



Aquisição de Dados, Trigger e Controle

Clara Gaspar, September 2019



Definições

■ Sistema de “Trigger”

- Seleciona em tempo-real os acontecimentos (eventos) “interessantes” entre todas as colisões
Decide se o evento deve ser adquirido ou não

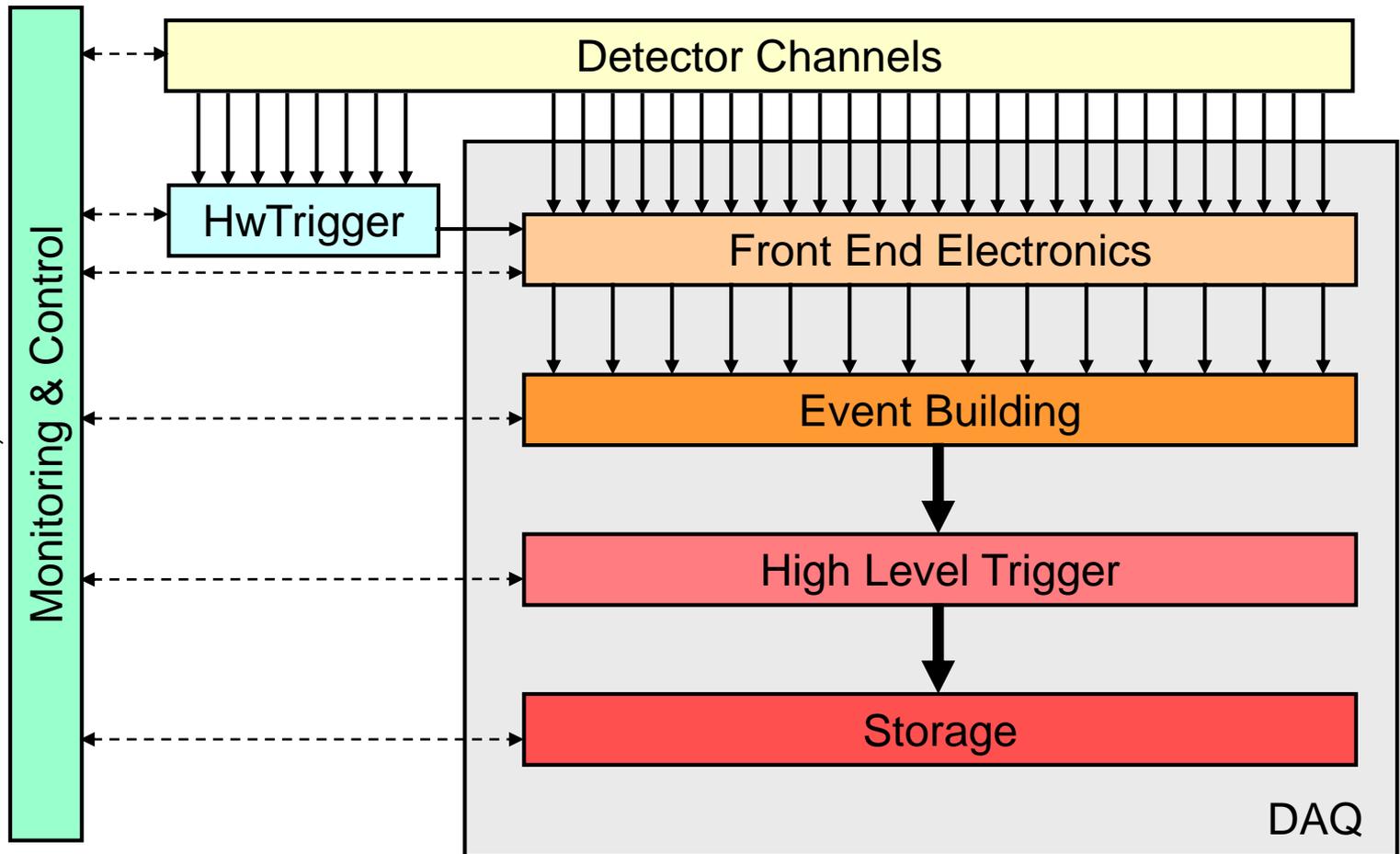
■ Sistema de Aquisição de Dados

- 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 em geral do bom funcionamento do sistema

Trigger, DAQ & Control





LEP & LHC in Numbers

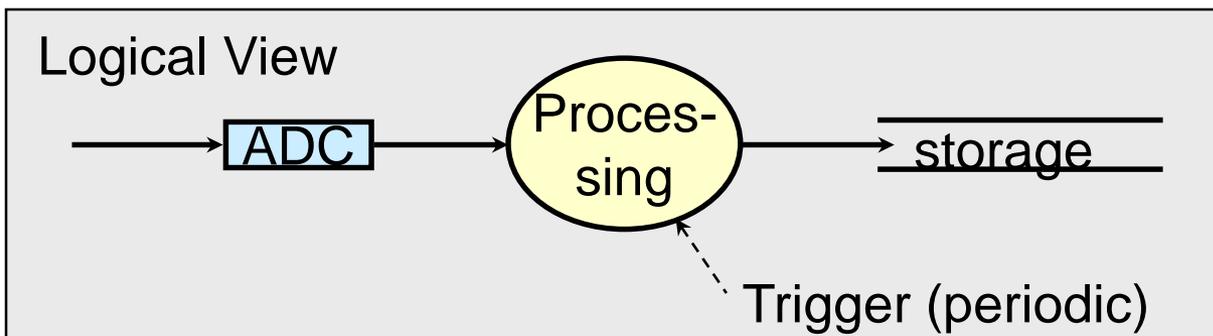
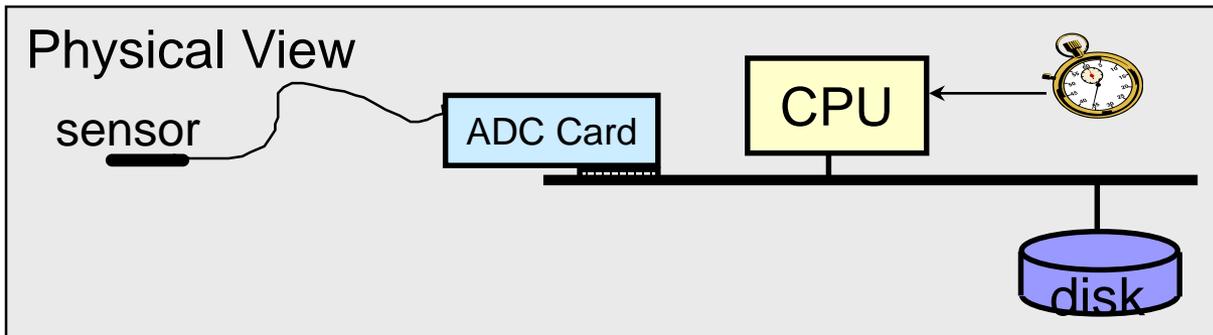
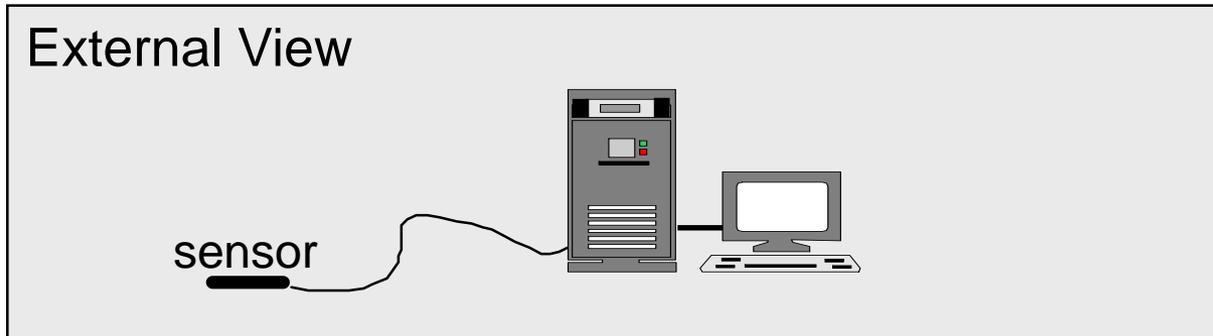
	LEP (1989/2000)	LHC (2009)	Factor
Bunch Crossing Rate	45 KHz	40 MHz	$\times 10^3$
Bunch Separation	22 μ s	25 ns	$\times 10^3$
Nr. Electronic Channels	$\approx 100\ 000$	$\approx 10\ 000\ 000$	$\times 10^2$
Raw data rate	$\approx 100\ \text{GB/s}$	$\approx 1\ 000\ \text{TB/s}$	$\times 10^4$
Data rate on Tape	$\approx 1\ \text{MB/s}$	$\approx 100\ \text{MB/s}$	$\times 10^2$
Event size	$\approx 100\ \text{KB}$	$\approx 1\ \text{MB}$	$\times 10$
Rate on Tape	10 Hz	100 Hz	$\times 10$
Analysis	0.1 Hz	$10^{-6}\ \text{Hz}$	$\times 10^5$
	(Z_0, W)	(Higgs)	



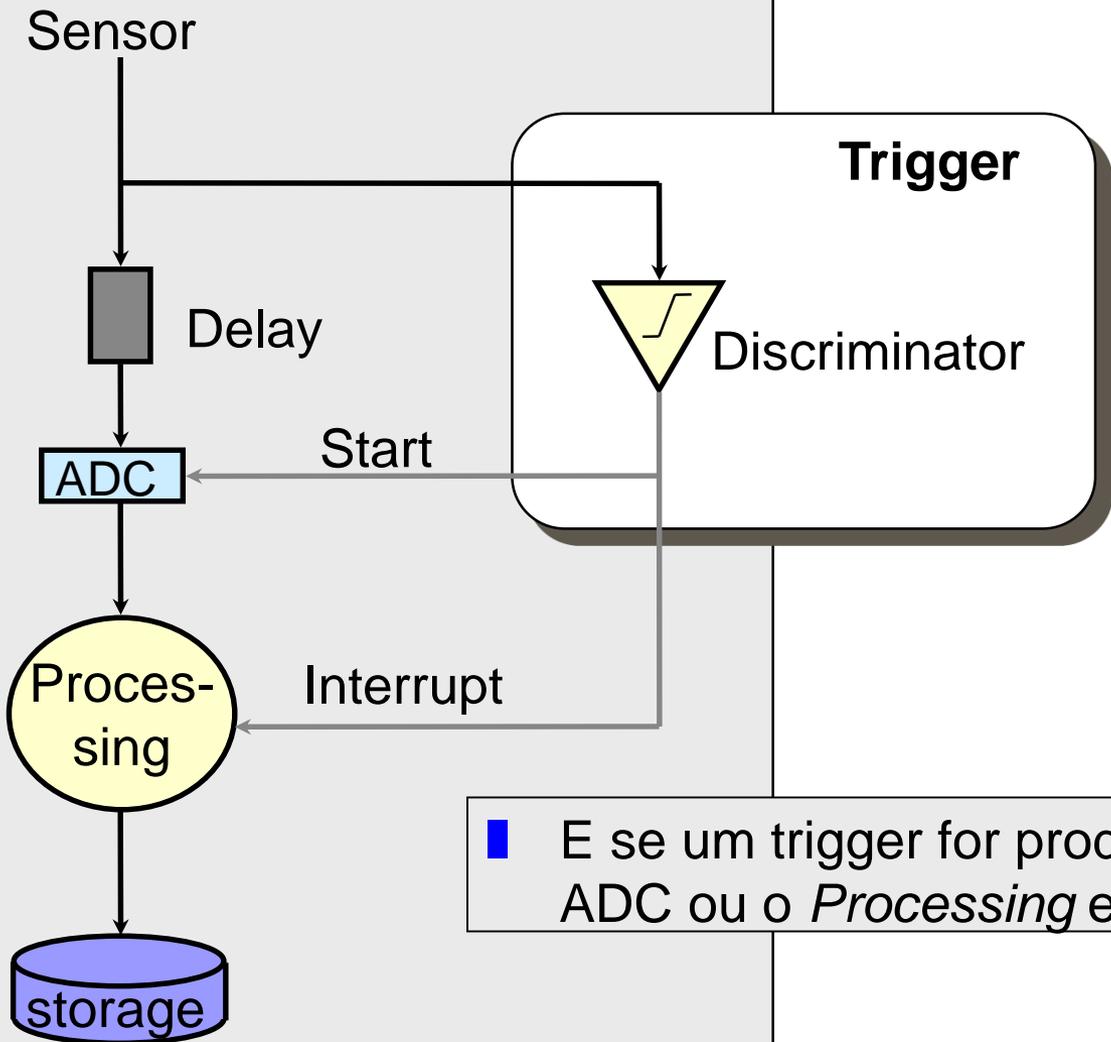
Conceitos Básicos

Clara Gaspar, September 2019

DAQ Trivial

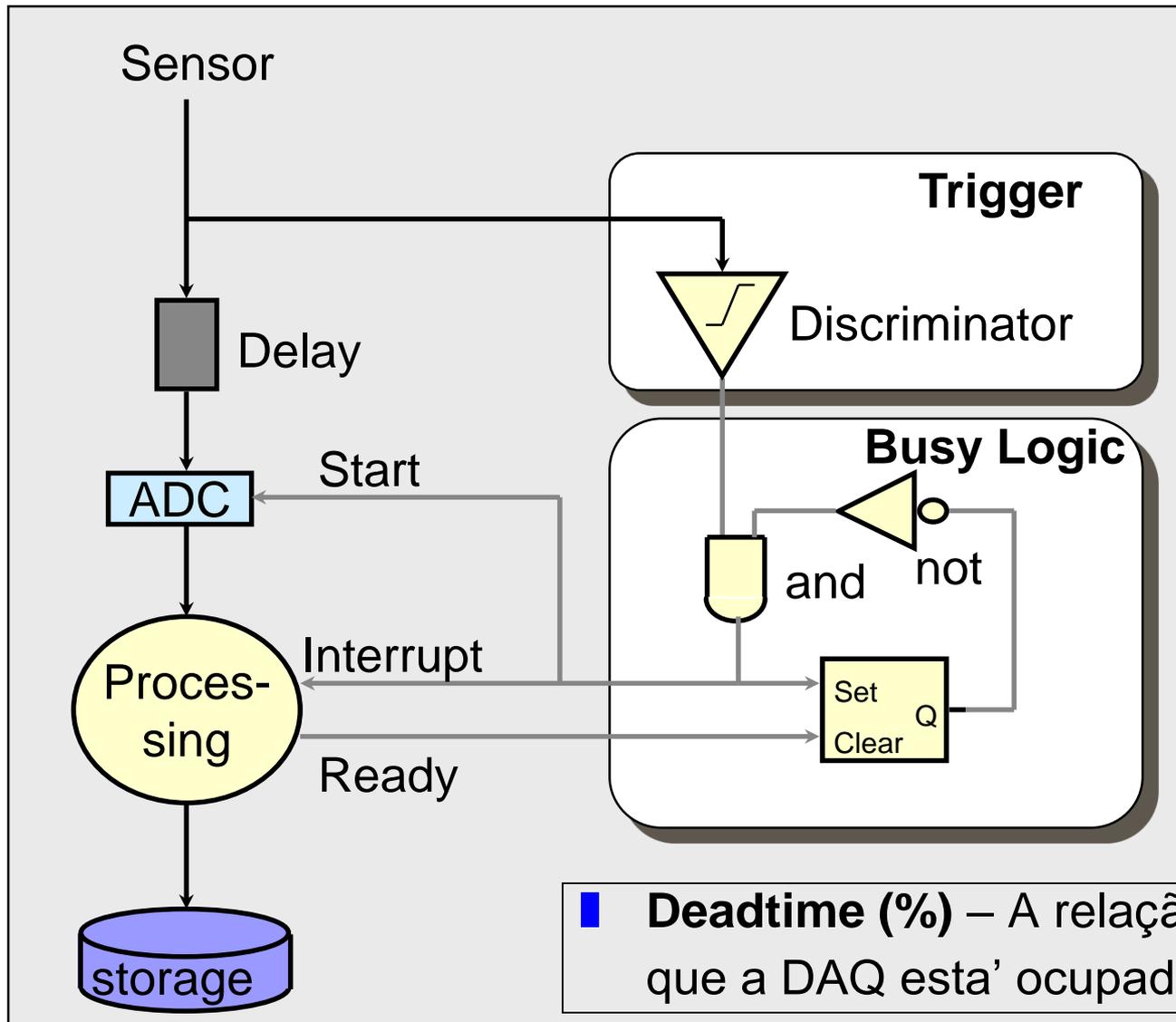


DAQ Trivial com Trigger



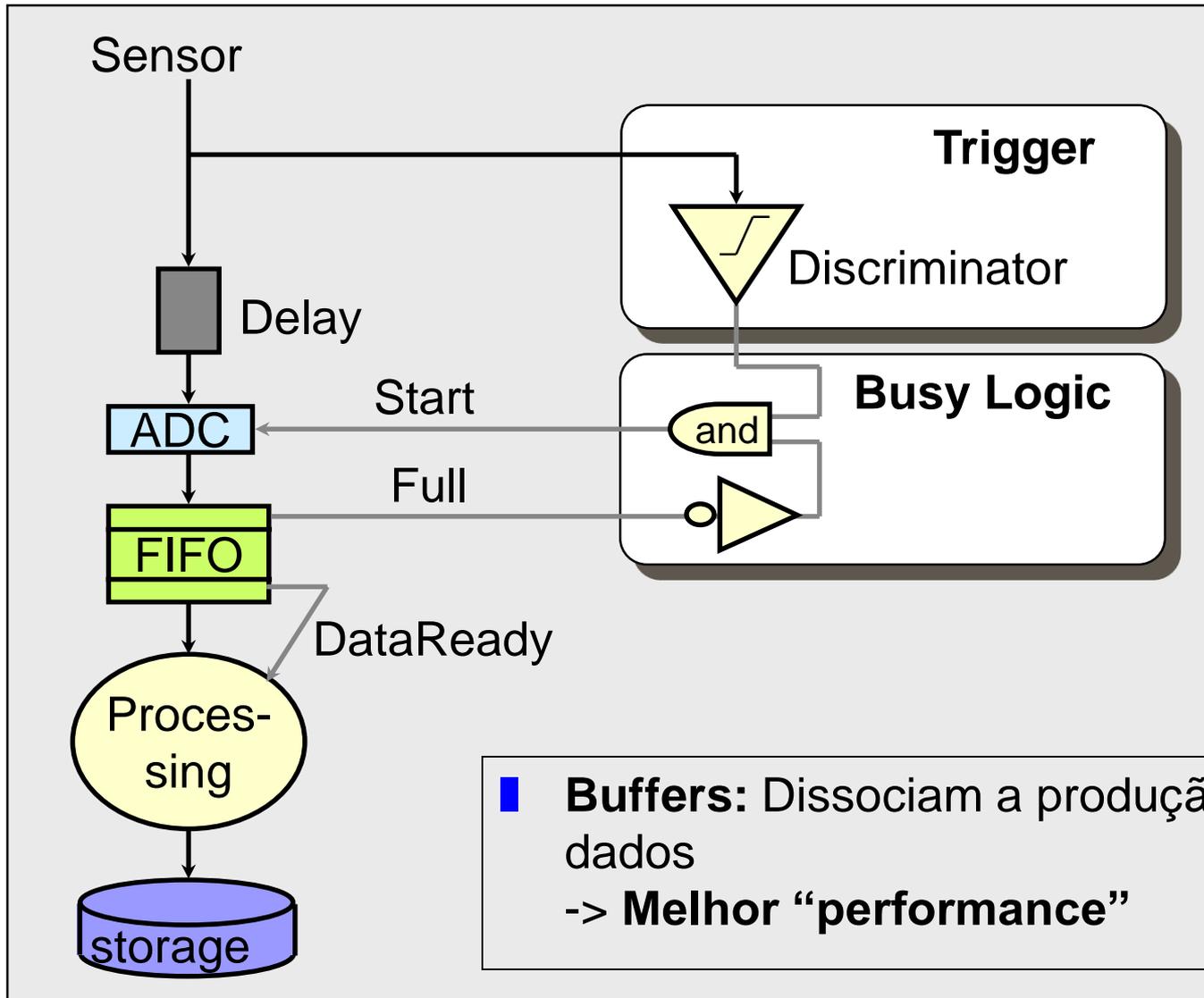
■ E se um trigger for produzido quando a ADC ou o *Processing* esta' ocupado?

DAQ Trivial com Trigger (2)



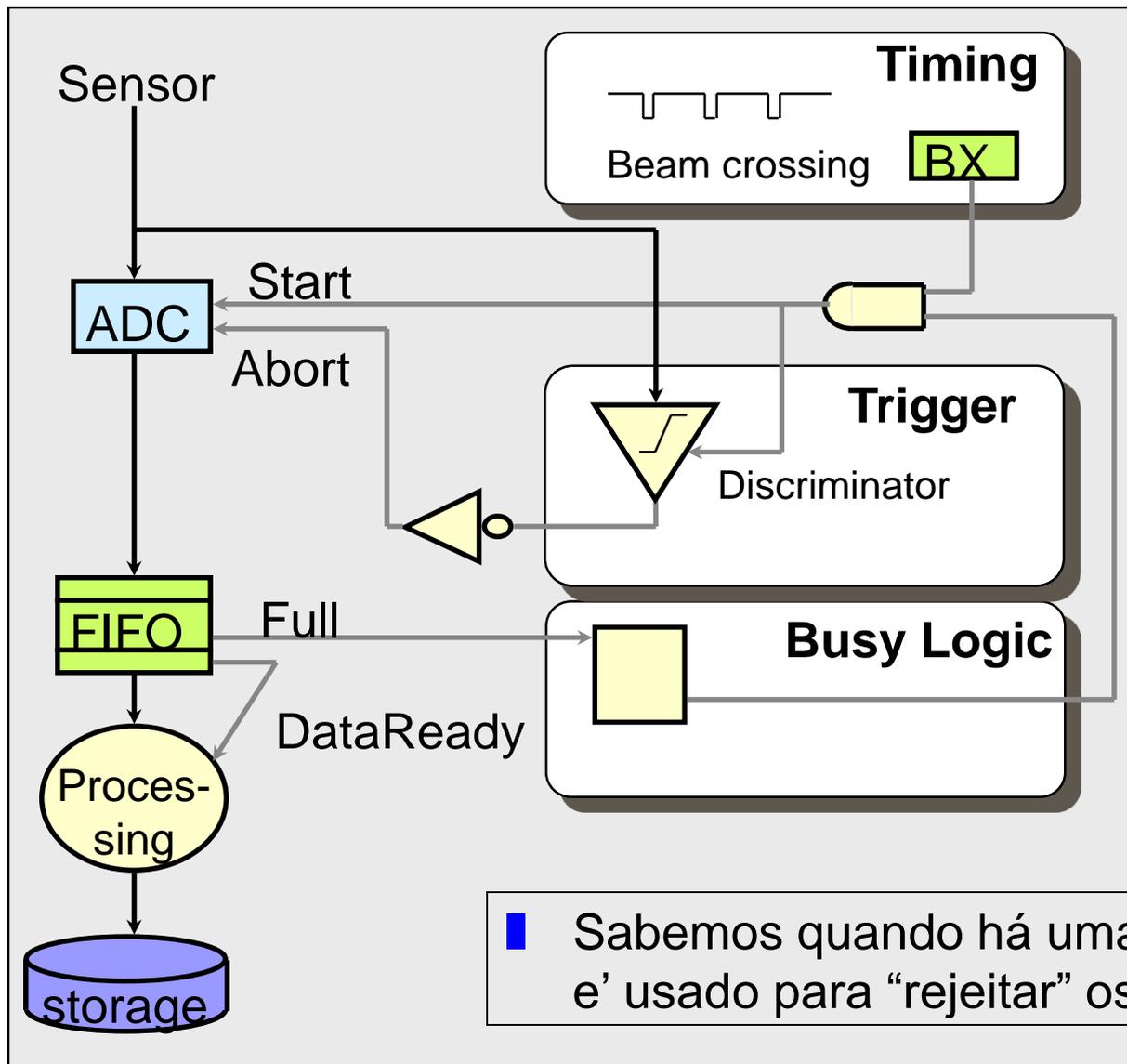
■ **Deadtime (%)** – A relação entre o tempo em que a DAQ está ocupada e o tempo total.

DAQ Trivial com Trigger (3)



■ **Buffers:** Dissociam a produção e o consumo dos dados
-> **Melhor “performance”**

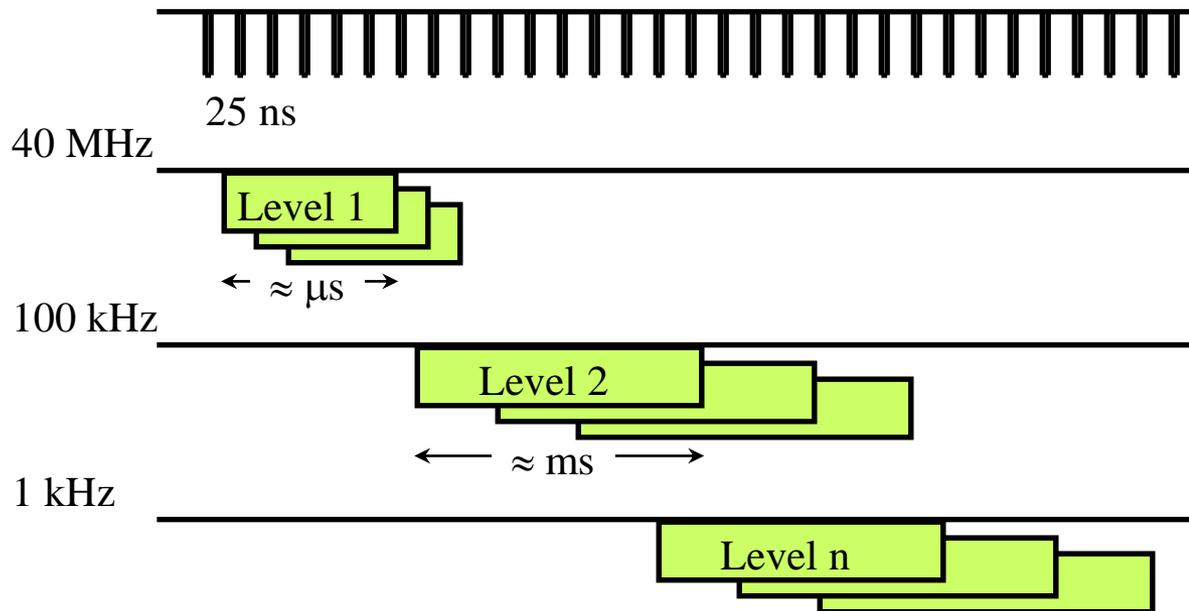
DAQ Trivial num Acelerador



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

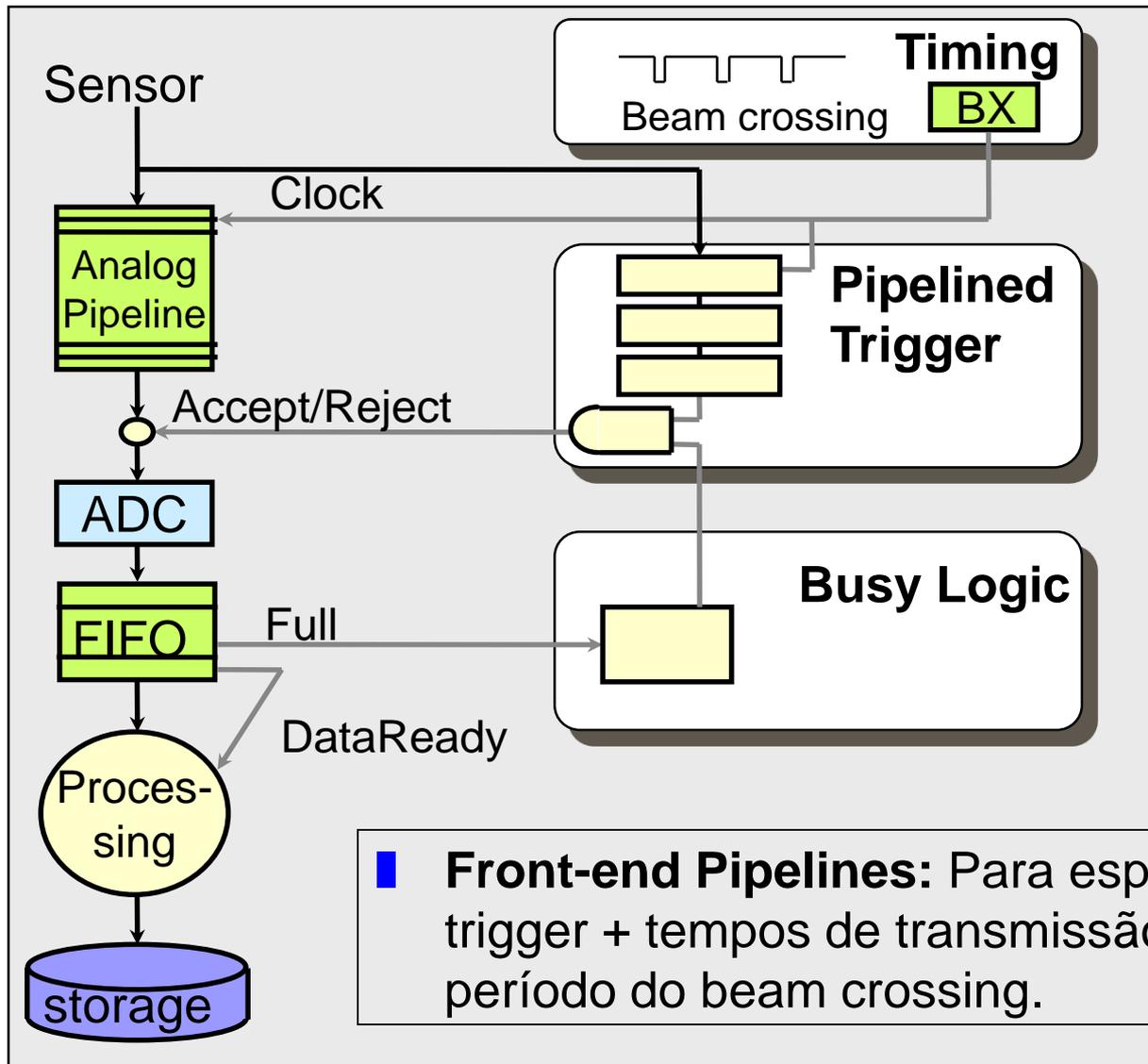
Desafios do LHC

p p crossing rate 40 MHz ($L=10^{33}-4\cdot 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)



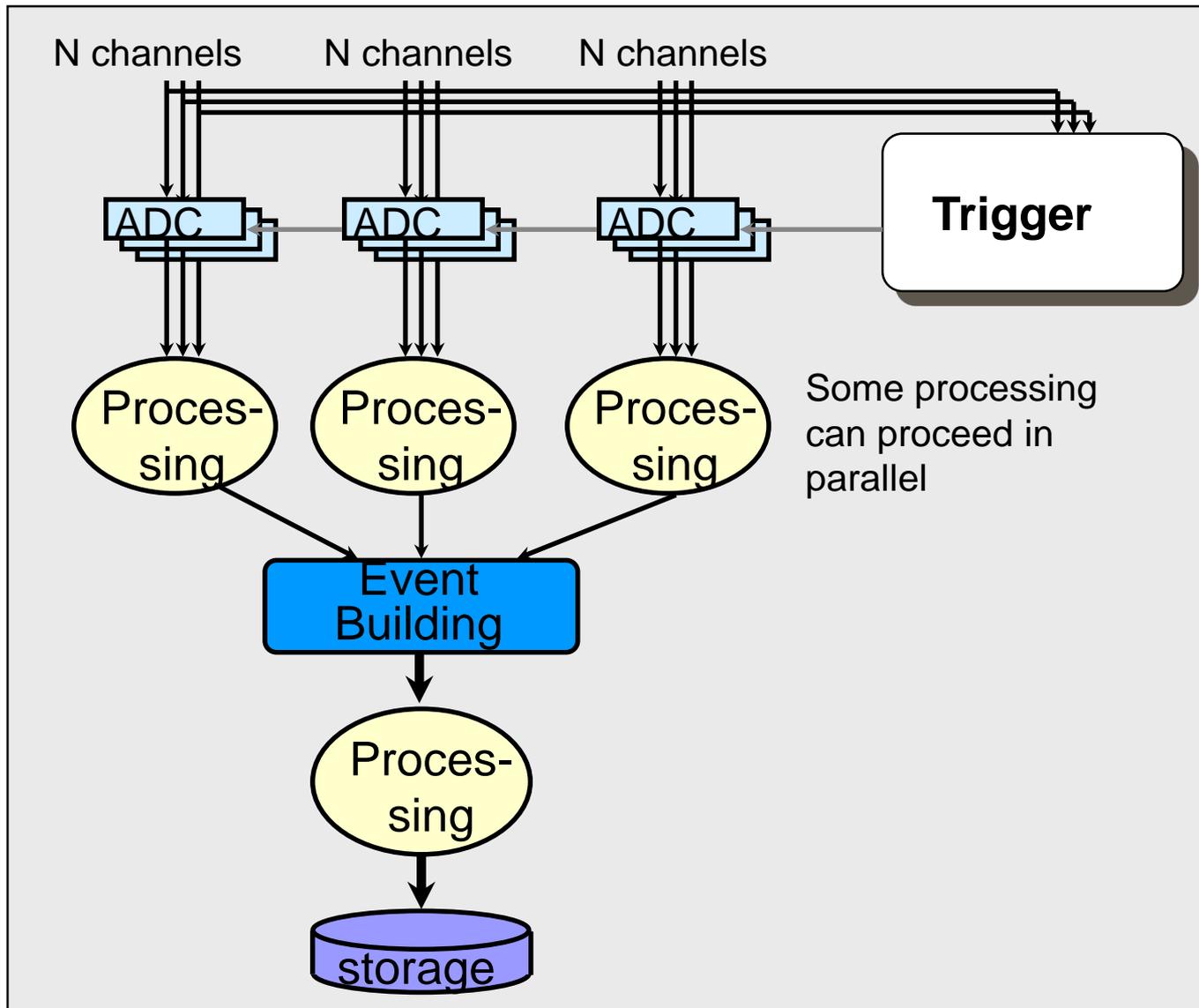
- Timing: Tempo do 1^o nível de trigger excede o “bunch interval”
- Sobreposição de eventos e de sinal de várias colisões (“signal pileup”) porque a memória das células do detector é maior que 25 ns
- Muito alto numero de canais

DAQ Trivial no LHC

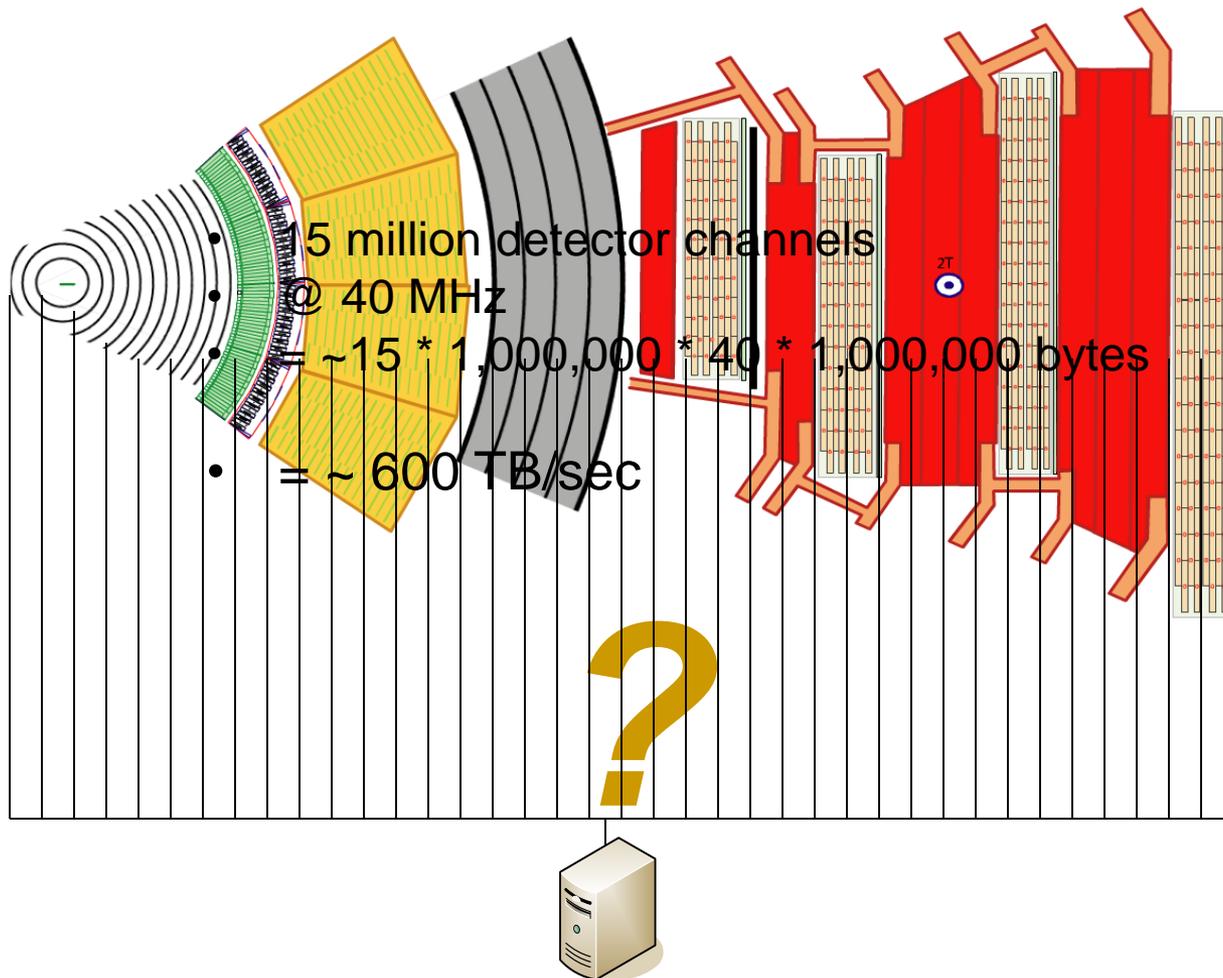


■ **Front-end Pipelines:** Para esperar pela decisão do trigger + tempos de transmissão são maiores que o período do beam crossing.

DAQ Menos Trivial



A Realidade





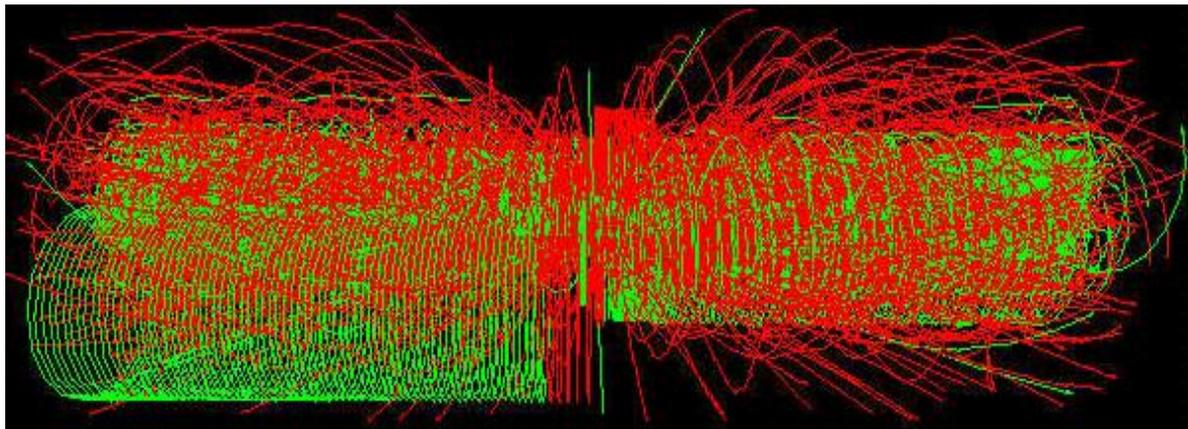
Trigger

Clara Gaspar, September 2019

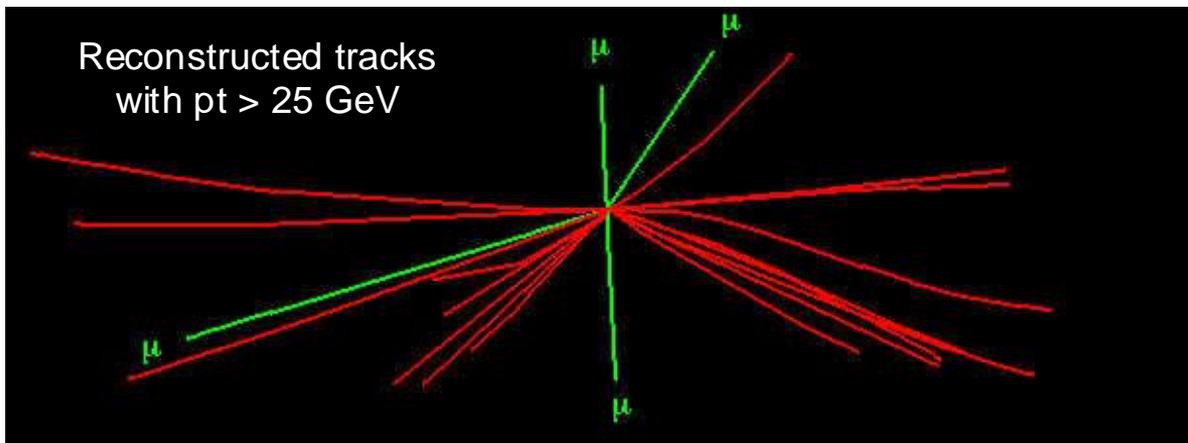
Sistema de Trigger

- 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

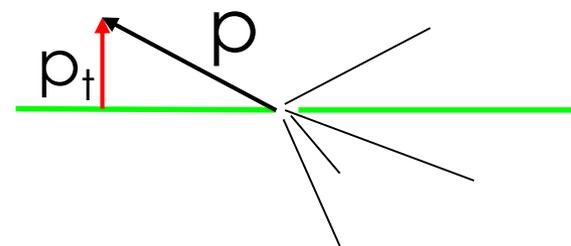


Niveis de Trigger

- Como os dados não estão todos imediatamente disponíveis e a função do trigger é muito complexa, é 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

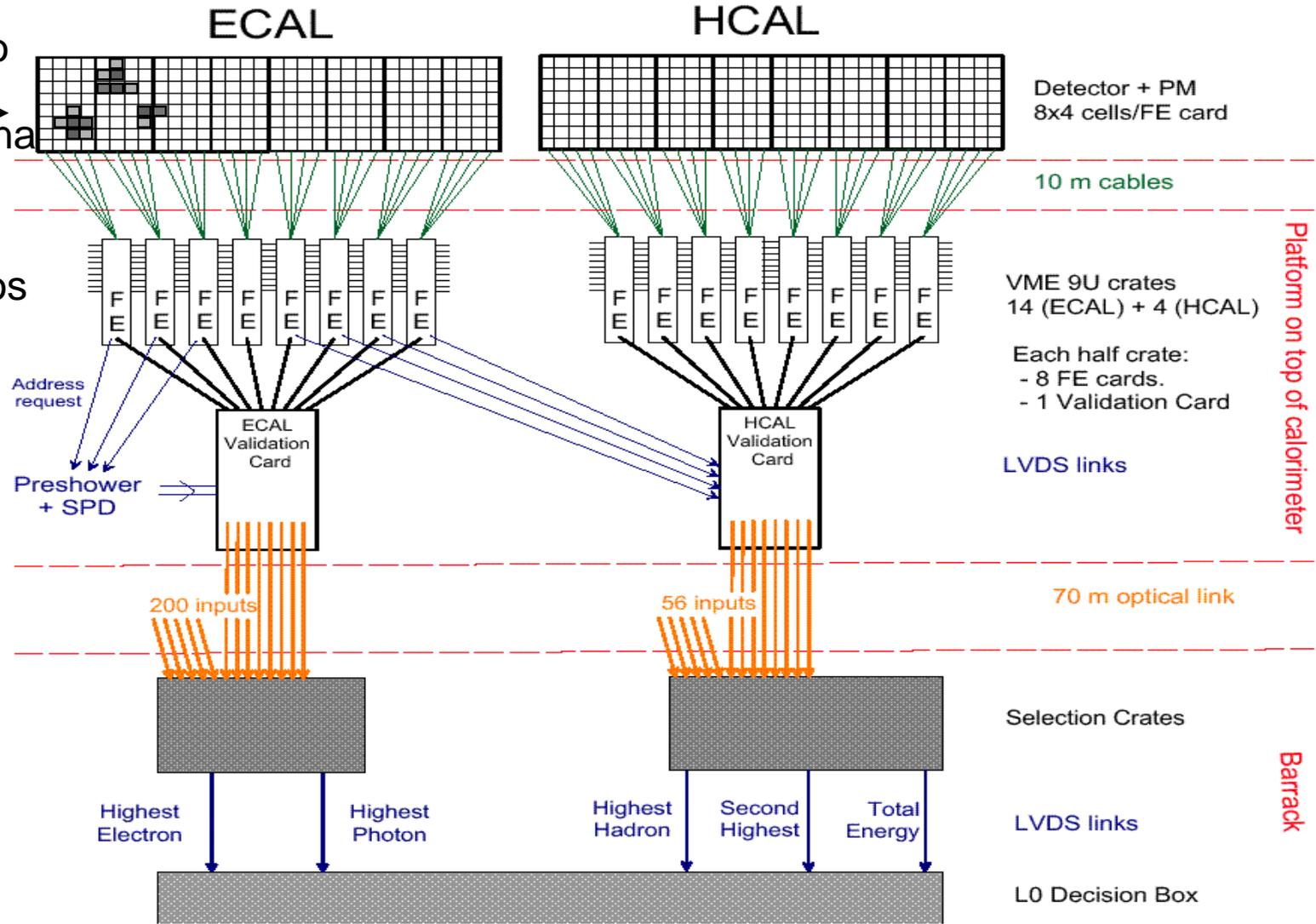
Trigger Hardware

- 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**

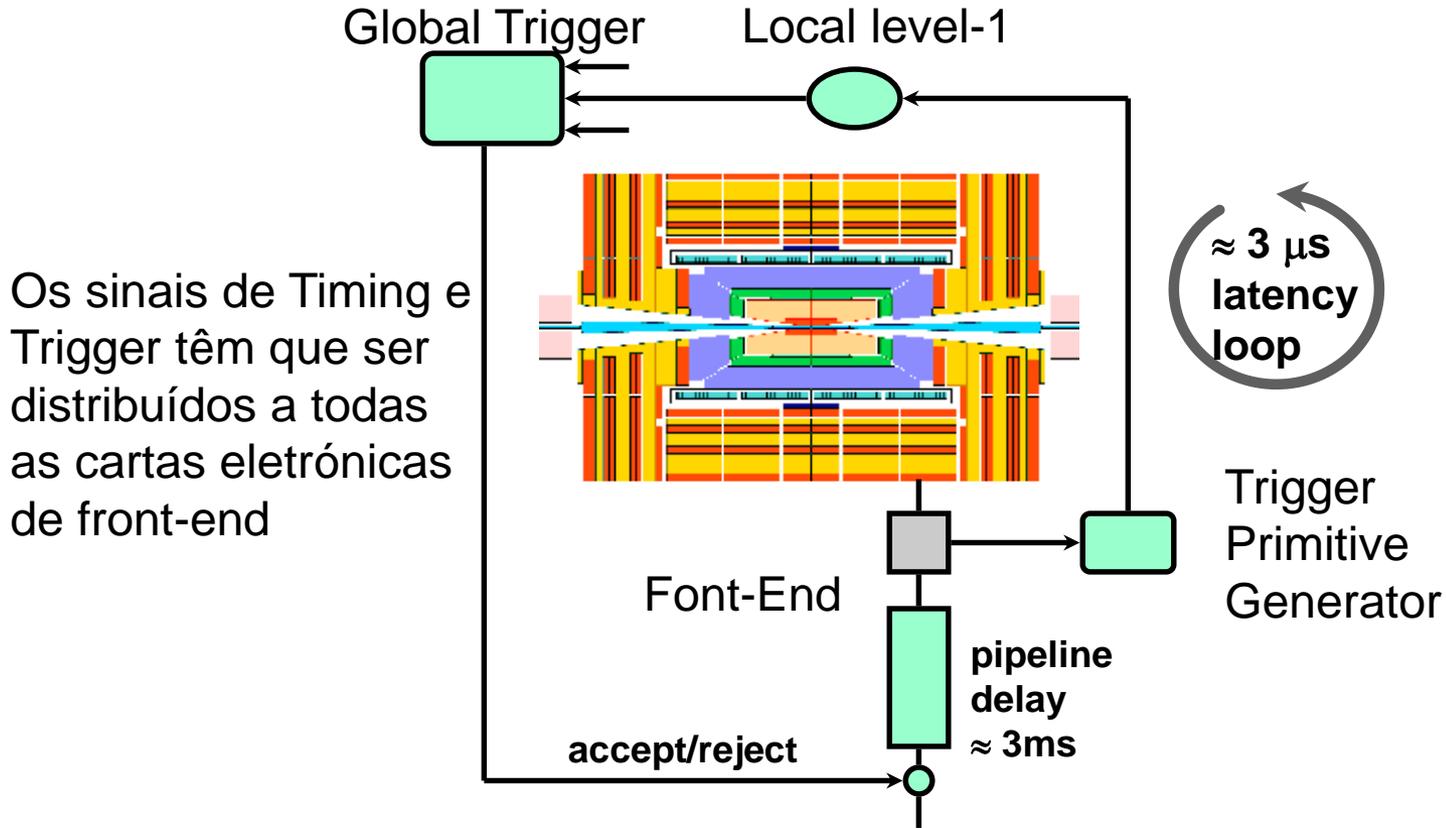


Exemplo: Trigger do Calorimetro LHCb

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

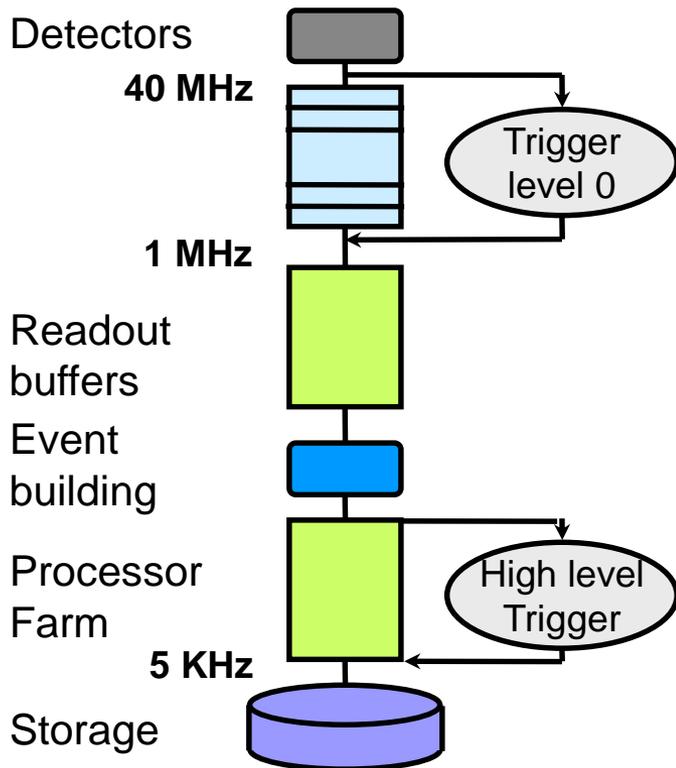


LHC: Transmissão do Trigger



- Sistema digital síncrono a 40 MHz
- A sincronização a saída do pipeline não é trivial ⇒
“Timing calibration”

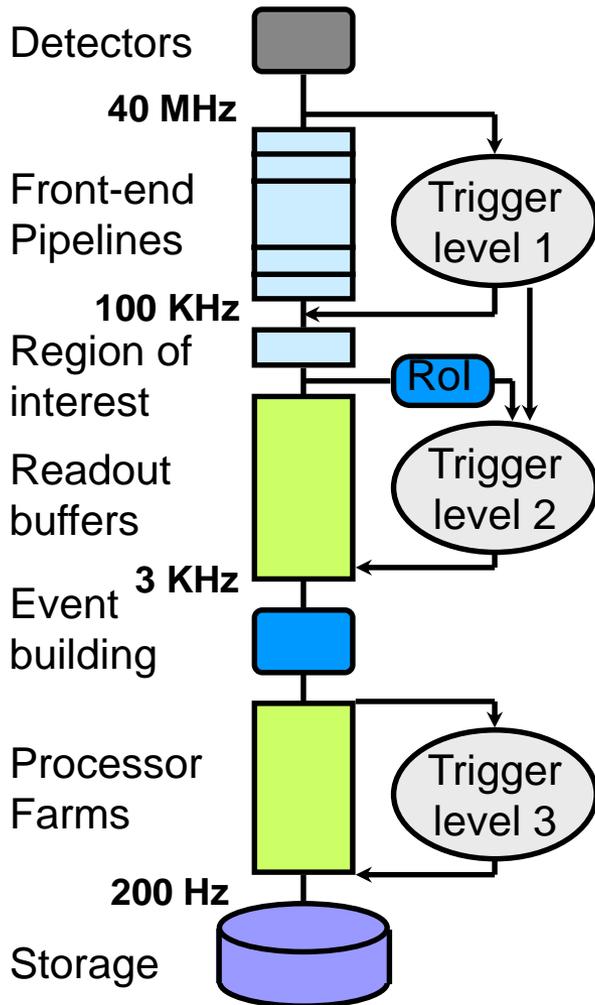
Níveis de Trigger: LHCb



- Level-0 ($4 \mu\text{s}$) (processadores especiais)
 - Alto p_T em eletrões, muões, hadrões
 - Pile-up veto.

- HLT ($\approx \text{ms}$) (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 μ s) (processadores especiais)**
 - Clusters de energia nos calorímetros
 - Trigger de Muões: Matriz de coincidência de tracking.

- **Level-2 (\approx ms) (\sim processadores comerciais)**
 - “Regioes de Interesse” (ROI) relevantes para a decisão do trigger.
 - Agregação da informação seleccionada (ROI) via routers e switches.
 - Algoritmos sofisticados com dados detalhados mas apenas das regiões seleccionadas.

- **Level-3 (\approx s) (processadores comerciais)**
 - Reconstrução do evento usando todos os dados. Seleção de “canais” de física



Aquisição de Dados

Clara Gaspar, September 2019



Data Acquisition System

- **Coleção e agregação dos dados produzidos pelo detector (para decisões positivas do trigger)**
 - **Eletrónica de Front-End:**
 - | Recebem os sinais do detector, de trigger e de timing e produzem informação digital.
 - **Readout Network**
 - | Leitura dos dados dos front-end e formação de eventos completos
 - Event building
- **Processamento & Armazenamento**
 - | Processamento e filtragem
 - | Armazenamento dos dados



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

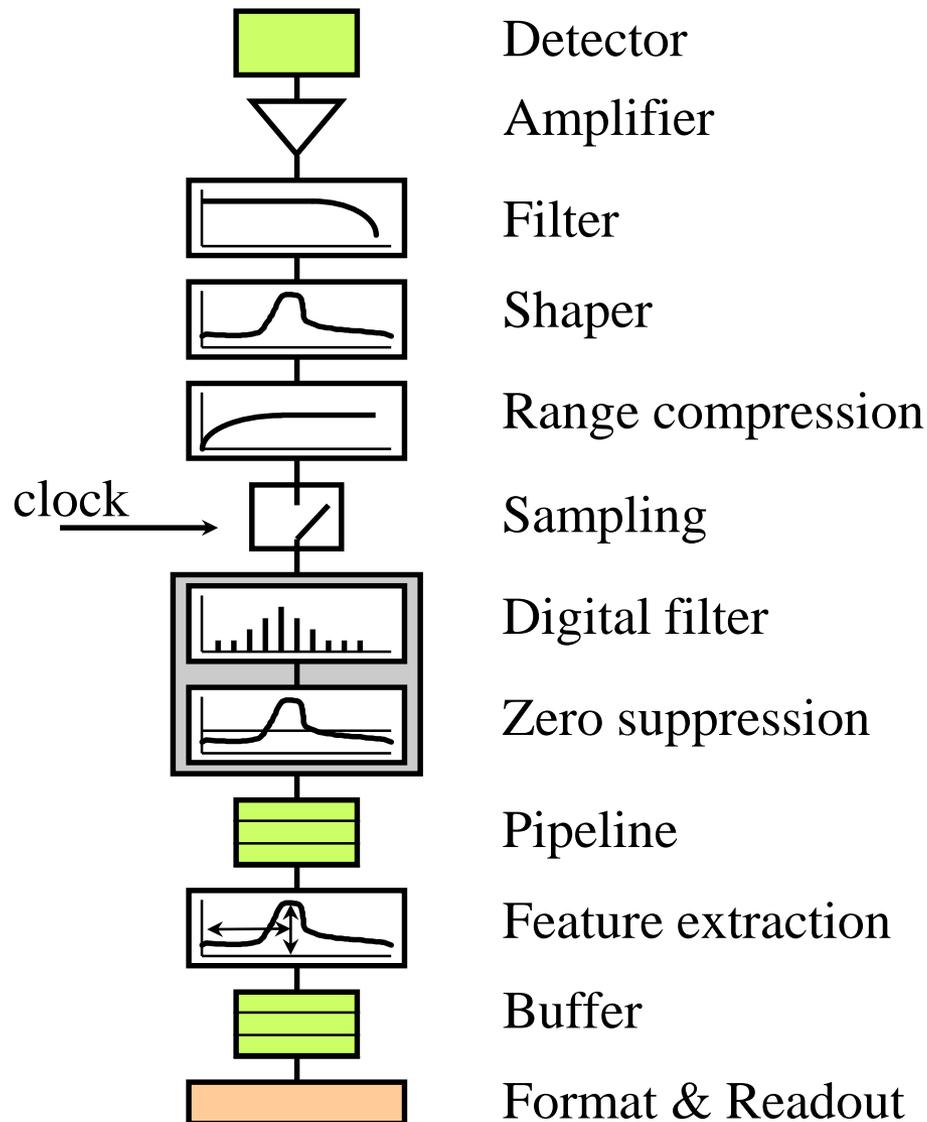
■ Transmissão

- | Cabos longos (50-100 m), elétricos ou fibra óptica

■ Nas “Salas de Contagem”

- | Centenas de crates de FE:
Recepção, Conversão A/D e Buffering

Estrutura de um Front-end





DAQ “Readout”

- Os dados estão agora digitizados, pre-processados e marcados com um identificador (nr. da colisão)
- Mas distribuídos por muitas cartas de “read-out” (“sources”)
- Para a próxima etapa de selecção ou para a escrita em disco temos que coleccionar os vários fragmentos:
“Event Building”

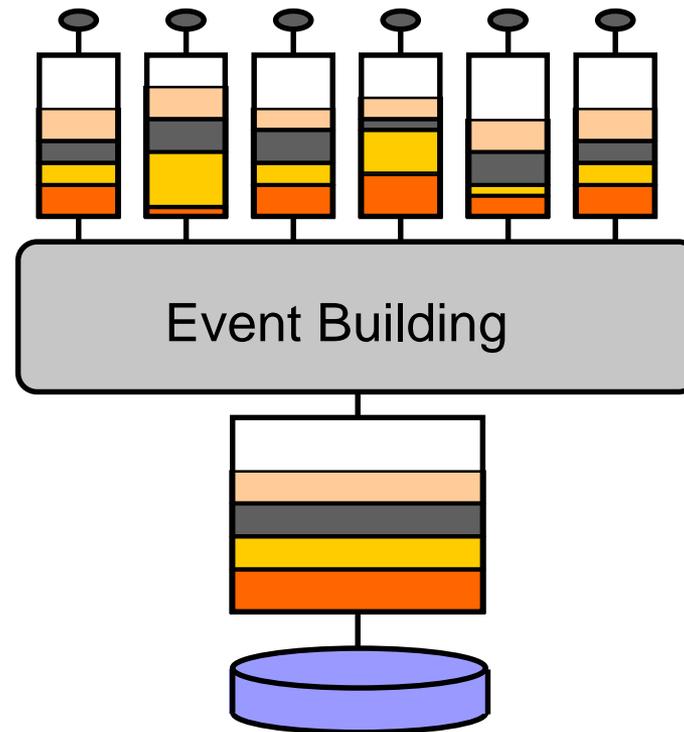
Event Building

Data sources

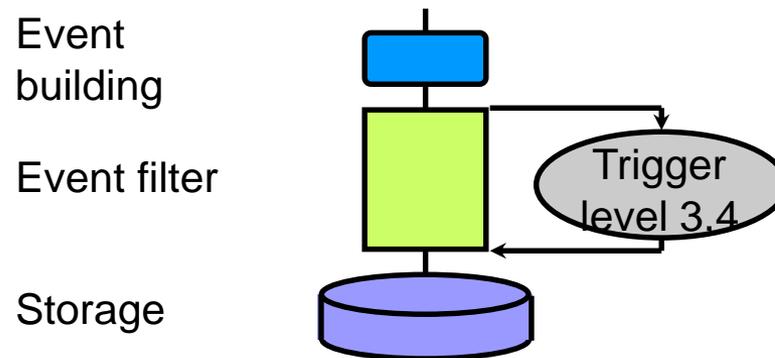
Event Fragments

Full Events

Data storage



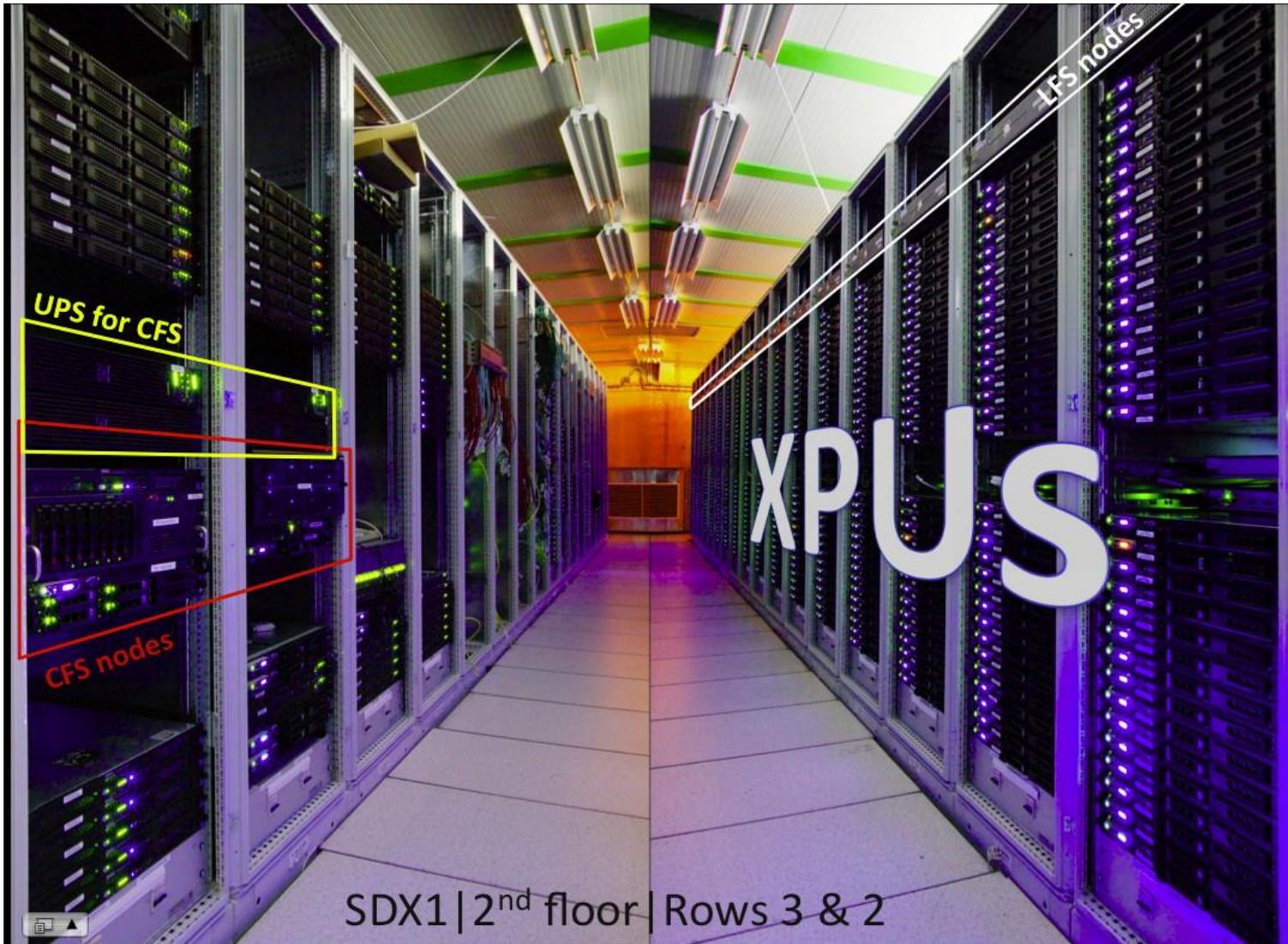
■ Higher level triggers (3, 4, ...)



- As experiências 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 análises de física.
- Usa processadores disponíveis no comércio (PCs comuns) Mas precisa de milhares deles em paralelo.



Farm HLT de ATLAS



Event Building para uma farm

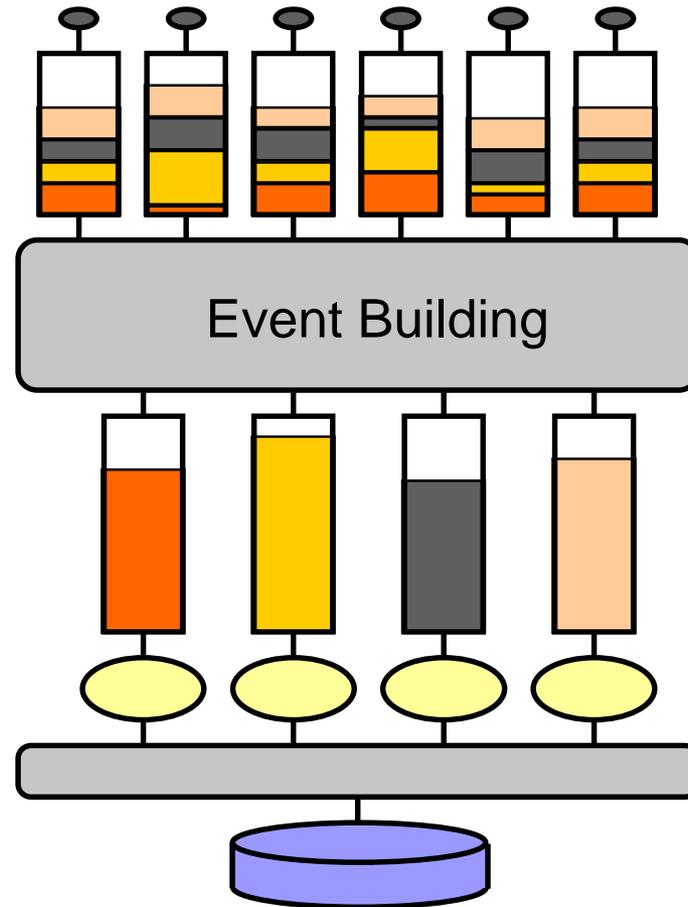
Data sources

Event Fragments

Full Events

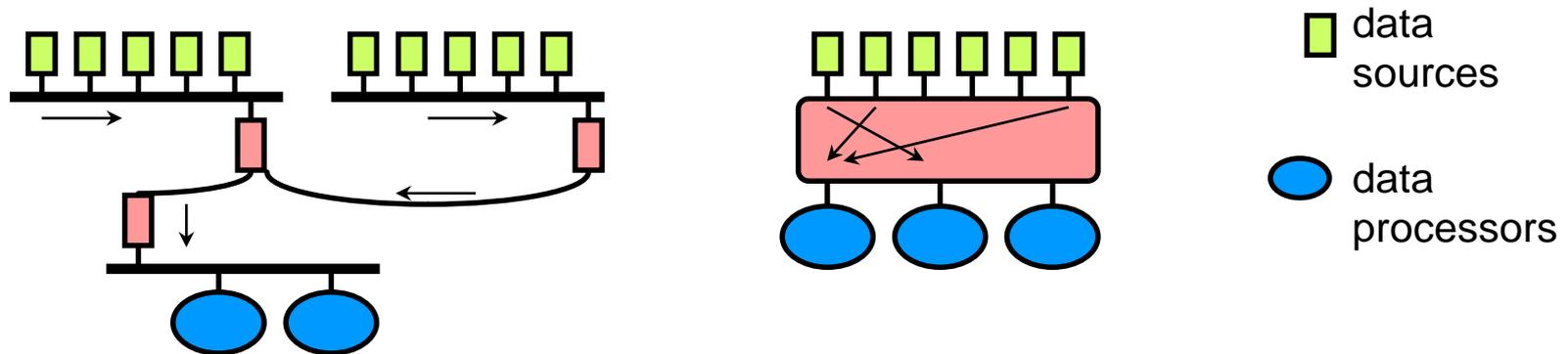
Event filter CPUs

Data storage



Readout Networks

- Podemos construir redes usando “buses” ou “switches”



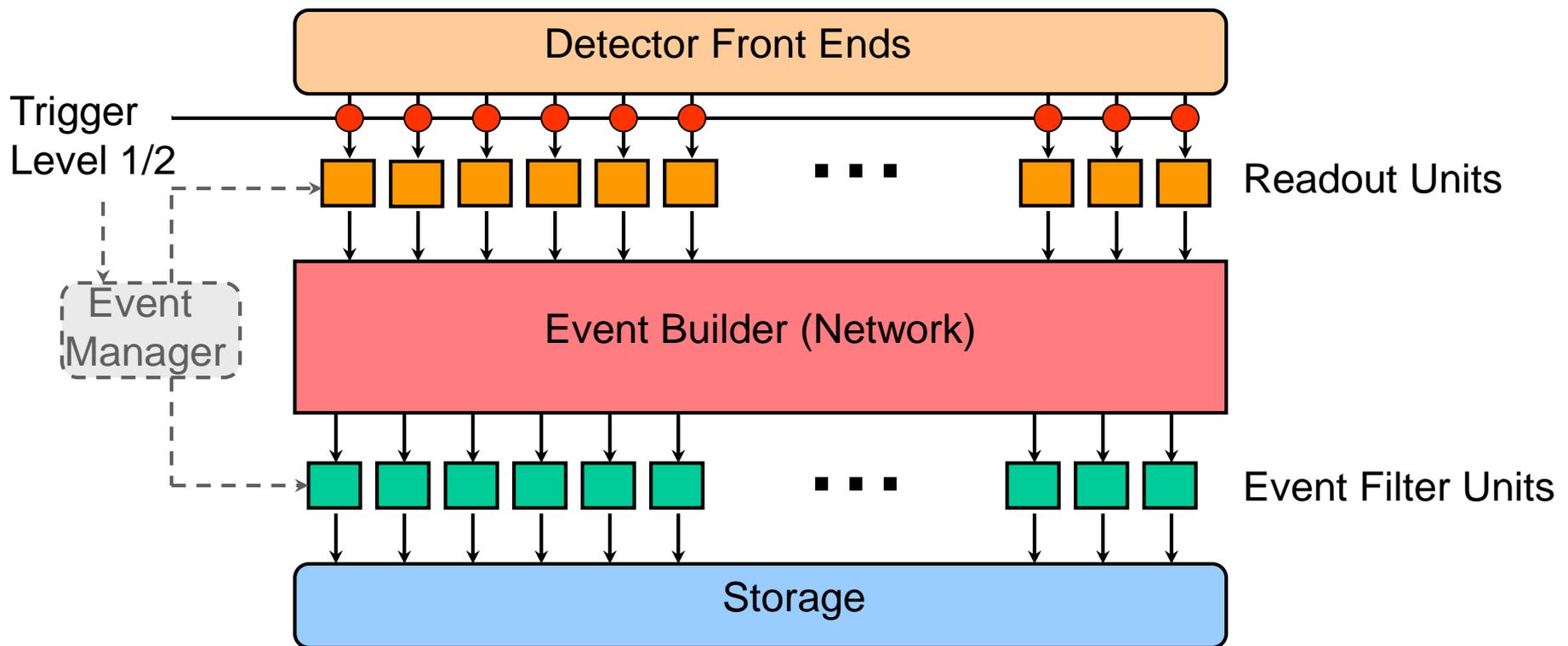
Switches vs. Buses

- A banda passante de um “bus” é partilhada por todos os processadores. Adicionar processadores degrada a “performance” dos outros. **Buses, em geral são pouco “escaláveis”**.
- Usando switches, N transferências simultâneas podem coexistir. Adicionar processadores é “fácil” -> um switch maior. **Switches são “escaláveis”**.



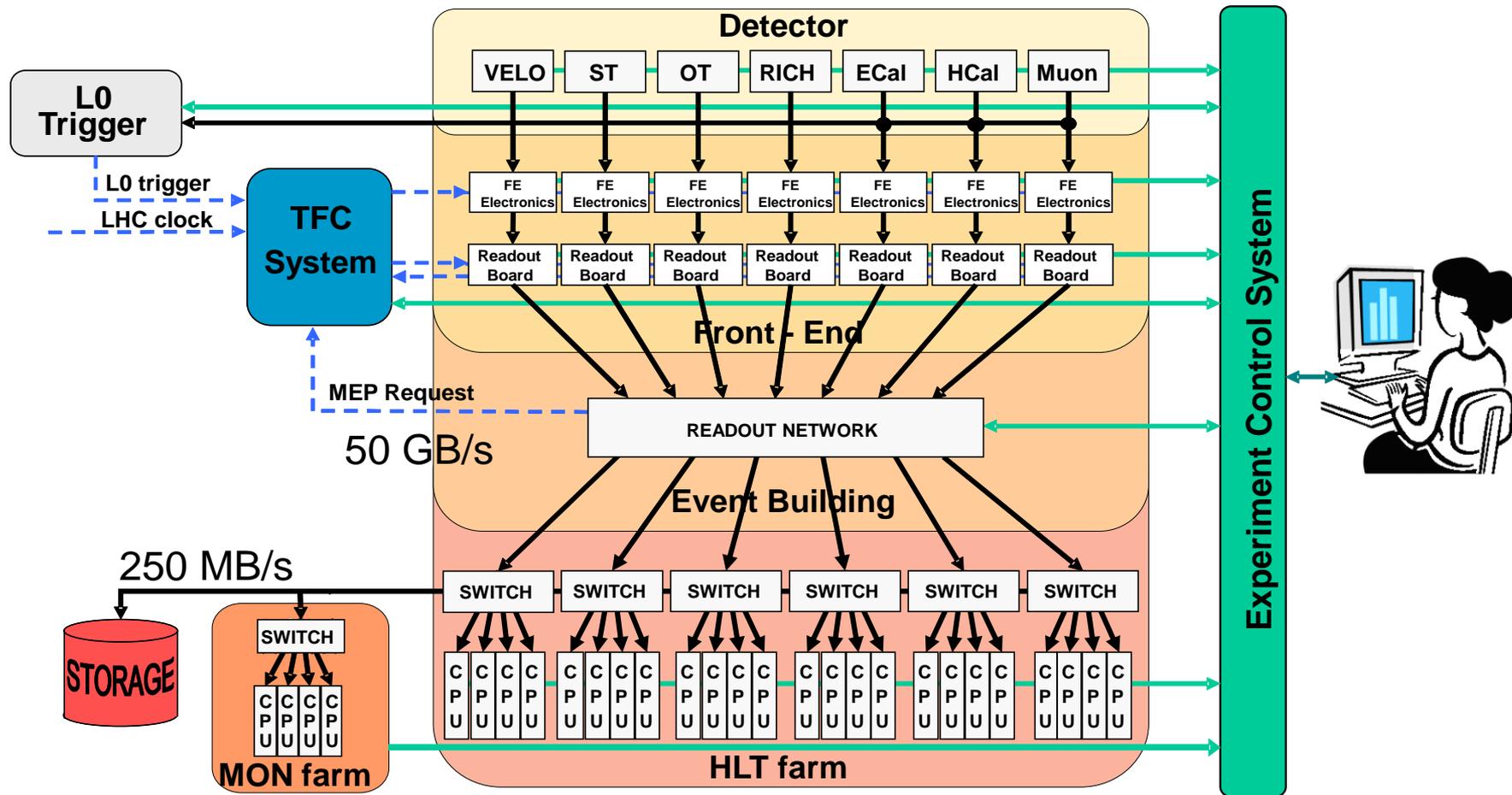
Arquitectura de Readout

■ Numa experiencia LHC





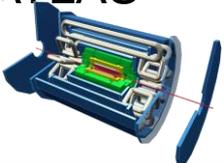
Exemplo: LHCb



- Event data
- - - Timing and Fast Control Signals
- Control and Monitoring data

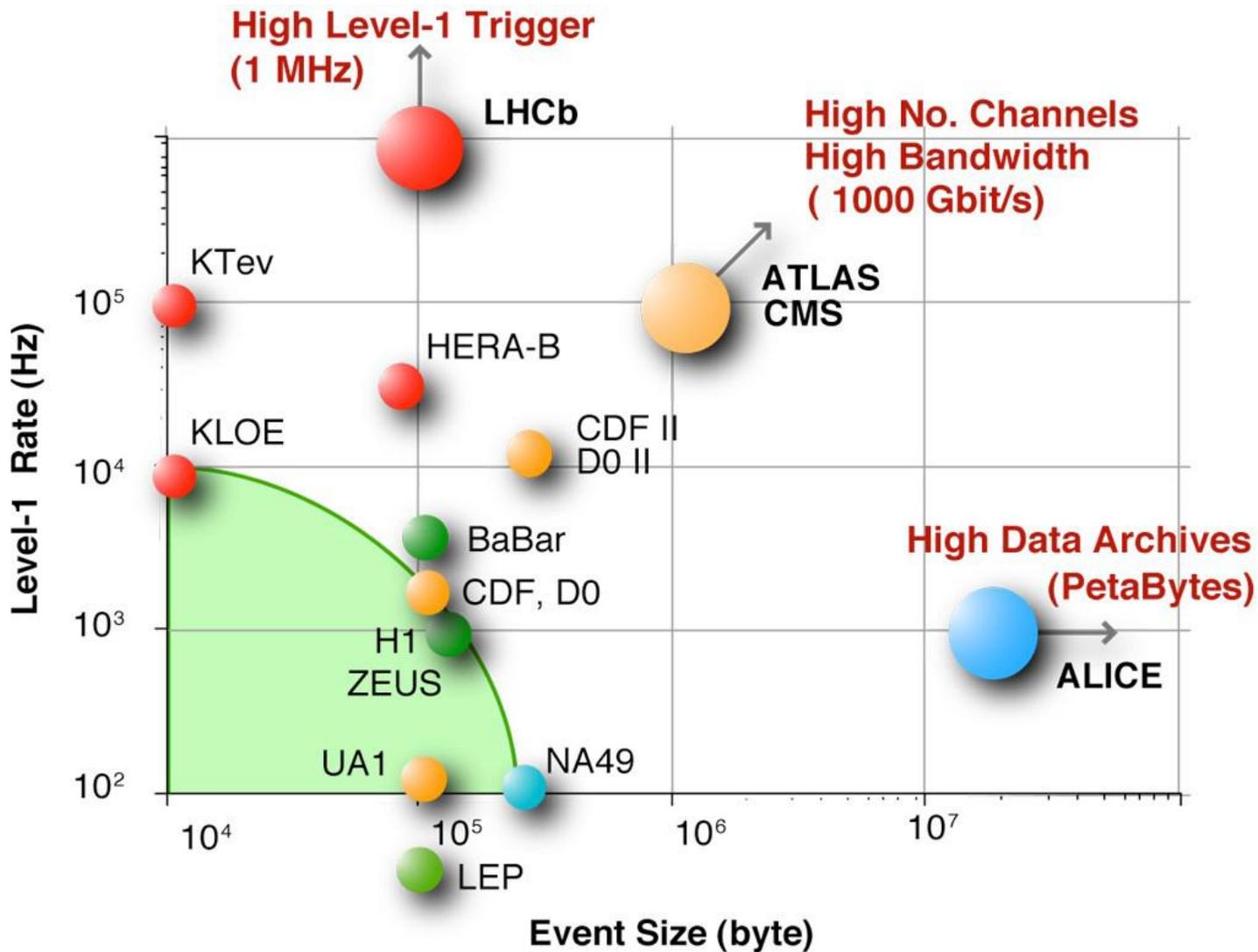
Average event size 50 kB
 Average rate into farm 1 MHz
 Average rate to tape 5 kHz

Volume de dados

	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

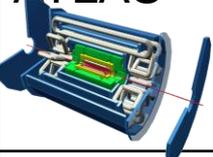
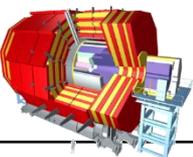


"Phase-space"



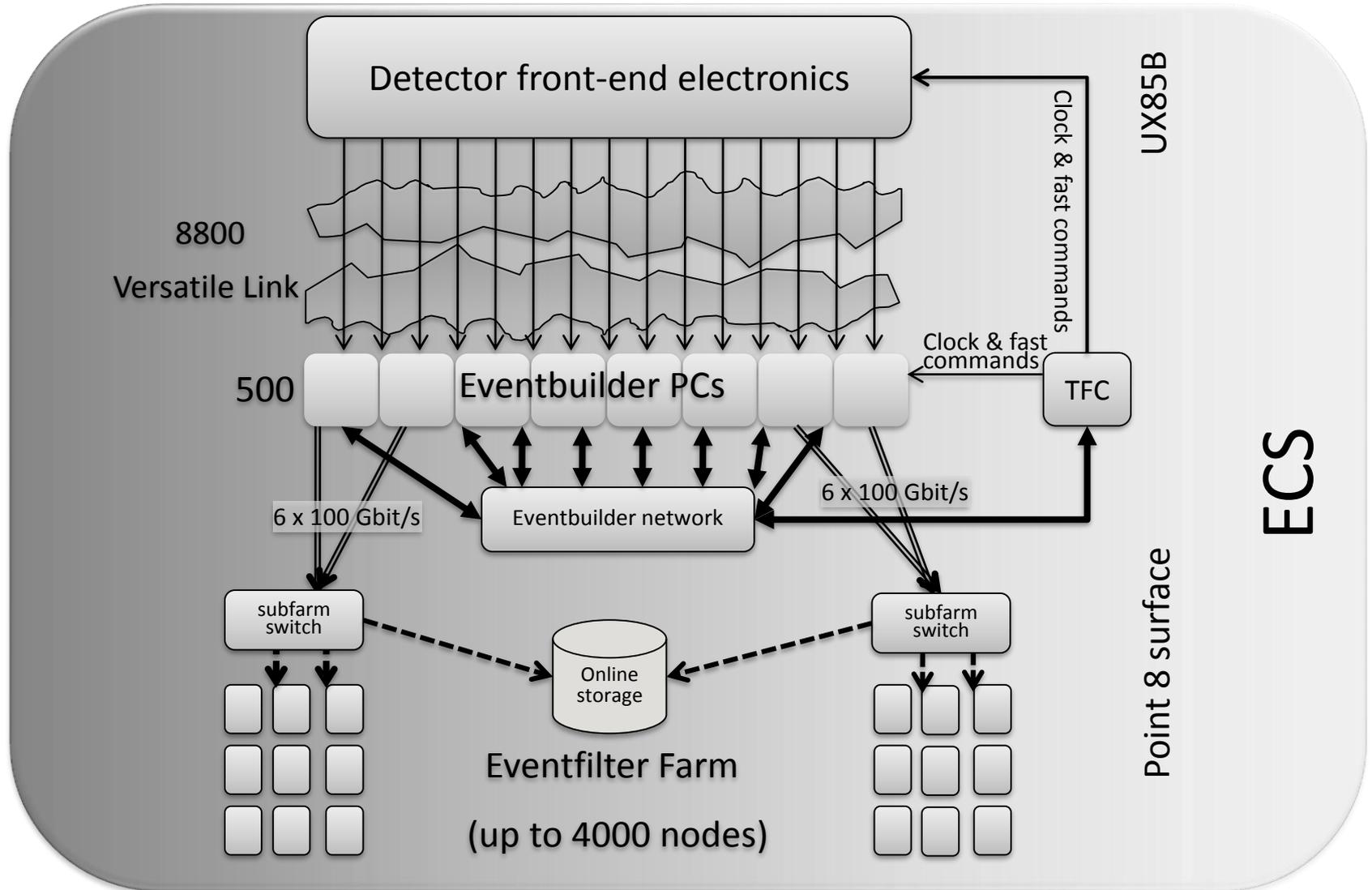


“Upgrades”

	Now			Upgrade (2019-2022)		
	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



LHCb Upgrade DAQ

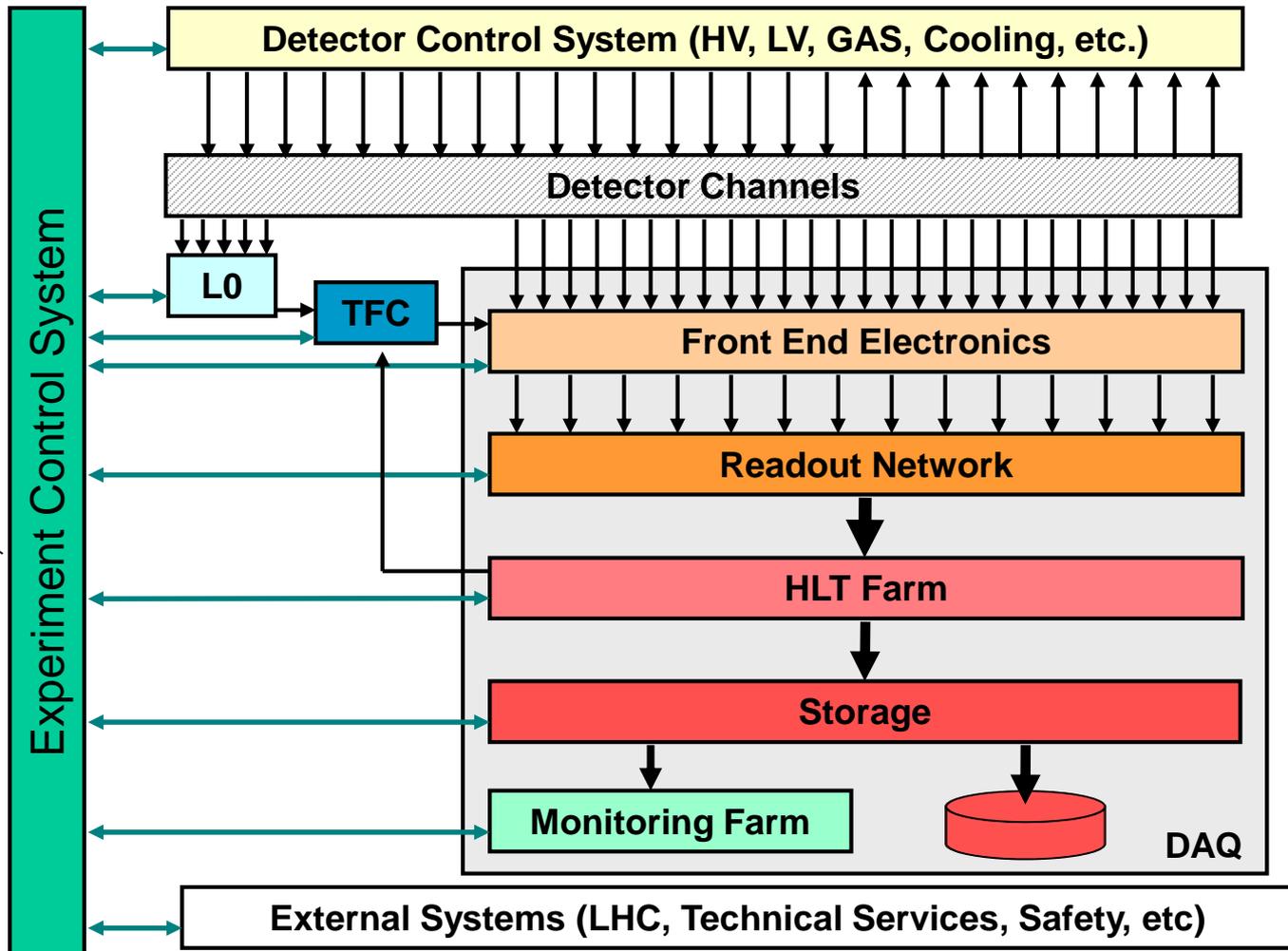




Configuração, Controle e Monitoragem

Clara Gaspar, September 2019

Supervisão



Tarefas

Configuração

- Carregamento de parâmetros (em função do tipo de RUN)
- Activação/desactivação de partes da experiencia

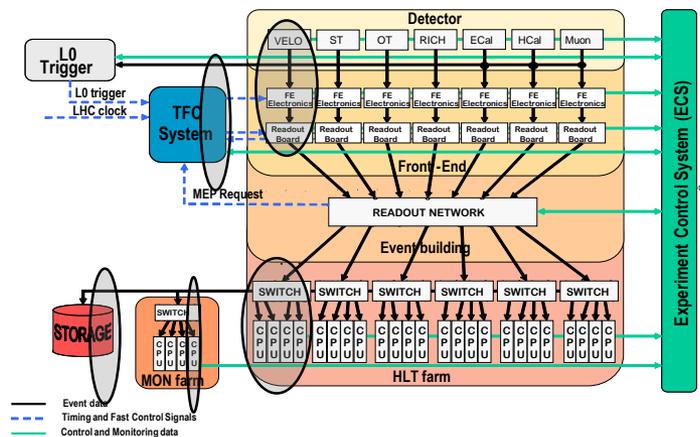
“Partitioning”

- Possibilidade de utilizar partes da experiencia concorrentemente e simultaneamente.

Monitoragem e tratamento de erros

- Detectar e recuperar problemas o mais rapidamente possível

Interface Utilizador



■ Baseado em sistemas comerciais SCADA (Sistemas de Supervisão e aquisição de dados)

■ Geralmente utilizados em:

- | Automação Industrial
- | Centrais elétricas
- | Transportes, etc.

■ Fornecem:

- | Bases de dados e ferramentas de configuração
- | Arquivamento de dados incluindo ferramentas de visualização de dados históricos.
- | Definição e visualização de alarmes
- | Ferramentas de design de interfaces utilizador





Operação & Automatização

- **As Experiencias funcionam 24/24 7/7**
- **2 operadores (non-experts)**
- **Automatização:**
 - **Evita erros humanos e efectua mais rapidamente os procedimentos repetitivos.**
 - **O que pode ser automatizado:**
 - | Operações standard (Start of fill, End of fill)
 - | Detecção e recuperação de situações problemáticas (conhecidas)
 - **Como:**
 - | Maquinas de Estados
 - | Ferramentas de tipo “Expert system”



Monitoragem

■ De dois tipos:

- Verificar o “comportamento” da experiencia
 - | Tentar automatizar quanto possível
 - | Uma boa Interface Utilizador (homogénea e intuitiva)
- Verificar a qualidade dos dados adquiridos
 - | Produção e análise automática de histogramas (machine learning)
 - | Ferramentas intuitivas de visualização
 - | Event displays (raw data)



LHCb “Run Control”

- Acesso homogêneo a todas as partes da experiencia
- Operações simultâneas (partitioning)
- Automatização (Auto Pilot)

The screenshot displays the LHCb Run Control interface. At the top, the system is labeled 'LHCb' and is in a 'RUNNING' state. The 'Auto Pilot' is set to 'ON'. The date and time are 'Thu 07-Feb-2013 09:52:49' and the user is 'root'.

Sub-System State:

Sub-System	State
DCS	READY
DAI	READY
DAQ	RUNNING
RunInfo	RUNNING
TFC	RUNNING
HLT	RUNNING
Storage	RUNNING
Monitoring	RUNNING
Reconstruction	RUNNING
Calibration	RUNNING
HV	READY

Run Info:

- Run Number: 136863
- Run Start Time: 07-Feb-2013 09:37:45
- Run Duration: 000:15:03
- Nr. Events: 15502054
- Step Nr: 0 To Go: 0
- L0 Rate: 17192.04 Hz
- HLT Rate: 5584.61 Hz
- Dead Time: 0.78 %
- Overflow: 0.00 %

Deferred HLT Info:

- LHCb_Deferred: LHCb_Deferred
- Runs/Files: 0 / 0
- Processing: 0%
- Disk Usage: 29%

Sub-Detectors:

Detector	State
TDET	NOT_READY
VELOA	RUNNING
VELOC	RUNNING
TT	RUNNING
IT	RUNNING
OTA	RUNNING
OTC	RUNNING
RICH1	RUNNING
RICH2	RUNNING
PRS	RUNNING
ECAL	RUNNING
HCAL	RUNNING
MUON A	RUNNING
MUON C	RUNNING
LODU	RUNNING
TCALO	RUNNING
TMUA	RUNNING
TMUC	RUNNING
TPU	RUNNING

Trigger Components:

Component	State
ECAL	RUNNING
HCAL	RUNNING
MUON A	RUNNING
MUON C	RUNNING
LODU	RUNNING
TCALO	RUNNING
TMUA	RUNNING
TMUC	RUNNING
TPU	RUNNING

Messages:

```
07-Feb-2013 09:03:41 - LHCb executing action START_RUN
07-Feb-2013 09:03:42 - LHCb in state ACTIVE
07-Feb-2013 09:03:42 - LHCb in state RUNNING
07-Feb-2013 09:28:21 - *** INFO - VELO Closed, Changing RUN...
07-Feb-2013 09:28:21 - LHCb executing action CHANGE_RUN
```



LHCb “Big Brother”

Controle geral e completo baseado no estado do LHC

LHCb_LHC: TOP

System State
Big Brother: **READY**

Sub-System State

LHC	PHYSICS	✓
BCM	READY	✓
Magnet	READY	✓
LHCb Clock	EXTERNAL	✓

Handshakes

Com	LHC: STANDBY	LHCb: VETO
-----	--------------	------------

Voltagess

System: LHCb_LHC_HV&LV | State: OK | Requested: PHYSICS | Settings: PHYSICS

Sub-Detector	State	Req. HV	%Ok	HV State (A/C)	Settings
VELO_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	READY
TT_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
IT_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
OT_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	READY
RICH1_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
RICH2_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
PRS_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
ECAL_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
HCAL_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
MUON_LHC_HV	OK	READY	99.94	READY	READY

Sub-Detector	State	Requested LV	LV State (A/C)	Settings
VELO_LHC_LV	OK	READY	READY	READY
TT_LHC_LV	OK	READY	READY	
IT_LHC_LV	OK	READY	READY	
RICH1_LHC_LV	OK	READY	READY	
RICH2_LHC_LV	OK	READY	READY	

Messages

```

06-Feb-2013 06:08:50 - *** INFO - Confirm Prepare PHYSICS
06-Feb-2013 06:10:31 - *** INFO - Action Confirmed
06-Feb-2013 06:10:31 - LHCb LHC HV executing action GOTO PHYSICS
  
```

Big Brother | Settings | Wed 06-Feb-2013 09:47:22 | root

LHC

Mode: PROTON-NUCLEUS PI | Fill Number: 3533 | Energy: 4000 GeV

Magnet

Set Current: 5850 A | Measured Current: 5850.0 A | Polarity: DOWN

DB Interfaces

Run DB Server: ● Cond DB Server: ● PVSS Archive: ●

VELO Closing Manager

Motion: ALLOWED | State: CLOSED | DAQ HV BCMBPM VTX: ●●●●●

Beam Position: X 0.69 mm, Y 0.19 mm | Motion System Position: XA 0.69 mm, XC 0.69 mm, Y 0.21 mm

Status: v8.5

```

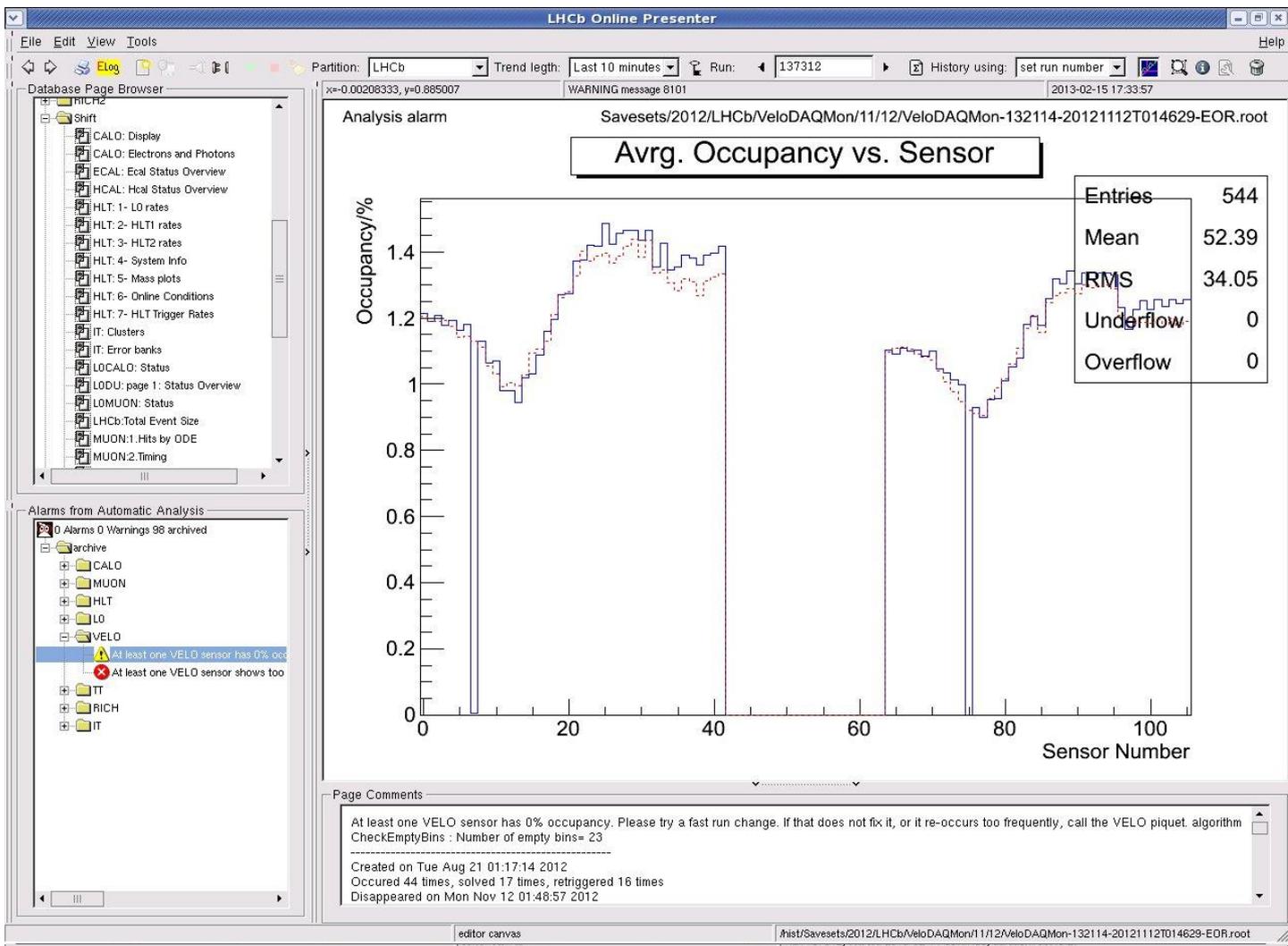
06-Feb-2013 06:19:09 - Now waiting for 2nd update of the BeamPosition...
06-Feb-2013 06:19:10 - XVA=0.169, XVC=0.165, YVA=0.037, YVC=-0.076
06-Feb-2013 06:19:10 - Got good update(s), going to next step.
06-Feb-2013 06:19:10 - End of automatic closing procedure
06-Feb-2013 06:19:10 - Current VTX values frozen.
06-Feb-2013 06:19:10 - Using limits for step: 0
  
```

Safety

TT_Safety	READY
IT_Safety	READY
OT_Safety	DEAD
RICH_Safety	READY
MUON_Safety	READY

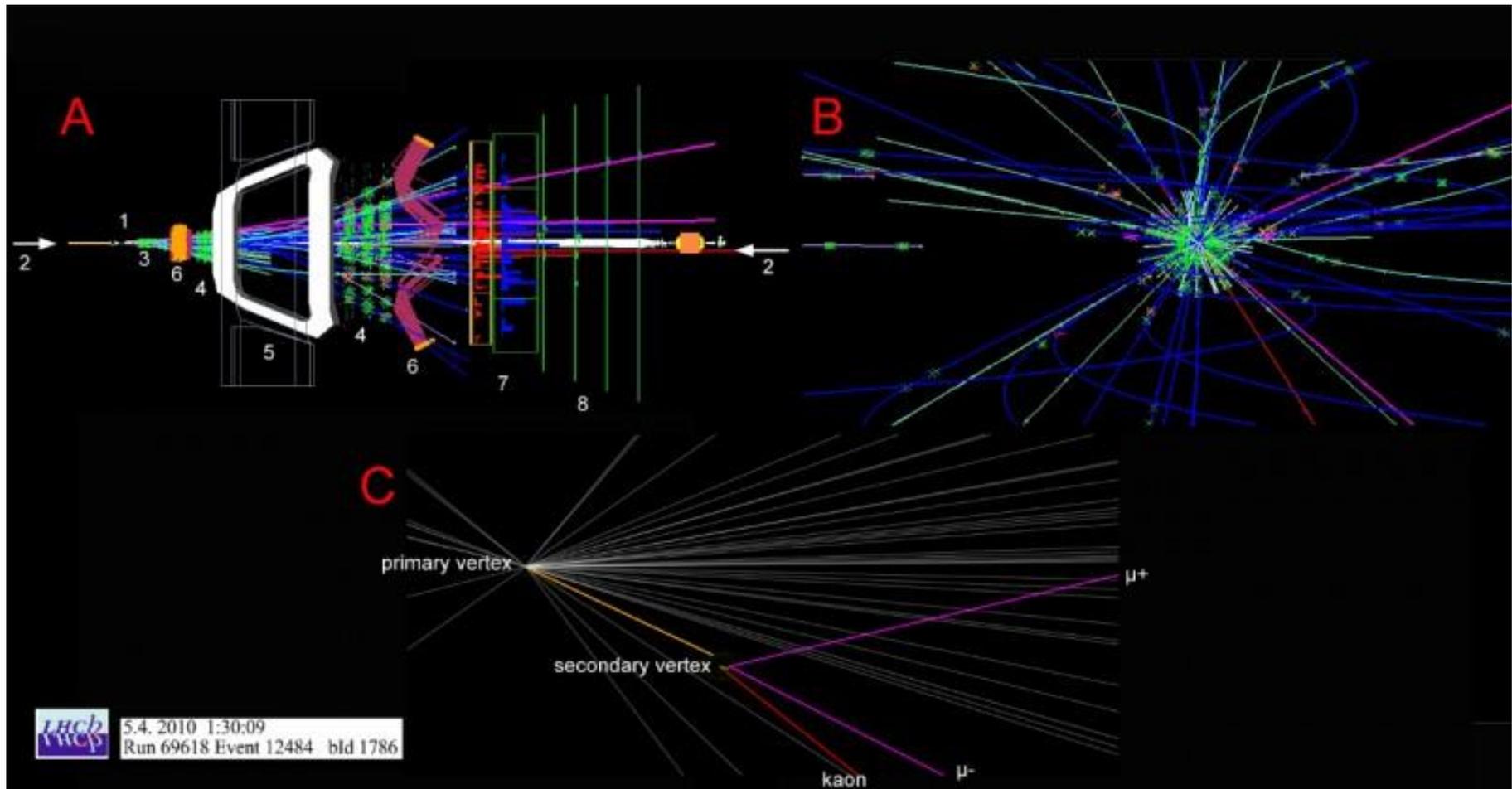
Close

LHCb “Histogram Presenter”



- Verificar a qualidade dos dados
- Comparar com referencia
- Analise automatica

LHCb Online Event Display





Conclusões

- Os sistemas de Trigger e de Aquisição de dados são cada vez mais complexos.
- Felizmente as exigências da indústria (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 comércio (os front-ends terão de continuar a ser personalizados)
- É essencial acompanharmos os progressos feitos pela indústria.