



# Física de Partículas Elementares

## Experiência CMS no Large Hadron Collider

Joao Varela



# CERN - Laboratório Europeu de Física de Partículas

## The Twenty Member States of CERN



Member States (Dates of Accession)

AUSTRIA (1959)	DENMARK (1953)	GREECE (1953)	NORWAY (1953)	SPAIN (1/1961-12/1968-1/1983)
BELGIUM (1953)	FINLAND (1991)	HUNGARY (1992)	POLAND (1991)	SWEDEN (1953)
BULGARIA (1999)	FRANCE (1953)	ITALY (1953)	PORTUGAL (1986)	SWITZERLAND (1953)
CZECH FR (1993)	GERMANY (1953)	NETHERLANDS (1953)	SLOVAK FR (1993)	UNITED KINGDOM (1953)

CERN AC. DIR. MM - ESTAB. 1979 - 15.6.99

## Portugal

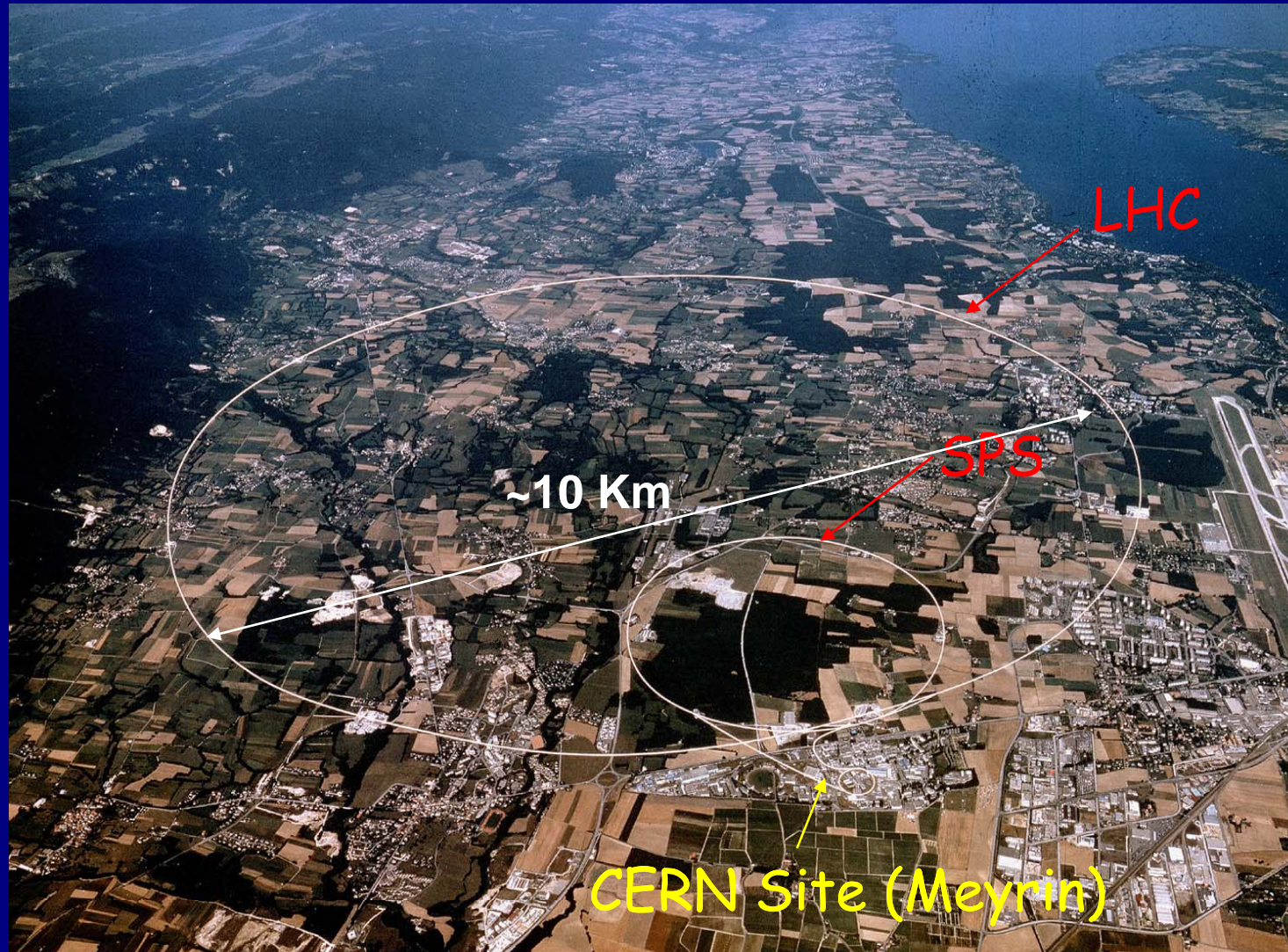
- Estado membro desde 1986
- LIP – Lab Inst e Fis Exp Part
- ~ 100 utilizadores do CERN

- Genebra, Suíça
- 2500 físicos, engenheiros e técnicos
- 6500 utilizadores de universidades e institutos de investigação





# Vista aérea do CERN





**Centro de excelência em tecnologia...**

**...aplicada à exploração da fronteira  
do conhecimento em Física**





# Large Hadron Collider

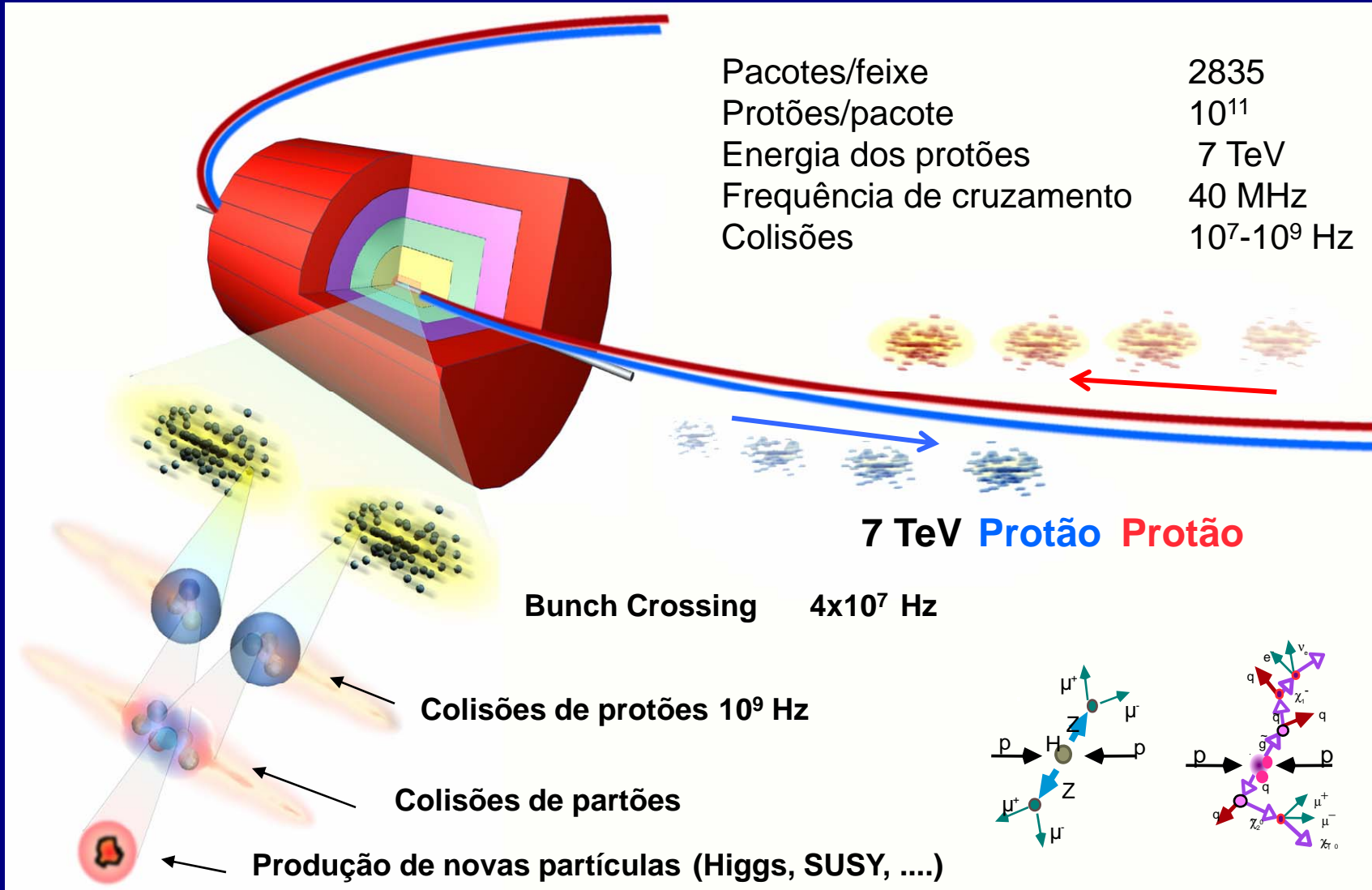
- A maior infraestrutura científica mundial
- O acelerador com maior energia
- Custo material: ~ 2000 milhões de euros
- Em projecto e construção desde 1995

**Início de operação em 2008**  
**Exploração > 10 anos**



# Colisões no LHC

Pacotes/feixe	2835
Protões/pacote	$10^{11}$
Energia dos protões	7 TeV
Frequência de cruzamento	40 MHz
Colisões	$10^7$ - $10^9$ Hz





# LHC, Magnetos supercondutores

Os prótons no LHC mantêm-se numa trajectória circular por acção de fortes campos magnéticos

Os campos magnéticos são criados por magnetos supercondutores







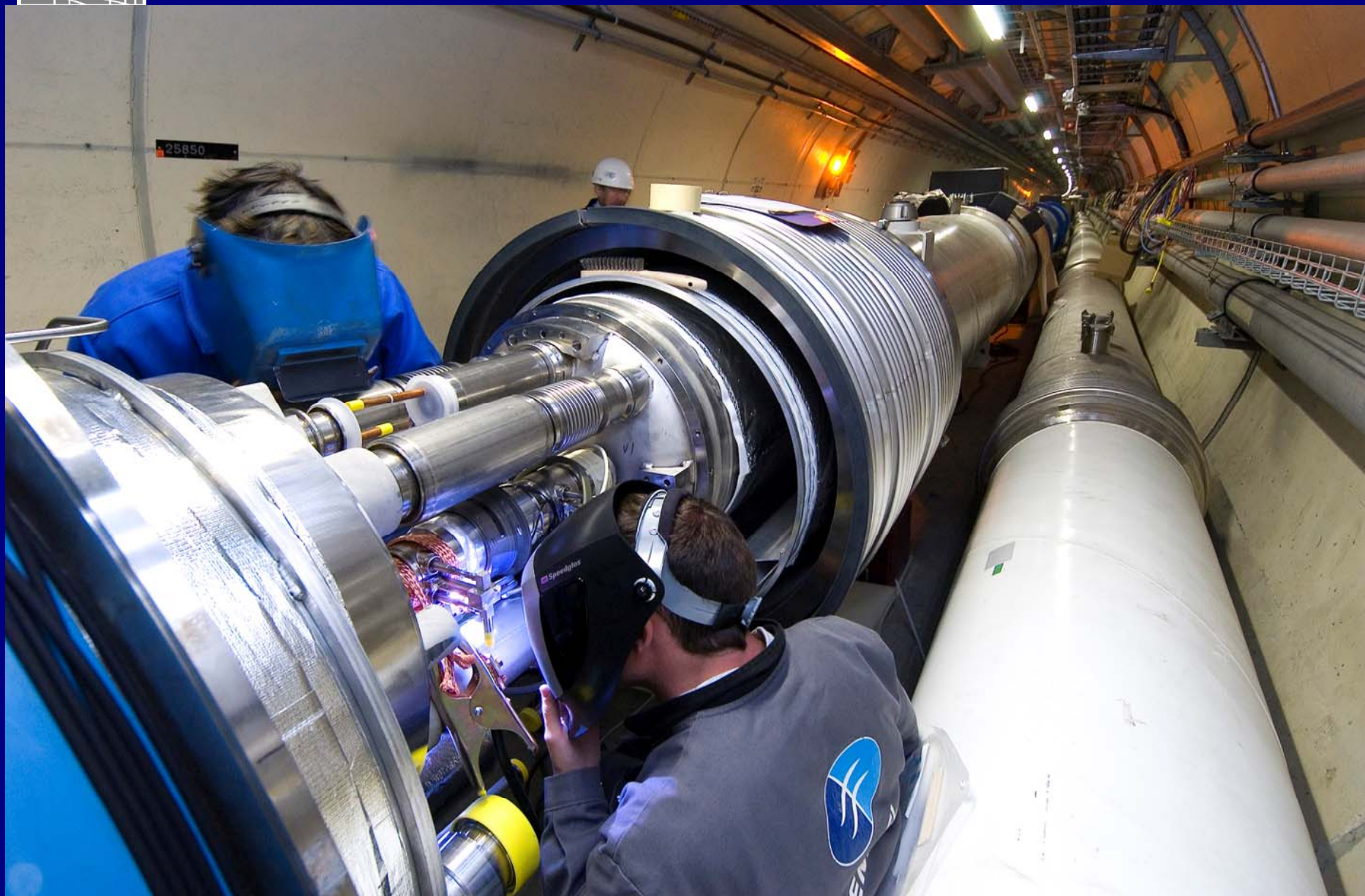
# Dipolo Magnético







# Instalação no Túnel







# LHC Dipolos no Túnel





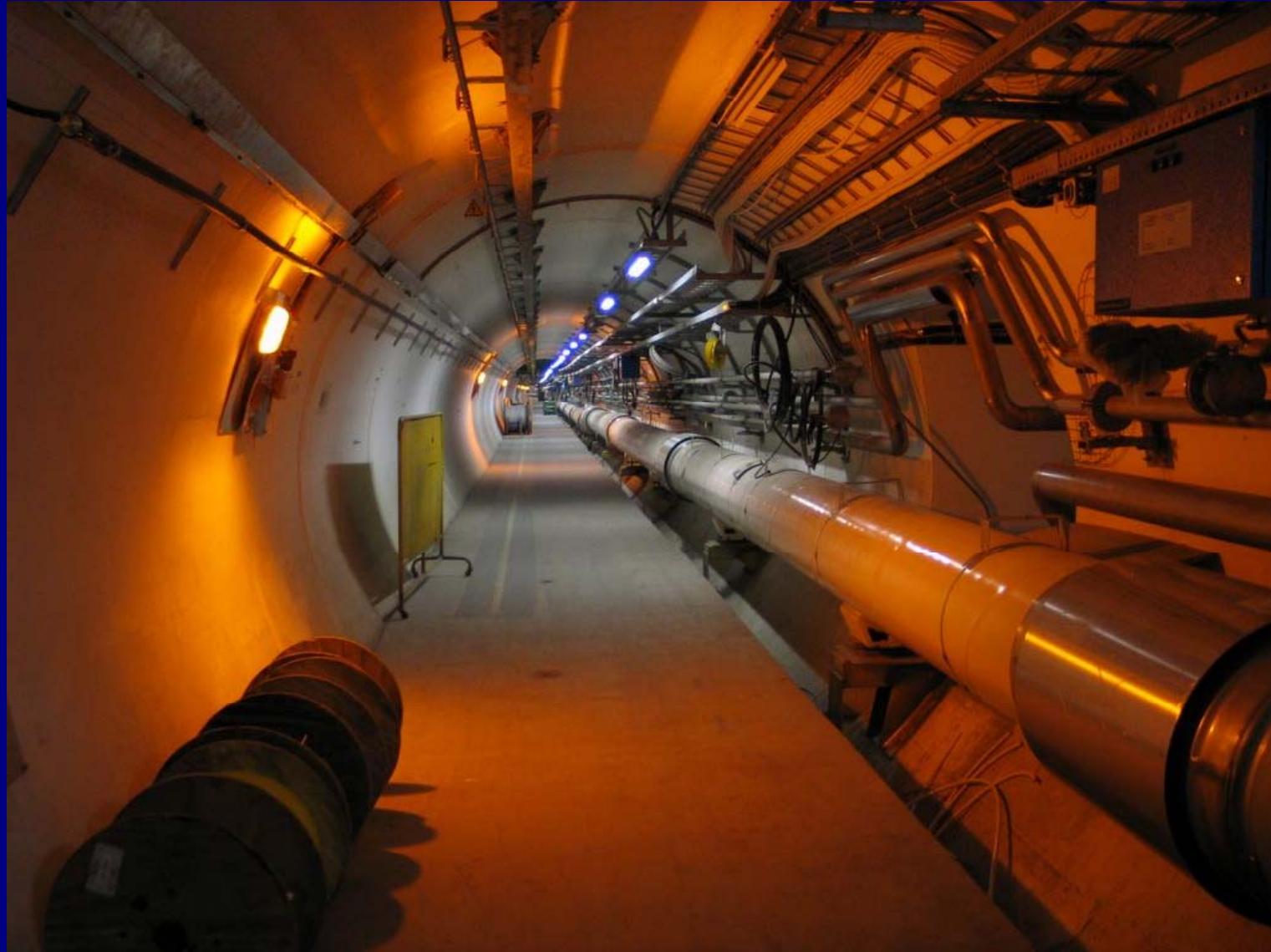


# Cavidade RF de Aceleração





# Linha Criogénica

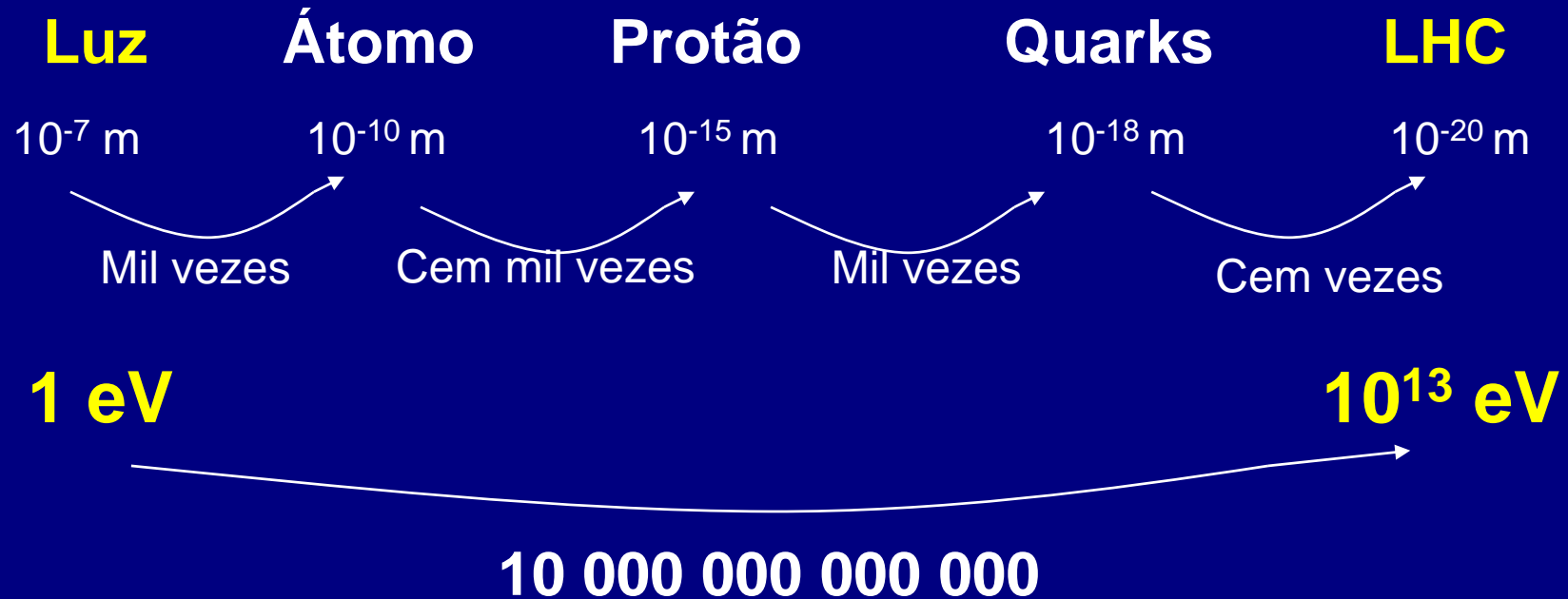




# LHC, um potente microscópio

DeBroglie (1920):  $\lambda = 1 / p$

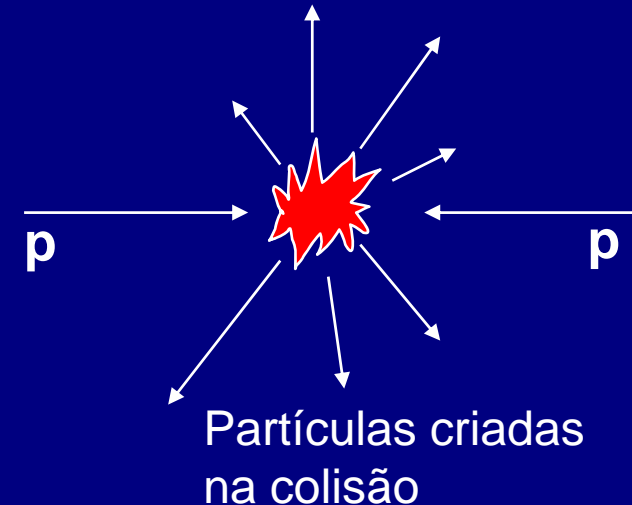
*Quanto maior é o momento (energia)  
menor é o comprimento da onda*





A energia cinética das colisões é transformada em partículas.

Novas partículas com massas  $\sim 1\text{TeV} = 10^{12}\text{ eV}$  podem ser criadas no LHC



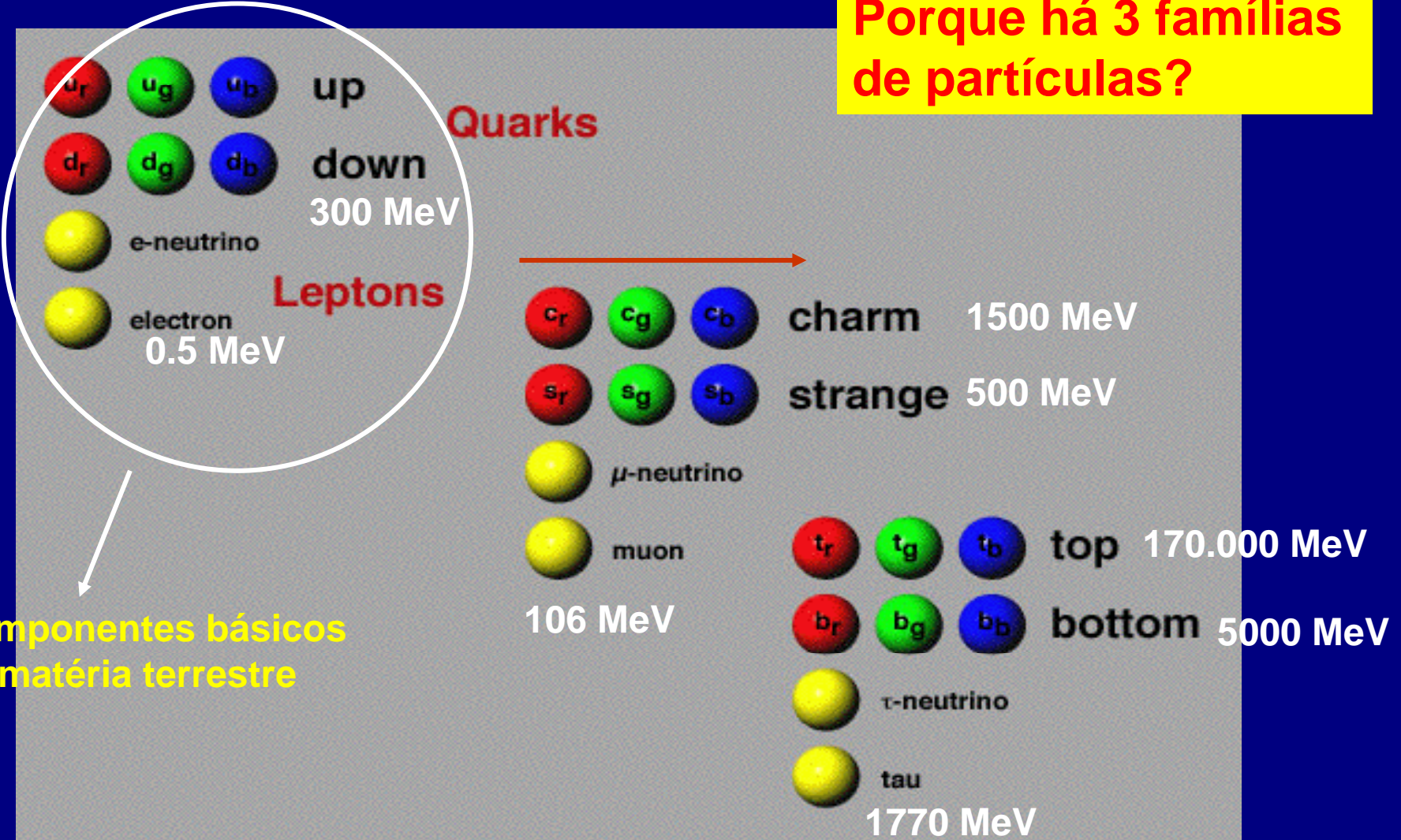
**Pesquisa de colisões raras:**

**nova Física em  $1/10^{13}$  colisões**



# Standard Model: Constituintes

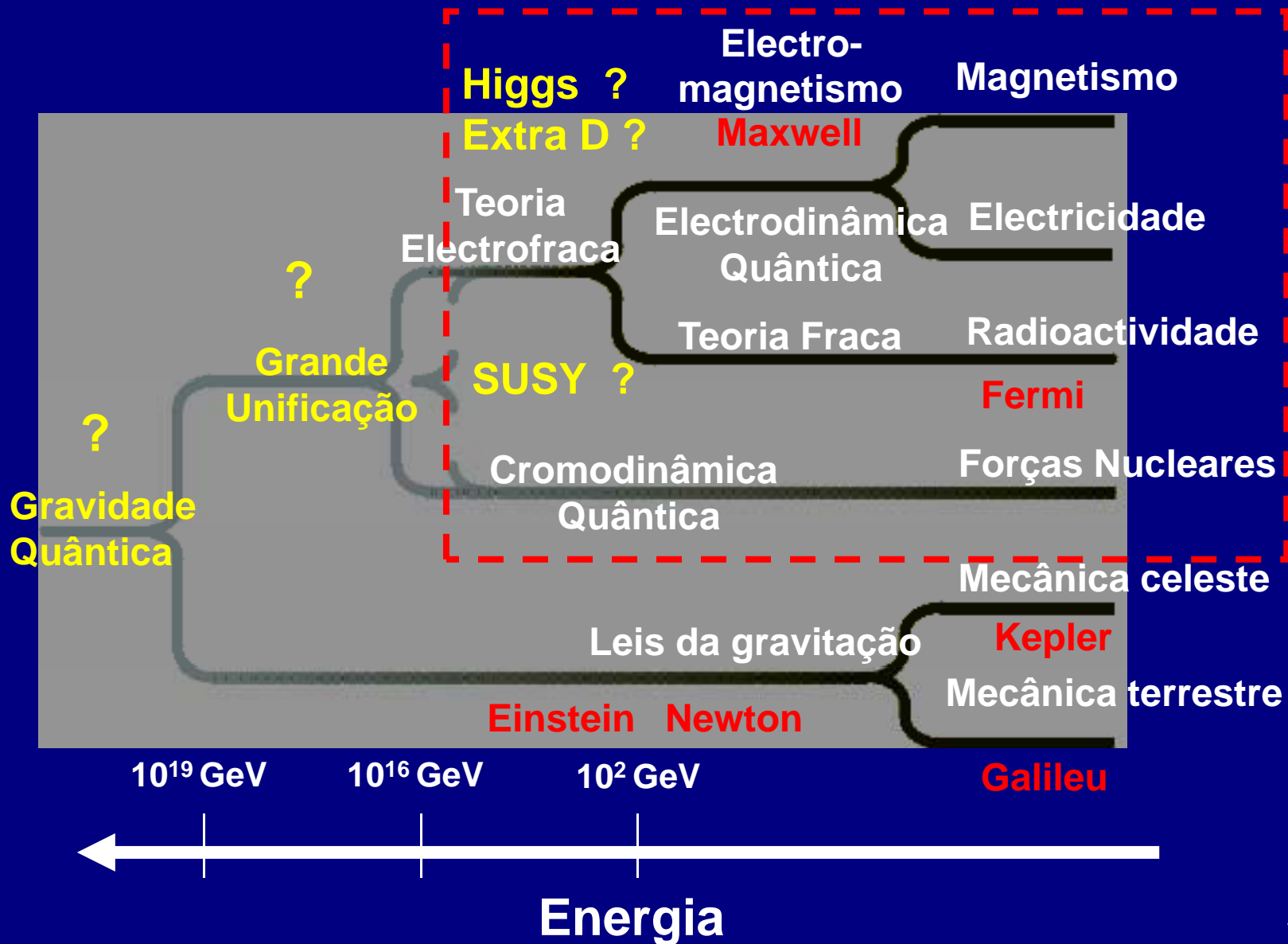
Porque há 3 famílias de partículas?



Componentes básicos da matéria terrestre



# Standard Model: Interações







# O Higgs e a origem da massa

**Na teoria mais simples as partículas não têm massa!!**

**Quebra da simetria electro-fraca:**

- fóton não tem massa
- W, Z tem massa  $\sim 100$  GeV

**Massa = interacção das partículas com o campo de Higgs**

?



# Questões em aberto

- Qual é a origem da massa das partículas?
- Quantas dimensões tem o espaço-tempo?
- As partículas são elementares ou têm estrutura ?
- Porque razão a carga do electrão é igual e oposta à do protão?
- Porque há três famílias de quarks e leptões ?
- Porque há mais matéria que anti-matéria no Universo ?
- Serão os protões instáveis ?
- Qual é a natureza da matéria escura e da energia escura no Universo ?
- Há novos estados da matéria a temperaturas e densidades extremas?
- Porque é a massa dos neutrinos tão pequena ?
- Pode a gravidade ser incluída numa teoria com as outras 3 interacções ?

**Esperamos que o LHC traga algumas respostas!**



# CMS Compact Muon Solenoid

**Solenoid Supracondutor: 4 Tesla**

**Excelente detecção de muões:  
múltiplas camadas de detecção**

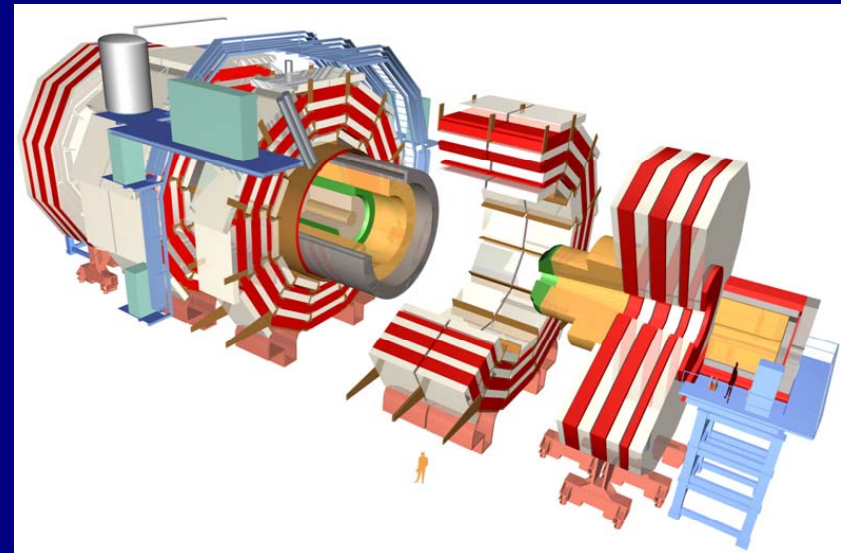
**Calorímetro de cristais:  
a melhor medida possível de fótons e  
electrões**

**Detector de traços carregados de Si:  
a tecnologia mais fiável**

**Detector compacto e hermético:  
fundamental na identificação de  
neutrinos**

**Custo material ~ 400 milhões euros**

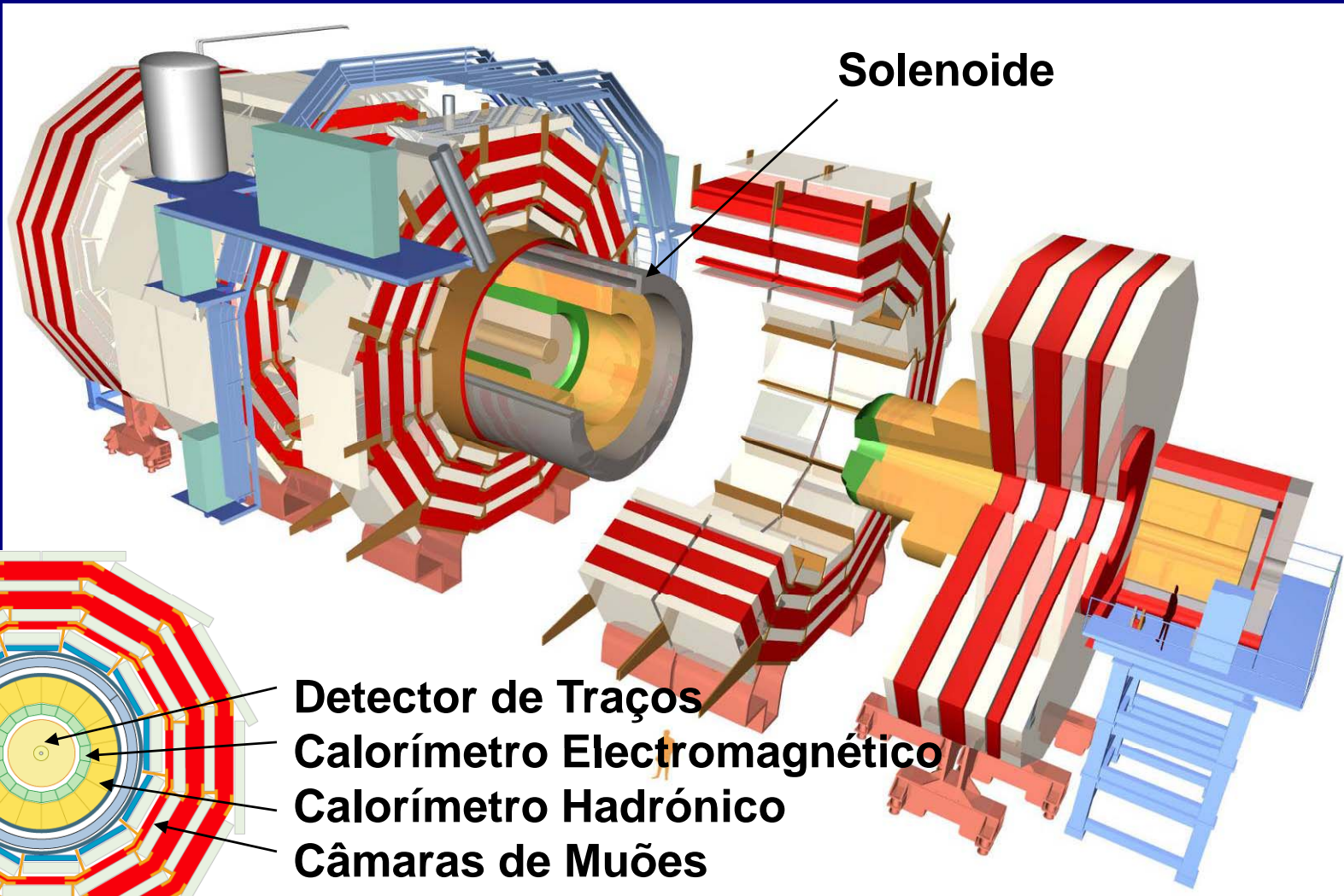
**36 Nações  
160 Institutos  
2000 Colaboradores**



Peso Total	12500 tonnes
Diametro	15m
Comprimento	21.6m
Campo magnético	4 Tesla

**Em projecto desde 1992**

# CMS Compact Muon Solenoid



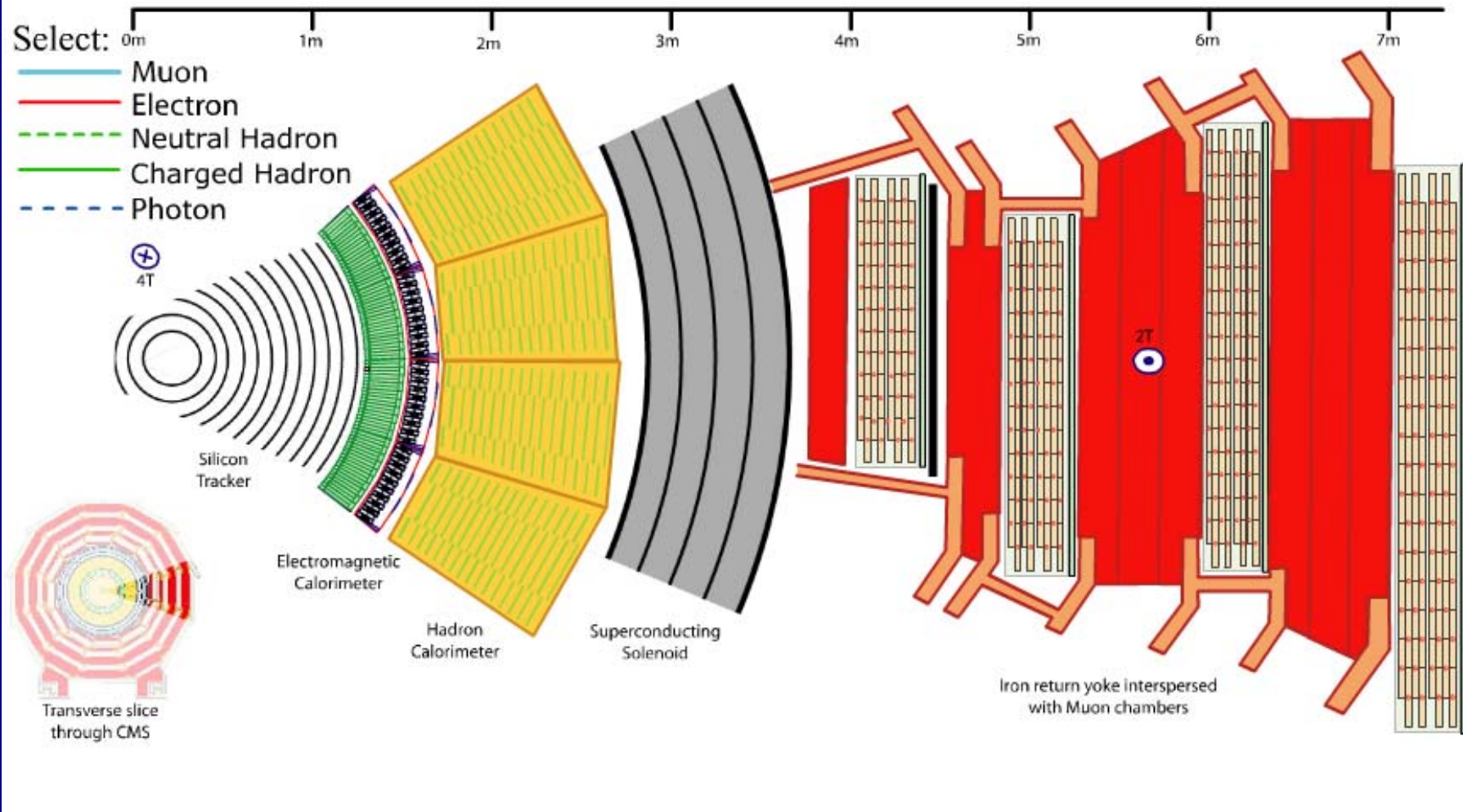
Solenóide

Detector de Traços  
 Calorímetro Electromagnético  
 Calorímetro Hadrónico  
 Câmaras de Muões



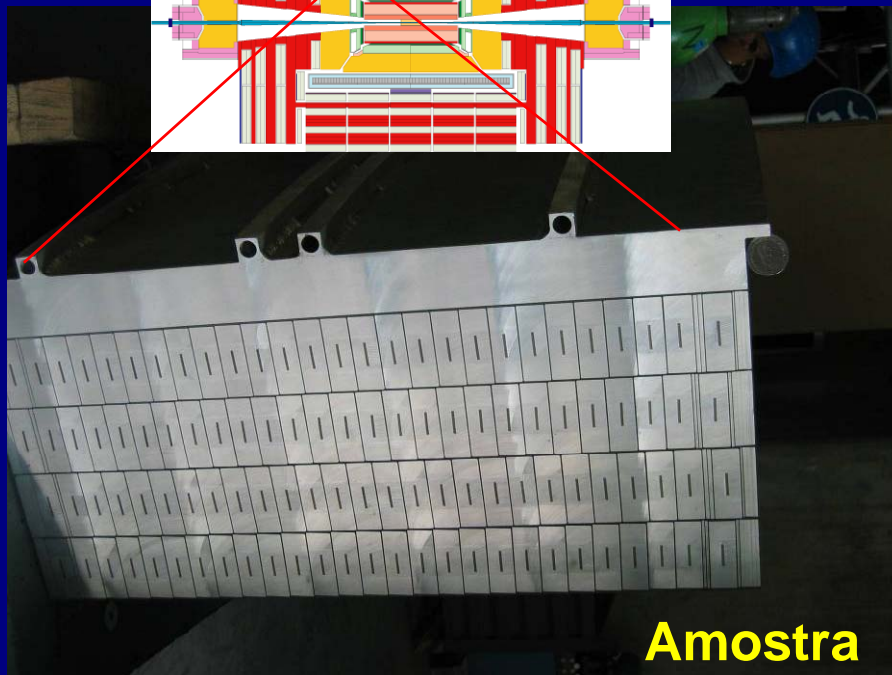
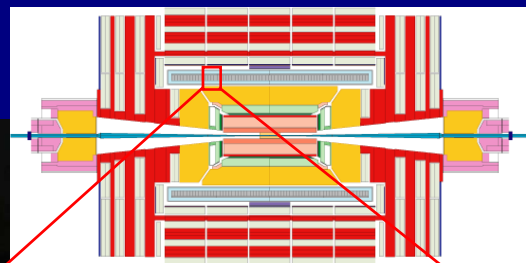


# Corte do Detector CMS





# Solenóide Supercondutor

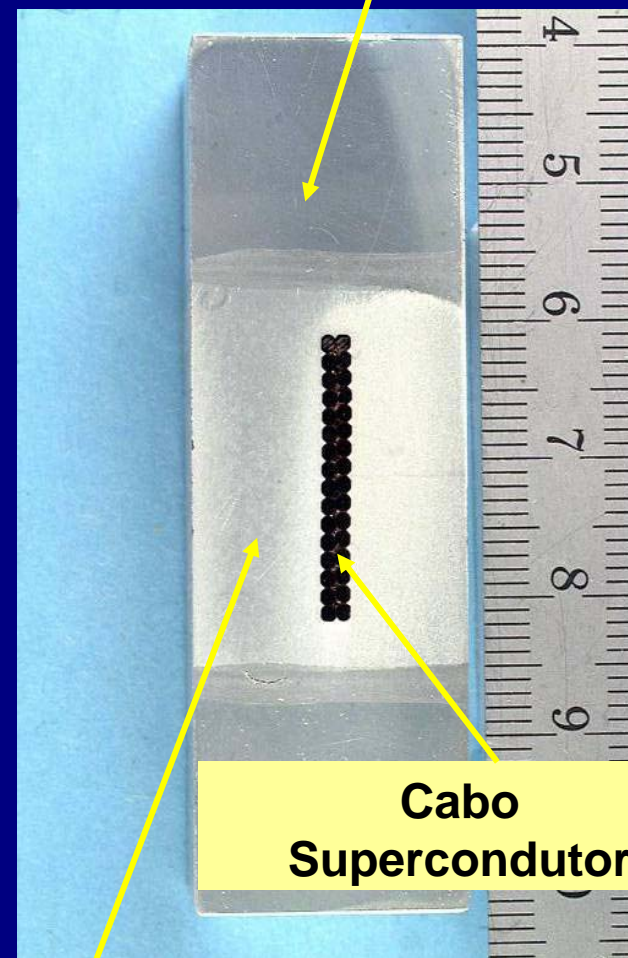


**Amostra**

**Cabo supercondutor: Niobio-Titanio (NbTi) coberto com cobre – arrefecido a ~ 4K**

**13m de comprimento, 5.9m de diâmetro  
O maior solenóide supercondutor construído**

**Alumínio, estabilizador mecânico**



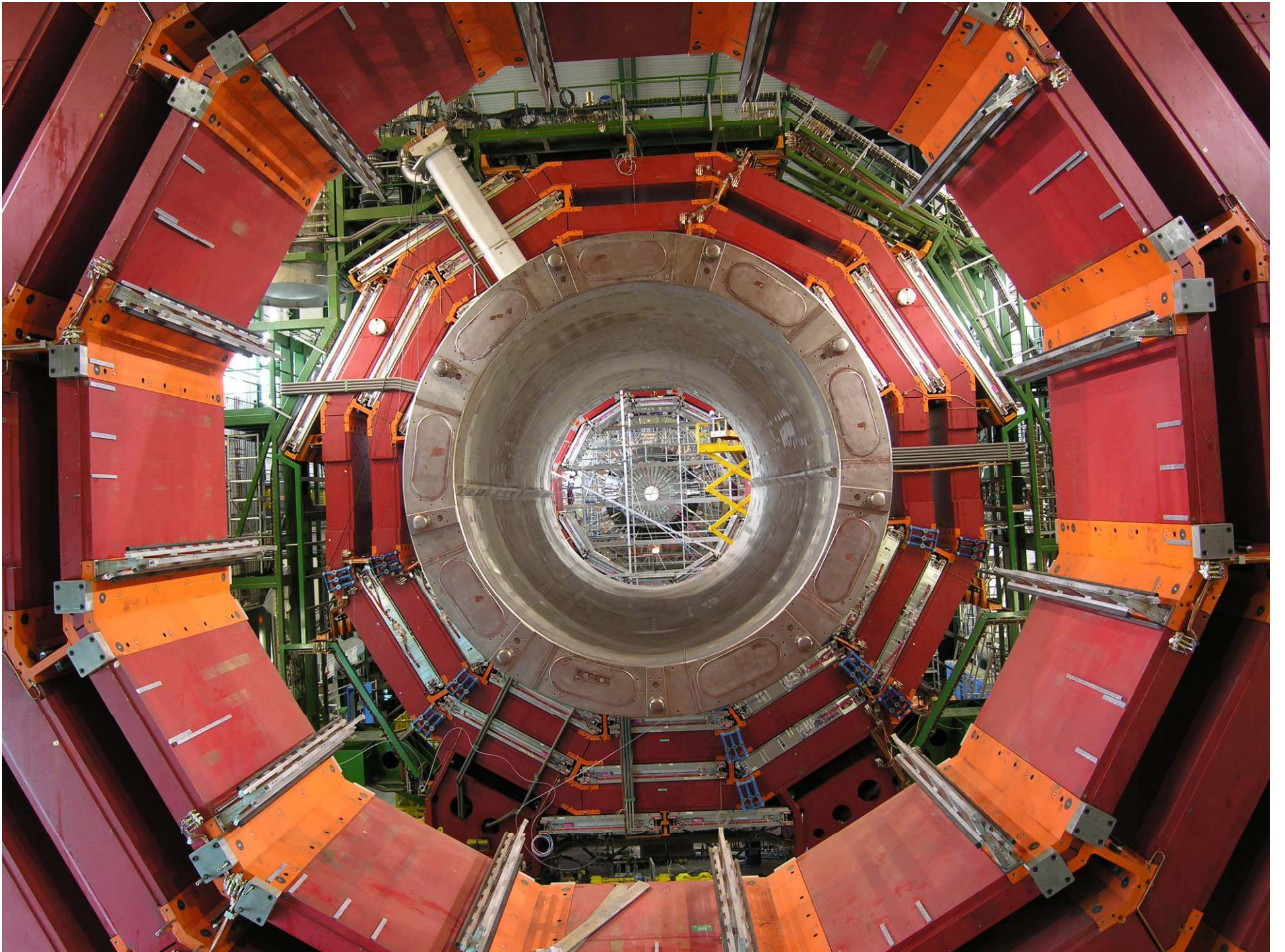
**Cabo Supercondutor**

**Alumínio ultra puro - estabilizador magnético**







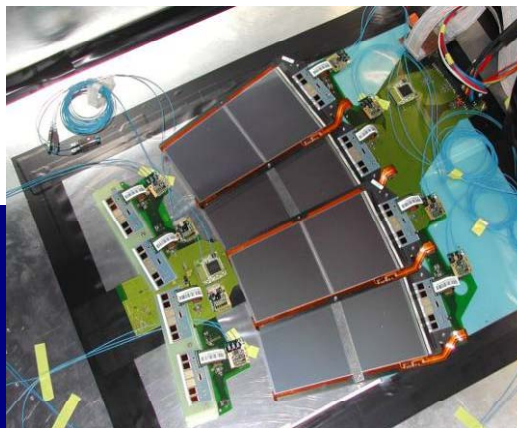
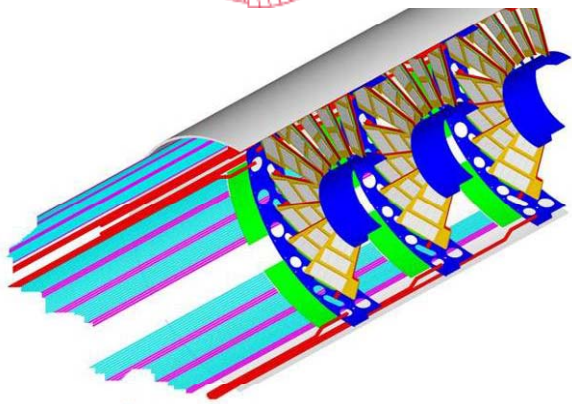
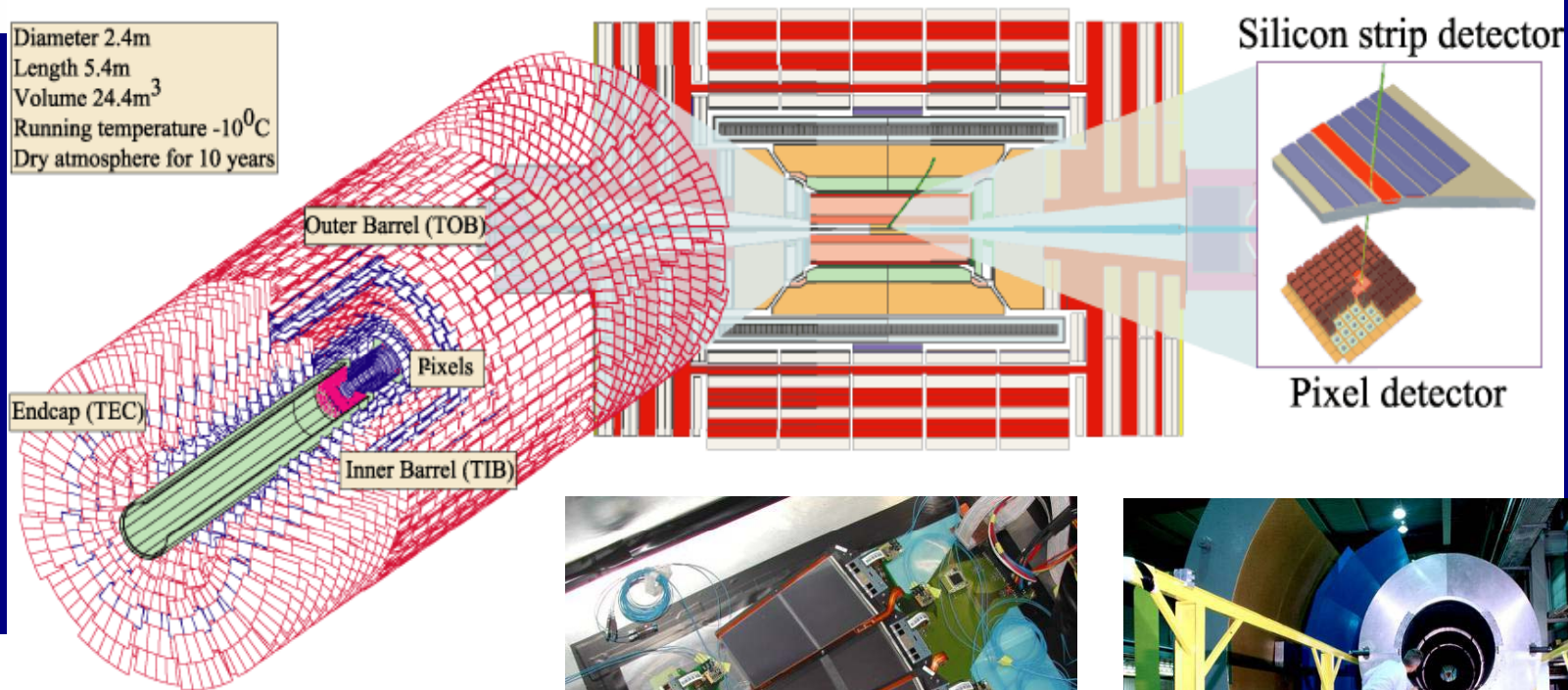






# Detector de Traços

Diameter 2.4m  
Length 5.4m  
Volume 24.4m<sup>3</sup>  
Running temperature -10<sup>0</sup>C  
Dry atmosphere for 10 years

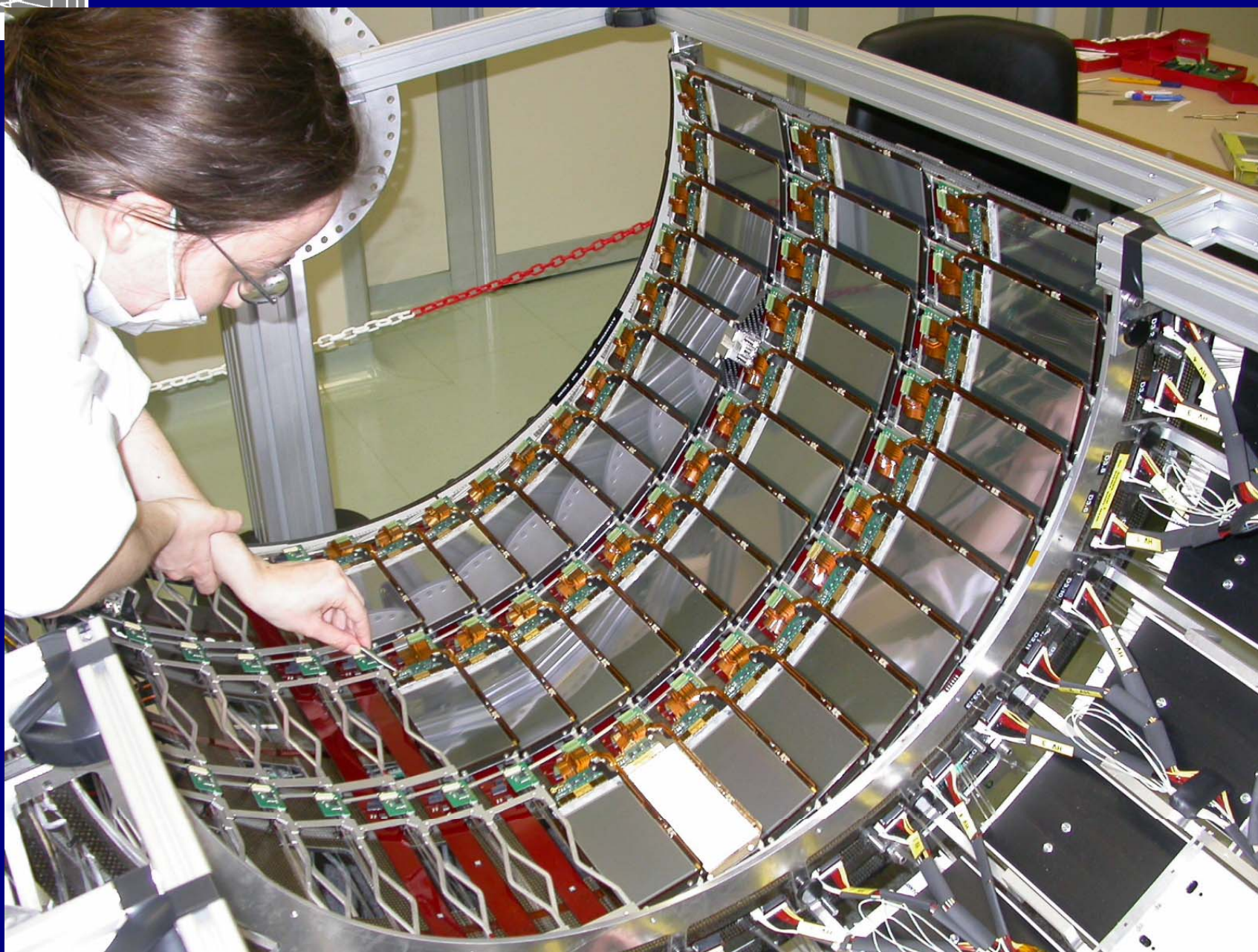


**214m<sup>2</sup> de sensores de silício**  
**11.4 milhões “silicon strips”**  
**65.9 milhões “silicon pixels”**

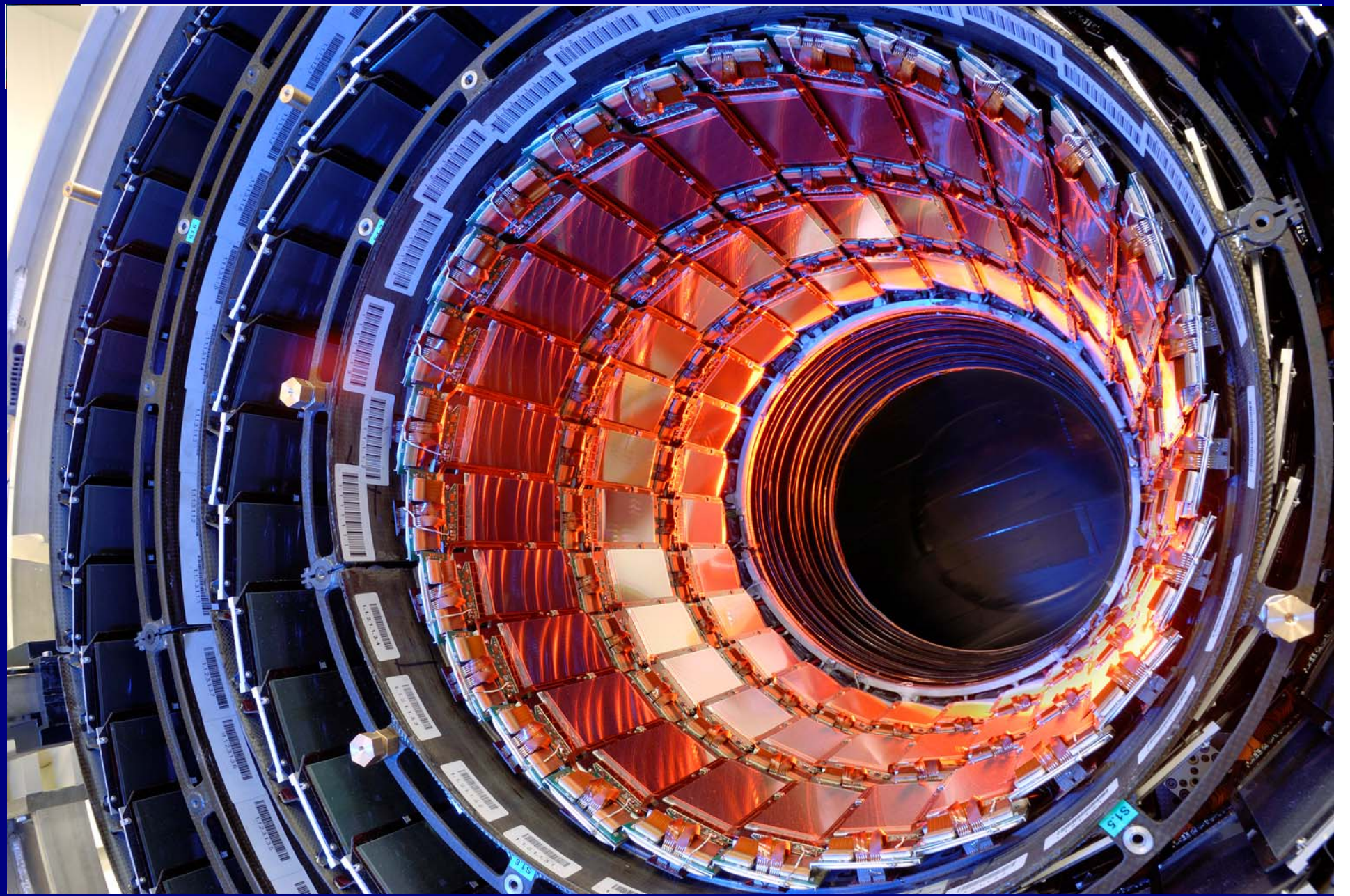




# Sensores de Silício



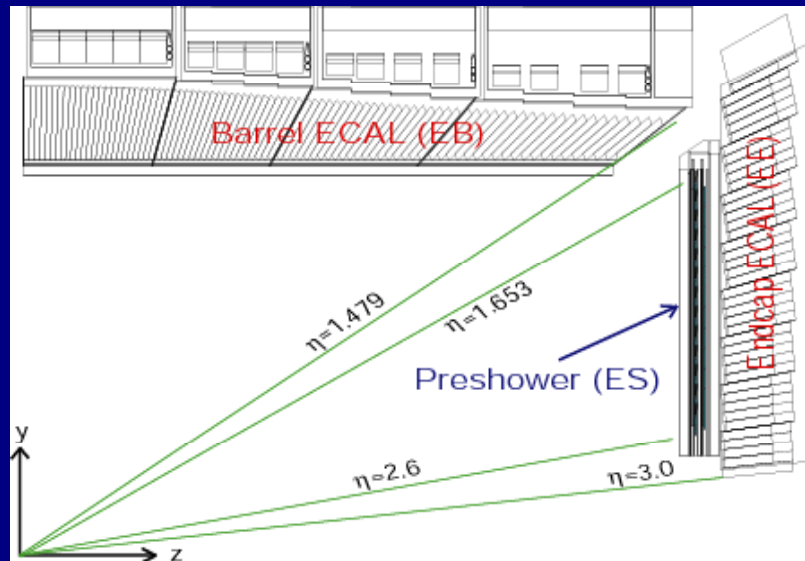
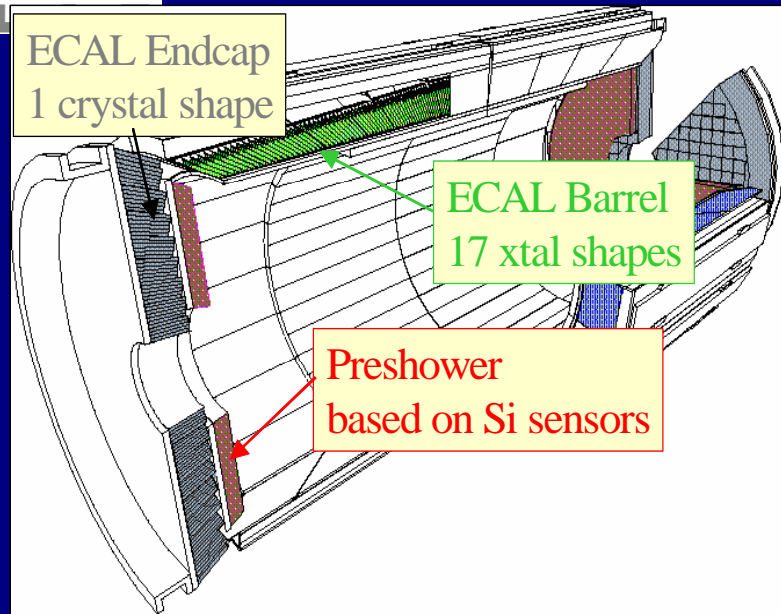




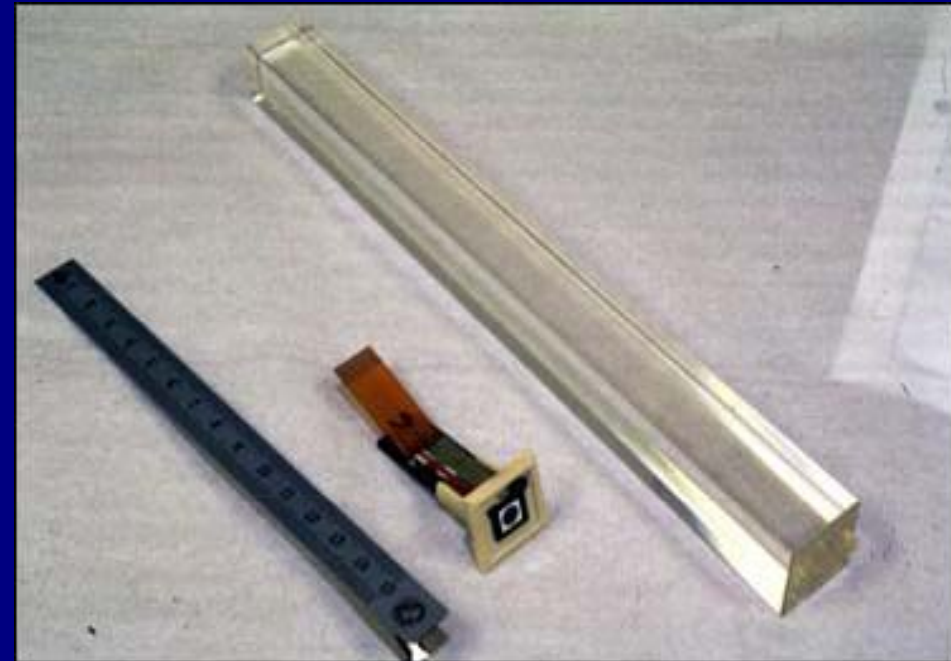




# ECAL Calorímetro Electromagnético



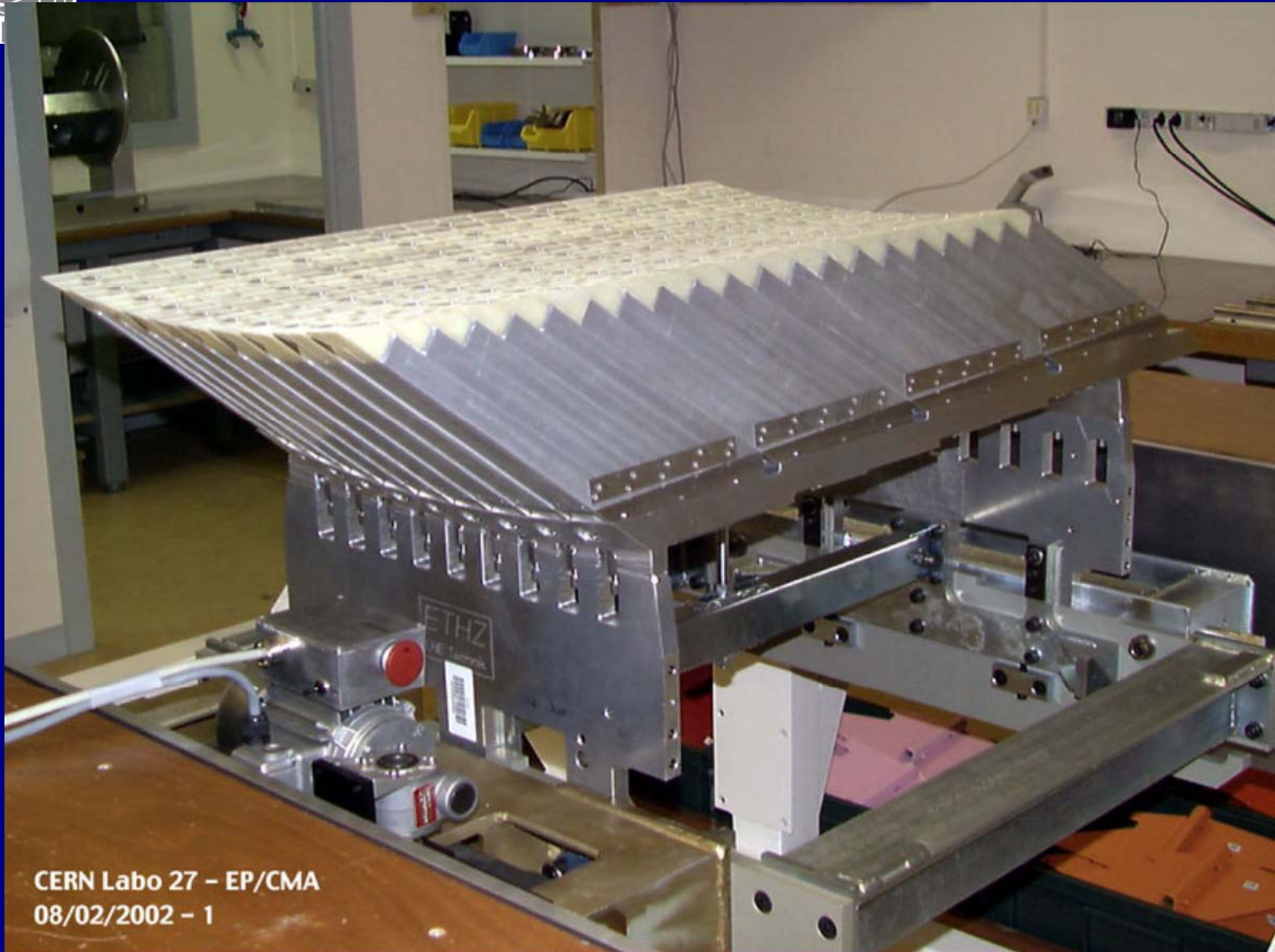
## Detecção de electrões e fótons Cintiladores de Cristal



Parameter	Barrel	Endcaps
# of crystals	61200	14648
Volume	8.14m <sup>3</sup>	2.7m <sup>3</sup>
Xtal mass (t)	67.4	22.0



# Inserção de cristais nos alvéolos



CERN Labo 27 - EP/CMA  
08/02/2002 - 1





# Supermódulo ECAL

CERN Labo 27 – EP/CMA  
09/07/2002 – 3







# HCAL Calorímetro Hadrónico

**Deteccção de hadrões carregados e neutros:**

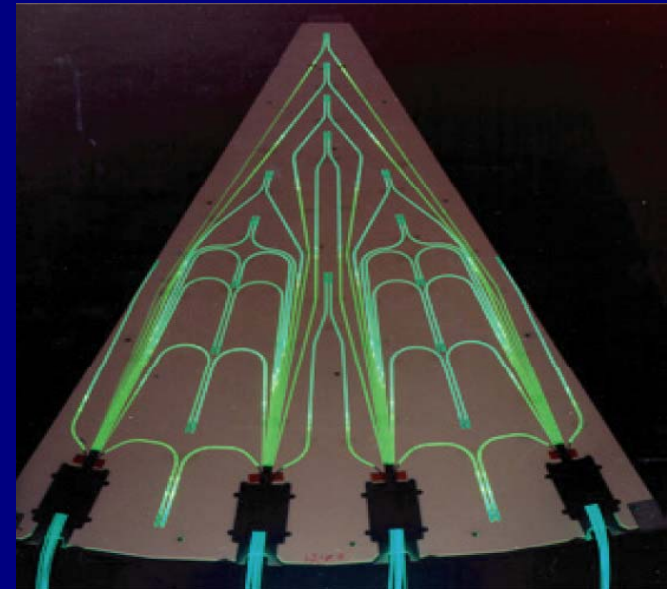
**- prótons, neutrões, píões, etc.**

■ CMS HCAL é composto de 3 partes:

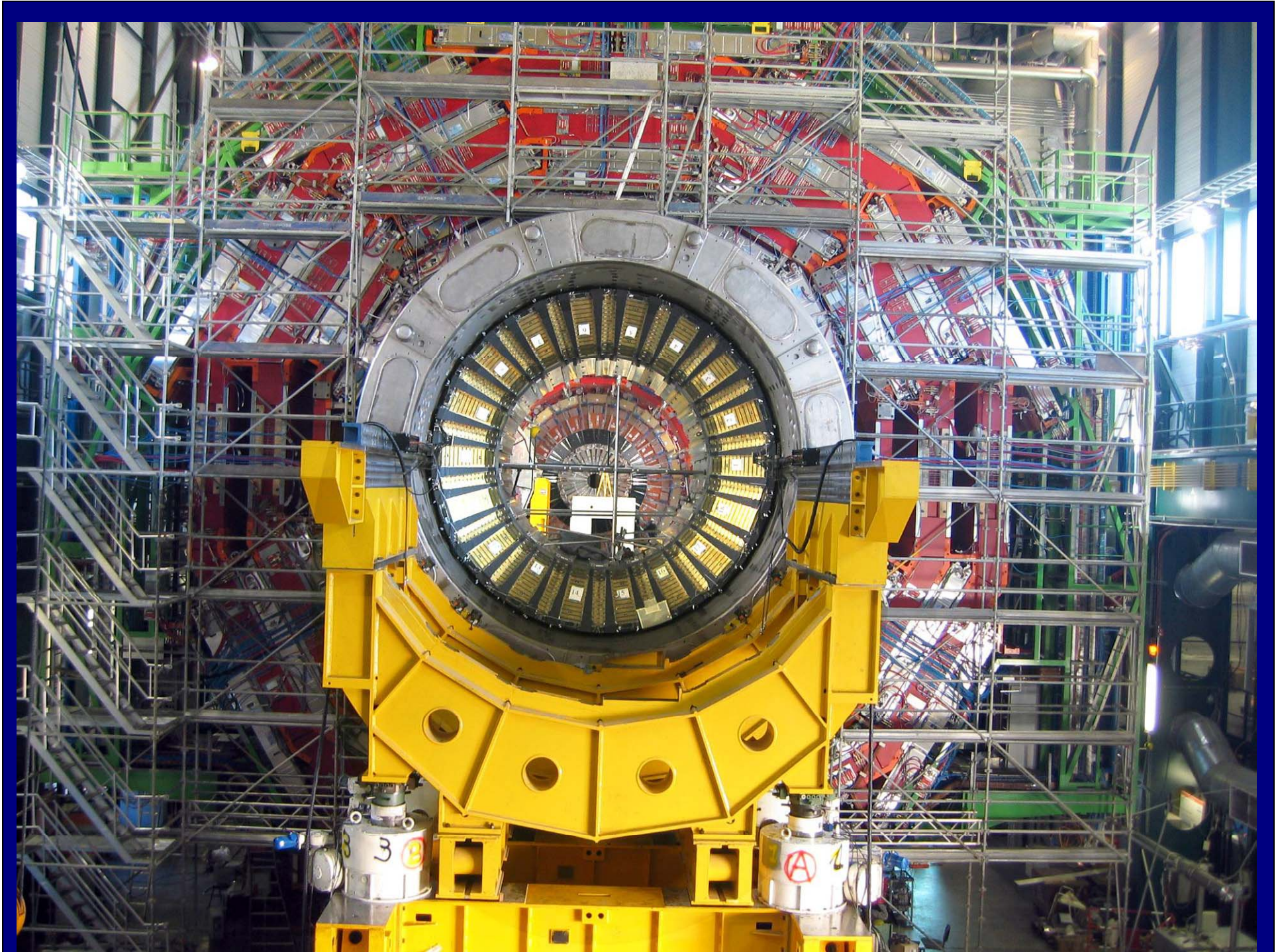
- Barrel HCAL (HB)
- Endcap HCAL (HE)
- Forward HCAL (HF)

■ Cintilador plástico, fibras ópticas e cobre

■ Fibras de quartzo e placas de aço

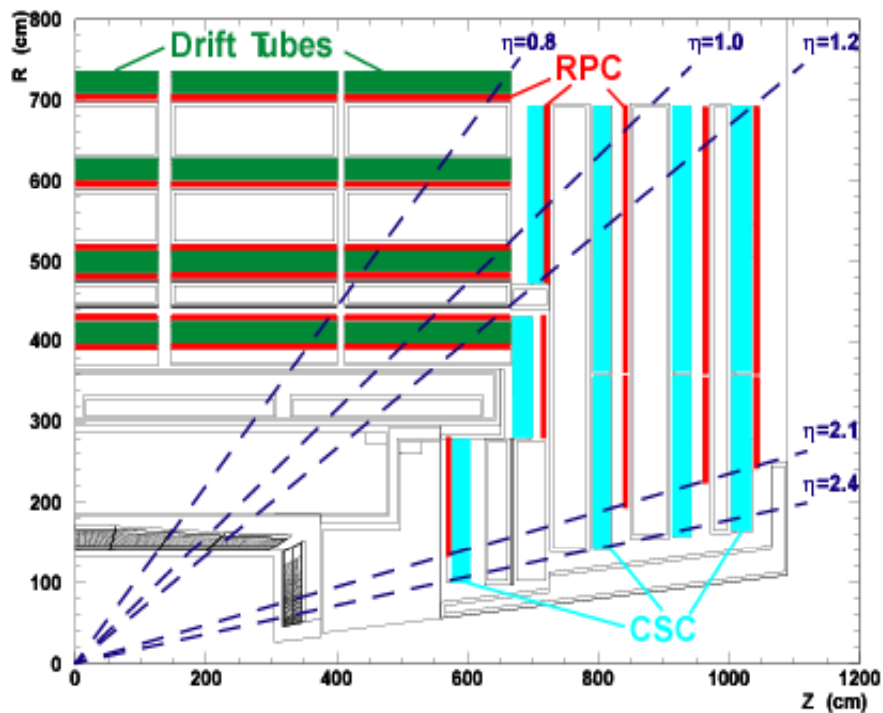








# Câmaras de Muões

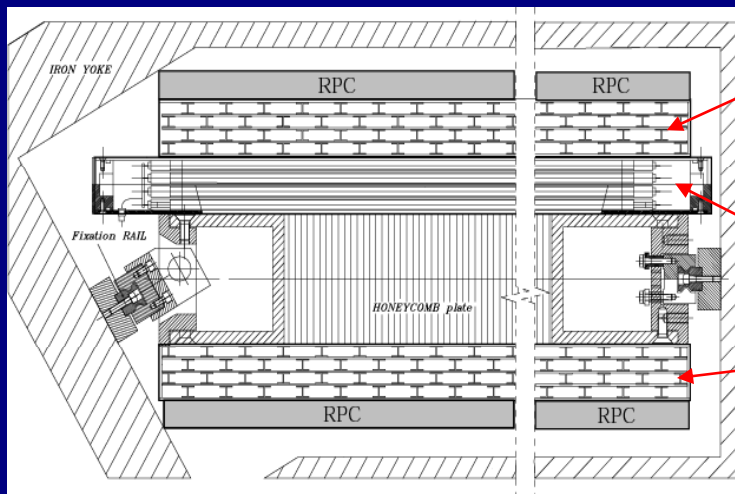


## Medidas de trajetória:

Drift Tubes (DT) no “Barrel”  
Cathode Strip Chambers (CSC) nos  
“Endcaps”

## Trigger:

Resistive Plate Chambers (RPCs)



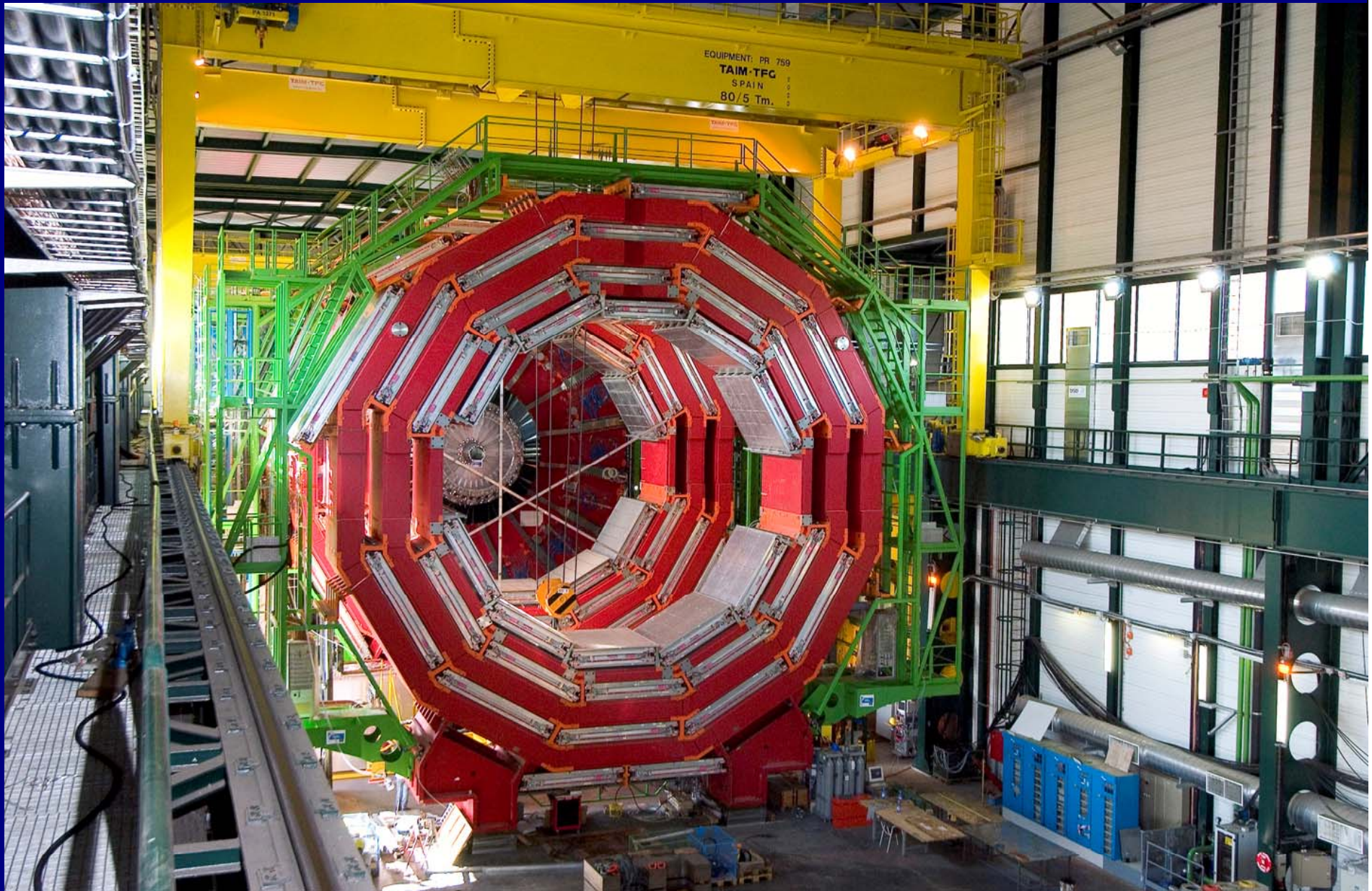
$\phi$  superlayer of 4 DT layers

$\eta$  superlayer of 4 DT layers

$\phi$  superlayer of 4 DT layers

195000 canais DT  
210816 canais CSC  
162282 canais RPC







# Trigger e Aquisição de Dados

- ❑ Pacotes de prótons colidem em CMS todos os 25ns (40 milhões de vezes por segundo)
- ❑ Cada colisão produz ~1 Mbyte de dados
- ❑ O sistema de trigger decide (num tempo muito curto!) se a colisão é interessante.
- ❑ Factor de rejeição do trigger:  $10^7$
- ❑ Volume de dados por ano  $\sim 10^6$  Gbyte = 1 PByte



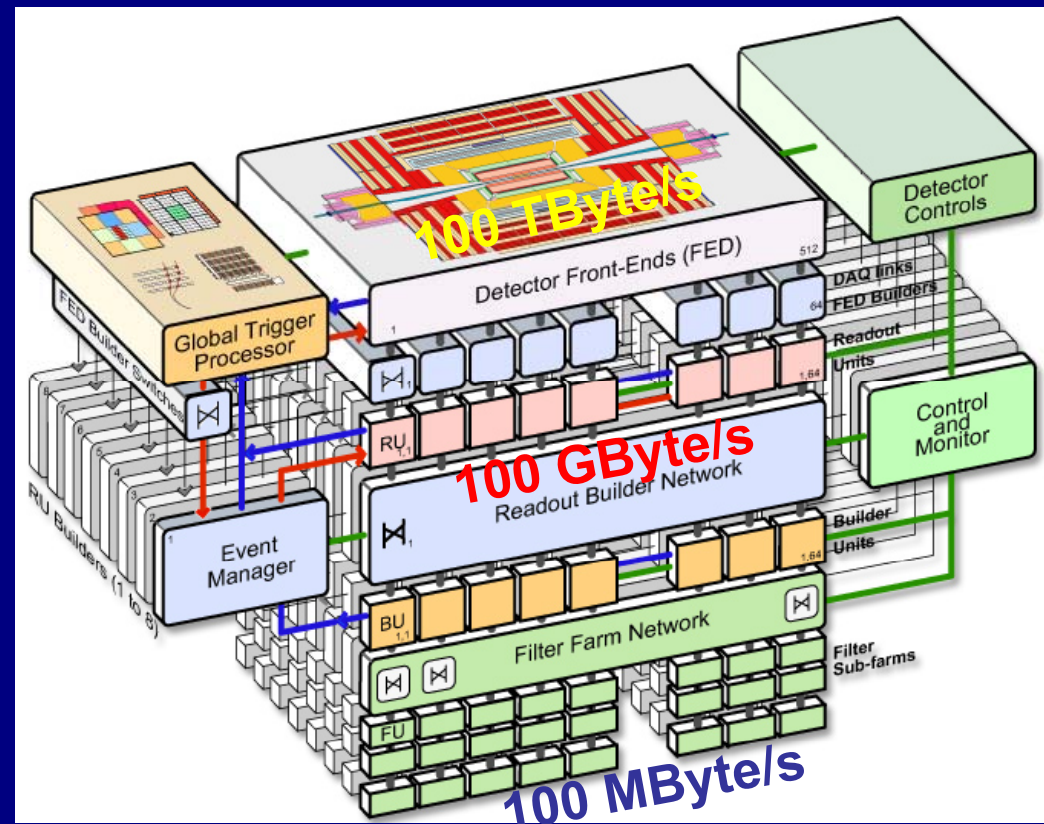
# Sistema de Trigger em CMS

## Level 1 Trigger:

- Processadores dedicados
- Capacidade de cálculo equivalente a 50'000 PCs

## High Level Triggers:

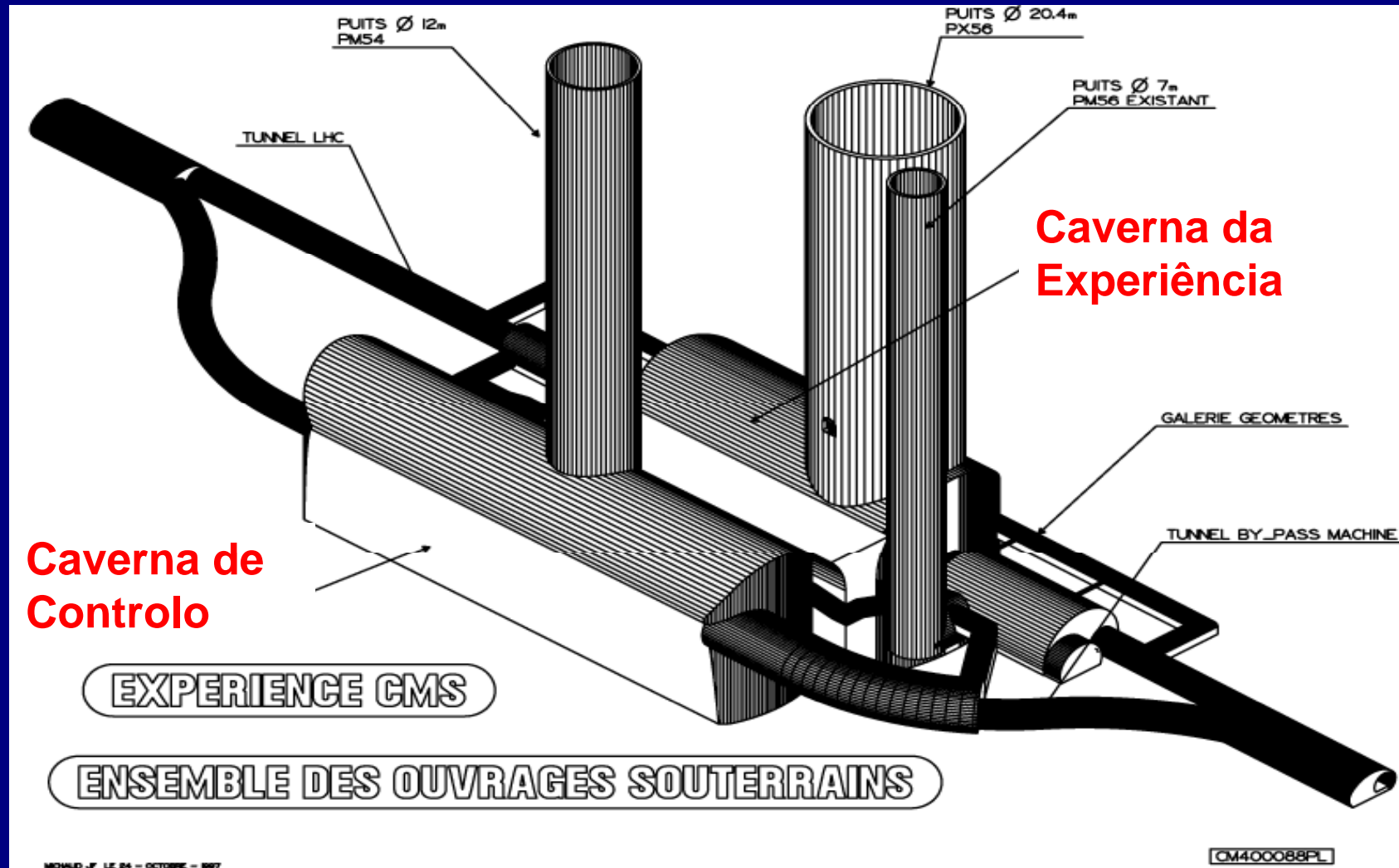
- “Farm” de PCs (~5000)



Um dos sistemas electrónicos mais complexos jamais construído!



# Areas Experimentais







# Poços de Acesso





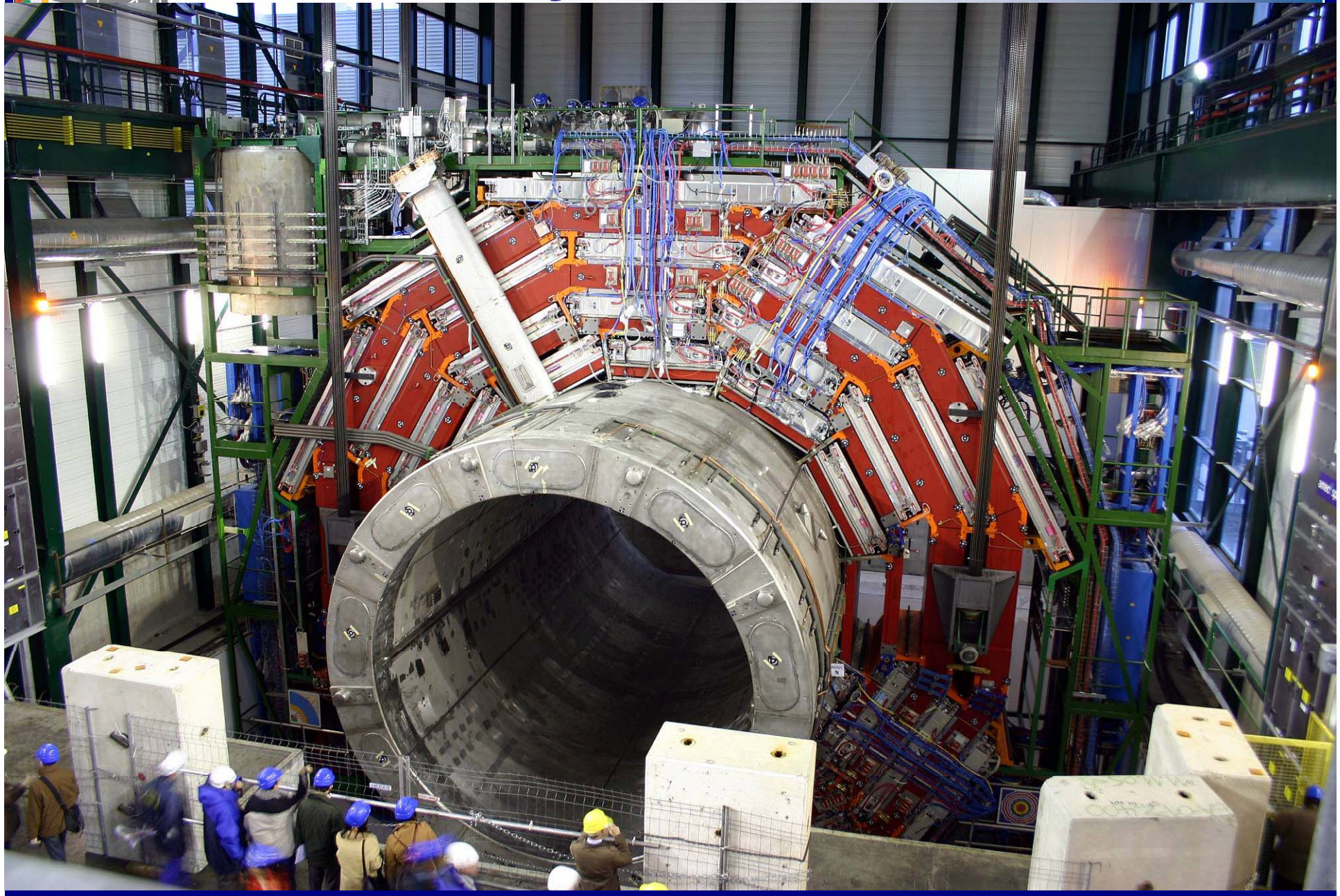


# Caverna da Experiência

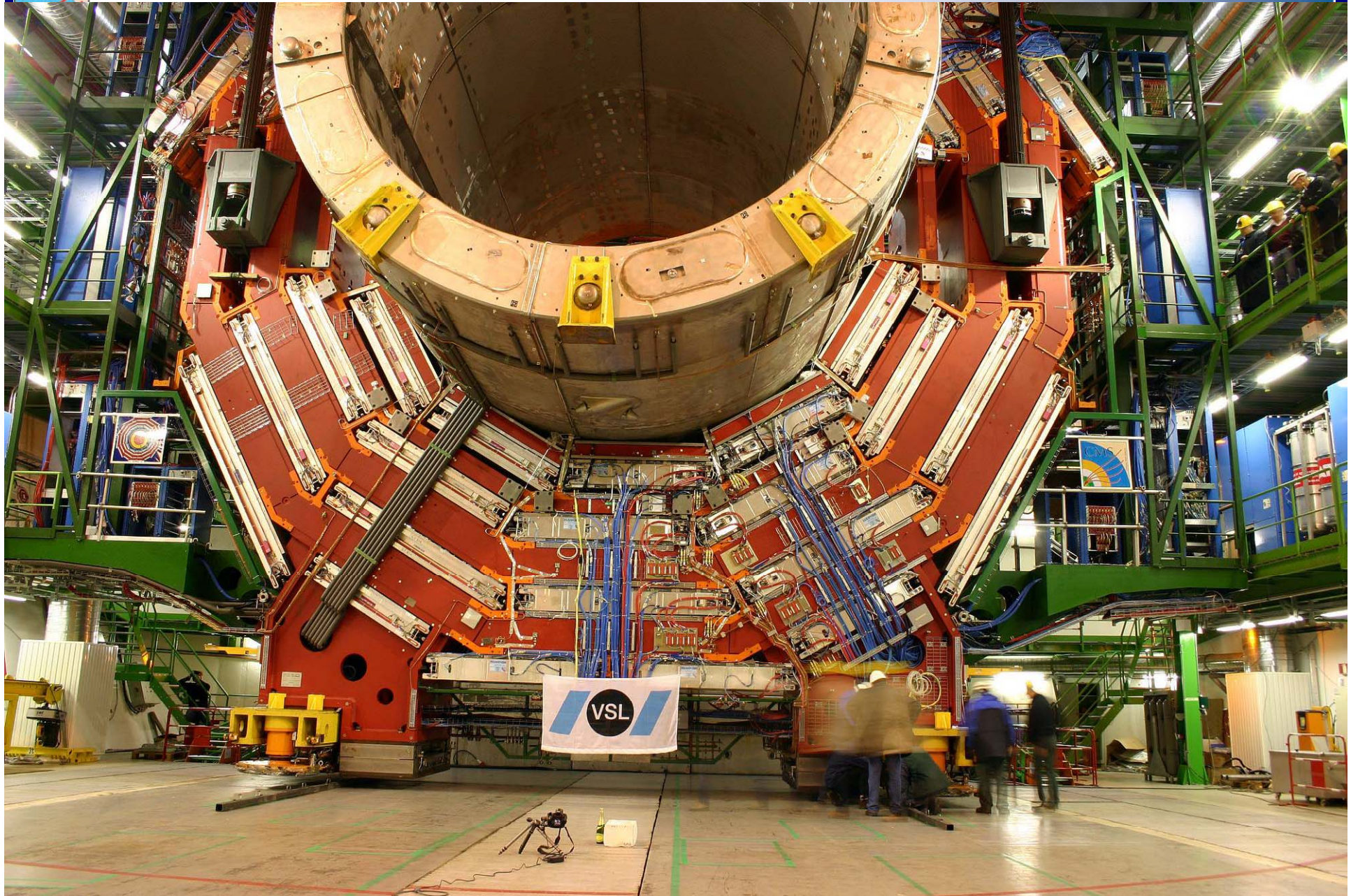




# Instalação na Caverna











# Portugal em CMS

## Technical Proposal, 1994

## Letter of Intent, 1992

CERN/LHCC 92-3  
LHCC/I 1  
1 October 1992

CERN/LHCC 94-38  
LHCC/P1  
15 December 1994

### Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Lisboa, PORTUGAL

A. Almeida, P. Bordalo, J. Gomes, P. Gomes, E. Machado, M. Mota, R. Nobrega, S. Ramos, S. Silva, J. Varela

Letter of Intent  
by the

## CMS Collaboration

for a General Purpose Detector at the LHC

Inst. of Experimental Physics, University of Warsaw, Warszawa, POLAND

W. Dominik, J. Królikowski, M. Konecki, L. Ropelewski,

Institute for Nuclear Studies, Warszawa, POLAND

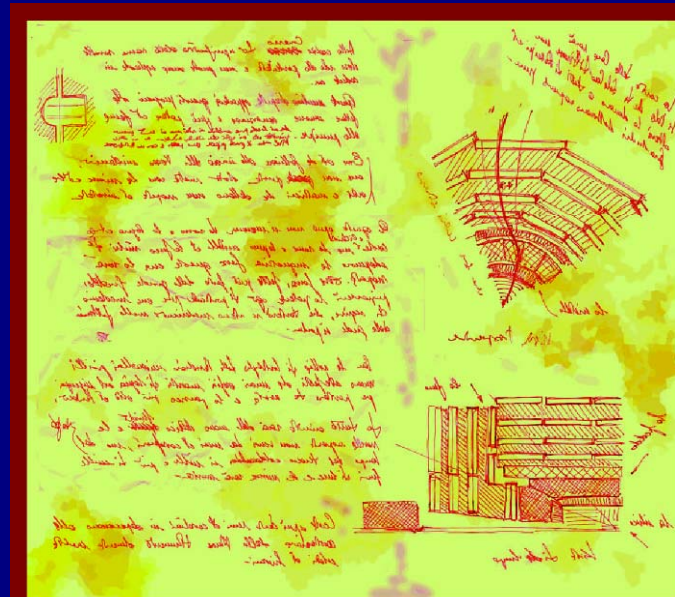
M. Górski, M.Szeptycka

LIP, Lisbon, PORTUGAL

P. Bordalo, C. Lourenço, R. Nóbrega, S. Ramos, J. Varela

JINR, Dubna, RUSSIA

P. Akishin, S. Andreev, A. Bel'kov, M. Bondila, V. Chalyshev,



The Compact Muon Solenoid  
Technical Proposal



# Colaboradores

## Lista de Colaboradores Portugueses em CMS

R. Alemany-Fernandez  
A. Almeida  
C. Almeida  
N. Almeida  
J. Augusto  
T. Barata Monteiro  
L. Berger  
P. Bordalo  
M. Calha  
N. Vaz Cardoso  
O. Dias  
M. Ferreira  
M. Gallinaro  
J. Gomes  
P. Gomes  
F.M. Goncalves  
M. Husejko  
A. Jain  
M. Kazana  
N. Leonardo

C. Lourenço  
E. Machado  
J. Martins  
A. Mishev  
J. Morgado  
M. Mota  
S. Da Mota Silva  
P. Musella  
A. Nikitenko  
R. Nobrega  
G. Ordóñez  
A. Pierce  
V. Popov  
P.Q. Ribeiro  
R. Ribeiro  
S. Ramos  
J. Da Silva  
S. Silva  
P. F. da Silva  
M. Santos

H. Sarmento  
J. Semiao  
I. Teixeira  
J. Teixeira  
G. Varner  
I. Videira  
J. Varela

**47 participantes  
desde 1995**





# Colaboradores em 2007



From left to right: M. Gallinaro, R. Neto, J. Seixas, J. Pela, M. Jordão, M. Ferreira, P. Ribeiro, N. Almeida, J. Varela, M. Kazana, J.C. Silva, A. Vila Verde, A. David, M. Husejko, P. Musella, P. Silva.

## Estudo do Calorímetro Electromagnético

## Estudo do Sistema de Trigger

## Aquisição de Dados e Trigger do ECAL

Desenvolvimento do sistema de Trigger e de Aquisição de Dados do Calorímetro Electromagnético (LIP, INESC)

## Física

Pesquisa de dimensões suplementares

Física do quark top

Física de iões pesados





# Impacto

## Publicações em CMS: 49 Notas Técnicas

### Produção científica anual típica:

Articles in international journals	2
International Conference Proceedings	4
CMS Technical Notes	6
Oral presentations in Collaboration Meetings	40

### Posições de Coordenação:

CMS Trigger Project Manager	(J. Varela)
ECAL Data Stream Hardware Coordinator	(J. C. Silva)
ECAL Data Acquisition Deputy Coordinator	(A. David)

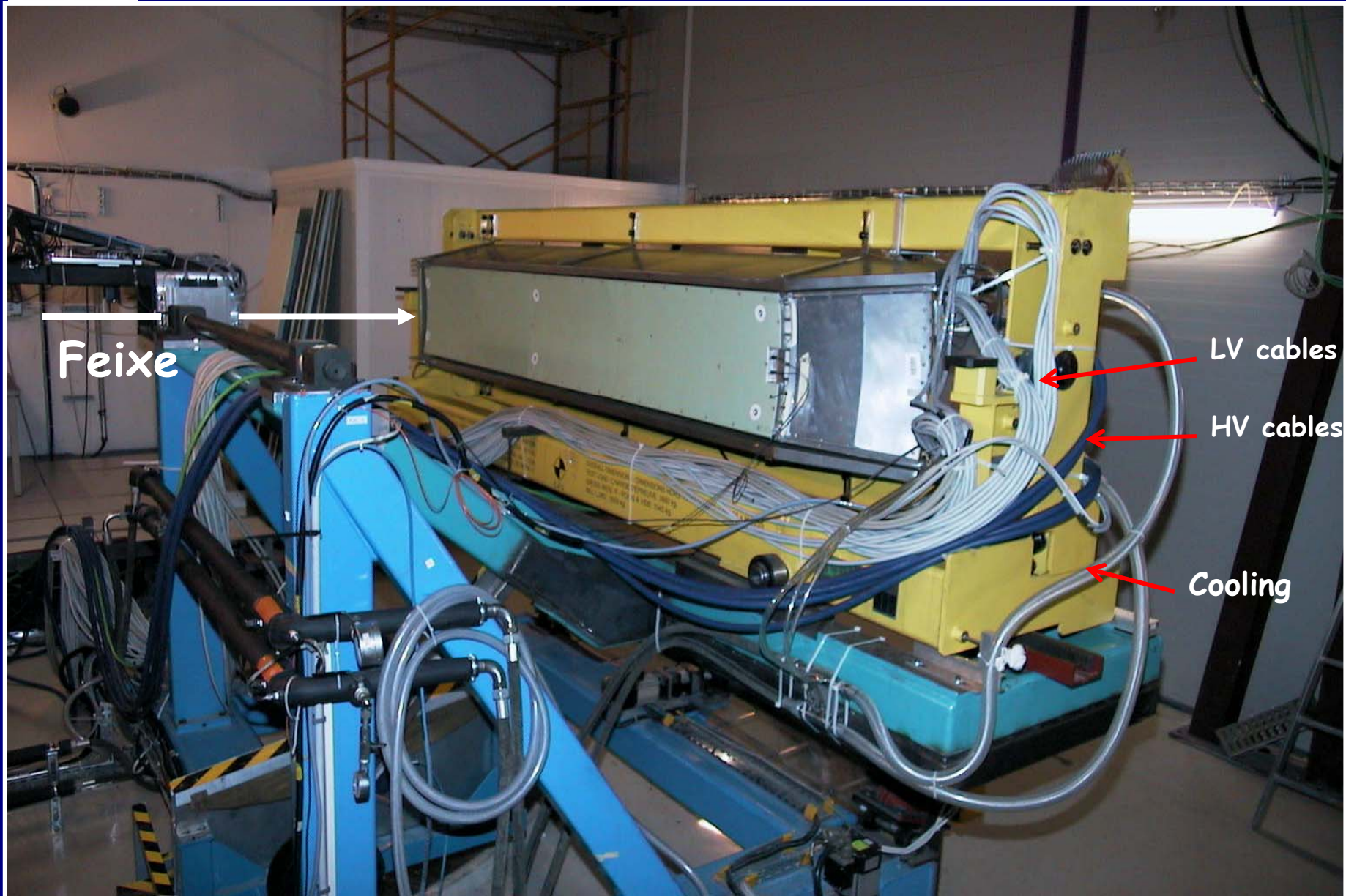


# Lab 867 – Teste de Supermódulos





# Calibração no Feixe de Electrões







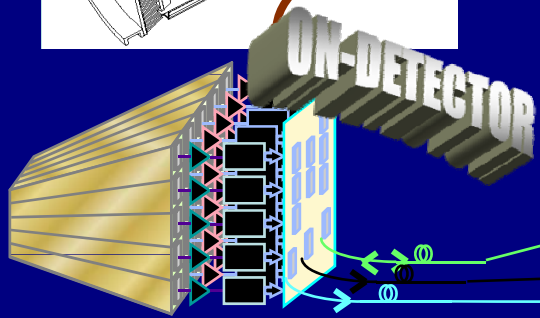
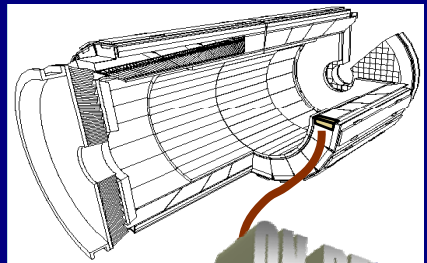
# Inserção no Detector







# ECAL Trigger-DAQ



<u>Barrel</u> Super-module Readout Unit	D C C	C C S	T C C					12 VME64x crates
<u>End-cap 40</u> Readout Unit	D C C	C C S	T C C	T C C	T C C	T C C		6 VME64x crates

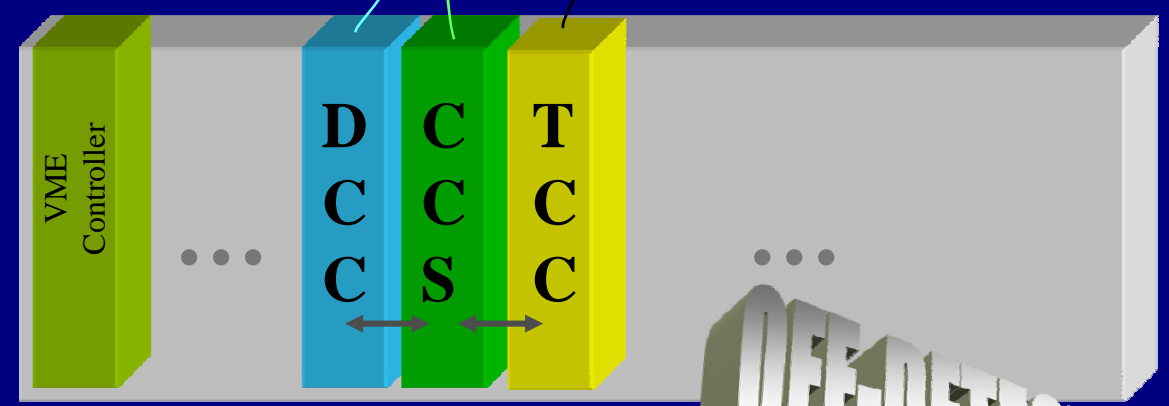
Timing, Control & L1A

Trigger primitives

Crystal Data

**18 crates**  
**240 Módulos**  
**1200 Mezzannines**

- DCC (Data Concentrator Card)
- CCS (Clock & Control System)
- TCC (Trigger Concentrator Card)



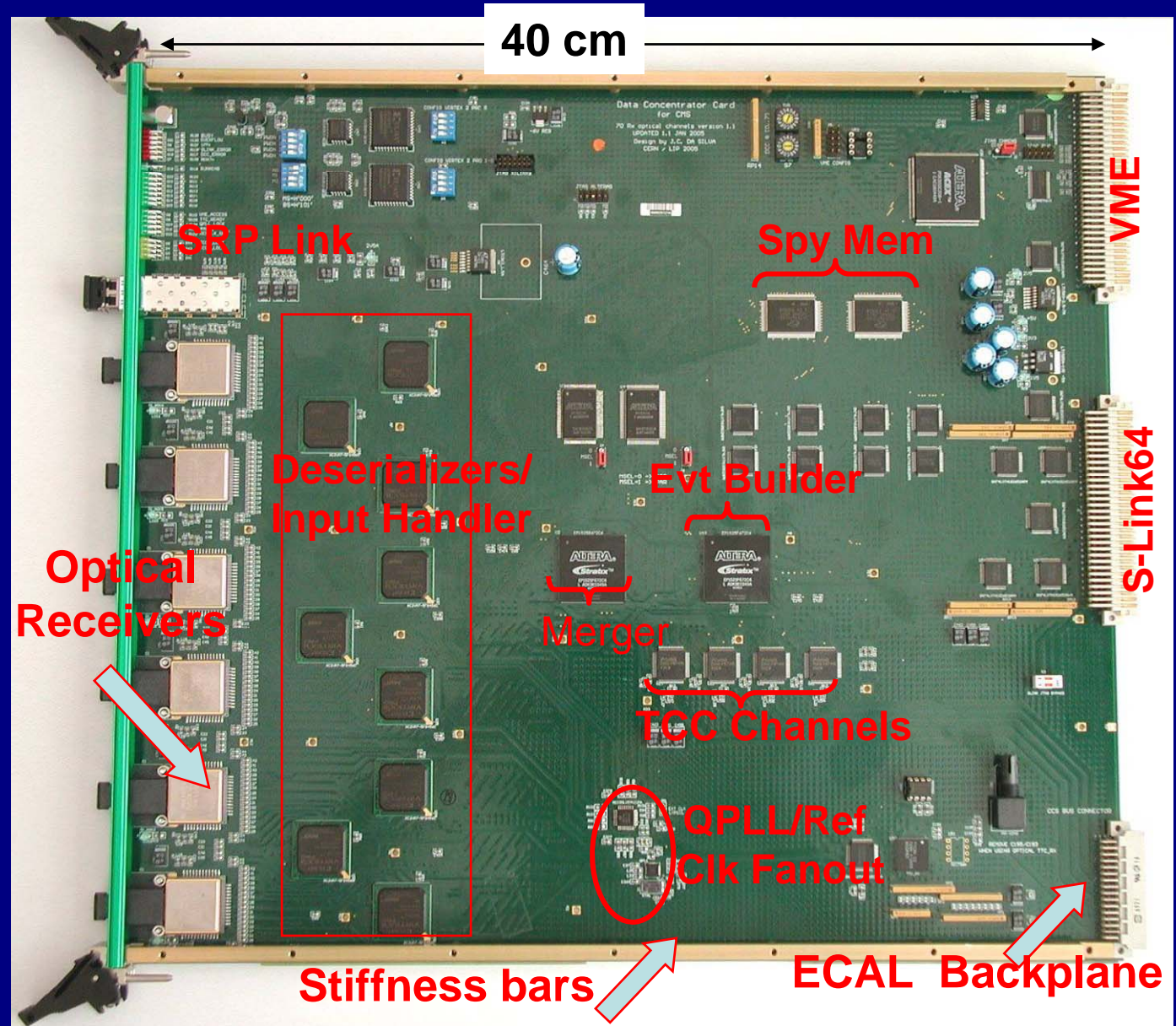


# ECAL Data Concentrator Card

72 Optical Links  
@ 1 Gbit/s

Data collection  
and merging

Data supression  
by a factor ~ 20

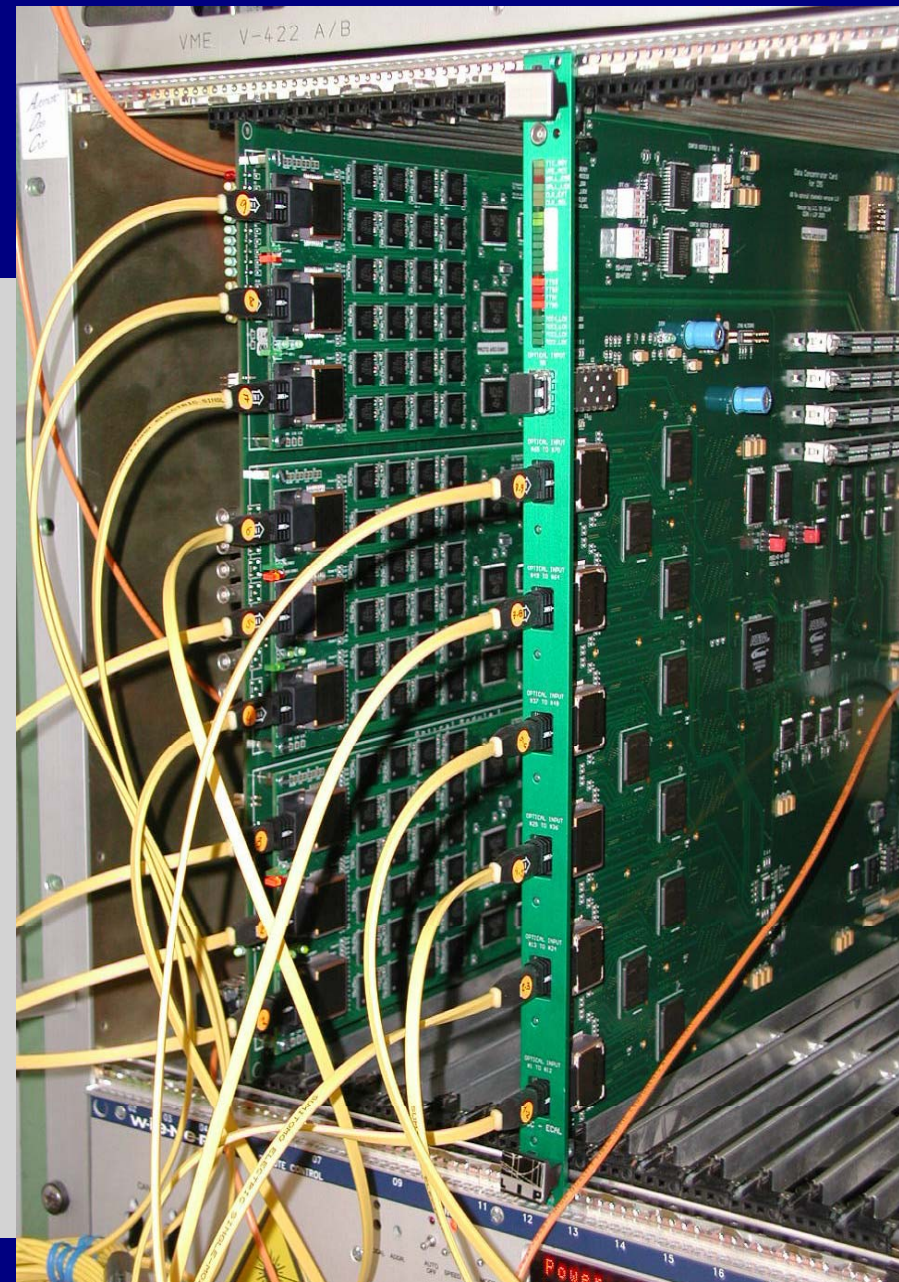
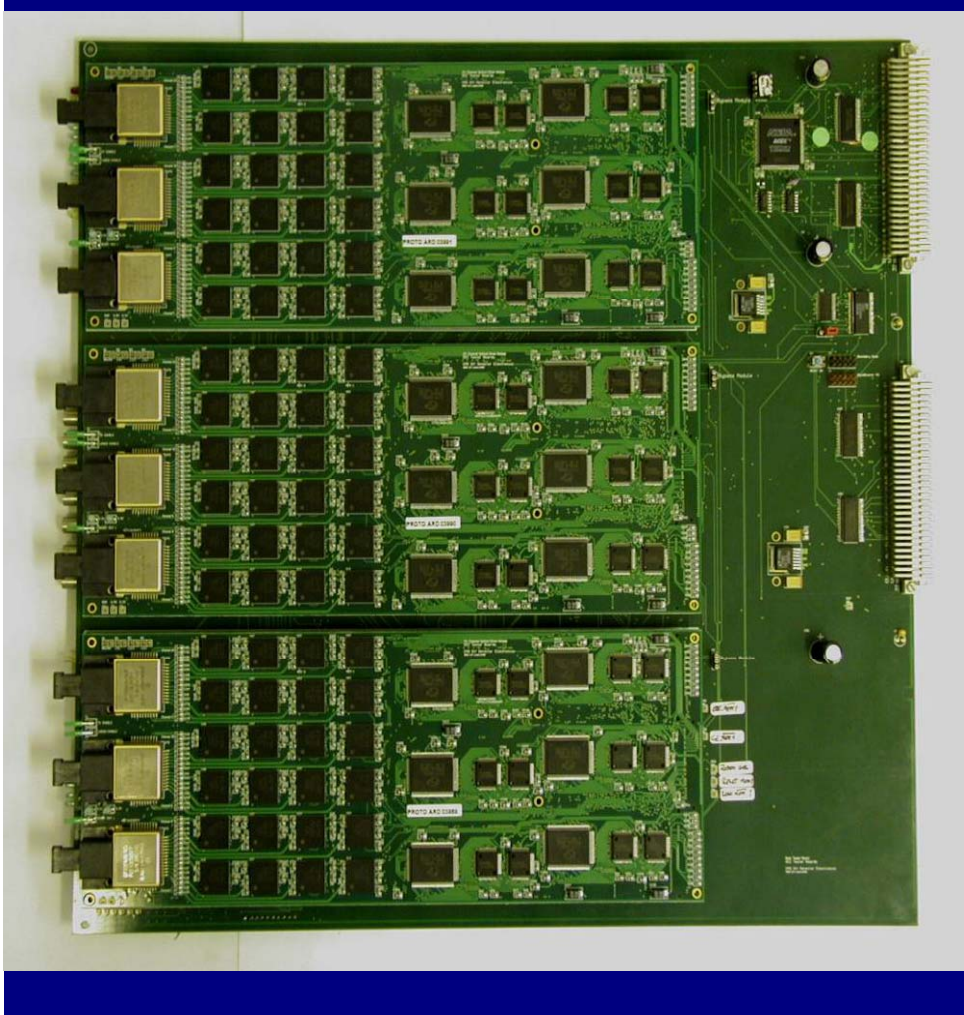






# ECAL DAQ: Sistemas de Teste

## Optical Modules







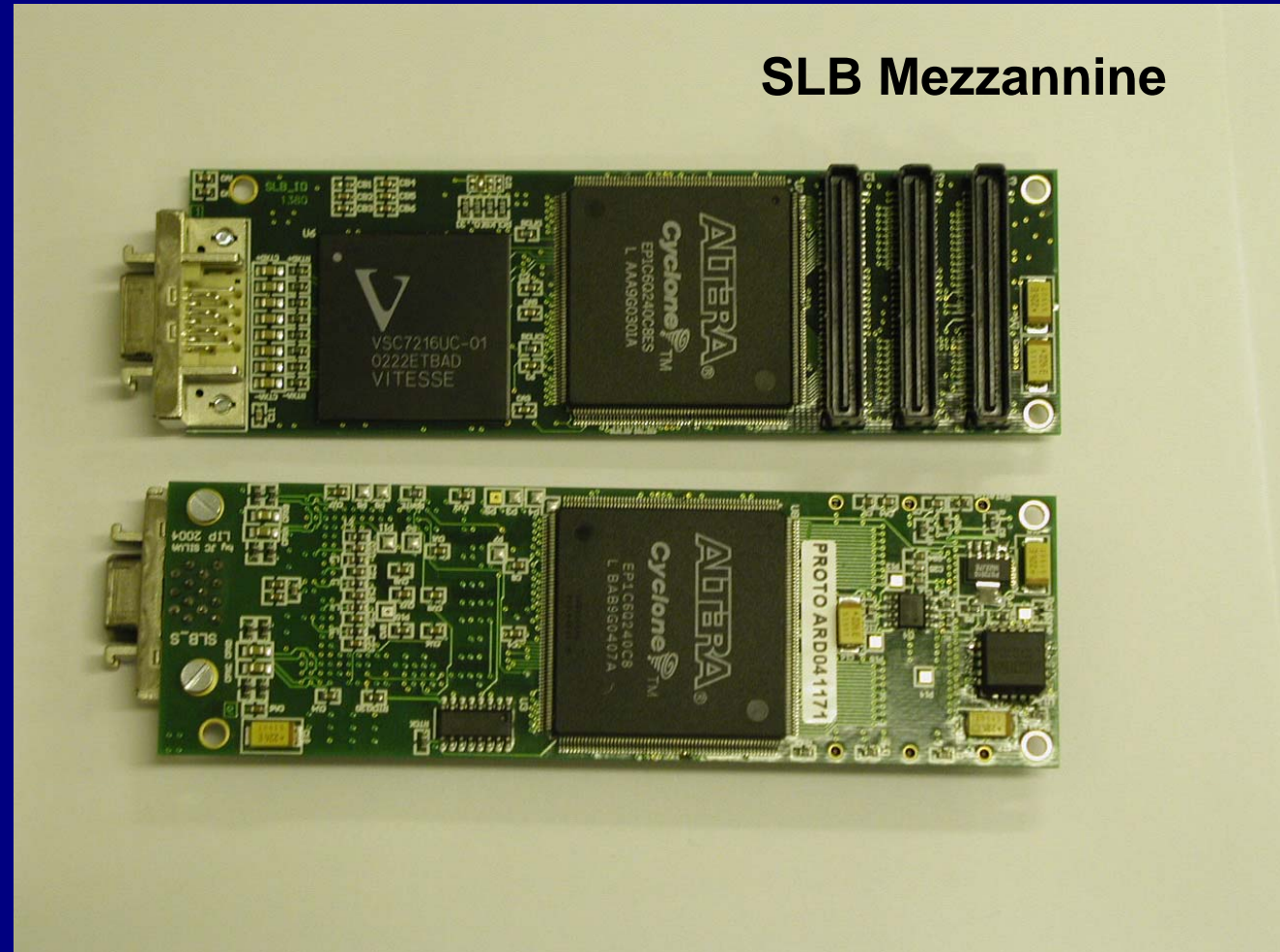
# Calorimeter Trigger Links

Transmissão e  
Sincronização de  
Dados do Trigger

4.8 Gbit/s

1200 módulos  
ECAL e HCAL

SLB Mezzanine



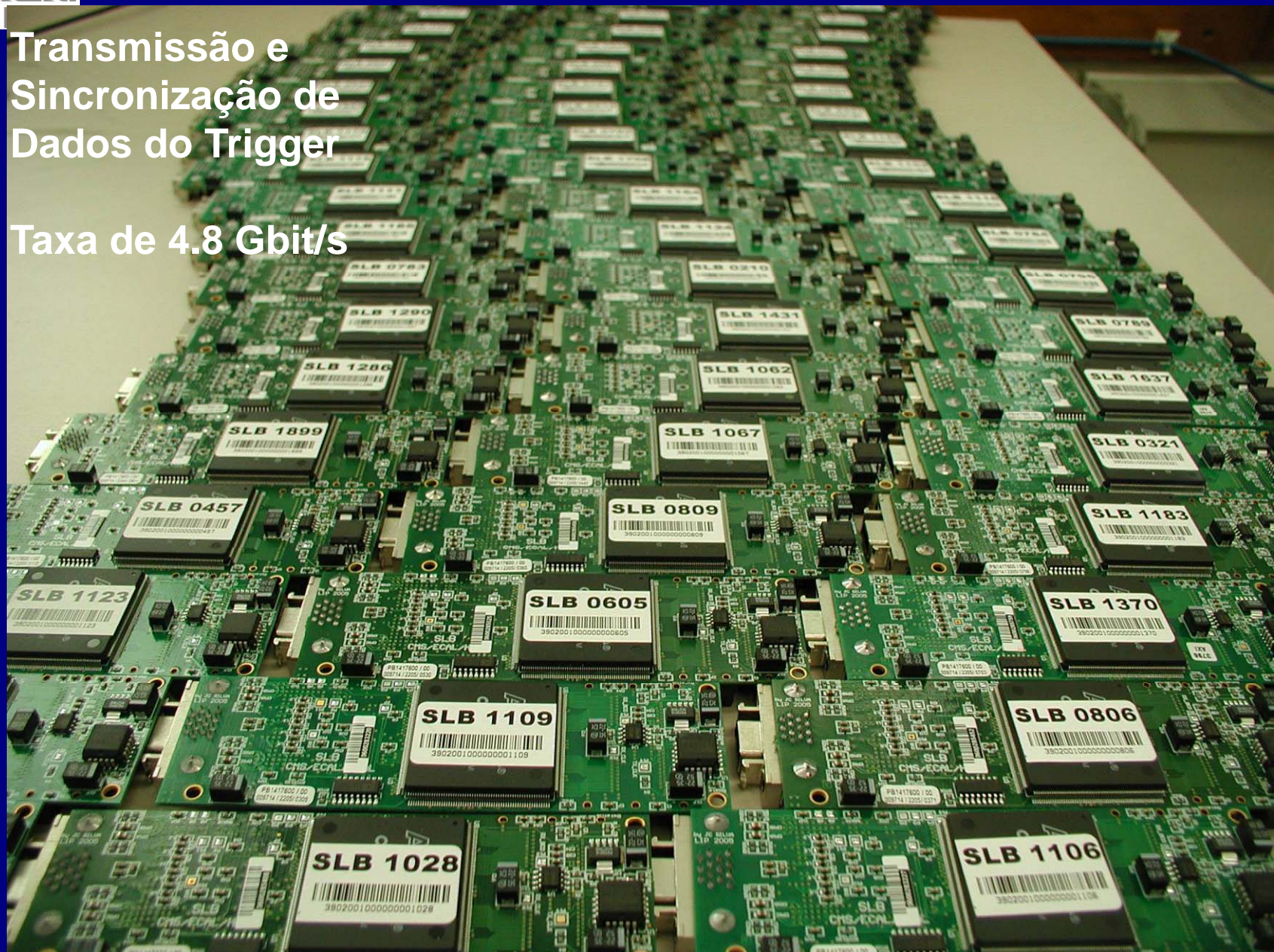




# Calorimeter Trigger Links

Transmissão e  
Sincronização de  
Dados do Trigger

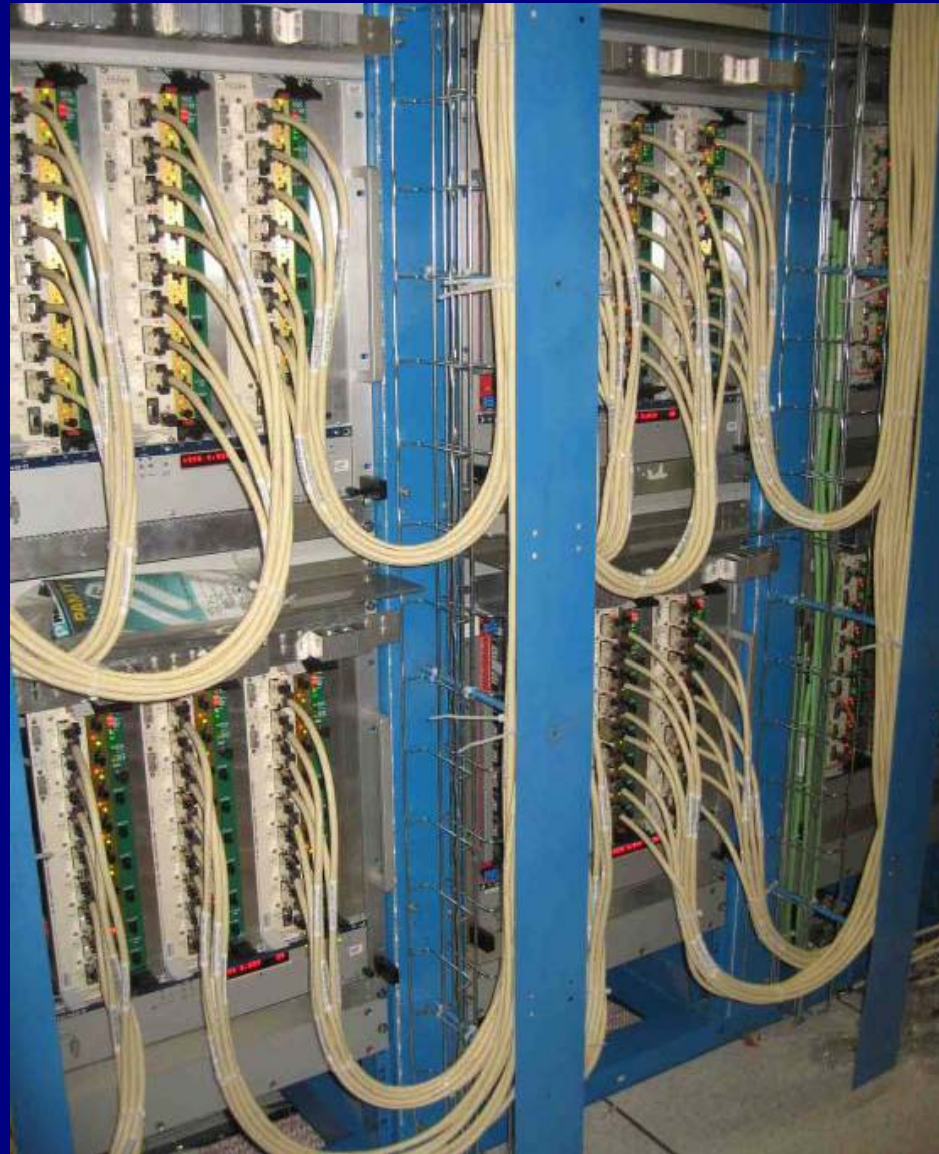
Taxa de 4.8 Gbit/s







# ECAL Data Acquisition Hardware



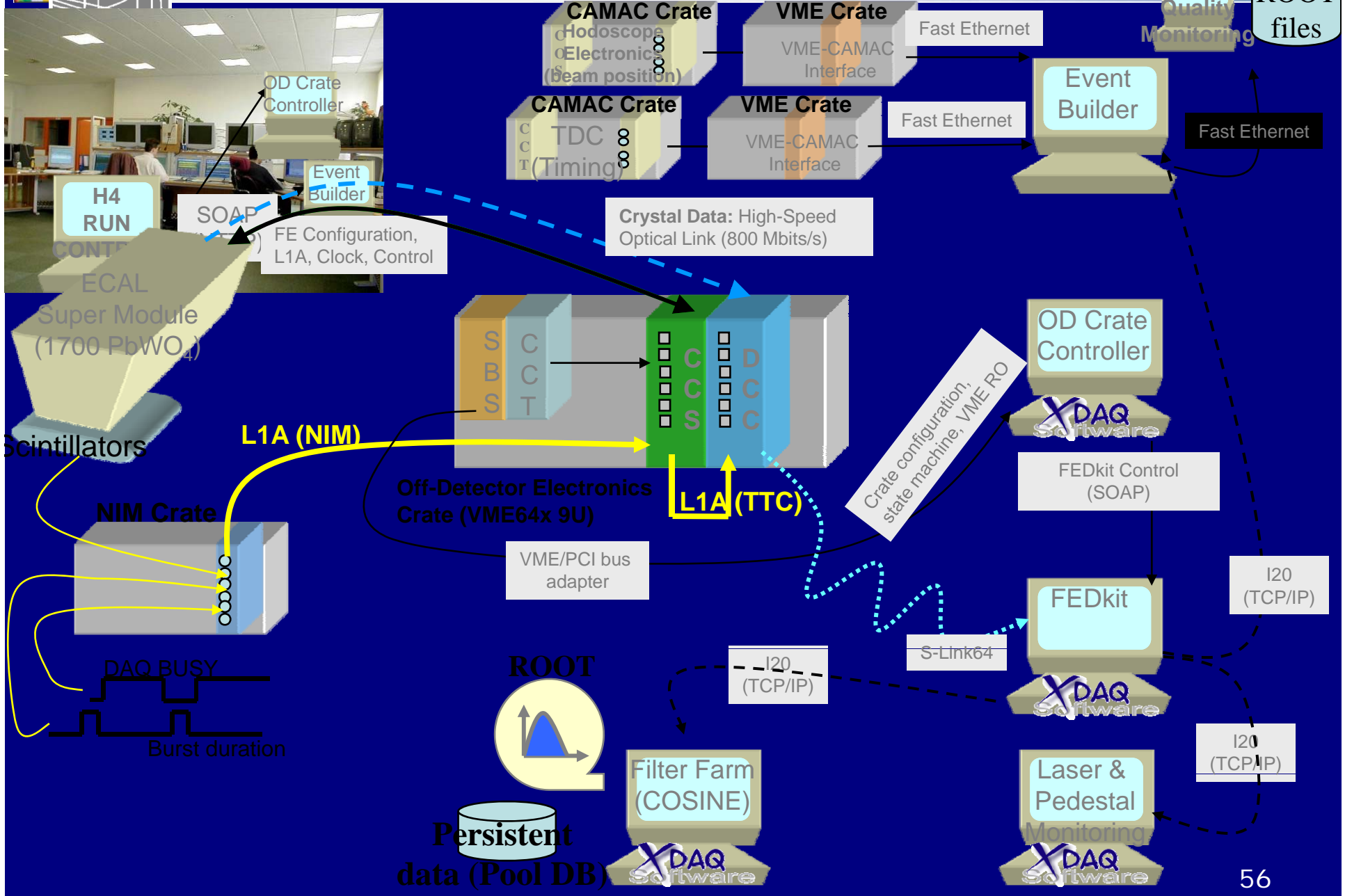
**ECAL Trigger and Data  
Acquisition Hardware  
installed in the  
Underground Cavern**

**LIP, LLR (França)**





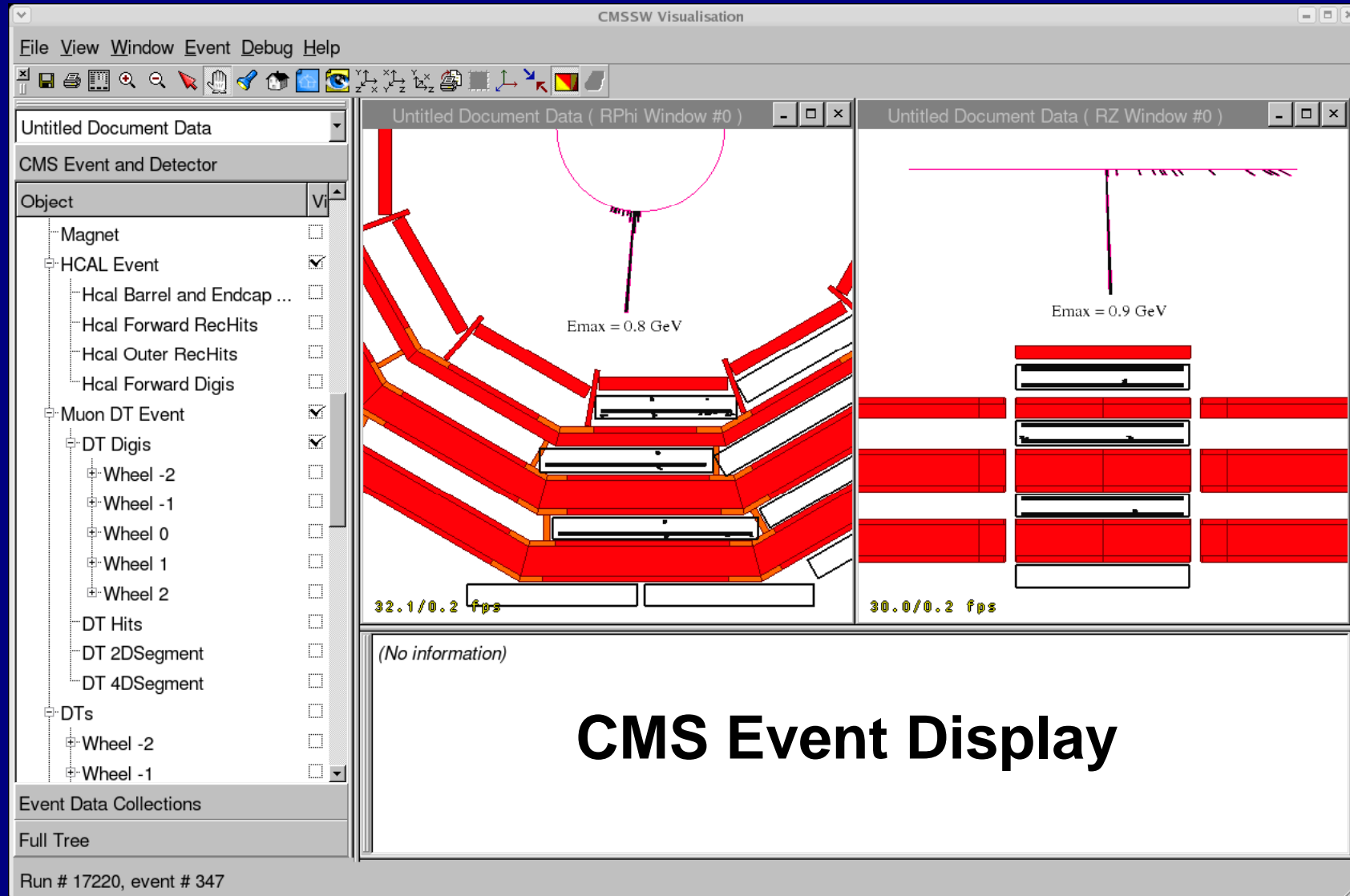
# ECAL Data Acquisition Software





# Cosmic Muon seen in ECAL and DT

## CMS Global Run in August 07

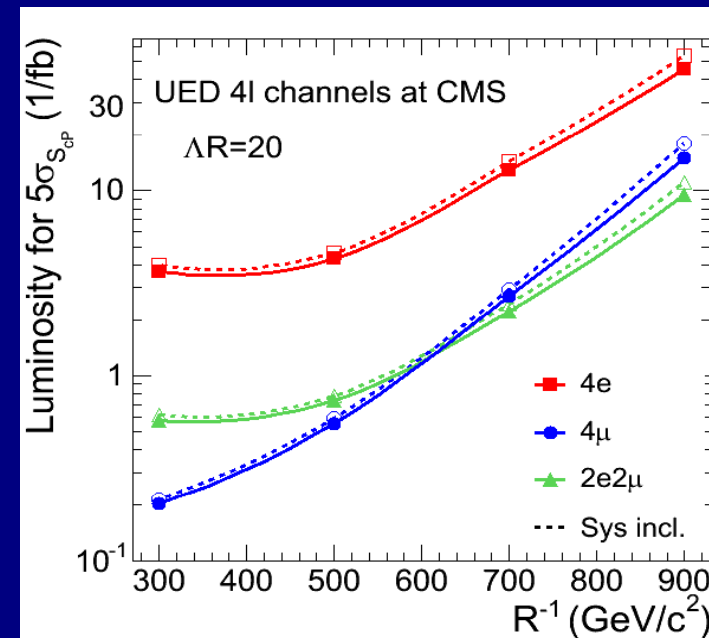
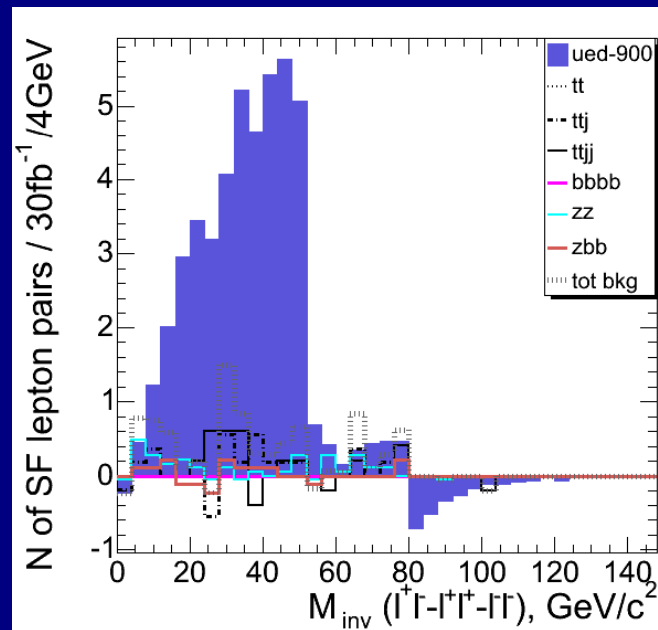


## CMS Event Display



# Physics Analysis

- Search for Extra-Dimensions in 4 lepton final states
- Studies of top quark decays in the dilepton channel
- Tau lepton identification with the CMS detector
- Heavy ion physics: study of quarkonia production



Study of Universal Extra Dimensions (UED) signals in 4e, 4  $\mu$  and 2e2 $\mu$  final states.



# Indústria Nacional em CMS

EUROISO, Lisboa

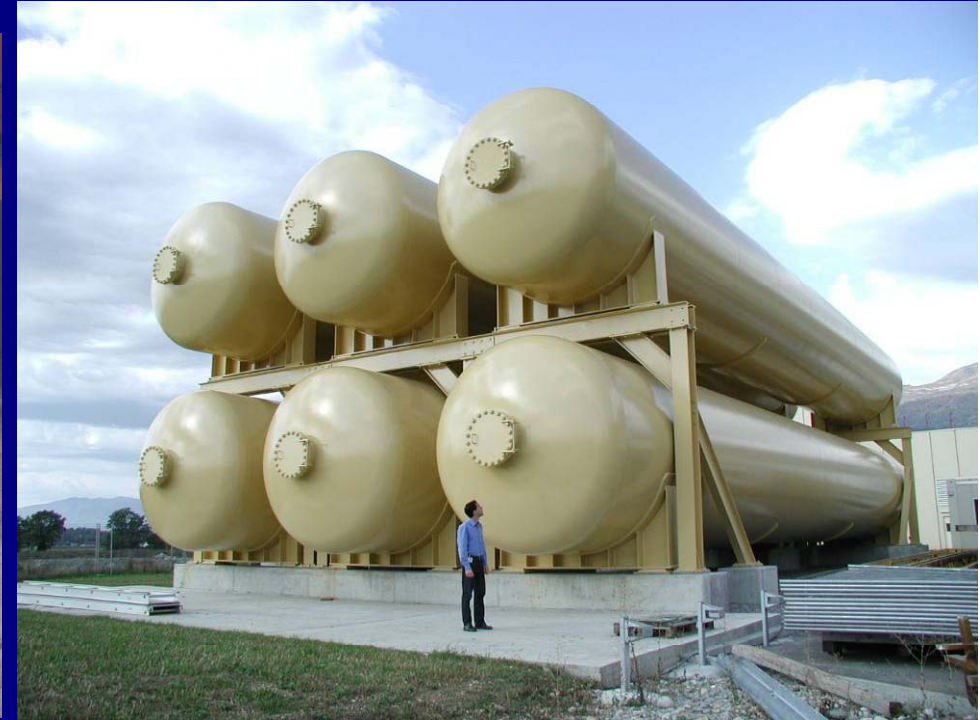
A.Silva Matos SA



**Grease Pads**

**Sistema de posicionamento dos anéis CMS**

**Metalomecânica**



**Tanques de Hélio**

**Solenóide Supercondutor**

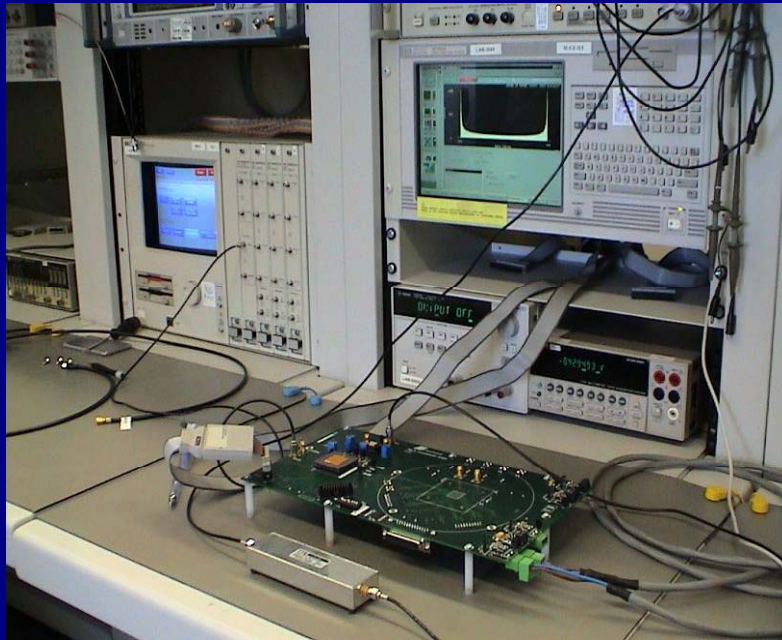




# Indústria Nacional em CMS

Chipidea, Taguspark

INEGI, Porto



## ADC 40MHz 12-bit

Tecnologia radhard 0.25 $\mu$ m CMOS

ECAL Front-End System

100000 chips

*Em colaboração com LIP e CERN*



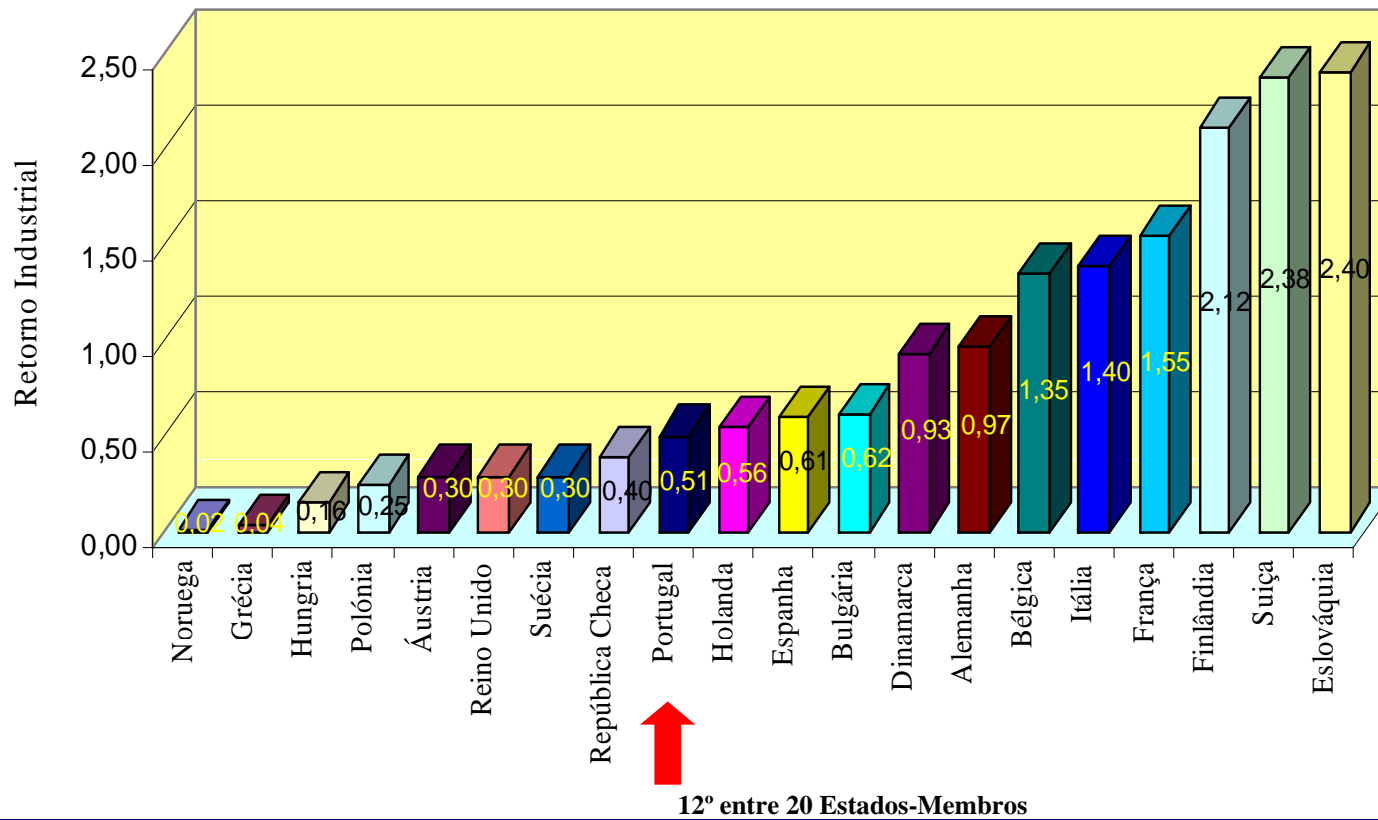
## Muon Alignment Supports (MAB)

High precision carbon fiber

*Em colaboração com LIP e CERN*

# BENEFÍCIO INDUSTRIAL COMPARADO

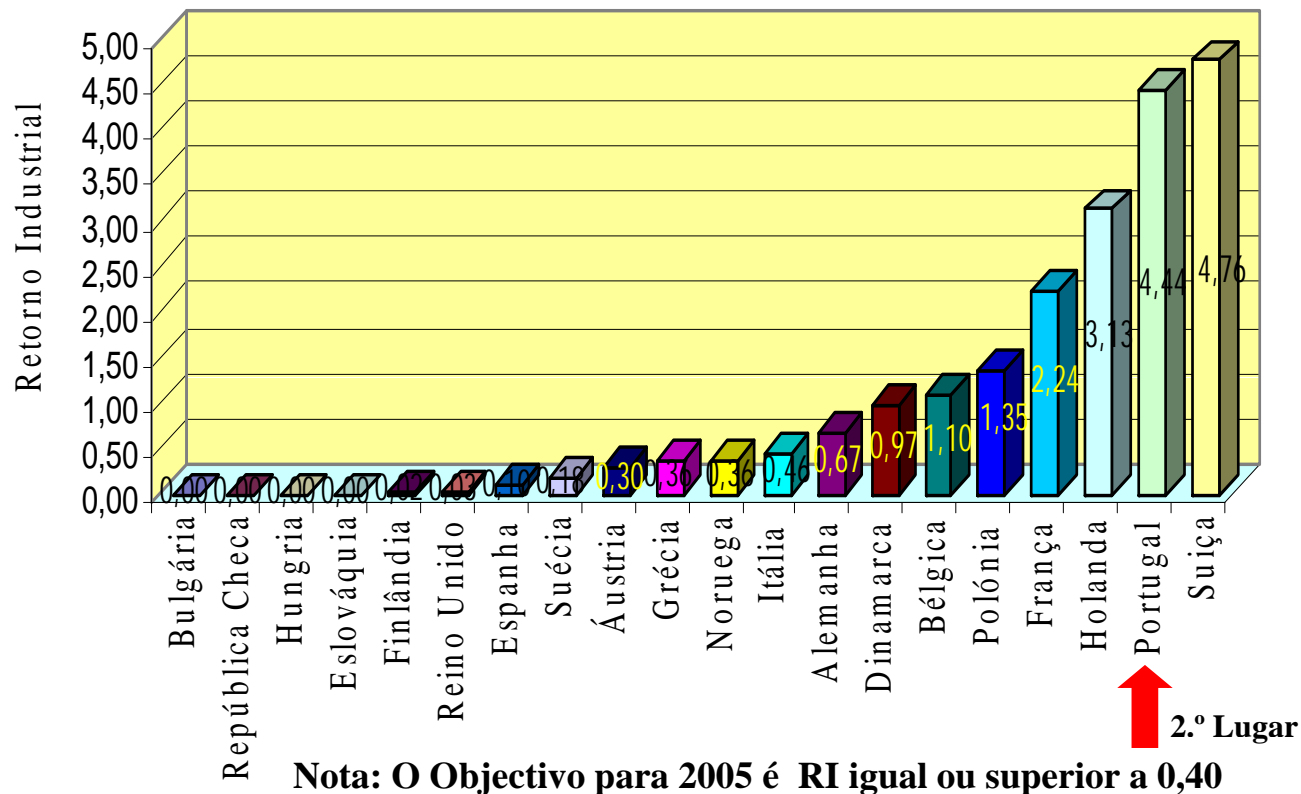
**(BENS)**  
**(BASEADO NOS RESULTADOS DE 2005)**





# BENEFÍCIO INDUSTRIAL COMPARADO

## (SERVIÇOS) (BASEADO NOS RESULTADOS DE 2005)



# Colisão no Detector CMS

A simulation of a particle collision in the CMS detector. The image shows a central core of red and yellow particles, with numerous tracks radiating outwards in various directions. The tracks are colored in shades of yellow, orange, and red, and are set against a dark background with scattered blue and white points. The overall appearance is that of a complex, multi-directional particle event.

Por enquanto é uma simulação.

No próximo ano é a sério!