Reconstrução de Vértices no Experimento DØ

Guilherme Lima
Depto. Física Nuclear e Altas Energias
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

24 de outubro de 2001

Sumário:

- O Experimento DØ
- Reconstrução de Vértices
  - Objetivos
  - Algoritmos
  - Resultados
- Perspectivas

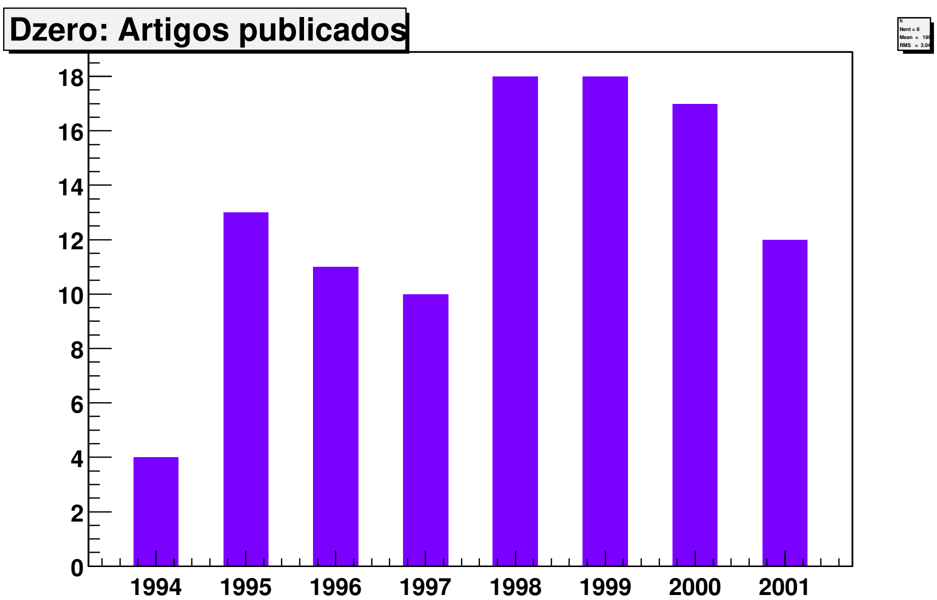
O Experimento DØ

Um dos grandes detetores em modo colisor no acelerador Tevatron (Fermilab, USA).

- **Objetivo:** estudar colisões $p\bar{p}$ a energias de 2 TeV
- **Colaboração:** $\sim$ 568 pesquisadores, 73 instituições, 18 países
- **Participação brasileira:**
  - desde 1991 (Lafex/CBPF)
  - atualmente $\sim$ 18 brasileiros (Lafex, UERJ, IFT, UFRJ, Unicamp, UFBA)

- **Tópicos de pesquisa**

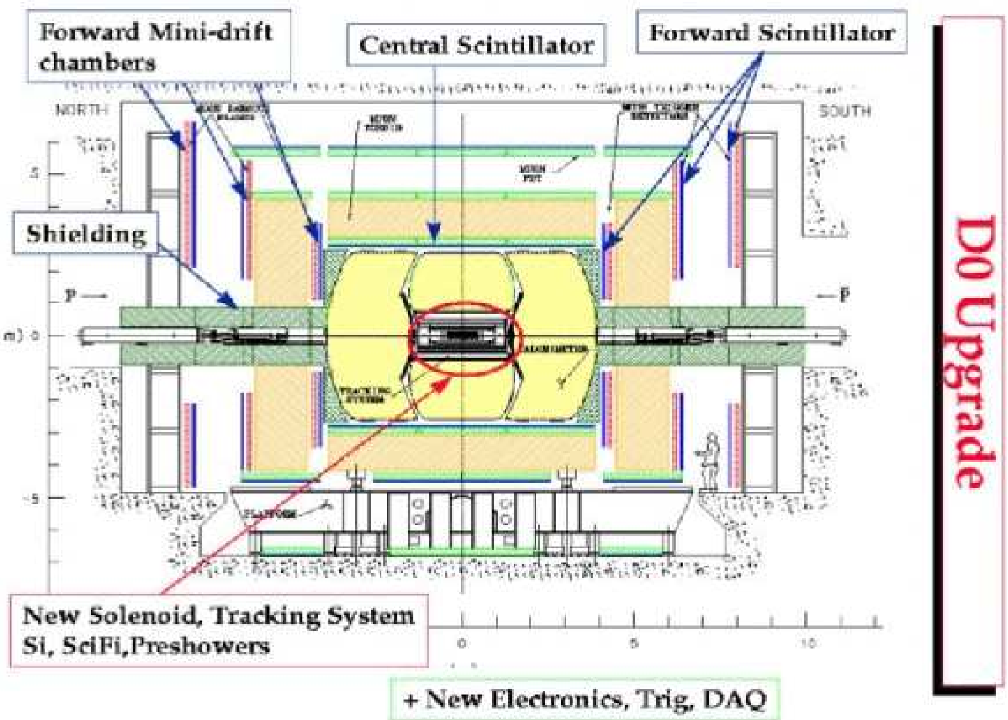
  - Quark top (descoberto em 1995)
  - Propriedades dos Bósons $W^{\pm}$,Z^0
  - Produção e estrutura de jatos hadrônicos
  - Procura por novas partículas (leptoquarks, bósons pesados, monopolos magnéticos, etc.)
  - Testes diversos do Modelo Padrão



Nova fase do experimento: Run II, iniciado em março de 2001.

- **"DØ Upgrade"**

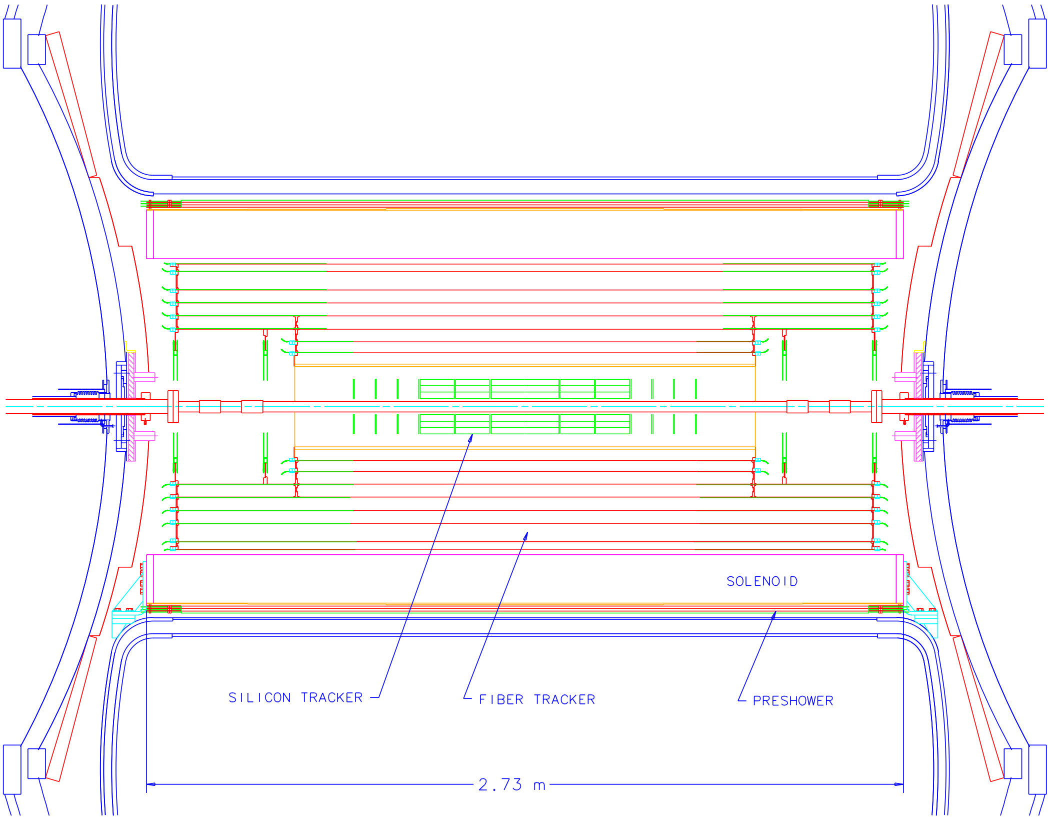
  * solenóide supercondutor (2 Tesla)
  * detetores de rastreamento (silício, fibras cintilantes e *Preshower*)
  * câmaras de múons frontais
  * cintiladores para associação temporal de múons
  * eletrônica rápida (DAq, trigger, etc.)
  * mantidas: calorímetros e câmaras de múons centrais (novo gás)



⟹ Incluindo-se simulação, reconstrução e análise de dados estima-se **1 Petabyte de dados por ano.**

O Sistema de Rastreamento

Detetores de silício (SMT) e fibras cintilantes (CFT)

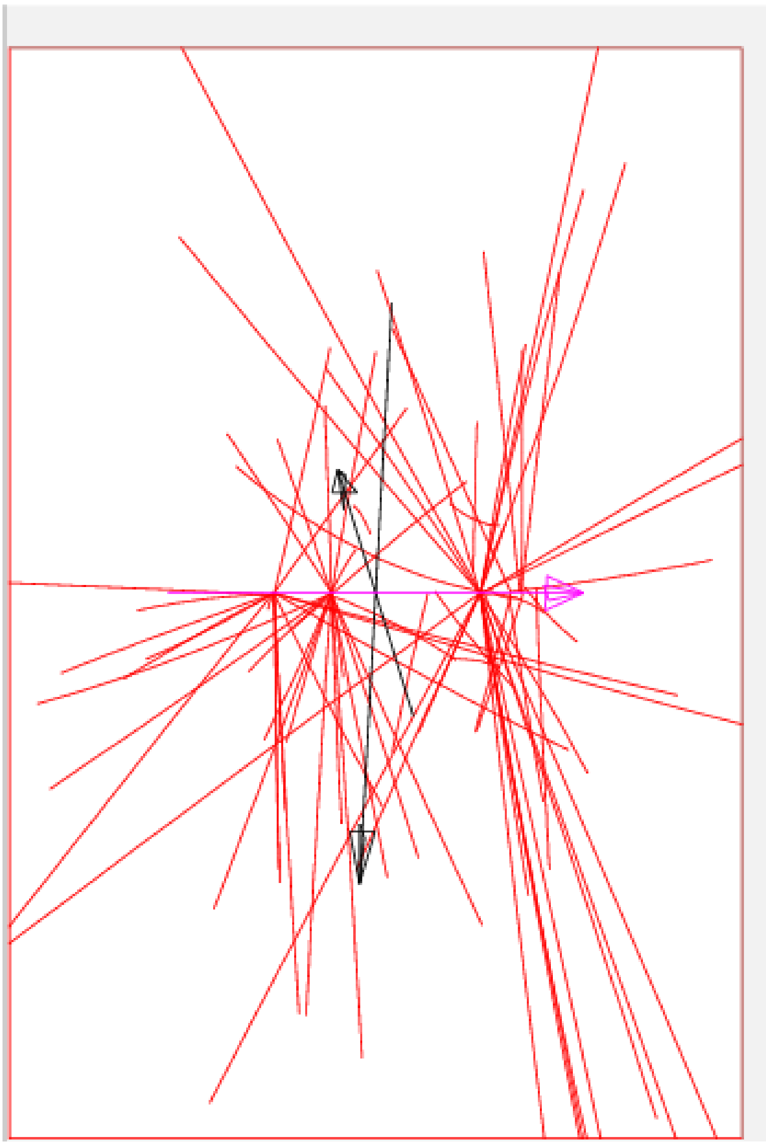


* $\sim$ 800.000 canais eletrônicos;
* Resoluções espaciais:
  - SMT: 50μm
  - CFT: 800μm
* CFT é o primeiro detetor de fibras cintilantes nos grandes experimentos;

Reconstrução de vértices:

Importante etapa da reconstrução e análise de dados.

- **Reconstrução exclusiva de estados finais**
  hádrons pesados, τ, K_s, hyperons, $W^{\pm}$, Z^0, Higgs?
- **Rejeição de *background* hadrônico**
- **Identificação de colisões múltiplas**



Reconstrução de Vértices no DØ

Todo o sistema foi desenvolvido em linguagem `C++`. Vários algoritmos foram implementados, sendo que o resultado final dos principais algoritmos são basicamente equivalentes.

- **Algoritmos**

  * *trigger* **(rápido, eficiente, limpo)**
    - **primário (L3)**
    - **secundário (L3)**
    - *Silicon Track Trigger* **(L2) (incompleto)**
  * *off-line* **(detalhado, preciso, versátil)**
    - **filtro de Kalman**
    - **parâmetro de impacto**
    - **topológico**
    - **probabilístico**
    - *templates* **elásticos**
  * **monitoramento (feixes, colisões múltiplas)**

O Sistema Off-line

Responsável pela reconstrução detalhada de todos os vértices do evento, a partir de um conjunto de *traços globais*.

• Filtro de Kalman:

Algoritmo recursivo de ajuste do vértice, fornece ainda uma nova estimativa do momentum de cada traço na posição do vértice ajustado.

"Chute inicial" para $\hat{x}_k^-$ e P_k^- $\longrightarrow$

Atualização de medida ("correção")

(1) Determinar a matriz ganho de Kalman

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1}$$

(2) Atualizar a estimativa com a medida z_k

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - h(\hat{x}_k^-, 0))$$

(3) Atualizar a matriz de covariância

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^-$$

$\longleftarrow$

Atualização de tempo ("predição")

(1) Projetar o estado no futuro

$$\hat{x}_{k+1}^- = f(\hat{x}_k, u_k, 0)$$

(2) Projetar a matriz de covariância no futuro

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + W_k Q_k W_k^T$$

$\longrightarrow$

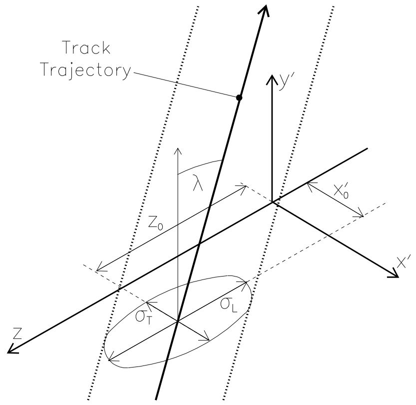
• Algoritmo de Parâmetro de Impacto

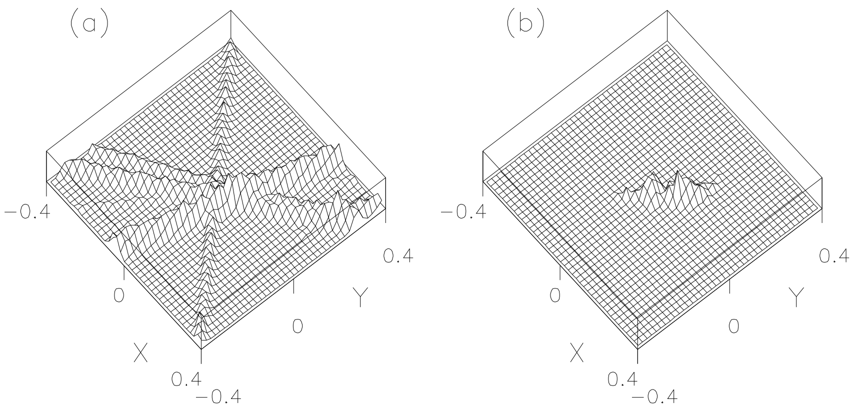
Combina a procura e o ajuste de vértices com base na minimização de uma função de χ^2:

$$\chi^2(V_i) = \sum_{a=1}^{N_{\rm trk}} \frac{(\epsilon_a^d)^2}{(\sigma_a^d)^2} + \sum_{a=1}^{N_{\rm trk}} \frac{(\epsilon_a^z)^2}{(\sigma_a^z)^2} + \sum_{i=x,y,z} \frac{(b_i - V_i)^2}{(\sigma_i^b)^2}$$

• Algoritmo Topológico

Associa a cada traço uma fdp em forma de tubo gaussiano 3-D. A fdp de vértice será dada pelo produto das fdp's dos traços nele originados.





• Algoritmo Probabilístico

Algoritmo tipo *likelihood* **para a procura de vértices secundários. Atribui a cada hipótese de vértice uma probabilidade em função de um certo número de variáveis características.**

Trigger de Nível 3

- ## Vértices Primários

Combina pares de hits nos barris de silício, projetando-os em direção à região de colisões. Excessos de combinações são associadas a candidatos a vértice primário. O resultado pode será usado no cálculo de energias transversas de jatos e desbalanço de energia. Resolução longitudinal média de 800 μm.

- ## Vértices Secundários

Em fase de desenvolvimento. Alguns algoritmos têm sido tentados. Os tempos de processamento são um problema. Deverá ser usado para identificar a presença de quarks *bottom* e léptons τ.

- ## Trigger de Parâmetro de Impacto

A ser implementado a nível de *hardware* (nível 2). Seu funcionamento exige o posicionamento preciso do detetor em relação aos feixes. Fundamental para a coleta de eventos envolvendo decaimentos hadrônicos do τ e b-hádrons. Operação prevista para 2002.

Parâmetros de Desempenho

- **Eficiência**

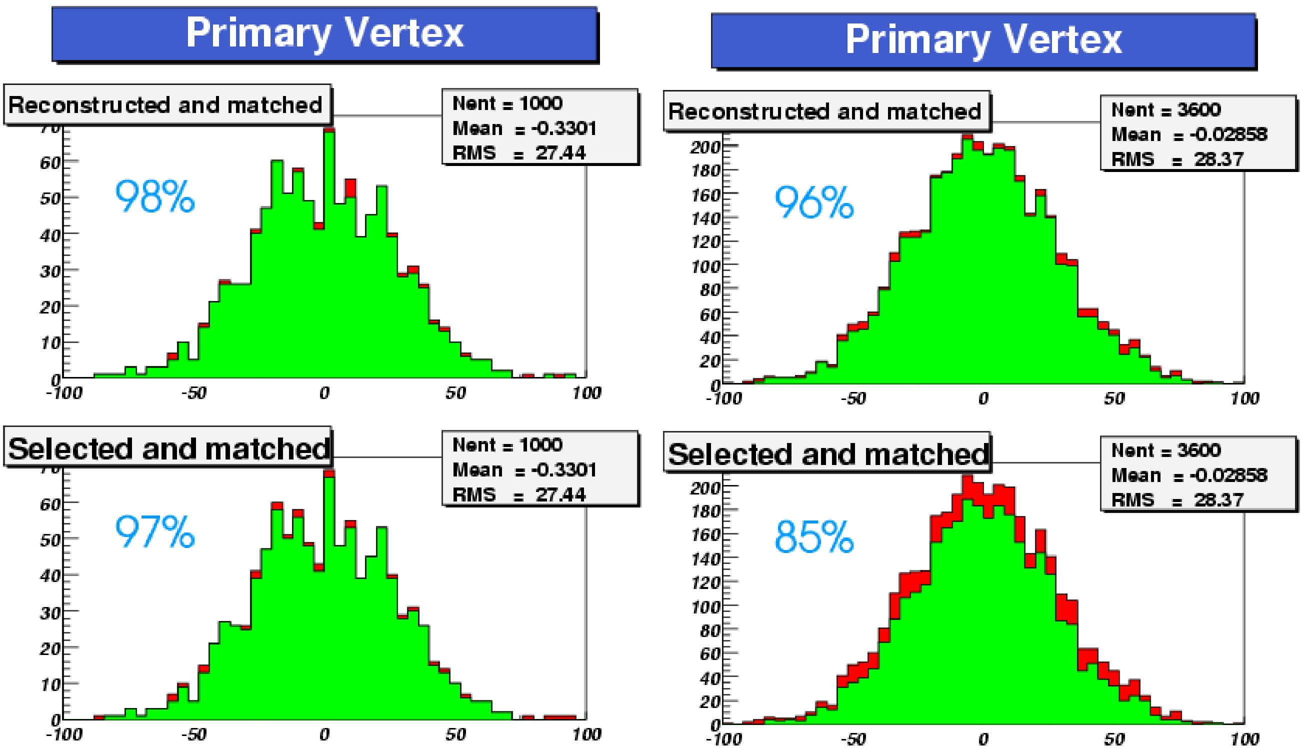
Probabilidade de reconstrução de um vértice legítimo.

$$\boxed{\epsilon_{\mathrm{PV}} = \frac{\#\mathrm{PVreco{+}match}}{\#\mathrm{PVreconstrutiveis}}}$$

Vértices reconstrutíveis: pelo menos dois traços bem reconstruídos (*match*), com

- $p_T >$ **0.5 GeV**
- $|\eta| <$ **3** $\quad (\eta = -\log\left(\tan\frac{\theta}{2}\right))$
- *matching* **de traços baseado em** $dr_{\min} = \sqrt{\delta\eta^2 + \delta\phi^2}$

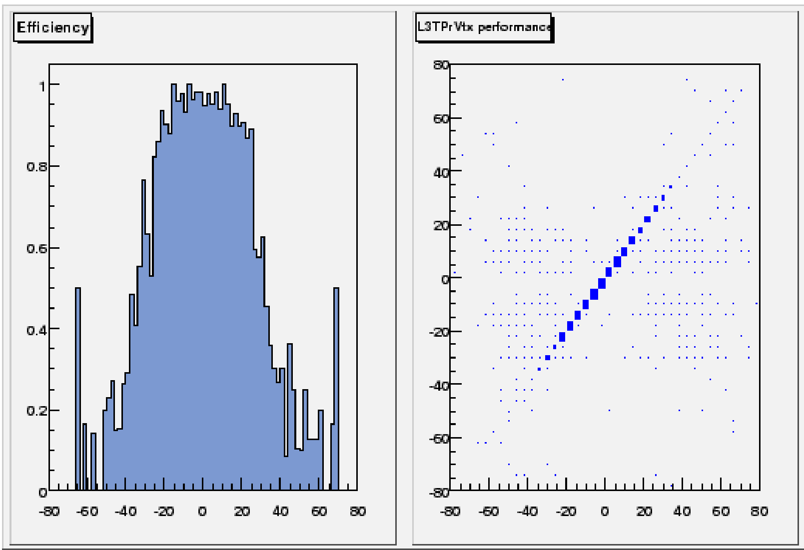
Matching **de vértices:** $\chi^2_{\mathrm{vtxm}} = \left(\frac{x-x_g}{\sigma_x}\right) + \left(\frac{y-y_g}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{z-z_g}{\sigma_z}\right)$



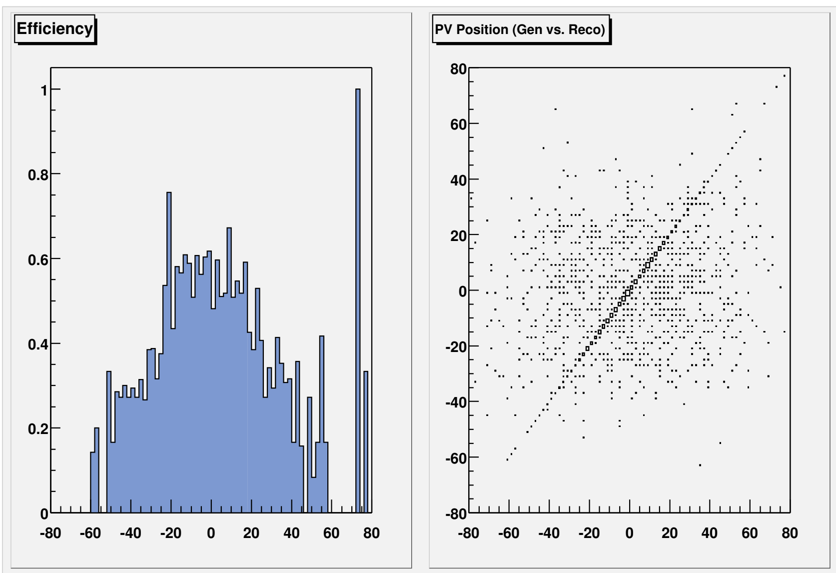
Eficiência

Depende do processo físico. É mais fácil reconstruir vértices com alta multiplicidade. A eficiência da reconstrução do vértice primário a nível de trigger L3:

- $p\bar{p} \to t\bar{t}$ + 1.1 minbias

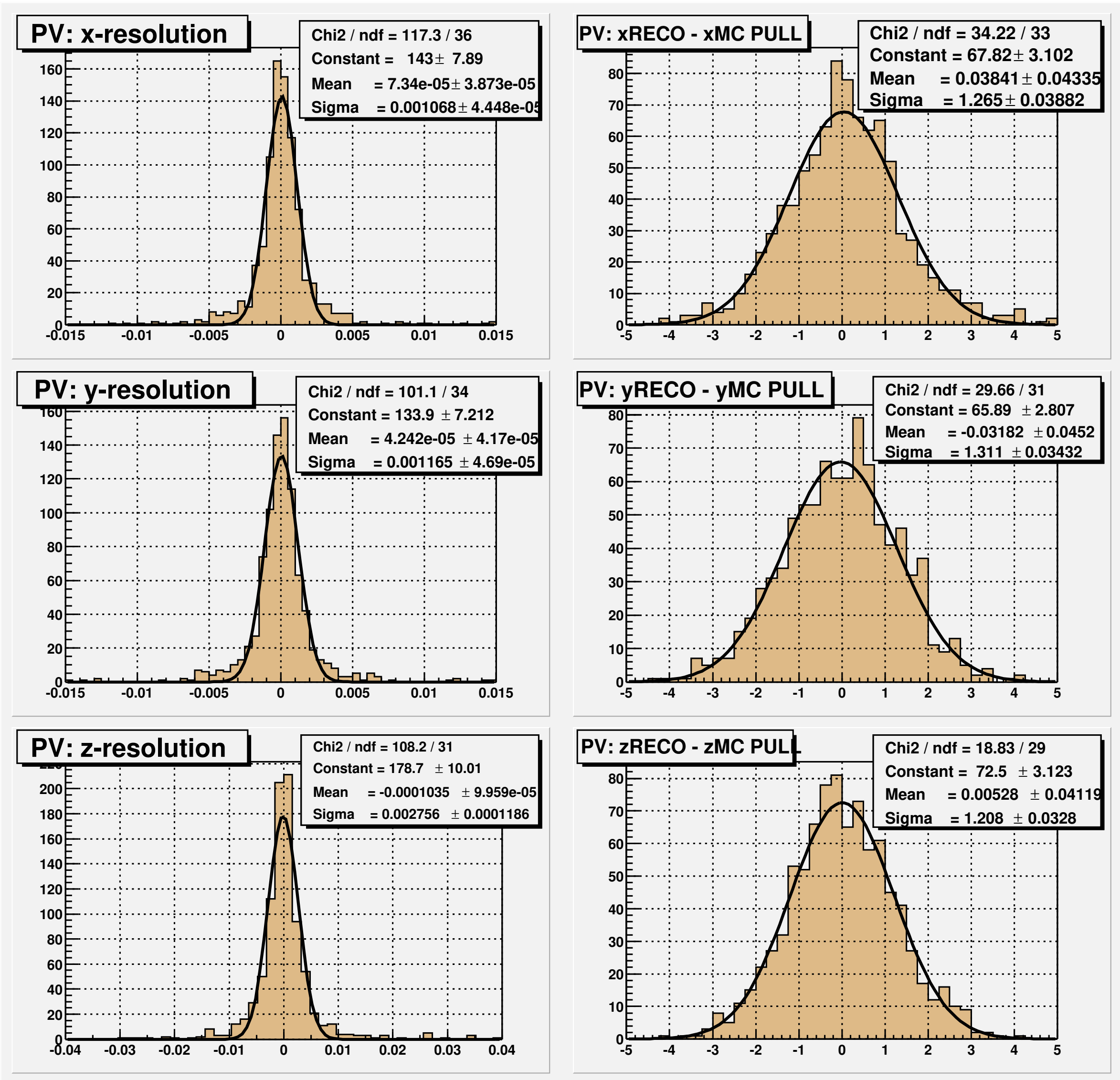


- $Z \to e^+e^-$ + 1.1 minbias



• Resoluções

Descrevem probabilidades de obtenção de vértice reconstruído em relação à posição original do vértice

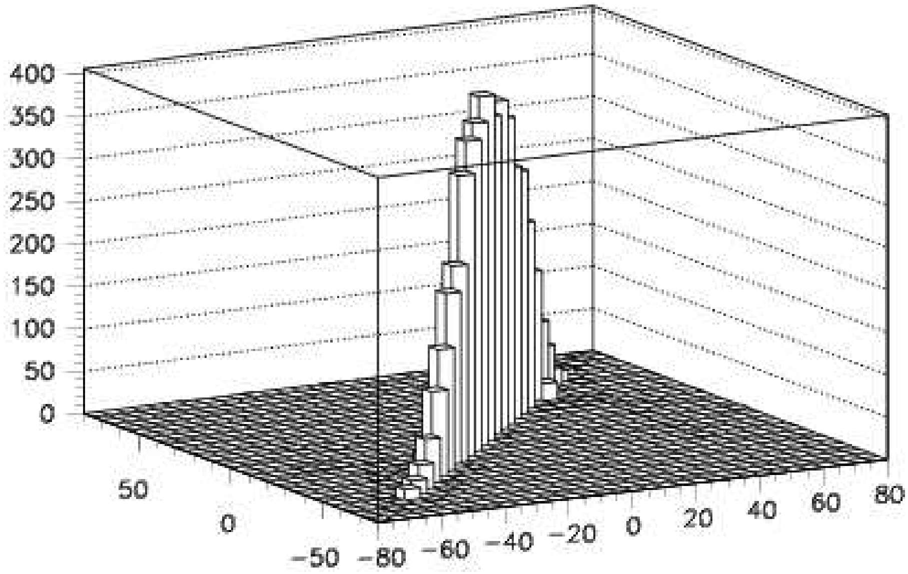


Resoluções obtidas:

$\sigma_t = 12\mu m$ e $\sigma_l = 28\mu m$

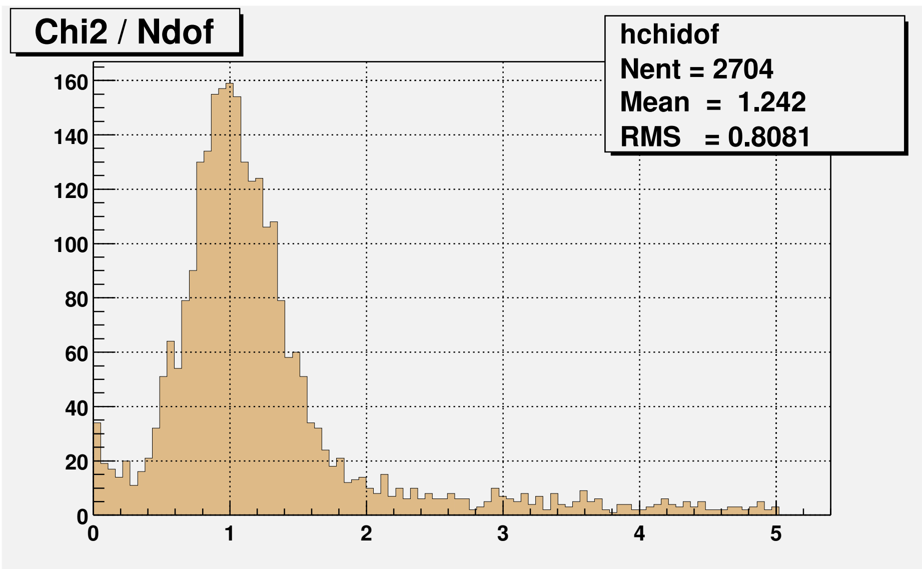
• Pureza

Fração de vértices legítimos na amostra reconstruída.



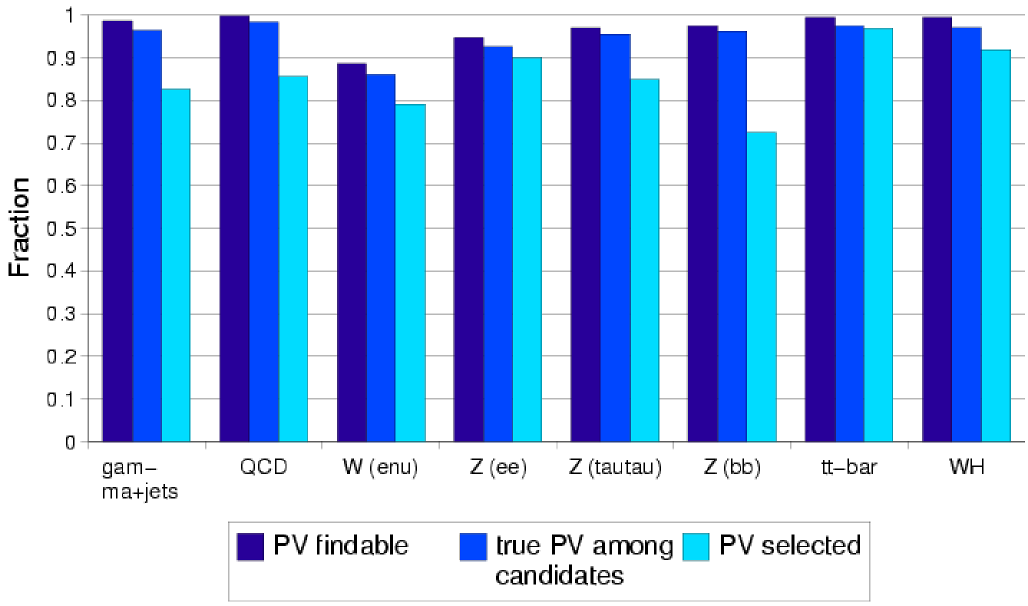
• Qualidade de ajuste (χ^2)

Por exemplo, $\chi^2 = \Sigma_{i=1}^{N} \frac{d_i^2}{\sigma_{d_i}^2}$ e $N_{\text{dof}} =$



Performance

Sumarizando a performance da reconstrução de vértices primários para diferentes processos físicos:

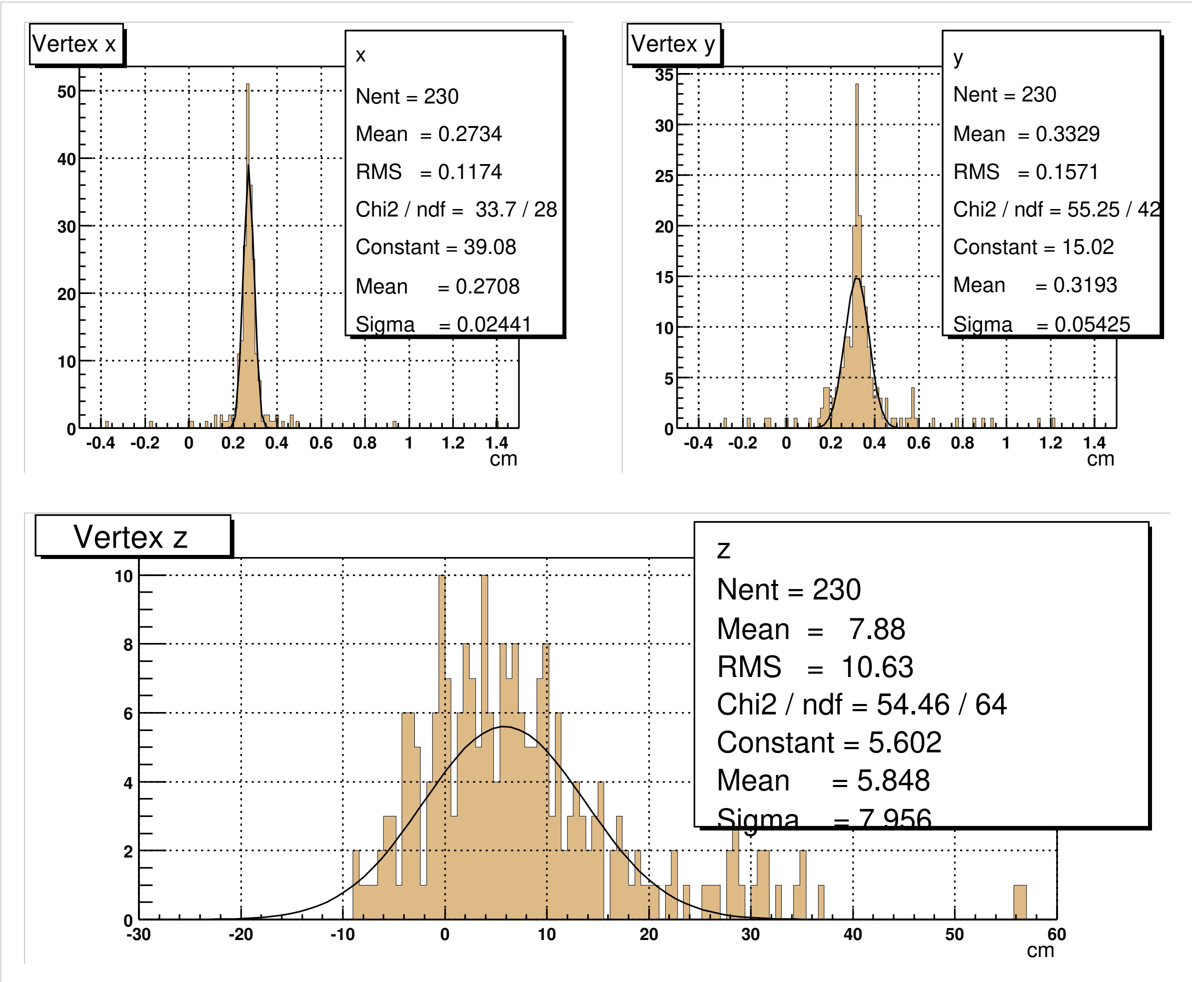


- **Vértices Primários no Trigger L3:**

Process Process	# of Evts	Goods (%)	Minbs (%)	Fakes (%)	No PV (%)	Resol (mm)
sqsq	1000	73.2	22.5	2.7	1.6	0.71
ttbar	2000	72.3	12.7	13.9	1.2	1.12
wh110	2000	67.0	27.2	3.5	2.3	0.89
bjpsi	2000	51.6	43.9	2.3	2.2	0.51
zmumu	2000	45.0	47.4	3.8	3.8	0.48
zee	2000	43.4	49.8	2.9	3.9	0.52
gmjets	1000	42.0	51.0	3.0	4.0	0.58
qcd2	2000	74.4	20.1	3.4	2.1	0.48
qcd20	2000	64.5	30.9	2.7	1.9	0.51
qcd80	2000	41.1	51.1	3.5	4.3	0.96

Dados Reais

E o que aconteceu quando reconstruímos os primeiros vértices a partir de dados reais?



Foi necessário mover o detetor (5500 ton) transversalmente, para centralizar o detetor na região de colisão dos feixes!

O posicionamento final foi feito com uma incerteza de 0.2mm!

Perspectivas

- **Nova fase: a reconstrução precisa de vértices será possível, graças aos novos detetores de rastreamento (SMT e CFT);**

- **Medida precisa do momentum das partículas carregadas;**

- **Resoluções de σ_t = 15 μm e σ_l = 40 μm (vértices primários) e σ_t = 30 μm e σ_l = 60 μm (vértices secundários) nos permitirão a identificação de vértices secundários**

- **Dados reais: fase final de instalação do sistema de aquisição de dados. A reconstrução de vértices têm sido muito útil para a identificação de problemas de alinhamento e rastreamento.**

- **Run II está apenas começando...**