



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO
E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS
partículas e tecnologia

[High-Luminosity LHC]

Desafios e oportunidades no
upgrade do Grande Colisionador
de Hadrões do CERN

[Sumário]

- Portugal e o CERN
 - O LHC e as experiências ATLAS e CMS
 - Triunfos e perguntas em aberto
 - Preparar o futuro: o High-Luminosity LHC (HL-LHC)
-
- Portugal no HL-LHC
 - Conclusões



CERN: fundado em 1954 por 12 estados europeus

Hoje um **laboratório global**: 22 membros, 7 associados, e mais >40 países

Orçamento (2016) ~1100 MCHF: contribuição segundo rendimento nacional líquido

Portugal tornou-se membro do CERN em 1986 (~ 1.1% do orçamento): **criação do LIP**

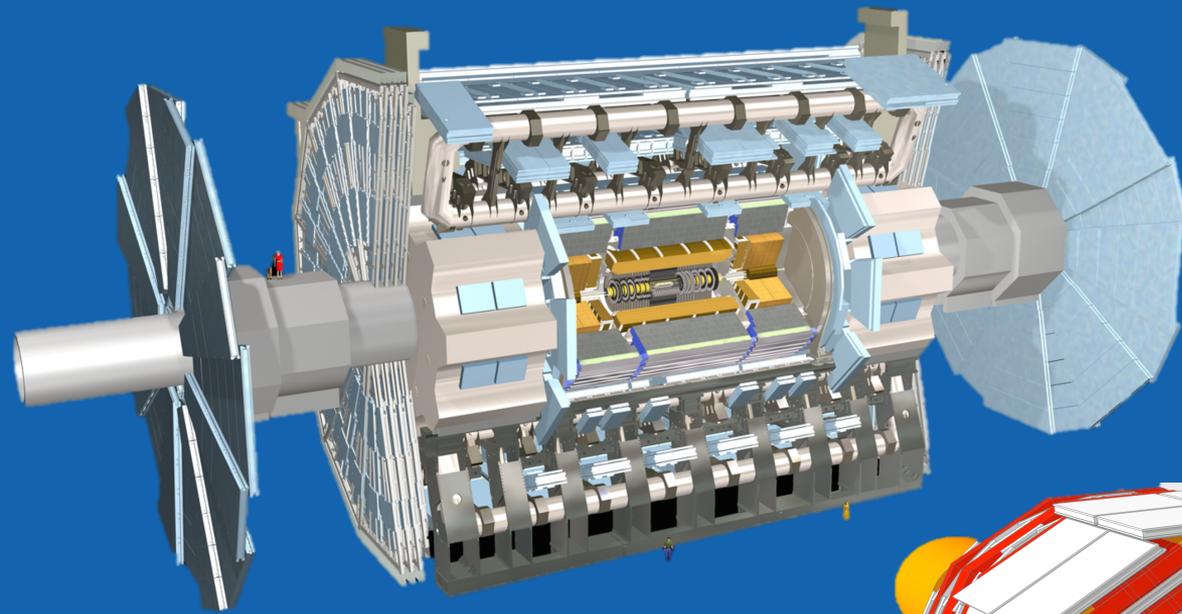


CMS

ATLAS

CERN

O Large Hadron Collider (LHC):
Colide feixes de prótons ou íons pesados
Energia de colisão p-p:
Run 1 (2009 – 2013): 7/8 TeV
Run 2 (2015 – 2018): 13 TeV
Luminosidade: $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (2x nominal!)

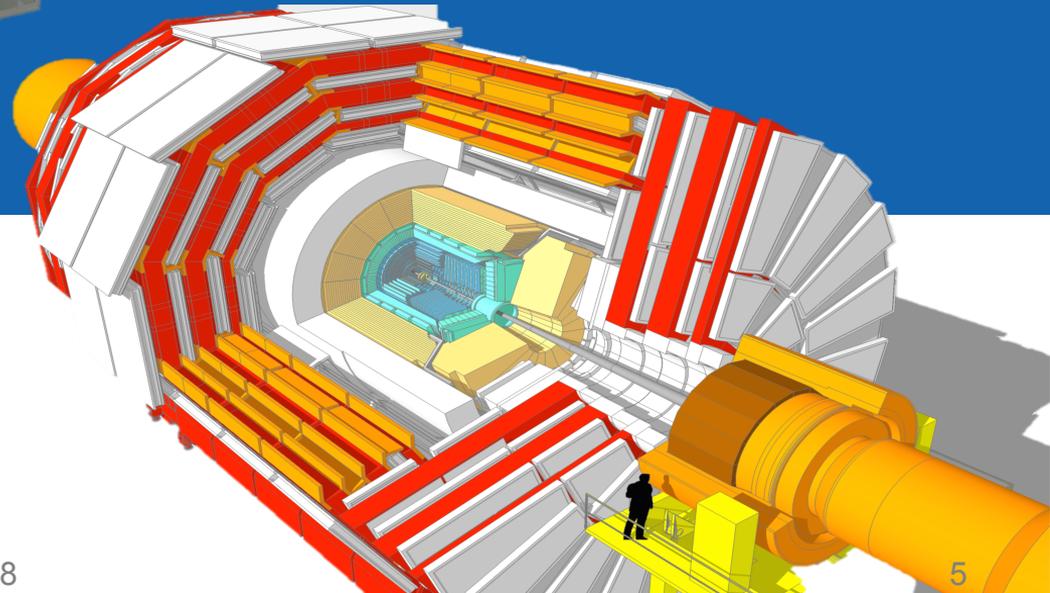


ATLAS

3000 colaboradores

175 institutos de 38 países

$L = 44 \text{ m}$, $\varnothing \approx 25 \text{ m}$, 7 000 t

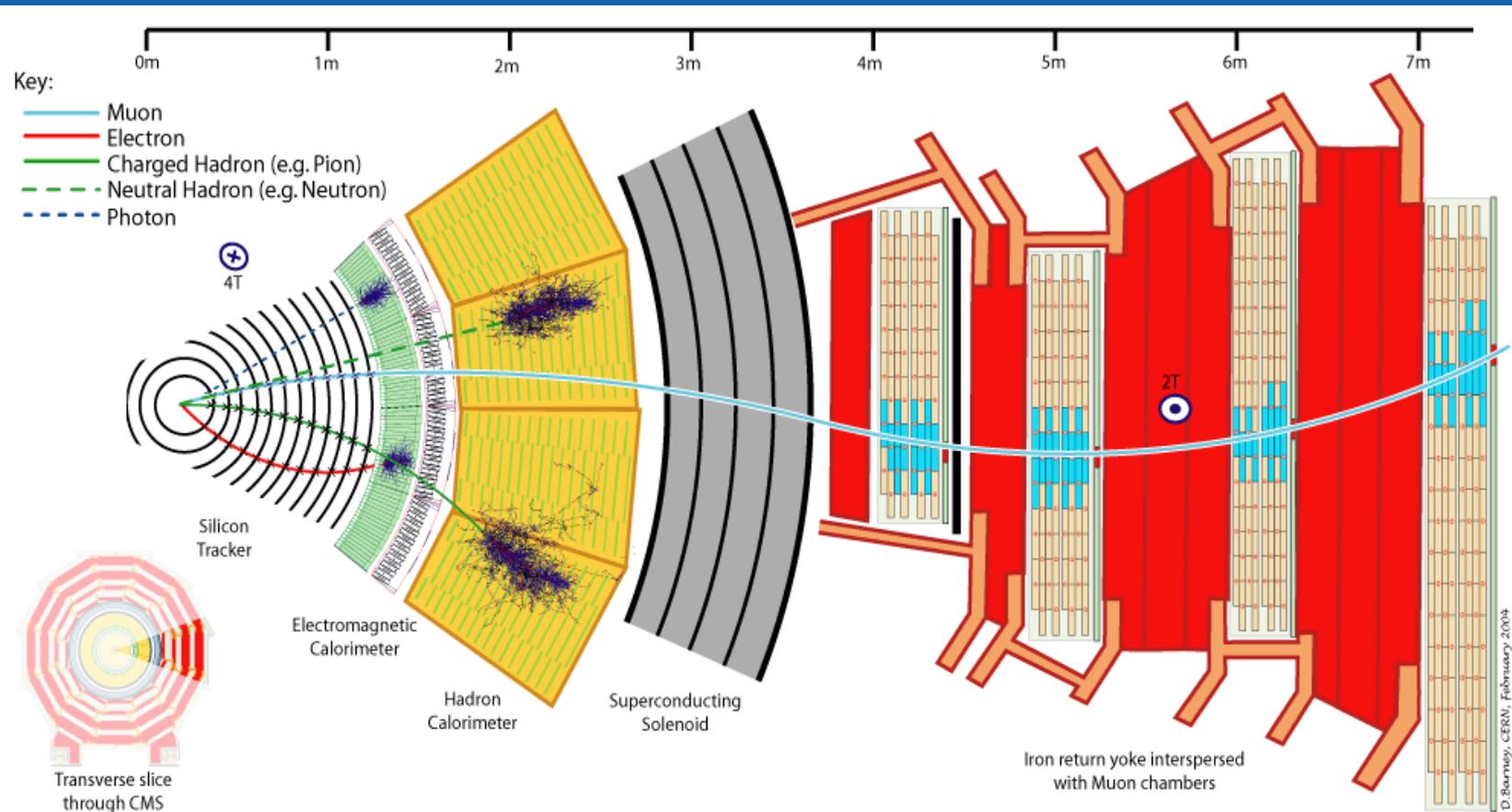


CMS

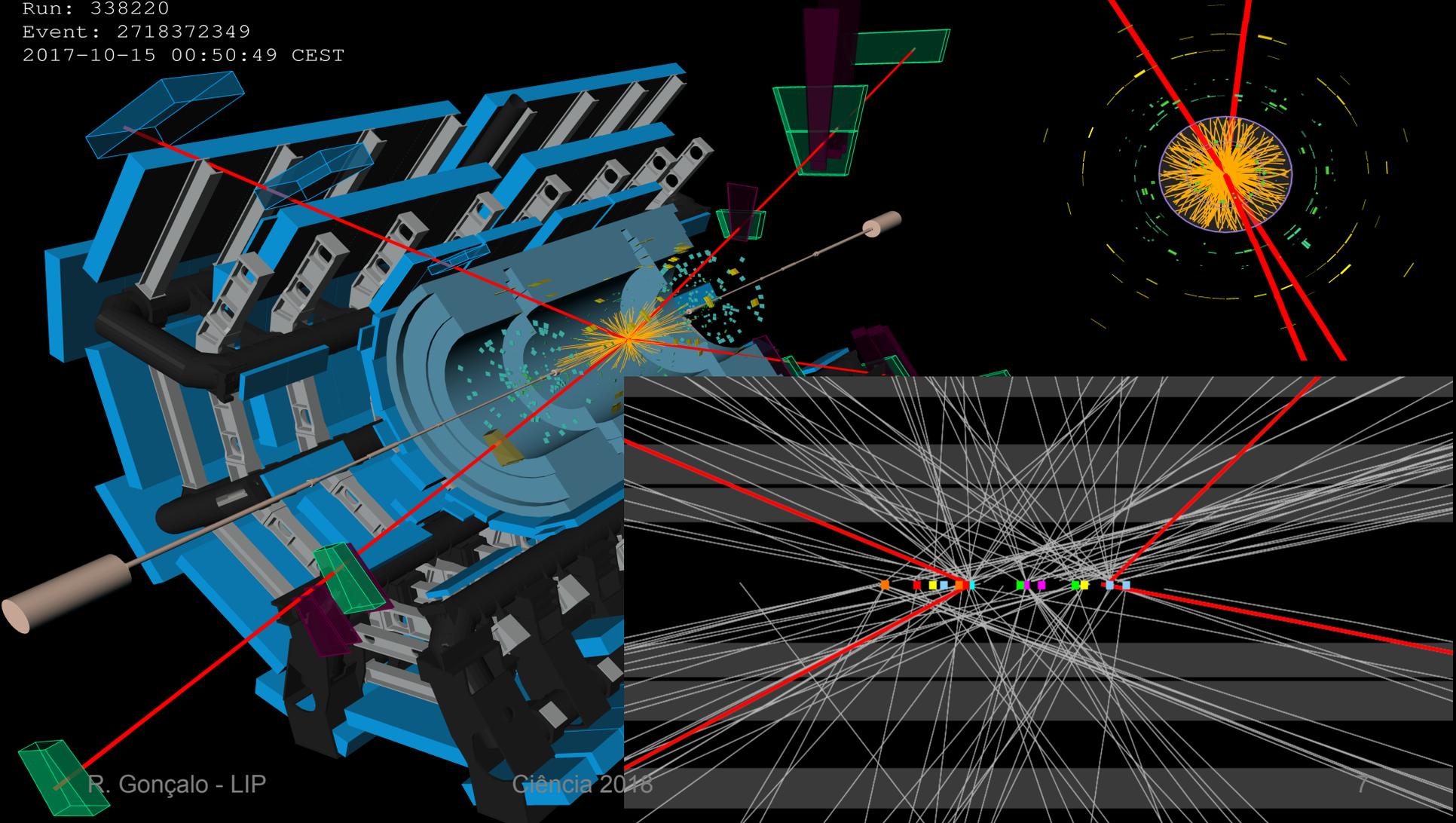
3800 colaboradores

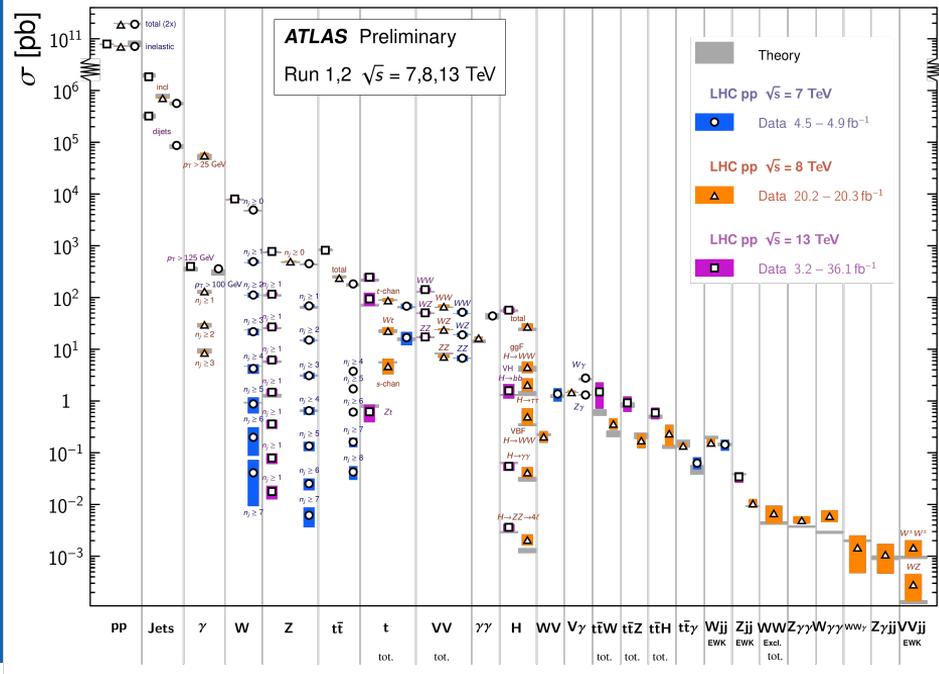
199 institutos de 43 países

$L = 22 \text{ m}$, $\varnothing \approx 15 \text{ m}$, 14 000 t



Run: 338220
Event: 2718372349
2017-10-15 00:50:49 CEST





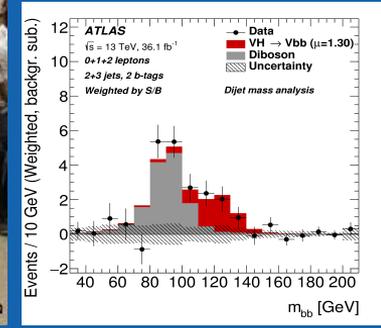
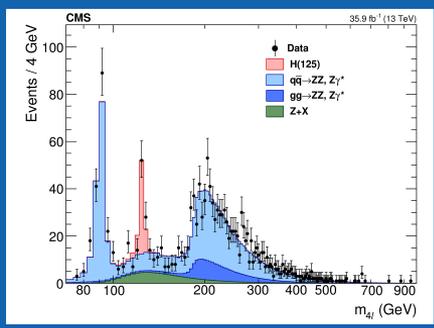
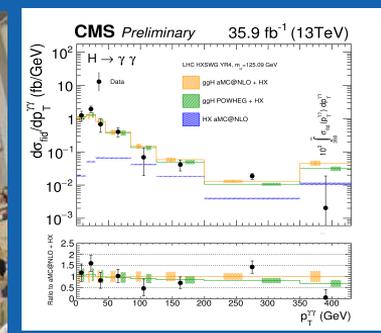
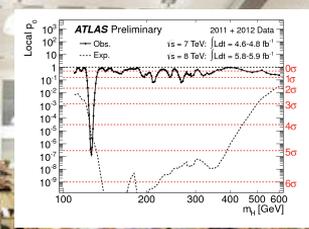
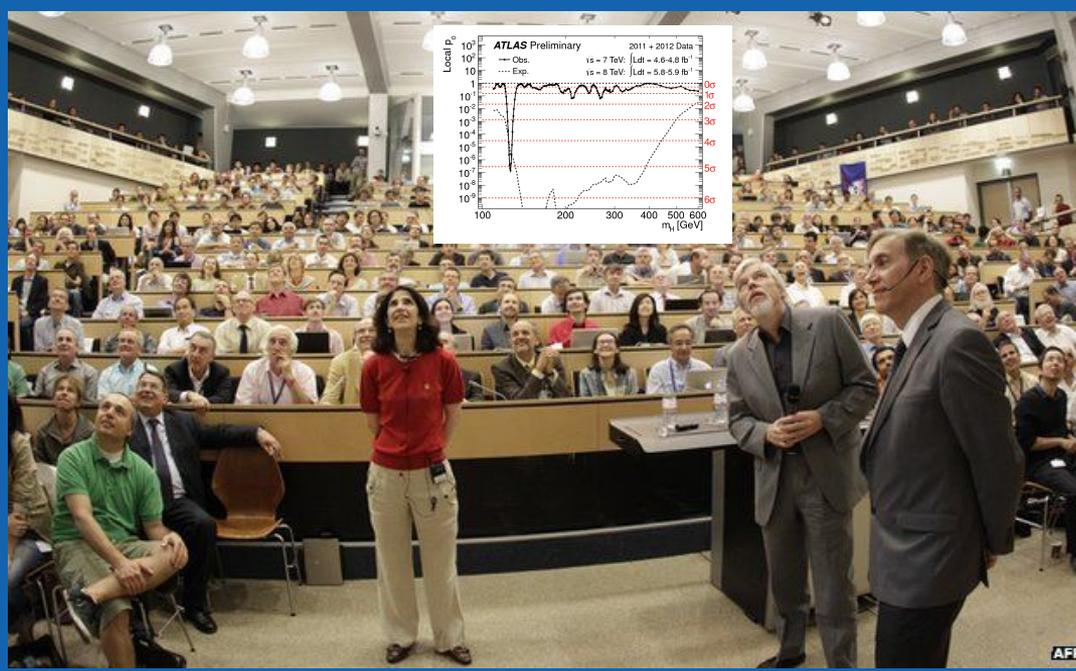
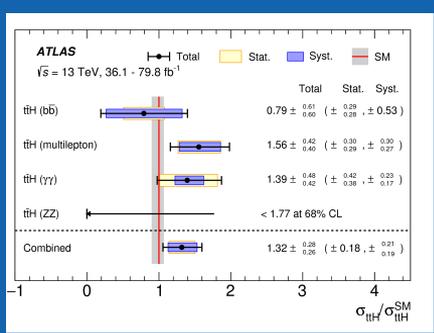
Cerca de **700** artigos científicos publicados por cada colaboração:

Medindo com precisão os parâmetros do **Modelo Padrão** da física de partículas

Recriando e estudando o **Plasma de Quarks e Gluões** do universo primordial

Estudando o **Bosão de Higgs** – peça final do Modelo Padrão e janela para nova física

Explorando muitas possibilidades de **nova física** que sabemos existir na Natureza



Bosão de Higgs descoberto em 2012 – 1ª partícula fundamental desde quark top (1995)
 Participámos na descoberta em várias análises (H→WW, $\gamma\gamma$, bb) para além da construção e operação dos detetores, computação, etc, e continuamos as medidas
 Massa do bosão de Higgs medida com precisão de $\approx 0.2\%$
 Observação clara de acoplamento a leptões (τ) e quarks (top) – **nos últimos meses!**

[Necessidade do HL-LHC]

Temos muitas indicações da existência de física nova não incluída no Modelo Padrão:

- Assimetria matéria-antimatéria no Universo
- O que é a matéria escura?
- E a energia escura?
- Etc...

Não encontramos ainda sinais de nova física no LHC.

Para procurar com precisão precisamos de mais **Luminosidade**

Descobrimos o Higgs, mas algumas propriedades importantes continuam inacessíveis por falta de dados: **motivação forte para o HL-LHC**



“Há mais coisas no céu e na terra, Horácio, do que sonha a tua filosofia.”

W. Shakespeare

[LHC Upgrades]

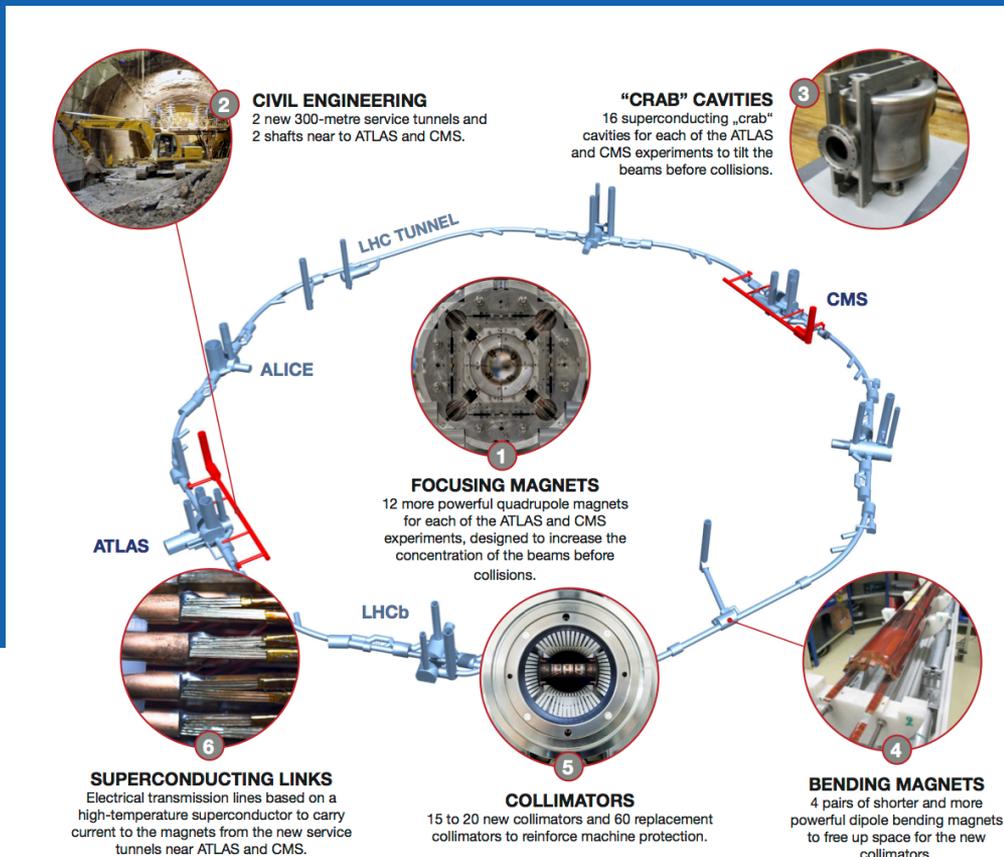
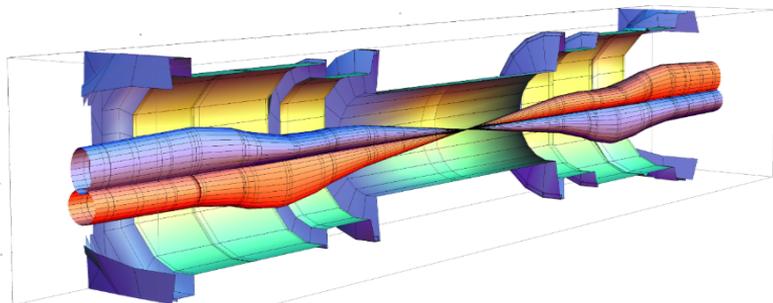
Desenvolvimento de nova geração de ímãs supercondutores (Nb_3Sn):

- 13.5 T em vez de 8 T (LHC, NbTi)

Desenvolvimento de “crab cavities”

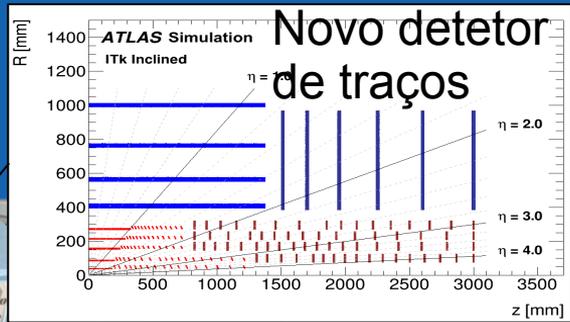
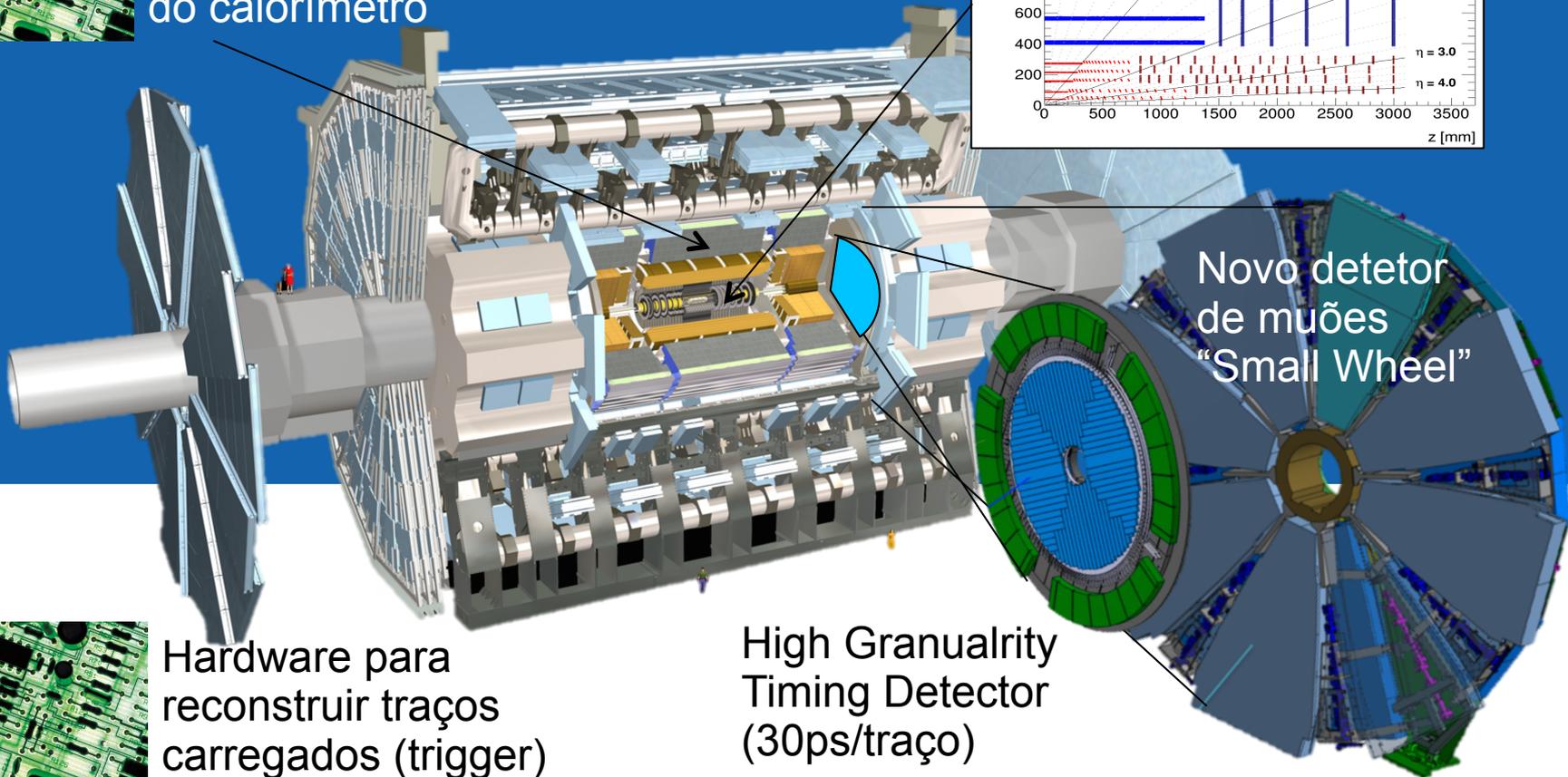
- Aumentam eficiência das colisões

Colimadores, conectores, eng. civil, etc



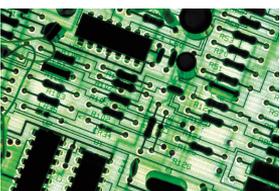


Nova eletrônica, fontes de alta tensão e cintiladores do calorímetro



Novo detector de traços

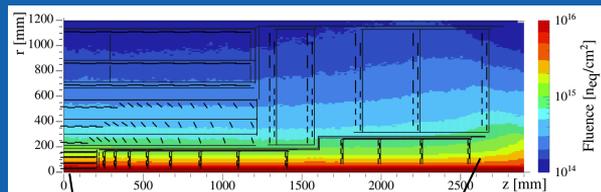
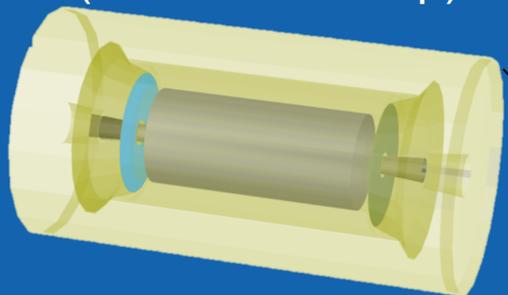
Novo detector de muões "Small Wheel"



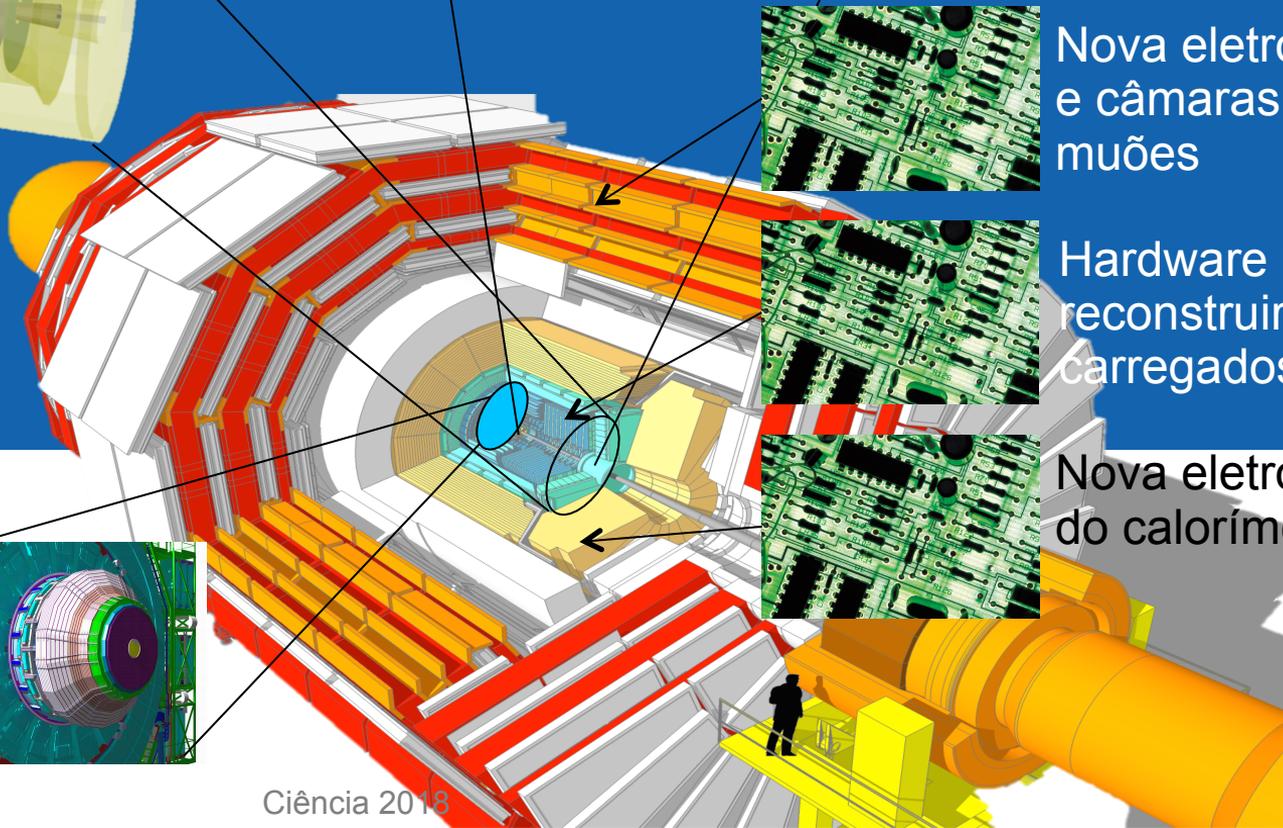
Hardware para reconstruir traços carregados (trigger)

High Granularity Timing Detector (30ps/traço)

Novo MIP Timing Detector (Barrel & Endcap)



Substituição
do detetor de
traços

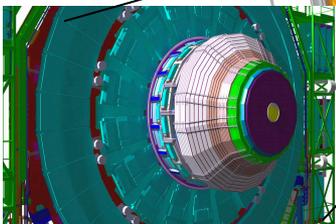


Nova eletrônica
e câmaras de
muões

Hardware para
reconstruir traços
carregados (trigger)

Nova eletrônica
do calorímetro

Novo High Granularity Calorimeter



[Portugal e o HL-LHC]

ATLAS: calorímetro e trigger

Calorímetro hadrónico: LIP responsável pela construção e produção das novas **fontes de alta tensão** do calorímetro hadrónico de ATLAS; cintiladores

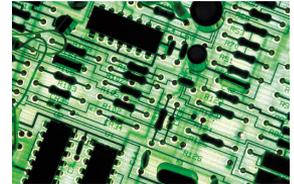
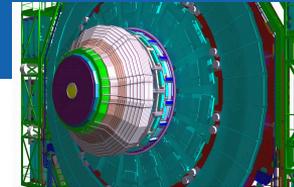
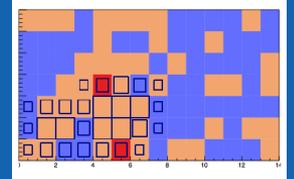
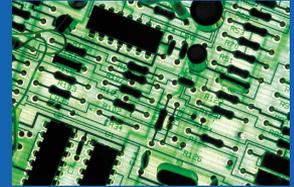
Trigger: desenvolvimento de **algoritmos** para reconstrução rápida no calorímetro usando GPUs; possível participação na construção de hardware para reconstrução de traços carregados no trigger de alto nível

CMS: calorímetro e detetor de timing

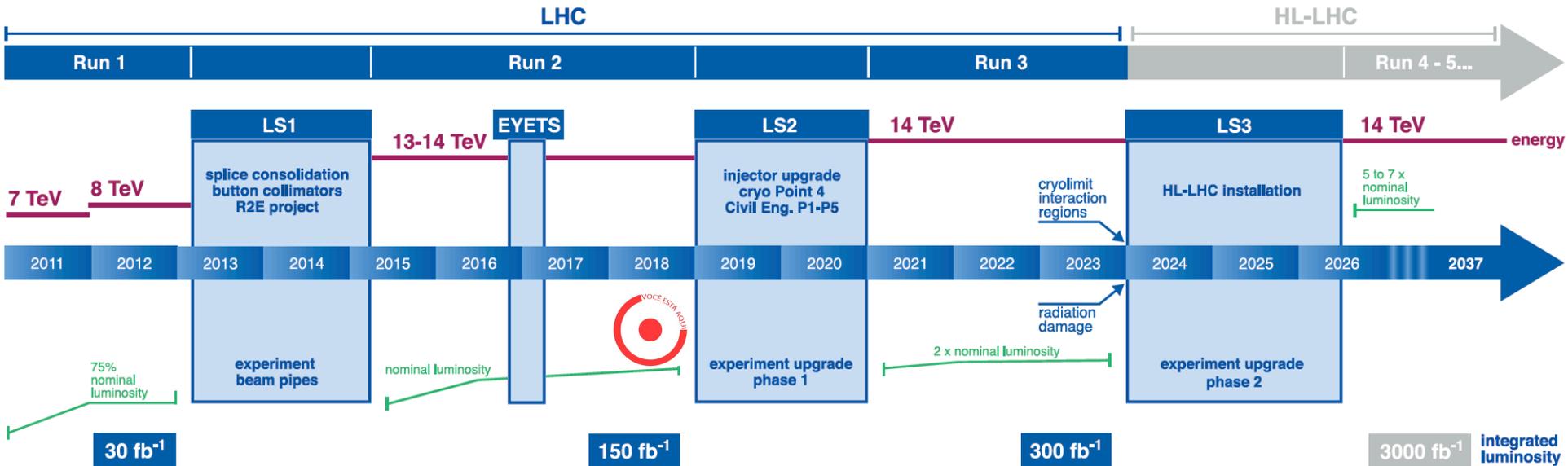
MIP Timing Detector: LIP responsável por R&D e entrega de 20 000 Time-of-Flight ASICs para Barrel Timing Layer

Barrel Electromagnetic Calorimeter: participação no R&D e construção da electrónica de leitura do calorímetro electromagnético

High Granularity Calorimeter: LIP responsável pelo desenvolvimento de um chip Low Voltage Regulator ASIC



LHC / HL-LHC Plan



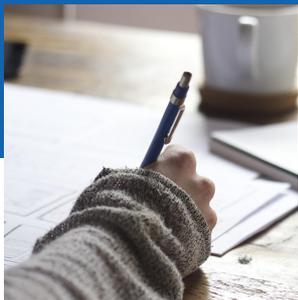
Melhoramentos das experiências cruciais para funcionar no ambiente do HL-LHC
Alguns em construção, muitos em fase de R&D
Vão permitir acumular dados únicos na fronteira da alta energia durante 10 anos

[Conclusões]

- O LHC e as experiências ATLAS e CMS foram construídos para explorar a fronteira da física de partículas e procurar o Higgs: são uma história de sucesso!
- Para continuar a explorar os limites do infinitesimalmente pequeno é essencial um upgrade de fundo do LHC: o **HL-LHC**
- Portugal, através do LIP, está envolvido em ATLAS e CMS desde o início e fez grandes contribuições para cada experiência: R&D, construção e física
- Estamos já envolvidos no projeto do HL-LHC com responsabilidades no R&D e na construção de novos componentes em colaboração com a indústria portuguesa

Este envolvimento é estratégico!

- Para o desenvolvimento e transferência de competências e tecnologia
- Para a nossa participação ao mais alto nível nas futuras descobertas na fronteira da física de partículas!



Obrigado pela vossa atenção!

Perguntas?

geral@lip.pt

jgoncalo@lip.pt

Agradecimento: computação realizada com o apoio da INCD (www.incd.pt)



Cofinanciado por:



[Bonus slides]



[Luminosidade]

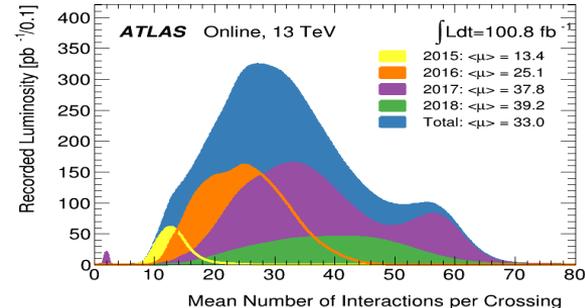
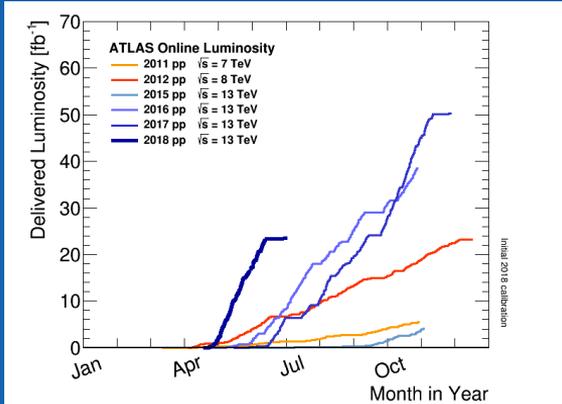
Luminosidade instantânea:

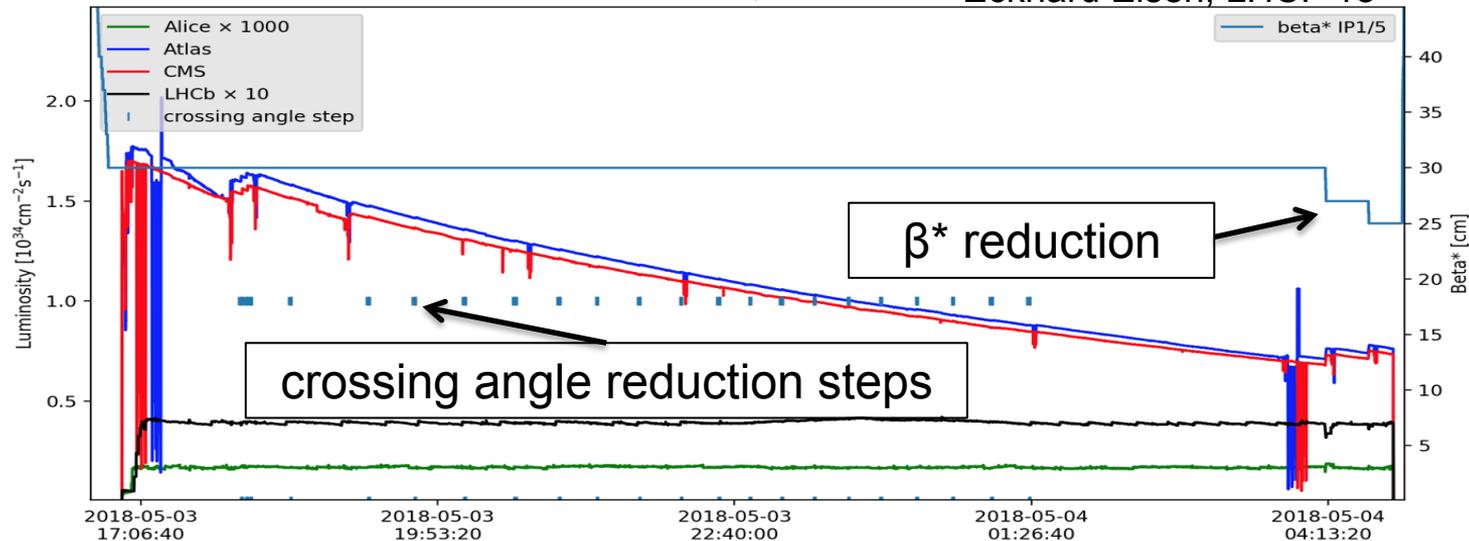
- Medida da taxa de colisões nas experiências (unidades: $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
- Hoje: $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ – 2x o valor nominal do LHC
- Pileup: cerca de 40 colisões simultâneas de prótons em cada experiência (40 MHz)
- Alta luminosidade (HL-LHC): aumento de 5x a 7x

Luminosidade integrada:

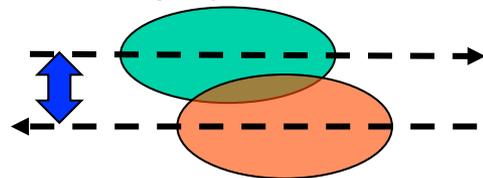
- Medida de quantidade de colisões acumuladas (barn, $1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^{-2}$)
- LHC: 300 fb^{-1} esperados até ao fim de 2023 (Run 3)
- Alta luminosidade (HL-LHC): 3000 a 4000 fb^{-1} até cerca de 2035
- Pileup: 140 – 200 colisões simultâneas de prótons em cada experiência (40 MHz)
- **Exige melhoramentos ao acelerador e às experiências**

$$\mathcal{L} = f \frac{n_1 n_2}{4\pi\sigma_x\sigma_y}$$

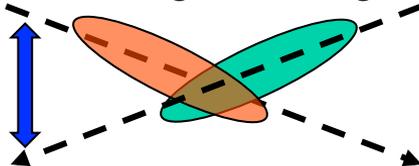




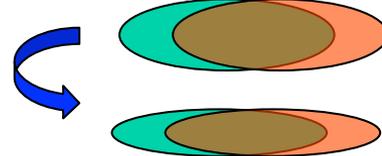
Leveling by beam offset



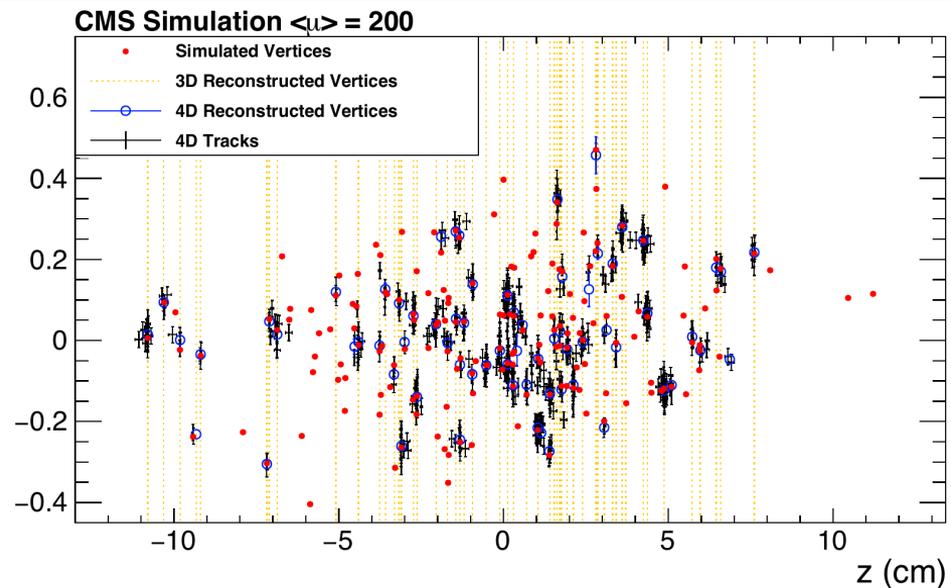
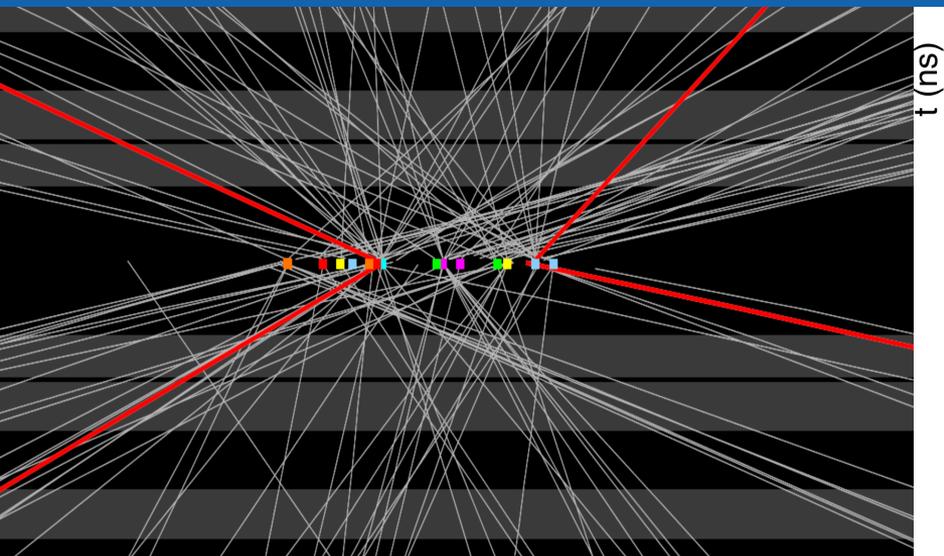
Anti-leveling: crossing angle



Anti-leveling: β^* reduction



Suprimir pileup usando resolução em tempo





- ❑ Portugal joined CERN as a Member State in 1986
- ❑ The Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) was created at the same time to carry out all activities related to experimental particle physics, involving researchers coming from universities as well as LIP's own scientific staff
- ❑ Strong participation in LHC (ATLAS, CMS) and non-LHC (CLOUD, COMPASS, ISOLDE, nTOF) programme and strong partner in the GRID
- ❑ LIP is very strong in instrumentation R&D and very active in R&D programmes for medical application (Clear PEM, PET consortium)
- ❑ Training/Education:
 - ❑ Excellent example of engineer training programme
 - ❑ Very successful teacher training and outreach programmes



Contributions to the ATLAS and CMS experiments at LHC



LIP is a member of ATLAS since 1992

Major role in the construction of the **TileCal Hadron Calorimeter** and **Trigger/Data Acquisition** system, in collaboration with industry and technology institutes



Robot for fiber insertion.
600 000 fibers inserted in Lisbon and later in Coimbra



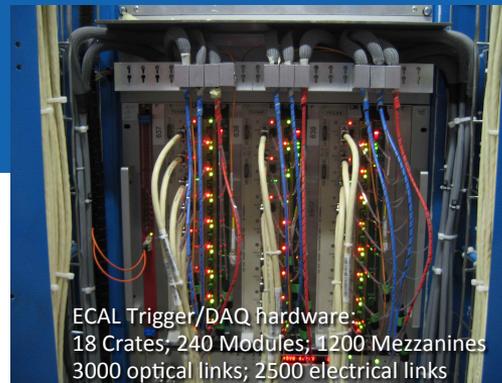
WLS optical fibers routing.
Fiber aluminization done in Lisbon

Detector Commissioning and Operation
Data analysis
Tier-2 at LIP

LIP is a member of CMS since 1992



Major role in the construction of the **Trigger and Data Acquisition** of the **Electromagnetic Calorimeter**, in collaboration with industry and technology institutes



ECAL Trigger/DAQ hardware:
18 Crates; 240 Modules; 1200 Mezzanines
3000 optical links; 2500 electrical links

Detector Commissioning and Operation
Data analysis