

W BOSON

W^-, W^+

W- side



The **W BOSON** is a messenger particle which communicates the weak force. Unlike the photon and gluon bosons, it has a mass. Like the Z boson, it is one of the most short-lived particles known, with a mere 10^{-25} second lifetime. It can be negatively charged (W^-) or positively charged (W^+). Luckily you can have both, as the toy is double-sided.



Partícula

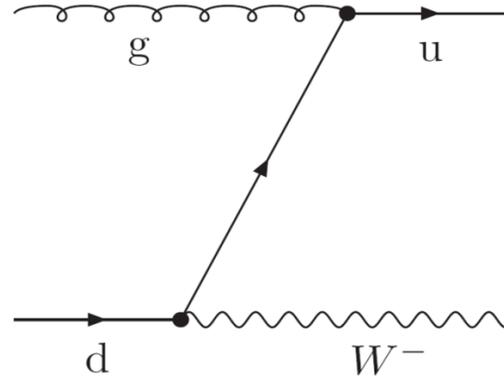
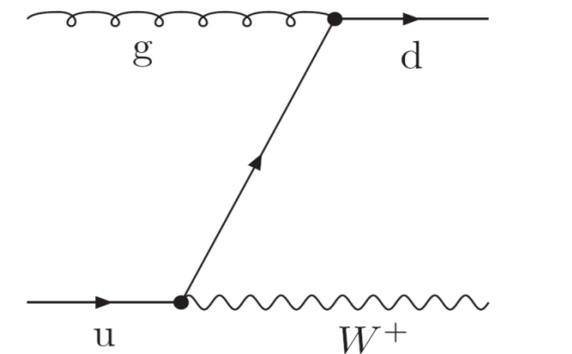
W±

Exercício: Partícula W

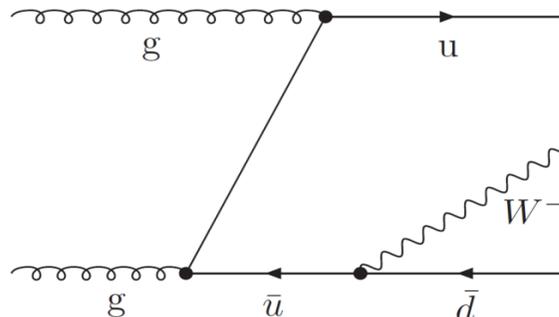
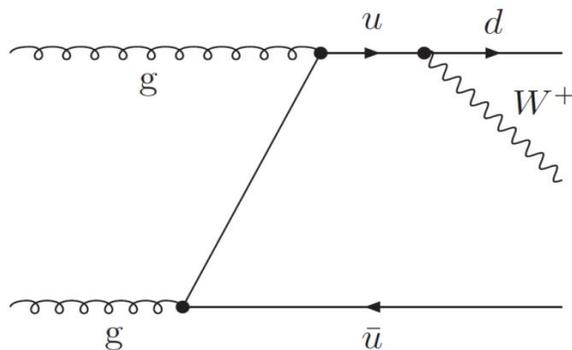
A partícula mediadora (de troca) responsável pela interação fraca são os **bosões W^+ , W^- e Z^0**

Os bosões W são produzidos de diferentes modos nas colisões próton-próton no LHC

Diagramas de Feynman (produção de W):



66%



34%

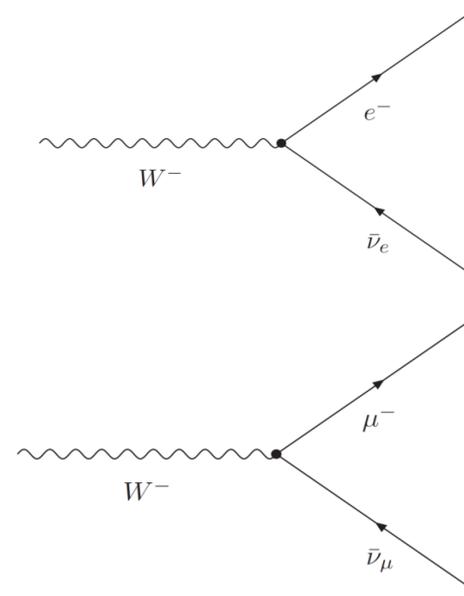
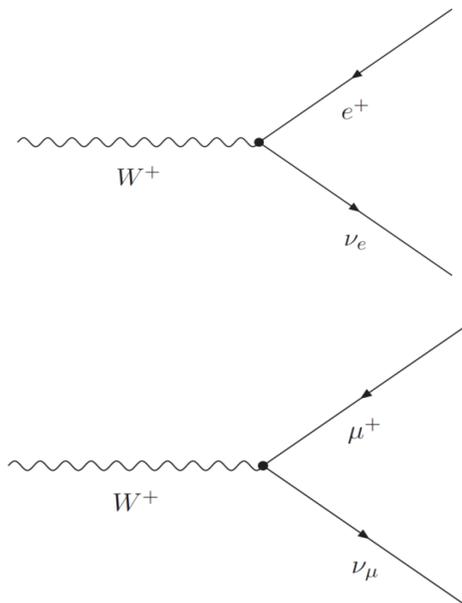
Exercício: Decaimento de partículas W

A partícula W é pesada ($80,4 \text{ GeV}/c^2$) e decai imediatamente após a sua produção

Em 2/3 dos casos decai para **quarks**, que aparecem como jactos no detector, em 1/3 dos casos decai para um **leptão** carregado e um **neutrino**

Neste exercício procuramos apenas decaimentos de W em **electrões** (ou **positrões**) ou **muões** (ou **antimuões**)

Diagramas de Feynman (decaimentos leptónicos do W):



Introdução ao MINERVA

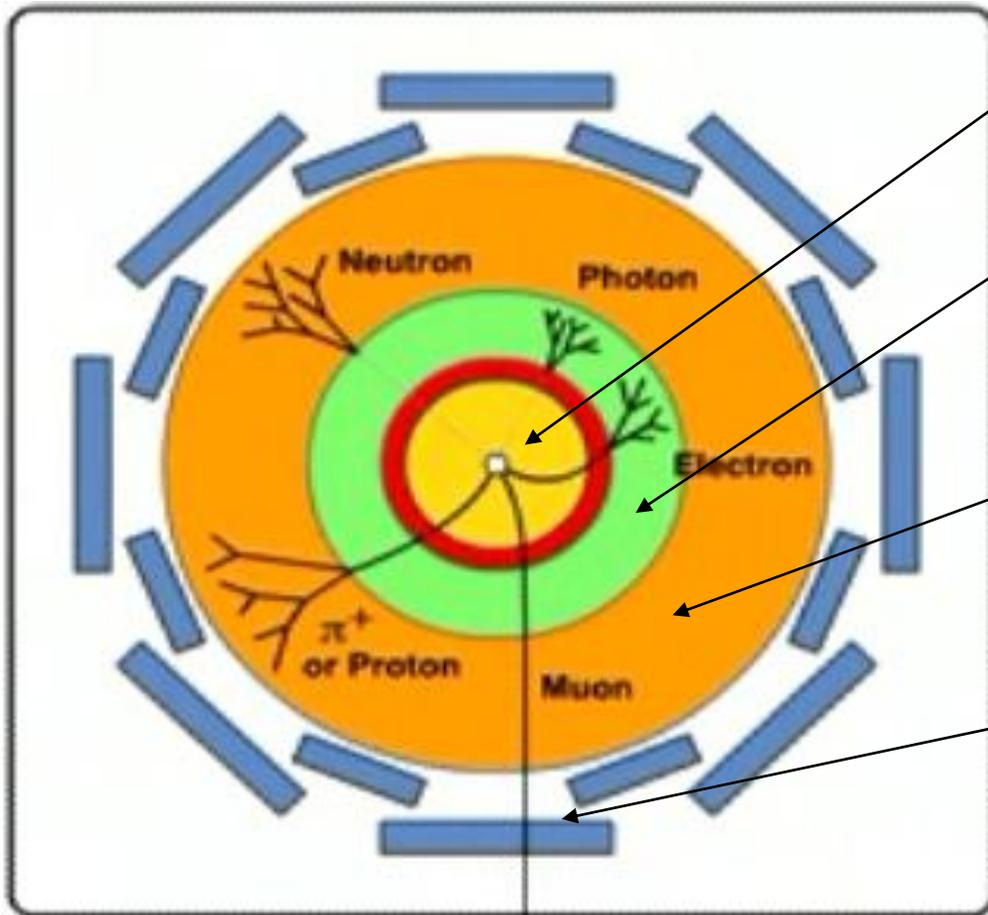
Objectivo do exercício

- Identificar electrões, muões e neutrinos no detector ATLAS
- Tipos de eventos (“partículas produzidas numa colisão”)
 - $W^+ \rightarrow e^+ \nu_e, W^- \rightarrow e^- \nu_e$
 - $W^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu, W^- \rightarrow \mu^- \nu_\mu$
 - Fundo de produção de jactos (que se podem parecer com um acontecimento com W)
 - Todos os acontecimentos em cima são processos “bem conhecidos”
- Objectivo do exercício: Qual a **razão W^+/W^-** e como extraímos a estrutura do protão (número de quarks) a partir desta razão?

Para fazer o exercício usamos o programa de visualização **Atlantis**

Usamos dados reais de ATLAS!

Como detectar partículas



Detector de trajetórias:

Mede a carga e momento das partículas em movimento num campo magnético.

Calorímetro Electromagnético:

Mede a energia de electrões, positrões e fotões

Calorímetro Hadrónico:

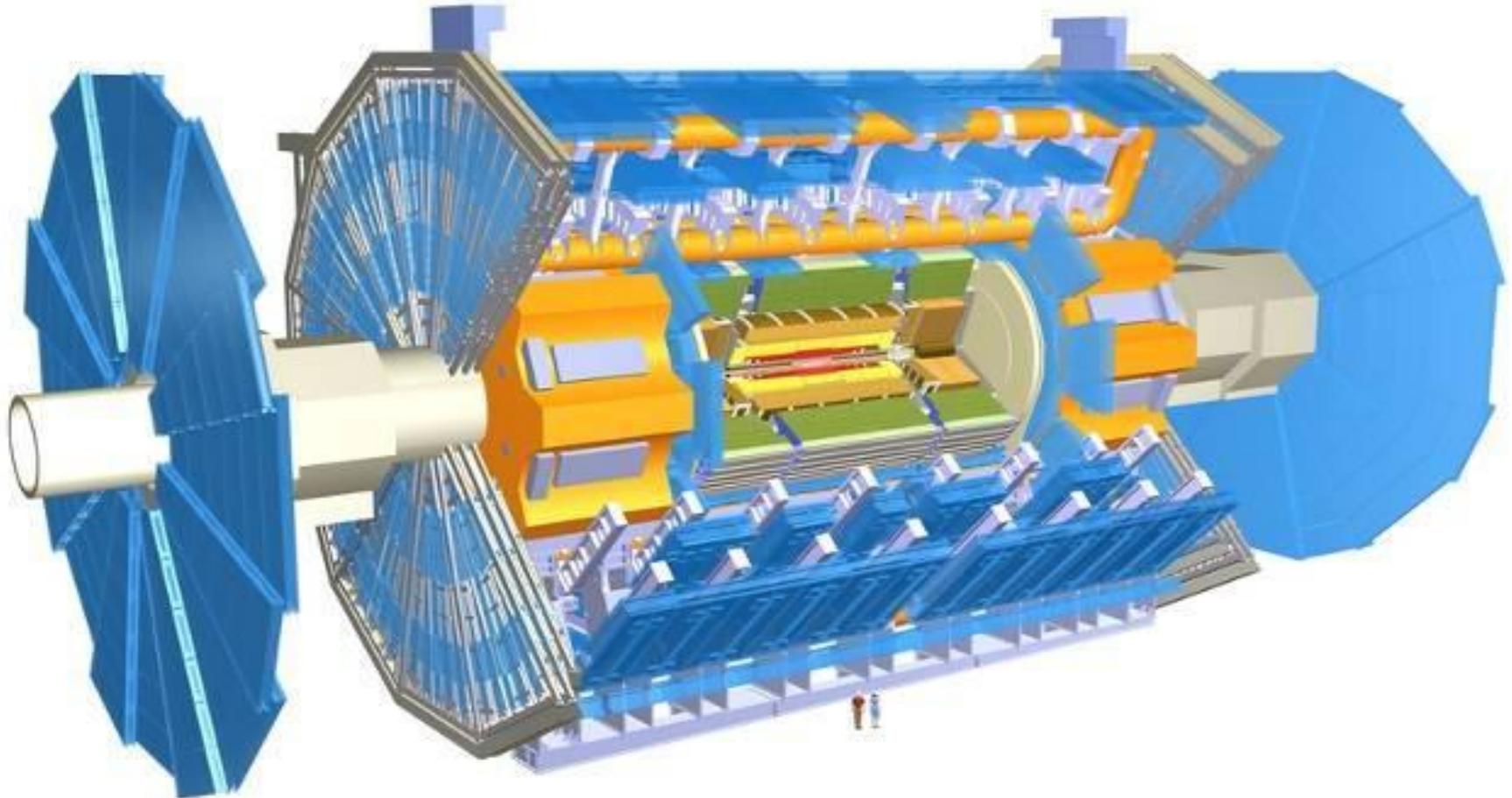
Mede a energia dos Hadrões (partículas que contêm quarks), incluindo Protões, Neutrões, Piões, etc.

Câmaras de Muões:

Medem a carga e momento dos muões.

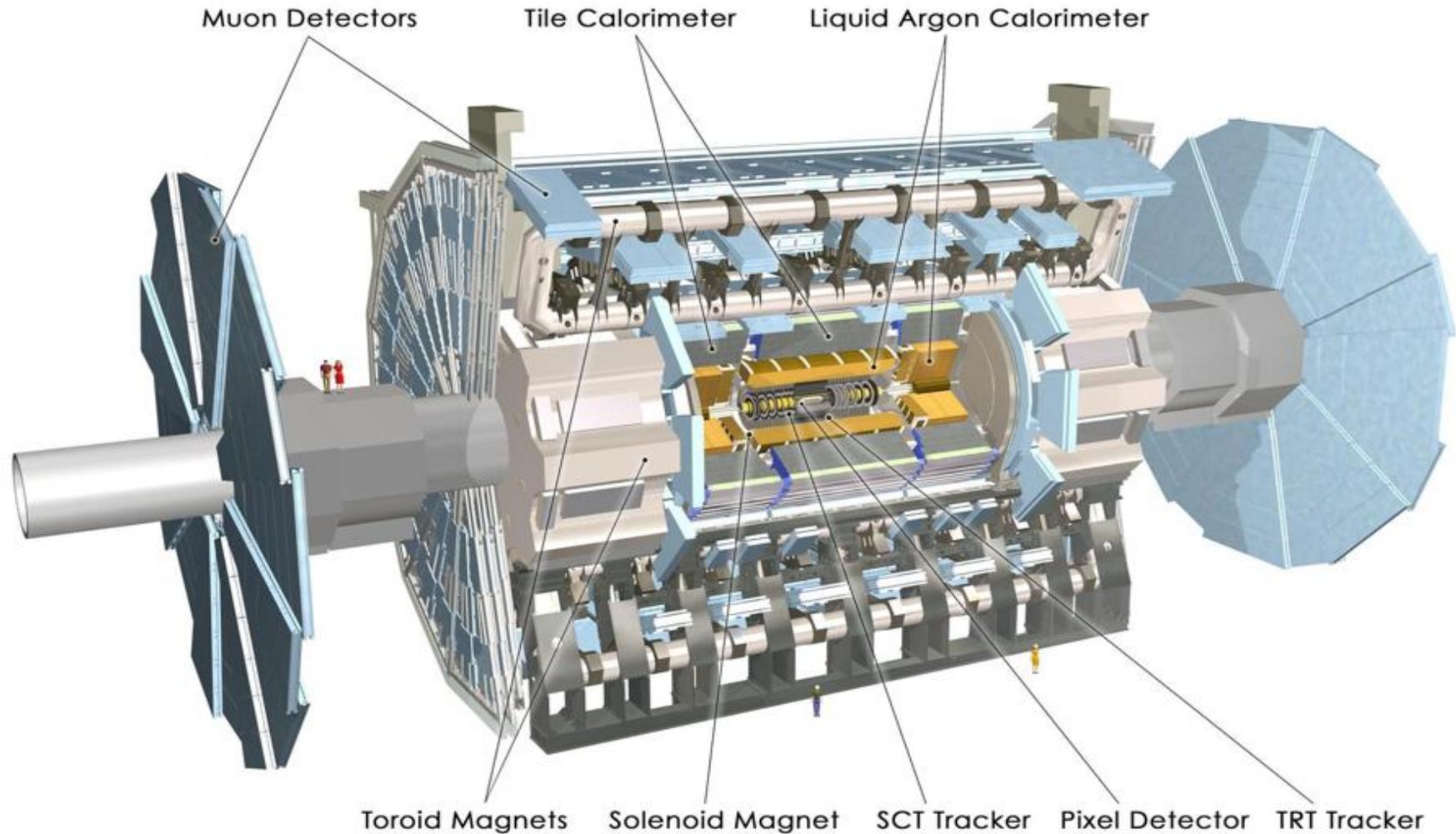
Notem que os **Neutrinos** são detectados apenas indirectamente usando a “Energia em Falta” não registada pelos outros detectores.

O Detector ATLAS



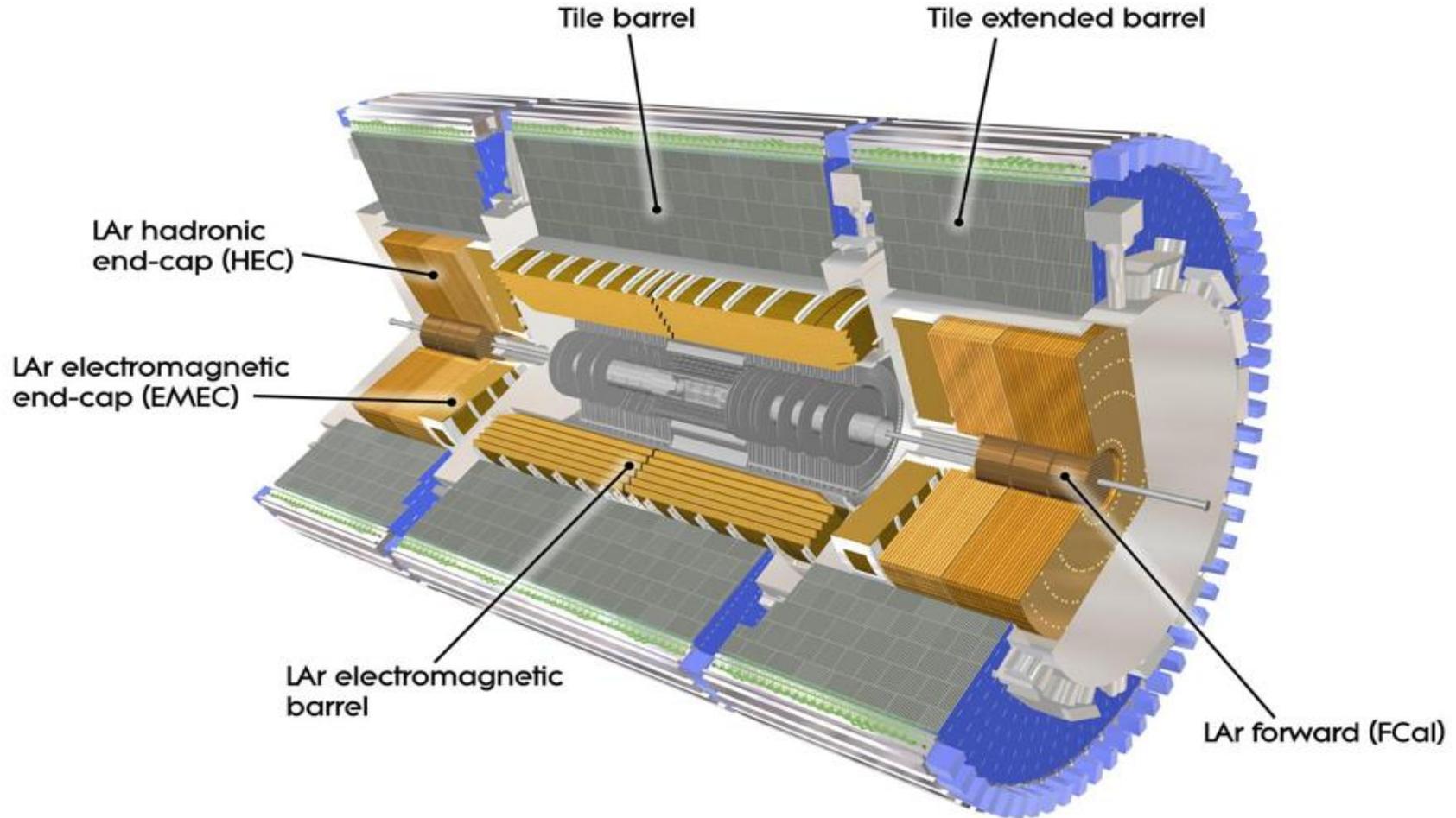
O MINERVA fornece diferentes vistas do detector ATLAS...

O Detector ATLAS

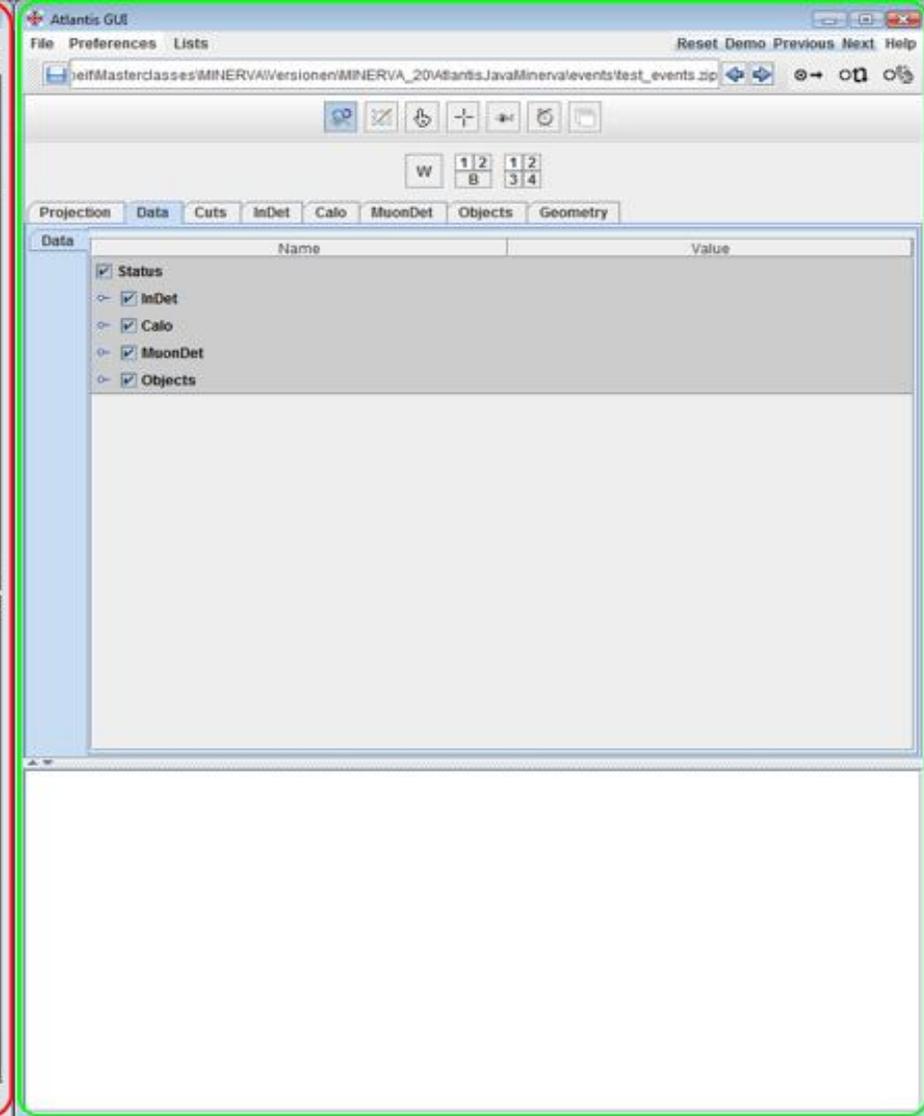
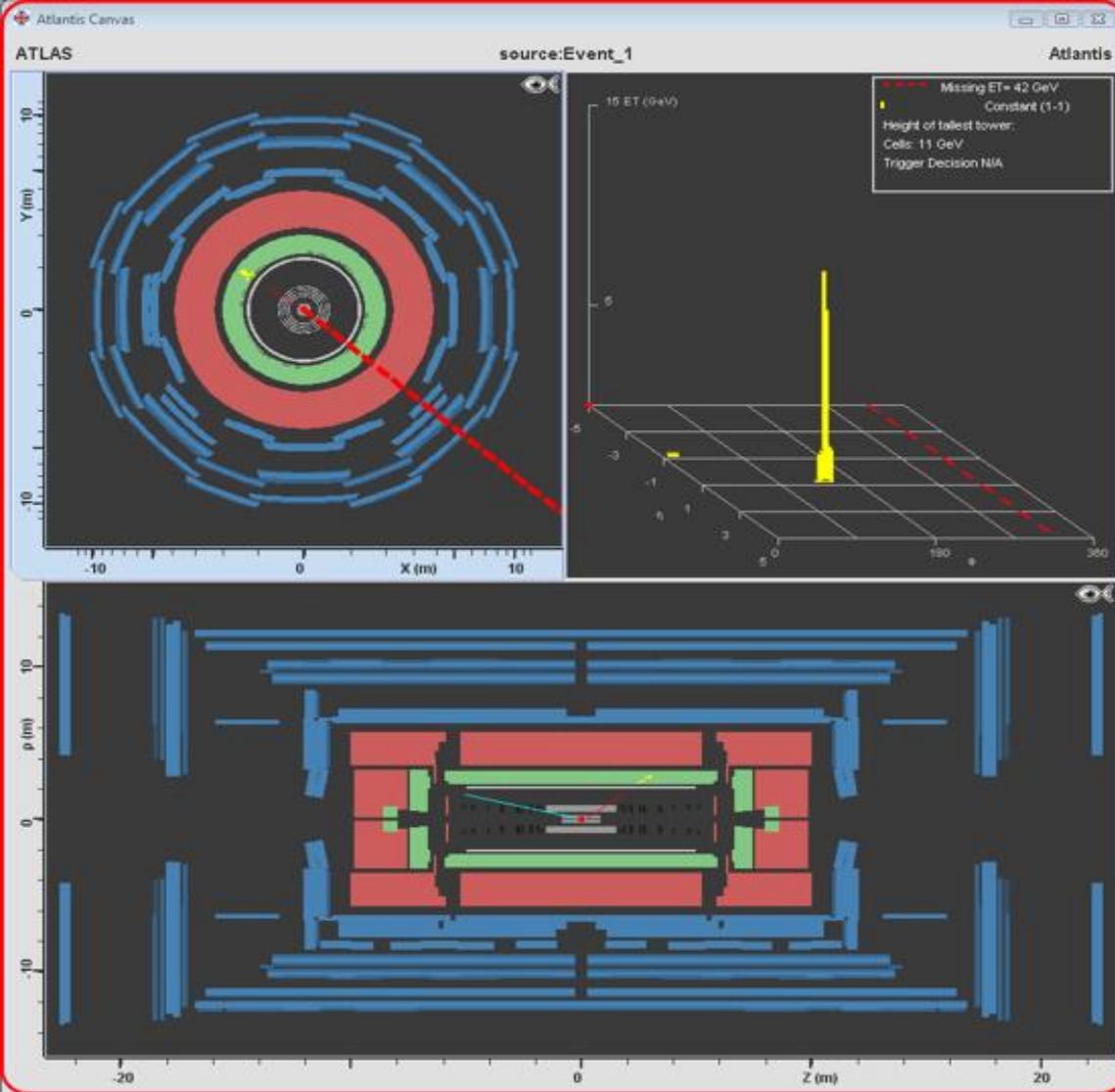


O MINERVA fornece diferentes vistas do detector ATLAS...

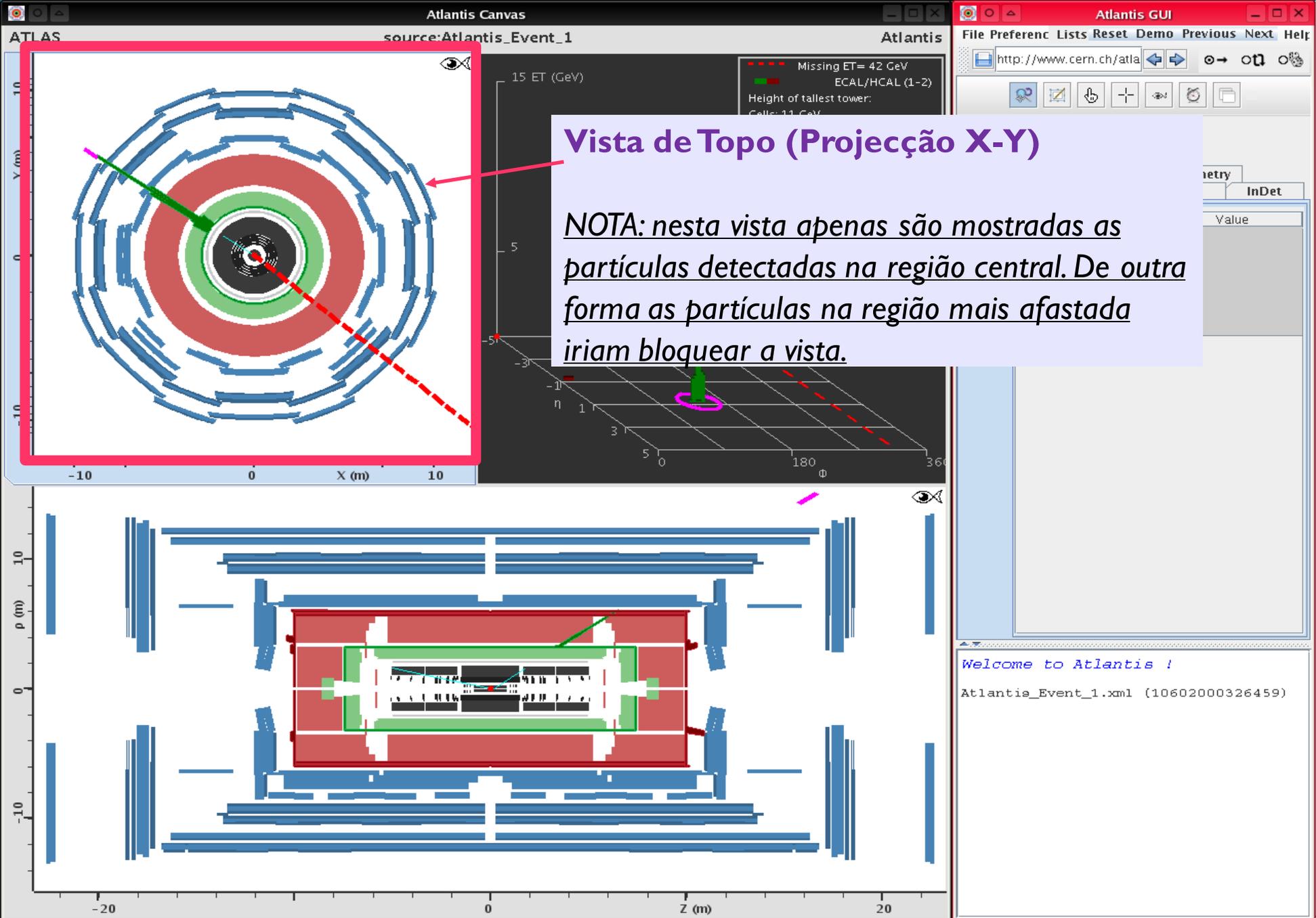
O Detector ATLAS



O MINERVA fornece diferentes vistas do detector ATLAS...



Programa MINERVA: a área a **vermelho** do ATLANTIS (“Canvas”) dá vistas diferentes do detector e do evento, e a área a **verde** tem o interface gráfico do utilizador (“GUI”) onde se pode controlar a vista e onde é escrita a informação adicional do evento



Vista de Topo (Projeção X-Y)

NOTA: nesta vista apenas são mostradas as partículas detectadas na região central. De outra forma as partículas na região mais afastada iriam bloquear a vista.

```

Welcome to Atlantis !
Atlantie_Event_1.xml (10602000326459)
  
```

ATLAS source:Atlantis_Event_1 Atlantis

File Preferenc Lists Reset Demo Previous Next Help
<http://www.cern.ch/atla>

Missing ET= 42 GeV
 ECAL/HCAL (1-2)
 Height of tallest tower:
 Cells: 11 GeV
 Trigger Decision N/A

W 1 2 1 2
 B 3 4

Calo MuonDet Objects Geometry
 Projection Data Cuts InDet

Data	Name	Value
------	------	-------

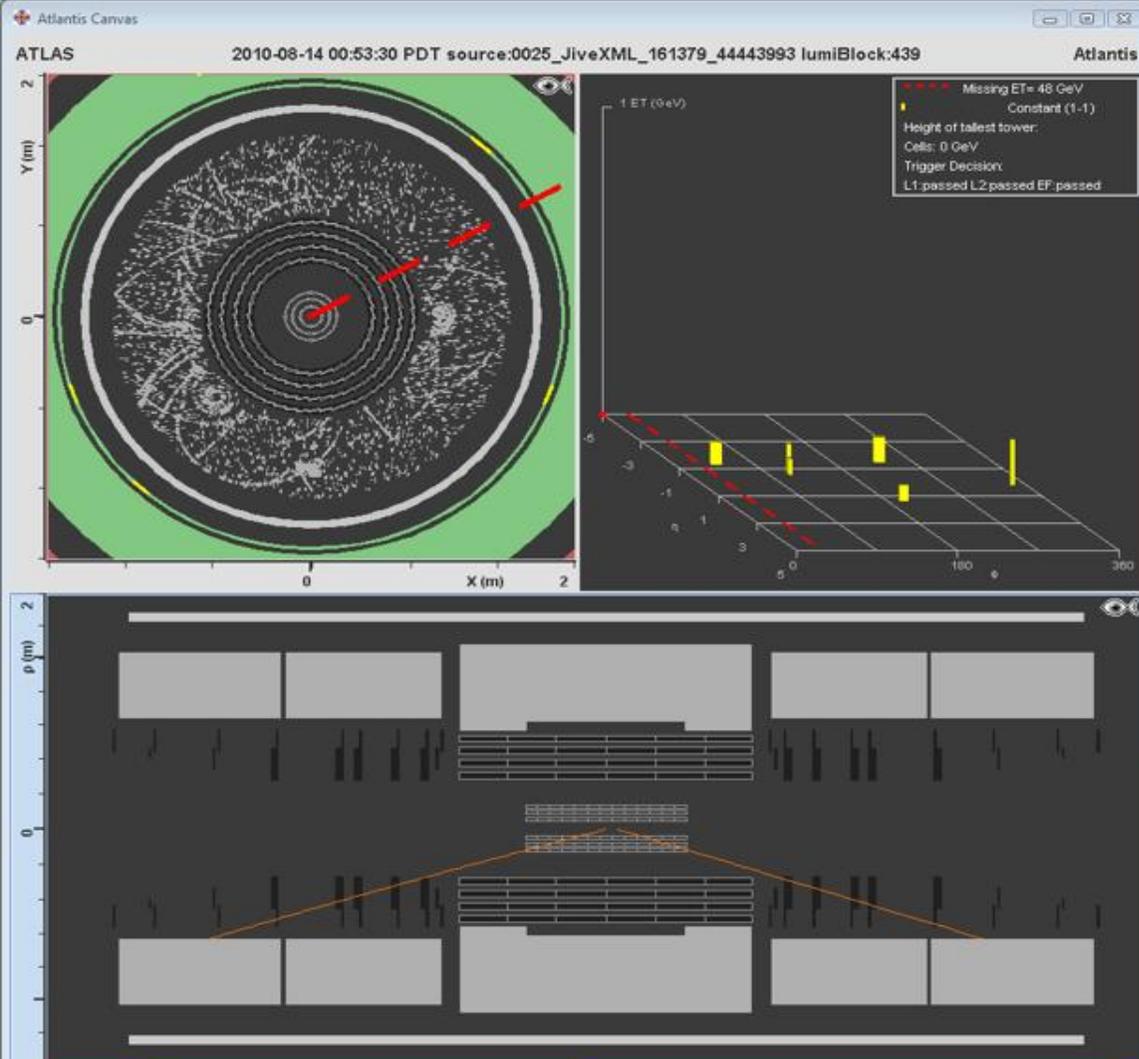
Vista lateral (Projeção R-Z)

As partículas detectadas na região central e na região mais afastada são mostradas aqui.

Welcome to Atlantis !
 Atlantie_Event_1.xml (10602000326459)

Name		Value
<input checked="" type="checkbox"/> Pt	>	10.0 GeV
<input checked="" type="checkbox"/> d0	<	2.5 mm
<input checked="" type="checkbox"/> z0	<	20.0 cm
<input checked="" type="checkbox"/> d0 Loose	<	2.0 cm
<input type="checkbox"/> z0-zVtx	<	2.5 mm
<input type="checkbox"/> Number Pixel Hits	>=	2
<input type="checkbox"/> Number SCT Hits	>=	7
<input type="checkbox"/> Number TRT Hits	>=	15
<input type="checkbox"/> Author	=	1

Na janela de interface gráfico deve usar-se o controle “**Cuts**” para mostrar apenas as partículas com **momento transverso** acima de um certo valor (20 GeV) (para cortar os traços com pouco interesse, os de baixo momento transverso)



Atlantis GUI

File Preferences Lists

Reset Demo Previous Next Help

A:\Arbeits\Masterclasses\Eventauswahl\2011-11-17\1000 Myonen\A.zip

Event Data

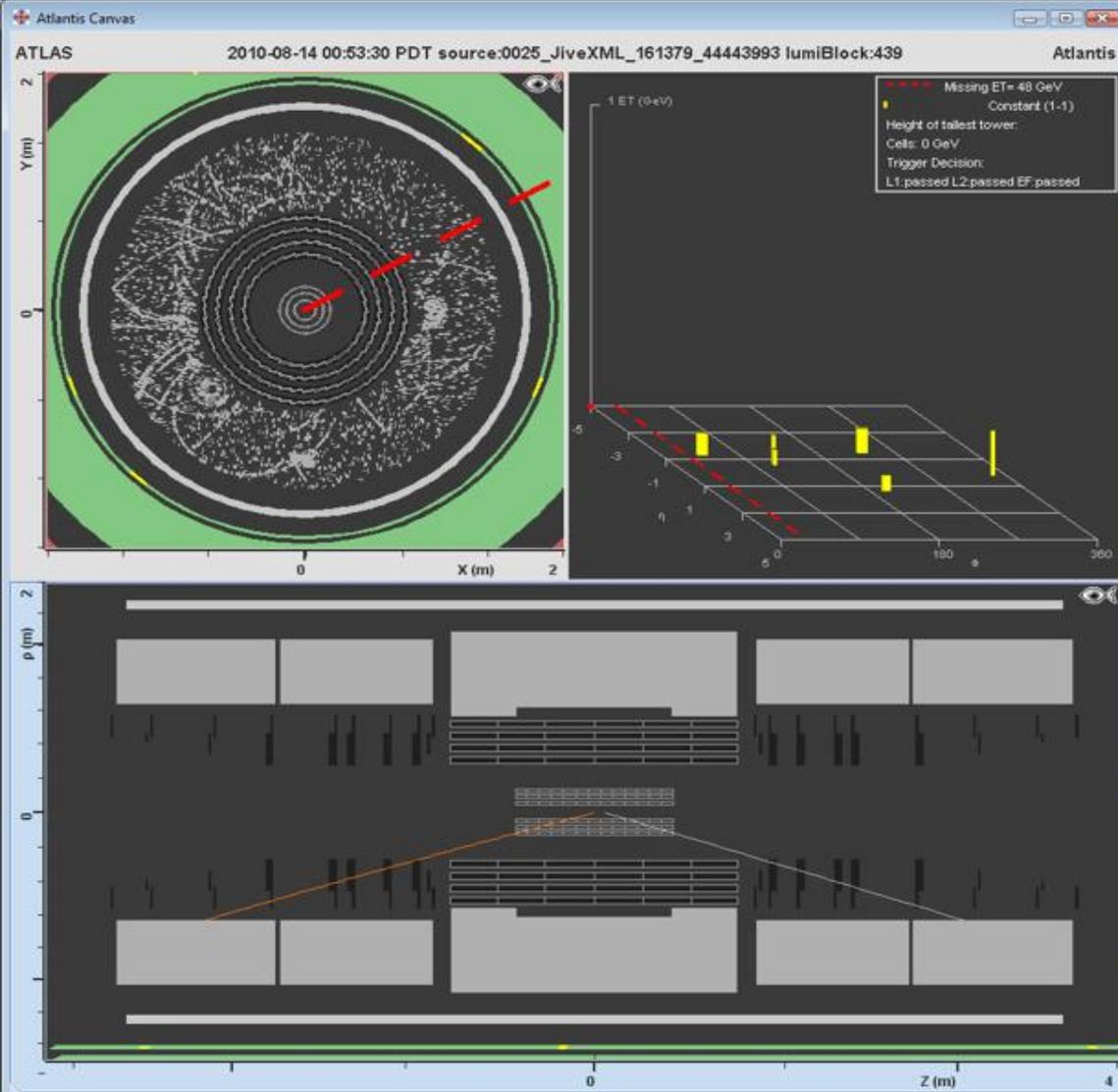
W 1 2 1 2
B 3 4

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

InDet	Name	Value
Calo	<input checked="" type="checkbox"/> PT	> 10.0 GeV
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/> d0	< 2.5 mm
Objects	<input checked="" type="checkbox"/> z0	< 20.0 cm
ATLAS	<input checked="" type="checkbox"/> d0 Loose	< 2.0 cm
	<input type="checkbox"/> z0-zVtx	< 2.5 mm
	<input type="checkbox"/> Number Pixel Hits	>= 2
	<input type="checkbox"/> Number SCT Hits	>= 7
	<input type="checkbox"/> Number TRT Hits	>= 15
	<input type="checkbox"/> Author	= 1

Com cortes parece tudo mais claro. Para ter informação acerca das partículas restantes devem usar o controle “**pick**” da barra de ferramentas (dedo)

Tocando no traço de uma partícula este muda a sua cor e a **informação** detalhada é dada na caixa de informação



Atlantis GUI File Preferences Lists Reset Demo Previous Next Help

A:\Arbeit\Masterclasses\Eventauswahl\2011-11-17\1000 Myonen\A.zip

Event Data

W 1 2 1 2
B 3 4

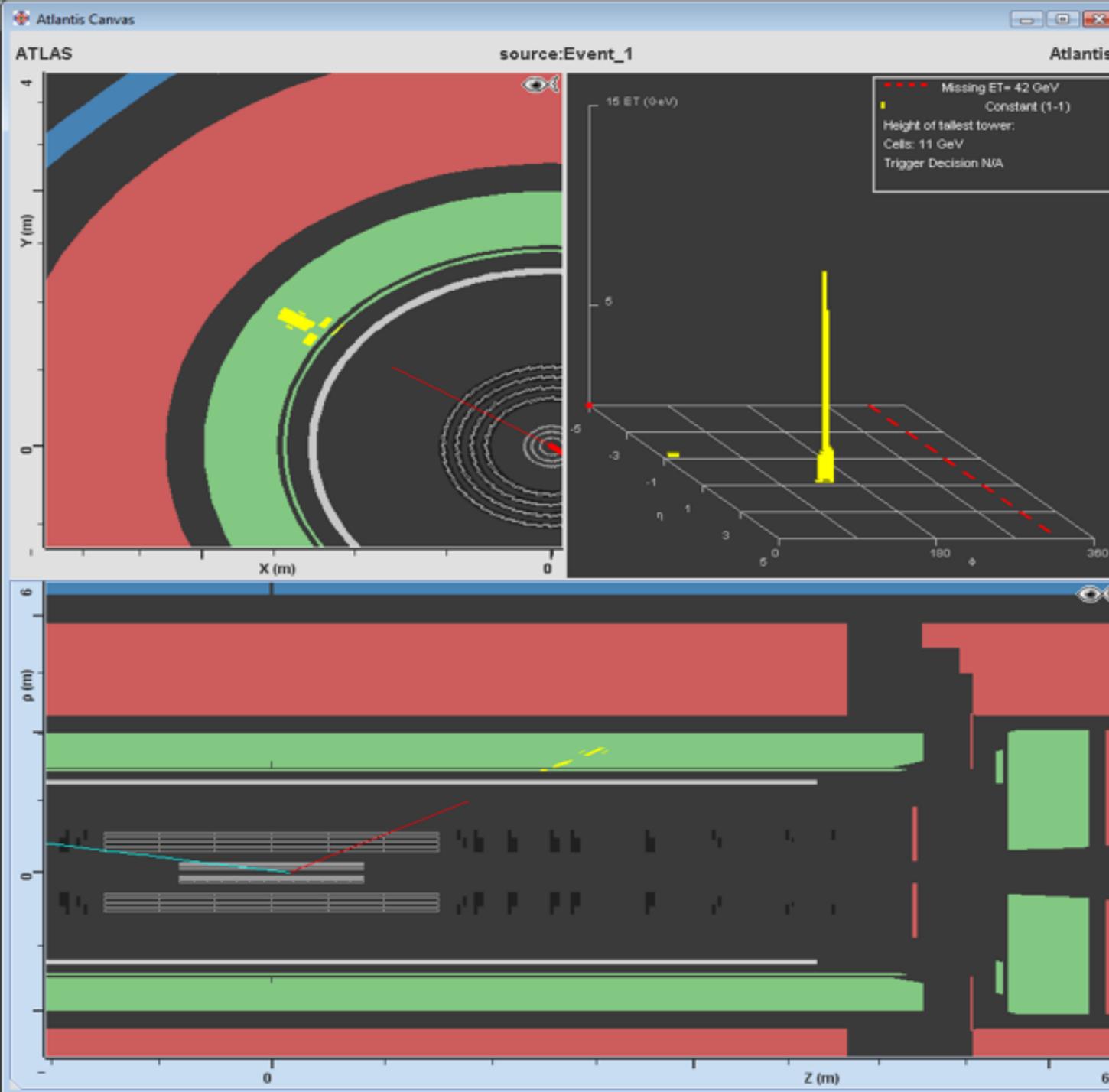
Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

InDet	Name	Value
Calo	<input checked="" type="checkbox"/> PT	> 10.0 GeV
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/> d0	< 2.5 mm
Objects	<input checked="" type="checkbox"/> z0	< 20.0 cm
ATLAS	<input checked="" type="checkbox"/> d0 Loose	< 2.0 cm
	<input type="checkbox"/> z0-zVtx	< 2.5 mm
	<input type="checkbox"/> Number Pixel Hits	>= 2
	<input type="checkbox"/> Number SCT Hits	>= 7
	<input type="checkbox"/> Number TRT Hits	>= 15
	<input type="checkbox"/> Author	= 1

InDetTrack index: 1
 PT=-34.849 GeV
 $\eta = 1.883$
 $\Phi = 205.825^\circ$
 Px=-31.368 GeV
 Py=-15.181 GeV
 Pz=111.864 GeV
 numPixelHits = 4
 numSCTHits = 8
 numTRTHits = 23

InDetTrack index: 1
 PT=-34.849 GeV
 $\eta = 1.883$
 $\Phi = 205.825^\circ$
 Px=-31.368 GeV
 Py=-15.181 GeV
 Pz=111.864 GeV
 numPixelHits = 4
 numSCTHits = 8
 numTRTHits = 23

Informação acerca do traço escolhido



As **trajectórias** das partículas carregadas são mostradas como traços coloridos (a cor dá uma ideia do momento medido no plano **transverso**)

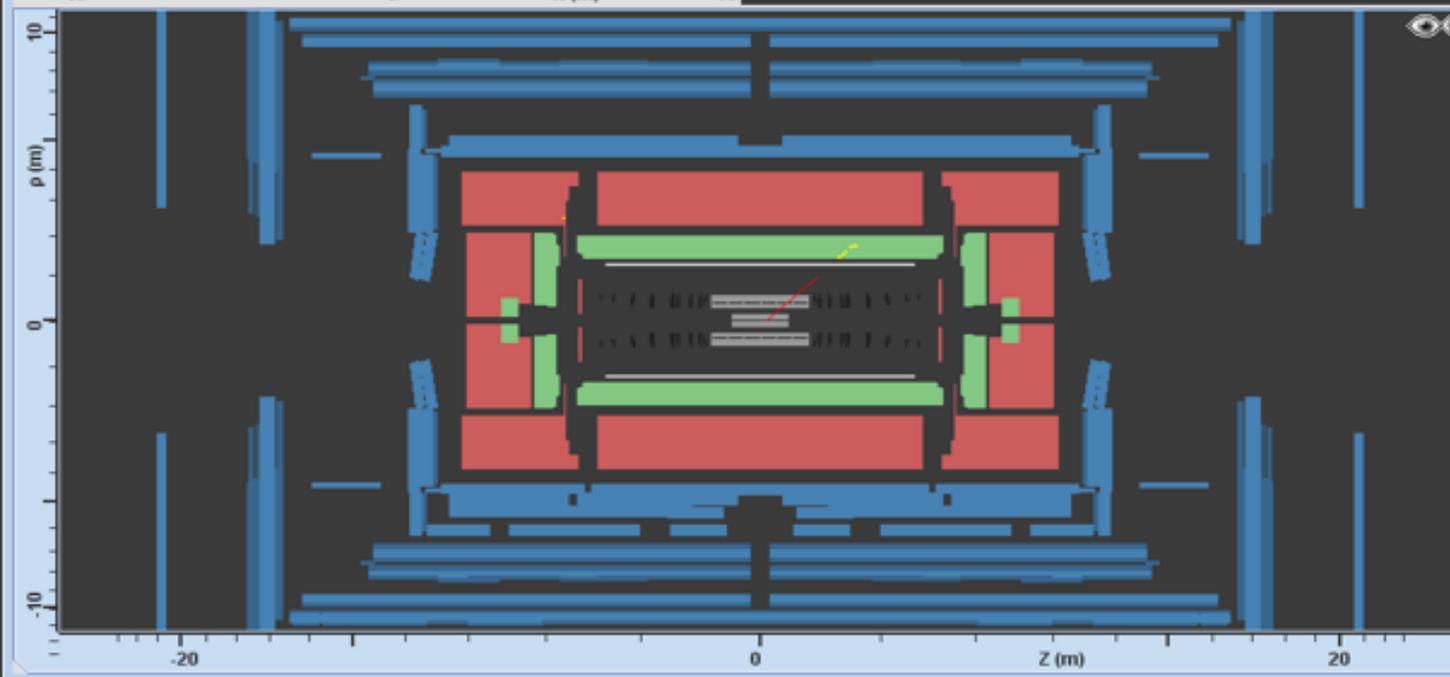
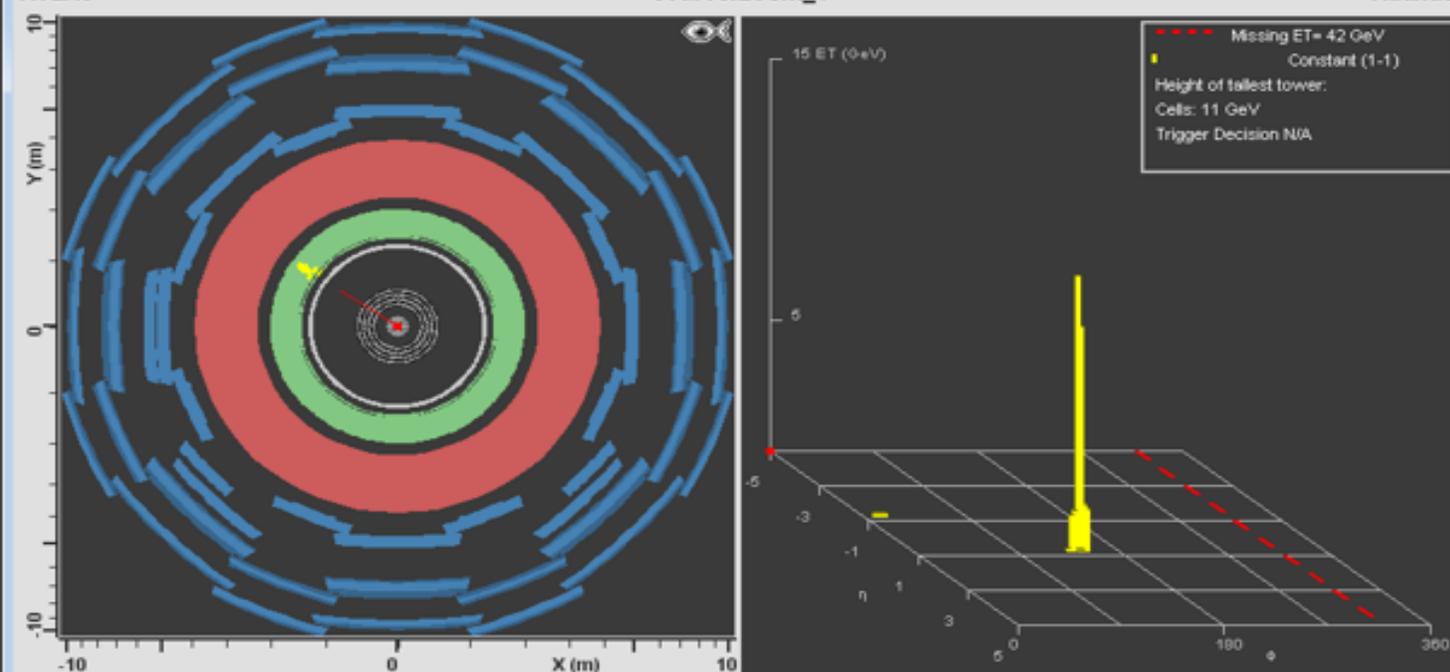
A imagem mostra dois **traços**, um de alto (vermelho) e outro de baixo (azul) momento transverso

Pode não ser fácil ligar os traços com os depósitos de energia nos **calorímetros** (representados a amarelo)

ATLAS

source:Event_1

Atlantis



Identificação de electrões

O **electrão** (ou **positrão**) deixa um traço (a vermelho) no detector interior e deixa energia no **calorímetro electromagnético** (caixas amarelas)

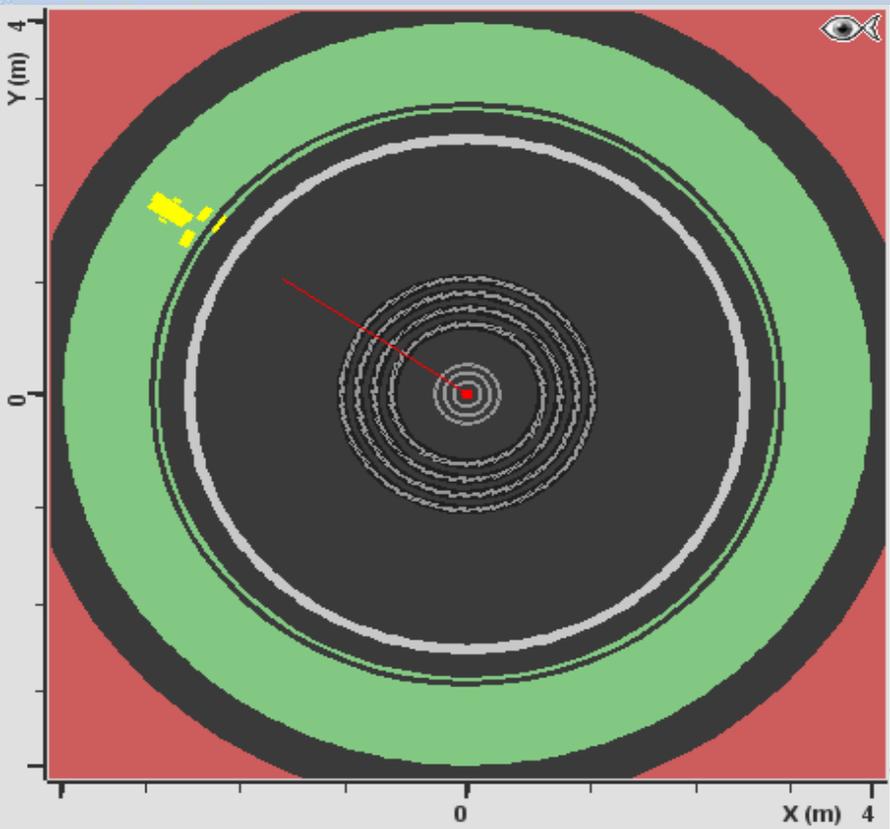
Não produz sinal nem no calorímetro hadrónico nem nas câmaras de muões

JiveXML_5104_20651.xml (51040020651)

Event_1.xml (10602000326459)

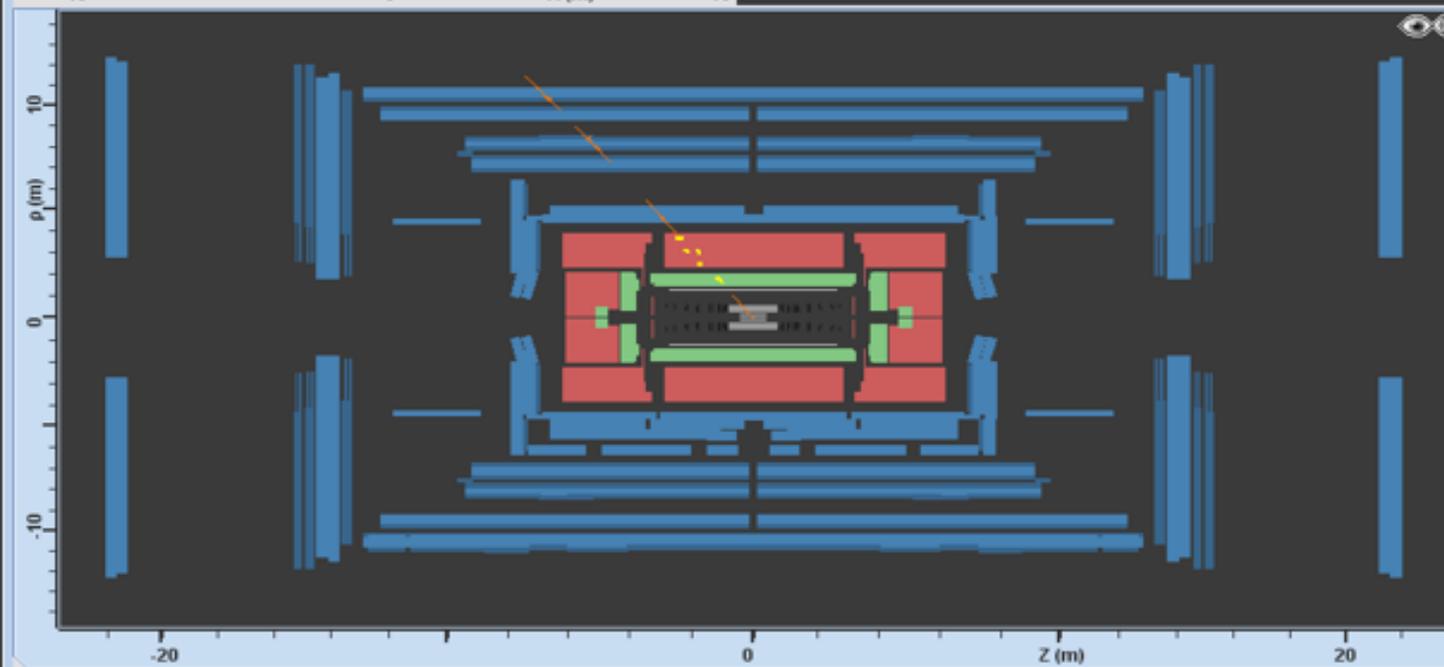
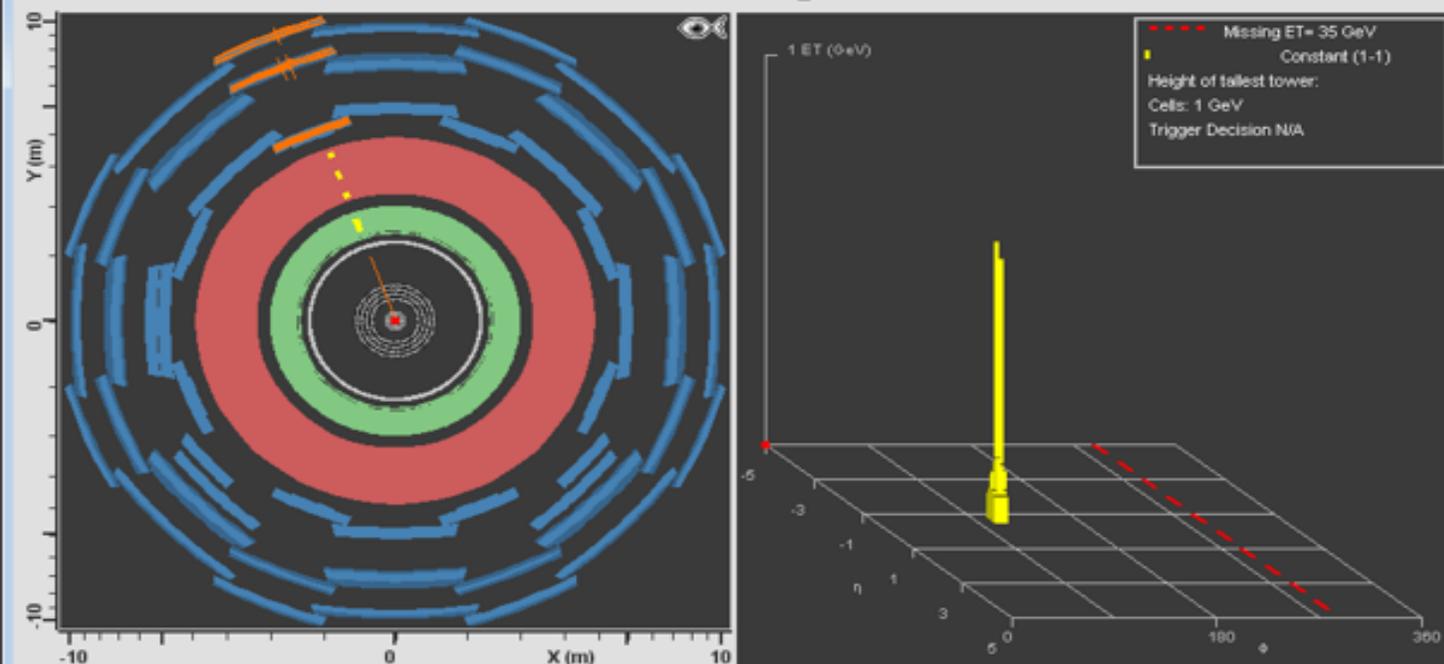
InDetTrack index: 0
PT=-42.776 GeV
 $\eta = 0.753$
 $\Phi = 145.562^\circ$
Px=-35.279 GeV
Py=24.191 GeV
Pz=35.368 GeV
numPixelHits = 3
numSCTHits = 9
numTRTHits = 19

InDetTrack index: 0
PT=-42.776 GeV
 $\eta = 0.753$
 $\Phi = 145.562^\circ$
Px=-35.279 GeV



Usando o “pick”, o sinal do valor de pT dá a carga da partícula (neste caso é um **electrão**)

O valor do ângulo Φ também é importante

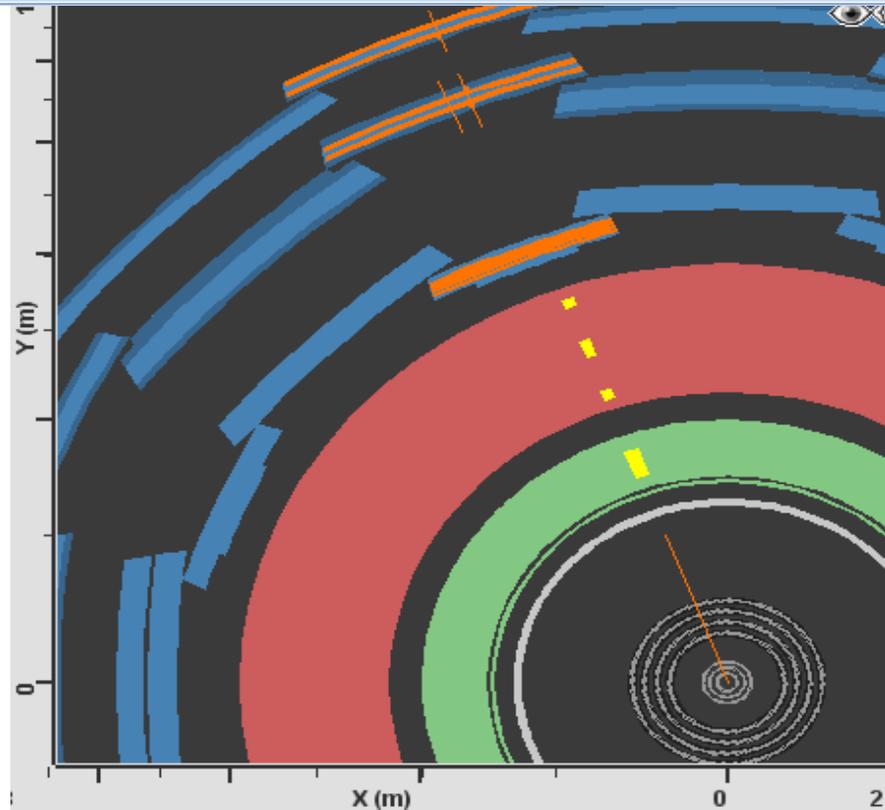
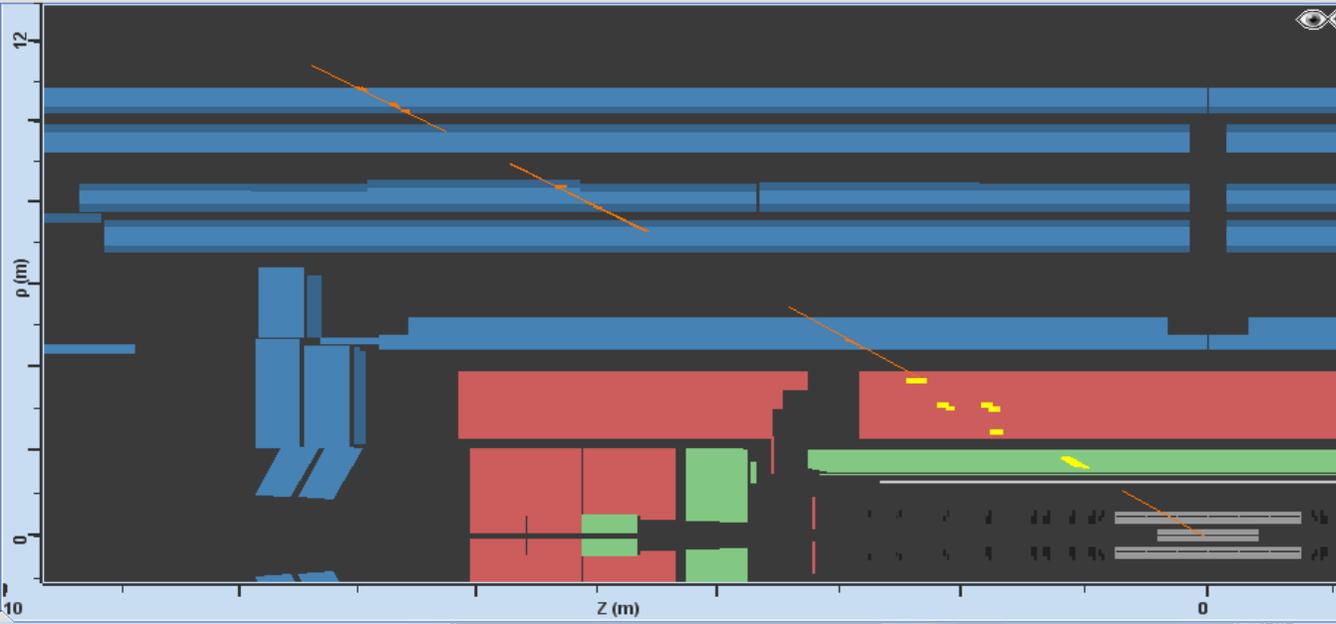


Identificação de muões

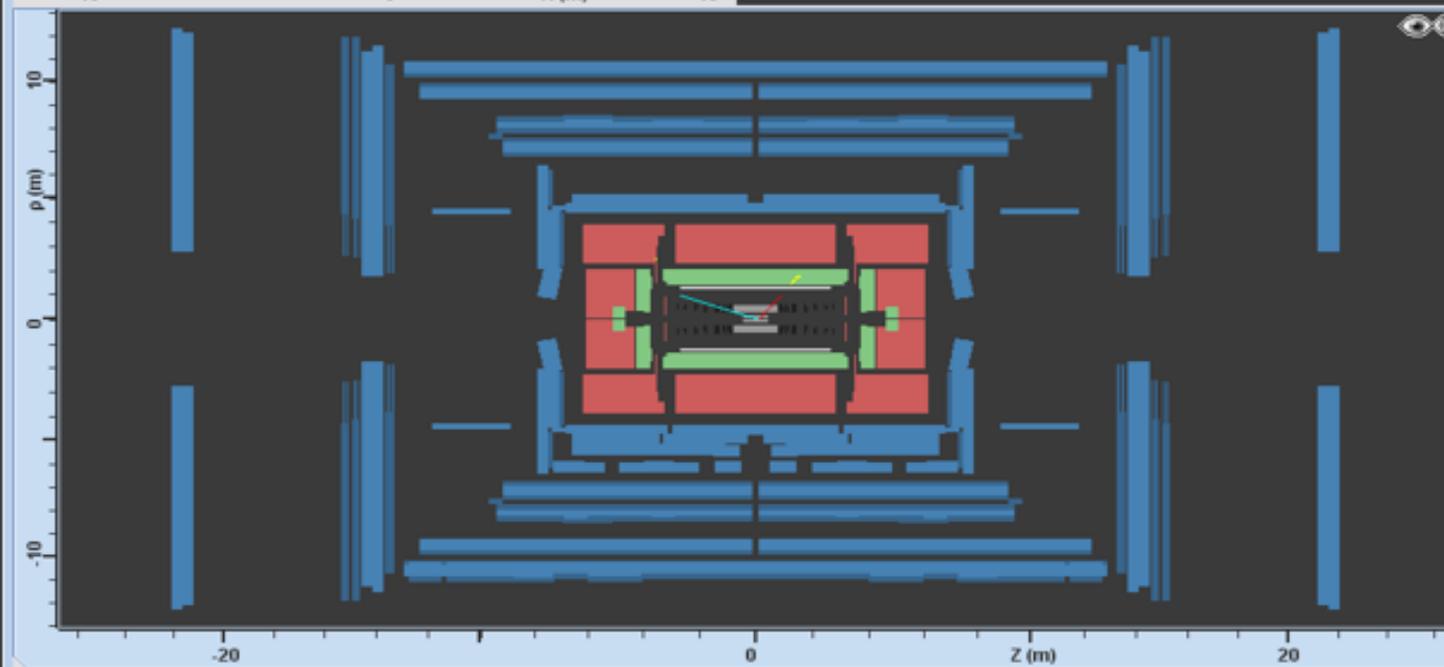
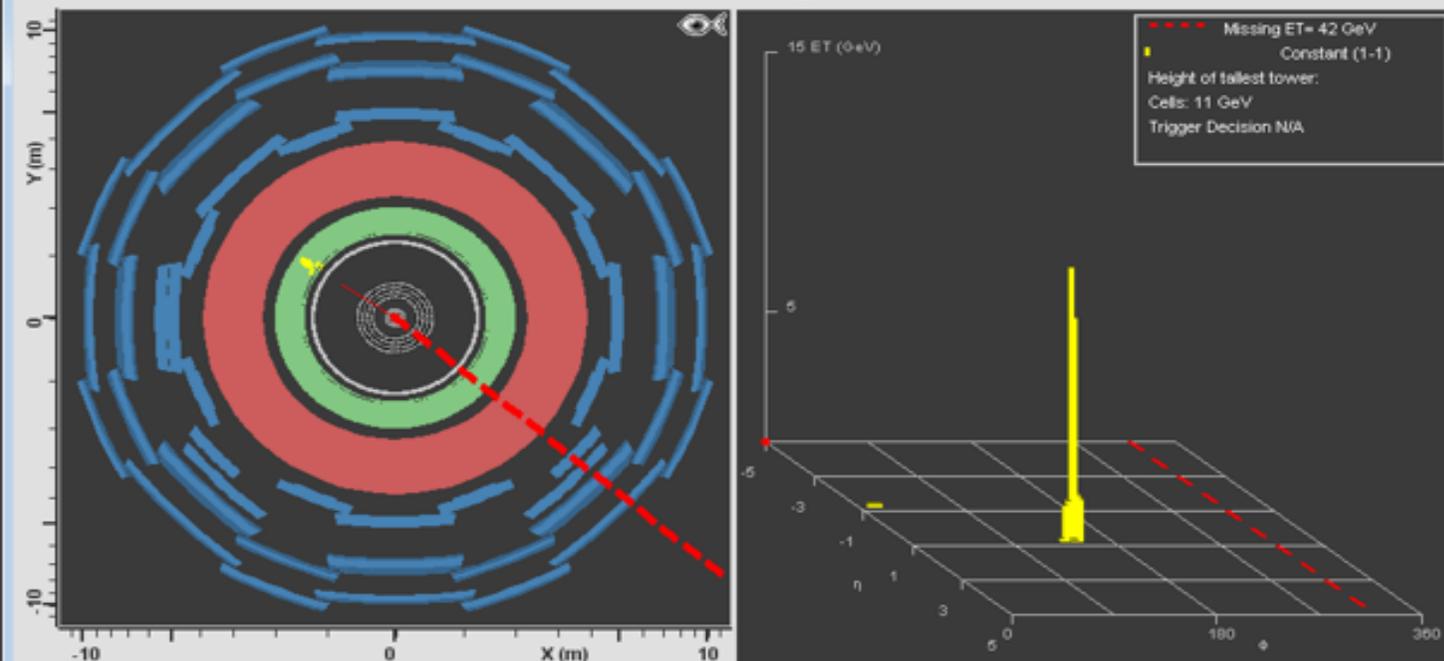
Para além dos neutrinos, só os **muões** conseguem atravessar todo o detector e são detectados nas **câmaras de muões** (a azul na figura)

Se há sinal nestas câmaras elas ficam **laranja**

Muões com origem nas colisões no centro do detector geralmente produzem sinal em TODAS as camadas.



Neste evento existe um traço laranja no **detector interno**, pequenos depósitos de energia nos calorímetros (caixas amarelas) e sinal nas **câmaras de muões**

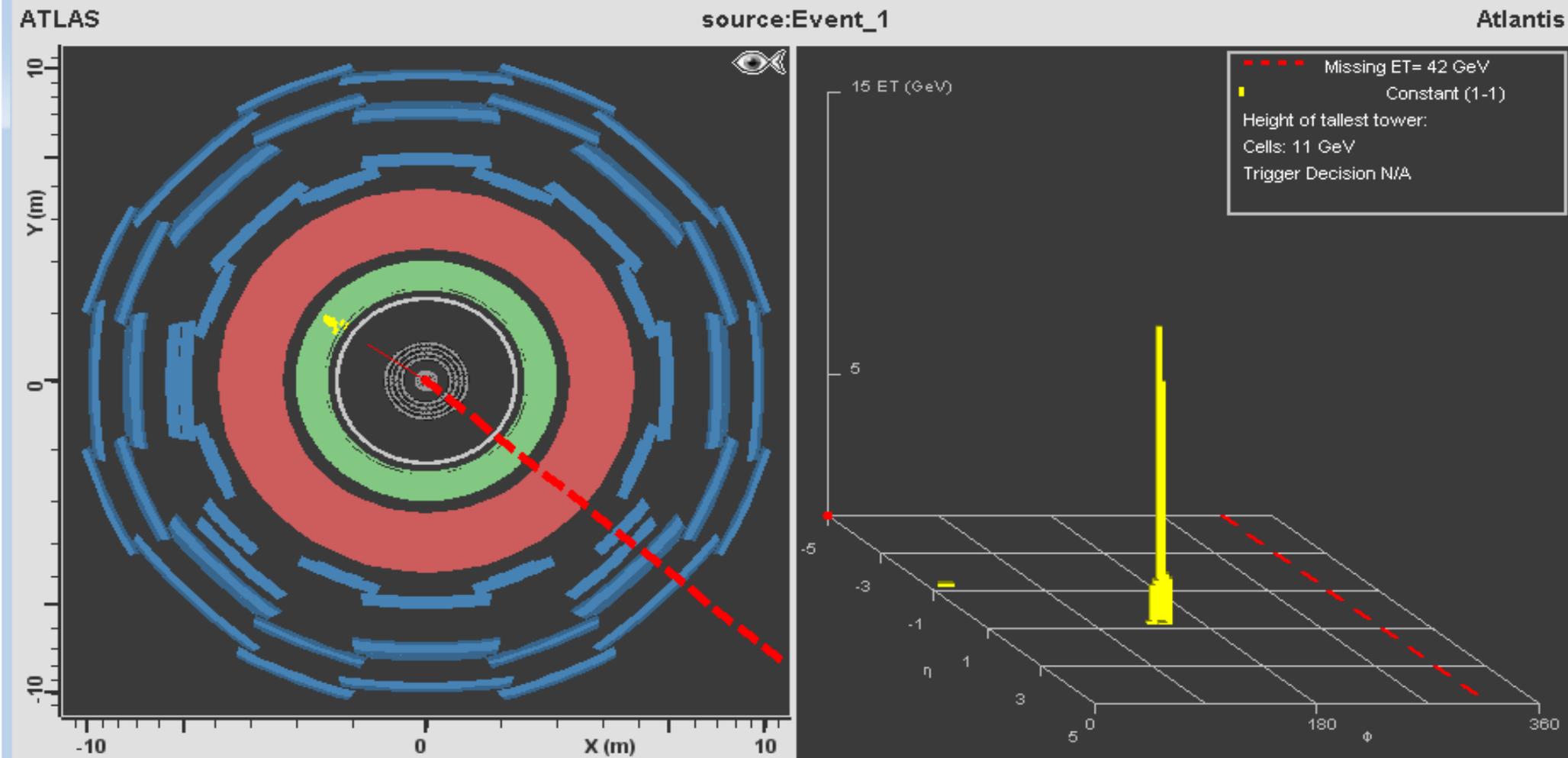


Identificação de neutrinos

Os **neutrinos** não interagem em nenhuma componente do detector

Para detectar algo que não se vê usa-se a conservação do momento no plano **transverso** (a soma vectorial é nula antes e depois da colisão)

A energia do neutrino é a **energia em falta (MET)**

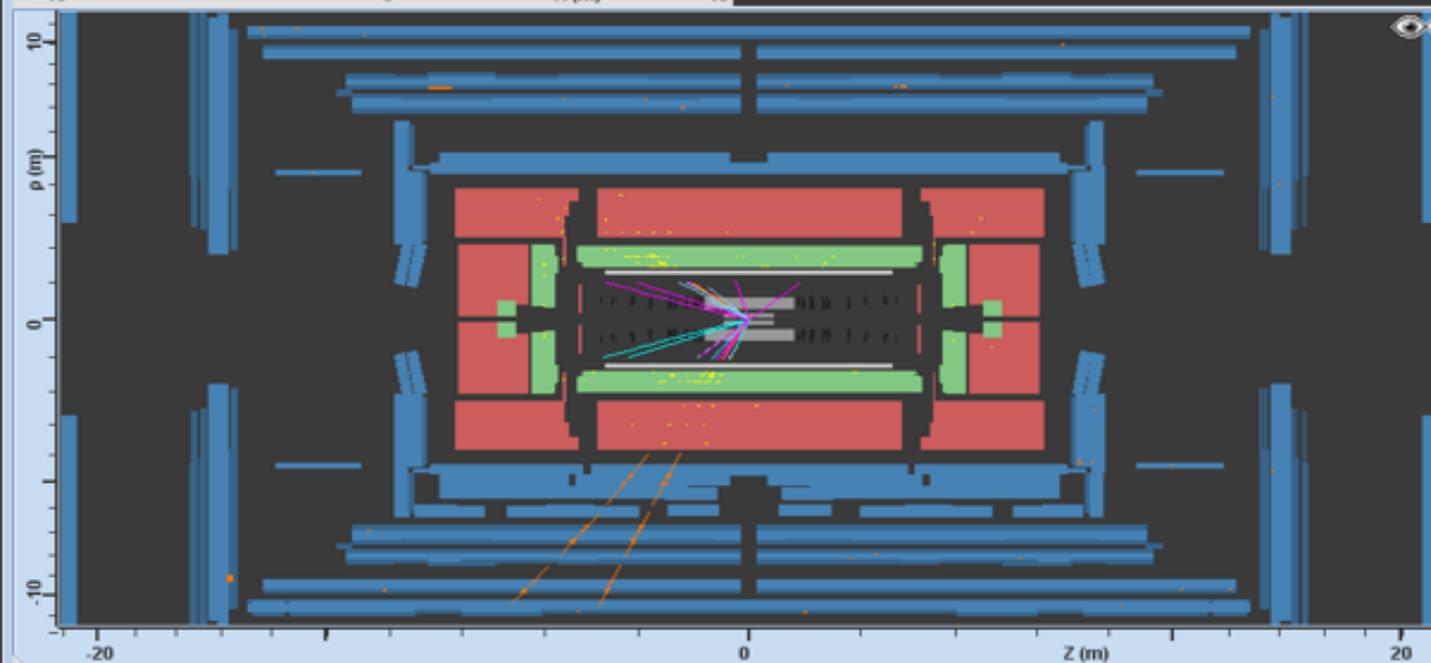
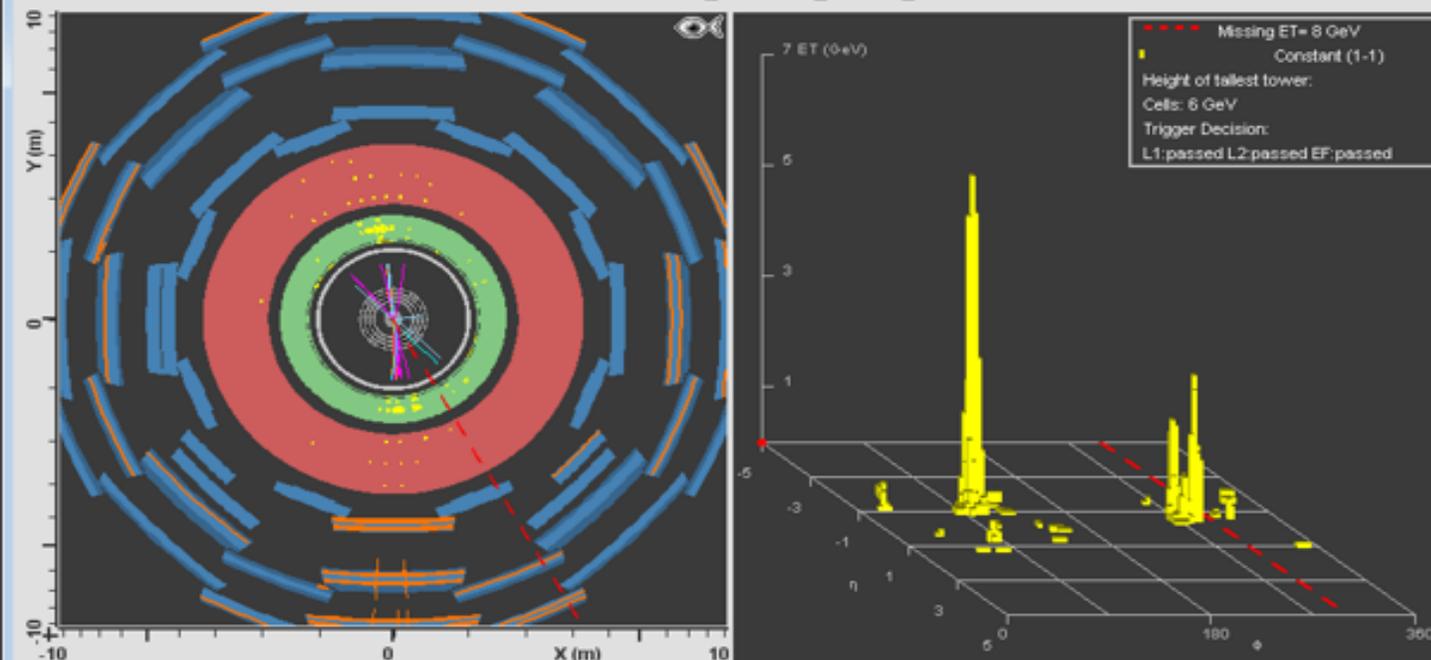


No MINERVA há duas maneiras de determinar o **ET em falta**: na caixa cinzenta da figura ou pela **linha vermelha tracejada** (a orientação dá a direcção, e a espessura dá uma ideia do valor)

ATLAS

2010-08-05 08:32:23 CEST source:0015_JiveXML_160801_50479465 lumiBlock:346

Atlantis



Identificação de jactos

Partículas em **jactos** possuem traços no detector interno e depósitos de energia nos calorímetros, em particular no **hadrónico**

Têm origem em **quarks, antiquarks e glúões**



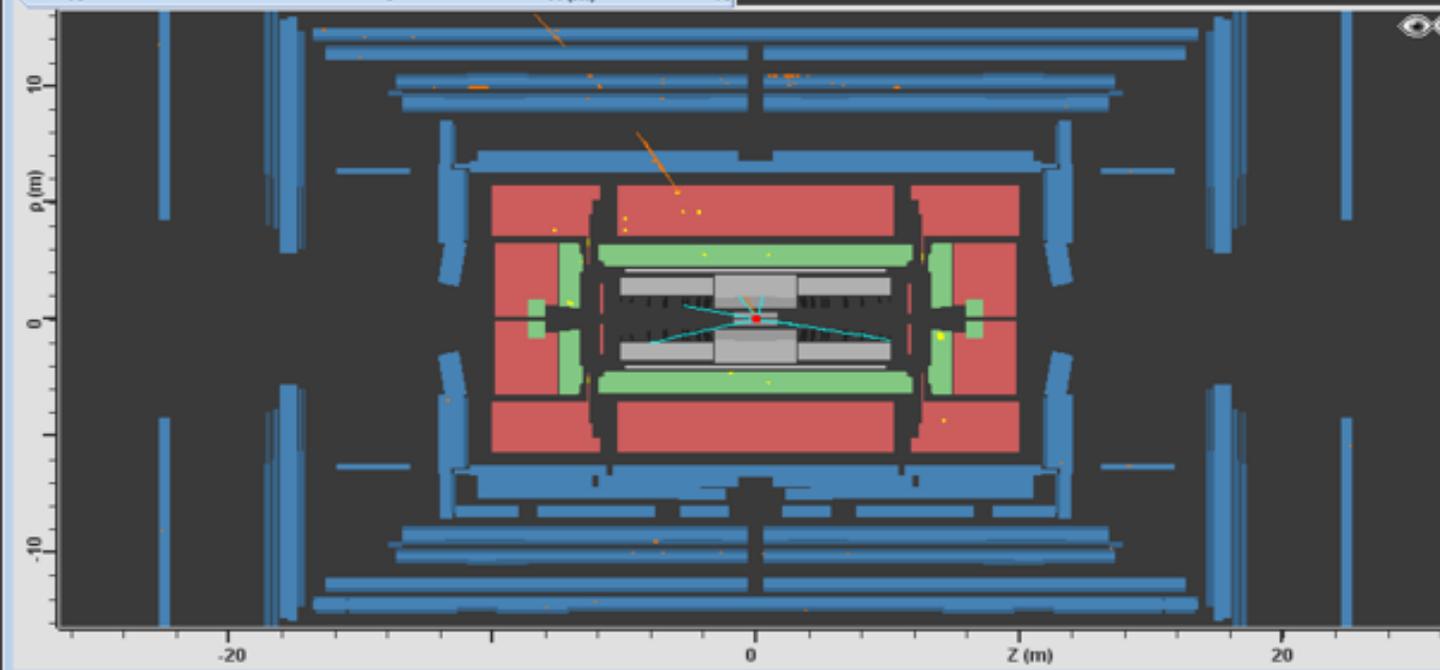
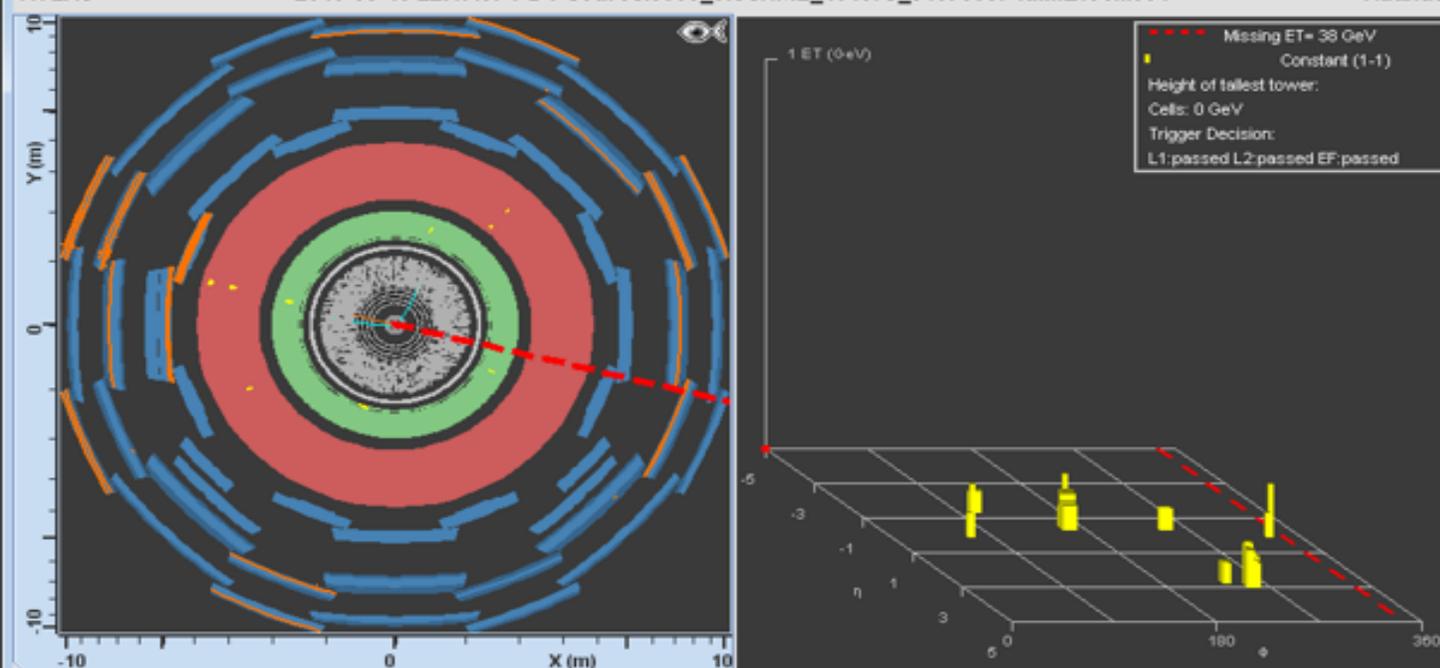
Identificação de eventos

$$W \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

ATLAS

2010-08-13 22:17:37 PDT source:0003_JiveXML_161379_31870557 lumiBlock:361

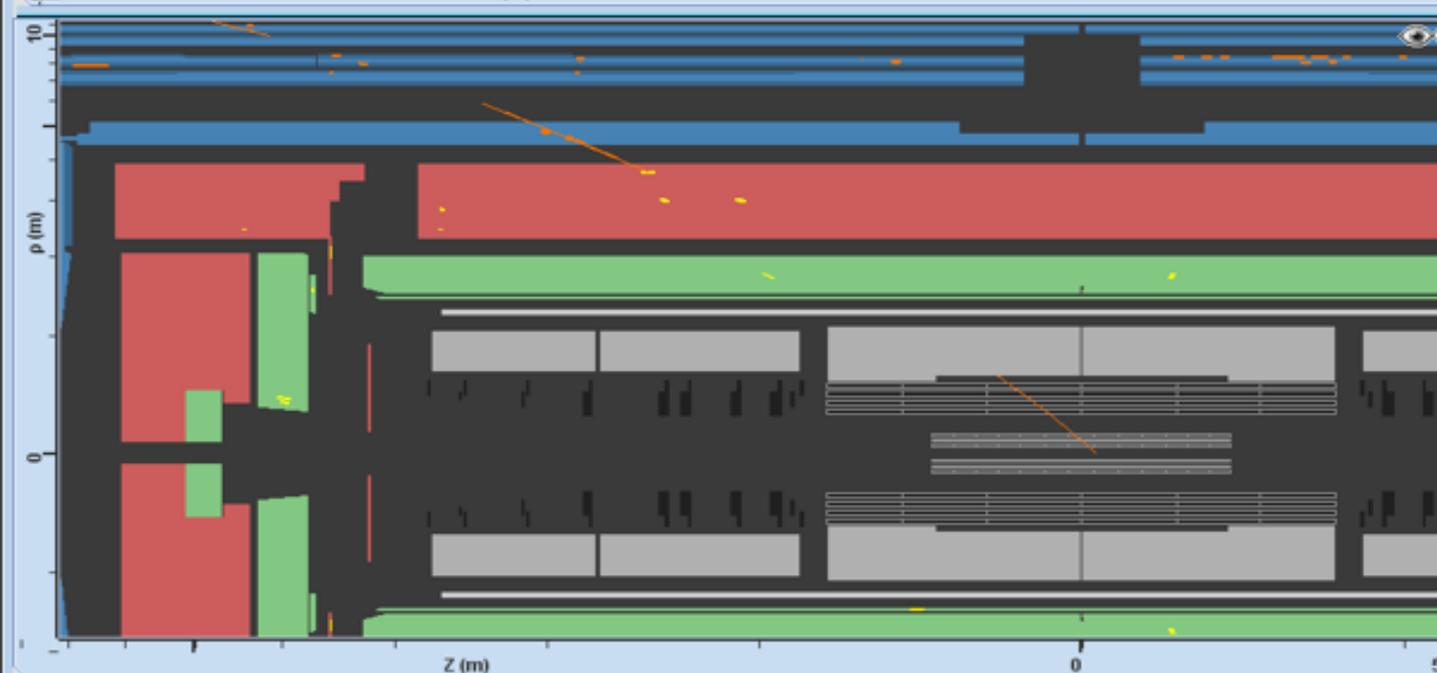
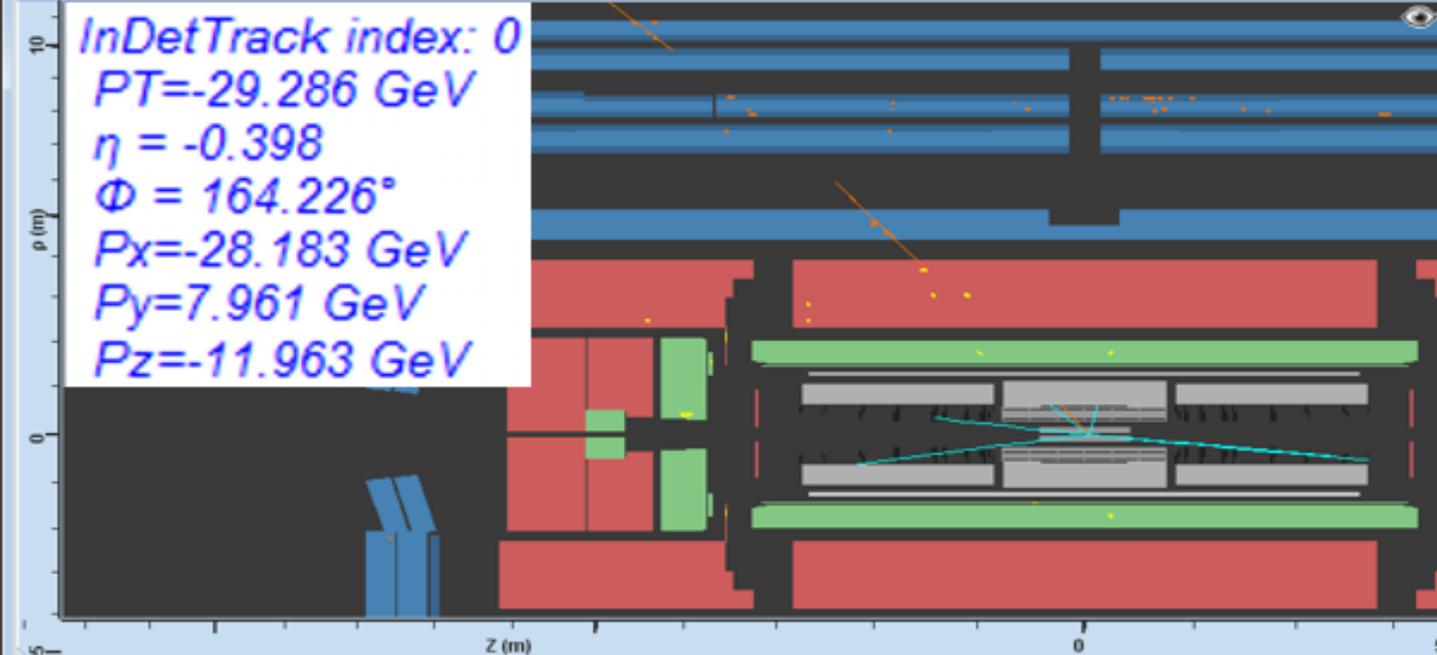
Atlantis



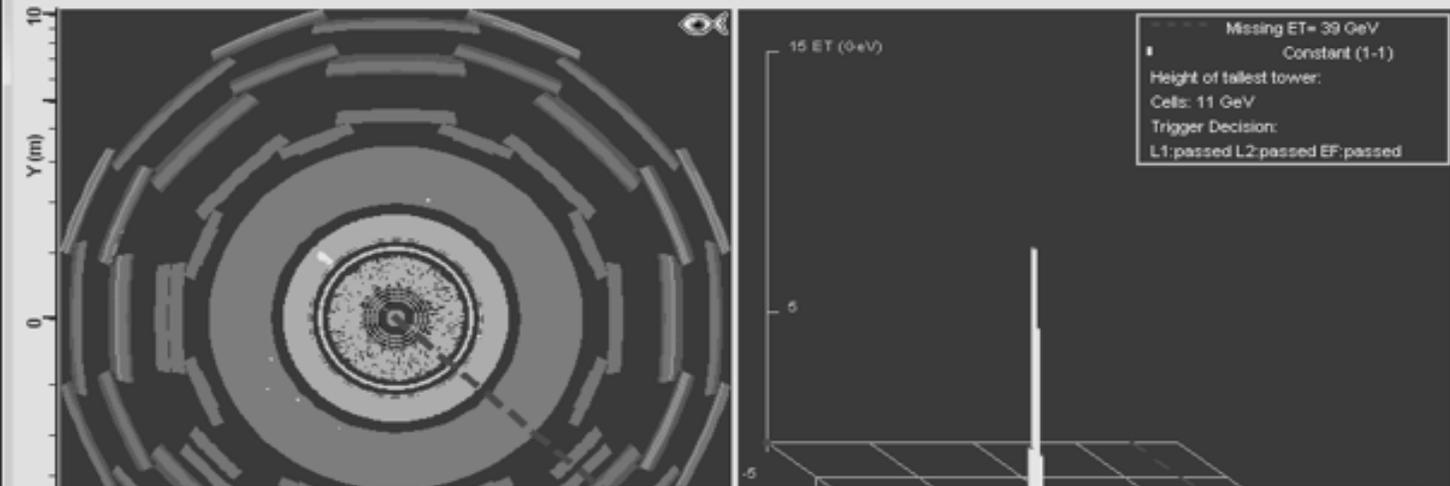
O valor de **momento transverso em falta** é de 38 GeV por isso devemos ter um **neutrino**

Aplicando os “**Cuts**” $p_T > 20$ GeV podemos limpar o evento

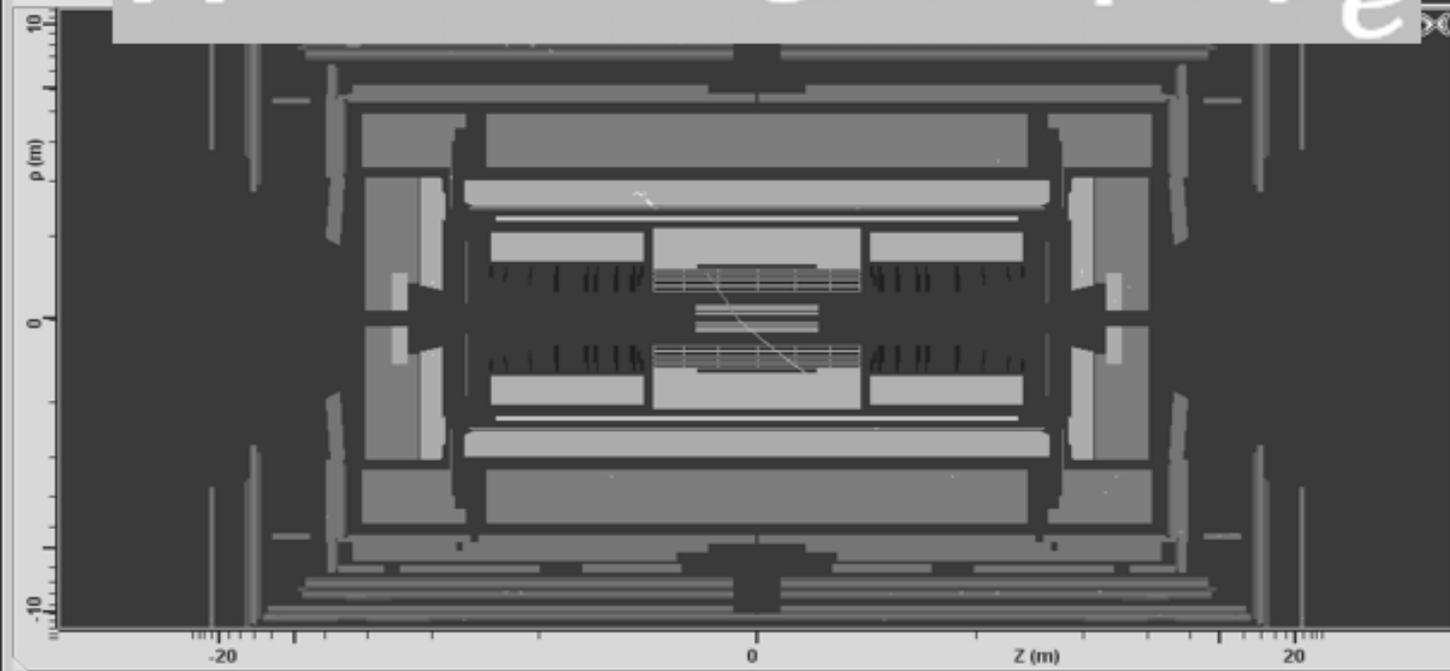
Parece que temos um **muão** na direcção oposta ao neutrino

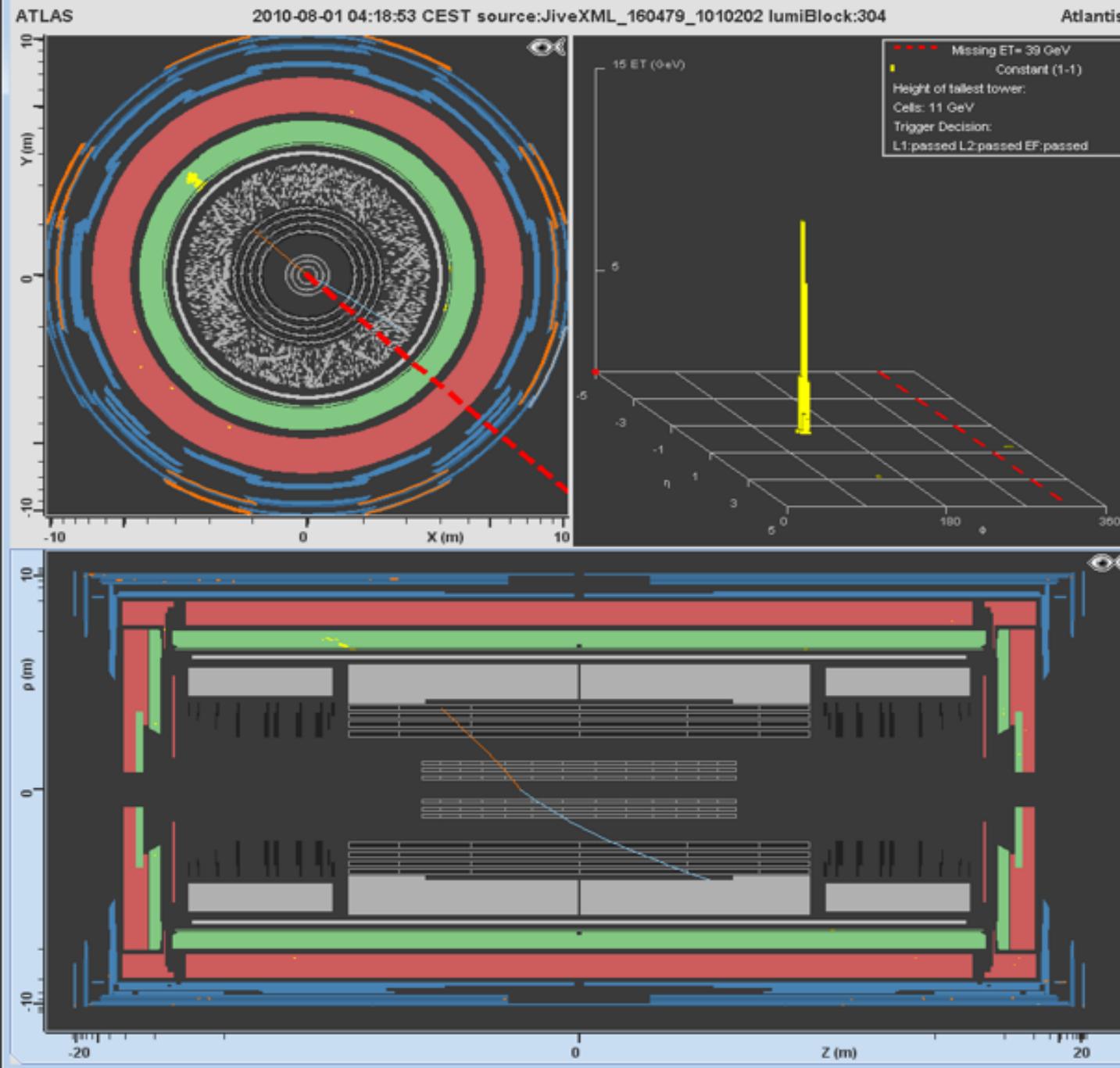


Usando o “pick”
podemos saber o
momento
transverso e a
carga do muão
(-29 GeV)



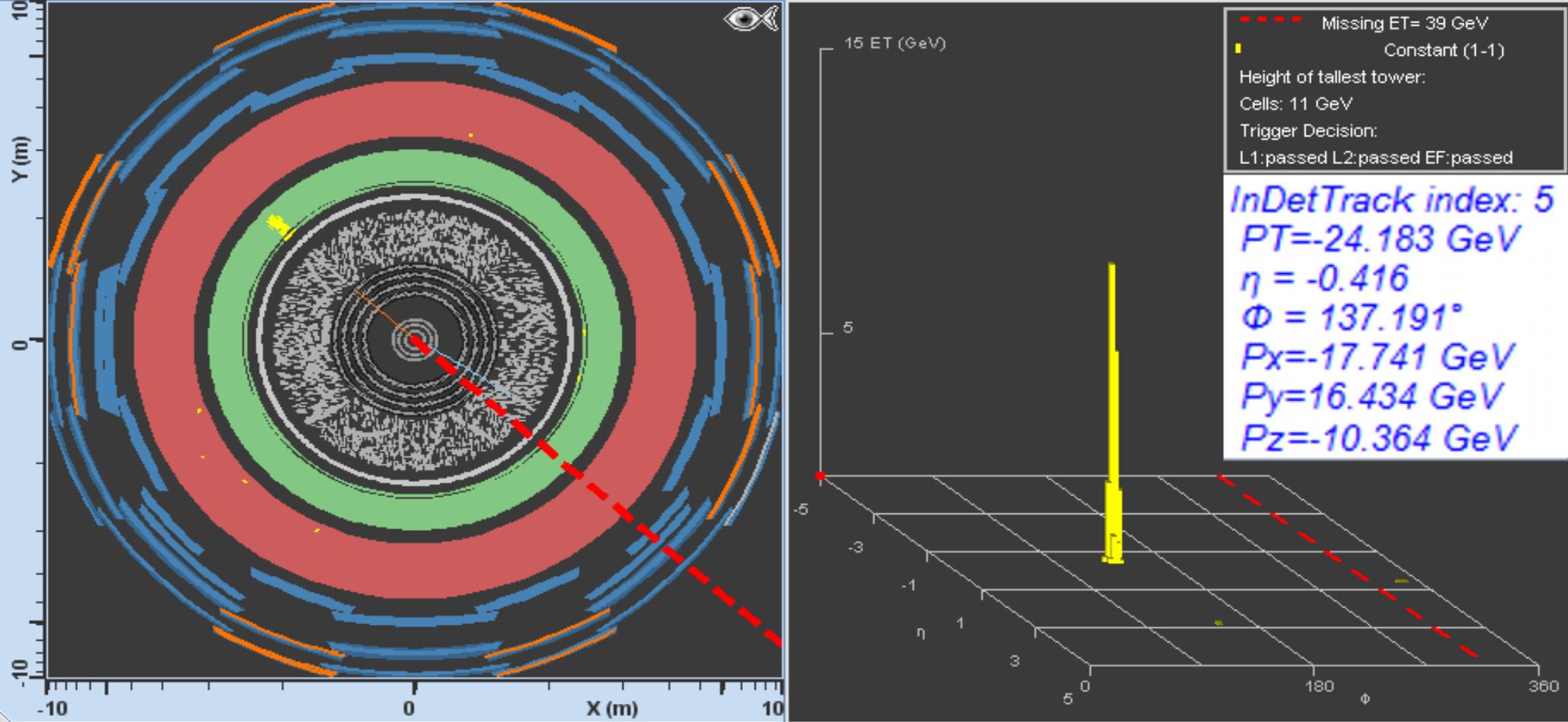
$$W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$



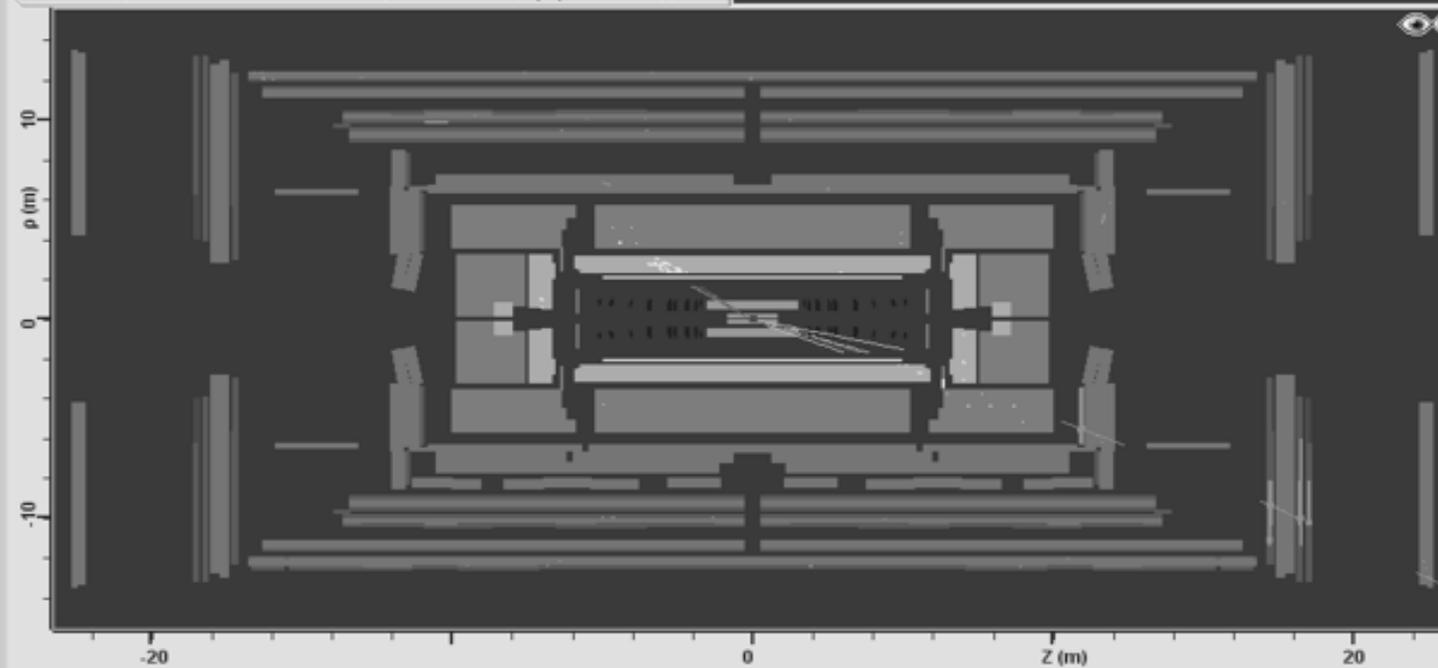
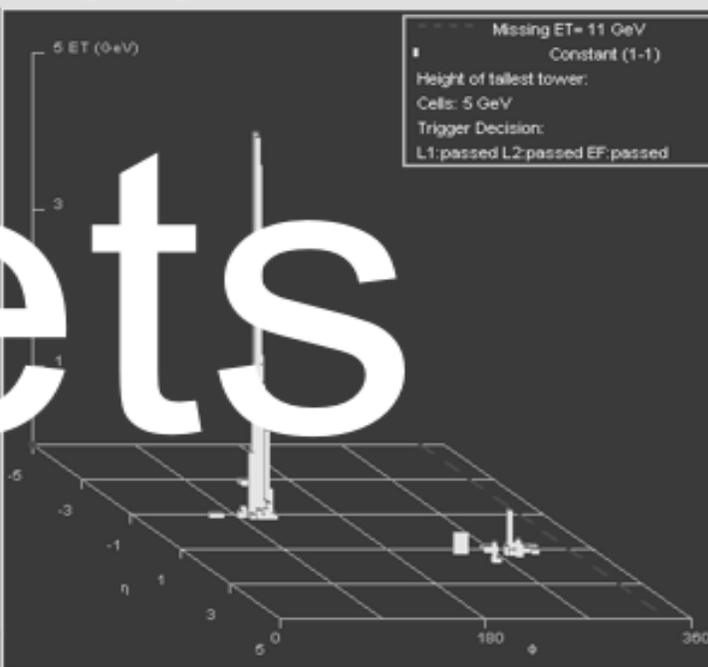
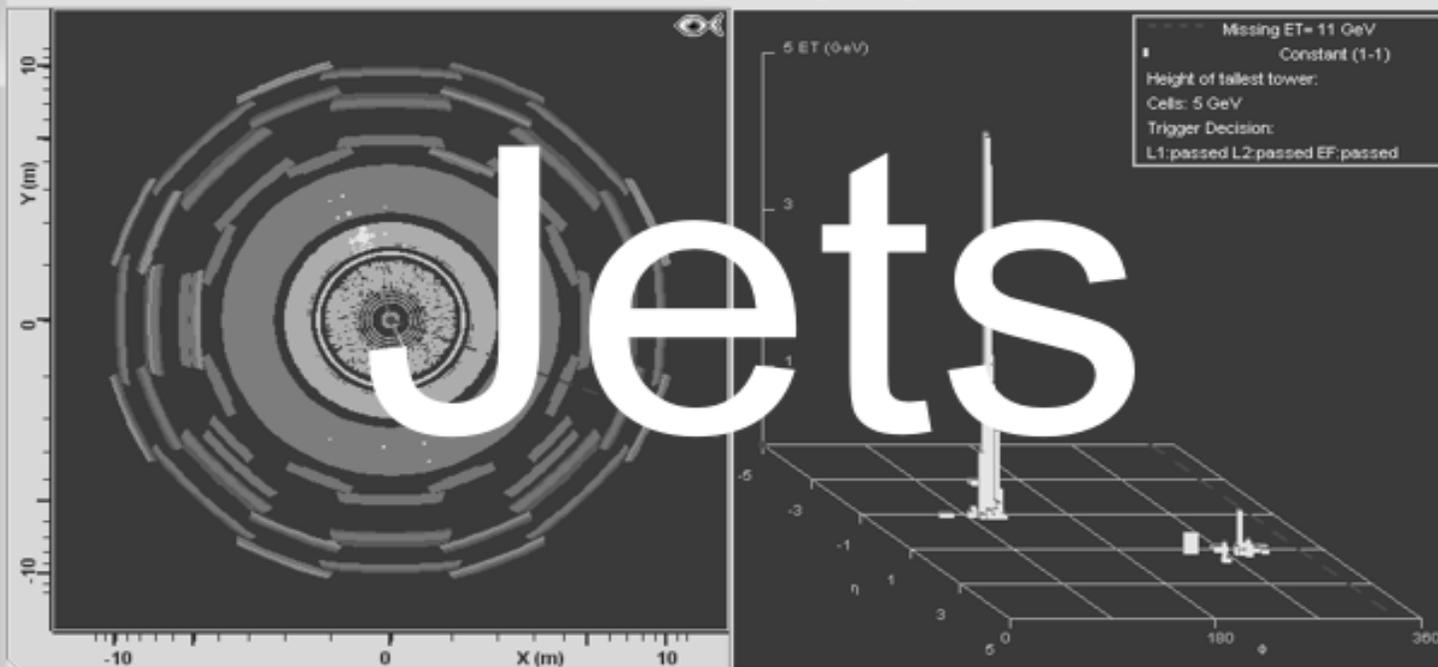


Na vista de topo temos a assinatura de um **electrão** (elevado depósito de energia no **calorímetro electromagnético**) e de um **neutrino** (**MET=39 GeV**), que seguem em direcções opostas

Na vista lateral vemos um electrão bem isolado



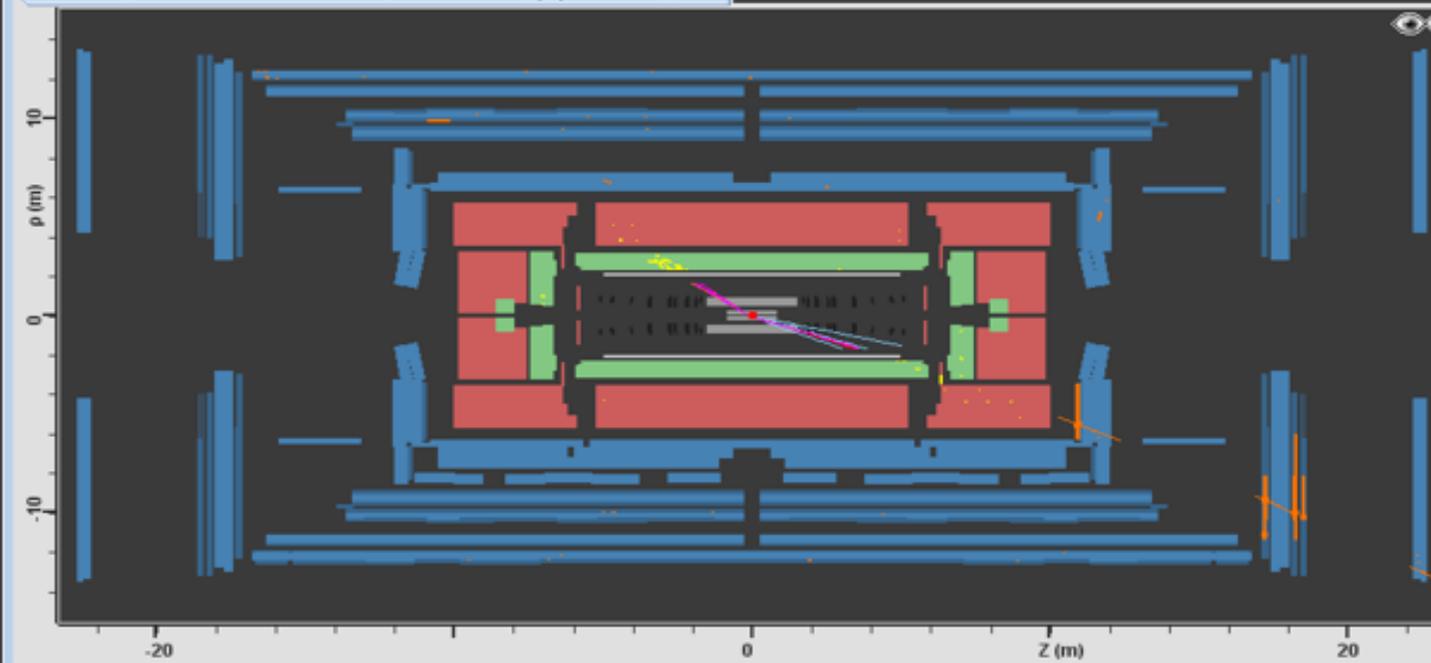
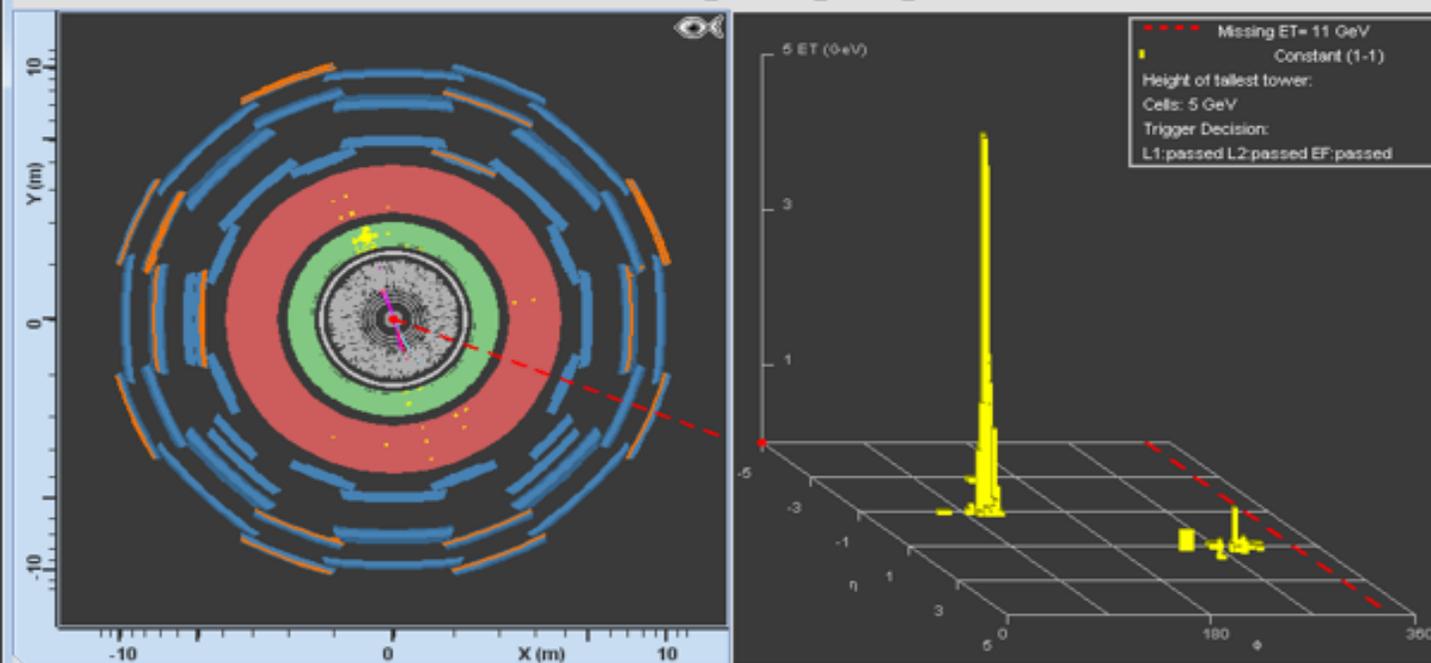
É mesmo um **electrão** (sinal negativo), e não um positrão



ATLAS

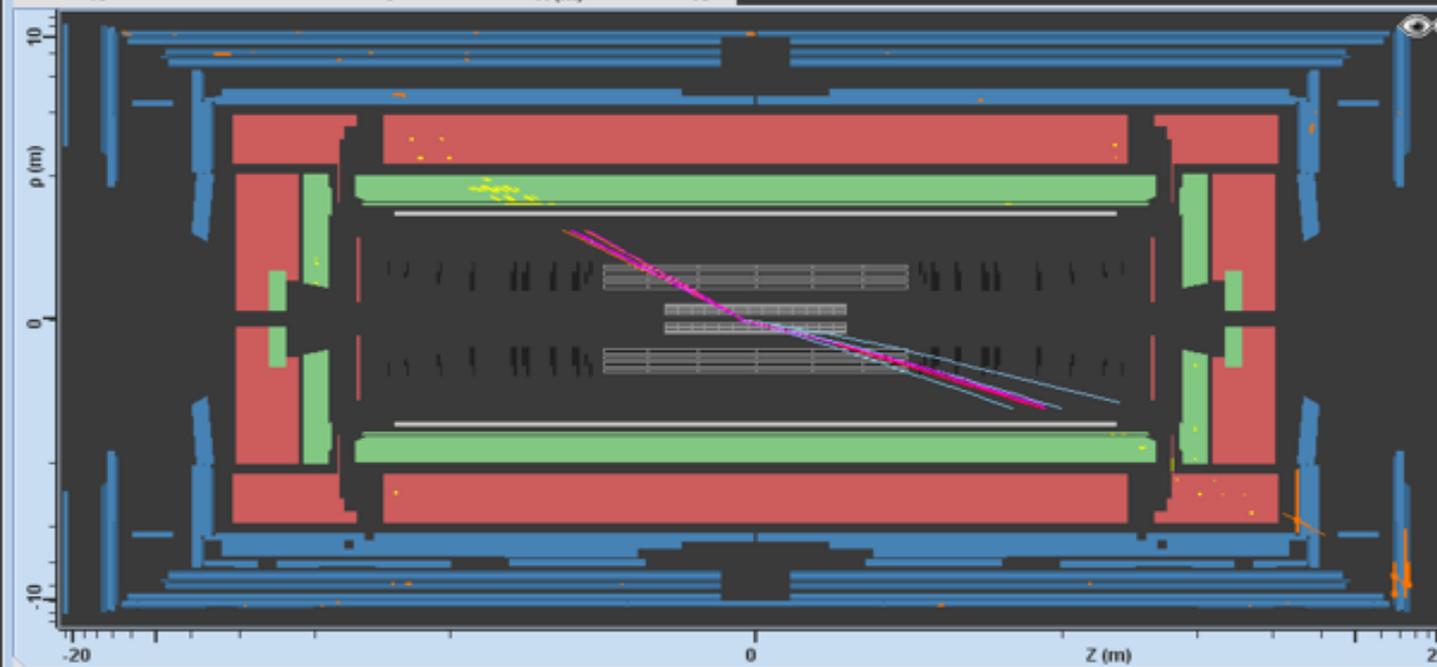
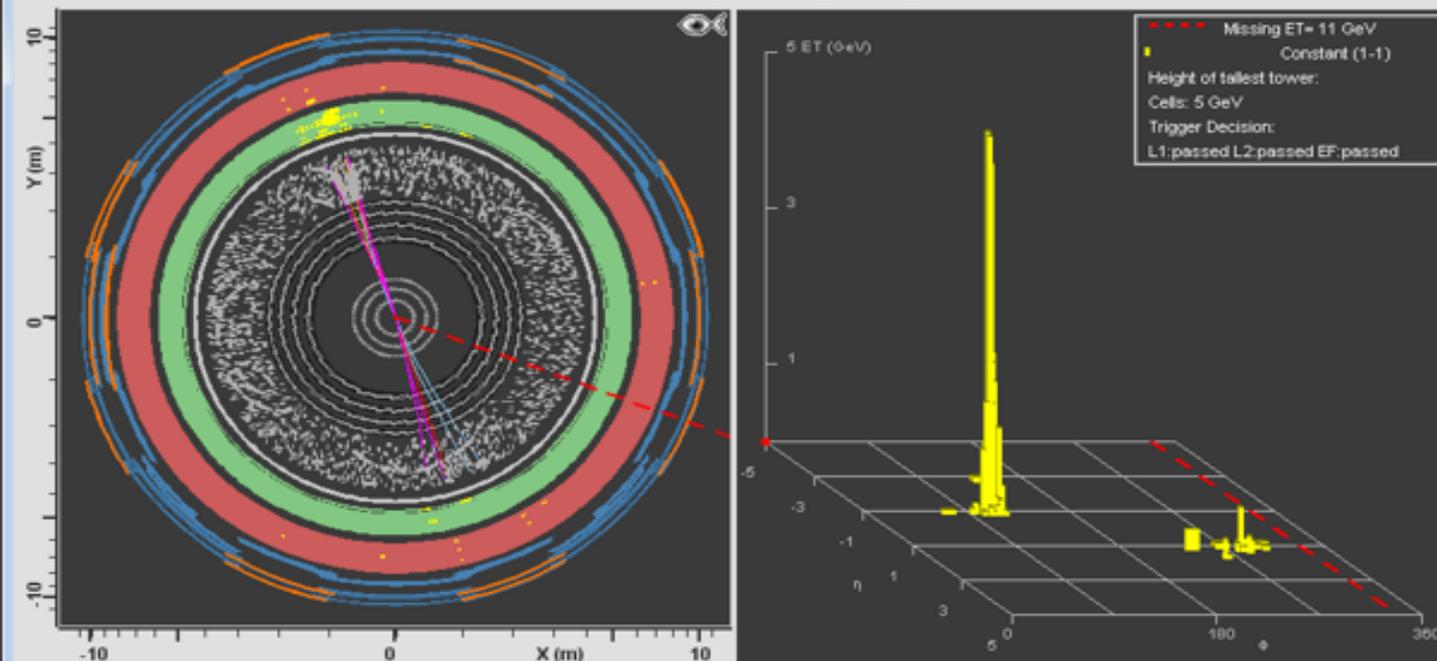
2010-08-06 17:23:01 CEST source:1098_JiveXML_160879_54545398 lumiBlock:515

Atlantis



Este evento é diferente do sinal: possui agrupamentos de traços (**jactos**) e o valor de momento transverso em falta é pequeno (não tem **neutrino**)

É um evento de **fundo**



Na vista “olho de peixe” de topo é claro o agrupamento de traços (**jactos**)



Atlantis GUI

File Preferenc Lists Reset Demo Previous **Next** Help

http://www.cern.ch/atla

W 1 2 1 2
B 3 4 3 4

Calo MuonDet Objects Geometry
Projection Data Cuts InDet

Data	Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Status	
<input checked="" type="checkbox"/>	InDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Calo	
<input checked="" type="checkbox"/>	MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/>	Objects	

Welcome to Atlantis !

Atlantie_Event_1.xml (10602000326459)

InDetTrack index: 2
PT=-42.530 GeV
 $\eta = 0.753$
 $\Phi = 145.560^\circ$

Jet index: 0
ET=45.740 GeV
 $\eta = 0.781$
 $\Phi = 145.796^\circ$

ATLAS source: Event_411 Atlantis

File Preferences Lists Reset Demo Previous Next Help
 a/events/Event_401.xml

Missing ET = 5 GeV
 ECAL/HCAL (1-2)
 Height of tallest tower:
 Cells: 7 GeV
 Trigger Decision N/A

Não esquecer:

Nem sempre é óbvio se o evento é de fundo ou um $W \rightarrow e\nu$, etc.

Os electrões são parados no calorímetro **electromagnético**

Os jactos depositam energia nos calorímetros **electromagnético** E **hadrónico**.

A **Energia em Falta** também existe em eventos de fundo, mas deve ser pequena.

Por vezes são produzidos jactos juntamente com um W , por isso têm de estar atentos a electrões e muões **isolados!**

Event_411.xml (10501200120040)

Atlantis GUI 17/12/2009 15:44

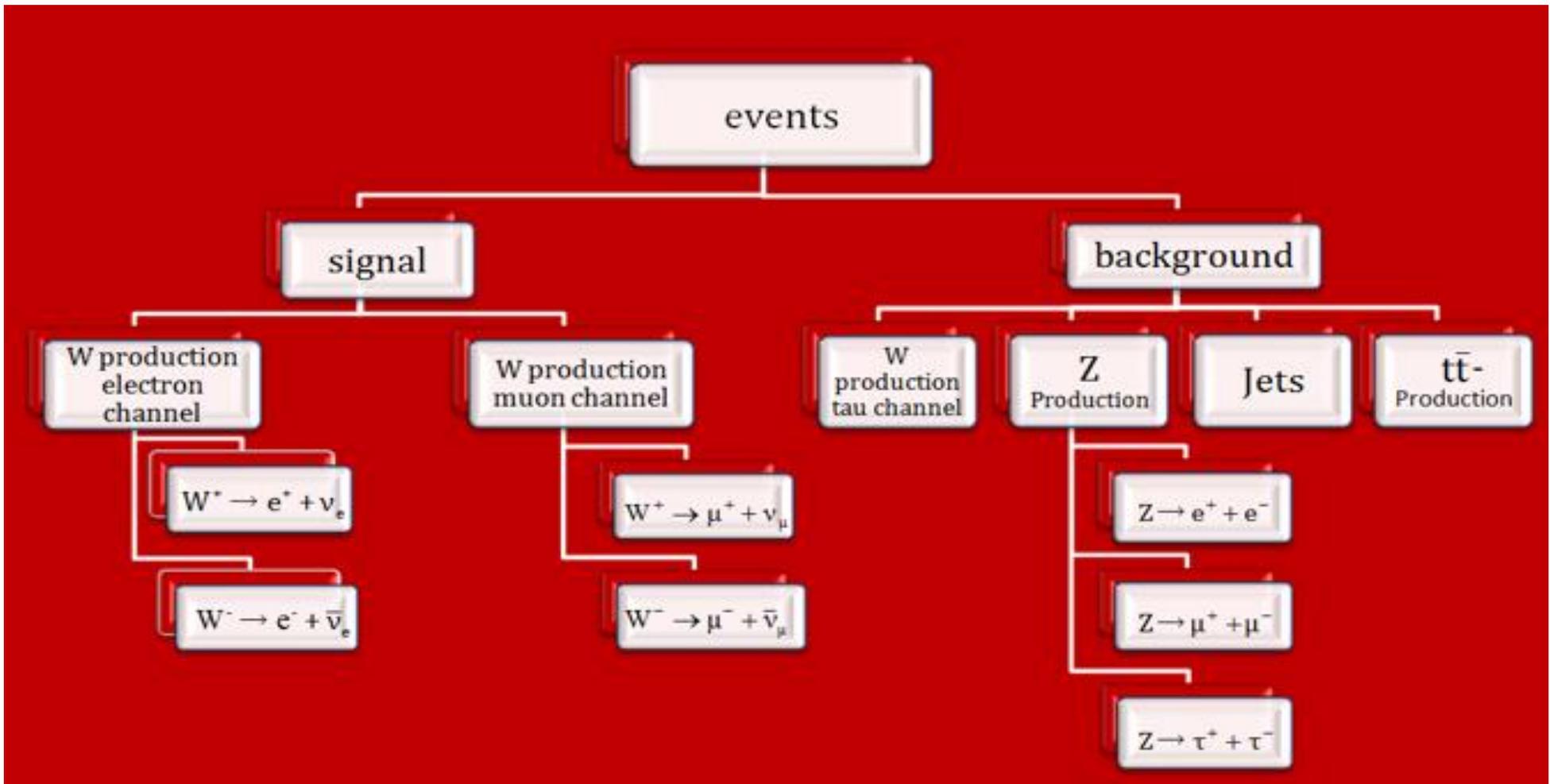
Exercício: Vamos começar!

- Organizam-se em grupos de **dois** alunos por computador
- Vão analisar grupos de 50 eventos (cada grupo é identificado por uma letra de A a T) têm uma folha onde fazer o registo
- O primeiro evento já deve estar no monitor!
- Estudar cada acontecimento e classificá-lo em uma de 5 categorias (de acordo com os critérios de selecção = cortes):
 - $W^+ \rightarrow e^+ \nu_e, W^- \rightarrow e^- \nu_e, W^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu, W^- \rightarrow \mu^- \nu_\mu$, fundo
 - São produzidos muitos mais acontecimento de fundo do que W
 - Nota: na realidade existem muitos mais acontecimentos de fundo do que os apresentados!
- Quando decidirem que tipo de evento é, colocar uma marca na linha correspondente
 - **Apenas uma marca por acontecimento!**

Exercício: Vamos começar!

- Logo que terminem os 50 eventos está feito!
- Calcular os totais e dar a um dos monitores
- **Se não conseguirem classificar todos os acontecimentos não há problema!**
 - Parem onde estão e contem os totais
- No final faremos um sumário e olharemos para a razão de W^+/W^- e relacionaremos isso com a estrutura do próton (número de quarks)

Exercício: classificação



Exercício: cortes

Para identificar um evento como sinal é preciso aplicar **critérios de selecção**:

Existe APENAS UM **leptão** (electrão, positrão, muão ou antimuão)

Que está isolado (FORA de um jacto)

Tem um momento transversal (p_T) MAIOR do que 20 GeV

O momento transversal em falta (**MET**) é SUPERIOR a 25 GeV

O **ângulo** (Φ) entre o leptão carregado e o MET deve estar entre 160° e 200°

Apenas se um evento passar TODOS estes critérios é que consideramos que um W foi produzido neste evento e que faz parte do sinal