Aquisição de Dados, Trigger e Controle

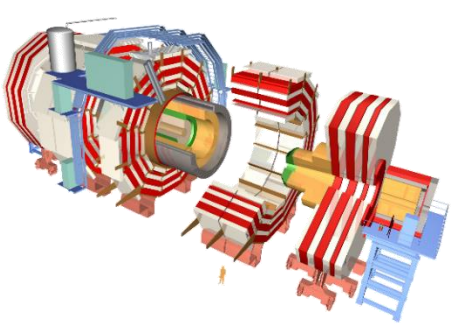
Em Grandes Experiencias

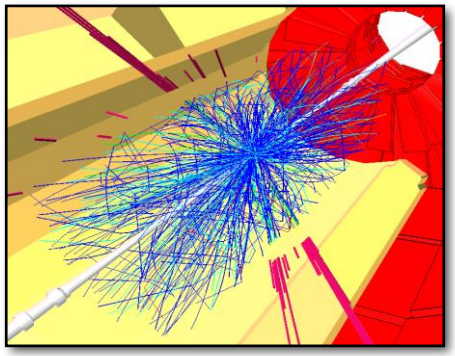
Clara Gaspar, Setembro 2023

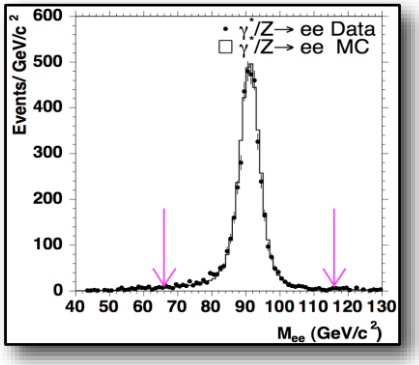
As Experiencias do LHC

Aquisição de dados no LHC

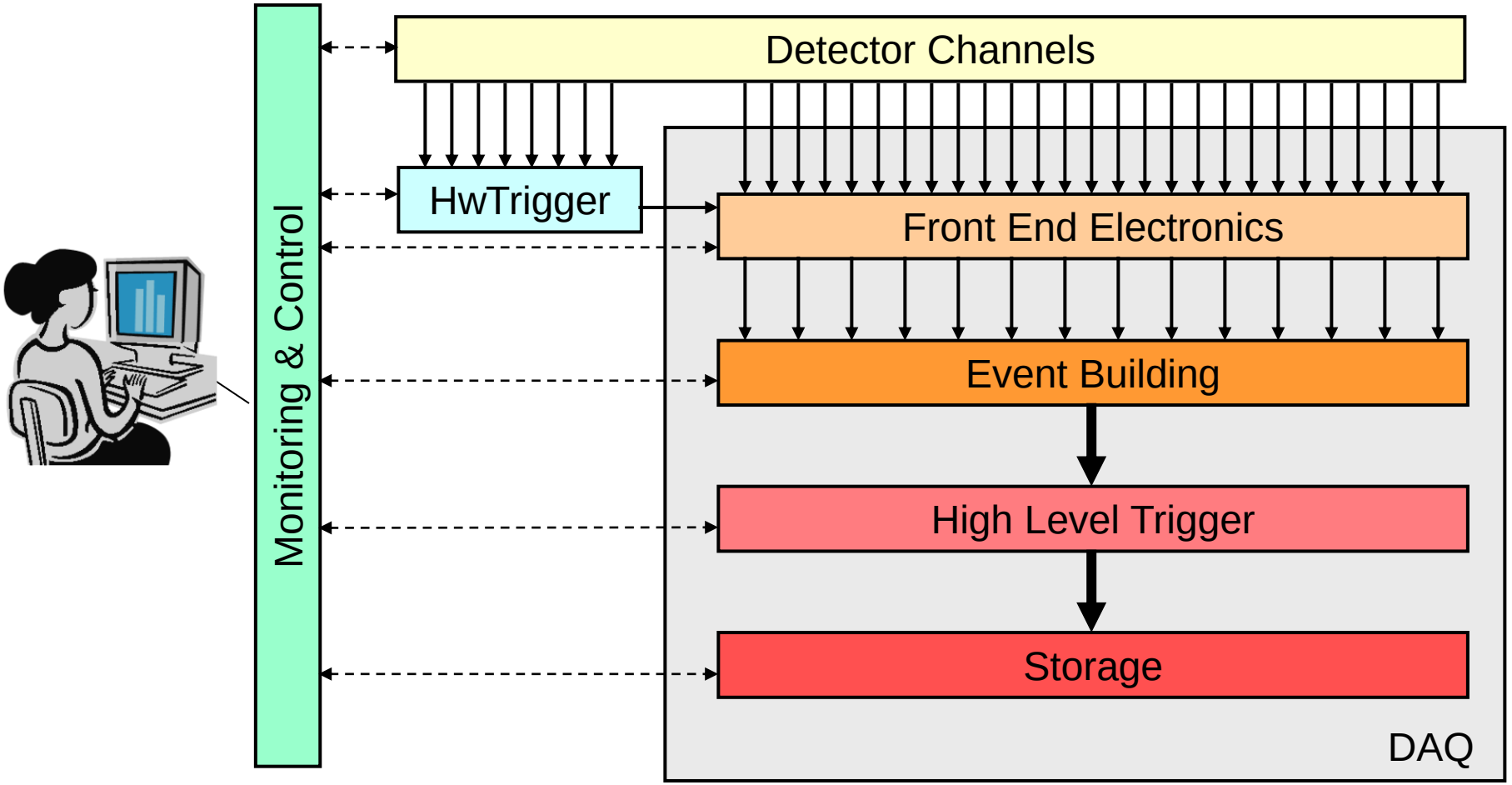
- O sistema de Aquisição de Dados disponibiliza os dados produzidos pelo detector para análise posterior. Definições:
  - **Sistema de "Trigger"**
    - Selecciona em tempo-real os acontecimentos (eventos) "interessantes" entre todas as colisões. Decide se o evento deve ser adquirido ou não
  - **Sistema de Aquisição de Dados**
    - Colecta os dados produzidos pelo detector e armazena-os (quando a decisão do Trigger e' positiva)
  - **Sistema de Controle**
    - Encarrega-se da configuração, supervisão, e operação da experiência







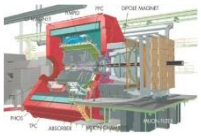
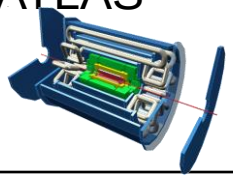
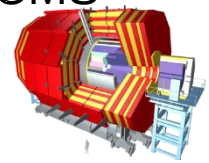
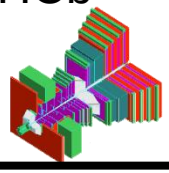
Trigger, DAQ & Control



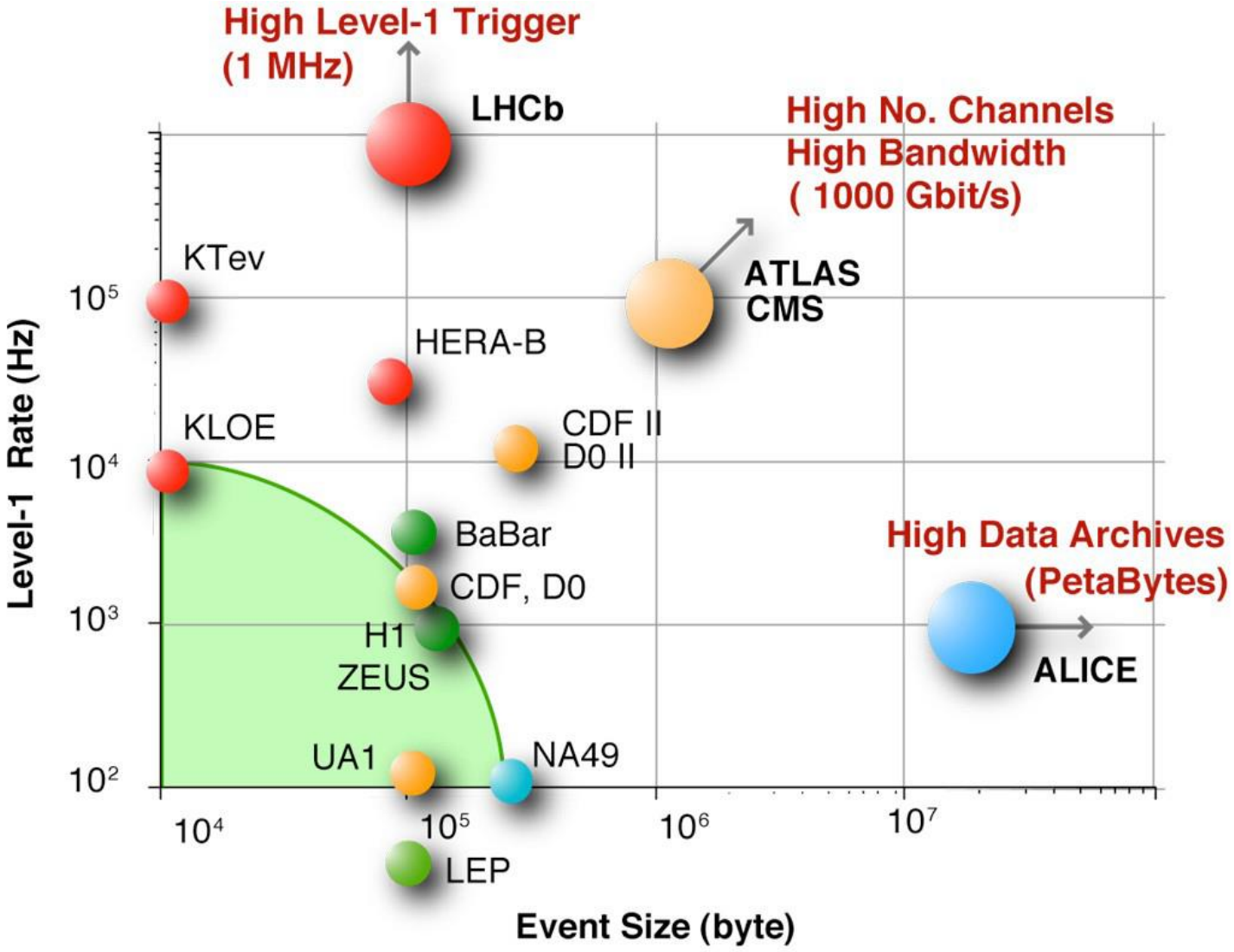
LHC in Numbers

	LHC (2009)
Bunch Crossing Rate	40 MHz
Bunch Separation	25 ns
Nr. Electronic Channels	≈ 10 000 000
Raw data rate	≈ 1 000 TB/s
Data rate on Tape	≈ 100 MB/s
Event size	≈ 1 MB
Rate on Tape	100 Hz
Analysis	10^{-6} Hz (Higgs)

LHC Exp DAQ (até 2020)

	Event Size (MByte)	L1 Rate (KHz)	Bandwidth (GByte/s)	Storage Rate (KHz)	Storage (GBytes/s)
ALICE 	25	1	25	0.050	1.250
ATLAS 	1	100	100	0.200	0.200
CMS 	1	100	100	0.200	0.200
LHCb 	0.05	1000	50	5	0.250

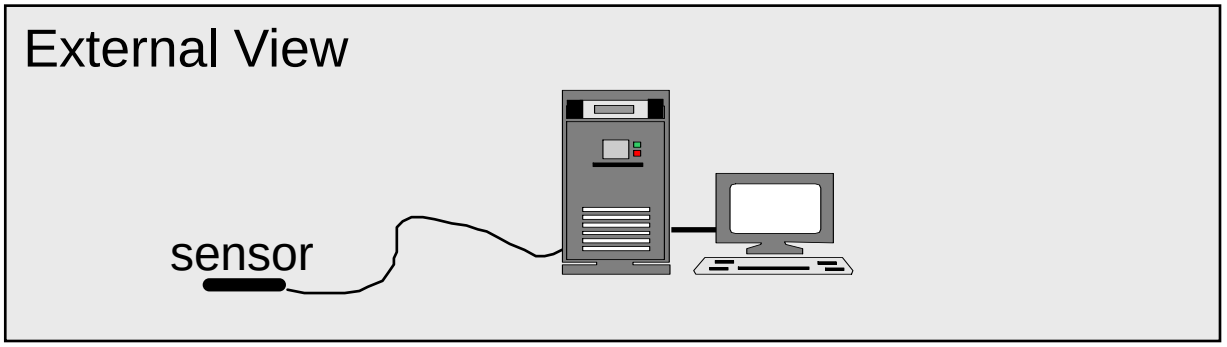
LHC DAQ Phase-space

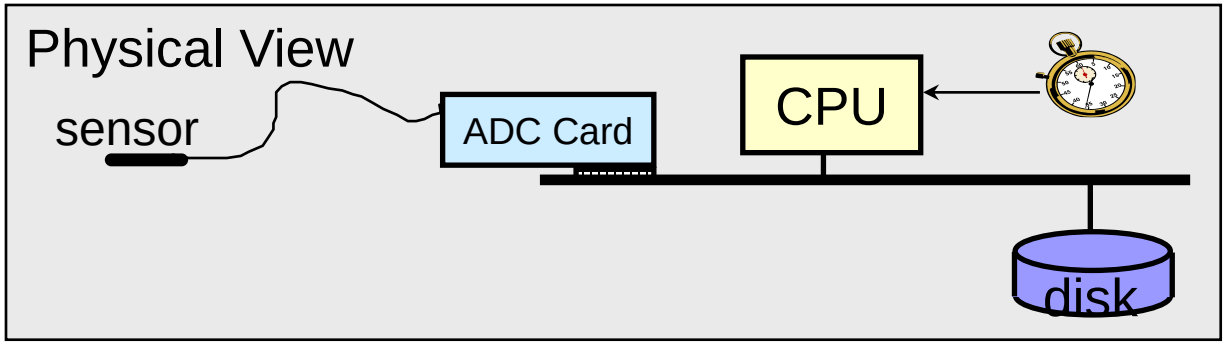


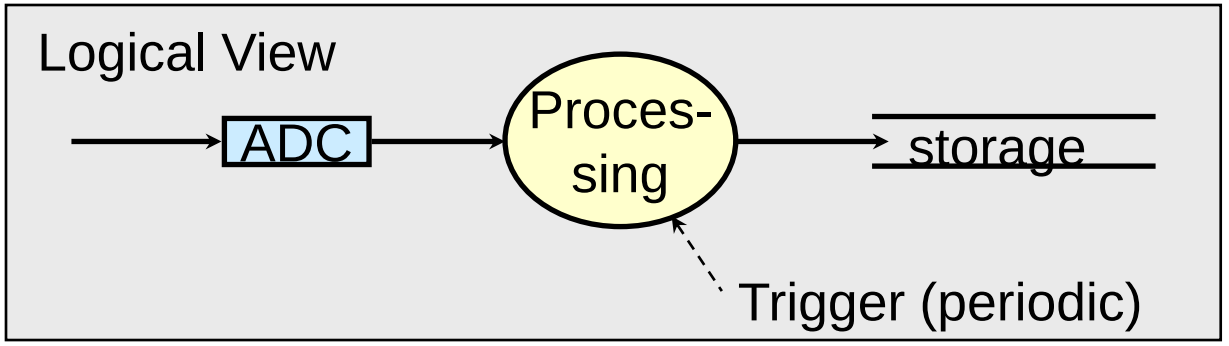
Conceitos Básicos

Clara Gaspar, Setembro 2023

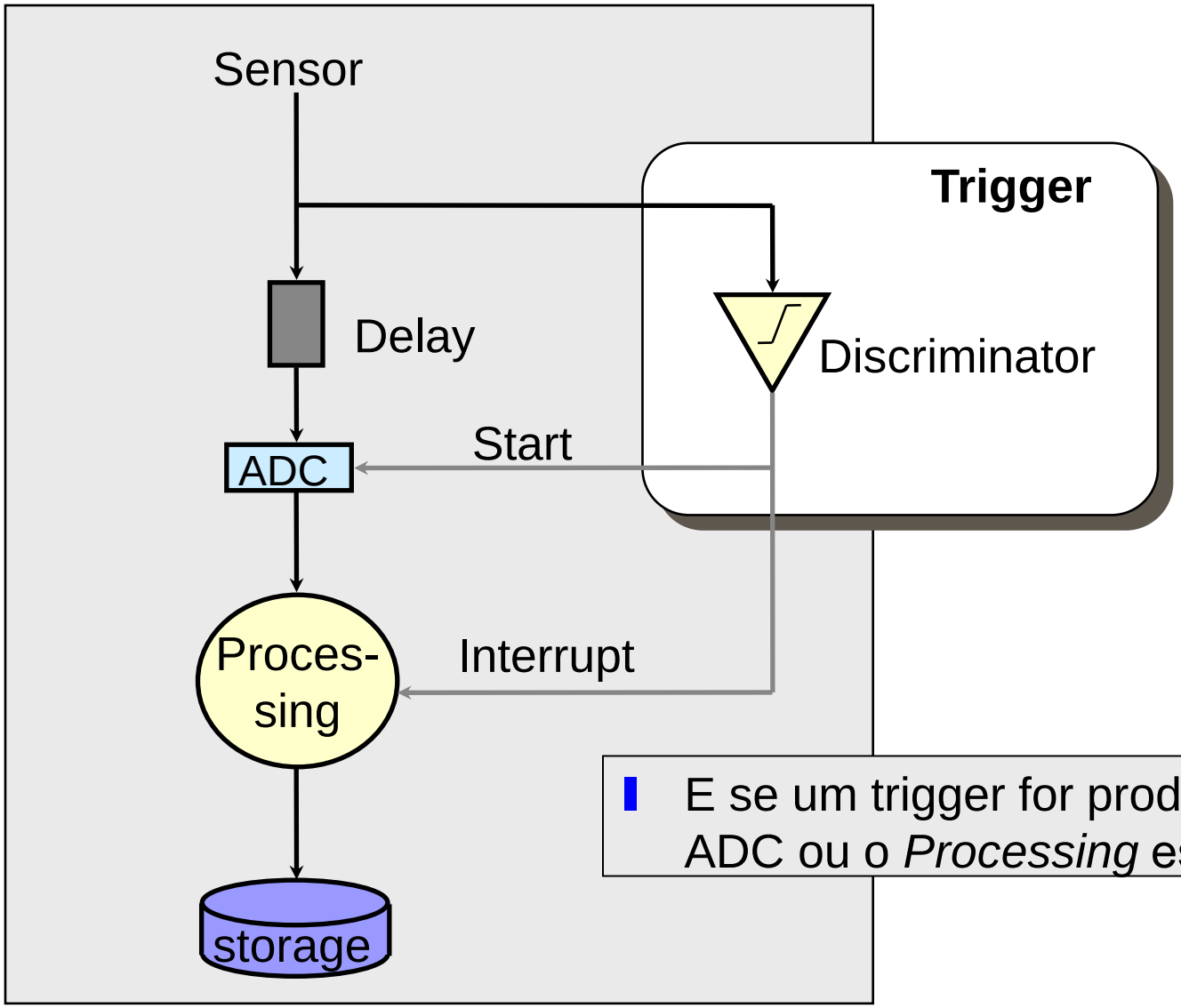
DAQ Trivial


External View
sensor


Physical View
sensor
ADC Card
CPU
disk

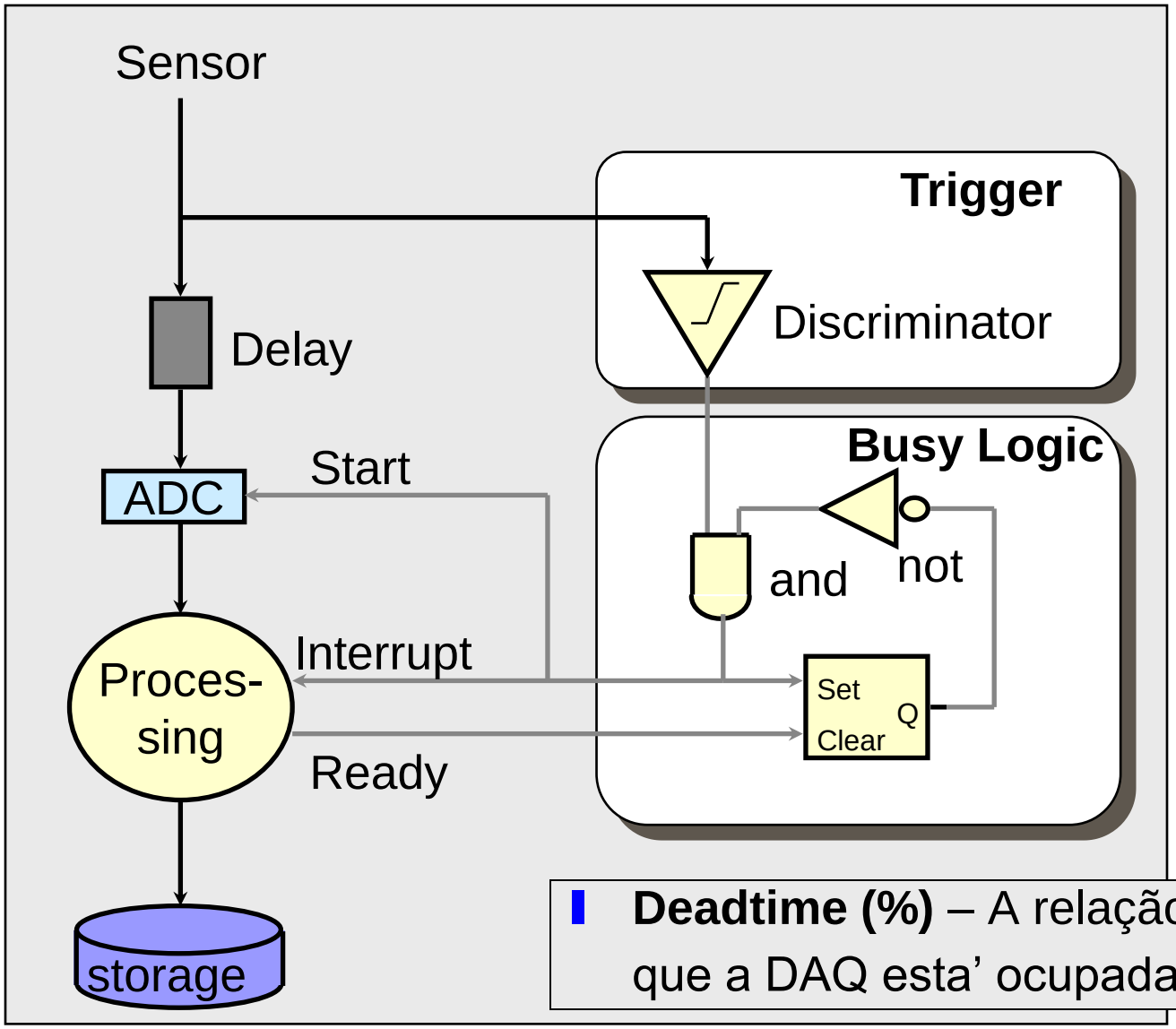

Logical View
ADC
Proces-
sing
storage
Trigger (periodic)

DAQ Trivial com Trigger



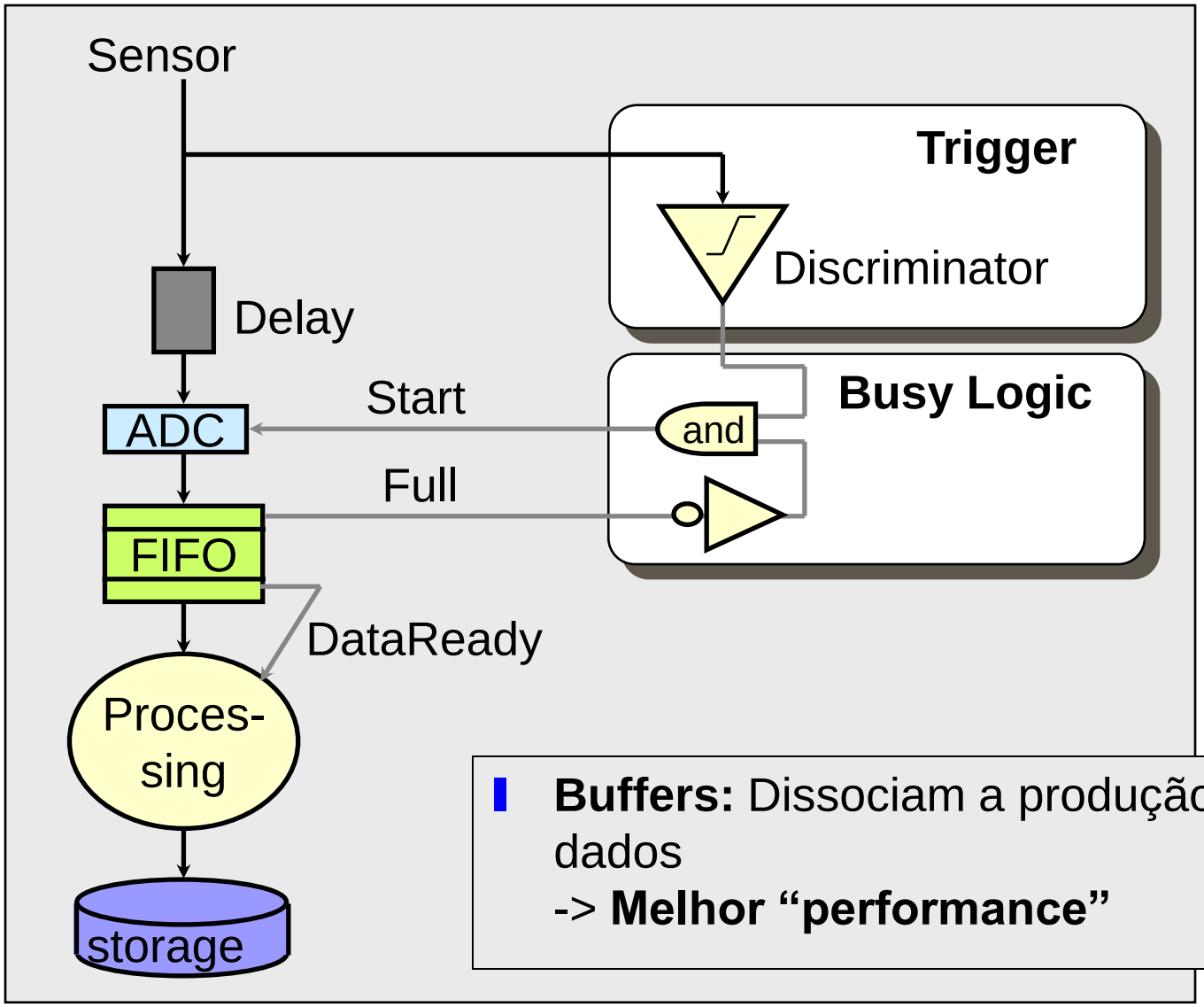
- E se um trigger for produzido quando a ADC ou o *Processing* esta' ocupado?

DAQ Trivial com Trigger (2)



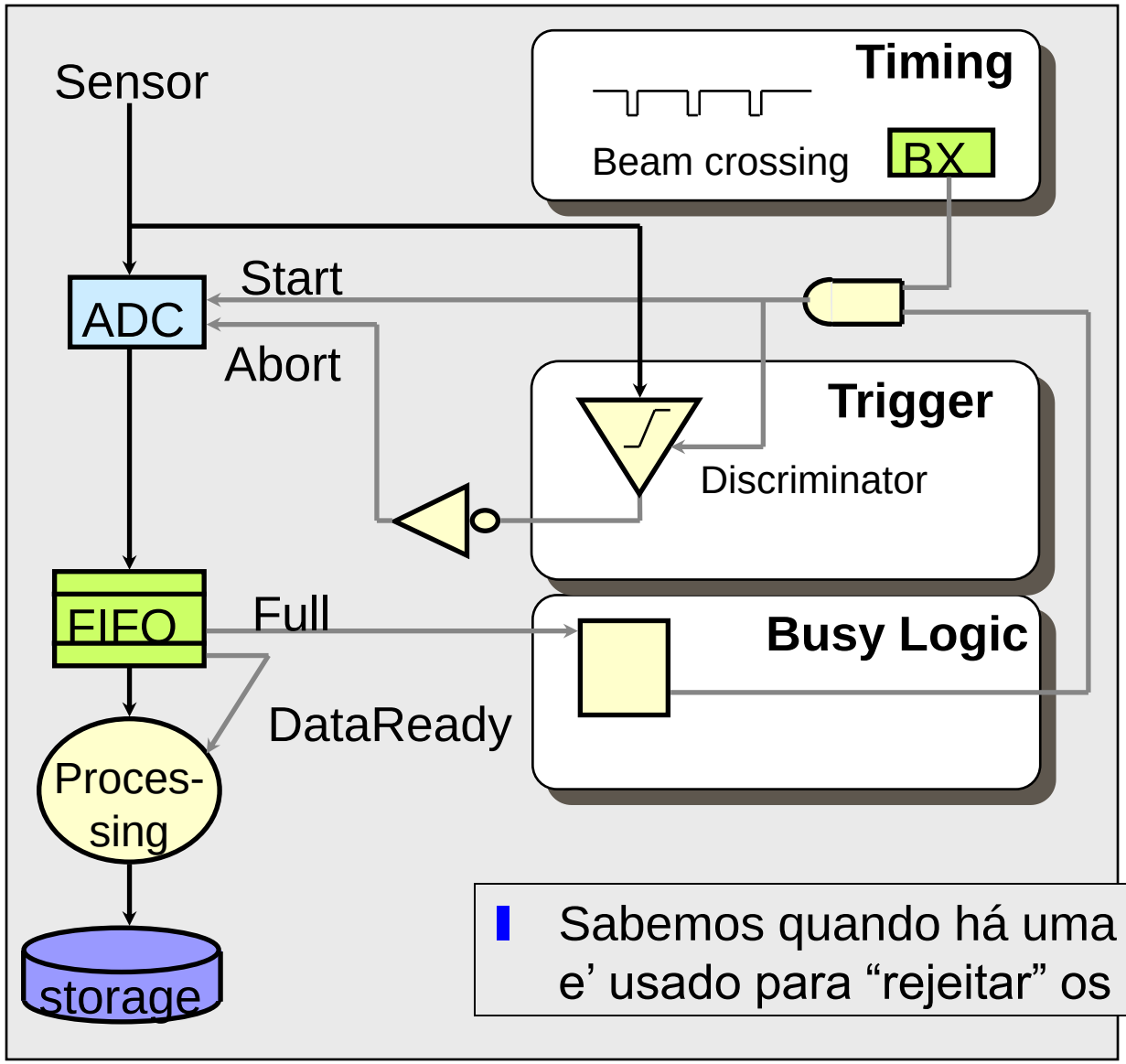
- **Deadtime (%)** – A relação entre o tempo em que a DAQ esta' ocupada e o tempo total.

DAQ Trivial com Trigger (3)



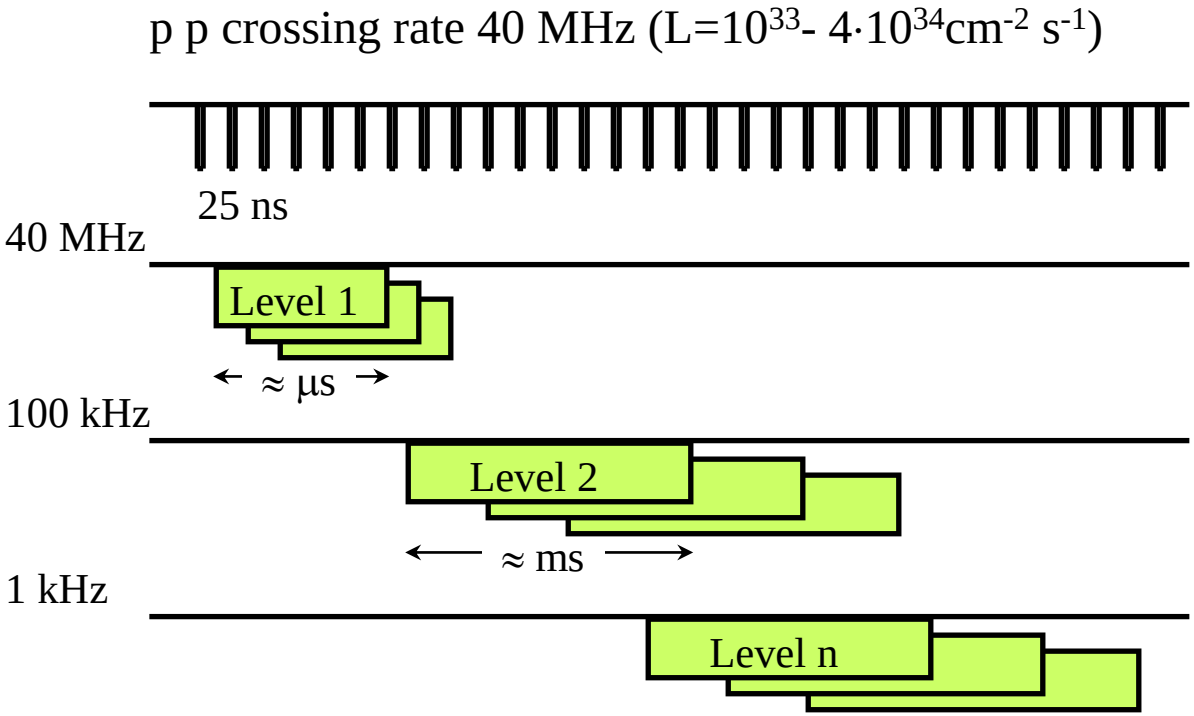
- **Buffers:** Dissociam a produção e o consumo dos dados
  -> **Melhor "performance"**

DAQ Trivial num Acelerador



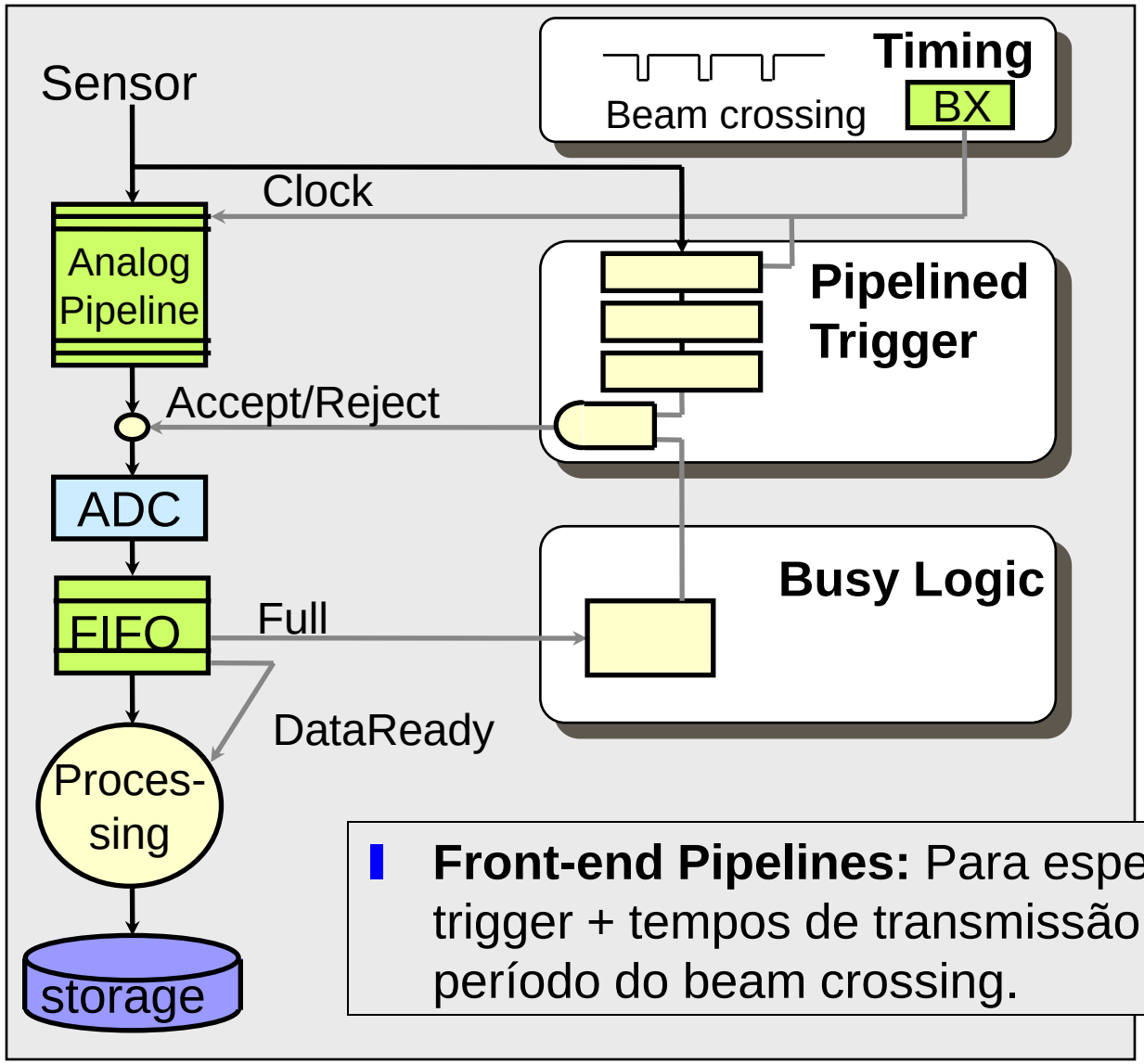
- Sabemos quando há uma colisão -> o Trigger e' usado para "rejeitar" os dados.

Desafios do LHC



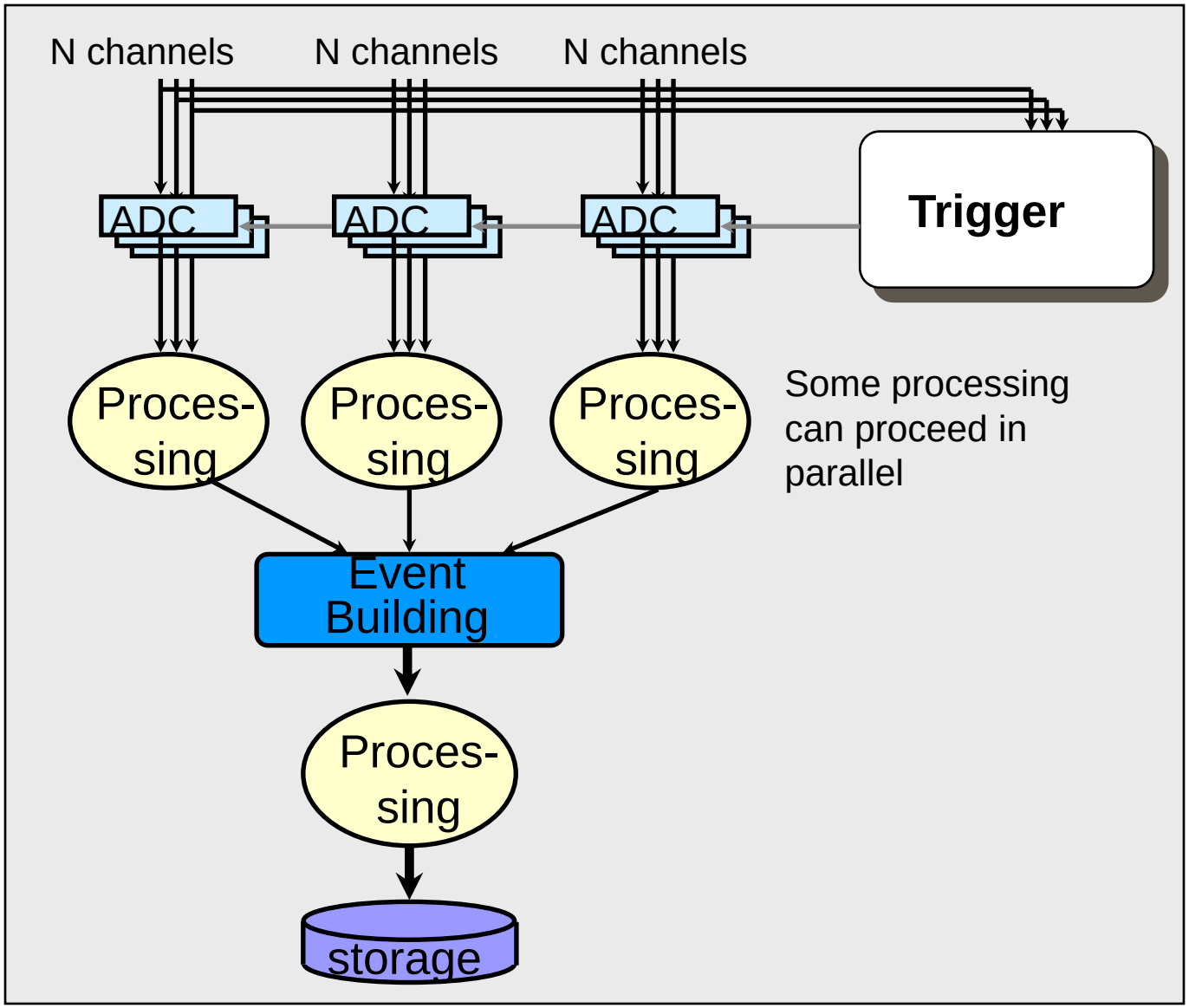
- Timing: Tempo do 1º nível de trigger excede o “bunch interval”
- Sobreposição de eventos e de sinal de várias colisões (“signal pileup”) porque a memoria das células do detector e’ maior que 25 ns
- Muito alto numero de canais

DAQ Trivial no LHC

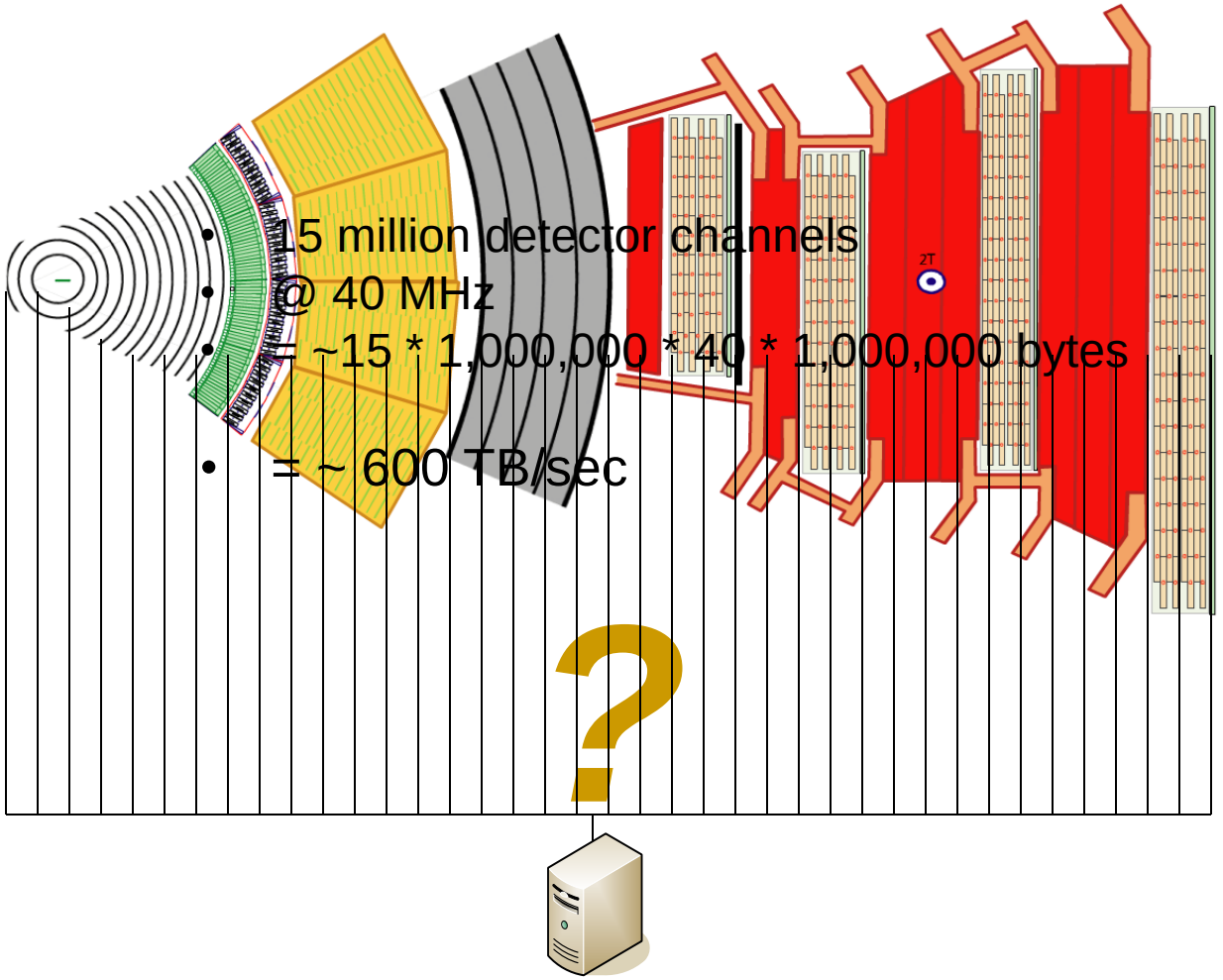


- **Front-end Pipelines:** Para esperar pela decisão do trigger + tempos de transmissão são maiores que o período do beam crossing.

DAQ Menos Trivial



A Realidade



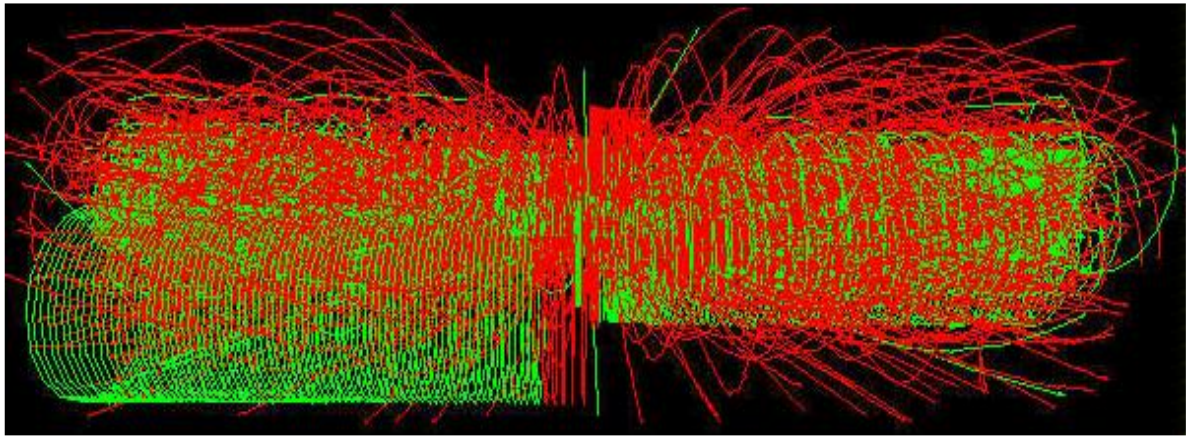
- 15 million detector channels
- @ 40 MHz
- = ~15 * 1,000,000 * 40 * 1,000,000 bytes
- = ~ 600 TB/sec

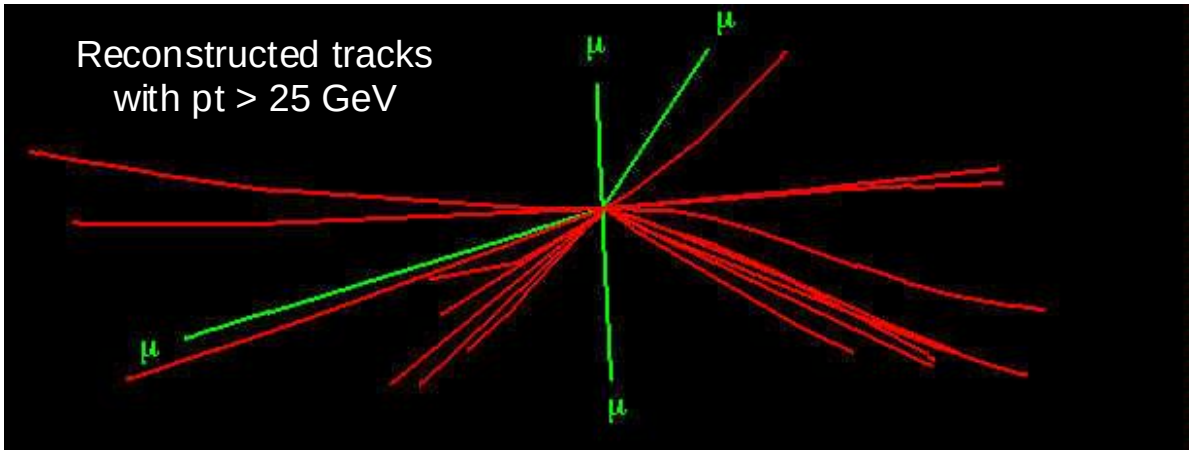
Trigger

Clara Gaspar, Setembro 2023

Sistema de Trigger

- **O sistema de Trigger decide se um evento e' interessante ou não**
  - Evento típico em ATLAS e CMS*
  - >20 colisões podem sobrepor-se
  - E isto repete-se todos os 25 ns
  - Um evento Higgs





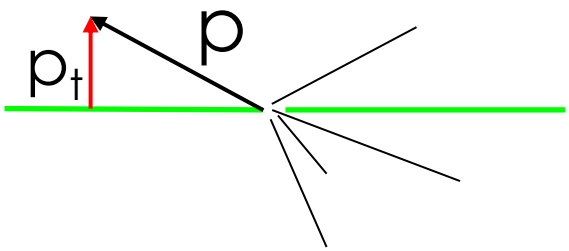
*)Em LHCb não e' muito melhor e em Alice (PbPb) pode ate' ser pior

Niveis de Trigger

- Como os dados não estão todos imediatamente disponíveis e a função do trigger e' muito complexa, e' normalmente avaliada por aproximações sucessivas:
  - Trigger(s) em Hardware:
    - *Rápido*, usa dados só de alguns, poucos, detectores
    - Tem um orçamento de tempo limitado
    - ➡ 1 Nível ou, por vezes, 2
  - Trigger(s) em Software:
    - Refina as decisões dos triggers hardware usando dados de mais detectores e algoritmos mais complexos.
    - Normalmente implementado usando programas que correm em processadores.
    - ➡ High Level Triggers (HLT) -> Trigger de Alto Nível

Trigger Hardware

- Felizmente as colisões pp produzem principalmente partículas com momento transverso "p_t" ~1 GeV

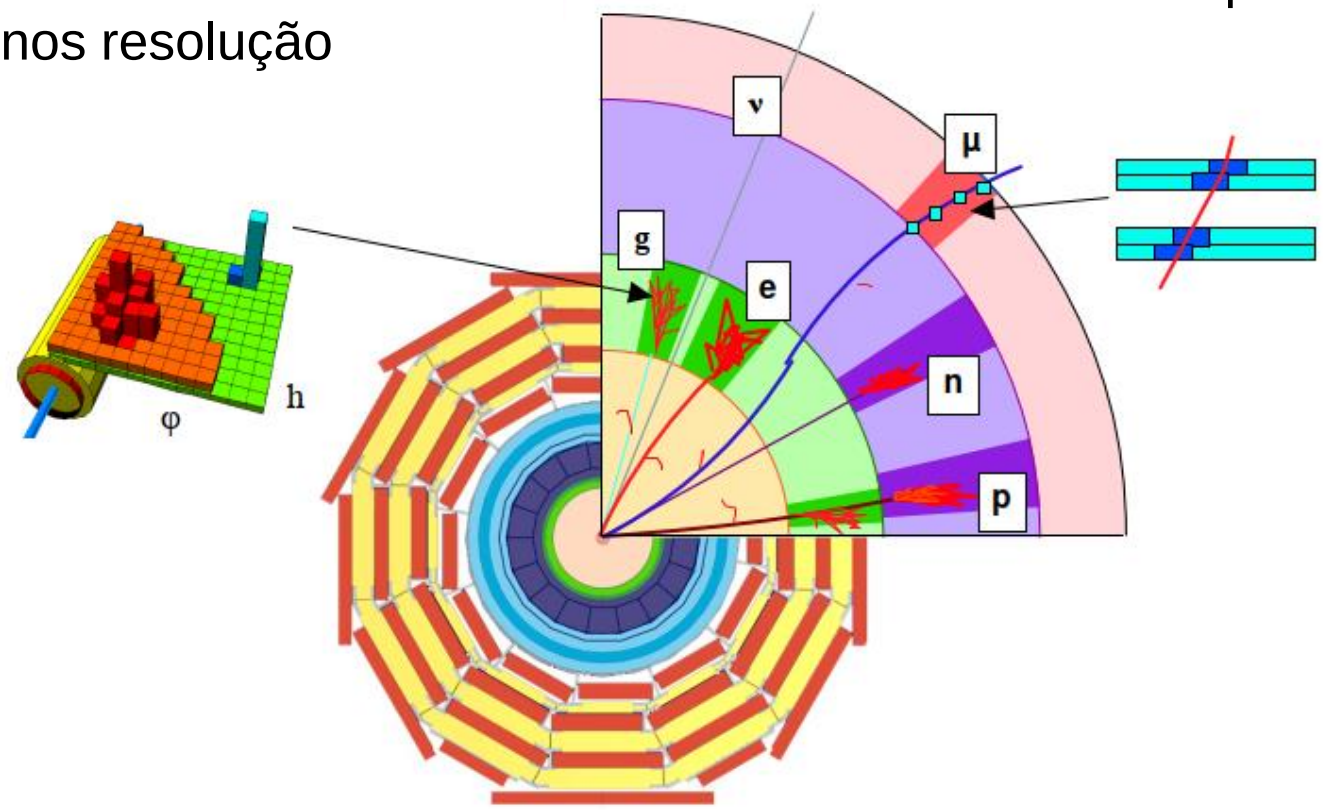


- A Física interessante (conhecida ou nova) tem partículas com elevado p_t

- **Conclusão: o primeiro nível de trigger tem que detectar partículas com momento transverso elevado**

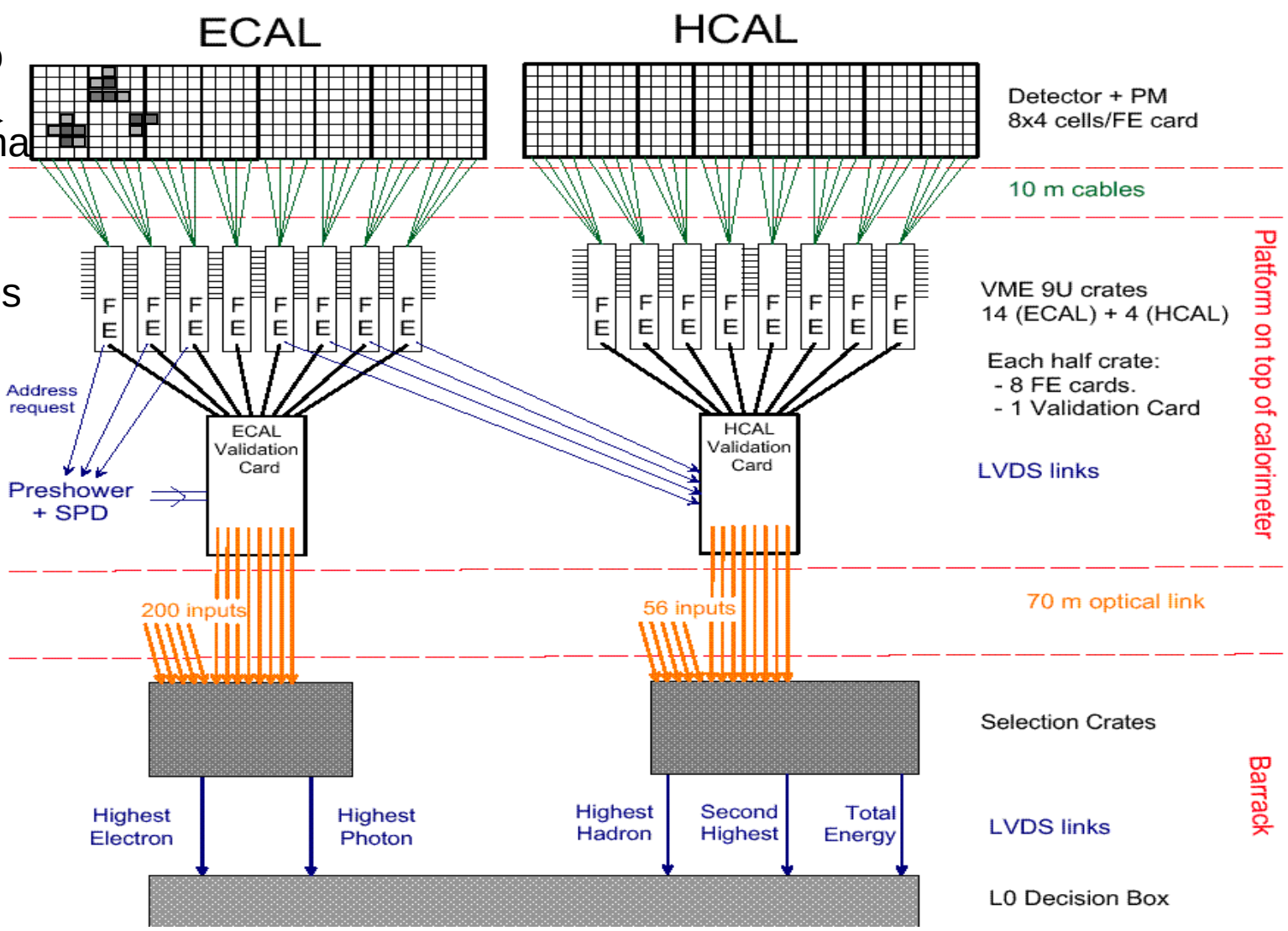
Hardware Trigger

- **Calorímetros**
  - Localização de clusters
  - Avaliação da deposição de Energia
  - Menos resolução
- **Muões**
  - Detectar trajectórias
  - Avaliação do Momento
  - Sensores rápidos dedicados



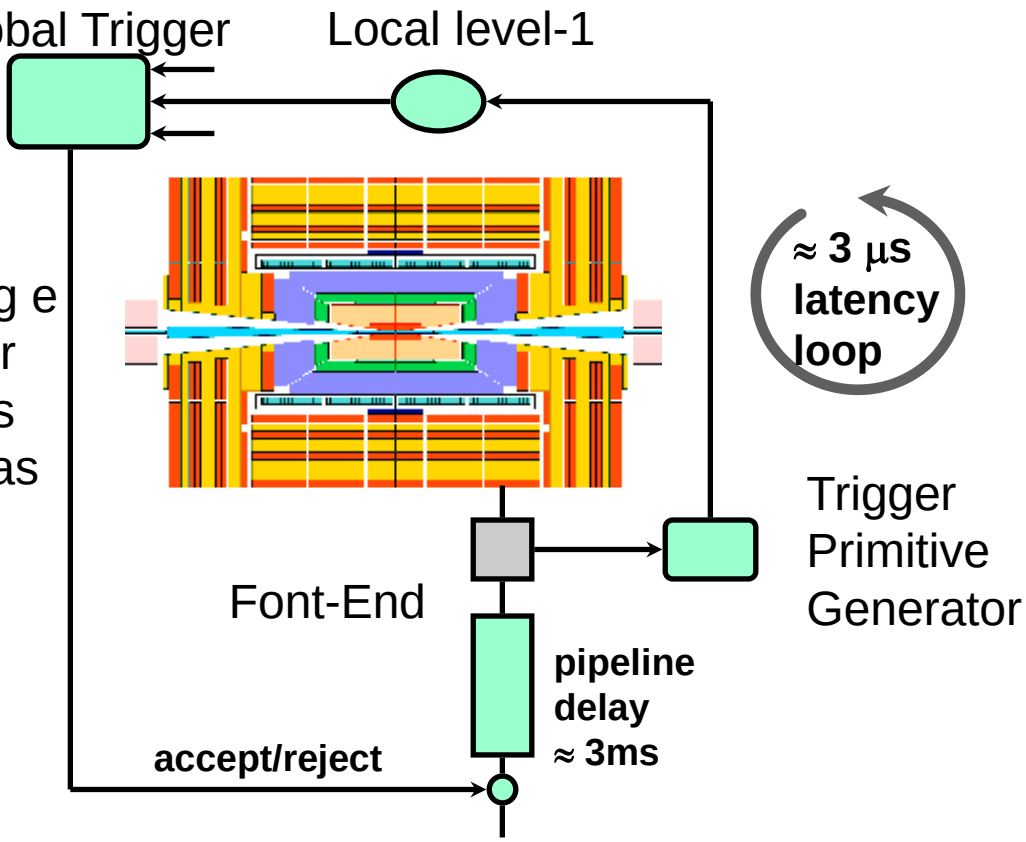
Exemplo: Trigger do Calorimetro LHCb

- Detectar alta concentração de energia numa pequena superfície
- Somar com os "vizinhos"
- Agregar a informação
- Avaliar a(s) decisões



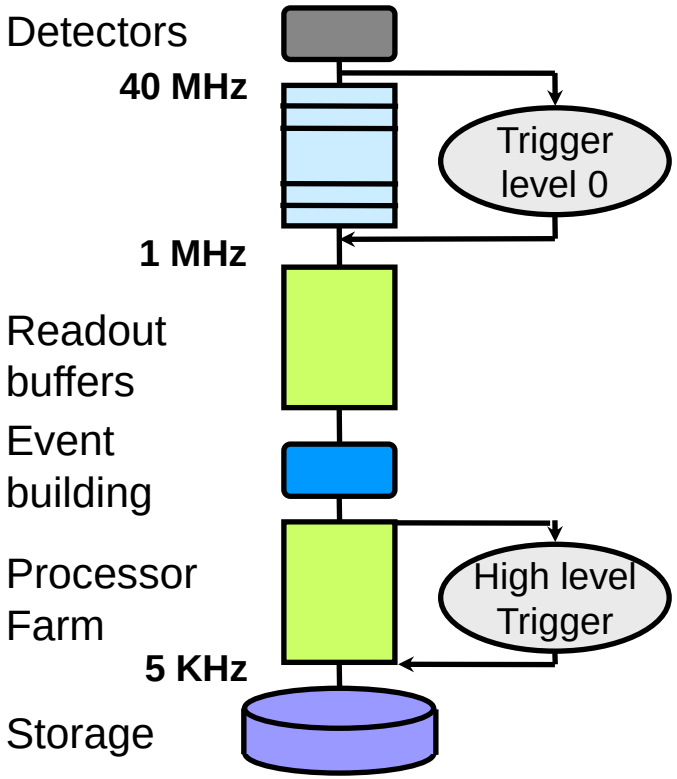
LHC: Transmissão do Trigger

Os sinais de Timing e Trigger têm que ser distribuídos a todas as cartas eletrónicas de front-end



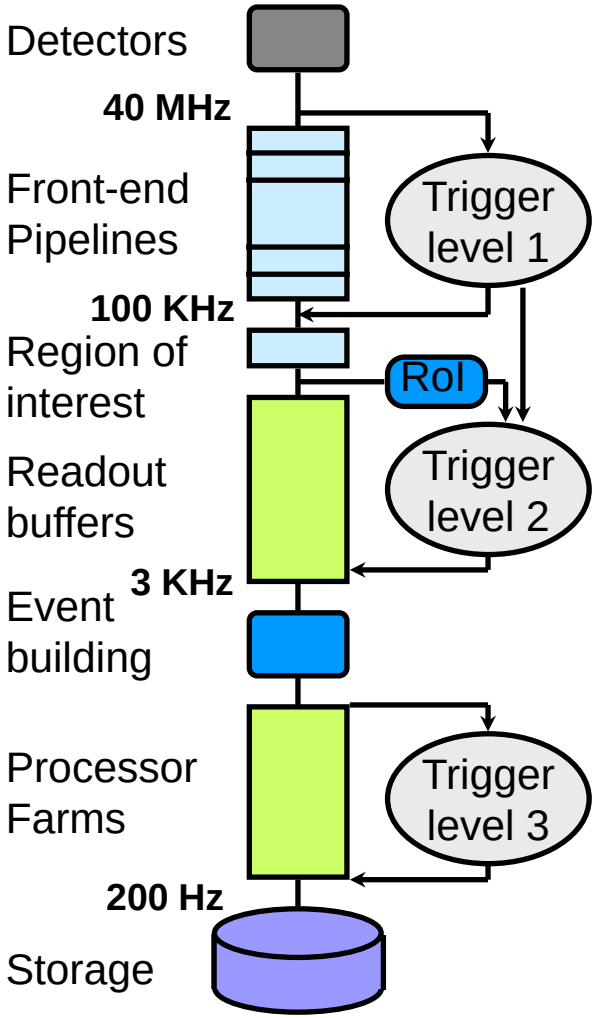
- **Sistema digital síncrono a 40 MHz**
- **A sincronização a saída do pipeline não e' trivial ⇒ "Timing calibration"**

Níveis de Trigger: LHCb (até 2020)



- Level-0 (4 μs) (processadores especiais)
  - Alto p_T em eletrões, muões, hadrões
- HLT (≈ms) (processadores comerciais)
  - Refinamento do Level-0. Rejeição de "background"
  - Reconstrução do evento. Seleção de "canais" de física.
  - Precisa de todos os dados do evento

Níveis de Trigger: ATLAS

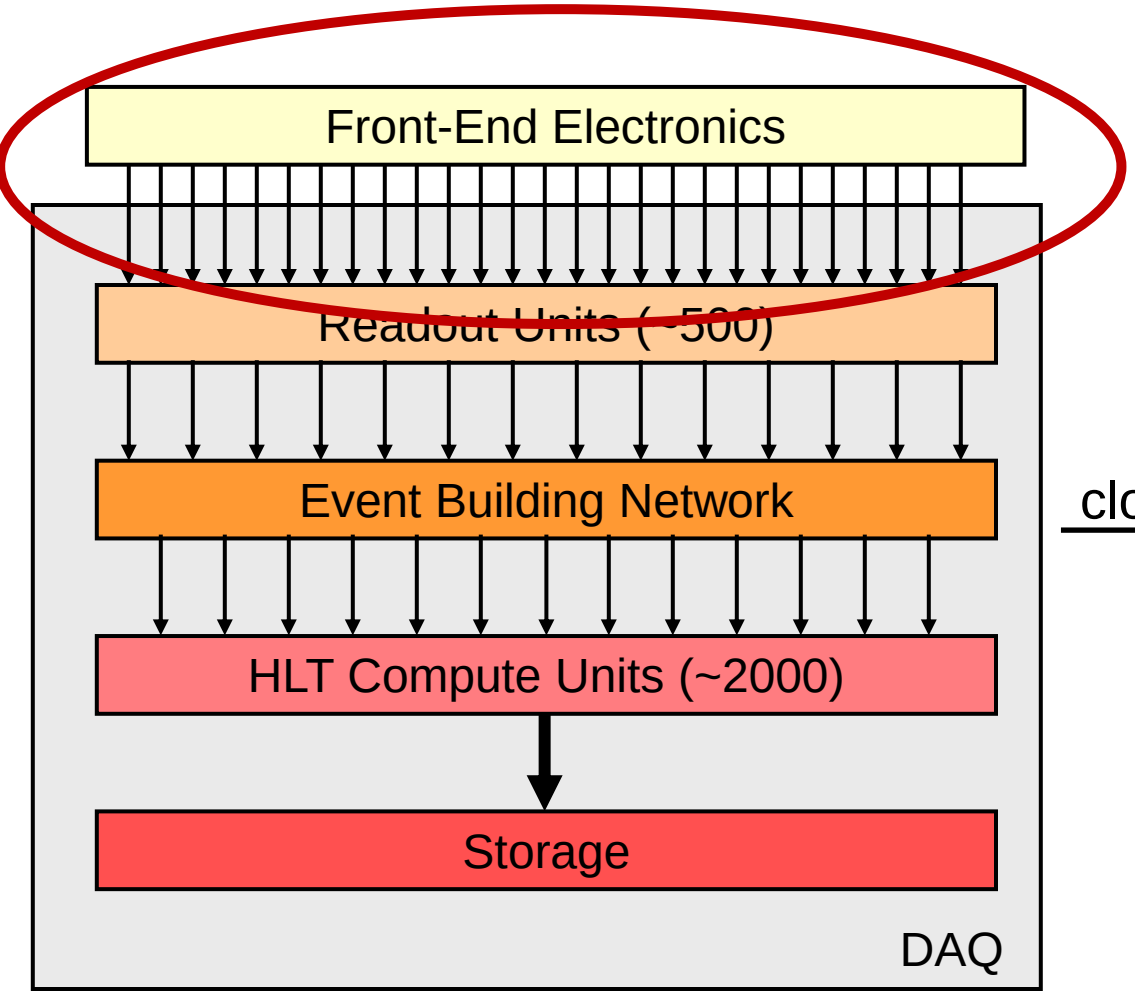


- Level-1 (3 μs) (processadores especiais)
  - Clusters de energia nos calorimetros
  - Trigger de Muões: Matriz de coincidência de tracking.
- Level-2 (≈ms) (~processadores comerciais)
  - "Regioes de Interesse" (ROI) relevantes para a decisão do trigger.
  - Agregação da informação selecionada (ROI) via routers e switches.
  - Algoritmos sofisticados com dados detalhados mas apenas das regiões seleccionadas.
- Level-3 (≈s) (processadores comerciais)
  - Reconstrução do evento usando todos os dados. Seleção de "canais" de física

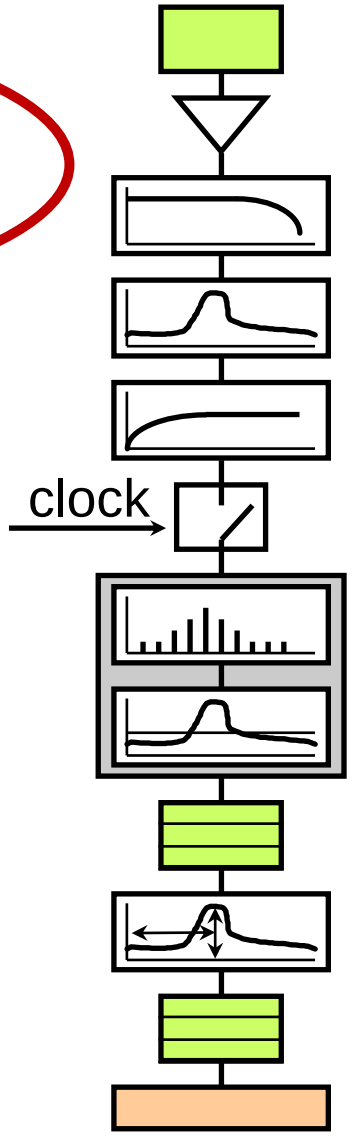
Aquisição de Dados

Clara Gaspar, Setembro 2023

Front-end electronics



Custom point-to-point radiation-hard links

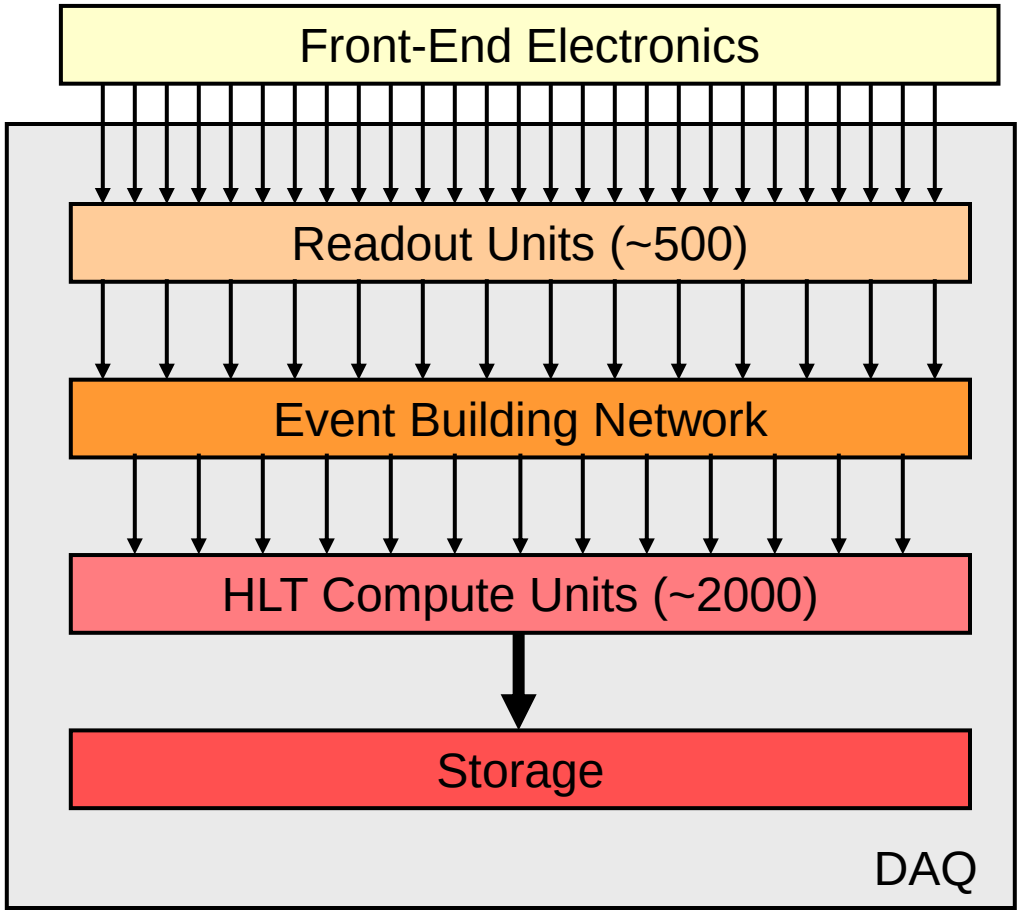


Detector
Amplifier
Filter
Shaper
Range compression
Sampling
Digital filter
Zero suppression
Pipeline
Feature extraction
Buffer
Format & Readout

Electronica de Front-Ends

- **Específico ao Detector (Home made)**
  - No Detector
    - Pre-amplificação, “Discrimination”, “Shaping” amplificação e “multiplexing” de grupos de canais
    - **Problemas:**
      - **Níveis de radiação, consumo de energia**
  - Transmissão
    - Cabos longos (50-100 m), elétricos ou fibra óptica
  - Nas “Salas de Contagem”
    - Centenas de crates de FE:
      Recepção, Conversão A/D e Buffering

Data Acquisition proper

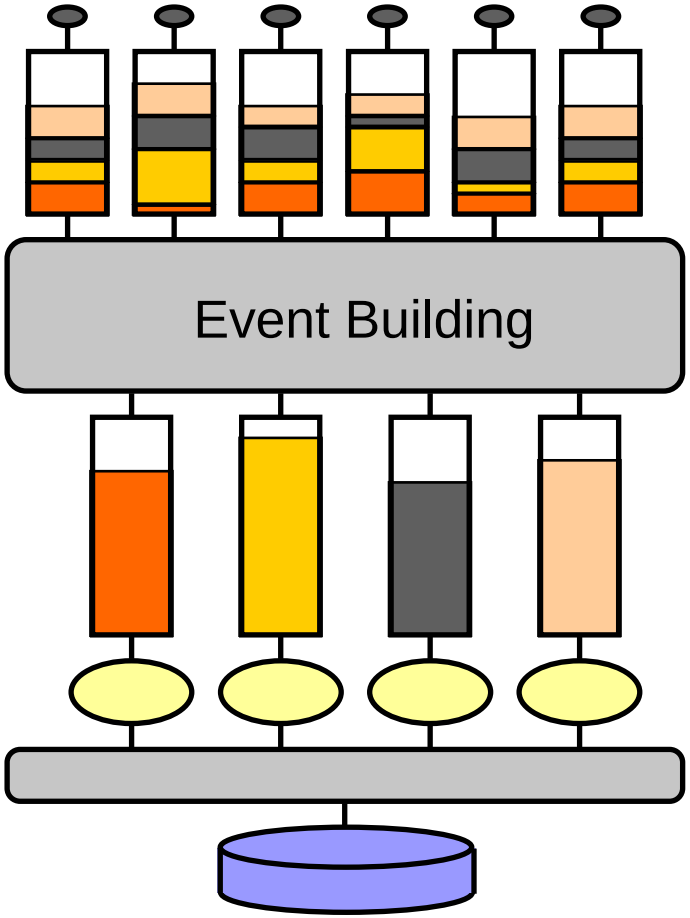


- Cada Readout Unit contem uma parte dos dados de uma colisão:
  - digitalizados, pré-processados e marcados com um identificador (nr. da colisão)
- Os fragmentos têm que ser agregados e enviados a uma "Compute Unit"
- As Compute Units seleccionam os eventos interessantes (High Level Trigger)

Event Building to a CPU farm

Data sources

Event Fragments



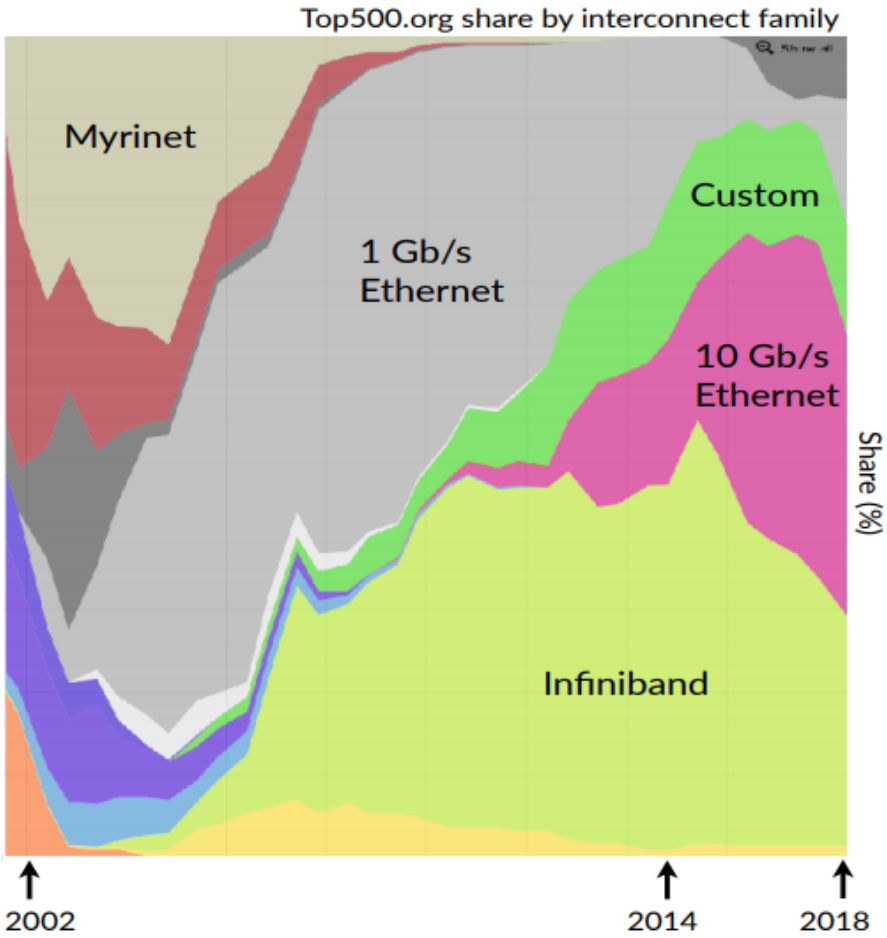
Full Events

Event filter CPUs

Data storage

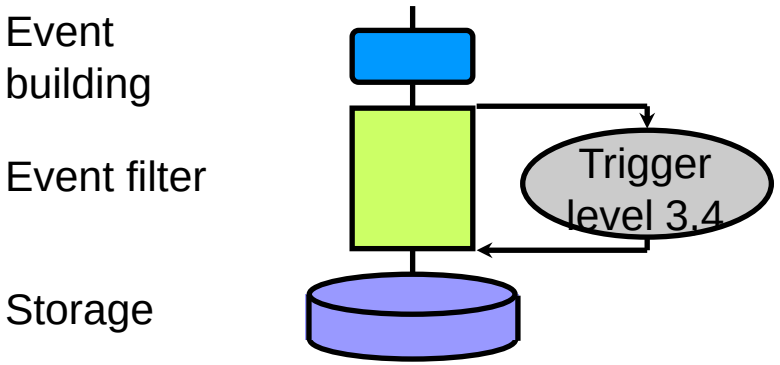
Network Technology

- Avaliar a tecnologia mais popular -> melhor preço
- Myrinet era muito usada quando as experiencias do LHC começaram a ser projectadas.
  Foi usada por CMS ate 2014
- As outras experiencias puderam adiar a decisão e escolheram Ethernet



Trigger Software

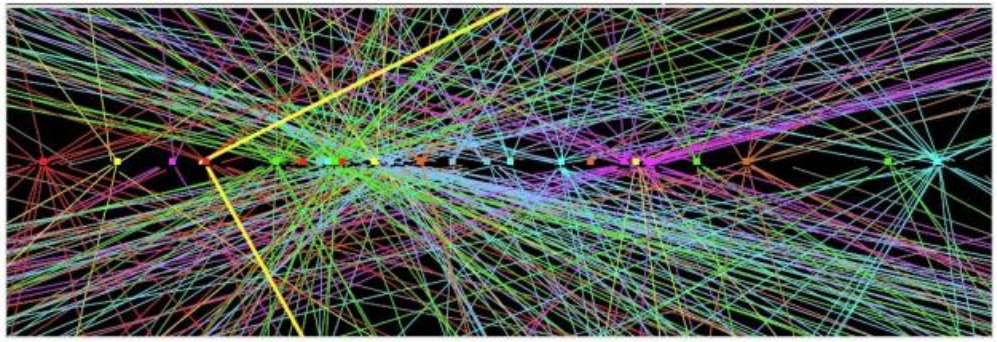
- **Higher level triggers (3, 4, …)**



- As experiencias LHC não podem guardar todos os dados adquiridos -> Só eventos “uteis” devem ser armazenados.
- A função de filtragem seleciona os eventos que serão usados nas analises de física.
- Usa processadores disponíveis no comercio (PCs comuns) Mas precisa de milhares deles em paralelo.

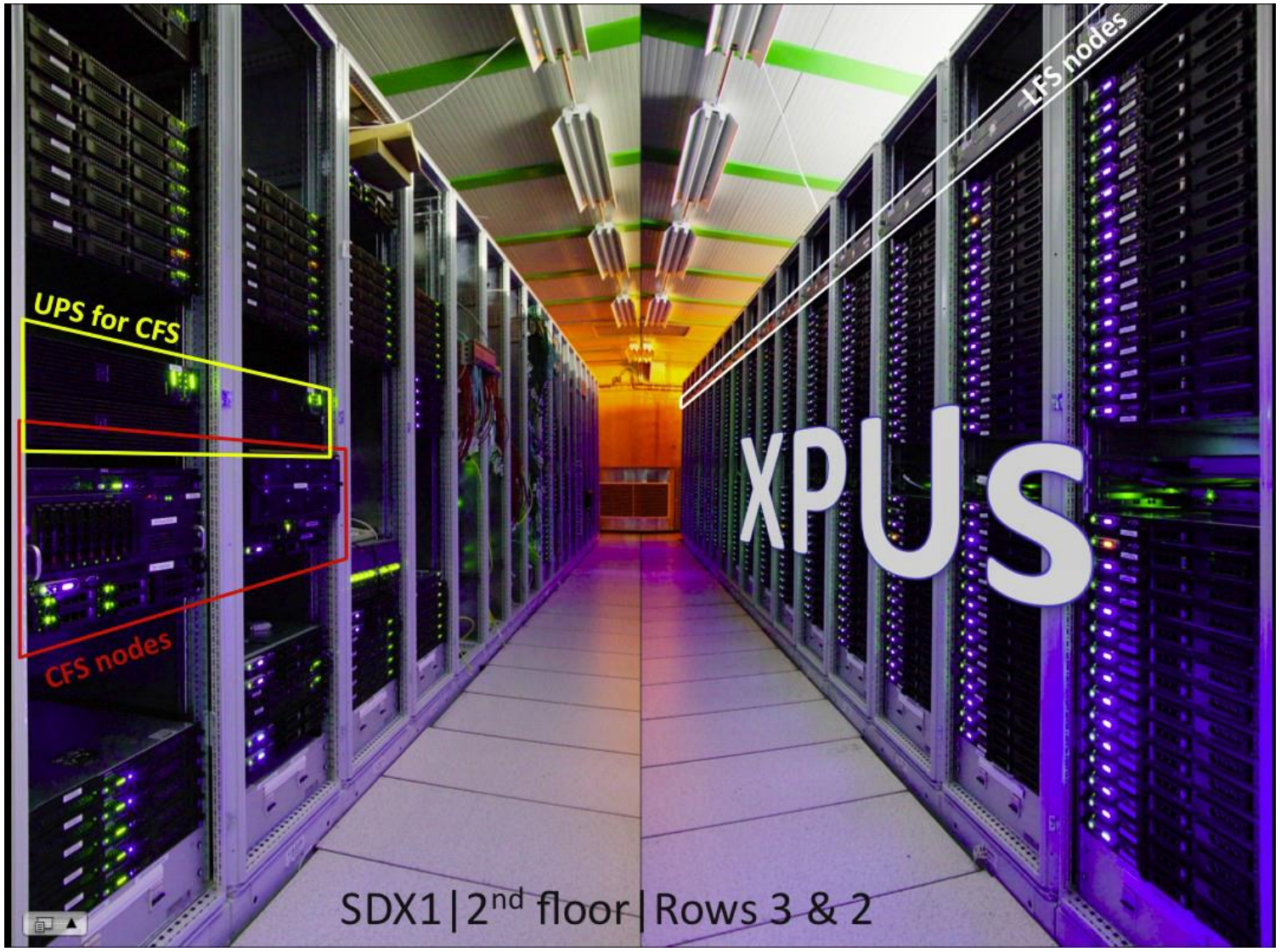
High Level Trigger

- **Reconstrução completa do Evento**
  - Reconstruir todas as trajectórias de partículas carregadas
    - Encontrar segmentos, conectá-los.
  - Associar as partículas com a colisão p-p
    - Múltiplas interacções em cada cruzamento.



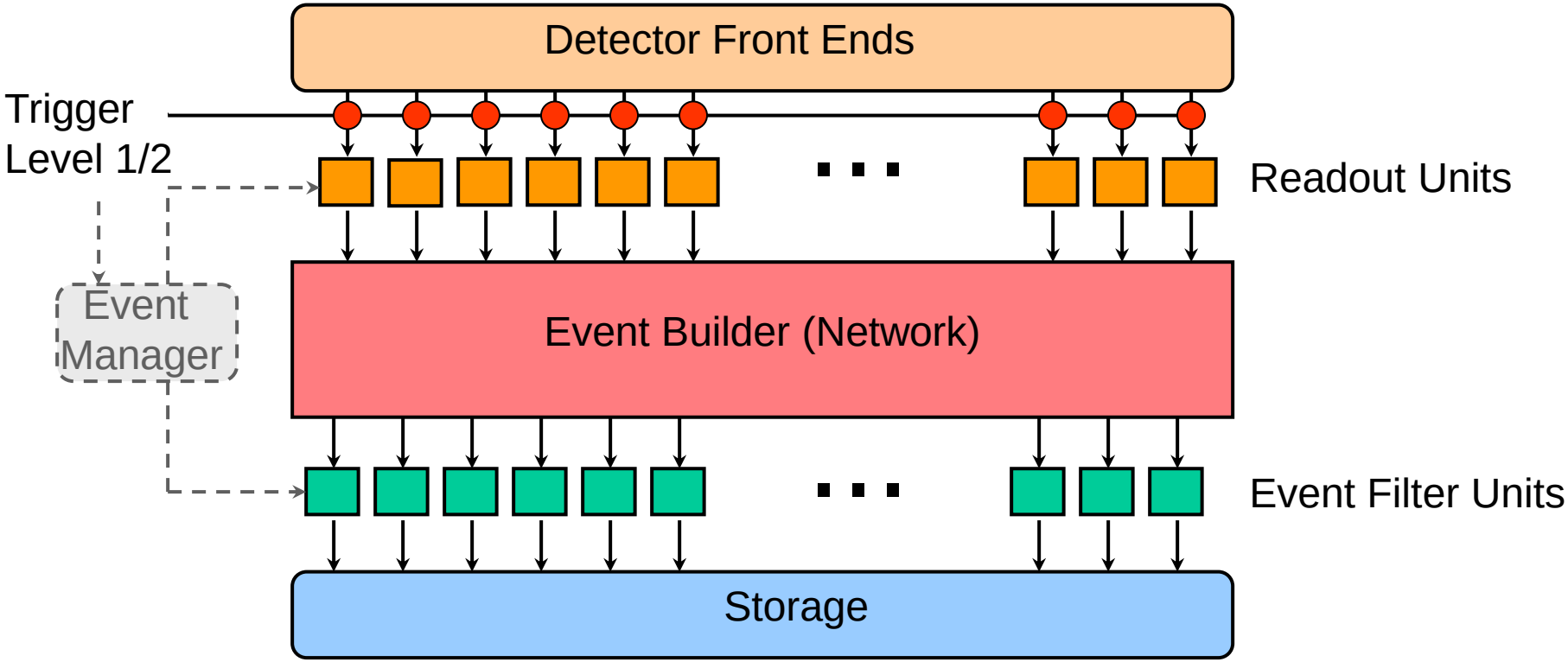
  - Medir todas as deposições de energia nos Calorímetros
    - Com granularidade fina
  - Associar trajectórias e deposições de energia
- **Decidir se é interessante**

Farm HLT de ATLAS



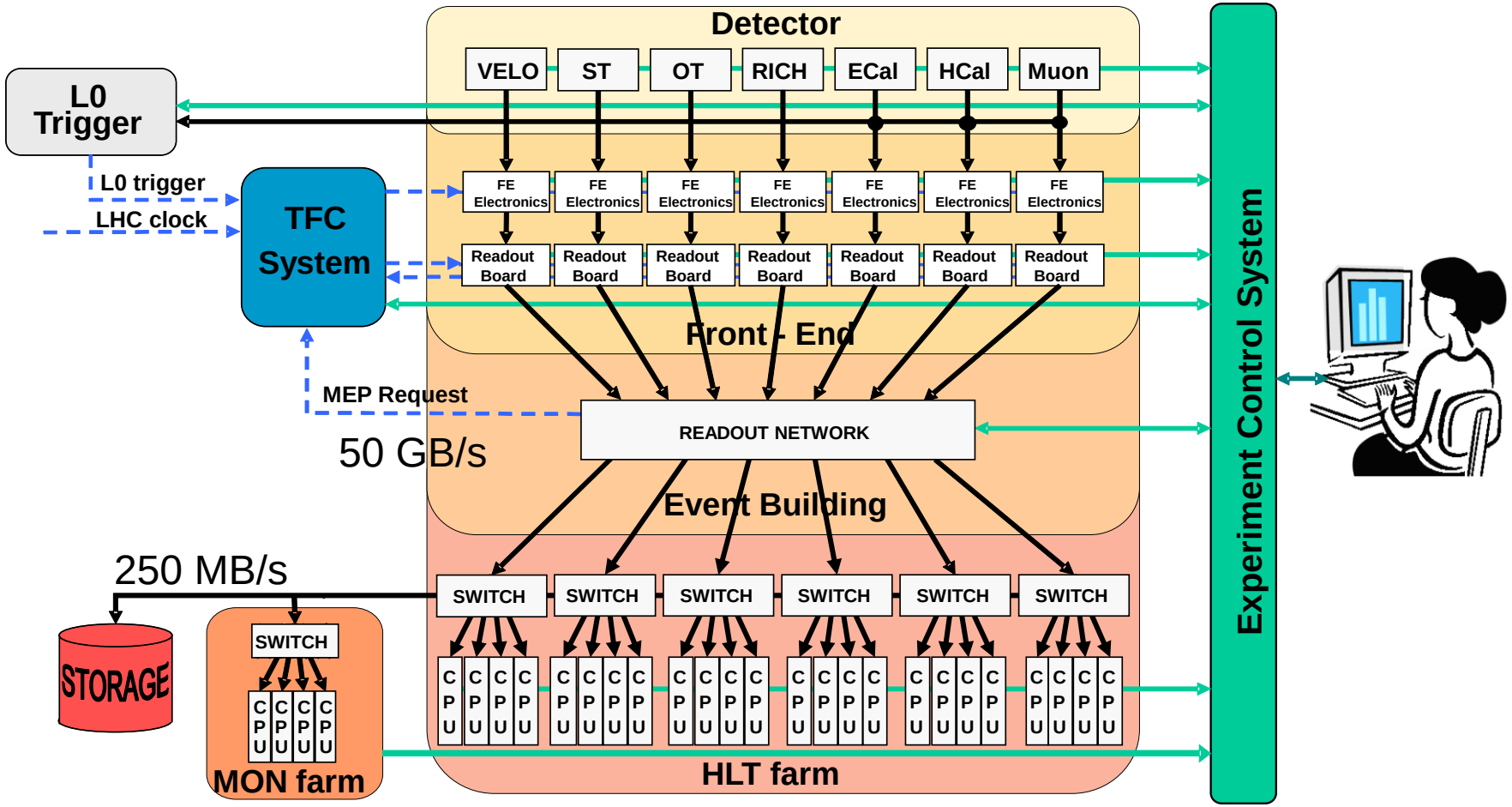
Arquitectura de Readout

- **Numa experiencia LHC**



- Com ou sem “Event Manager”
- Protocolo Push ou Pull

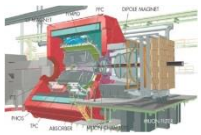
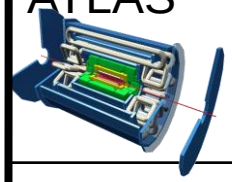
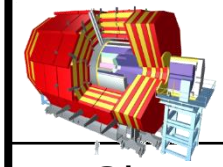
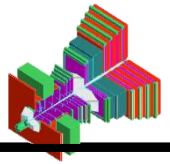
Exemplo: LHCb (até 2020)



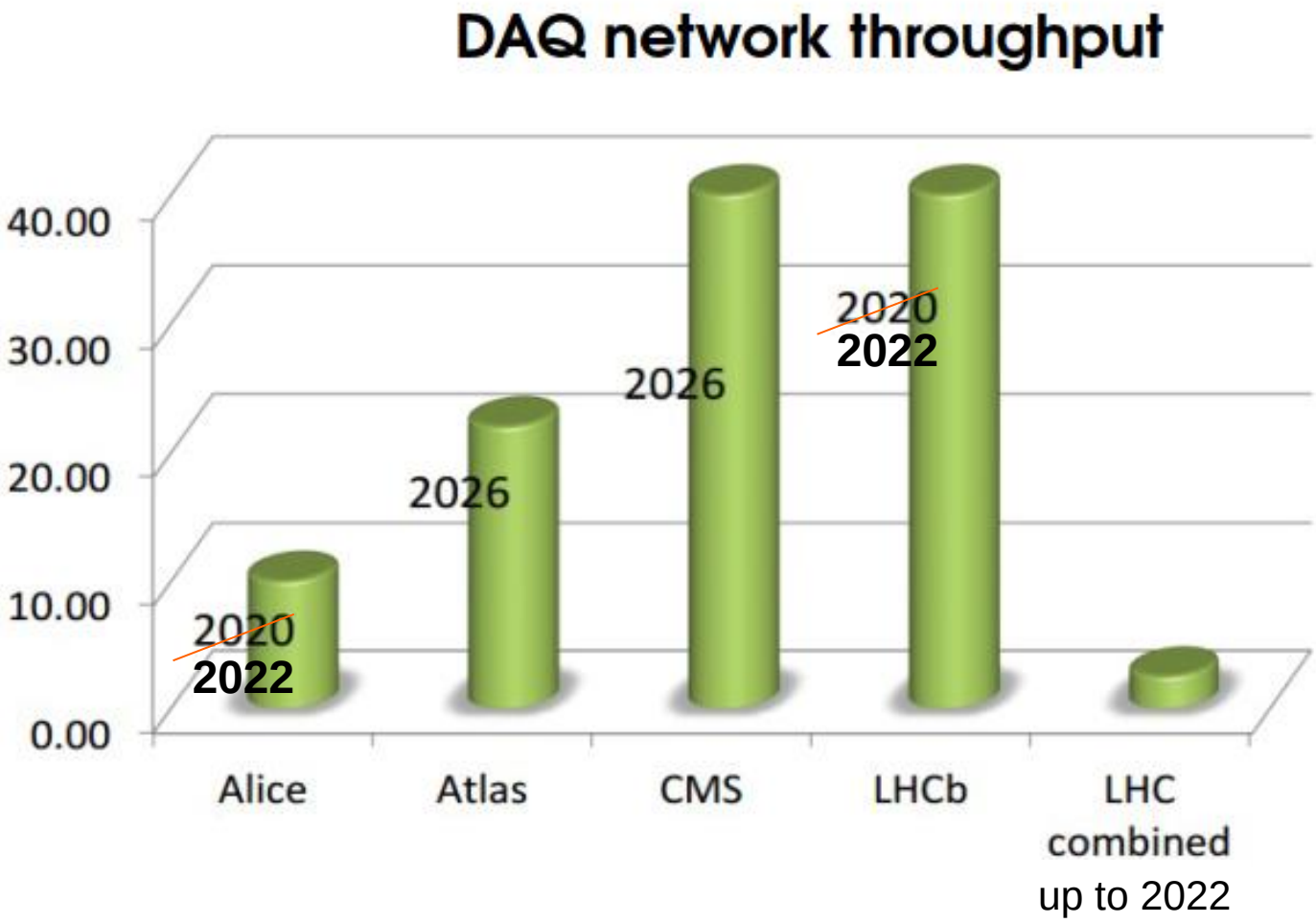
Event data
Timing and Fast Control Signals
Control and Monitoring data

Average event size 50 kB
Average rate into farm 1 MHz
Average rate to tape 5 kHz

Upgrades

	Até "ontem"			Upgrade (2022-2026)		
	L1 Rate (KHz)	Event Size (MByte)	Bandwidth (GByte/s)	L1 Rate (KHz)	Event Size (MByte)	Bandwidth (GByte/s)
ALICE 	1	25	25	50	20	1000
ATLAS 	100	1	100	200	4	800
CMS 	100	1	100	1000	4	4000
LHCb 	1000	0.05	50	40000	0.1	4000

The Upgrades

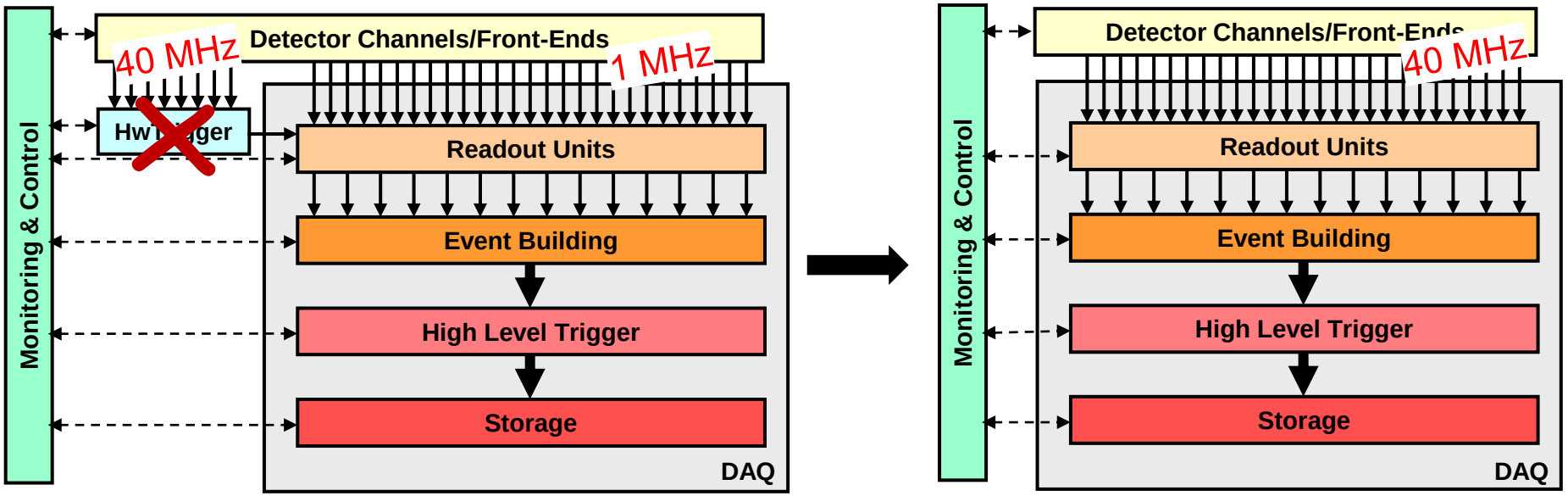


LHC Exp. Upgrades

- **Razões:**
  - Mais Física/Melhor Física
  - (Melhores Detectores)
  - Reduzir o impacto dos Triggers Hw:
    - Trabalhar com informação parcial e simplificações drásticas tem um preço:
      - Eventos potencialmente interessantes e valiosos são perdidos
    - Direcções:
      - Eliminar / reduzir o primeiro nível de Trigger (ALICE, LHCb)
      - Melhorar substancialmente o Nível 1 (ATLAS, CMS)
  - Melhorar Alinhamento e Calibração em tempo real

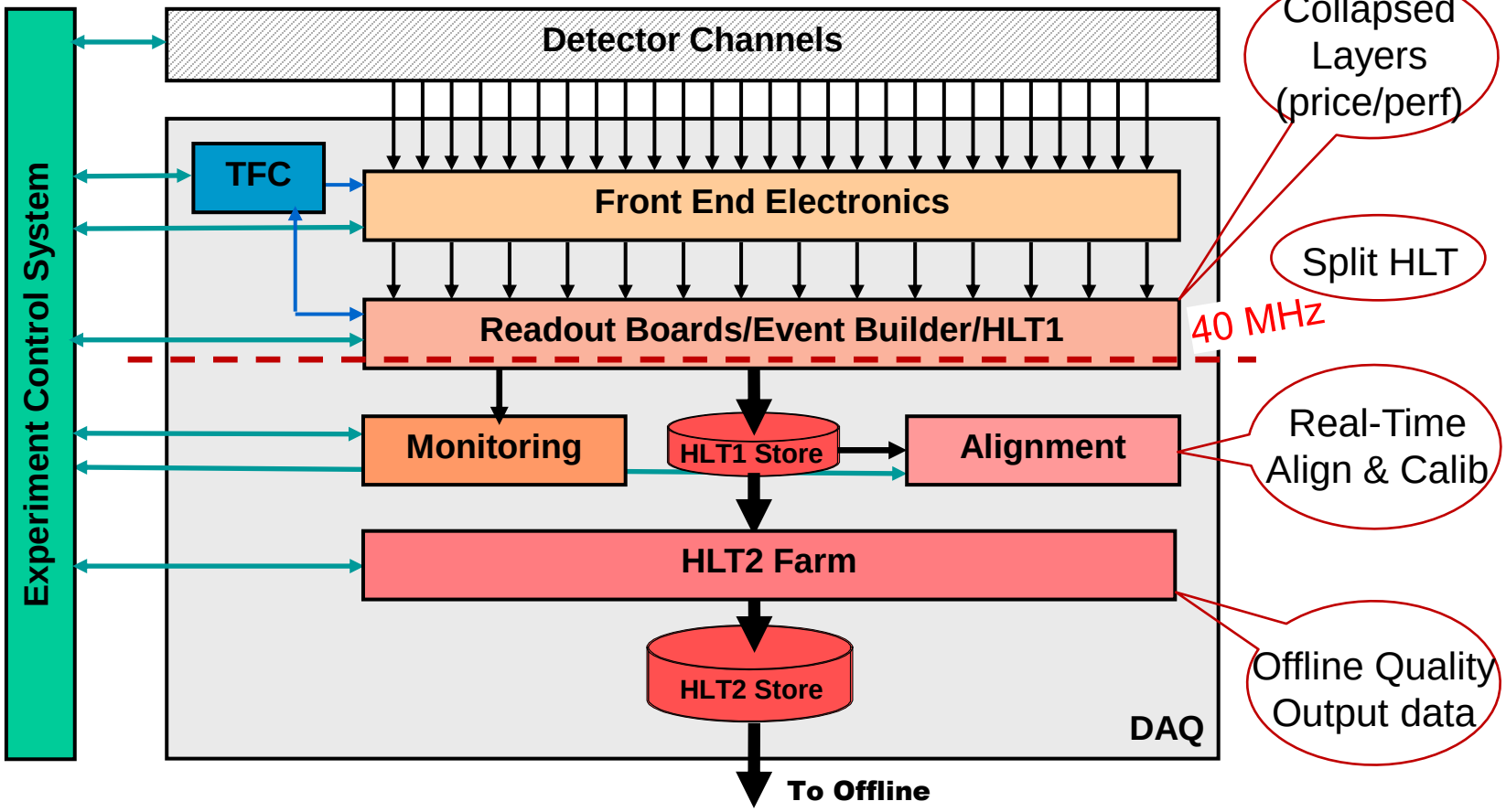
O exemplo LHCb

- 1ª Grande Experiencia de Física a abolir completamente o Trigger Hardware -> Provavelmente o maior sistema de aquisição de dados do mundo neste momento.

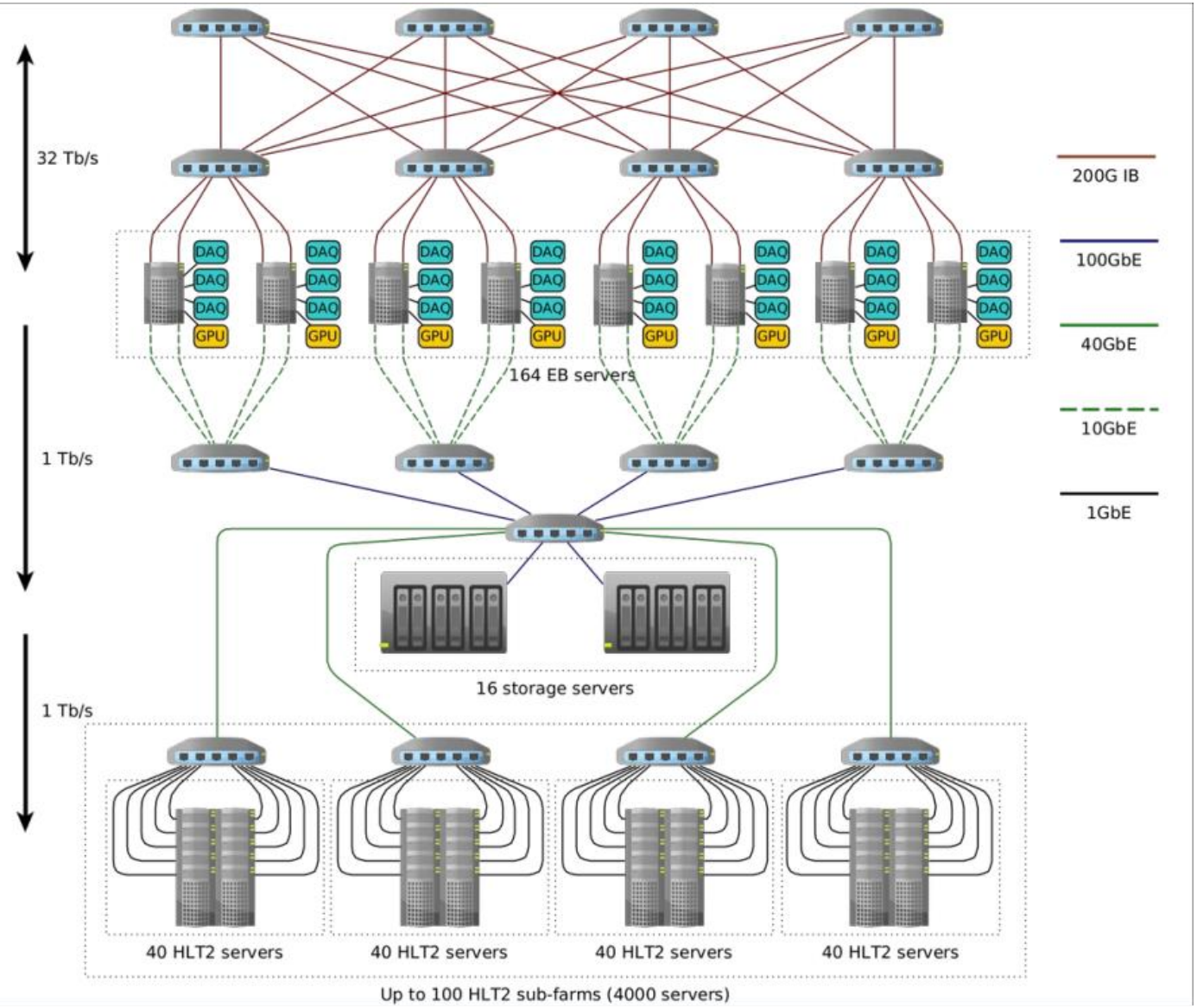


- Em funções desde o ano passado -> E funciona!!

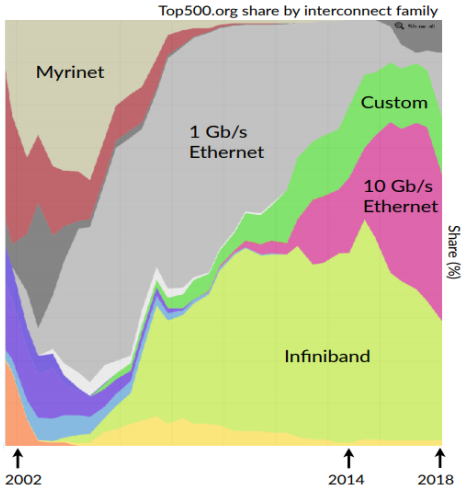
A nova DAQ de LHCb



O “Coração” da DAQ



- **EB Servers**
  - ~160
  - Hosting PCIe cards
- **Readout Units:**
  - ~500
  - Powerful FPGA
  - 48 FE links (1Gb)
- **GPUs:**
  - ~160 -> ~320
  - Fast HLT1 Pass
- **CPUs**
  - ~4000 (donated)
  - Thorough HLT2

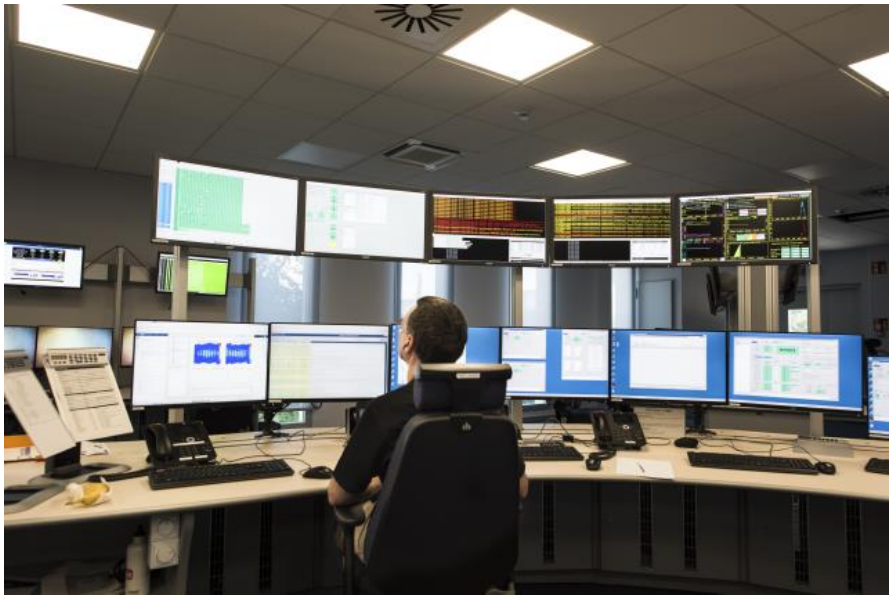


Configuração, Controle e Monitorização

Clara Gaspar, Setembro 2023

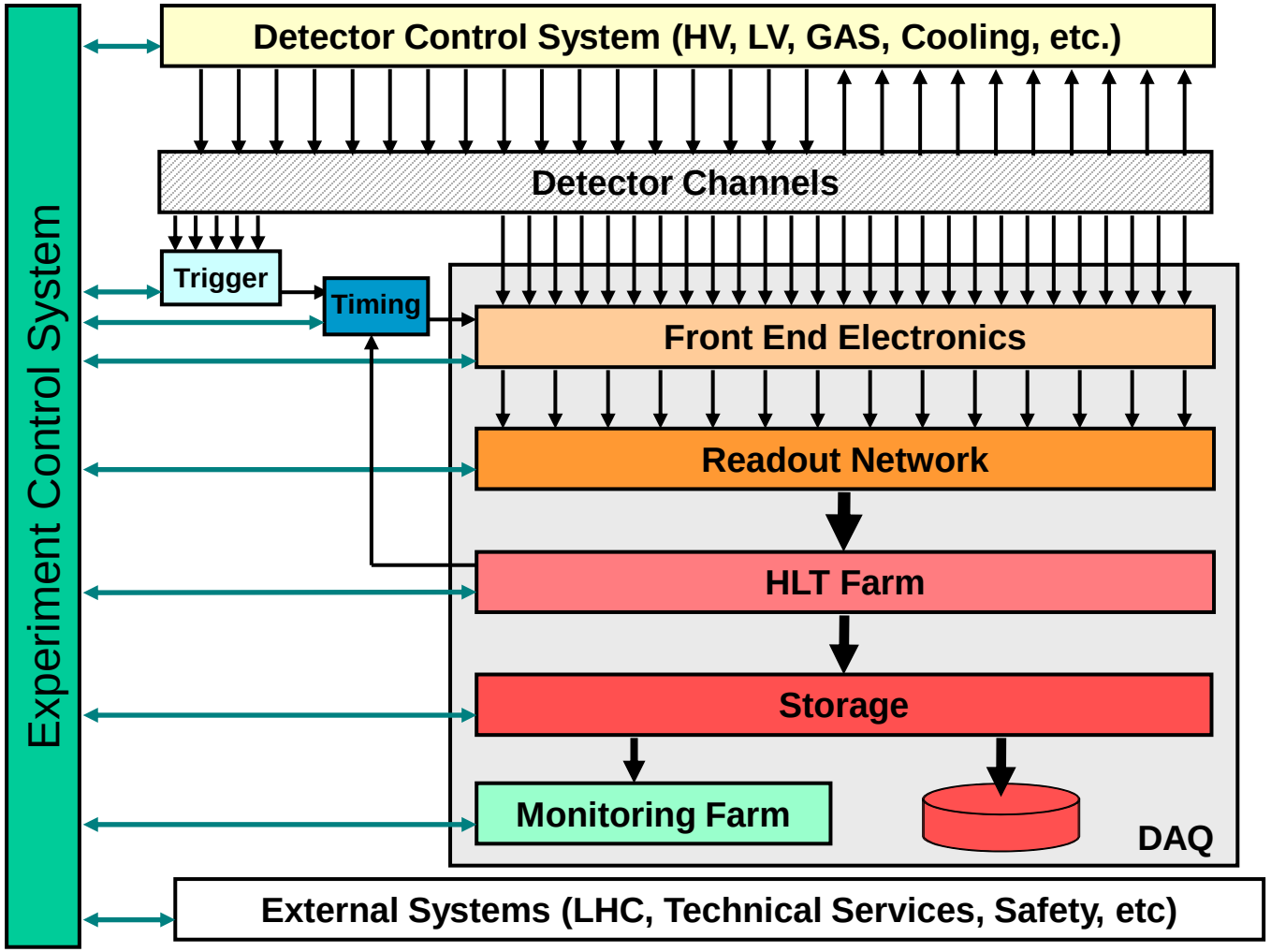
Operations

- **As Experiencias funcionam 24/24 7/7**
- **(Em LHCb) 2 operadores (non-experts)**
- **Configuração e Controle:**
  - Preparação dos vários componentes em função do tipo de RUN



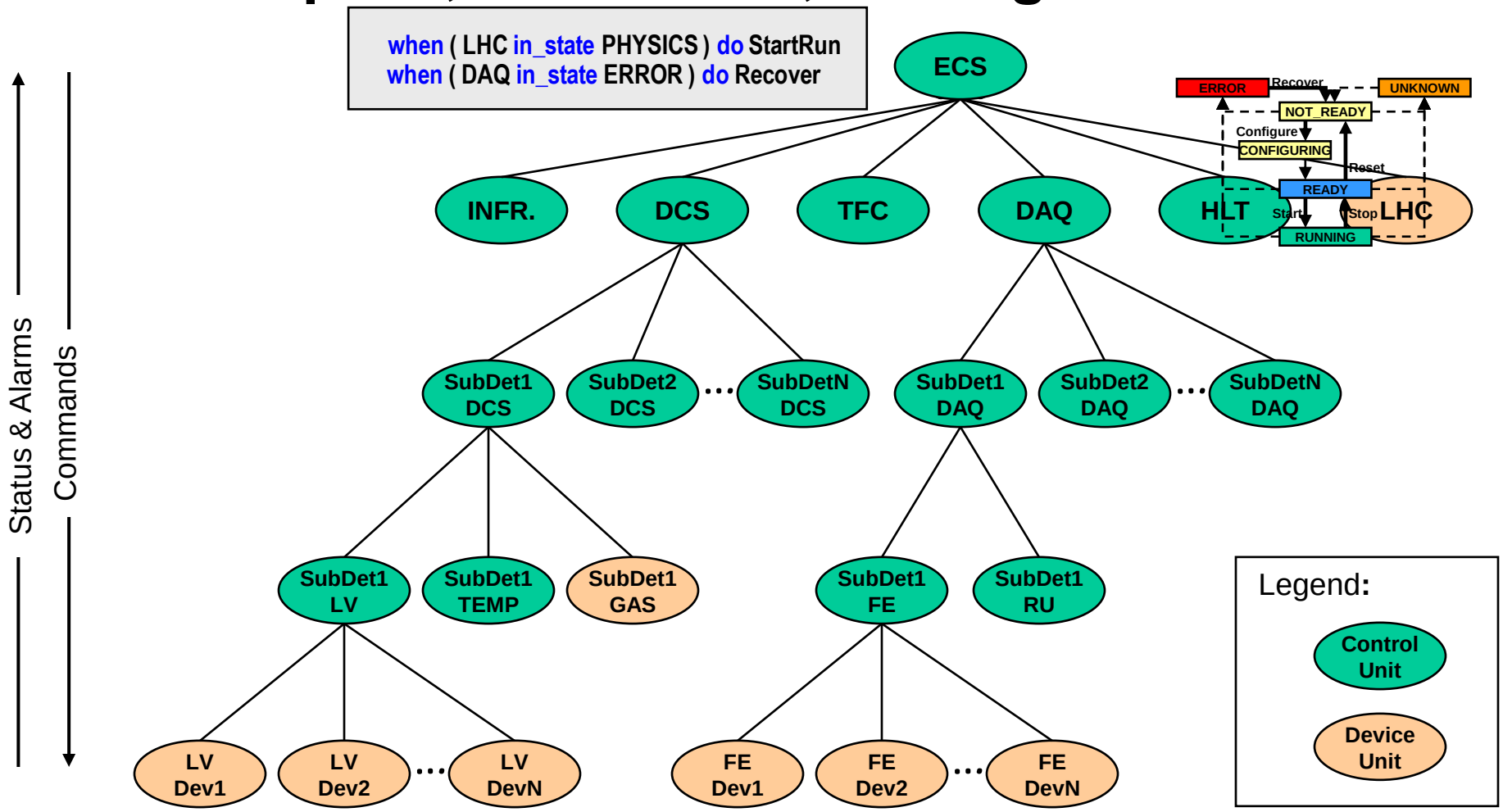
- **Automatização**
  - Para evitar erros humanos
  - E acelerar procedimentos repetitivos
- **Monitorização**
  - Para detectar problemas o mais rapidamente possível

Supervisão


Experiment Control System
Detector Control System (HV, LV, GAS, Cooling, etc.)
Detector Channels
Trigger
Timing
Front End Electronics
Readout Network
HLT Farm
Storage
Monitoring Farm
DAQ
External Systems (LHC, Technical Services, Safety, etc)

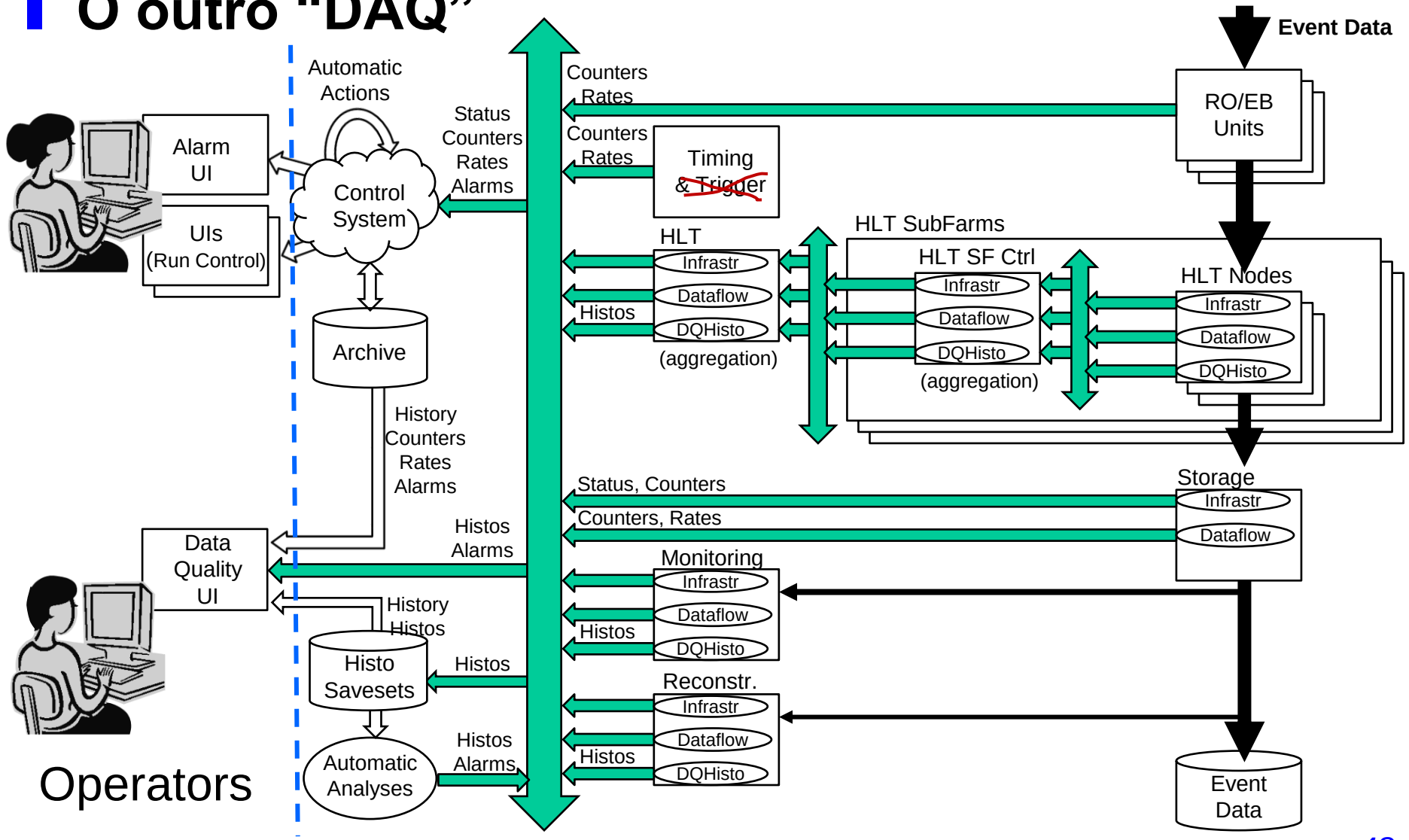
Sistema de Controle

- Hierárquico, Distribuído, “Inteligente”

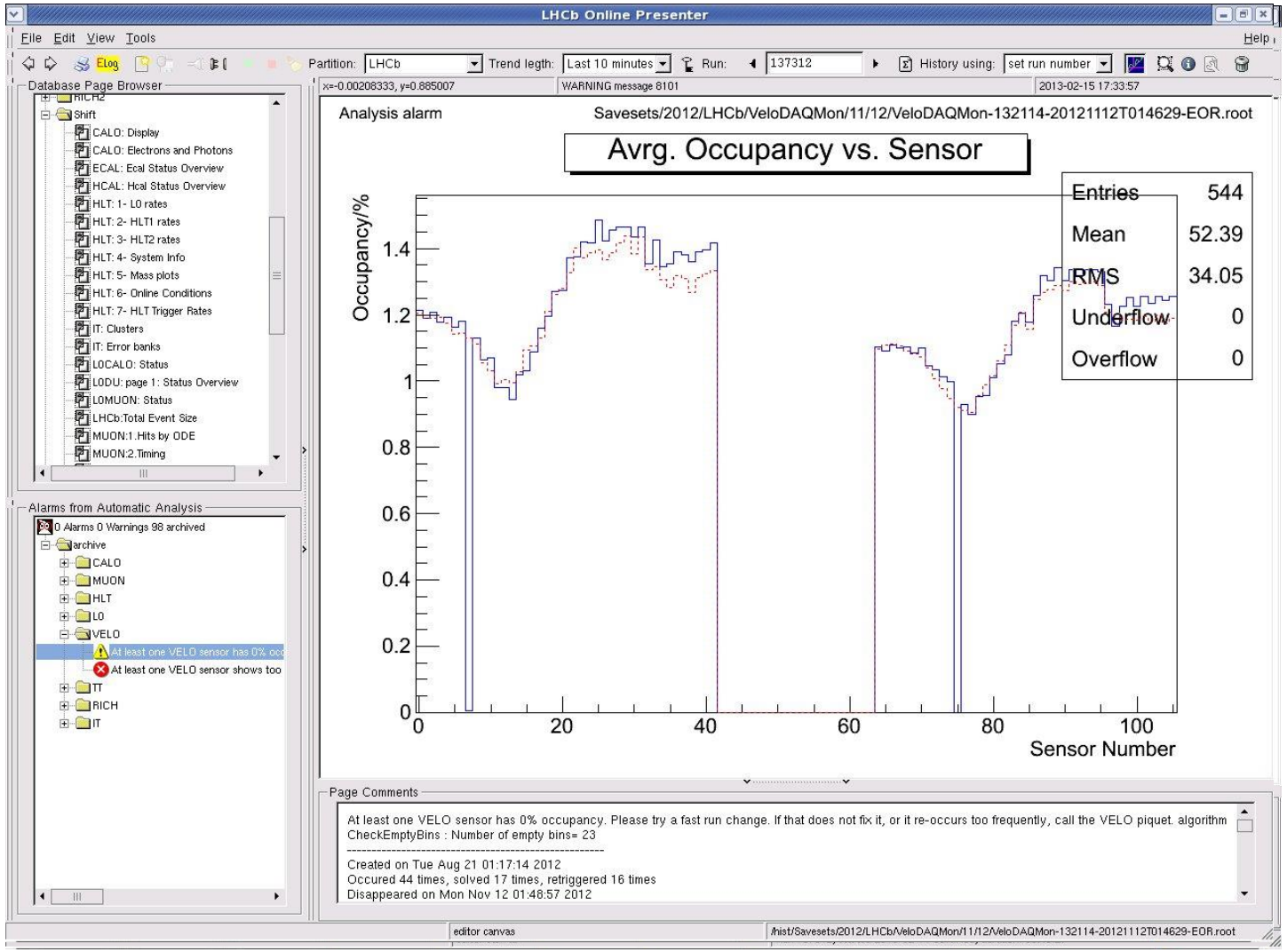


Monitorização (fluxo de dados)

- O outro "DAQ"

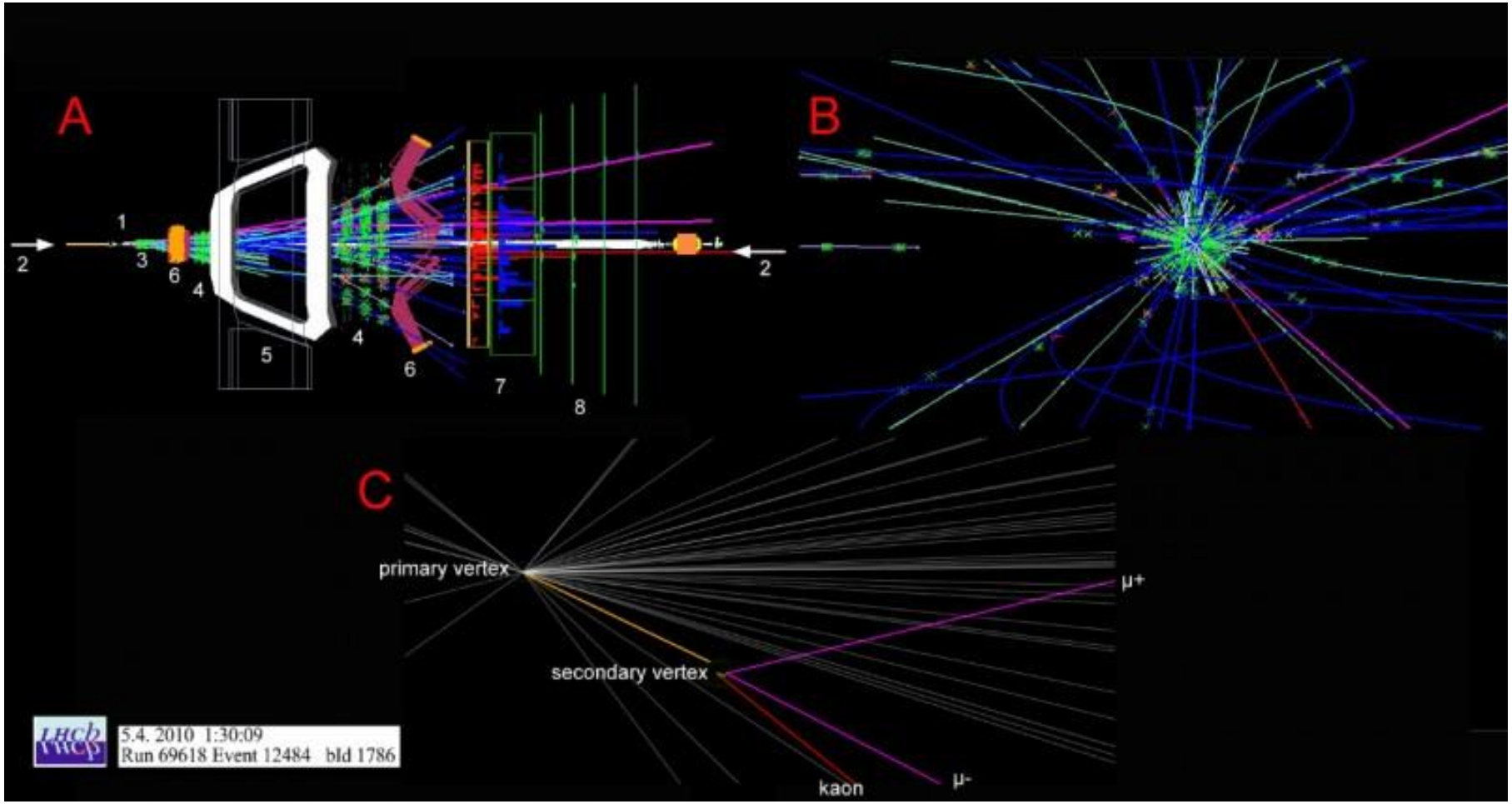


Data Quality Monitoring



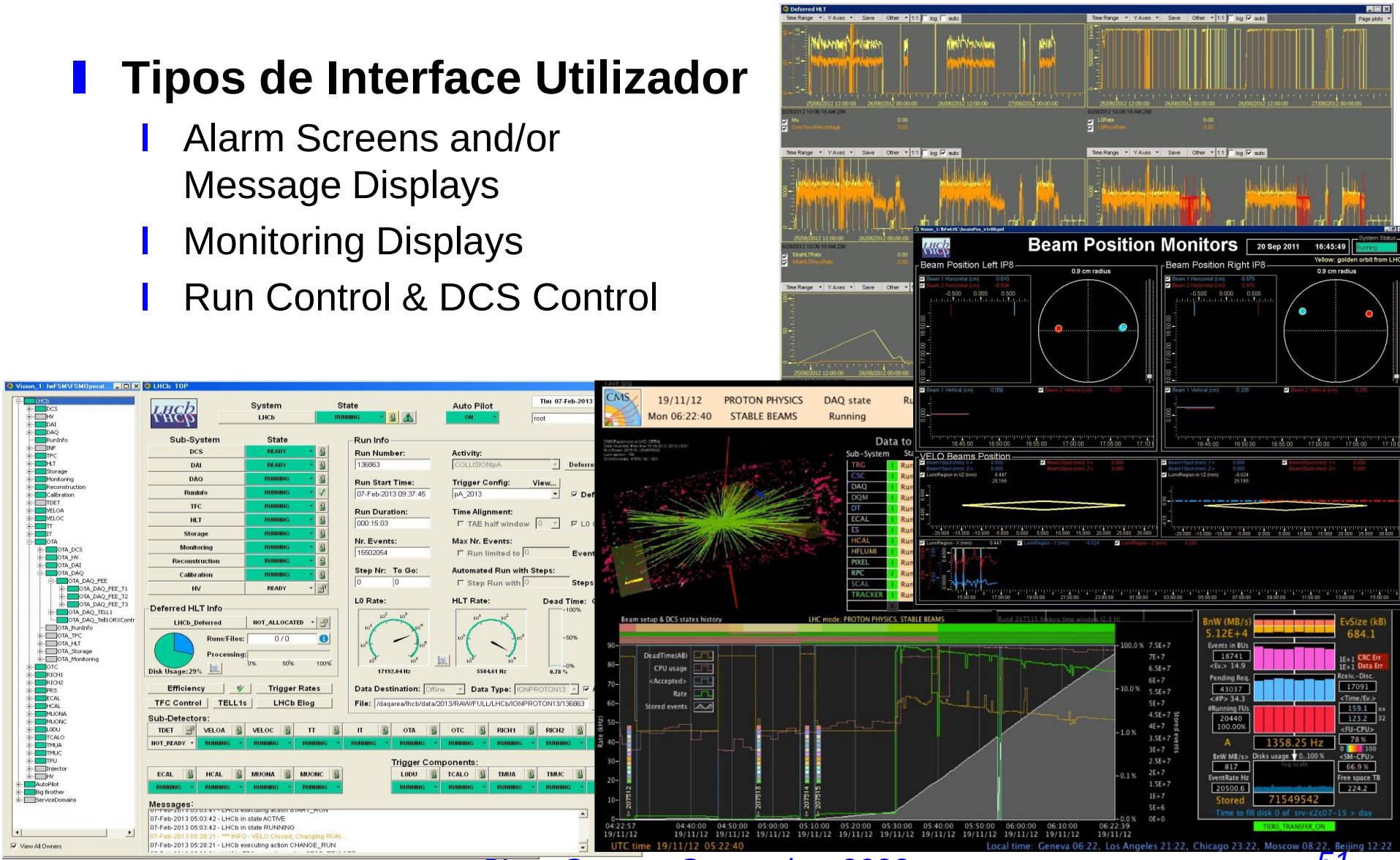
- Verificar a qualidade dos dados adquiridos
- Comparar com referencia
- Analise automática (machine learning)

LHCb Online Event Display



Operator Interfaces

- **Tipos de Interface Utilizador**
  - Alarm Screens and/or Message Displays
  - Monitoring Displays
  - Run Control & DCS Control



Conclusões

- Os sistemas de Trigger e de Aquisição de dados são cada vez mais complexos.
- Felizmente as exigências da industria (telecomunicações, computadores, etc.) também evoluem e contribuem ao desenvolvimento de novas tecnologias:
  - Hardware: Fast ADCs, Field-Programmable Gate Arrays, Analog memories, multi-core PCs, Networks, Helical scan recording, Data compression, Image processing (GPUs), ...
  - Software: Distributed computing, Software development environments, Supervisory systems, Data Analytics and Machine Learning techniques, …
- Uma grande parte dos nossos sistemas podem agora ser desenvolvidos usando componentes do comercio (os front-ends terão de continuar a ser personalizados)
- E’ essencial acompanharmos os progressos feitos pela industria.