

Produção de Píons e Glúons em Colisões Próton-Próton a 14 TeV

Eduardo A. F. Basso

`andre.basso@ufrgs.br`

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

High Energy Phenomenology Group, GFPAE IF-UFRGS

Orientadora: M. B. Gay Ducati

Co-orientador: M. V. T. Machado

Introdução

- A **Cromodinâmica Quântica (QCD)** é a teoria das interações fortes entre **quarks** e **glúons**.
- Quarks possuem **carga de cor** e **carga elétrica**. Existem 3 cores - **vermelho**, **verde** e **azul**. Cor é trocada por **8 glúons** bicoloridos.
- **Glúon** é a **partícula mediadora** da interação forte, como o fóton é a da interação eletromagnética. Porém, carregam cor, interagem entre si, não têm massa e têm spin 1.
- Interações de cor têm similaridades com as interações eletromagnéticas: interação **quark-glúon** são computadas pelas **regras da QCD**. Com analogia com a **QED**, há a substituição de $\alpha_{em} \rightarrow \alpha_s$ em cada **vértice** de interação e pela introdução de um **fator de cor**.

Motivação

- **Píons** (π^\pm) são as **partículas carregadas** produzidas em maior abundância em **colisões centrais** nucleon-nucleon (pp). O mesmo ocorre em espalhamento núcleo-núcleo.
- Modelo recente usando a **dualidade parton-hádron** e **saturação** (Kharzeev-Levin/2001) descreve com sucesso o espectro de rapidez ($y \approx \frac{1}{2} \left(\frac{1+\cos\theta}{1-\cos\theta} \right)$) das partículas carregadas em **colisões de íons pesados em RHIC**.
- **Hipótese do modelo**: o processo de espalhamento é dominado por **fusão glúon-glúon** nas energias de RHIC.
- Espalhamento **nucleon-nucleon** é escrito em termos das **distribuições de glúon não-integrada**, $\mathcal{F}(\sqrt{s}, k_t)$.
- Em geral, \mathcal{F} é determinada usando **modelos fenomenológicos** cujos parâmetros são fixos por **DESY-HERA**.

Distr. de glúon não-integrada GBW

- **Golec-Biernat & Wusthoff** (PRD, 1999) propuseram uma parametrização fenomenológica pioneira incluindo efeitos de saturação via formalismo de dipolos.
- Distr. glúon determinada através da $\sigma_{(q\bar{q})N}$ (com parâmetros ajustados aos dados do DESY-HERA).

$$\alpha_s \mathcal{F}(x, \mathbf{k}_t^2) = \frac{3\sigma_0}{4\pi^2} R_0^2(x) \mathbf{k}_t^2 \exp(-R_0^2(x) \mathbf{k}_t^2)$$

$$R_0(x) = \frac{1}{\text{GeV}} \left(\frac{x}{x_0} \right)^{\lambda/2}$$

- Do fit a HERA: $\sigma_0 = 29.12 \text{ mb}$, $x_0 = 0.41 \cdot 10^{-4}$, $\lambda = 0.277$.
Fixo $\alpha_s = 0.2$.
- Raio de saturação, $R_0(x)$, está relacionado à escala de saturação, $Q_{\text{sat}} = 1/R_0(x)$.

Distr. de glúon não-integrada KL

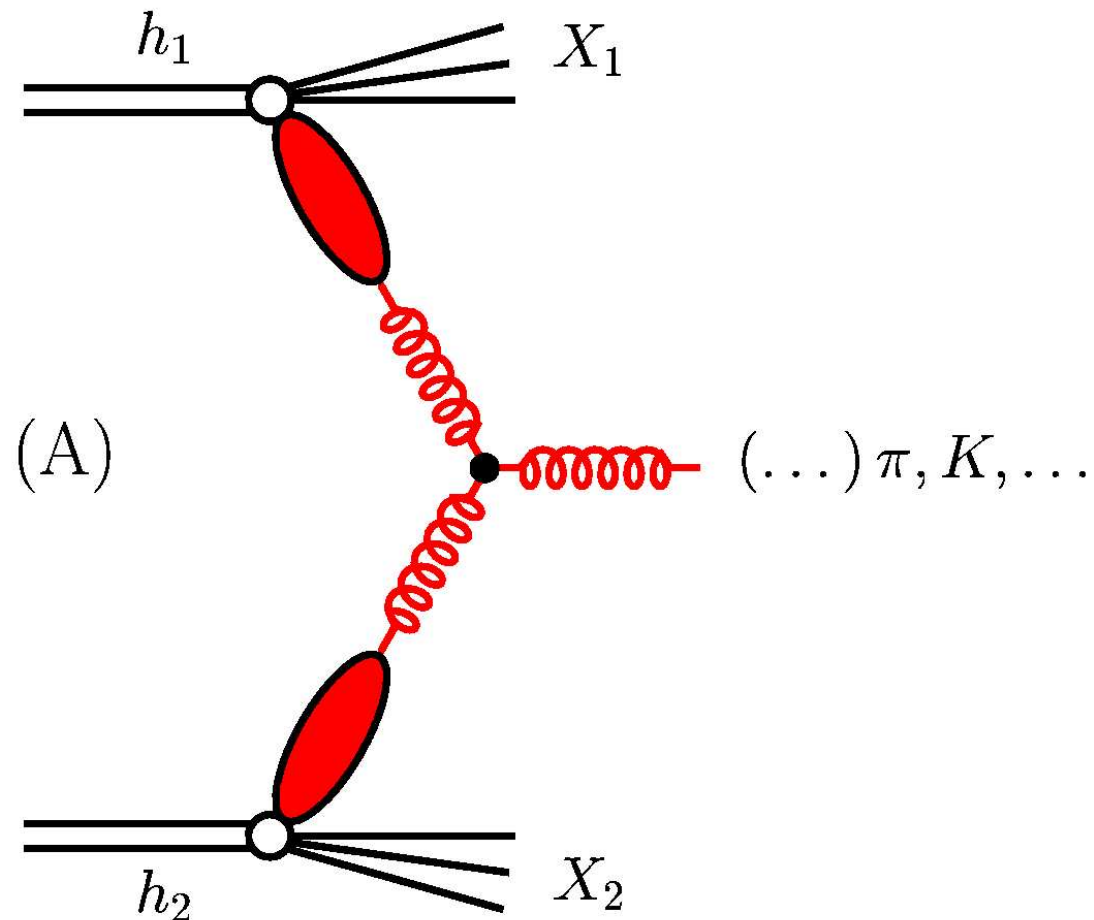
- **Kharzeev & Levin** (PLB, 2001) propuseram **parametrização simplificada** para distribuição glúon interpolando região de pequeno momento e região perturbativa.
- **Parâmetros** estimados do **modelo GBW** e normalização ajustada para descrever **distribuição** de partículas carregadas em RHIC.

$$\mathcal{F}(x, k^2) = \mathcal{N}_0 \begin{cases} 1, & (\text{para } k^2 < Q_{\text{sat}}^2), \\ \frac{Q_{\text{sat}}^2}{k^2}, & (\text{para } k^2 > Q_{\text{sat}}^2), \end{cases}$$

- **Escala de saturação** Q_{sat} é tomada do modelo GBW.
- Para o caso do próton, a **normalização** deve ser reajustada as dados de pequeno- x em DESY-HERA.

Produção Inclusiva de Glúons

- Consideramos a reação hádron-hádron em altas energias,
 $h_1 + h_2 \rightarrow g$.



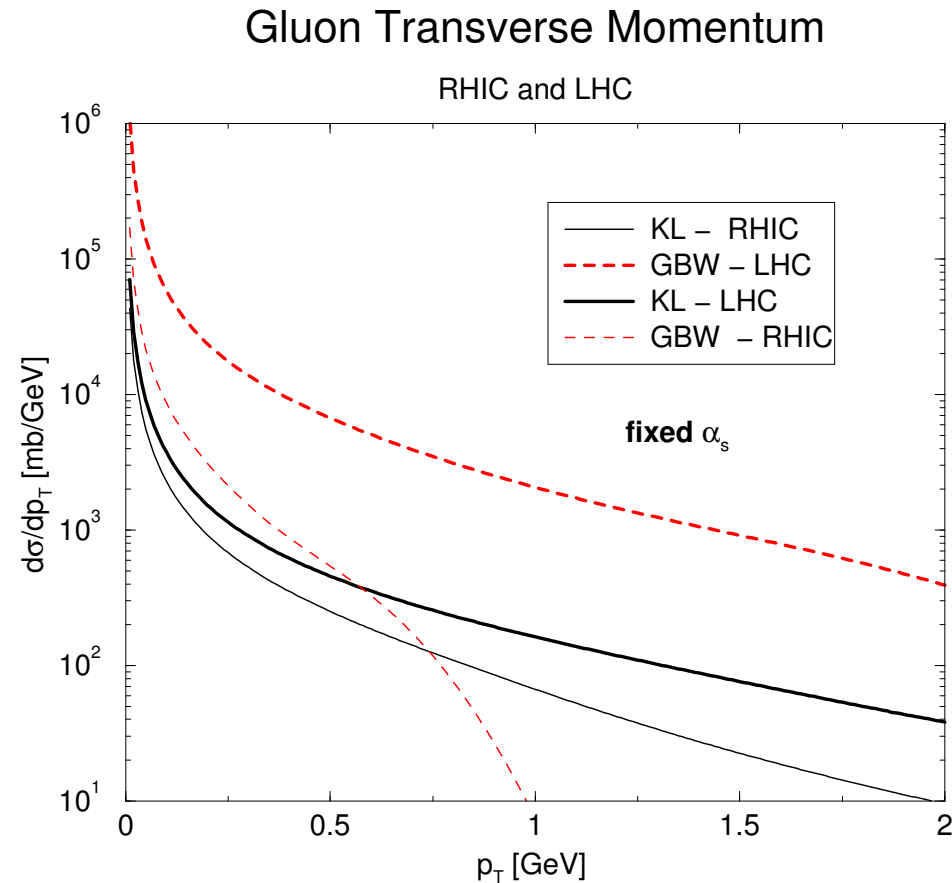
Produção Inclusiva de Glúons

- **Seção de choque diferencial** (em rapidez y e momento transversal p_t) da produção inclusiva de glúons como função da distr. de glúons não-integradas de cada nucleon.

$$\frac{d\sigma}{dyd^2p_t} = \frac{16N_c}{N_c^2 - 1} \frac{1}{p_t^2} \int \alpha_s \mathcal{F}_1(x_1, \mathbf{k}_1^2) \mathcal{F}_2(x_2, \mathbf{k}_2^2) \delta(\vec{\mathbf{k}}_1 + \vec{\mathbf{k}}_2 - \vec{p}_t) d^2\mathbf{k}_1 d^2\mathbf{k}_2$$

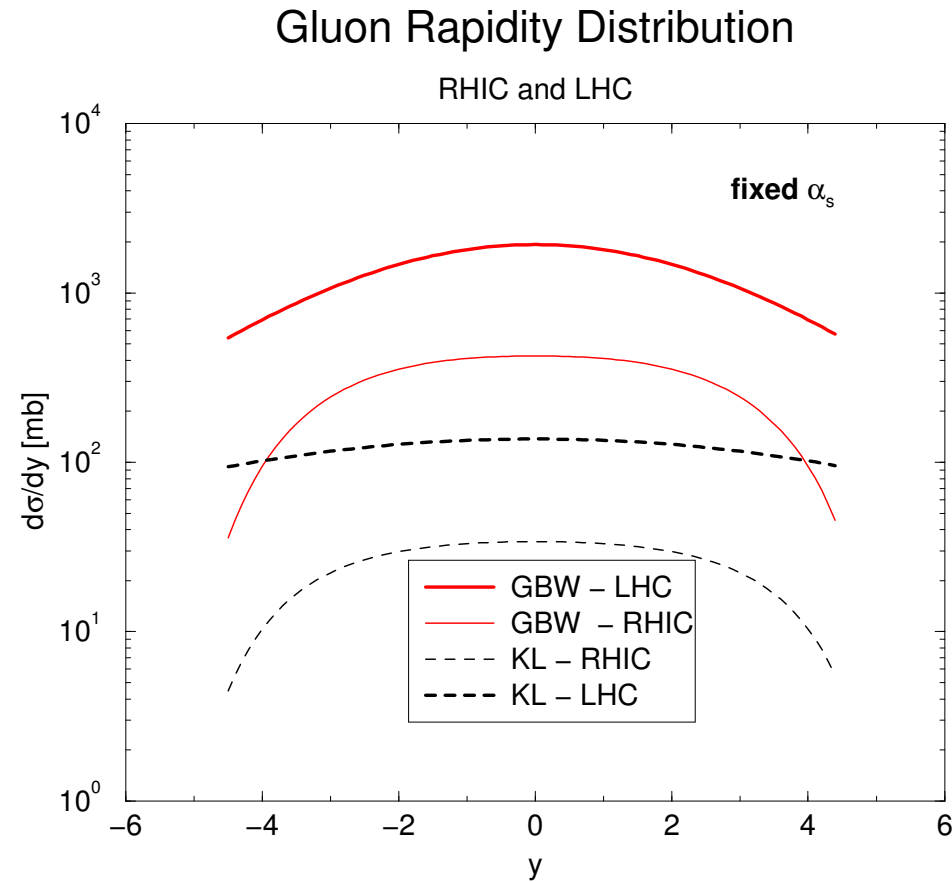
- \mathcal{F}_1 e \mathcal{F}_2 - Distr. de glúon não-integrada nos hadrons h_1 e h_2 .
- As **frações de momento longitudinal** dos glúons incidentes são dadas por: $x_{1/2} = \frac{p_t}{\sqrt{s}} \cdot \exp(\pm y)$.
- Neste trabalho usamos acoplamento fixo $\alpha_s = 0.2$.

Distr. de momento transverso



- Estimativas para energias de **RHIC** ($\sqrt{s} = 200$ GeV) e **LHC** ($\sqrt{s} = 14$ TeV). **GBW** tem forte decréscimo em momento transverso em comparação com **KL**.

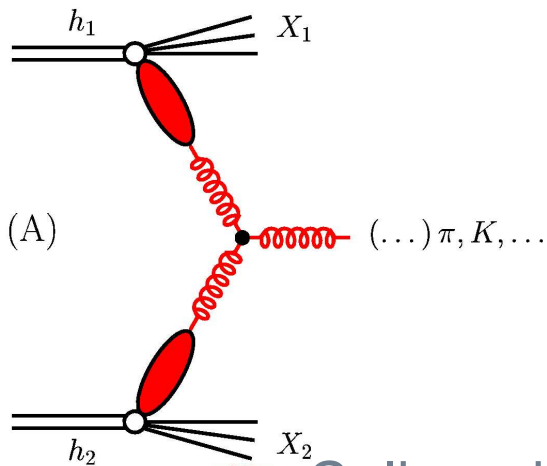
Distribuição em rapidez



- Estimativas para energias de **RHIC** ($\sqrt{s} = 200$ GeV) e **LHC** ($\sqrt{s} = 14$ TeV). **KL** produz menor normalização que **GBW**, mas dependências são similares para $y \approx 0$.

Fragmentação glúons → hádrons

- Transição de glúons a hádrons (**píons**) é dada via **funções de fragmentação**.
- **Cinemática da fragmentação**: rapidez y_h de um dado tipo de hadron é dada em termos da pseudorapidez η_h por



$$y_h = \frac{1}{2} \left[\frac{\sqrt{\frac{m_h^2 + p_{t,h}^2}{p_{t,h}^2} + \sinh^2 \eta_h} + \sinh \eta_h}{\sqrt{\frac{m_h^2 + p_{t,h}^2}{p_{t,h}^2} + \sinh^2 \eta_h} - \sinh \eta_h} \right]$$

- Colinearidade dos pártons e partículas leva à relação entre a rapidez do glúon e do hadron $y_g = \text{arsinh} \left(\frac{m_{t,h}}{p_{t,h}} \sinh y_h \right)$.

- $m_{t,h} = \sqrt{m_h^2 + p_{t,h}^2}$ é a **massa transversa** do hadron.

Fragmentação glúons \rightarrow hádrons

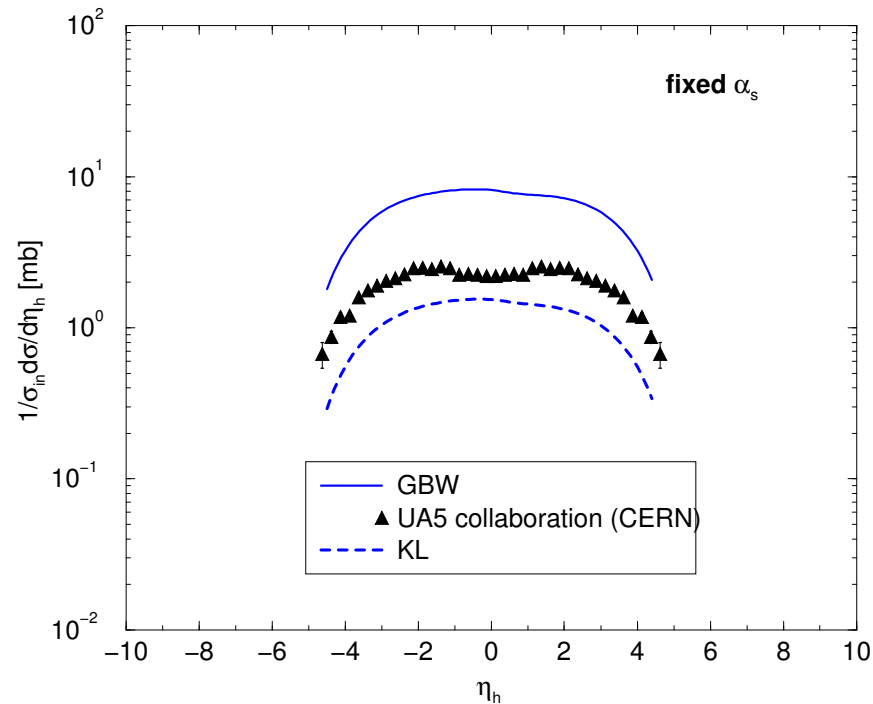
- De acordo com as colisões e^+e^- e ep define-se z tal que:
 $E_h = zE_g$ (definição para funções de fragmentação $D_{g \rightarrow h}$),
- A relação entre os momentos transversos do **glúon** e do **hádron** é dada por,

$$p_{t,g} = \frac{p_{t,h}}{z} J(m_{t,h}, y_h), \quad \text{onde } J(m_{t,h}, y_h) = \left(1 - \frac{m_h^2}{m_{t,h}^2 \cosh^2 y_h} \right)^{-1/2}$$

- A **seção de choque diferencial** (em pseudorapidez η_h e em momento transversal $p_{t,h}$ do hádron) é dada por,

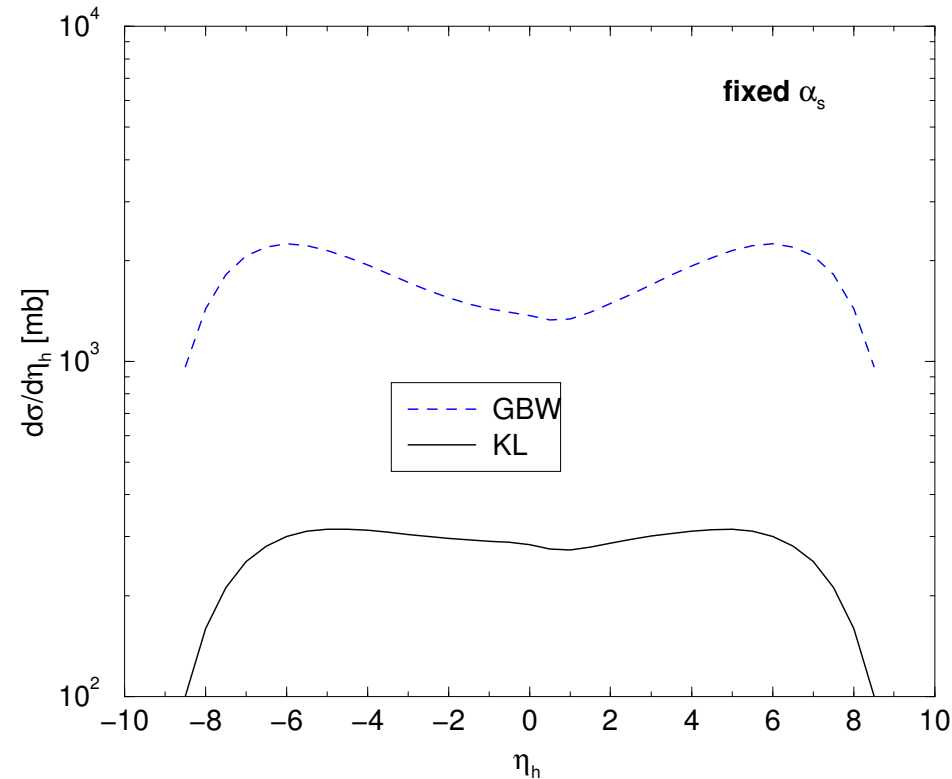
$$\frac{d\sigma(\eta_h, p_{t,h})}{d\eta_h d^2 p_{t,h}} = \int_{z_{min}}^{z_{max}} dz \frac{J^2 D_{g \rightarrow h}(z, \mu_D^2)}{z^2} \frac{d\sigma(y_g, p_{t,g})}{dy_g d^2 p_{t,g}} \Bigg|_{\substack{y_g = \eta_h \\ p_{t,g} = J p_{t,h} / z}}$$

Charged Pion Pseudorapidity Distribution



- **Estimativa simples** usando um modelo simplificado para a função de fragmentação, $D_g \propto (1 - z)^2 / z$.

LHC – 14 TeV



- Estimativa simples usando um modelo simplificado para a função de fragmentação, $D_g \propto (1 - z)^2 / z$.

- Calculamos distribuições em rapidez/espectro de momento transverso para produção inclusiva de **glúons** e de **píons** usando rotinas numéricas implementadas em **FORTRAN77**.
- Usamos **distribuições de glúons não-integradas** que incluem correções de **saturação** para a região de **pequeno p_T** .
- Calculamos **predições teóricas** para as distribuições nas energias do **Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC, USA)** e predições para o novo acelerador **Large Hadron Collider (LHC)** no CERN.
- Comparação preliminar com **dados experimentais** em **$\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$ (colisões pp no CERN)** mostra que parametrização **KL** é mais consistente. **Futuros testes com funções de fragmentação** mais elaboradas.