

---

# Produção de quark charme em processos neutrino- próton de corrente neutra

---

Mairon Melo Machado  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
GFPAE  
Instituto de Física

# Outline

- Neutrinos
- Colisões lépton-próton
- Descobrimos bósons carregados
- Seção de choque neutrino-próton
- Modelo de dipolos para processos de corrente neutra
- A Colaboração NuTeV
- O experimento MINERvA
- Resultados
- Conclusões

# Motivações



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



Physics Letters B 644 (2007) 340–345

PHYSICS LETTERS B

[www.elsevier.com/locate/physletb](http://www.elsevier.com/locate/physletb)

Small- $x$  neutrino–hadron structure functions within the QCD color dipole picture

M.B. Gay Ducati<sup>a</sup>, M.M. Machado<sup>a,\*</sup>, M.V.T. Machado<sup>b</sup>

We present an exploratory QCD analysis of the neutrino structure functions in charged current DIS using the color dipole formalism. The dipole cross sections are taken from recent phenomenological/theoretical studies in deep inelastic inclusive production. The theoretical predictions are compared to the available experimental results in the small- $x$  region, which has never been considered so far.  
© 2006 Elsevier B.V. All rights reserved.

## Observation of neutral current charm production in $\nu_\mu Fe$ scattering at the Tevatron

A. Alton, T. Adams, T. Bolton, J. Goldman, M. Goncharov

*Kansas State University, Manhattan, KS, 66506*

production. The result of a boson-gluon fusion fit with the GRV94HO gluon PDF set to the data yields  $m_c = 1.40_{-0.36}^{+0.83} \pm 0.26 \text{ GeV}/c^2$ . This value of charm mass corresponds to a production cross section  $\sigma(\nu_\mu N \rightarrow \nu_\mu c\bar{c}X) = (0.21_{-0.15}^{+0.18}) \text{ fb}$  at an average neutrino energy  $\langle E \rangle = 154 \text{ GeV}$ . The  $m_c$  governing NC neutrino charm production is consistent with the

## Associated Charm Production in Neutrino-Nucleus Interactions

CHORUS Collaboration

### Abstract

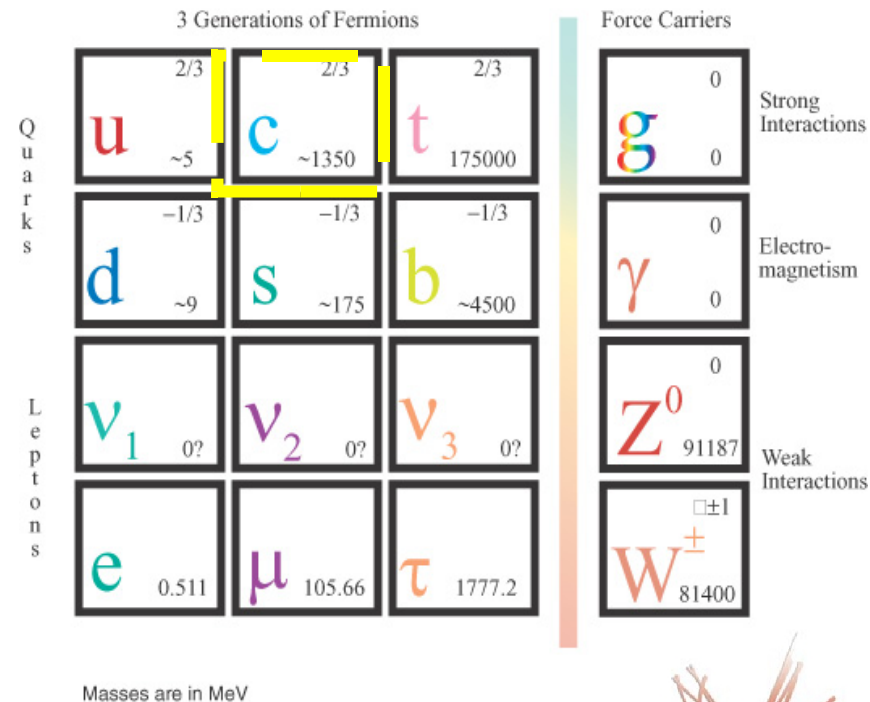
In this paper a search for associated charm production both in neutral and charged current  $\nu$ -nucleus interactions is presented. The improvement of automatic scanning systems in the CHORUS experiment allows an efficient search to be performed in emulsion for short-lived particles. Hence a search for rare processes, like the associated charm production, becomes possible through the observation of the double charm-decay topology with a very low background. About 130,000  $\nu$  interactions located in the emulsion target have been analysed. Three events with two charm decays have been observed in the neutral-current sample with an estimated background of  $0.18 \pm 0.05$ . The relative rate of the associated charm cross-section in deep inelastic  $\nu$  interactions,  $\sigma(c\bar{c}\nu)/\sigma_{NC}^{DIS} = (3.62_{-2.42}^{+2.95}(\text{stat}) \pm 0.54(\text{syst})) \times 10^{-3}$  has been measured. One event with two charm decays has been observed in charged-current  $\nu$  interactions with an estimated background of  $0.18 \pm 0.06$  and the upper limit on associated charm production in charged-current interactions at 90% C.L. has been found to be  $\sigma(c\bar{c}\mu^-)/\sigma_{CC} < 9.69 \times 10^{-4}$ .



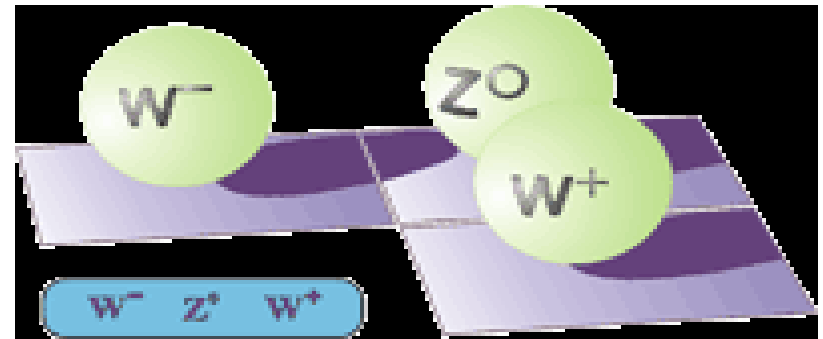
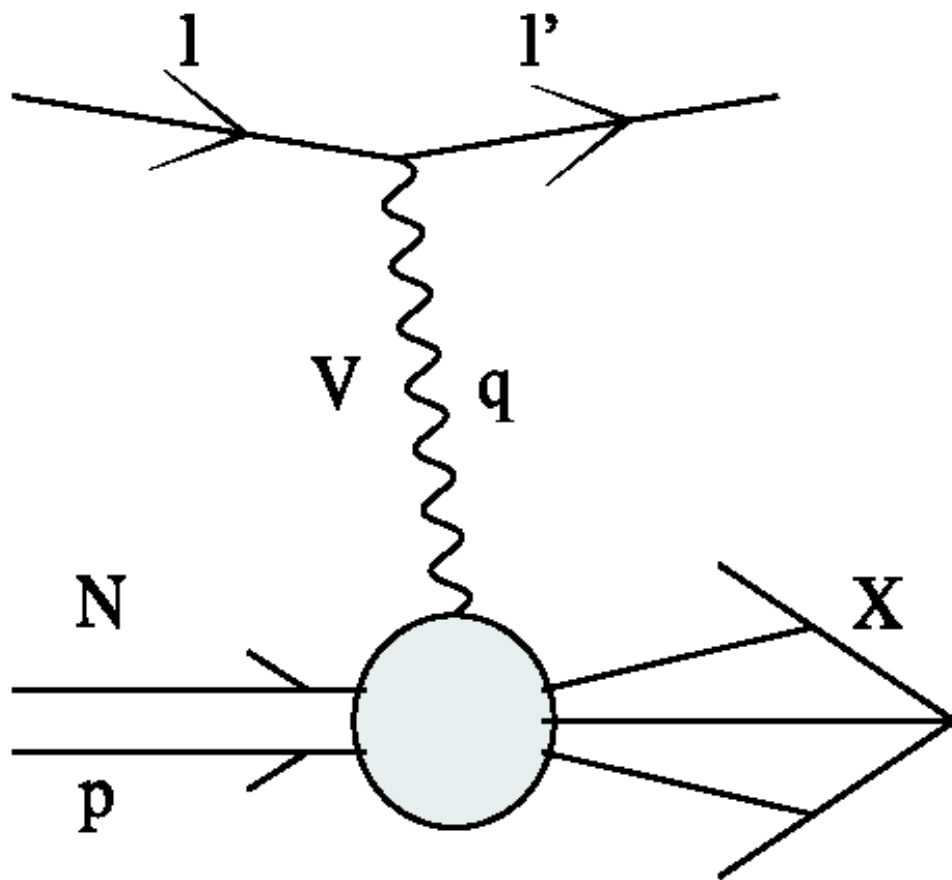
# Neutrinos

- Está entre as principais partículas do universo
- Bósons carregados, quarks e léptons
- Força básica  $\longrightarrow$  bóson
- Fóton (eletromagnética), Glúon (forte), W e Z (fraca), Gráviton (gravidade)
- Afetados somente pela força fraca
- Brilho do sol diretamente ligado à emissão de neutrinos
- 1000 trilhões atravessam o corpo de uma pessoa por segundo

## Modelo Padrão das Partículas Elementares



# Colisões lépton-próton



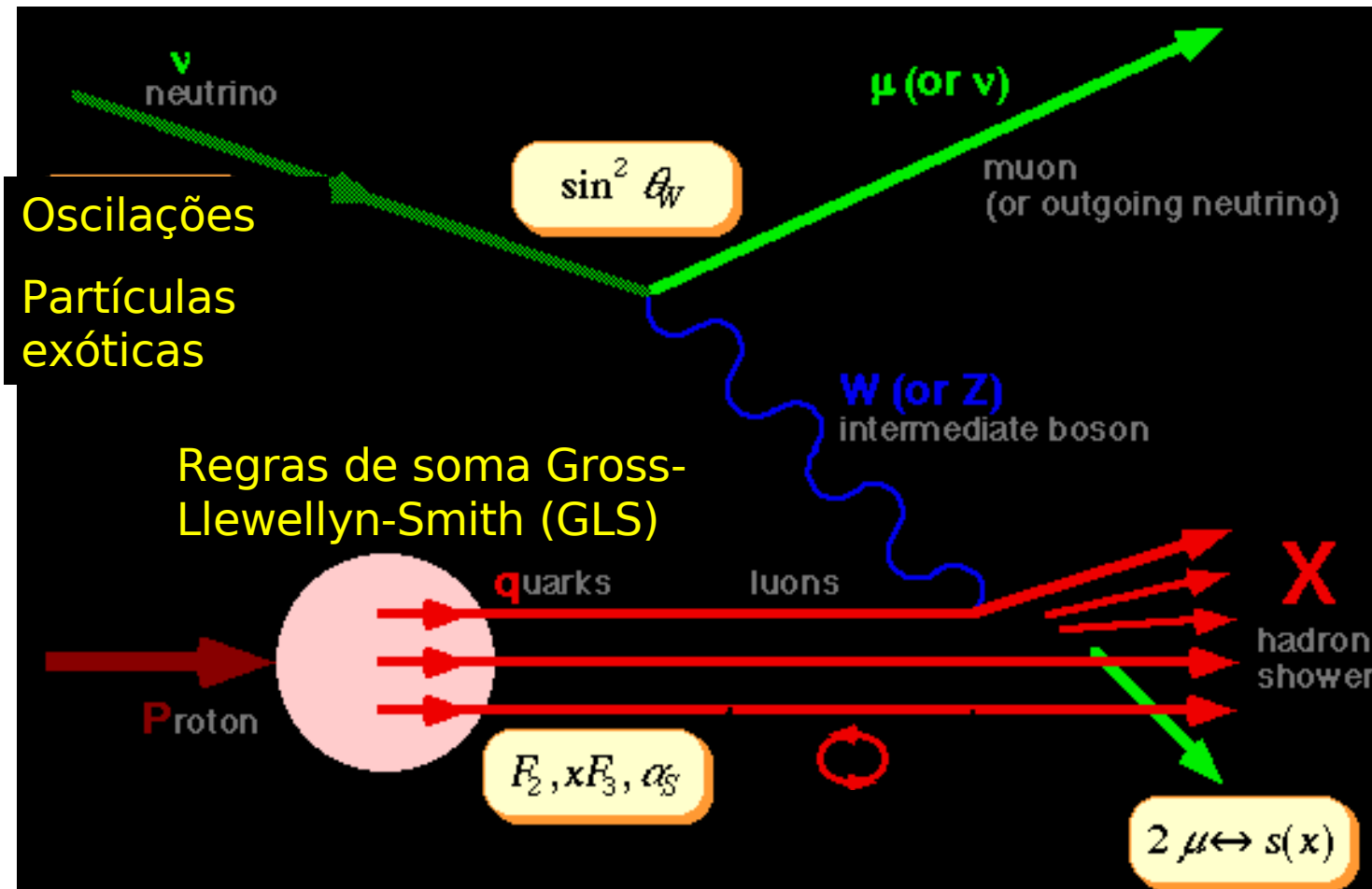
$$y = \frac{pq}{ME} \quad s = 2ME$$

$$x = \frac{Q^2}{2pq} \quad Q^2 = -q^2$$

- M é a massa do nucleon e E é a energia do neutrino
- p e q são os quadrimomenta do nucleon e do bóson

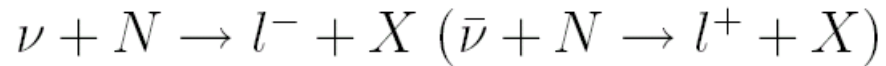
# Colisão neutrino-próton

Experimento CCFR

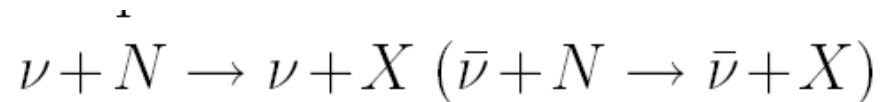


# Descobrindo bósons

- Interação de corrente carregada (CC)



- Interação de **corrente neutra** (NC)

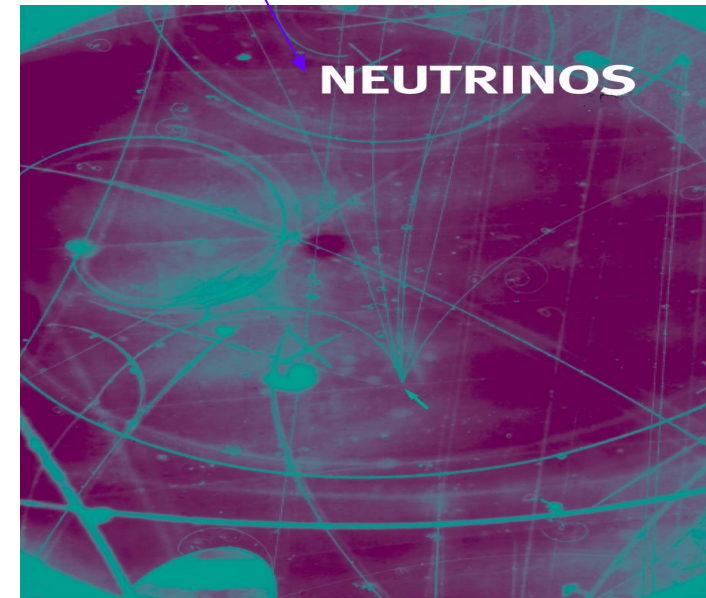


## Gargamelle bubble chamber

(CERN) encontra traços de elétrons interpretados como um neutrino interagindo com o elétron pela troca de um bóson neutro (1973)



## Fermilab



**Super Proton Synchrotron** (Jan - 1983) encontra sinais de partículas W durante uma série de experimentos; (Mai 1983) sinais de partículas Z (UA1 e UA2) (C. Rubbia S. Van der Meer)



# Seção de choque neutrino-próton

$$\frac{\partial^2 \sigma_{\nu, \bar{\nu}}^{CC, NC}}{\partial x \partial y} = \frac{G_F^2 M E}{\pi} \left( \frac{M_i^2}{Q^2 + M_i^2} \right)^2 \left[ \frac{1 + (1 - y)^2}{2} F_2^{CC, NC}(x, Q^2) - \frac{y^2}{2} F_L^{CC, NC}(x, Q^2) \pm y \left( 1 - \frac{y}{2} \right) x F_3^{CC, NC}(x, Q^2) \right]$$

$G_F$  é a constante de Fermi  $\longrightarrow 1.166 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$

$M_i$  é a massa do bóson

$F_2$ ,  $F_L$  e  $F_3$  são as funções de estrutura

$$F_2^{NC}(x, Q^2) = \frac{(L_u^2 + L_d^2 + R_u^2 + R_d^2)}{4} \{ x[u_v(x, Q^2) + d_v(x, Q^2)] + 2x[\bar{u}(x, Q^2) + \bar{d}(x, Q^2) + s(x, Q^2) + c(x, Q^2)] \}$$

$$F_3^{NC}(x, Q^2) = \frac{(L_u^2 + L_d^2 - R_u^2 - R_d^2)}{4} [u_v(x, Q^2) + d_v(x, Q^2)]$$

Acoplamento Quiral

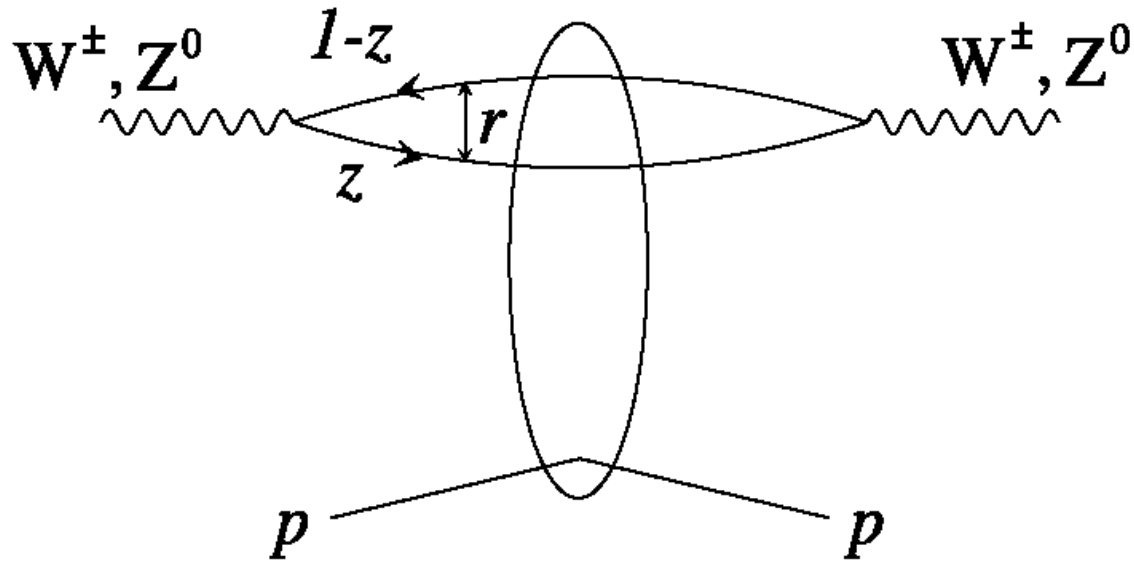
$$L_u = 1 - \frac{4}{3} \sin^2 \theta_W, \quad L_d = -1 + \frac{2}{3} \sin^2 \theta_W$$

$$R_u = -\frac{4}{3} \sin^2 \theta_W, \quad R_d = \frac{2}{3} \sin^2 \theta_W$$

$\sin^2 \theta_W = 0.23120$  é o ângulo de Weinberg



# Modelo de dipolos



- $r$  tamanho transverso do dipolo
- $z$  fração de momenta portada pelo quark
- $1-z$  fração de momenta portada pelo antiquark

# Modelo de dipolos para CN

$$F_{T,L}^{CC,NC}(x, Q^2) = \frac{Q^2}{4\pi^2} \int d^2r \int_0^1 dz |\psi_{T,L}^{W^\pm, Z^0}|^2 \sigma_{dip}$$

$$|\bar{\psi}_T^Z(r, z, Q^2)|^2 = \frac{3}{2\pi^2} (L_u^2 + L_d^2 + R_u^2 + R_d^2) [z^2 + (1-z)^2] \bar{Q}^2 K_1^2(\bar{Q}r)$$

$$|\bar{\psi}_L^Z(r, z, Q^2)|^2 = \frac{6}{\pi^2} (L_u^2 + L_d^2 + R_u^2 + R_d^2) z^2 (1-z)^2 Q^2 K_0^2(\bar{Q}r)$$

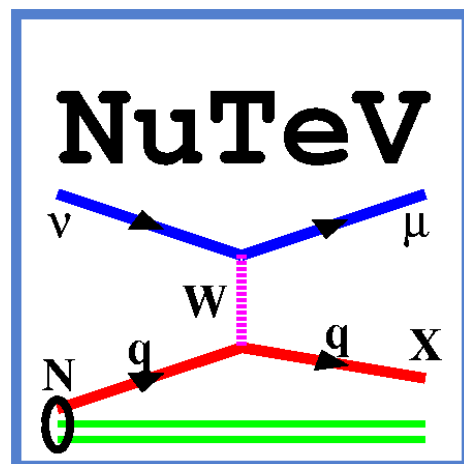
$$\bar{Q}^2 = z(1-z)Q^2$$

$K_{0,1}(x)$  são as funções de Mc Donald

Golec-Biernat Wusthoff  $\longrightarrow \sigma_d(r, x) = \sigma_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{4R_0^2(x)}\right) \right]$

$$R_0^2(x) = \frac{1}{Q_0^2} \left(\frac{x}{x_0}\right)^\lambda \quad Q_0^2 = 1\text{GeV}^2 \quad \sigma_0 = 29.12\text{mb}, \lambda = 0.2777 \quad x_0 = 0.41 \times 10^{-4}$$

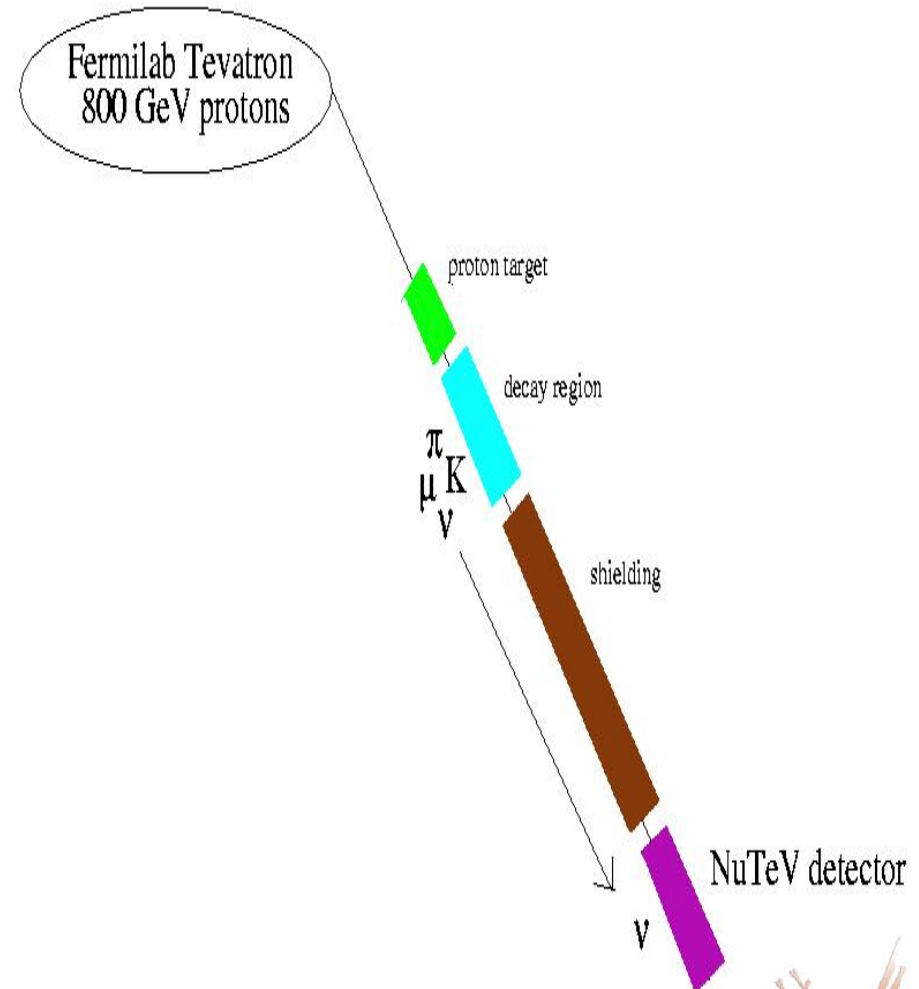
# A colaboração NuTeV



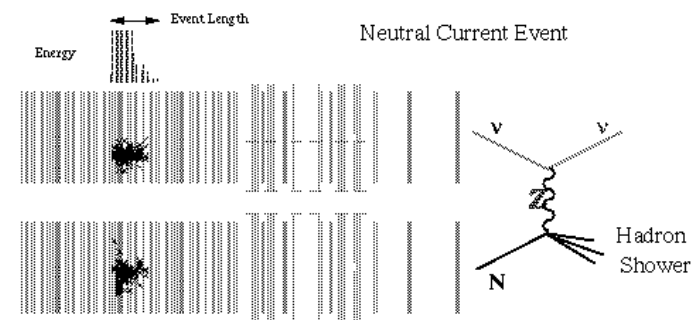
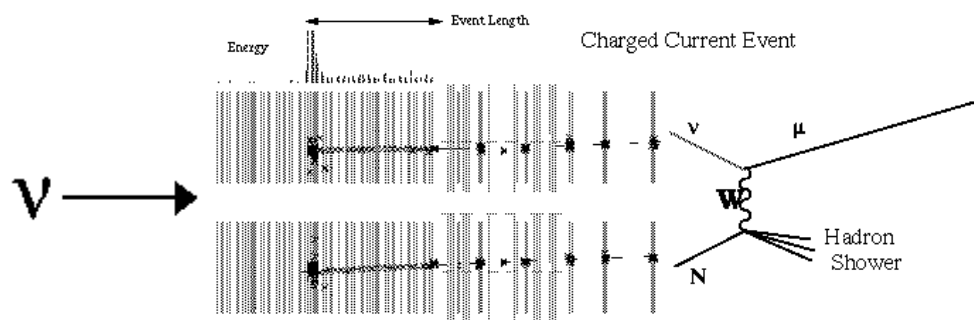
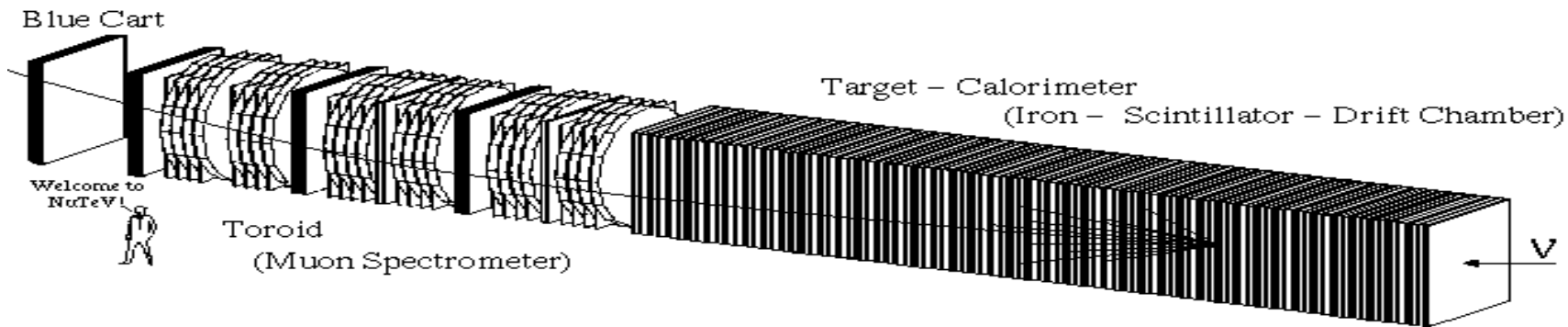
- Importante Colaboração sobre neutrinos da atualidade (CCFR)
- Fermilab E815 (NuTeV) começou a rodar dados em 1996 com a intenção de medir o ângulo de Weinberg
- Verifica a forma de interação do neutrino
- Precisão das medidas com erro de 1 em 400 eventos
- Base para futuros experimentos envolvendo neutrinos (Neutrino Factory e MINERvA)

# Como funciona

- Observação de milhões de interações de neutrinos altamente energéticos em poucos segundos
- Gerados no Fermilab por apenas 5 microgramas de prótons
- Cada feixe de próton possui uma potência de 100 milhões de Watts
- Produção de dezenas de bilhões de neutrinos por minuto
- Proteção de partículas externas: meio quilômetro de chumbo, aço e cascalho



# Detecção e medidas

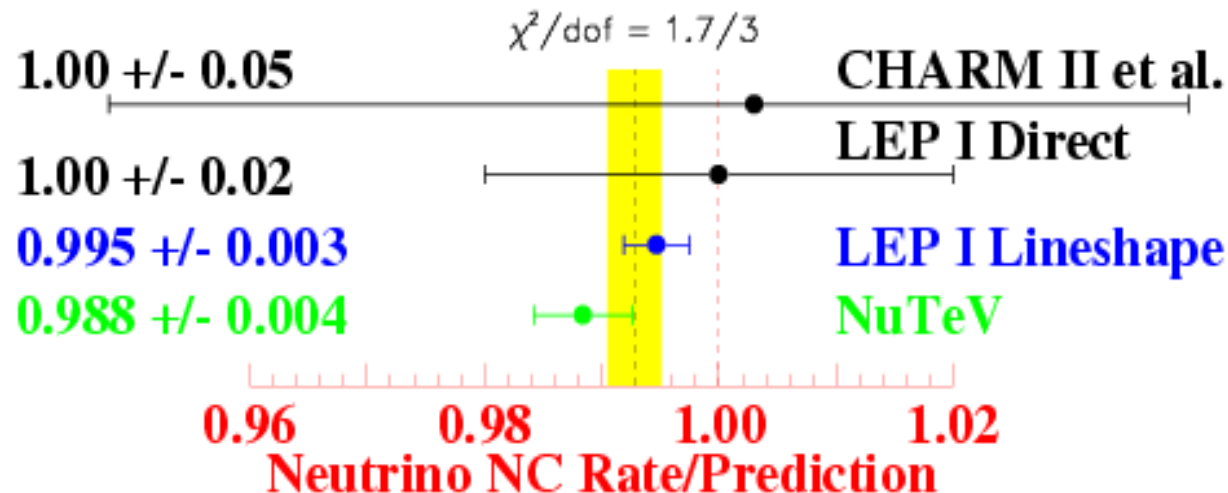


**Corrente carregada**

**Corrente Neutra**

# Probabilidades

- Esperado  $\longrightarrow$  neutrino permanece neutrino
- Verificado  $\longrightarrow$  não é muito alto quanto esperado, porém apenas 1% das interações são perdidas



# Questões ainda em aberto

- Massa dos neutrinos?
- Os neutrinos são suas antipartículas?
- Os neutrinos violam a simetria CP?
- Neutrinos possuem propriedades desconhecidas?
- Ajuda na melhoria da física além do modelo padrão
- ...

## INTERAÇÃO COM A MATÉRIA

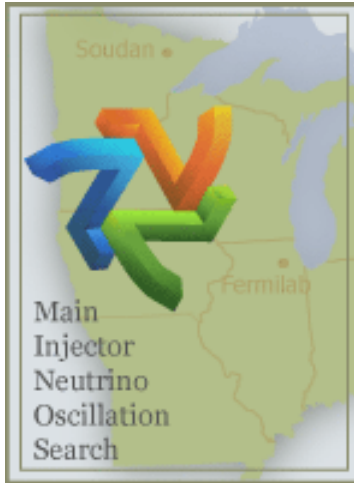
# O experimento MINERvA

- **Main Injector Experiment n-A** → Tevatron
- Utiliza o feixe linear NUMI
- MINOS ND seleciona o feixe
- Medição de interações de baixa energia → oscilação de neutrinos
- Estudar a dinâmica dos núcleos e nucleons
- Primeiro módulo completo em 2006
- Predição de dados para 2009





# O experimento MINOS



- Feixe linear NuMI utiliza prótons do feixe principal do Tevatron para produzir um intenso feixe de neutrinos que será utilizado no MINOS
- Feixe de neutrinos é direcionado ao longo de uma linha que conecta os experimentos
- Designado principalmente para observar o fenômeno de oscilações de neutrinos, relacionado a massa dos mesmos
- Utilização de dois detectores: um no Fermilab e outro em Minnesota

# Como funciona

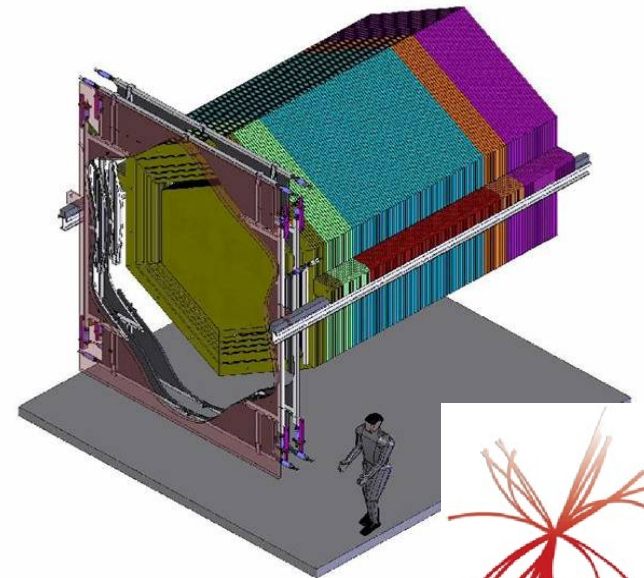
MINOS ND

MINERvA



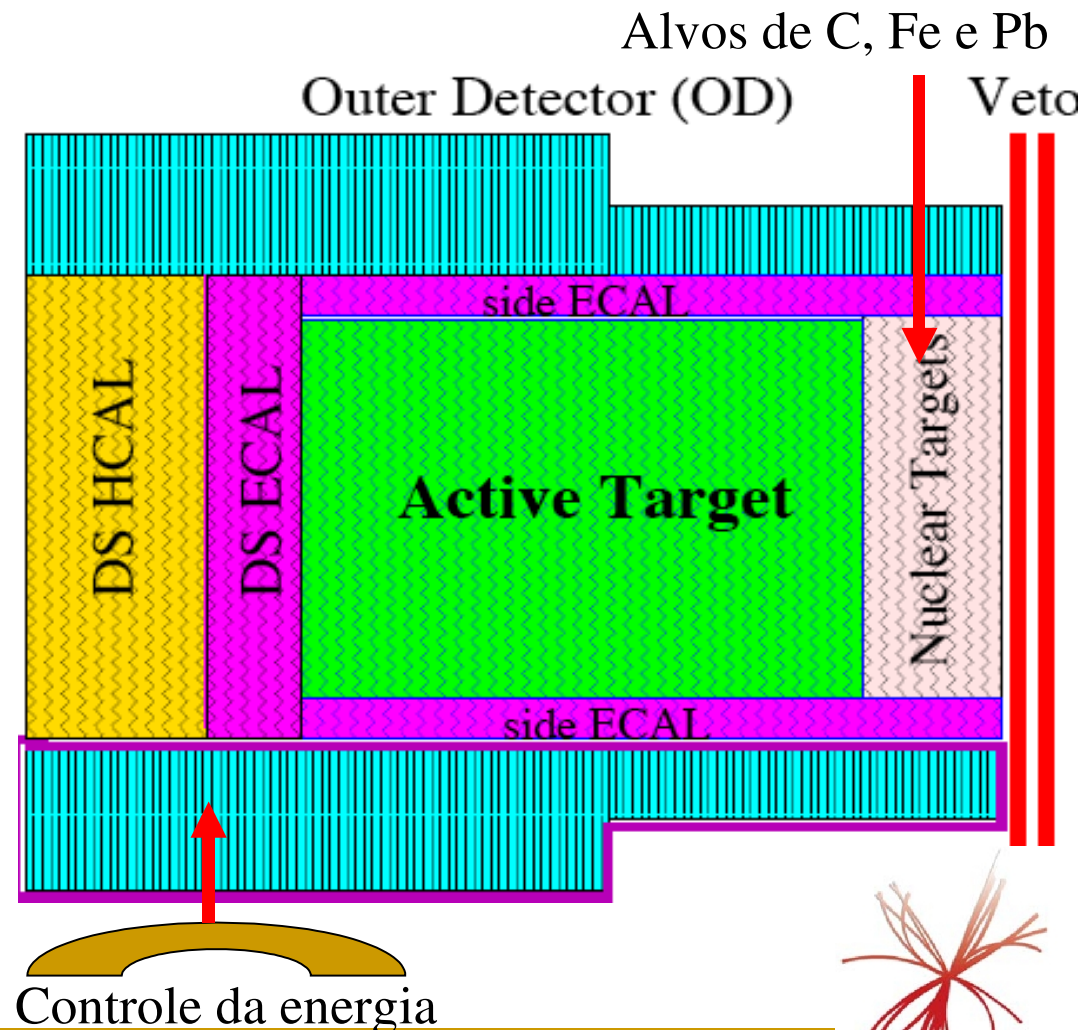
■ Káons ou píons

■ Extensa parede de pedras garantem que apenas o neutrino sobrevive

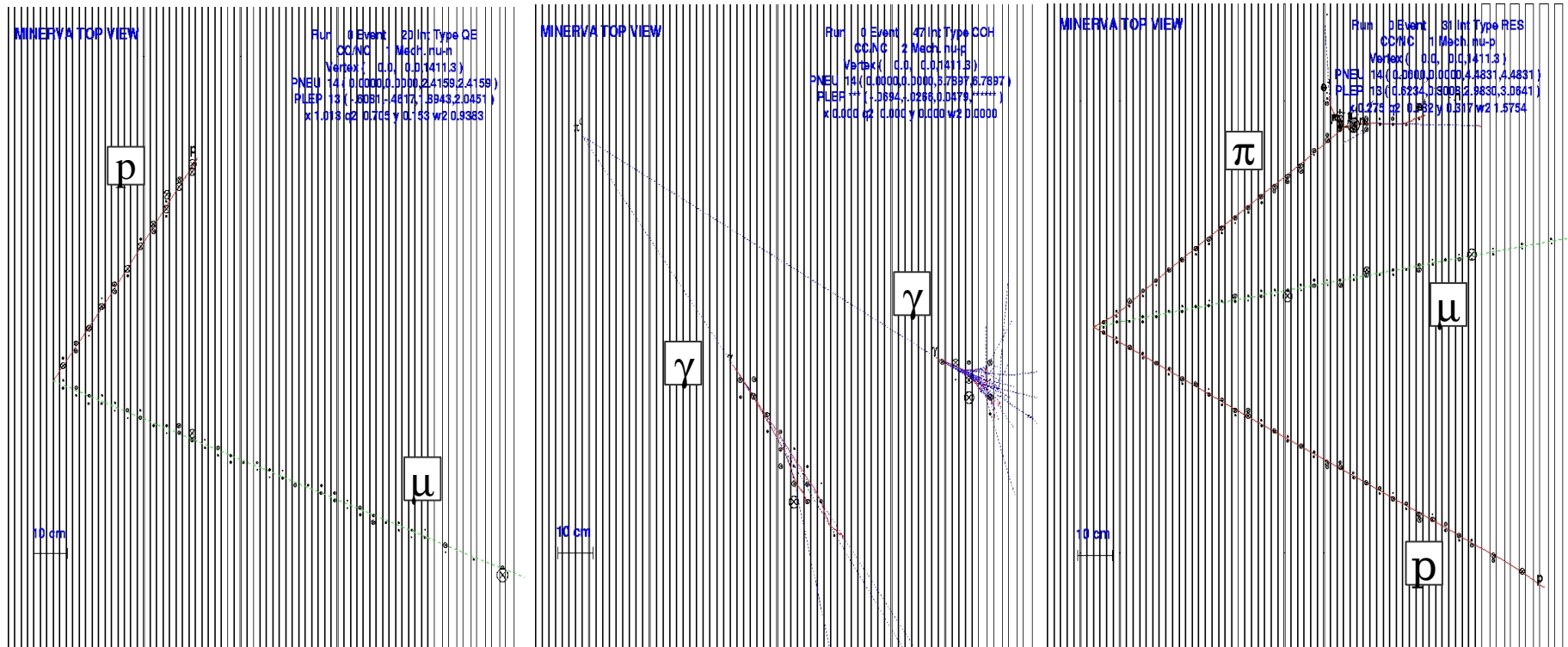


# Detecção e extração de dados

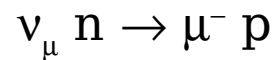
- Diferentes alvos
- Estudo diferenciado para efeitos nucleares
- Melhoria nas medidas atuais e futuras
- Verificação precisa da oscilação de neutrinos



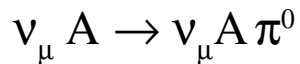
# Eventos



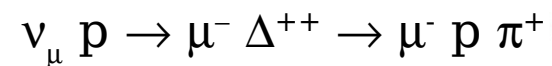
## Quasielástico



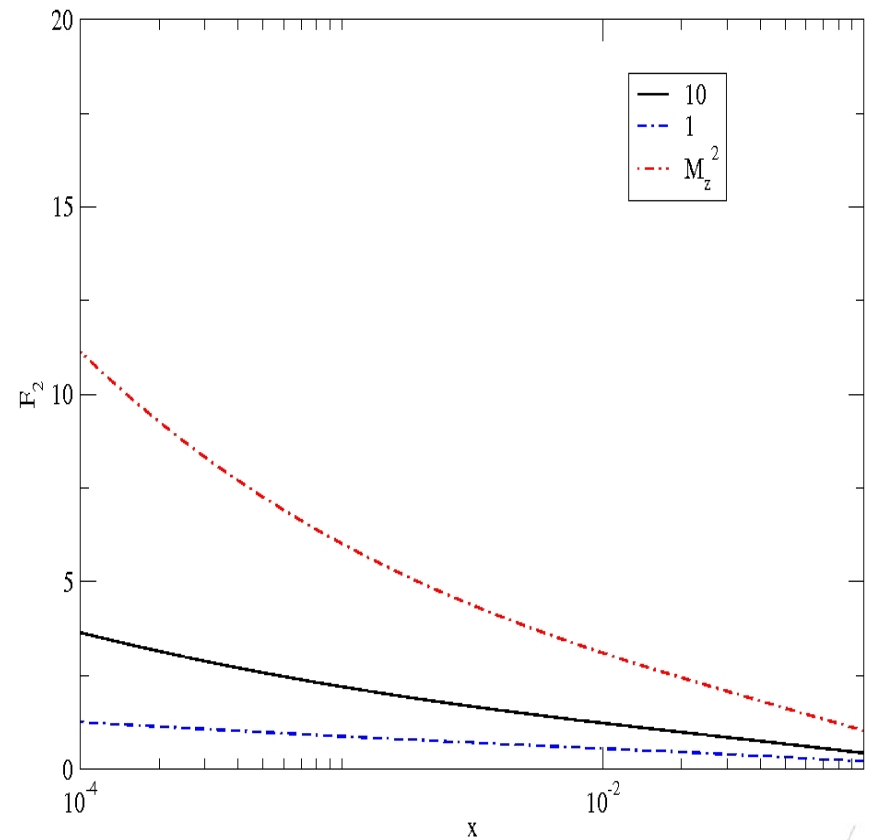
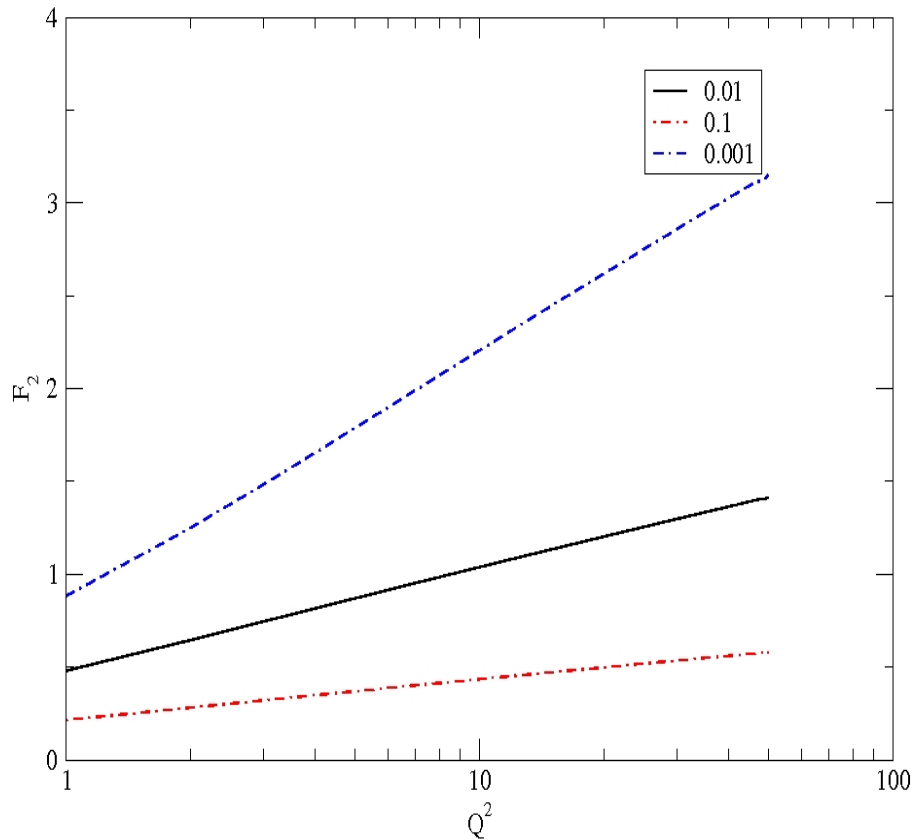
## Corrente Neutra $\pi^0$



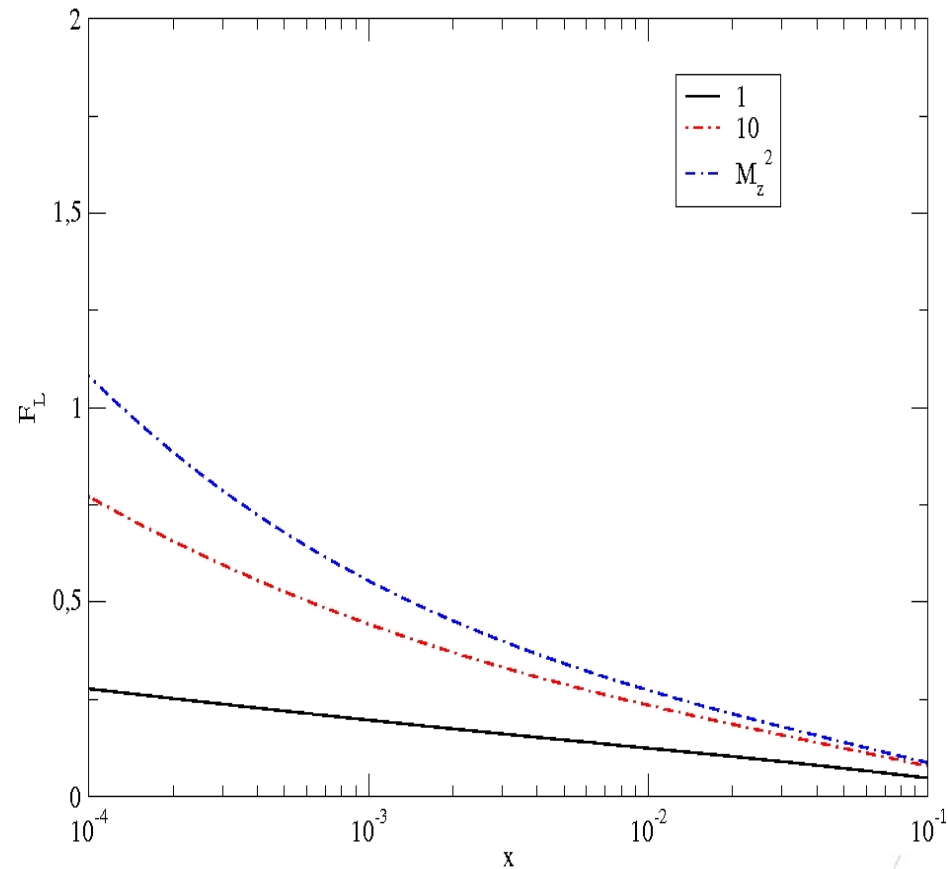
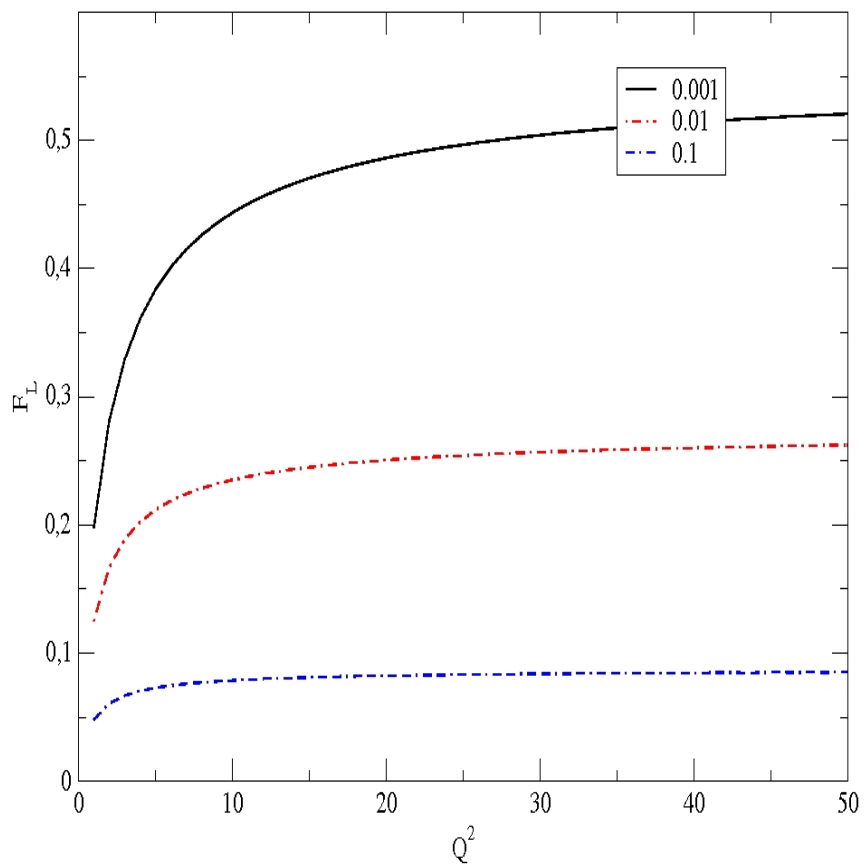
## Resonâncias



# Função de estrutura $F_2$

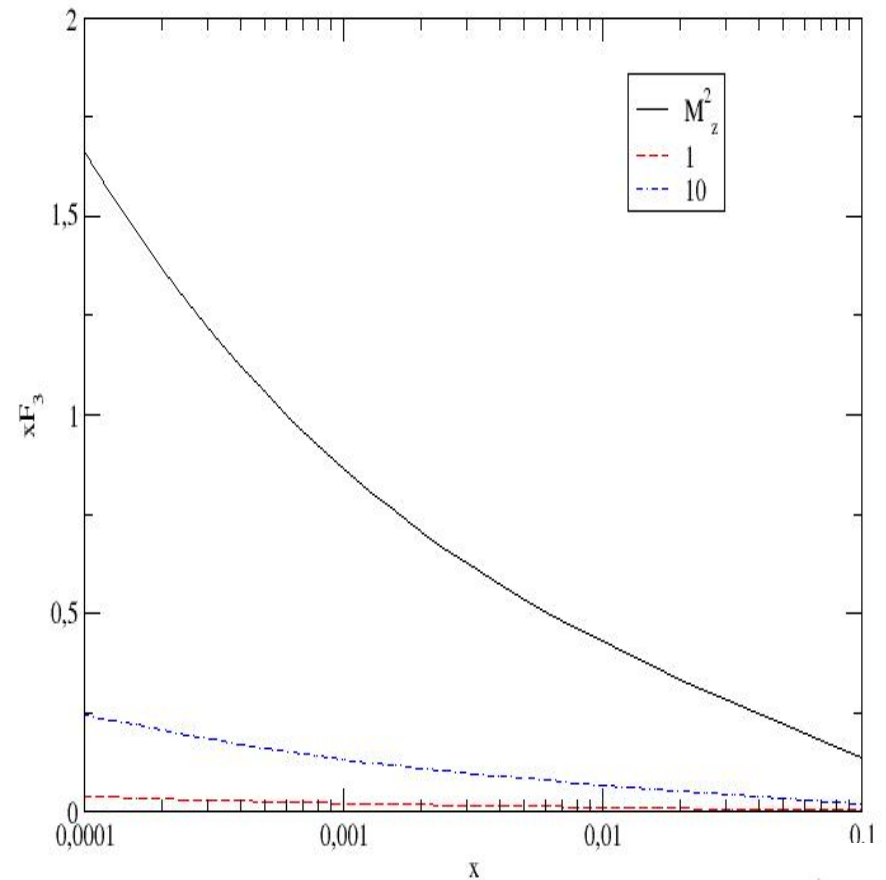
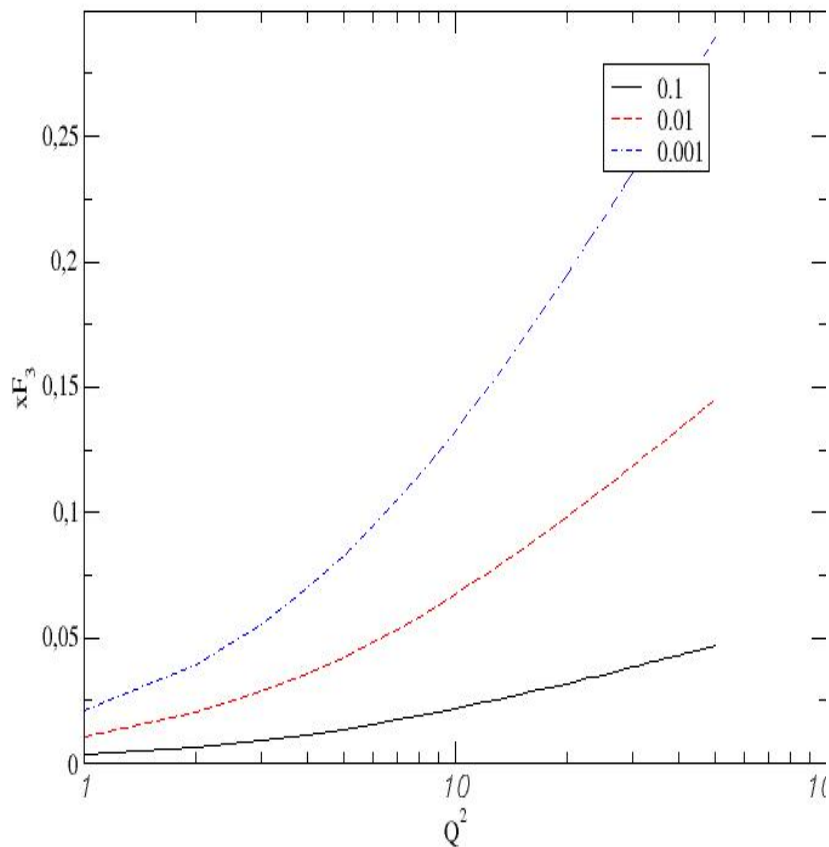


# Função de estrutura $F_L$

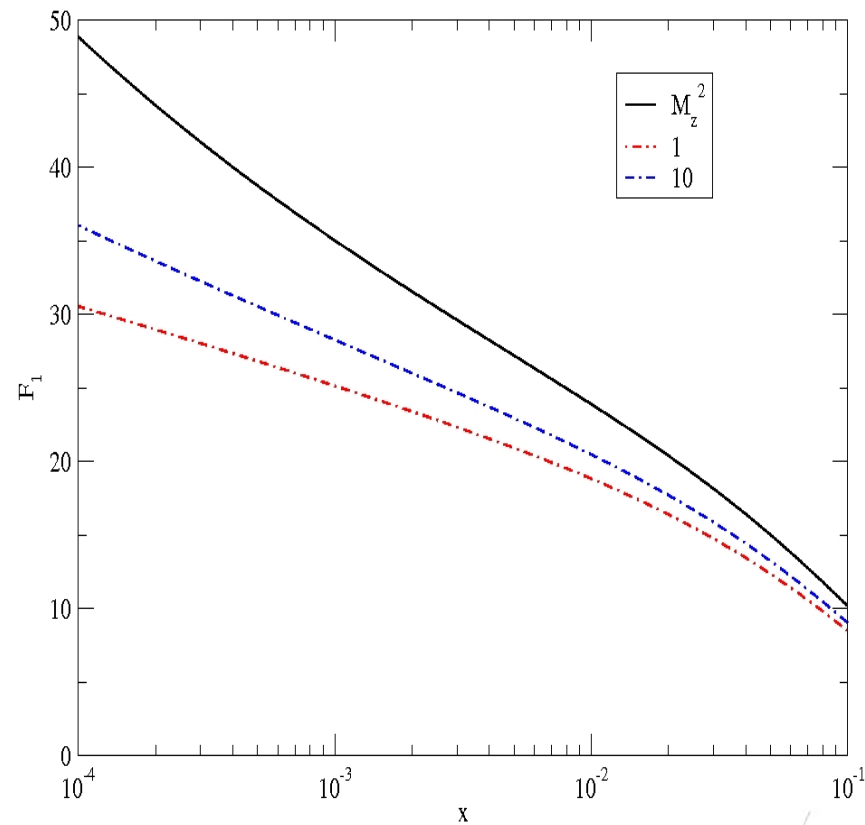
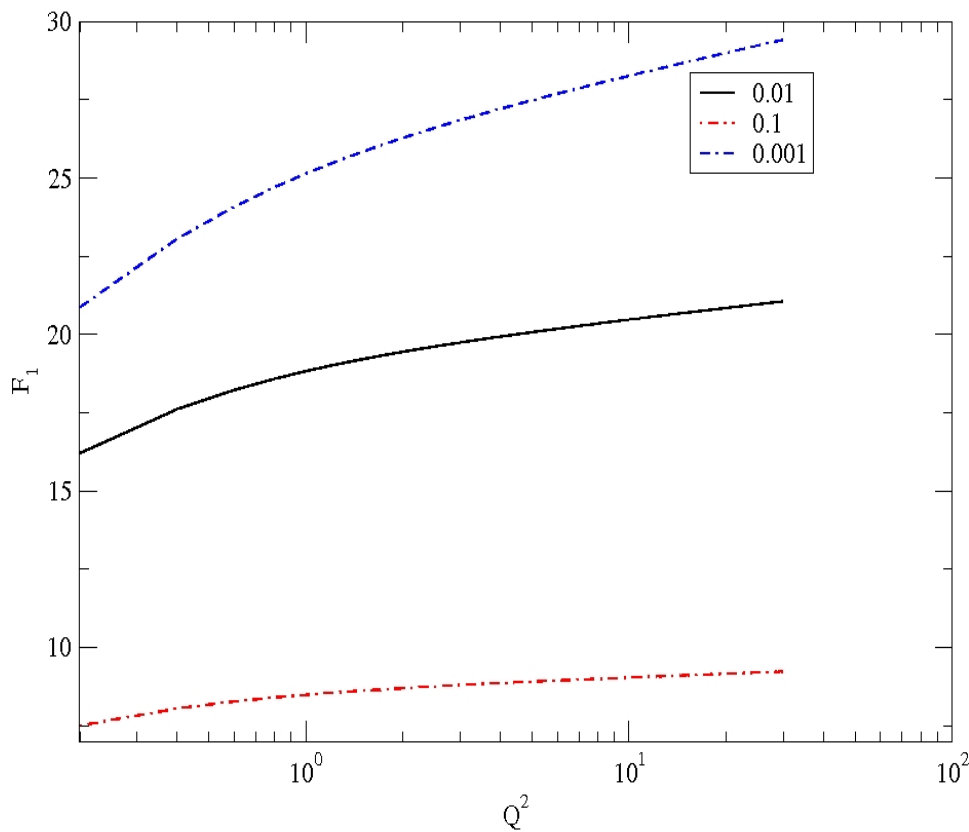




# Função de estrutura $F_3$

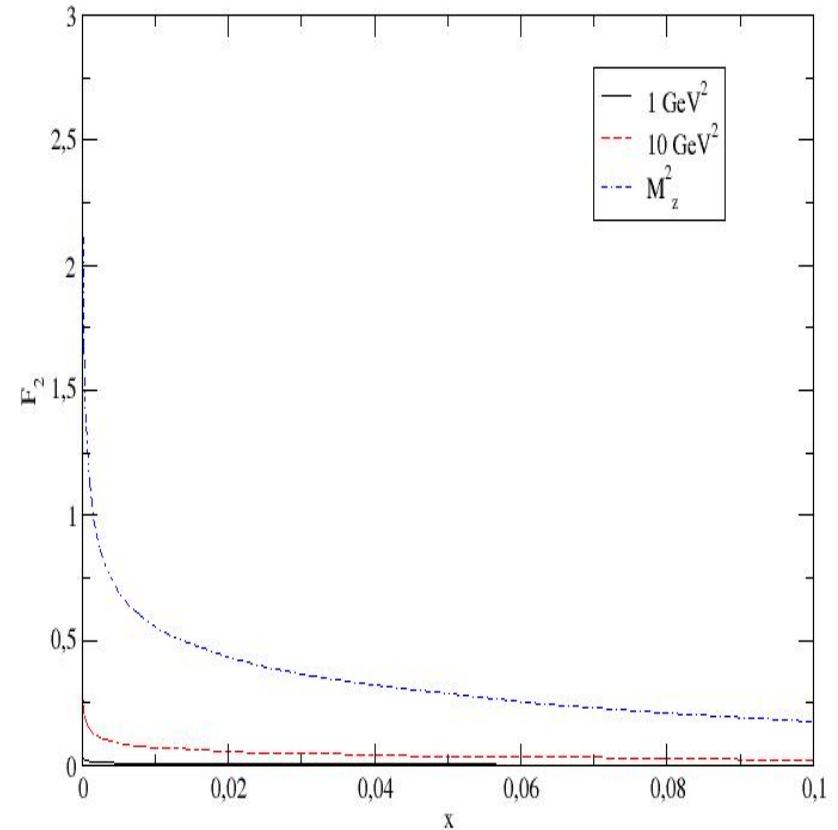
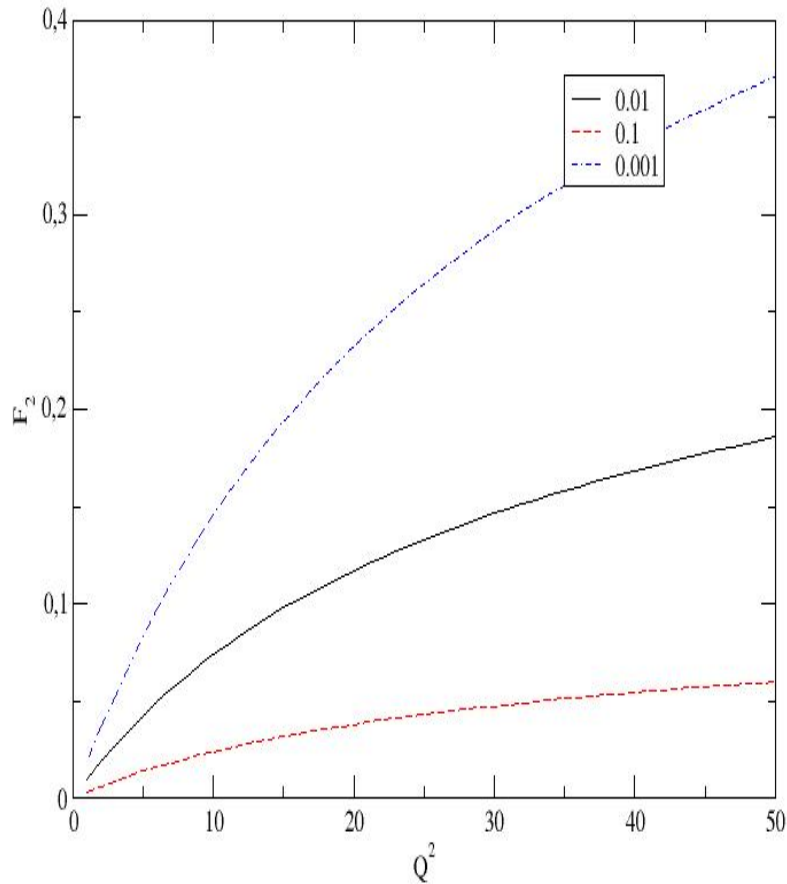


# Função de Estrutura $F_1$

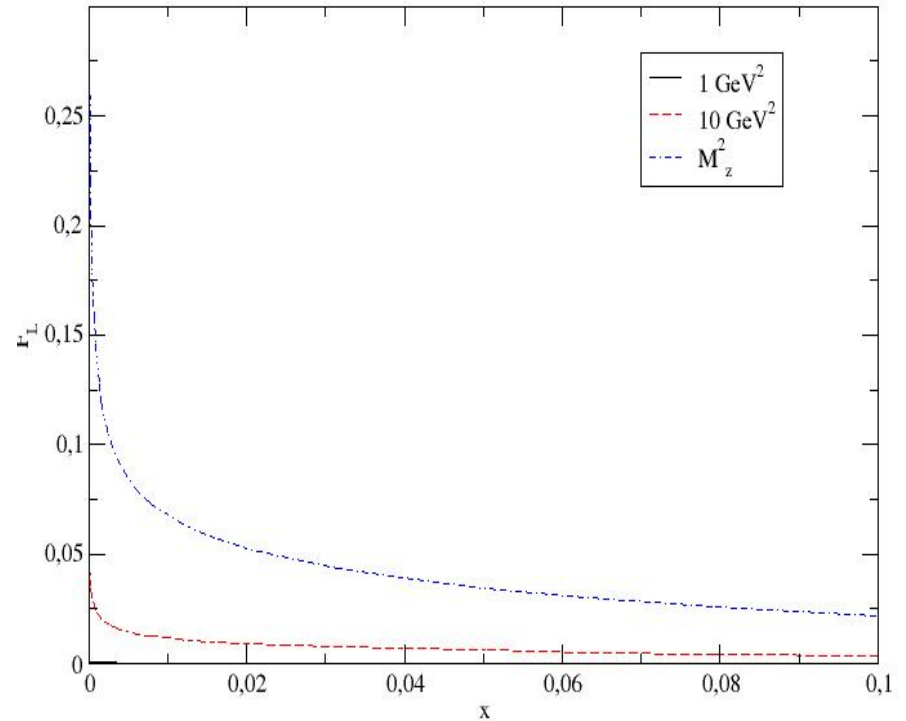
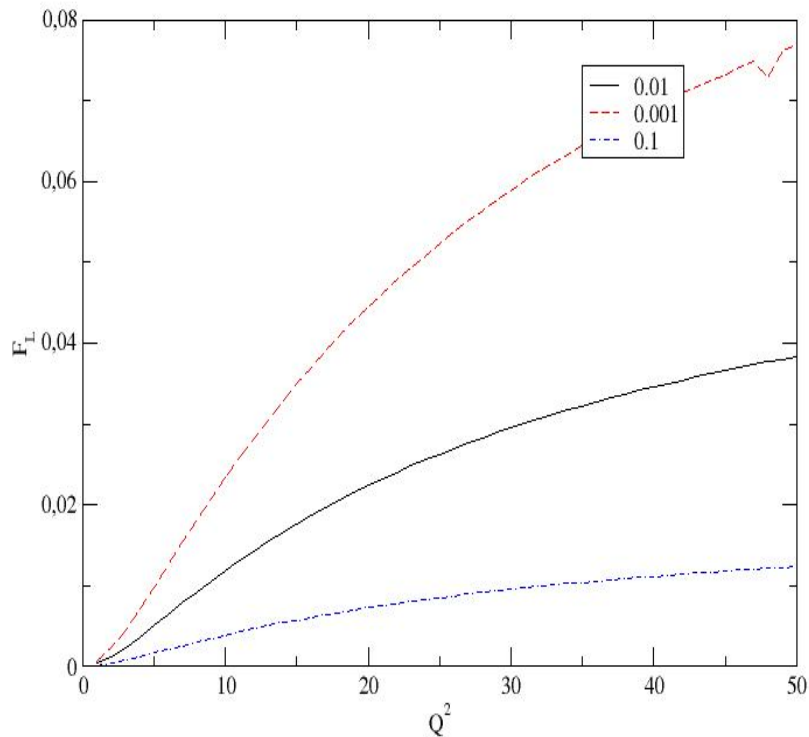




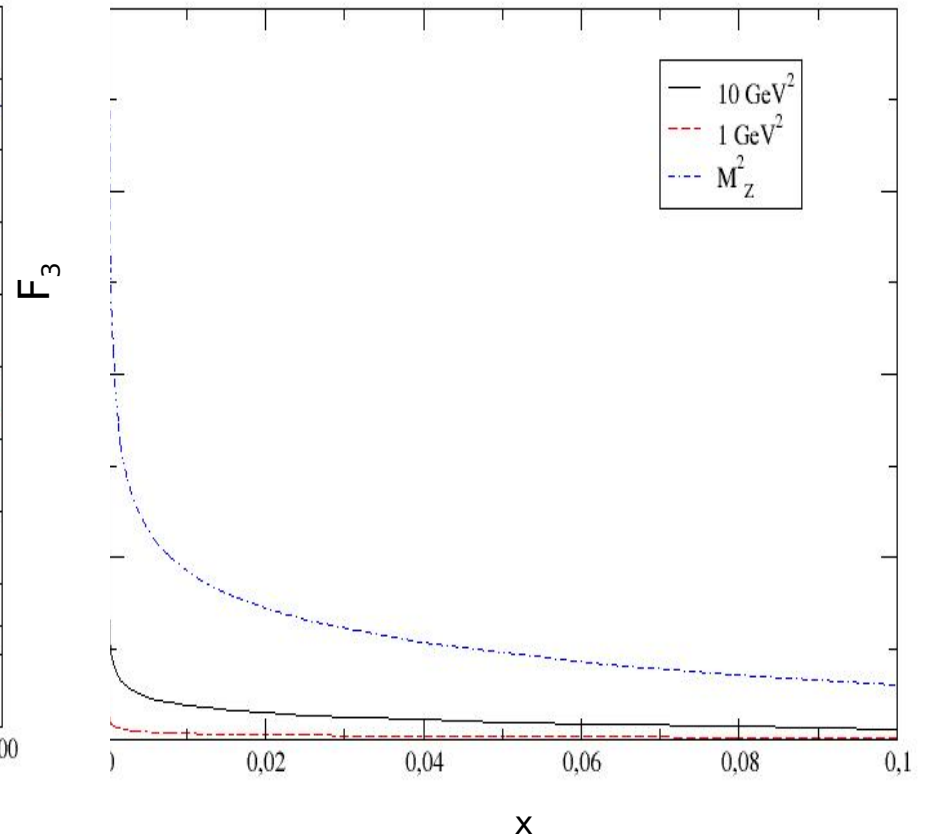
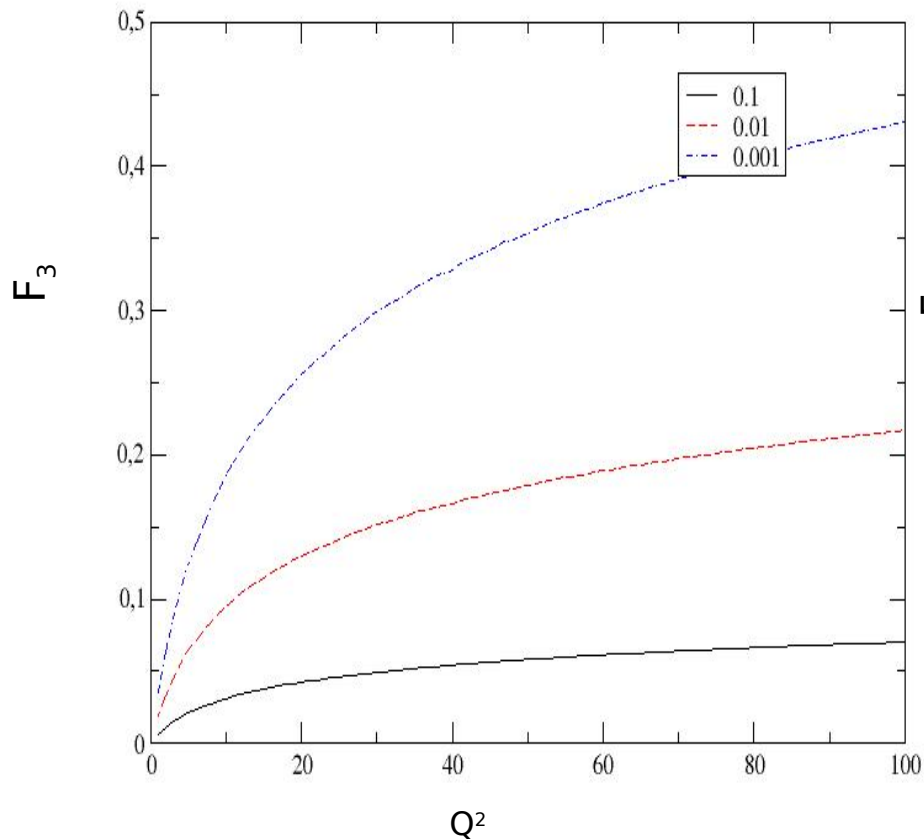
# Função de estrutura $F_2$ charmosa



# Função de estrutura $F_L$ charmosa



# Função de estrutura $F_3$



# Próximos passos

$$\sigma_{\nu,\bar{\nu}}^{CC,NC}(E) = \int_{Q_{min}^2}^s dQ^2 \int_{Q^2/s}^1 dx \frac{1}{xs} \frac{\partial^2 \sigma_{\nu,\bar{\nu}}^{CC,NC}}{\partial x \partial y}$$

$$Q_{min}^2 = 1\text{GeV}^2$$

$$y = Q^2/(xs)$$

- Em baixas energias (  $s < M_i$ ) a seção de choque deve crescer linearmente com E  $\longrightarrow$  domínio de quarks de valência
- Em altas energias a contribuição de valência satura
- Dependência em energia da seção de choque segue o comportamento em pequeno x dos quarks de mar
- Energias  $\longrightarrow$  154 GeV e 27 GeV

# Conclusão

- Experimentos em neutrinos são fundamentais para compreensão da interação eletrofraca
- Modelo de dipolos auxilia na descrição da estrutura do próton
- Extensão para espalhamentos com núcleos (MINERvA) pode ser feita



# Obrigado

Os cientistas aprendem muito mais quando confrontam a teoria com os dados



"Matthews... we're getting another one of those strange 'aw blah es span yol' sounds."

# Bibliografia

- MACHADO, M. M., GAY DUCATI, M. B., MACHADO, M. V. T. – PLB 644 (2007) 340-345
- KUTAK, K, KWIENCISKI, J - Eur.Phys.J. C29 (2003) 521
- ZOLLER, V. R; Fiore, R. - Phys.Lett. B632 (2006) 87-91
- MACHADO, M. V. T. - Phys.Rev. D70 (2004) 053008
- CHORUS COLLABORATION – arXiv:07082820 v1 hep-ex (2007)
- NuTeV Collaboration - Observation of neutral current charm production in  $\nu_{\mu}Fe$  scattering at the Tevatron - Int.J.Mod.Phys. A16S1B (2001) 764-766
- <http://minerva-docdb.fnal.gov/cgi-bin/ShowDocument?docid=218>