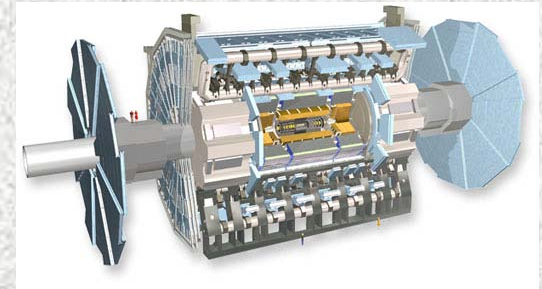




O Detector ATLAS e a Participação Portuguesa



António Onofre
LIP / Universidade do Minho





...não é apenas um detector complexo, mas uma grande comunidade de físicos, engenheiros e estudantes!



Agosto 2010:

- ~ 3000 cientistas, de
- 174 instituições, de
- 38 países
- de todos os continentes





Pequena fracção dos colaboradores de ATLAS



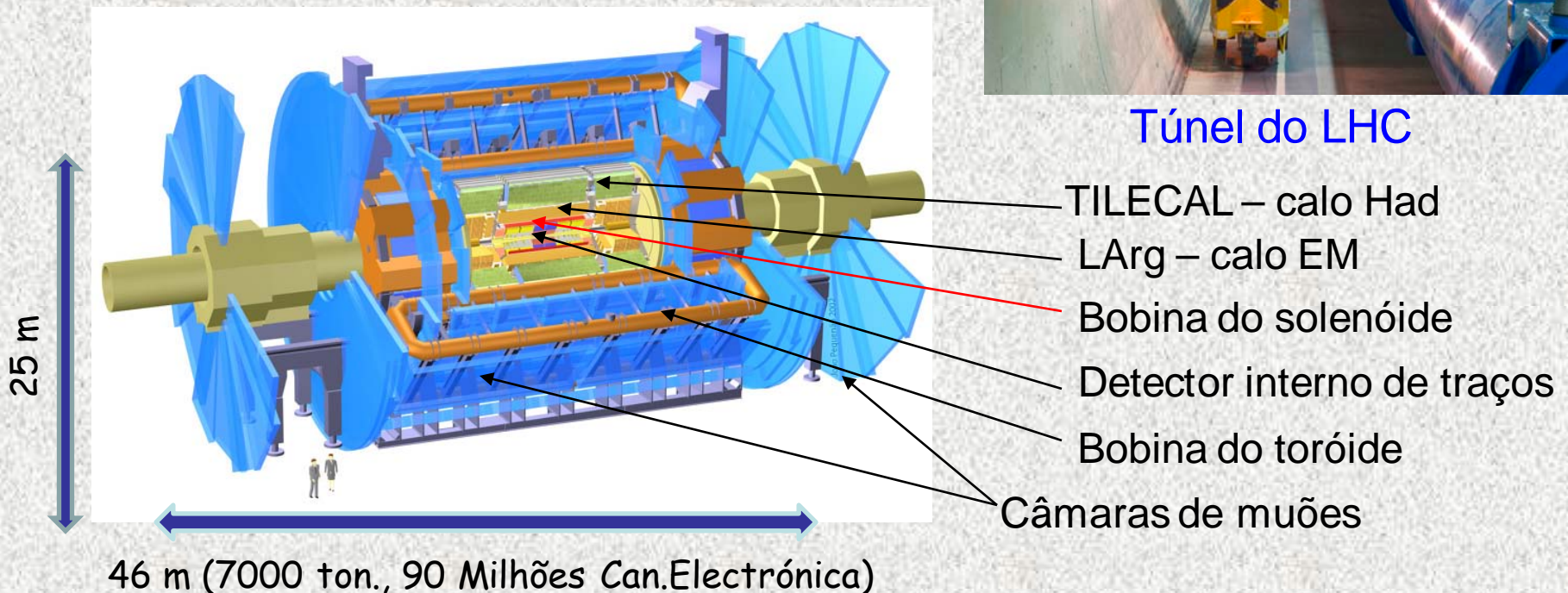


O Detector ATLAS

O detector ATLAS encontra-se em funcionamento no LHC, onde colide feixes de prótons, cada um com energia de 3.5 TeV (i.e. energia de centro de massa 7TeV)



Túnel do LHC

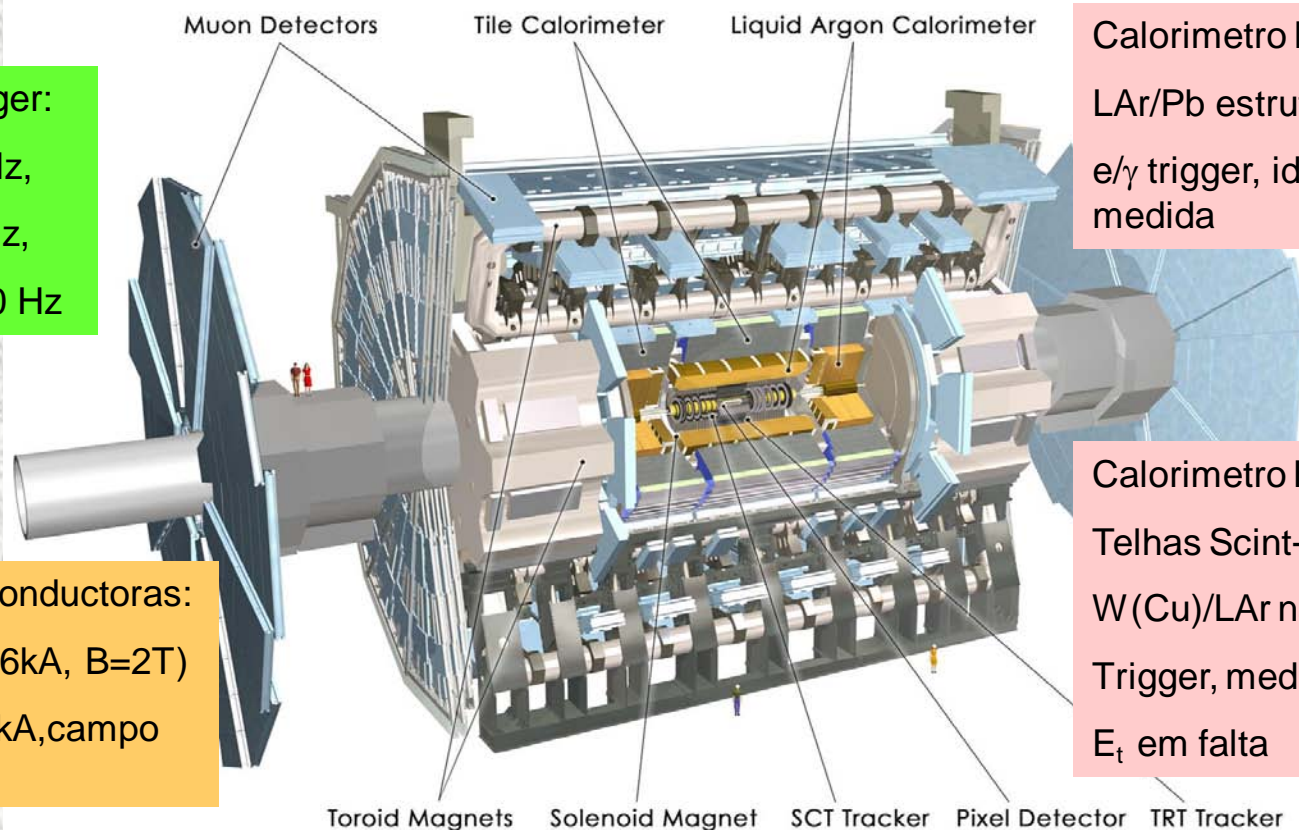




Espectrómetro de muões ($|\eta| < 2.7$), 3 camadas de câmaras de muões:
trigger e reconstrução do momento linear dos muões

• 3 níveis de trigger:
Colisões a 40MHz,
→ LV1 até 75kHz,
→ LV2+EF ~300 Hz

Bobinas Super-conductoras:
→ Solenoide (7.6kA, $B=2T$)
→ Toróides (22 kA, campo máximo até 4T)



Calorimetro Electromagnético:
LAr/Pb estrutura de acordeão
e/ γ trigger, identificação+ medida

Calorimetro Hadrónico:
Telhas Scint+Fe (TileCal),
W(Cu)/LAr na região fwd
Trigger, medida de jatos +
 E_t em falta

Detector Interno: $\sim 10^8$ Si Pixéis, $6 \cdot 10^6$ Si Strips, Detector de Radiação de Transição (TRT) :
Reconstrução precisa de vértices, separação e/ π

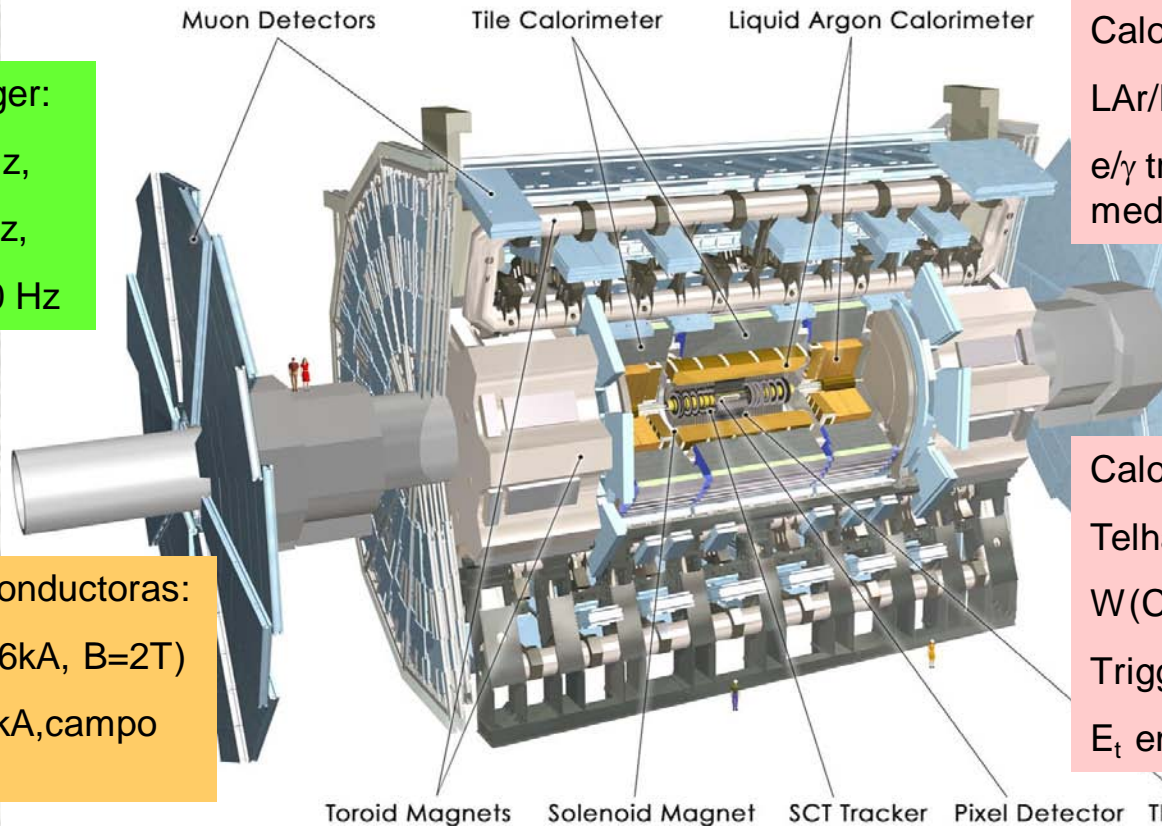




Espectrómetro de muões ($\eta < 2.7$), 3 camadas de câmaras de muões:
trigger e reconstrução do momento linear dos muões

$\Delta p/p < 10\%$ até 1 TeV

• 3 níveis de trigger:
Colisões a 40MHz,
→ LV1 até 75kHz,
→ LV2+EF ~300 Hz



Calorímetro Electromagnético:
LAr/Pb estrutura de acordeão
e/γ trigger, identificação+
medida

$\sigma/E \sim 10\%/\sqrt{E} \oplus 0.7\%$

Calorímetro Hadrónico:
Telhas Scint+Fe (TileCal),
W(Cu)/LAr na região fwd
Trigger, medida de jatos +
 E_t em falta

$\sigma/E \sim 50\%/\sqrt{E} \oplus 0.03$

Bobinas Super-conductoras:
→ Solenoide (7.6kA, B=2T)
→ Toróides (22 kA, campo
máximo até 4T)

Detector Interno: $\sim 10^8$ Si Pixéis, $6 \cdot 10^6$ Si Strips, Detector de Radiação de Transição (TRT) :

Reconstrução precisa de vértices, separação e/π

Tracking: resolução $\Delta p_t/p_t < 0.05\%$ $p_T \oplus 1\%$





Percentagem de sub-detectores de ATLAS em funcionamento (fim de Junho 2010):

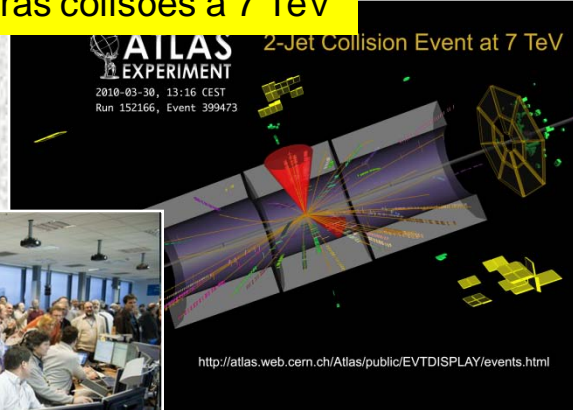
Sub-Detector	Number of channels	Approx. operational fraction (%)
Pixels	80 M	97.4
SCT Silicon Strips	6.3 M	99.2
TRT Transition Rad. Tracker	350 k	98.0
LAr EM Calorimeter	170 k	98.5
Tile Calorimeter	9800	97.3
Hadronic Endcap LAr Calorimeter	5600	99.9
Forward LAr Calorimeter	3500	100
LV1 Calo Trigger	7160	99.9
LV1 Muon RPC Trigger	370 k	99.5
LV1 Muon TGC Trigger	320 k	100
MDT Monitored Drift Tubes	350 k	99.7
CSC Cathode Strip Chambers	31 k	98.5
RPC Barrel Muon Chambers	370 k	97.0
TGC Endcap Muon Chambers	320 k	98.6

Mais de 97% de todos os sub-detectores de ATLAS estão operacionais. A performance global do detector é muito boa

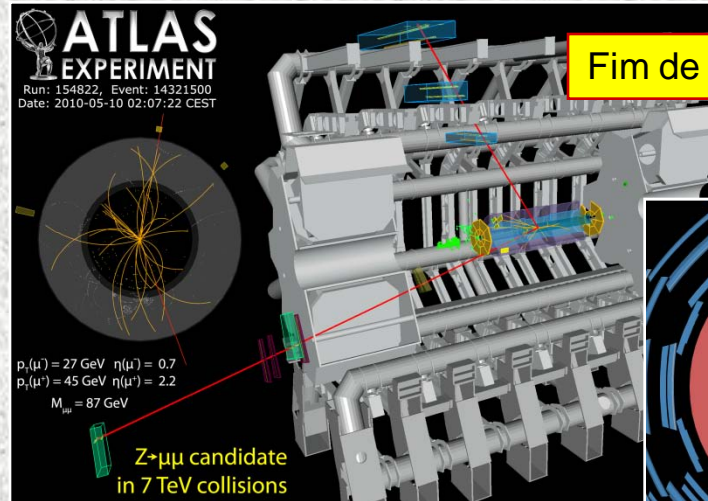
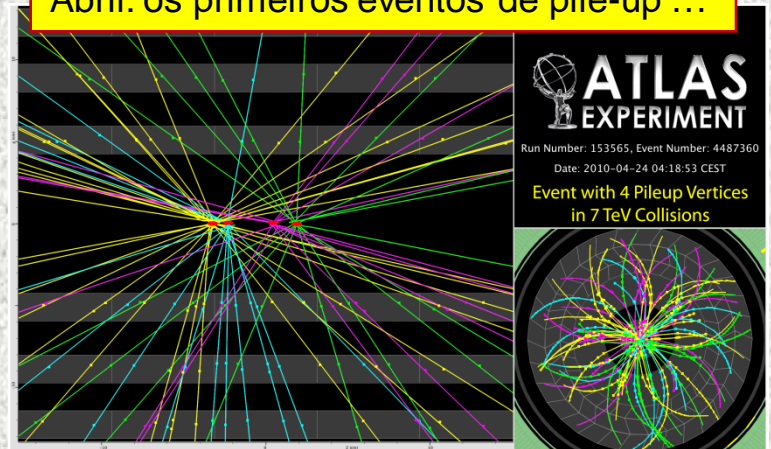




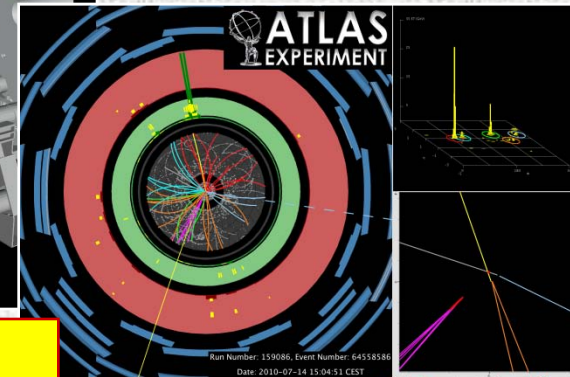
30 Março: Primeiras colisões a 7 TeV



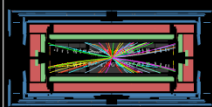
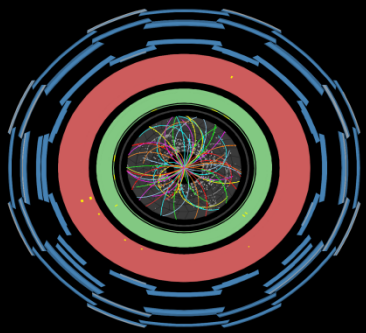
Abril: os primeiros eventos de pile-up ...



Fim de Maio: candidato Z to mu mu ...



Julho: candidato t to jets + e (1º candidato do top foi na realidade observado no dia 25 de Maio)





Alguns dos objectivos da experiência ATLAS

- Procurar o bosão de Higgs
- Procurar partículas supersimétricas
- Procurar dimensões extras e buracos negros
- Procurar outras partículas exóticas previstas por modelos não menos exóticos (Z' , W' , Leptoquarks, etc.)

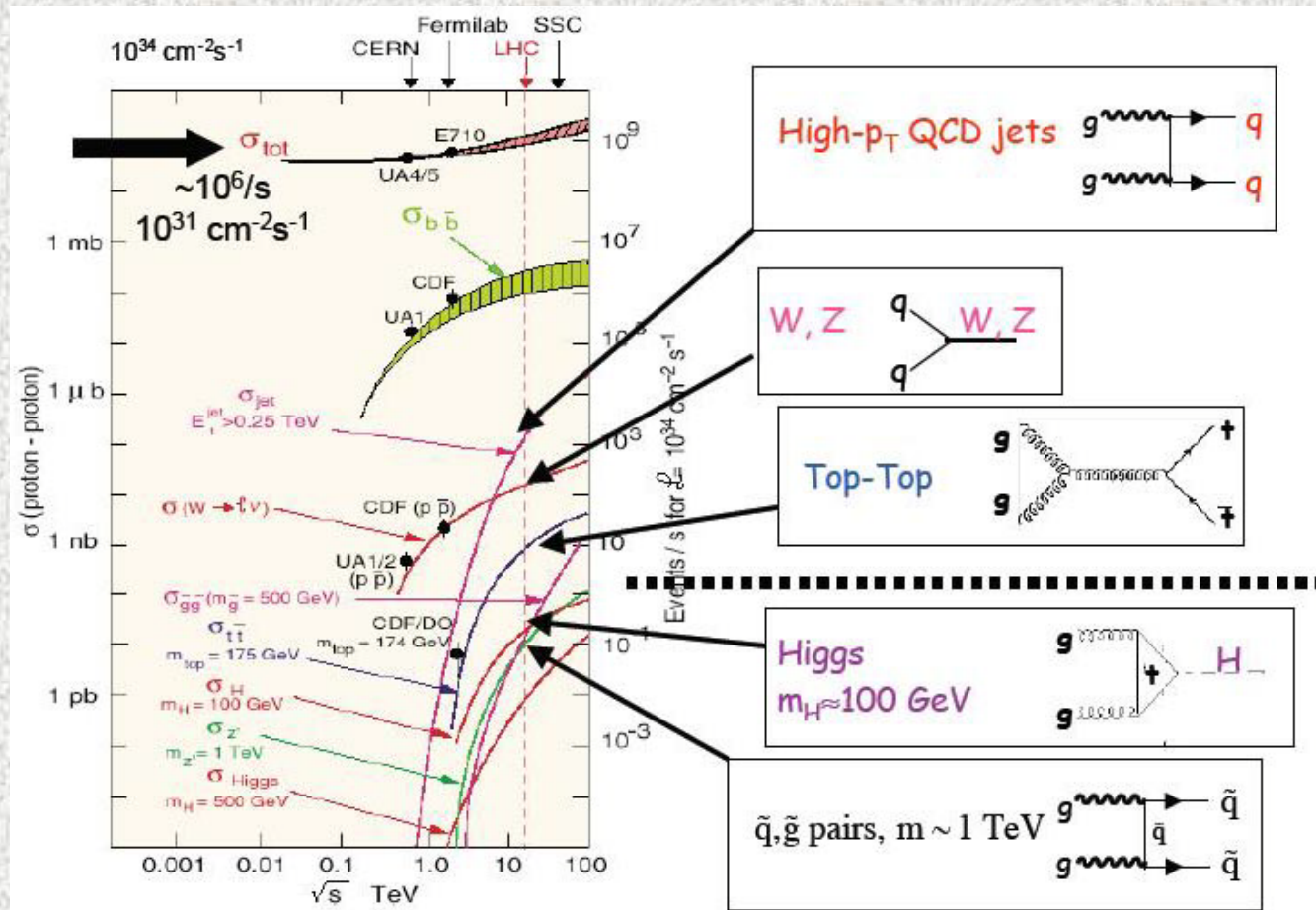
e também

- Redescobrir o quark top e pela primeira vez estudá-lo com precisão
- Medidas de precisão do Modelo Padrão (massa e largura do W , etc)
- etc





Sinal e ruído de fundo



O desafio: procurar uma agulha não num mas em milhões de palheiros



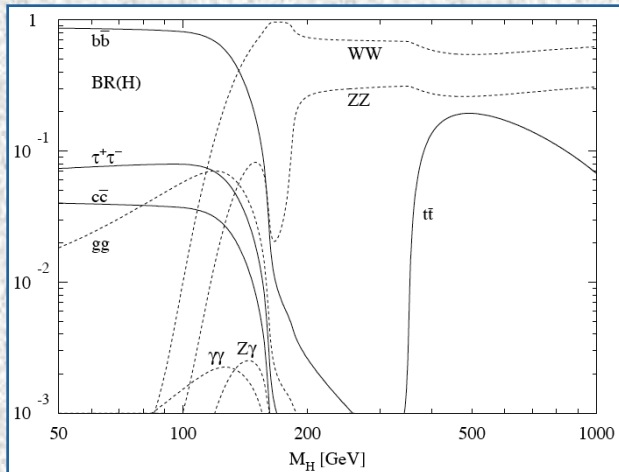


Como é possível detectar estes acontecimentos tão raros?

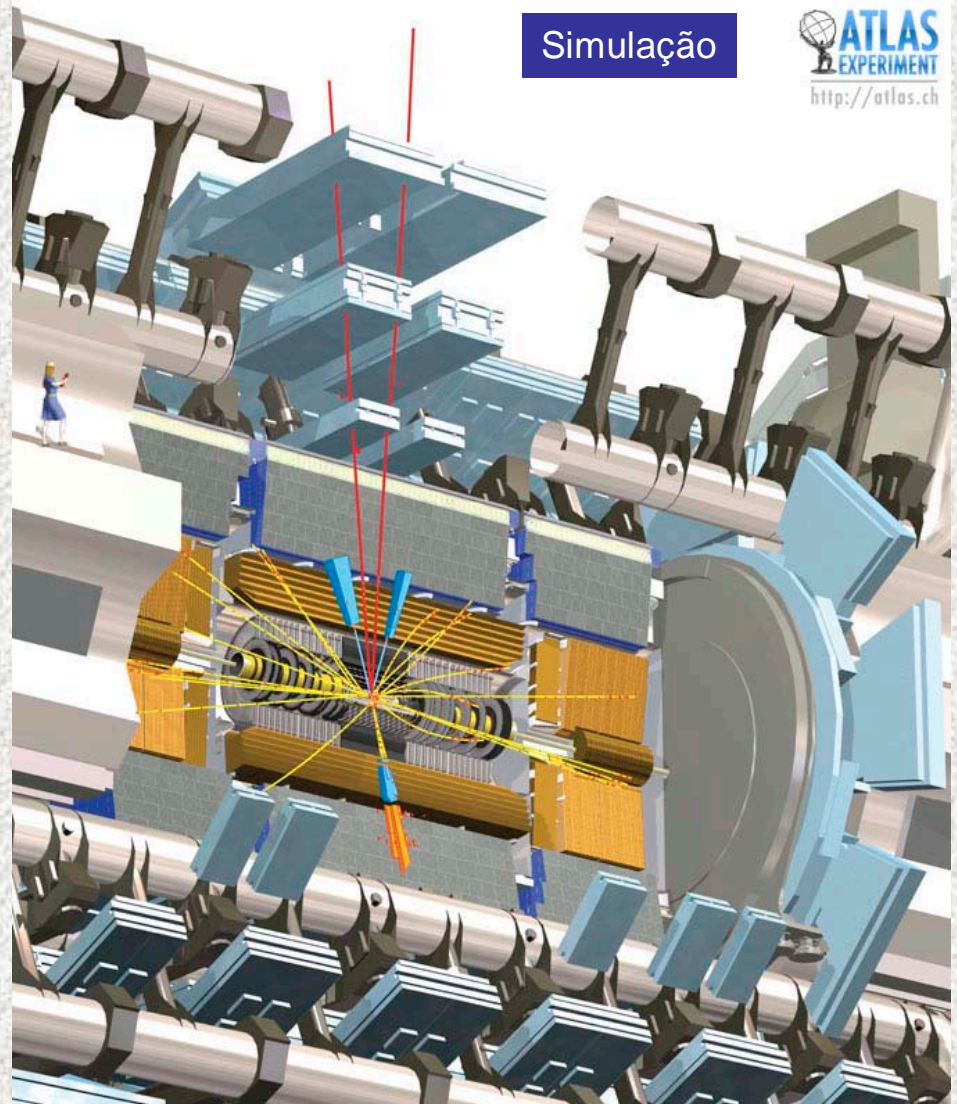
A) Higgs a decair num par de bosões Z ($H \rightarrow ZZ$):

- Um $Z \rightarrow e+e-$
- Outro $Z \rightarrow \mu+\mu-$

B) Taxas de decaimento do H:



Simulação



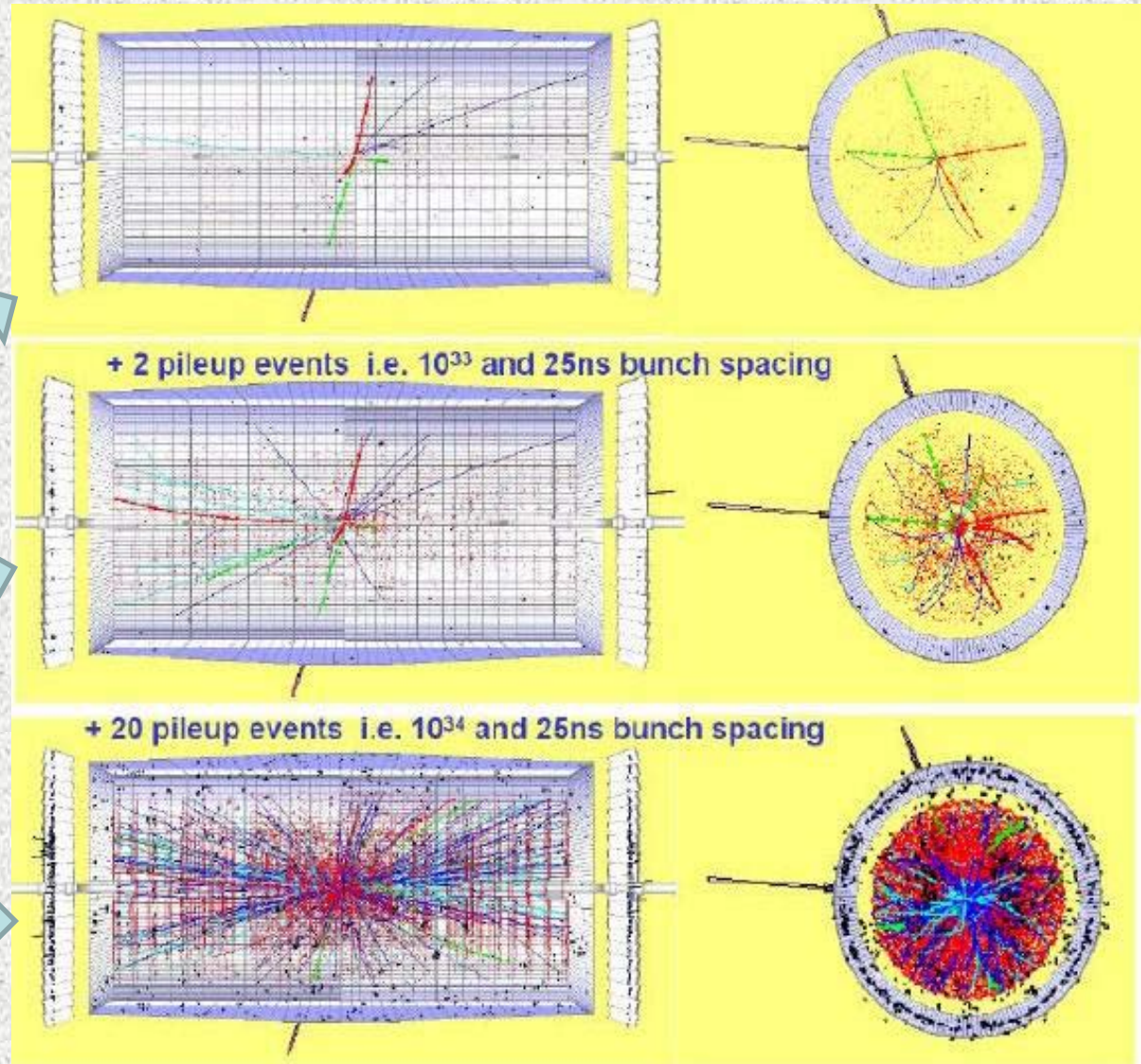


Com um pouco
mais de realismo:

Acontecimento
p-p inelástico
isolado

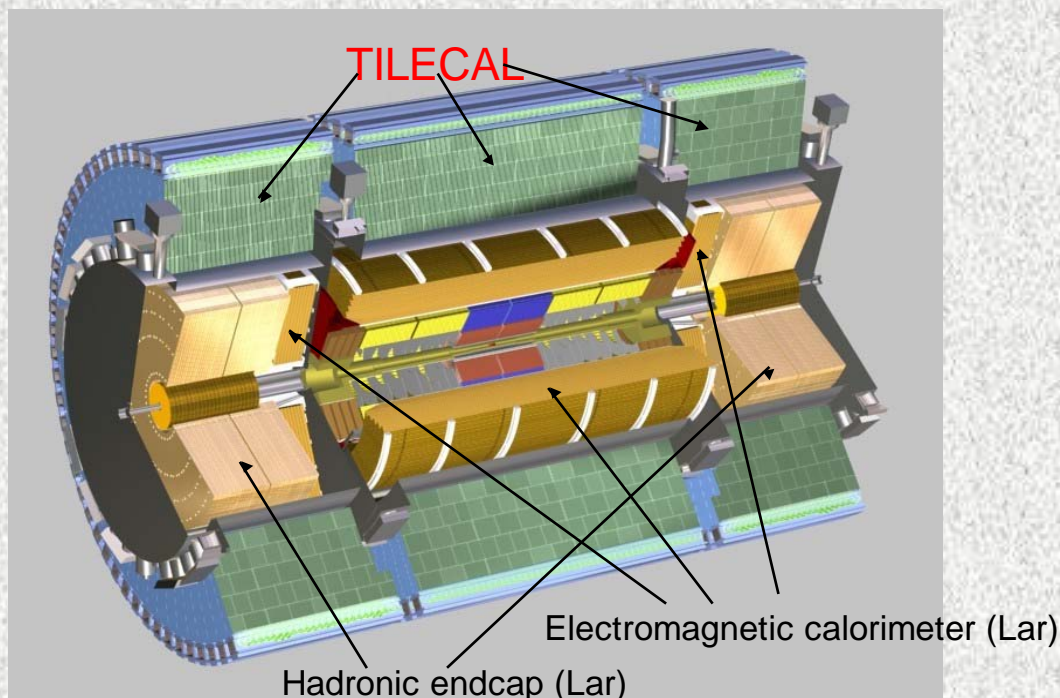
Luminosidade
 $10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

Luminosidade
 $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$





O Calorímetro Tilecal

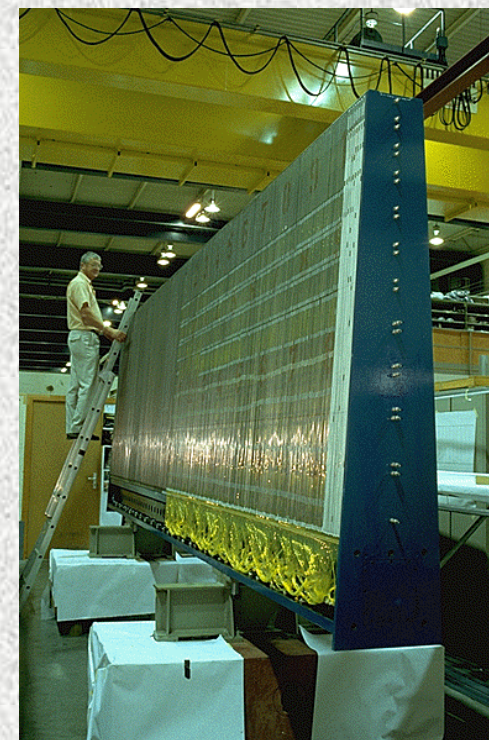


Detecção de energia (*jactos* - cascatas hadrónicas)

Detecção de energia transversa em falta (*neutrinos*, etc...)

Linhas orientadoras no projecto do Tilecal

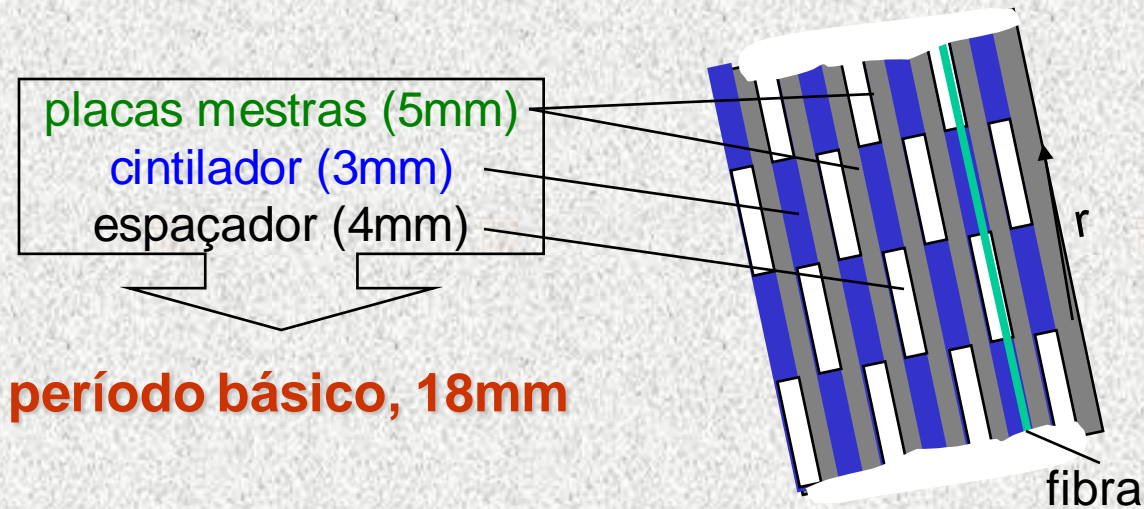
- Hermeticidade para detecção de *jactos* e E_T^{miss}
- Resolução em energia para *jactos* $\frac{\Delta E}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} \oplus 3\%$
- Construção "fácil" (estrut. periódica) e "baixo" custo



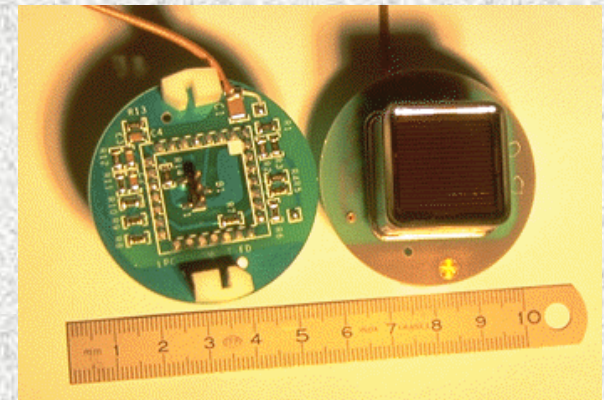


Estrutura e princípio de funcionamento

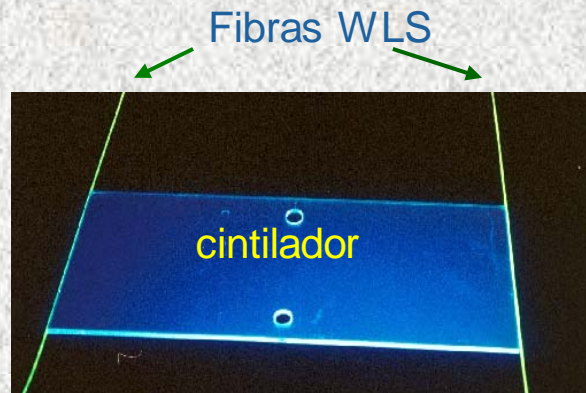
Estrutura periódica, ferro e cintiladores de plástico



período básico, 18mm



Luz produzida nos cintiladores: transmitida até aos PMTs através de fibras ópticas WLS



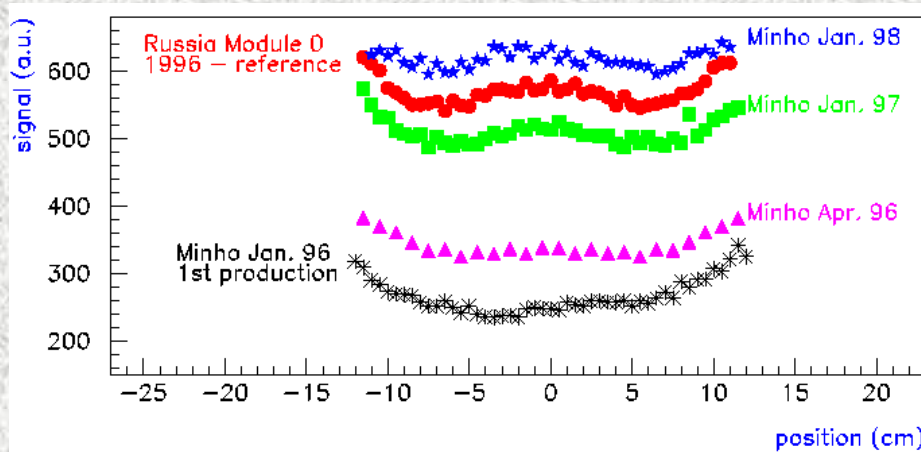
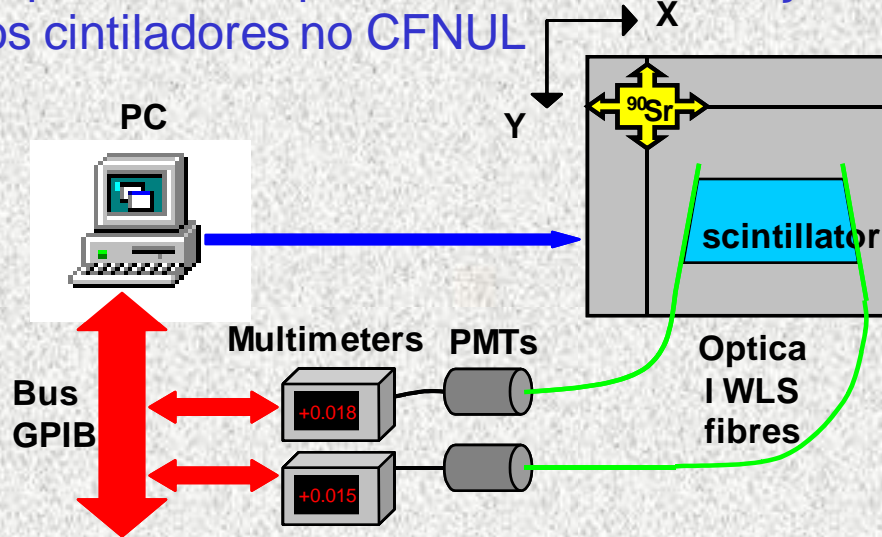
Fotomultiplicadores (PMTs): coletam a luz transmitida pelas fibras ópticas WLS



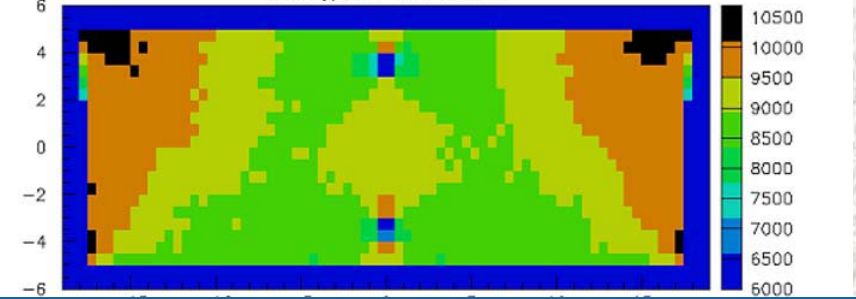


Desenvolvimento e caracterização de cintiladores

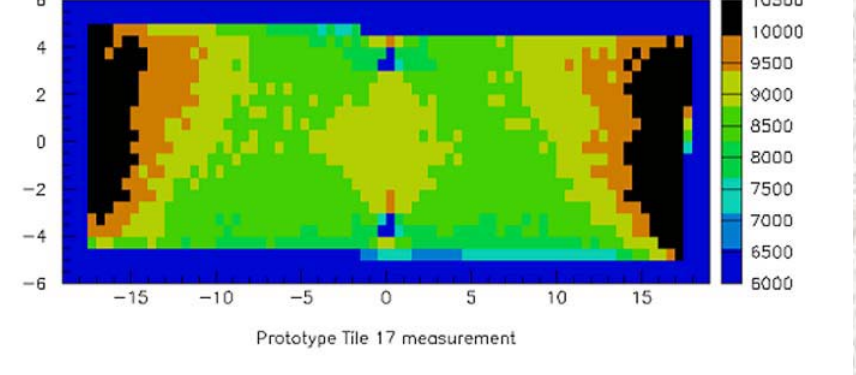
Esquema do dispositivo de caracterização dos cintiladores no CFNUL



Simulação de mapa de colecção de luz



Mapa de colecção de luz obtido em lab



Mapas de colecção de luz, para estudo de optimização das máscaras a aplicar nos cintiladores





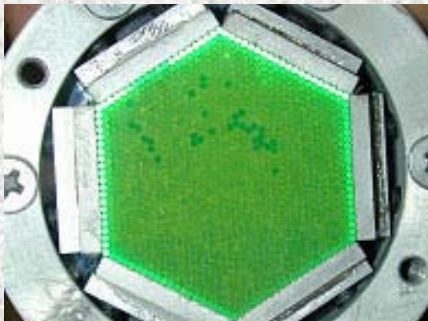
Fibras ópticas WLS

Espelho de alumínio na extremidade permite:

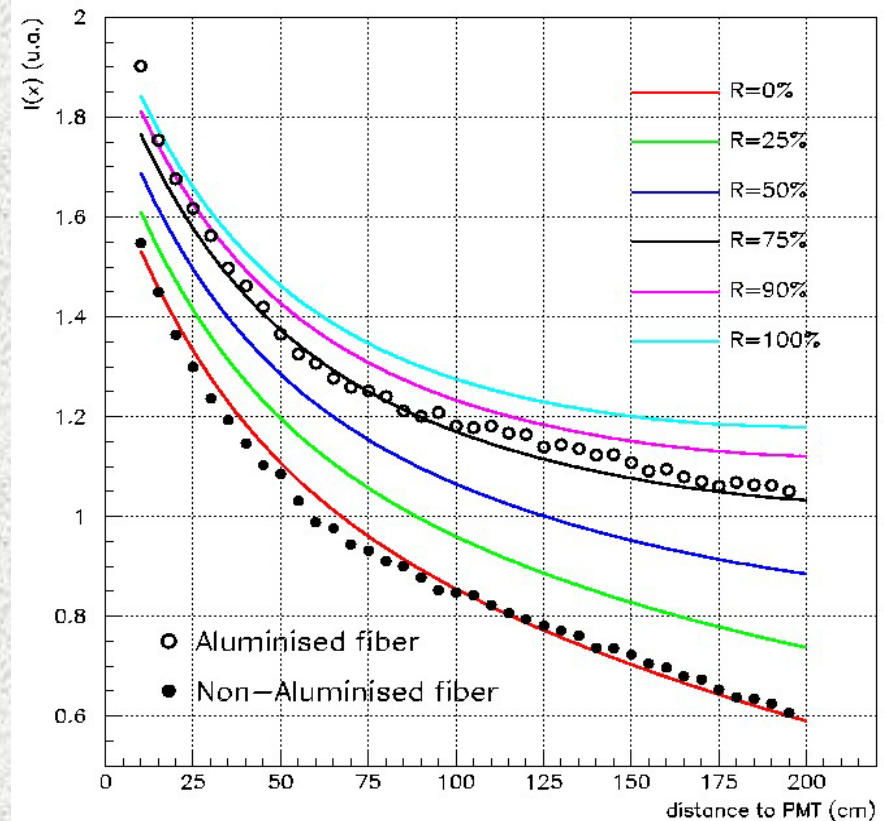
-melhor uniformidade na colecção da luz na zona em contacto com cintiladores

- detectar mais luz

~600 000 fibras polidas, aluminizadas e inseridas em invólucros especiais



Quantidade de luz vs distância





Filme da participação na construção do Tilecal

Disponível temporariamente em <http://www.lip.pt/experiments/tilecal>



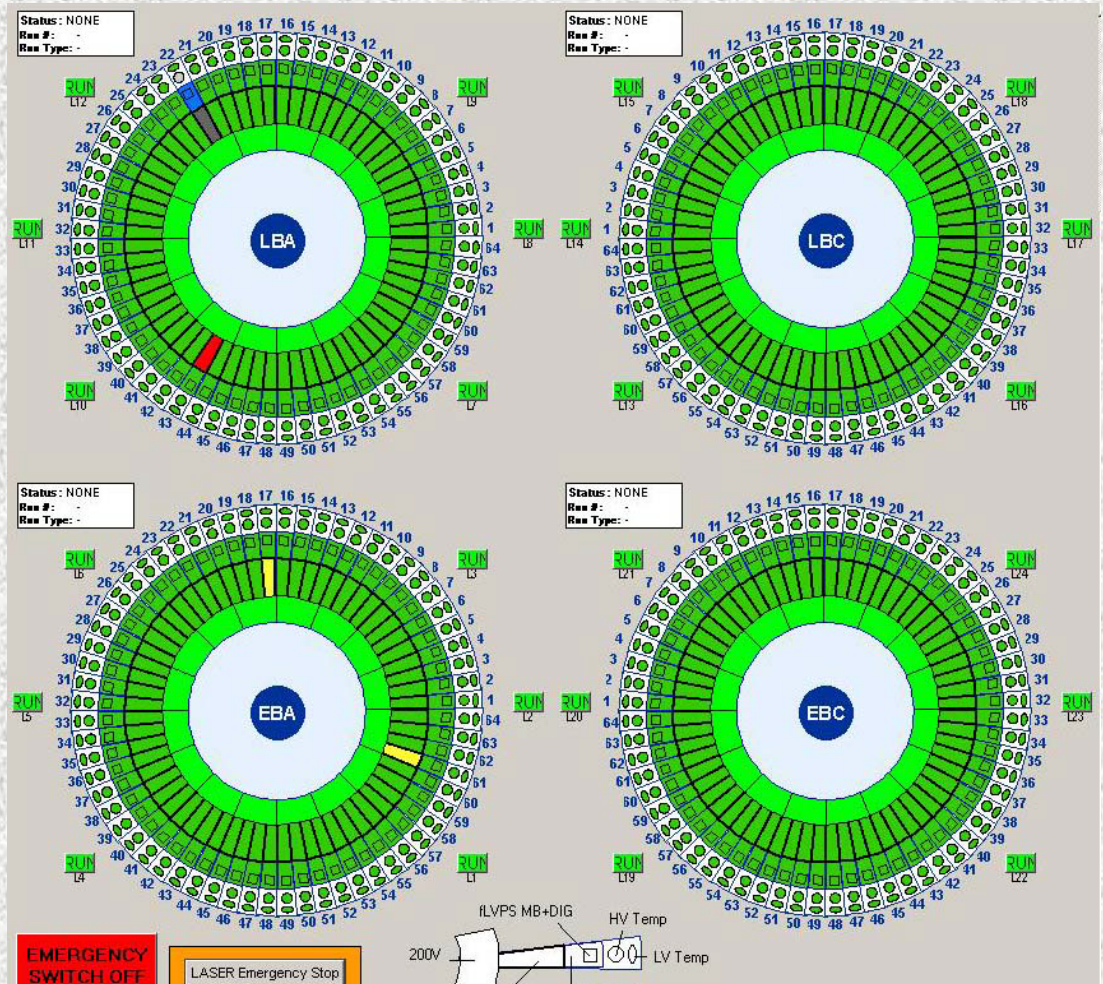


Tilecal: datas de instalação

Datas da instalação:
 EBC – Dez 2004
 Barrel – Out 2005
 EBA – Maio 2006



Electrónica instalada,
 reparação profunda em
 2008/2009

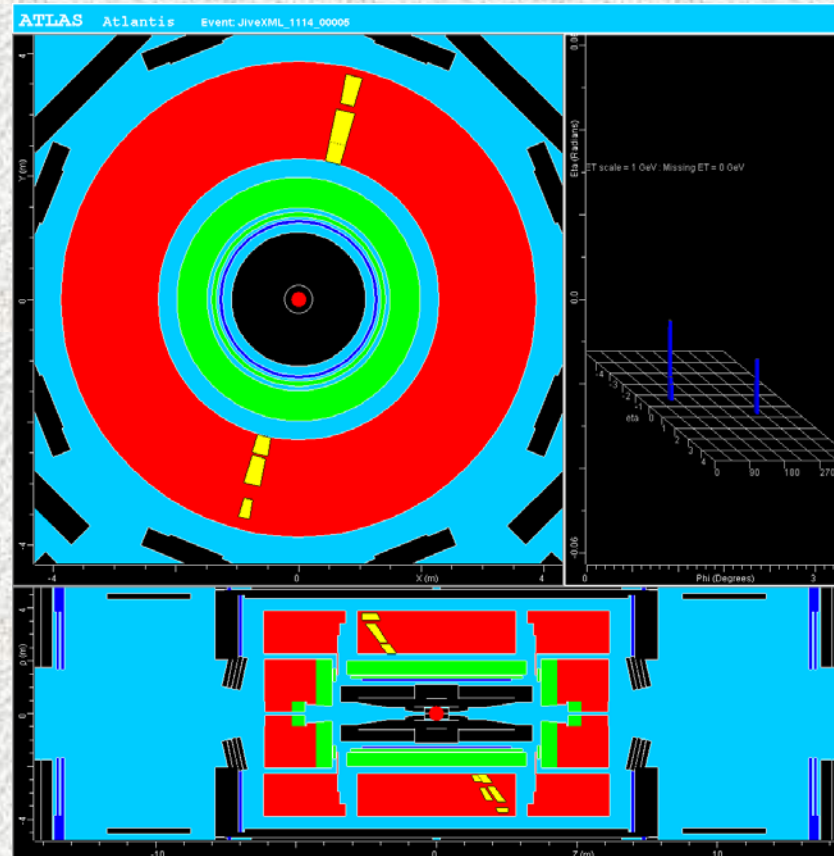




Muões cósmicos detectados com o Tilecal

O Tilecal foi um dos primeiros sub-detectores a ficar operacional na caverna de ATLAS

Antes dos detectores de muões estarem montados, o Tilecal já permitia fazer o trigger de raios cósmicos (utilizando placa de trigger especialmente desenhada para o efeito)



Exemplo do traço de um dos primeiros muões detectados com o Tilecal – artigo na Nature em 14 Julho 2005

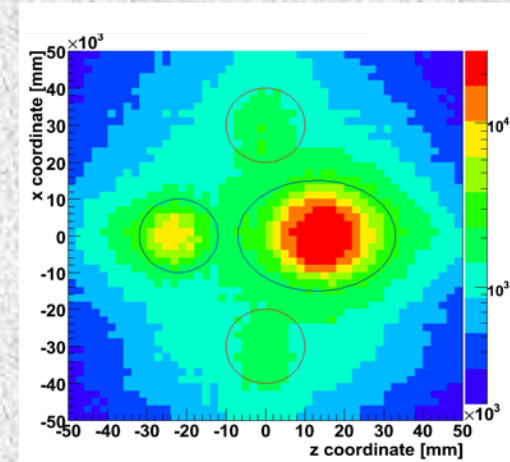
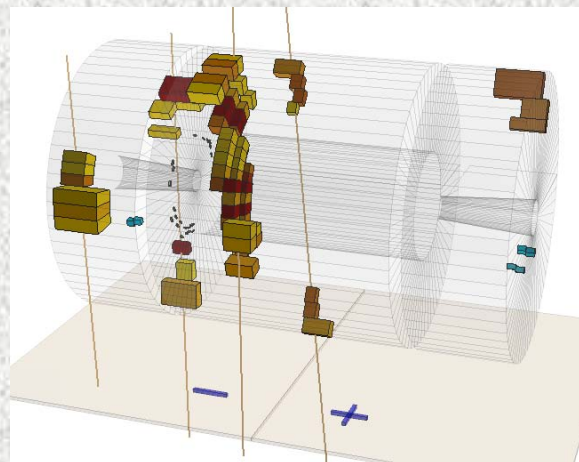
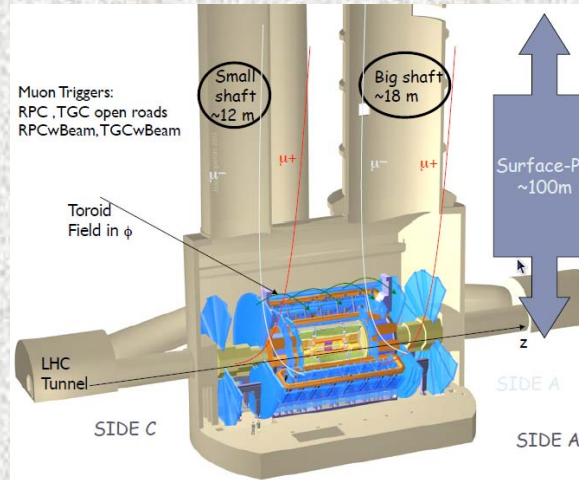




Commissioning com muões cósmicos

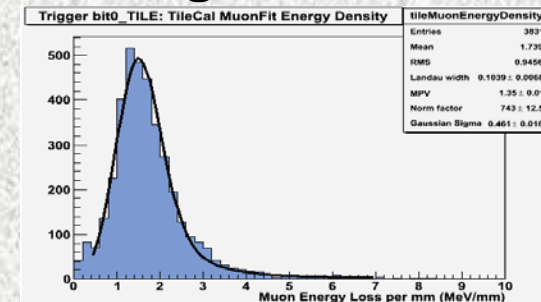
Muões cósmicos no ATLAS

- Alguns Hz de muões cósmicos chegam à caverna do ATLAS
- Usados no commissioning dos sub-detectores:
 - Alinhamento do Detector Interno de traços com as câmaras de muões
 - Resposta dos calorímetros em tempo e energia



Cosmic muons distribution as seen by the Muon Spectrometer (RPC's)

Energy over path length MeV/mm



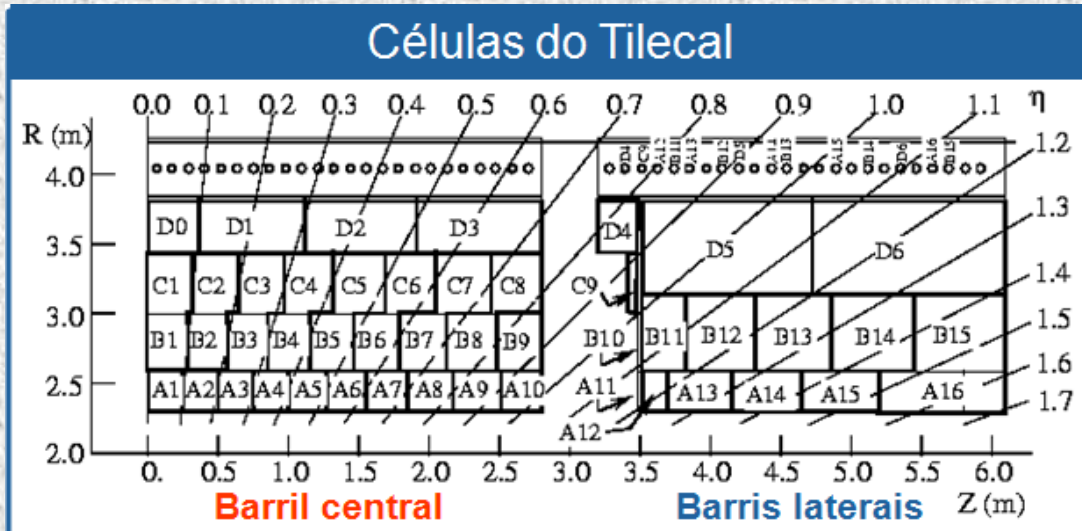
Resposta em energia no TileCal

- Reconstrução dos traços dos muões cósmicos
- Medição da energia depositada por unidade de comprimento

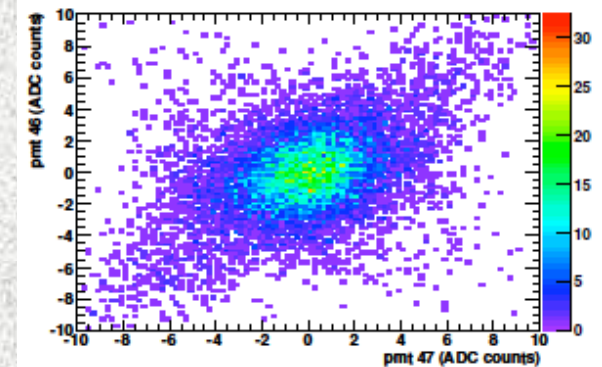




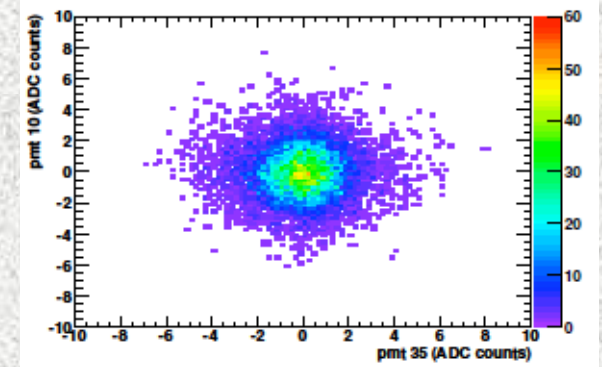
Estudo do ruído no Tilecal



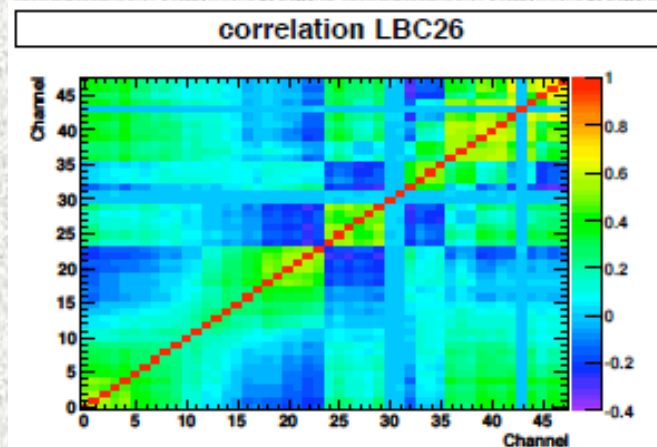
Canais Correlacionados



Canais Não Corr.



Os padrões de correlação são muito evidentes





Resolução do problema do ruído com um modelo matemático simples:

$$\begin{aligned}
 1) \quad x_1 &= \beta_{1,1} + \alpha_{1,2}x_2 + \dots + \alpha_{1,48}x_{48} \\
 x_2 &= \alpha_{2,1}x_1 + \beta_{2,2} + \dots + \alpha_{2,48}x_{48} \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 x_{48} &= \alpha_{48,1}x_1 + \alpha_{48,2}x_2 + \dots + \beta_{48,48}
 \end{aligned}$$

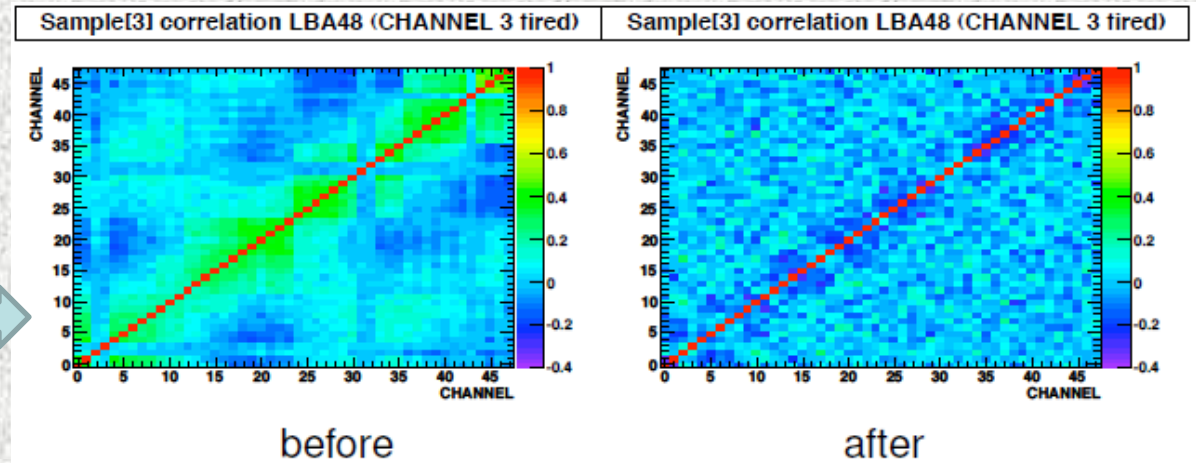
$$2) \quad \chi_i^2 = \sum_n \frac{(x_i^n - \sum_{k \neq i} \alpha_{i,k} x_k^n - \beta_{i,i})^2}{\sigma_i^2}$$

$$3) \quad \frac{\partial \chi_i^2}{\partial \alpha_{i,1}} = \frac{\partial \chi_i^2}{\partial \alpha_{i,2}} = \dots = \frac{\partial \chi_i^2}{\partial \beta_{i,i}} = \dots = \frac{\partial \chi_i^2}{\partial \alpha_{i,48}} = 0$$

4) corrigem-se os valores medidos:

$$x_k^{rec} = x_k^{msd} - \left(\alpha_{k,1}x_1^{msd} + \alpha_{k,2}x_2^{msd} + \dots + \beta_{k,k} + \dots + \alpha_{k,48}x_{48}^{msd} \right)$$

A melhoria é de facto bastante evidente

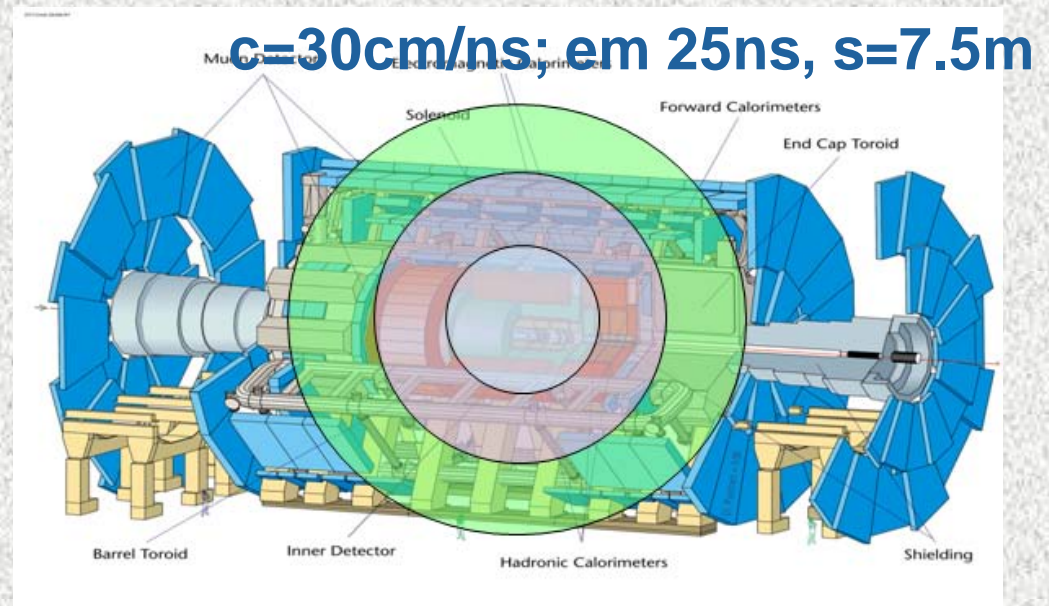




Seleccção de acontecimentos online: o Trigger

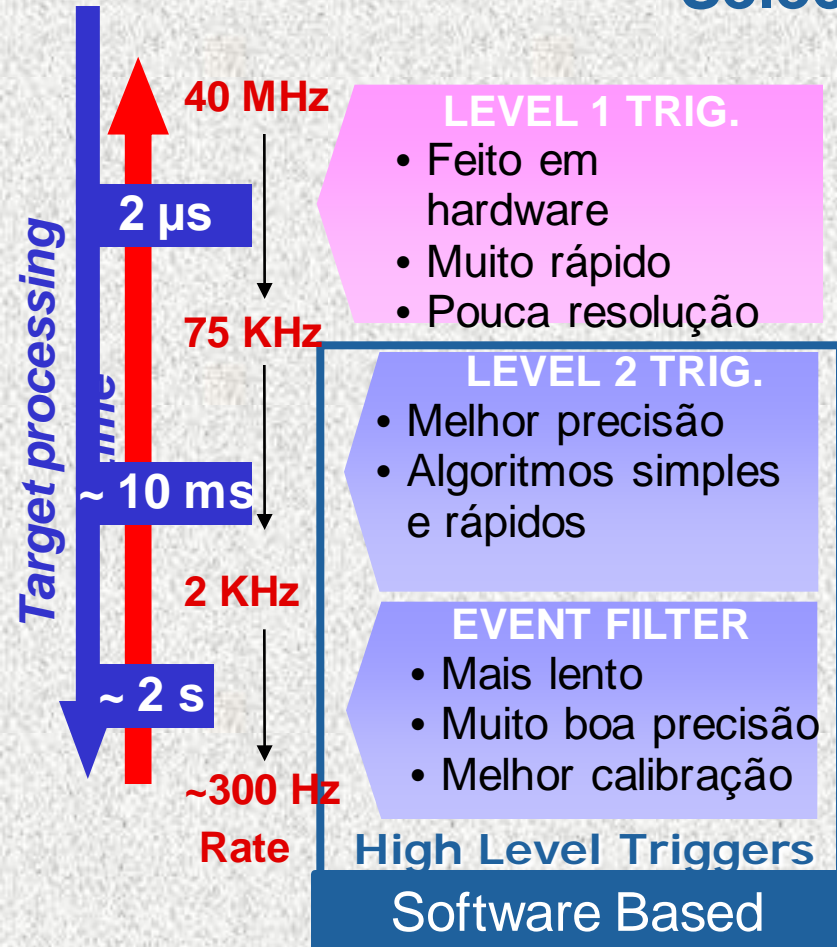
- No LHC haverá 40 000 000 de interacções por segundo
- Intervalo de tempo para aceitar/rejeitar uma interacção: 0.000002 s
- Só uma de cada 20000 interacções tem interesse...
 - **O Trigger selecciona online os eventos interessantes!**

Quando as partículas estão a sair do detector (quase à velocidade da luz!) já houve outras interacções no centro!



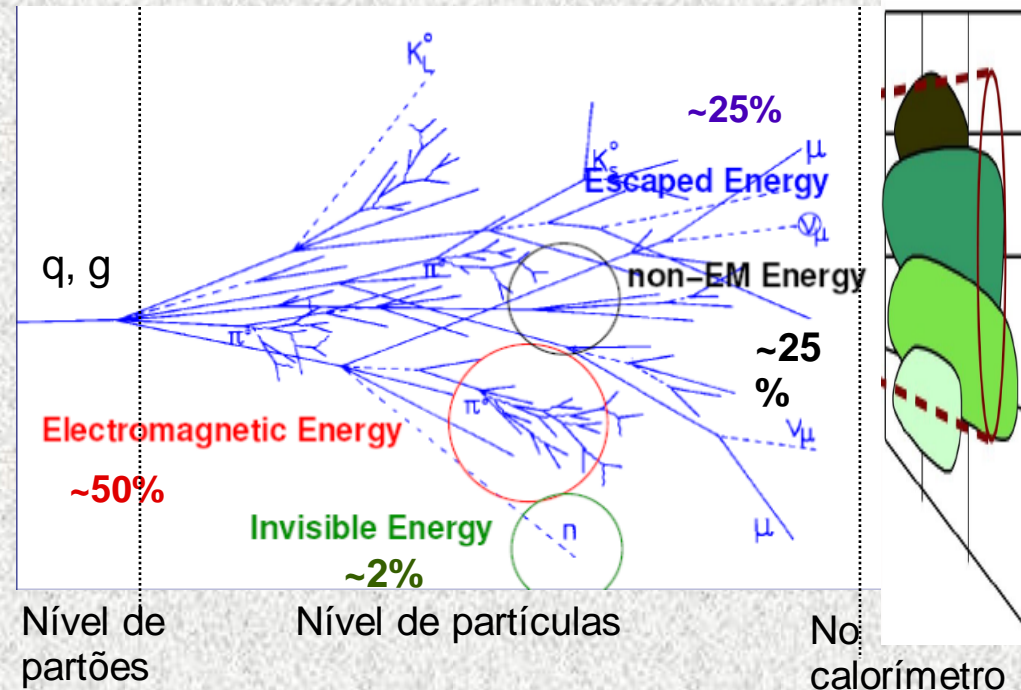


Seleccção de jactos



- O trigger procura eventos com partículas de alto p_T

- Maiores dificuldades:
 - O detector só mede ~70% da energia do jacto



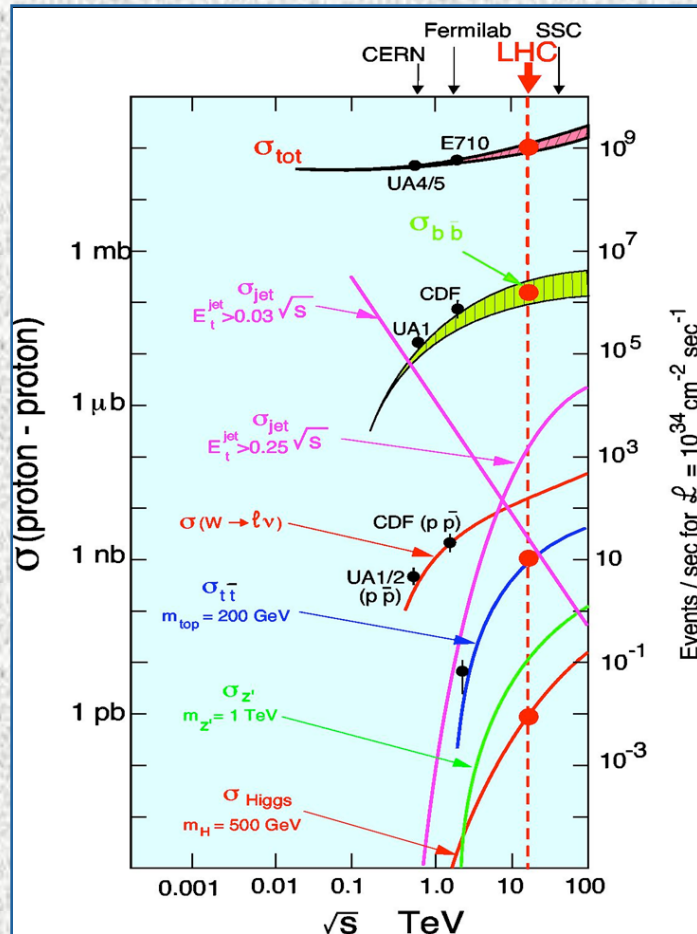
A calibração em energia é fundamental para a selecção de jactos de alta E_T



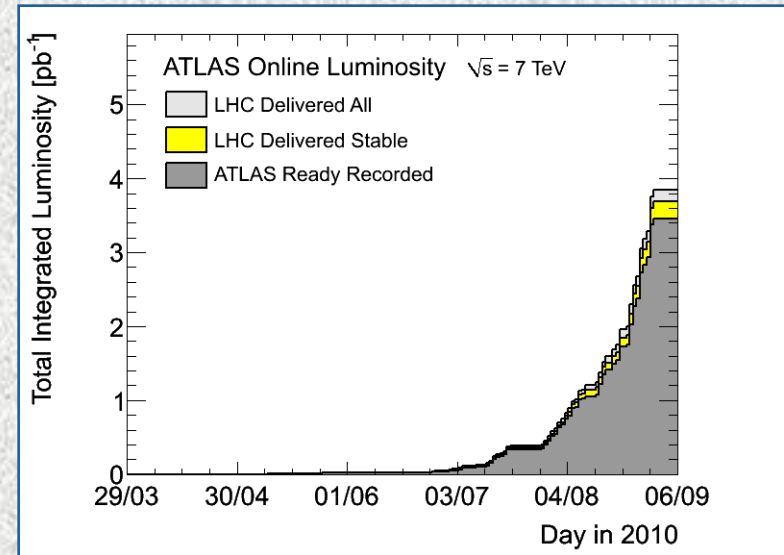


A redescoberta do Modelo Padrão

1) Secção Eficaz:



2) Luminosidade em ATLAS:



3) Estudos detalhados (DA/MC):

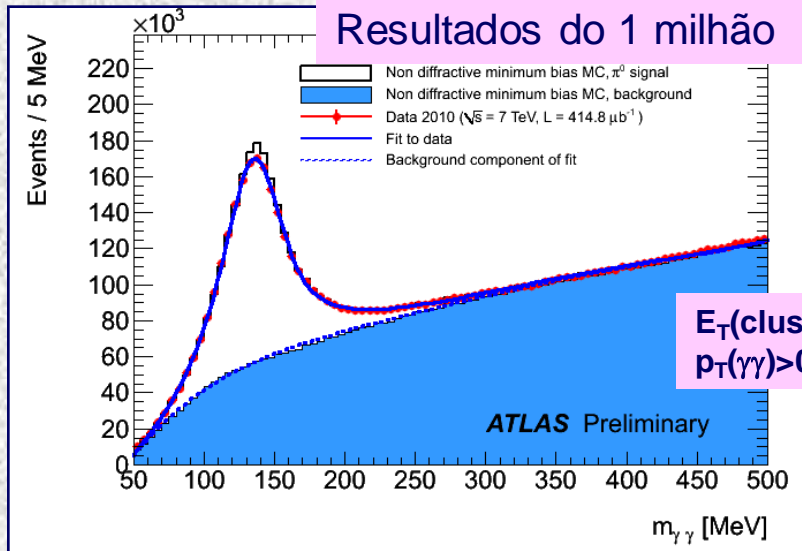
- Calibrações, alinhamentos
- Densidade de partículas carregadas?
- Incerteza nas secções eficazes $W, Z, t\bar{t}$ ~ 3 a 10%



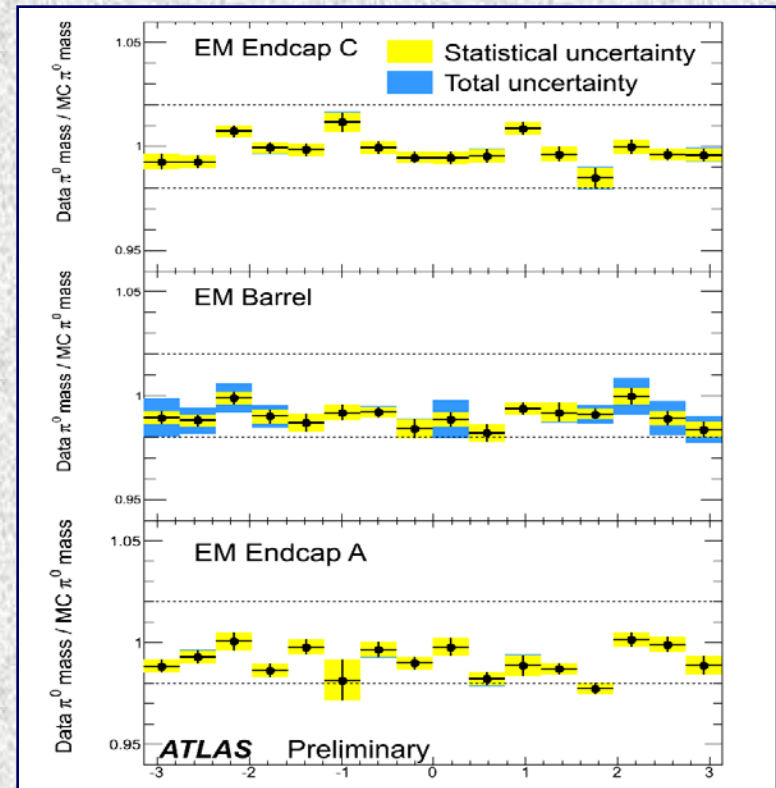
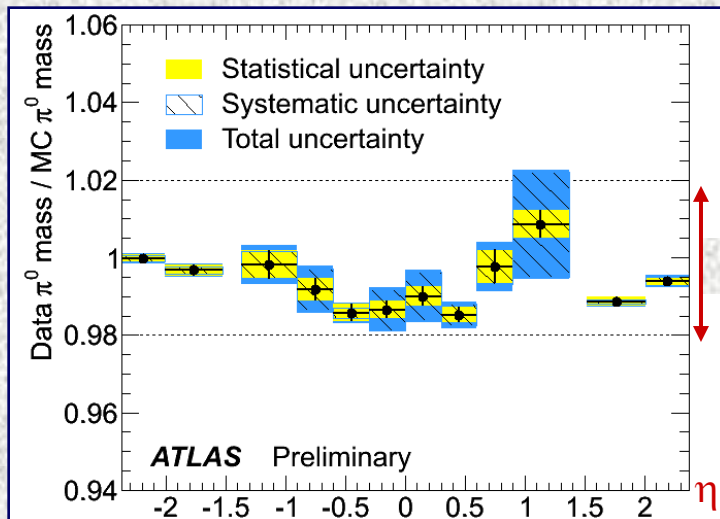


Escala de energia dos chuveiros EM

Resultados do 1 milhão $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$



$E_T(\text{cluster}) > 0.4 \text{ GeV}$,
 $p_T(\gamma) > 0.9 \text{ GeV}$



Uniformidade do calorímetro EM:

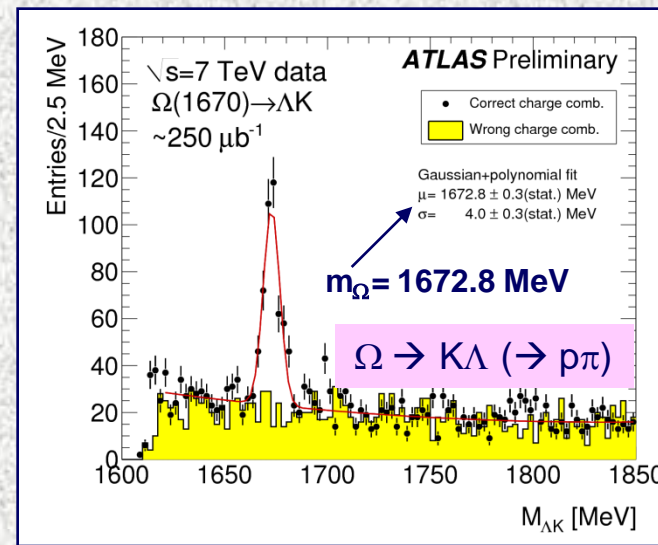
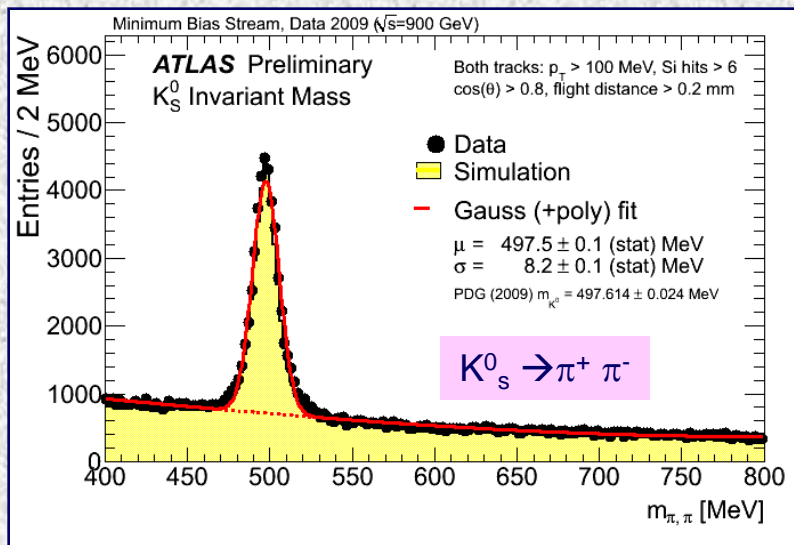
- melhor que 2% (da escala de energia EM dos π^0)
- uniformidade em $\phi < 0.7\%$ (over full η range)





Escala de p_t de Traços no ID

Traços de baixo p_t : progresso importante a partir dos primeiros dias de colisão



- Reconstrução de vértices múltiplos através de ajustes permite reconstruir partículas:
- PDG:
 $m_\Omega = 1692.45$ MeV

A escala de baixo p_T é conhecida a alguns % (dispersão múltipla é neste momento o factor que determina a resolução)

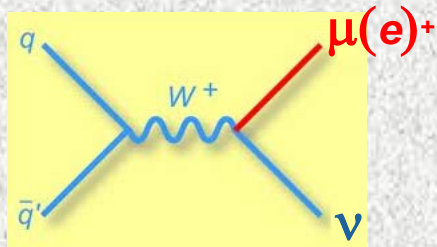
A distribuição de matéria é conhecida a $\sim 10\%$ (pretende-se atingir $\sim 1\%$)



Secção eficaz de produção de W

- Motivação
 - Utiliza-se a secção eficaz para o commissioning

- $W \rightarrow \mu\nu, e\nu$

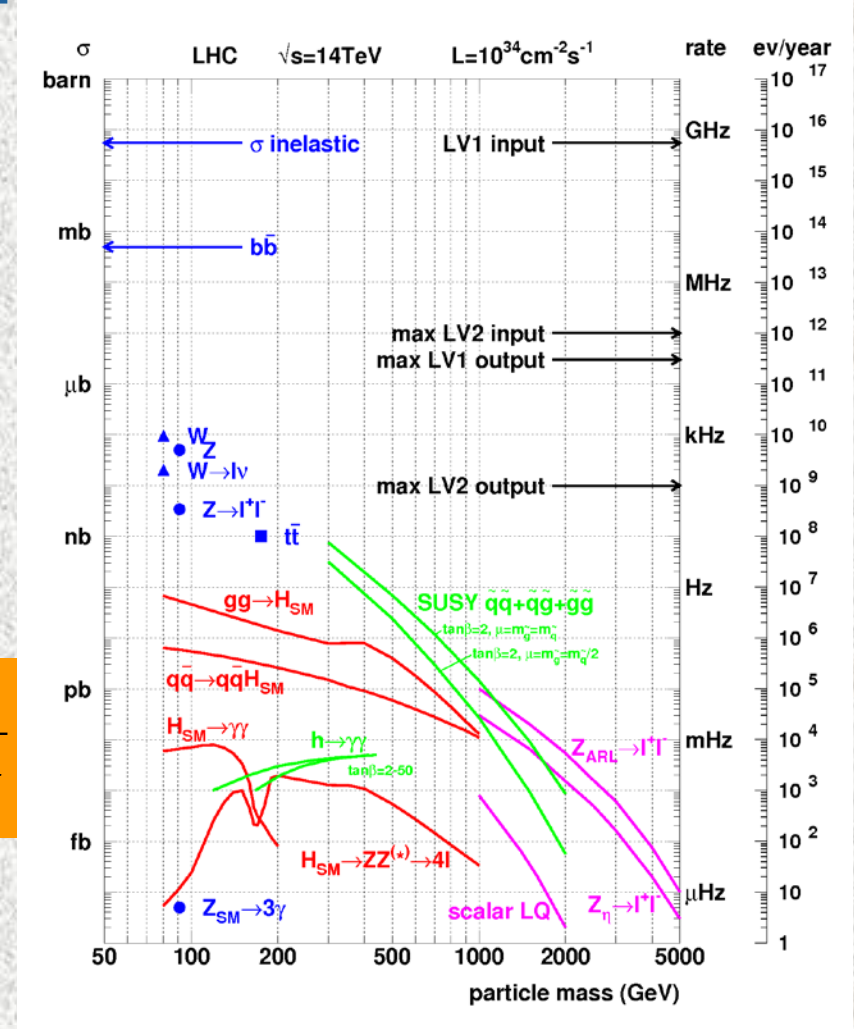


- Secção eficaz:

$$\sigma = \frac{N_{\text{cand}} - N_{\text{bck}}}{A_W \times \varepsilon_W \times \int \mathcal{L} dt}$$

A_W =aceitância

ε_W =eficiência de detecção





Secção eficaz de produção de W

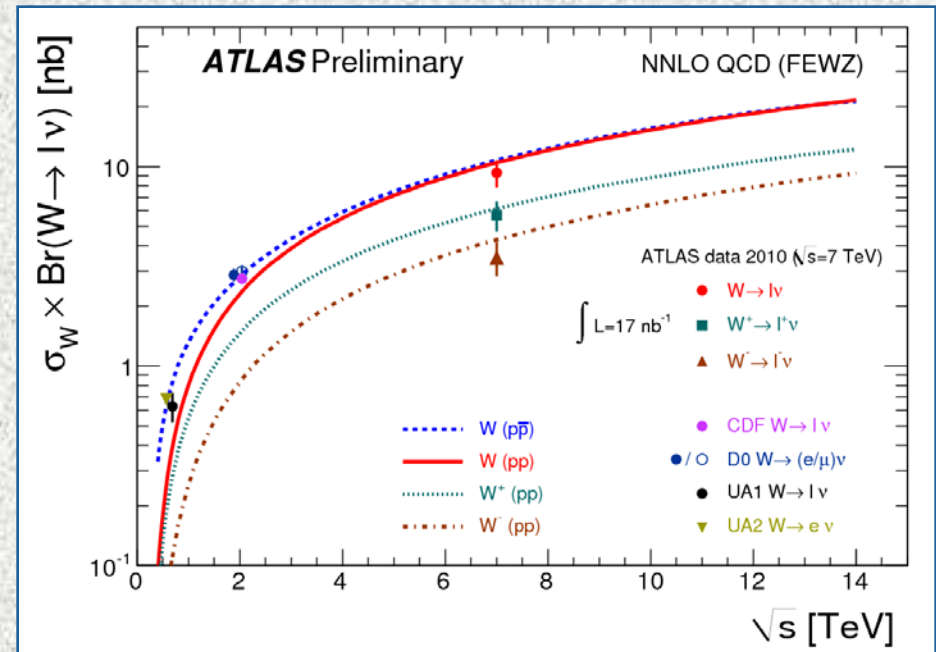
Canal (lumi)	N_{cand}	N_{bck}	Secção eficaz(nb)
electrão (16.9 nb^{-1})	46	2.6 ± 0.5	$8.5 \pm 1.3 \text{ (stat)} \pm 0.7 \text{ (sys)} \pm 0.9 \text{ (lum)}$
muão (16.6 nb^{-1})	72	5.3 ± 0.7	$10.3 \pm 1.3 \text{ (stat)} \pm 0.8 \text{ (sys)} \pm 1.1 \text{ (lum)}$
combined	118	-	$9.3 \pm 0.9 \text{ (stat)} \pm 0.6 \text{ (sys)} \pm 1.0 \text{ (lum)}$

$\sigma \times \text{BR}(W \rightarrow l \nu)$:

Previsão Teórica:

- $10.46 \pm 0.02 \text{ nb}$
- FEWZ w/ MSTW2008 pdfs

Incerteza na Luminosidade = 11%





O quark top no SM

Primeira observação directa no FERMILAB

(CDF e D0 no TEVATRÃO em 1995)

O quark top completa a estrutura de 3 famílias do SM:

- Possui $\text{spin}=1/2$,
- Carga= $+2/3$,
- Transforma-se como um tripleto de cor do grupo de simetria $SU(3)$,
- $t \rightarrow bW$ (quase exclusivamente!),
- $\Gamma=1.42\text{GeV}$ (incluindo $m_b, M_W, \alpha_s, \text{EW corr.}$)

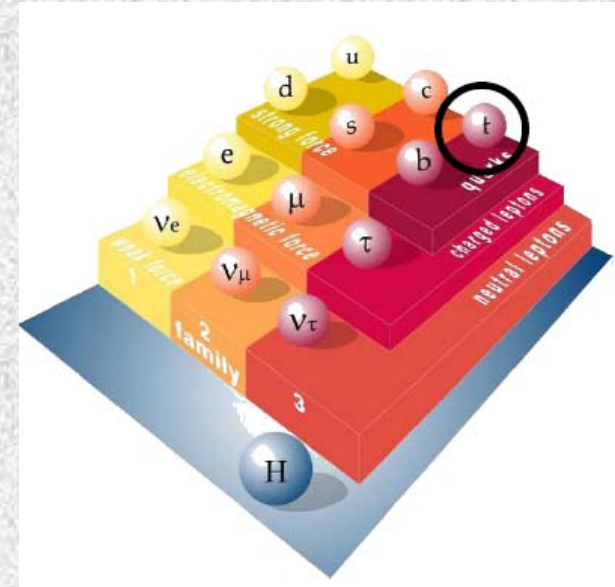
$$M_{\text{top}} = 173.3 \pm 1.1 \text{ GeV}/c^2$$

$$\Lambda_{\text{QCD}}^{-1} = (100\text{MeV})^{-1} \sim 10^{-24}\text{s}$$

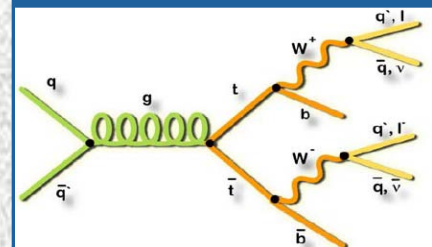
$$M_t \Rightarrow \tau_t \sim 10^{-25}\text{s}$$

Tempo de Hadronização

**Não existem
hadrões do top**



Prod. Em LHC

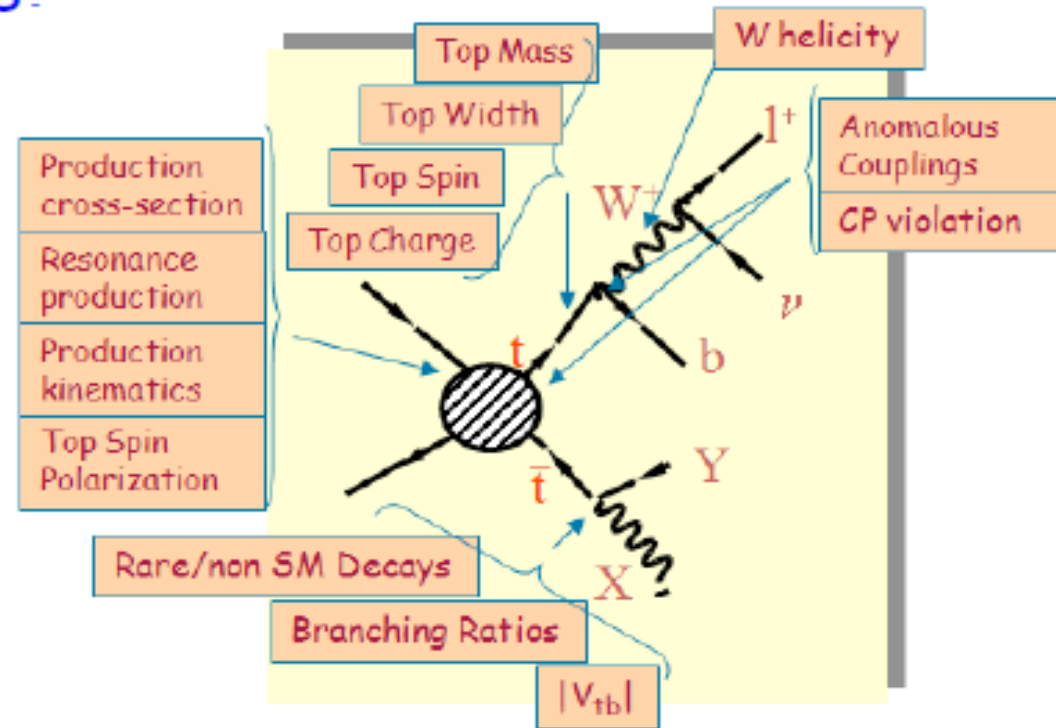




O quark top no SM

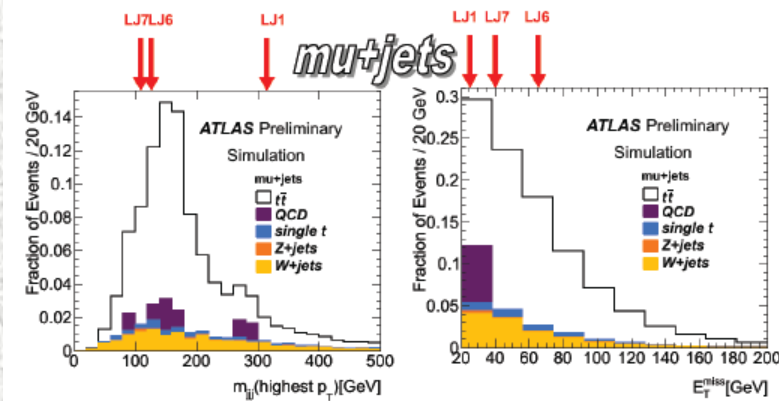
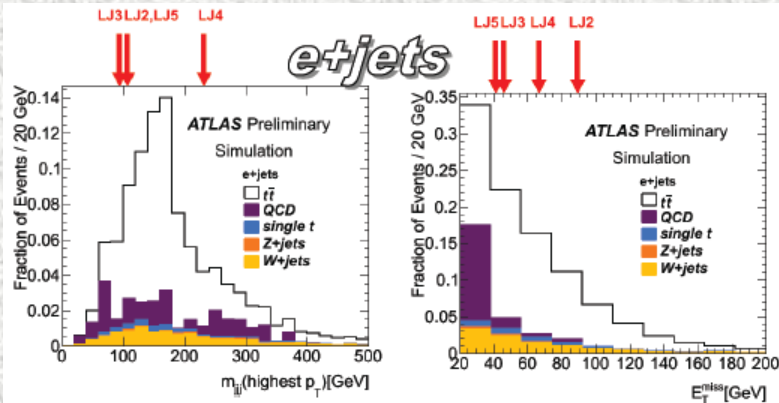
Top quark properties:

- $\sigma_{t\bar{t}}$
- Mass
- Charge
- Spin correlations
W polarisation
- Anomalous couplings
- FCNC
- $t\bar{t}$ resonances

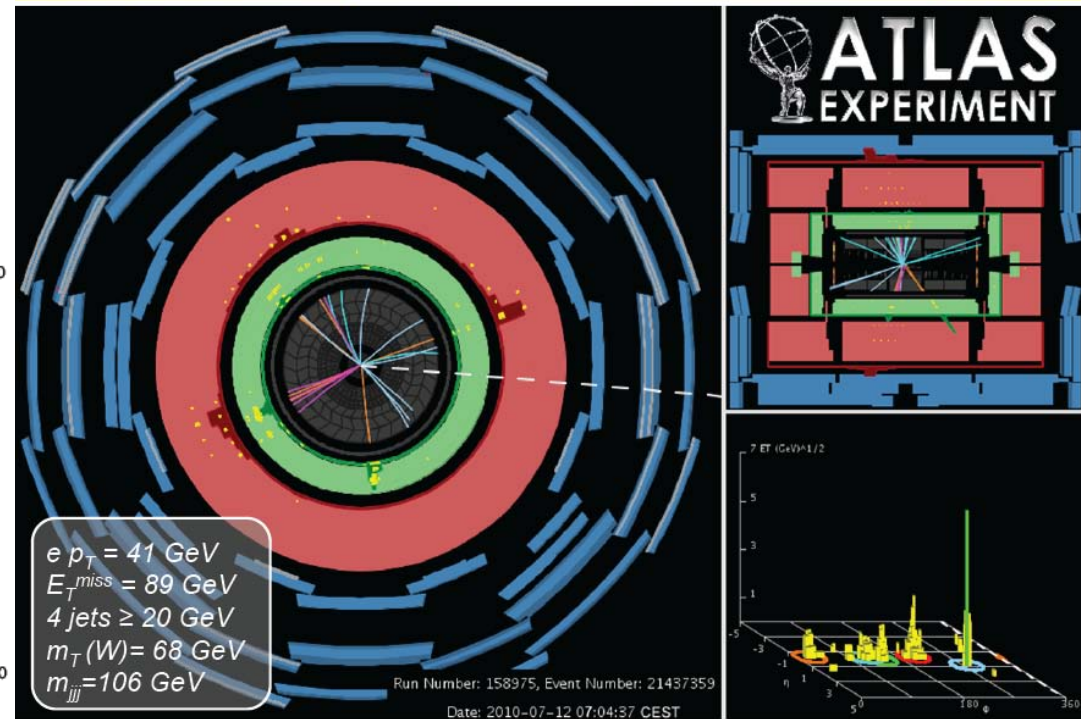




Os primeiros candidatos do quark top (Luminosidade=295nb⁻¹)

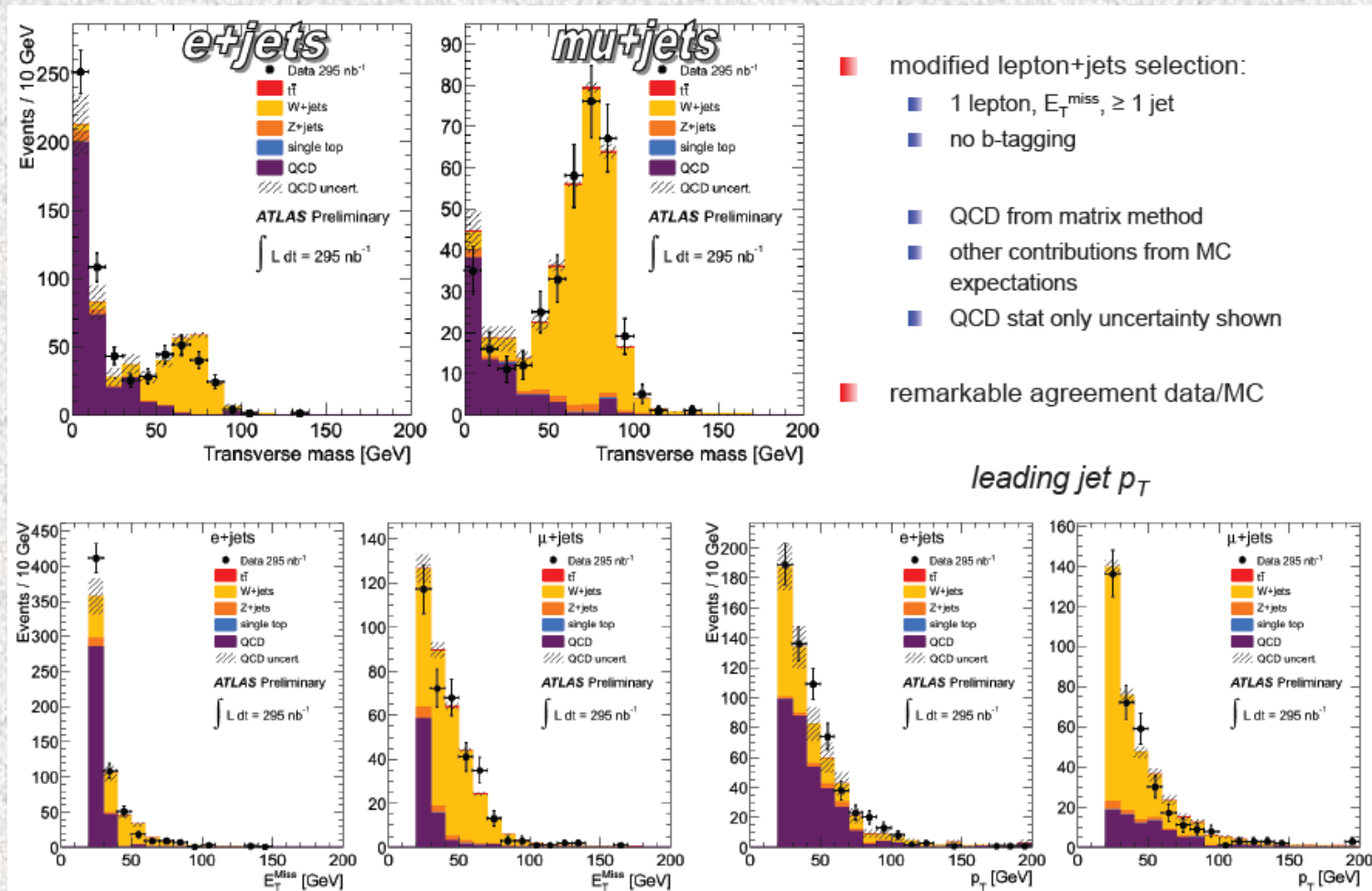


e+jet event candidate (LJ2)



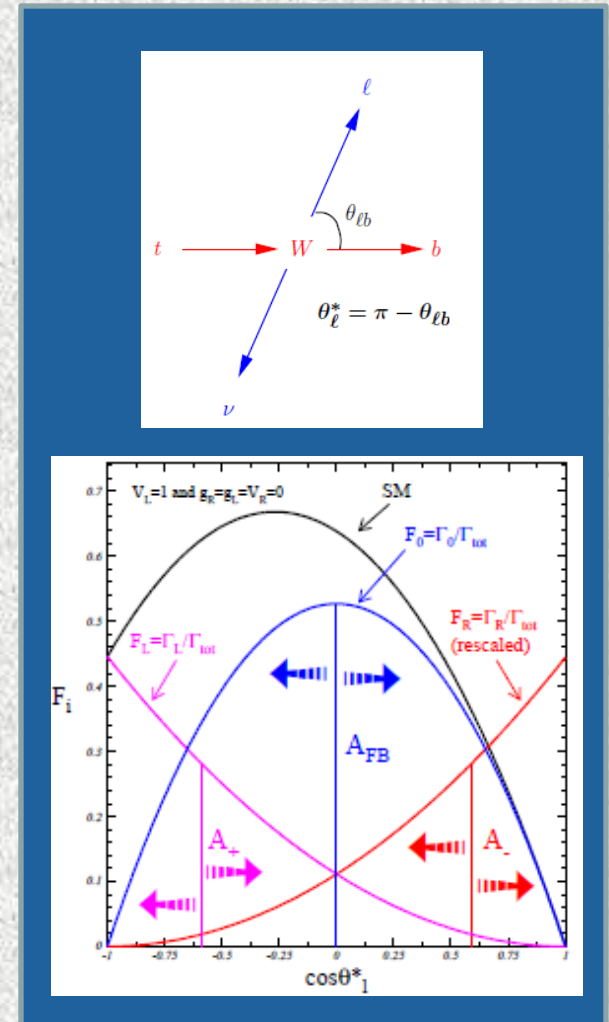
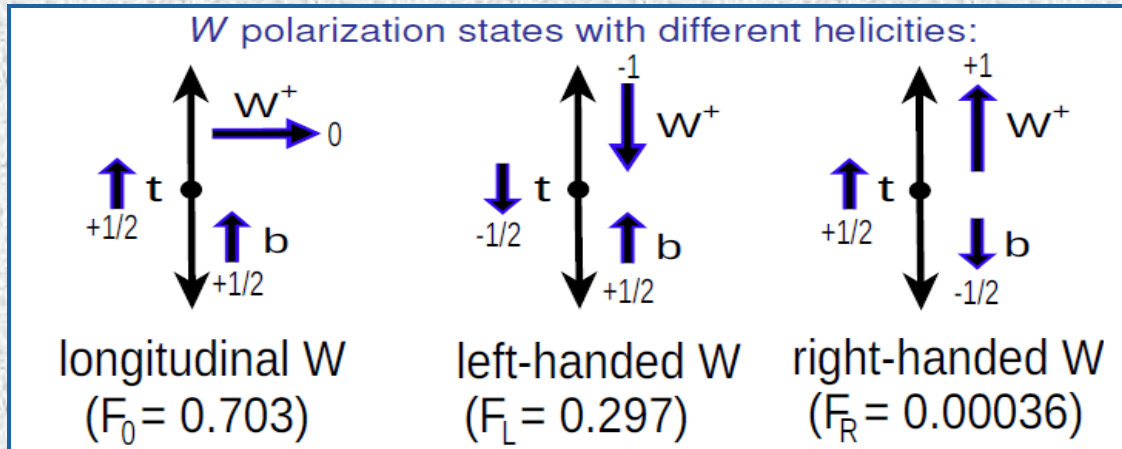


Estudos de Fundo: acordo Dados/MC





O quark top no SM: Polarizações do W



Como se medem as Polarizações do W?

1)

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{d \cos \theta_\ell^*} = \frac{3}{2} \left[F_0 \left(\frac{\sin \theta_\ell^*}{\sqrt{2}} \right)^2 + F_L \left(\frac{1 - \cos \theta_\ell^*}{2} \right)^2 + F_R \left(\frac{1 + \cos \theta_\ell^*}{2} \right)^2 \right]$$

2) Assimetrias Angulares:

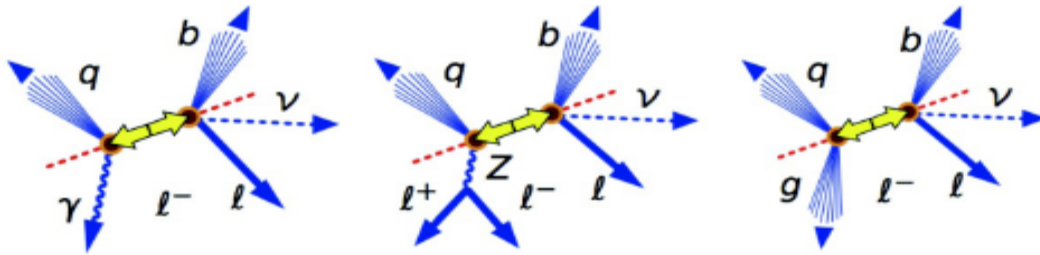
$$A_t = \frac{N(\cos \theta_\ell^* > t) - N(\cos \theta_\ell^* < t)}{N(\cos \theta_\ell^* > t) + N(\cos \theta_\ell^* < t)}$$

$$\begin{aligned} A_{FB} &= -0.2269 \text{ (SM, NLO)} \\ A_+ &= 0.5429 \text{ (SM, NLO)} \\ A_- &= -0.8402 \text{ (SM, NLO)} \end{aligned}$$





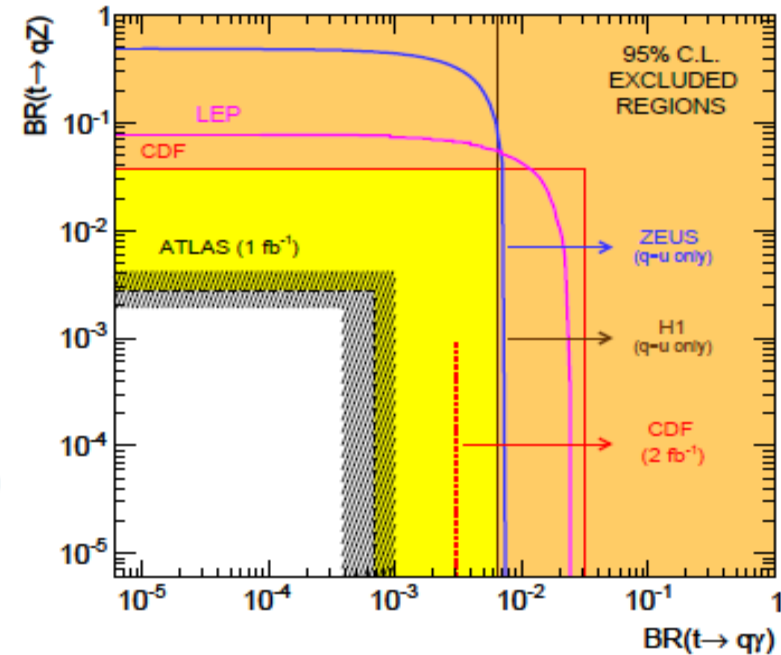
O quark top BSM: FCNC



BR($t \rightarrow$ FCNC) in several models:

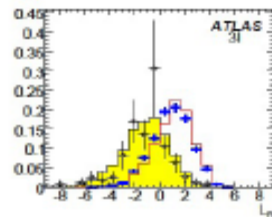
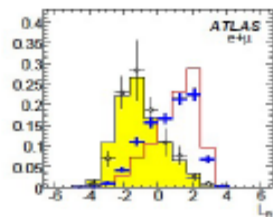
	SM	QS	2HDM	FC 2HDM	MSSM	\tilde{R} SUSY
$t \rightarrow q\gamma$	$\sim 10^{-14}$	$\sim 10^{-9}$	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-9}$	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-6}$
$t \rightarrow qZ$	$\sim 10^{-14}$	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-7}$	$\sim 10^{-10}$	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-5}$
$t \rightarrow qg$	$\sim 10^{-12}$	$\sim 10^{-7}$	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-4}$

[Acta Phys. Polon. B 35 (2004) 2695]



— Signal ATLFAST + Signal FullSim

■ Backgr. ATLFAST + Backgr. FullSim



95% CL limits for 1 fb^{-1} :

$$\text{Br}(t \rightarrow q\gamma): 6.8 \times 10^{-4}$$

$$\text{Br}(t \rightarrow qZ): 2.8 \times 10^{-3}$$





Conclusões:

...Uma nova era começou com o LHC...

Filme do Detector ATLAS em

http://atlas.ch/multimedia/index_features.html

