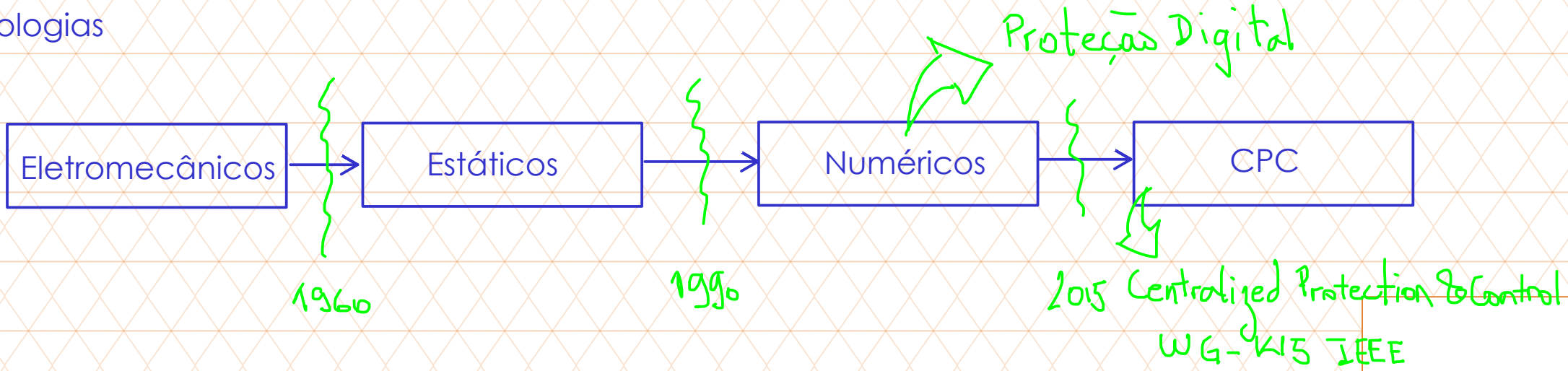
3.2.4) Lógica de disparo

28/09/22

# Os princípios de operação



## 3.1) Tecnologias



### 3.1.1) Eletromecânica

Foram os primeiros a serem utilizados, em substituição aos fusíveis. Ainda estão presentes na grande maioria das subestações. Principalmente nas subestações de distribuição.



↳ função de proteção apenas

## Tipos de relés

- Relés de atração eletromagnética (mínima relutância) do tipo plunger
- Relés de indução (disco ou copo)

## Desvantagens

- Relés monofuncionais
- Não possuem qualquer recurso de auto-teste
- Requerem manutenção e limpeza constante
- Requerem reajustes constantes (poeira e vibração)

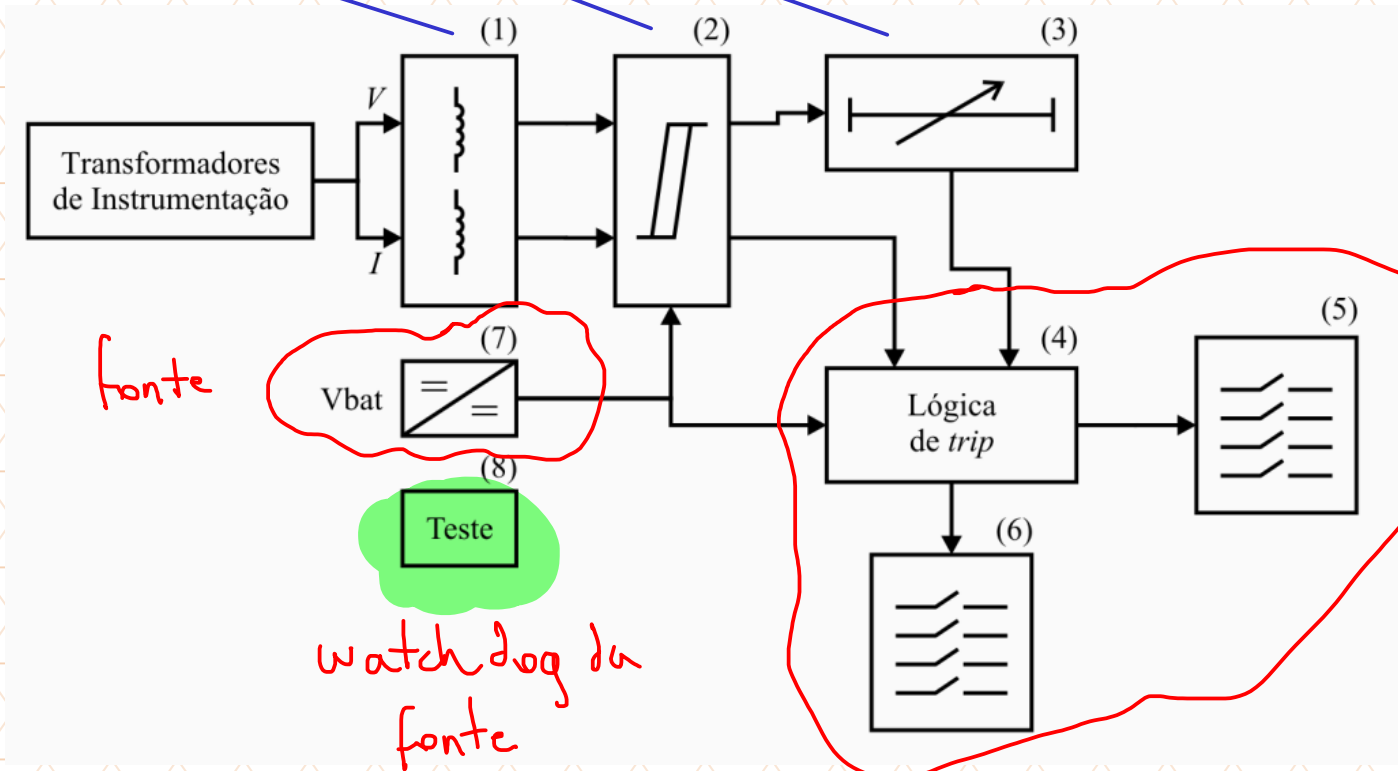
### 3.1.2) Estática

São os relés de eletrônica analógica que surgiram com a necessidade de melhora no desempenho das funções de proteção e redução nos tempos de isolamento do equipamento defeituoso (atualmente, nos procedimentos de rede, as LTs devem ser retiradas de serviço em até 100 ms - item 2.6.11...)

→ Transformadores auxiliares de entrada + retificador: acondicionamento dos sinais de entrada e redução de EMI

→ Detectores de nível: circuito responsável pela constituição do sinal utilizado pela lógica de trip (função de proteção))

→ Temporizador para garantir que os detectores de nível detectaram o evento corretamente (aumentar a segurança da solução)



Lógica + circuito analógico de trip + sinalização

fonte

watch dog da fonte

Apresentam vantagens quando comparados com os relés eletromecânicos:

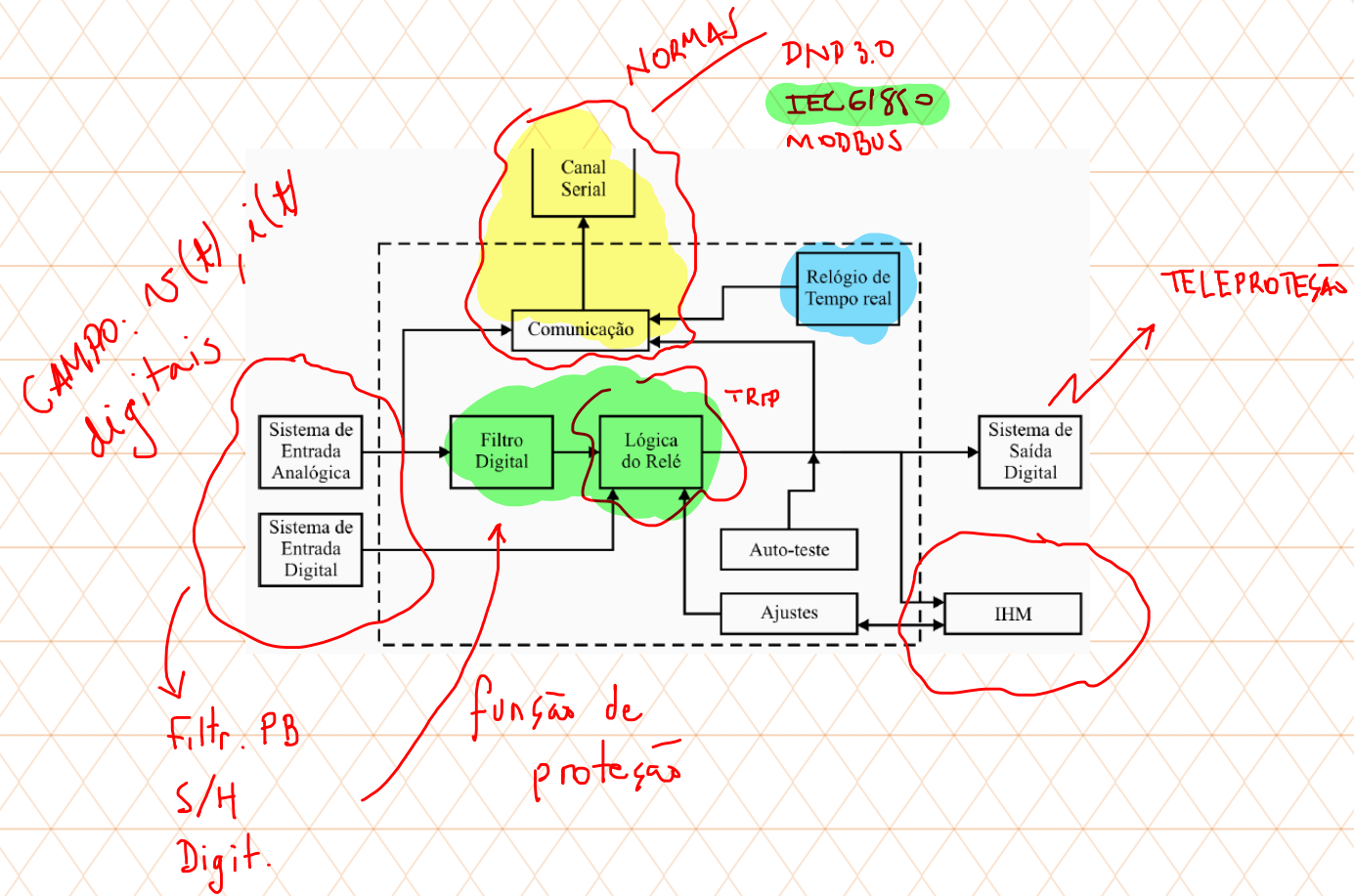
- Maior precisão (maior confiabilidade: security e dependability)
- Menor burden para os transformadores de instrumentação
- Maior velocidade
- Maiores possibilidades de ajuste
- Sem (quase sem) necessidade de reajuste (menos sensíveis a poeira e vibrações)
- Ocupam menos espaço

As desvantagens são:

- Sensíveis às interferências eletromagnéticas
- Requerem uma fonte auxiliar de alimentação (pode reduzir a confiabilidade da solução de proteção como um todo), porém, esses equipamentos possuem algum recurso de auto-teste da fonte, o que pode mitigar esse problema

### 3.1.3) Digital (numérica)

São uma evolução da eletrônica analógica para a eletrônica digital, que trouxe uma série de benefícios, como por exemplo versatilidade nas funções de proteção, rotinas de auto-teste, etc





As vantagens dos relés numéricos sobre os demais englobam as vantagens dos relés estáticos sobre os eletromecânicos, incluindo:

- Recursos de auto-teste sofisticados: baseados em hardware específico que monitora o relé numérico, por meio de rotinas de testes específicas, que podem inclusive se comunicar com o centro de operação por meio do SCADA, informando os operadores que o equipamento se encontra com problemas
- Possuem recursos de comunicação que permitem a implementação de rotinas de automação, supervisão, controle, monitoramento etc. embarcadas em um único equipamento.
- Possuem maior flexibilidade nas funções de proteção (algoritmos de proteção) e também nos ajustes dessas funções.

→ IED - Intelligent Electronic Device

### 3.1.4) CPC - Centralized Protection and Control

São uma evolução dos relés numéricos, com a integração de toda a proteção, controle, automação, supervisão e comunicação de uma (ou mais) subestações em um equipamento de tempo real e alto desempenho que pode ficar fora do ambiente de subestação (no centro de operação, p. ex.), desempenhando diversas funções de proteção intrínsecas (voltadas a cada equipamento primário) ou também funções sistêmicas.

## 3.2) Arquitetura de software para proteção de sistemas elétricos

### 3.2.1) Tratamento e armazenamento de dados de entrada (filtros, etc.)

- Filtragem passa-baixa
- Circuito de sample-and-hold
- Digitalização
- Armazenamento em memória e acesso por buffers circulares

### 3.2.2) Processamento de dados (cálculo de grandezas de interesse)

- Cálculo de fasores
- Cálculo de valores RMS
- Processamento de outras grandezas de interesse (ondas viajantes)

### 3.2.3) Processamento da função de proteção

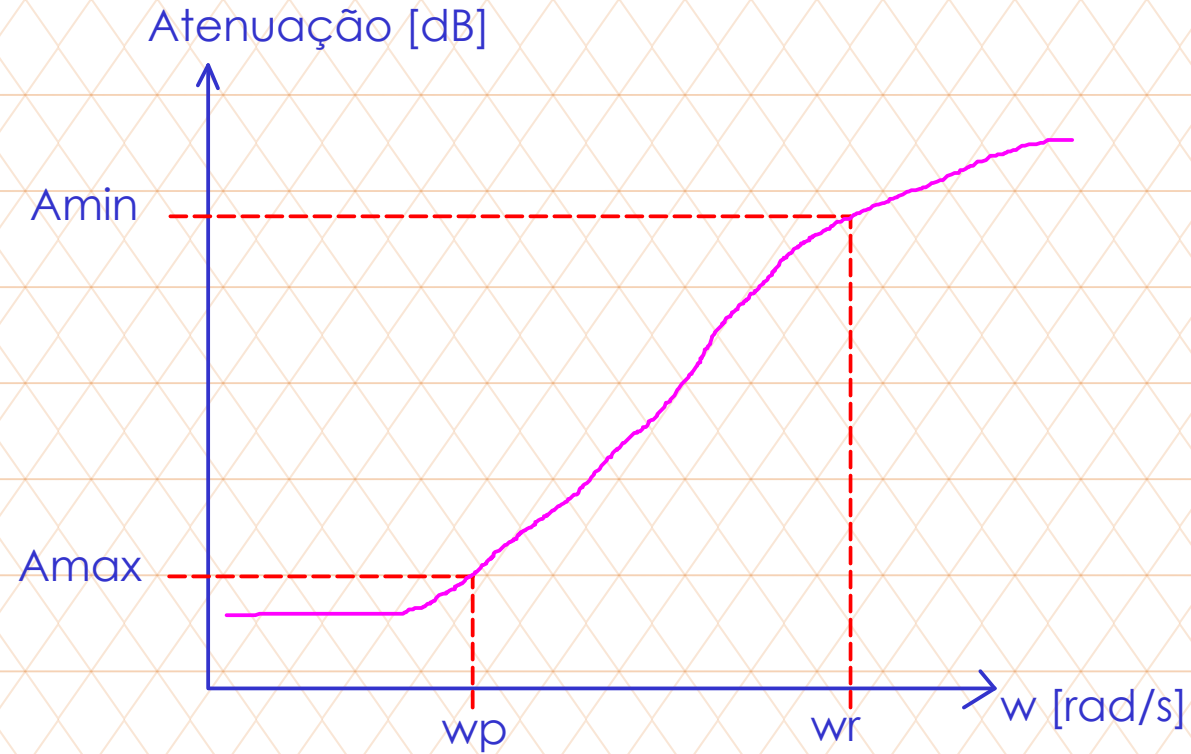
- Utilização dos dados para verificação do estado operativo do equipamento protegido

### 3.2.4) Lógica de disparo

- Trip do disjuntor ("e" ou "ou"?)

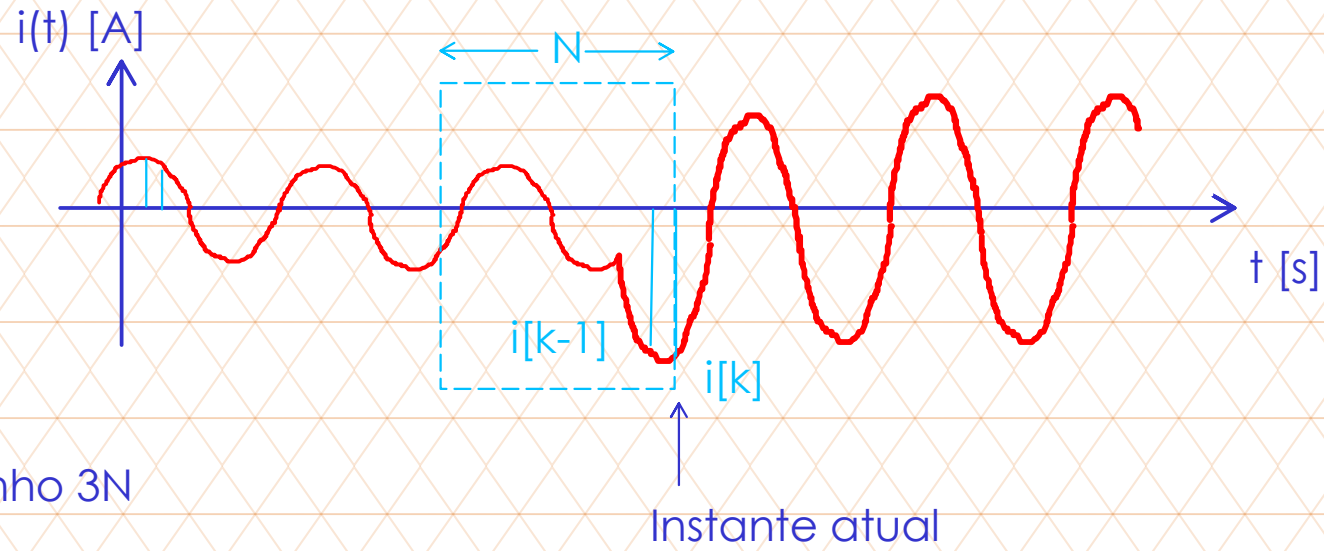
### 3.2.1) Tratamento e armazenamento de dados de entrada (filtros, etc.)

- Filtro passa-baixa

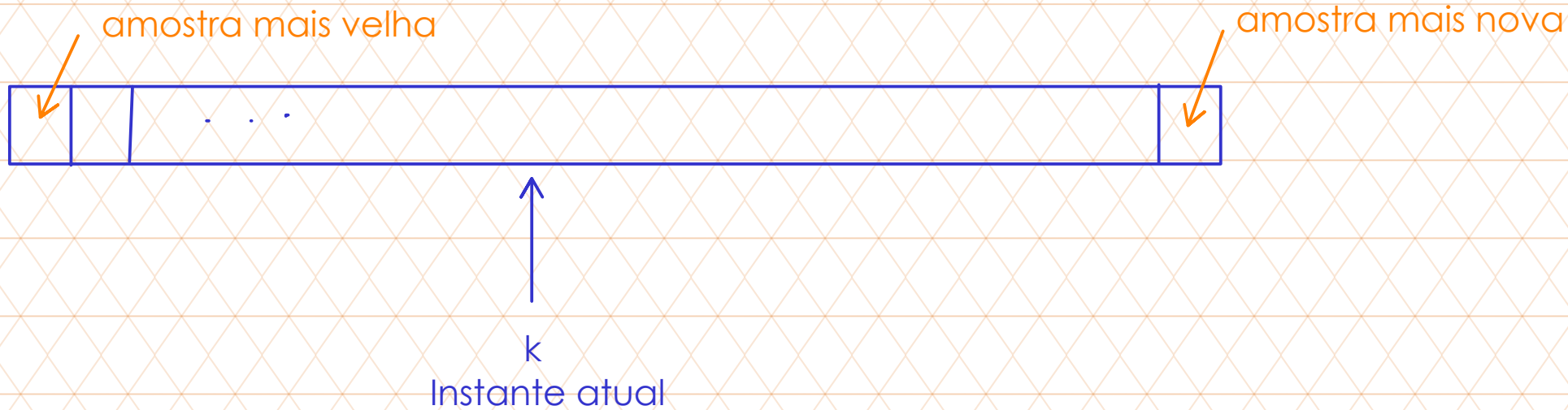


- Sample-hold e digitalização

- Armazenamento em memória e acesso por buffers circulares

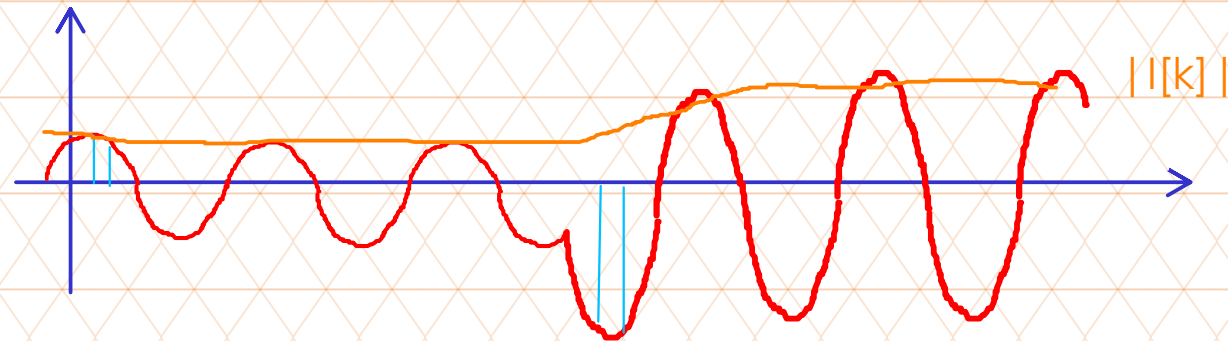
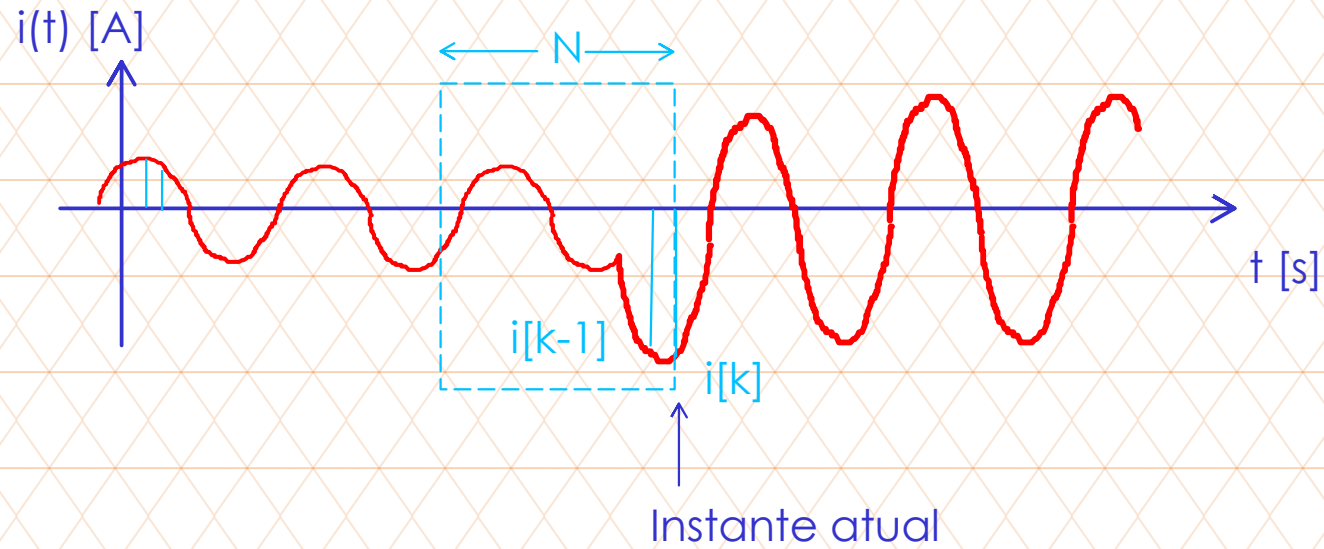


Buffer circular - Tamanho  $3N$



### 3.2.2) Processamento de dados (cálculo de grandezas de interesse)

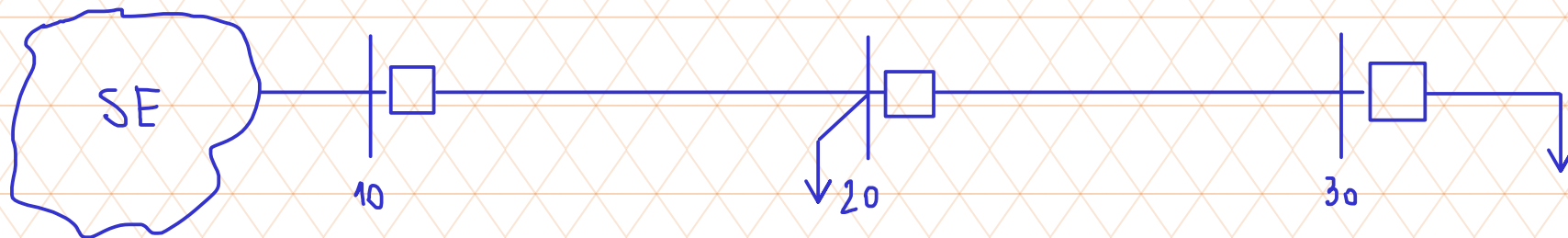
- Cálculo de fasores
- Cálculo de valores RMS
- Processamento de outras grandezas de interesse (ondas viajantes)



## Atividade #2

- Escolha de grupos
  - Mesmo grupo em todas as atividades ou variar?
- Descrição da atividade
  - Sistema
  - Simulações
- Resultados esperados
  - Dados
  - Relatório (PDF)
  - Código-fonte
- Simulações no Matlab
  - Exemplo de simulação

## Sistema



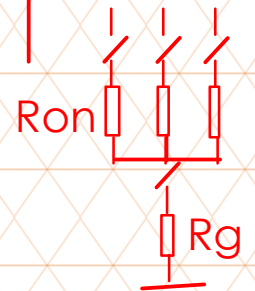
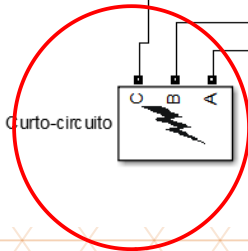
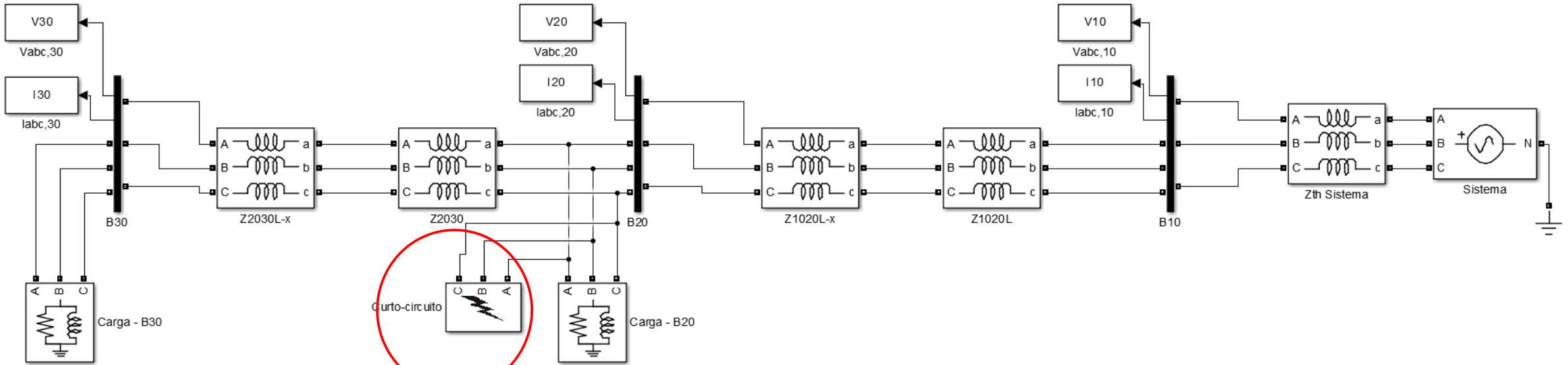
## Dados:

- Correntes de cargas injetadas nas barras (soma da corrente de carga e corrente de trecho, para os trechos a montante da barra 30)
- Correntes de curto-circuito mínima e máxima em todas as barras
- Dados elétricos do alimentador
- Tempo de integração equivale a 32 amostras por ciclo
- Tempo total de simulação de 2 [s]
- Solver: integração trapezoidal





Discrete,  
 $s = 1.302e-05$   
powergui



## Arquivo de entrada de dados - CSV

valores primários

tempo    ia [A]    ib [A]    ic [A]

```
1 0,203.06,-134.78,-68.272
2 0.00052083,206.62,-101.66,-104.95
3 0.0010417,202.24,-64.593,-137.64
4 0.0015625,190.08,-25.064,-165.02
5 0.0020833,170.63,15.426,-186.05
6 0.0026042,144.62,55.314,-199.93
7 0.003125,113.05,93.07,-206.12
8 0.0036458,77.141,127.24,-204.38
9 0.0041667,38.268,156.52,-194.78
10 0.0046875,-2.0744,179.77,-177.69
11 0.0052083,-42.336,196.1,-153.77
12 0.0057292,-80.969,204.9,-123.93
13 0 00625 -116.49 205.81 -89.321
```

readtable() - exclusiva do Matlab  
csvread() - deve ter equivalente no Octave

fscanf(arq,'%f,%f,%f,%f')...

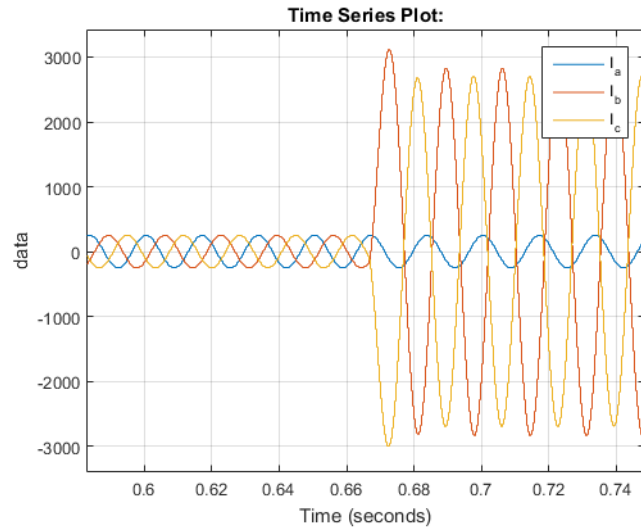
Ou...

replace all "," por "tab" ou ""

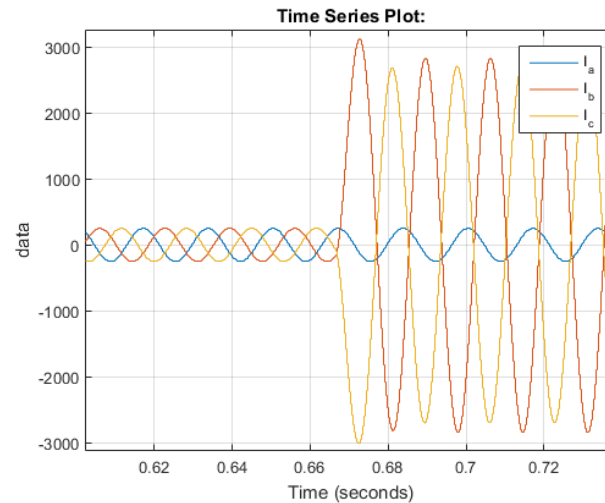
na primeira linha, antes do 0 escrever "matriz = ["  
na última linha, após o último número escrever "];"

## Exemplo de simulação

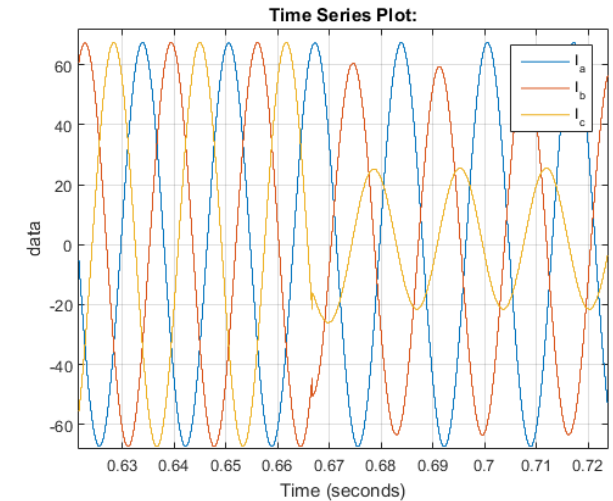
### Corrente injetada na barra 10



### Corrente injetada na barra 20



### Corrente injetada na barra 30



Observando os três gráficos, percebe-se que os IEDs das barras 10 e 20 "enxergam" o defeito e o IED da barra 30 não "enxerga". Isso significa que o curto-circuito ocorreu a jusante da barra 20, porém antes da barra 30. Além disso, as fases B e C estão envolvidas e para determinar o envolvimento do neutro é preciso obter a corrente de neutro (somando-se as correntes das fases).