

# Produção de charmonium em colisões PA

Ríchard Terra de Oliveira

Universidade de São Paulo  
Instituto de Física

**Orientador:**

Prof. Dr. Fernando Silveira Navarra (IFUSP)

**Coorientador:**

Prof. Dr. André V. Giannini (UFGD)

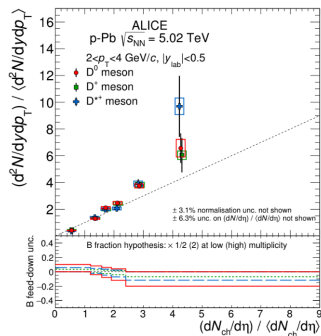
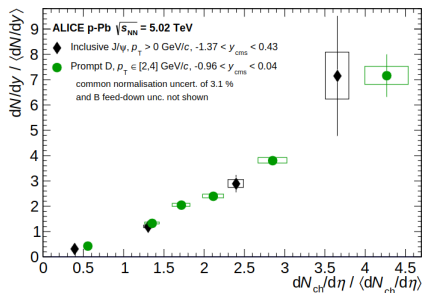


# Dados Experimentais

D. Adamová *et al.* [ALICE Collaboration], JHEP **776**, 91 (2018).

J. Adam *et al.* [ALICE], JHEP **2016**, 78 (2016).

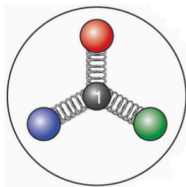
Medidas de produção de mesons charmosos no LHC apresentam um crescimento na região de alta multiplicidade carregada.



- Estrutura interna dos nucleons

# Junção Bariônica

Quarks ligados por uma corda de gluons em formato de "Y";

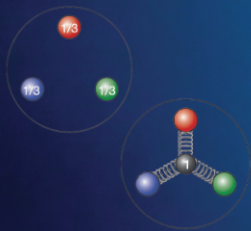


O ponto intermediário (Fermat) foi introduzido para manter a invariância de gauge da função de onda de bárions.

$B_3 = qqq$ baryon	$\epsilon^{j_1 j_2 j_3} \left[ P \exp \left( i g \int_{x_1}^x A_\mu dx^\mu \right) q(x_1) \right]_{j_1}$ $\left[ P \exp \left( i g \int_{x_2}^x A_\mu dx^\mu \right) q(x_2) \right]_{j_2} \left[ P \exp \left( i g \int_{x_3}^x A_\mu dx^\mu \right) q(x_3) \right]_{j_3}$	
--------------------	--	--

A comunidade está em busca de manifestações da junção:

## FIRST WORKSHOP ON BARYON DYNAMICS FROM RHIC TO EIC



**Dates:** Jan 22 – 24, 2024

**Location:** Center for Frontiers in Nuclear Science  
(CFNS), Stony Brook University

**Format:** In-person & zoom

**Participation:** Invited Talks + Open Mic Discussion

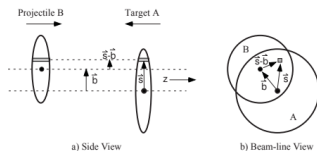
**Registration Deadline:** Jan 15th, 2024

No registration fee - Limited student support available

- Iremos utilizar condições iniciais de junção
- Iremos buscar os efeitos da junção na produção de charme

# Modelo de Glauber

M.L. Miller *et al.*, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. **57**, 205 (2007).



- Necessita de uma condição inicial de densidade  $\rho(r)$ ;
- Retorna resultados de  $N_{part}(b)$  e  $N_{coll}(b)$ ;
- Por causa das altas energias, os nucleons não são defletidos na colisão;
- O tamanho do núcleo é muito maior do que o alcance das forças entre nucleons.

## Distribuição de partons no nucleon

$$\rho_N(\mathbf{r}; \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3) = \sum_{i=1}^3 \rho_q(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) + \rho_g\left(\mathbf{r} - \sum_{i=1}^3 \frac{\mathbf{r}_i}{3}\right) \quad (1)$$

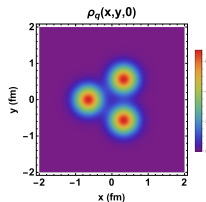
Quarks efetivos:

$$\rho_q(r) = (1 - \kappa) \frac{N_g}{3} \frac{e^{-r^2/2r_q^2}}{(2\pi)^{3/2} r_q^3}$$

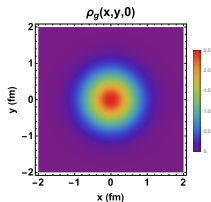
Gluons:

$$\rho_g(r) = \kappa N_g \frac{e^{-r^2/2r_g^2}}{(2\pi)^{3/2} r_g^3}$$

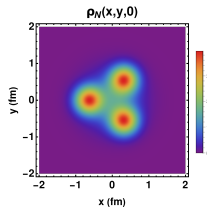
Quarks efetivos



Gluons

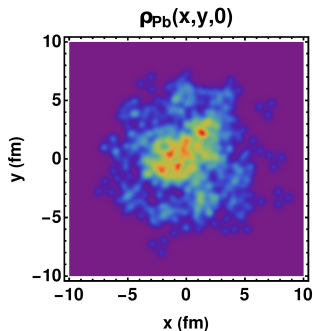
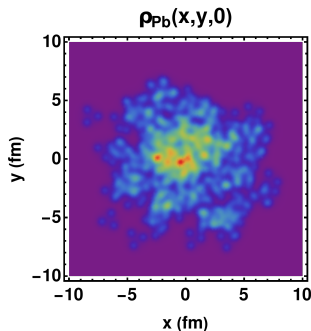


Junção



## Distribuição de nucleons no chumbo (Woods-Saxon)

$$\rho_{Pb}(\mathbf{r}) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)} \quad (2)$$



$$\rho_{Pb}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{208} \rho_{N_i}(\mathbf{r}; \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3) \quad (3)$$

Probabilidade/área de encontrar um parton:

$$T_p(x, y) = \int \rho_N(x, y, z) dz = T_N^q(x, y) + T_N^g(x, y) \quad (4)$$

$$T_{Pb}(x, y) = \int \rho_N(x, y, z) dz = T_{Pb}^q(x, y) + T_{Pb}^g(x, y) \quad (5)$$

Probabilidade/área de ocorrer uma interação:

$$T_{pPb}(b) = \int T_p(x - b/2, y) T_{Pb}(x + b/2, y) dx dy \quad (6)$$

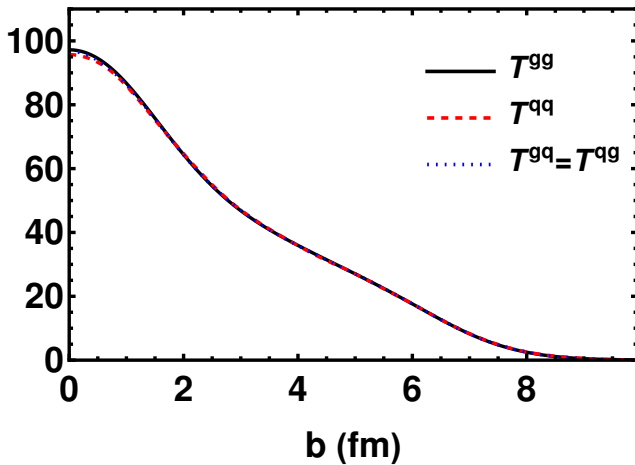
## Thickness

$$T_{pPb}(b) = T_{pPb}^{qq}(b) + T_{pPb}^{gg}(b) + T_{pPb}^{gq}(b) + T_{pPb}^{qg}(b) \quad (7)$$



## Resultados pPb

## Thickness Functions



As probabilidades são iguais!

## Número de colisões entre partons

$$N_{coll}(b) = T_{pPb}(b)\sigma^{pp'} \quad (8)$$

onde  $\sigma^{pp'} = 1.48$  mb é a seção de choque parton-parton;

$$\sigma_{NN}^{inel} = 2\pi \int b \left(1 - e^{-\sigma^{pp}T_{NN}(b)}\right) db = 67.6 \text{ mb} \quad (9)$$

## Número de partons que participam de uma colisão

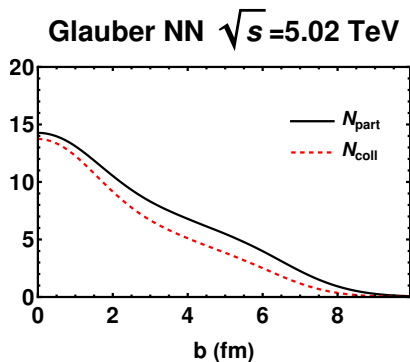
$$N_{part}(b) = N_{coll}^{3/4}(b) \quad (10)$$

Partons  $\rightarrow$  nucleons

$$N_{part}^{pPb}(b) \rightarrow \frac{N_{part}(b)}{N_{part}^{NN}(0)/2} \quad N_{coll}^{pPb}(b) \rightarrow \frac{N_{coll}(b)}{N_{coll}^{NN}(0)} \quad (11)$$

# Resultados pPb

D. Kharzeev, M. Nardi, Phys. Lett. B **507**, 121 (2001).



Densidade de rapidez ( $\eta = 0$ ):

$$\frac{dN}{d\eta}(b) = n_{pp}(s) \left\{ (1-f) \frac{N_{part}(b)}{2} + f N_{coll}(b) \right\} \quad (12)$$

# Color evaporation model

R. Vogt, "Ultrarelativistic heavy-ion collisions", Elsevier, (2007).

Processos:  $gg \rightarrow c\bar{c}$  e  $q\bar{q} \rightarrow c\bar{c}$  em leading order:

$$\begin{aligned}\sigma^{CEM} &= K \sum_{i,j} \int_{(2m_c)^2}^{(\Lambda)^2} dm^2 \int dx_1 dx_2 f_i(x_1, \mu_F^2) f_j^A(x_2, \mu_F^2) \sigma_{ij}(m^2, \mu_R^2) \delta(m^2 - x_1 x_2 s) \\ &= \sigma_{gg} + \sigma_{q\bar{q}}\end{aligned}$$

$$N_{c\bar{c}}(b) = T^{gg}(b) \sigma_{gg} + T^{qq}(b) \sigma_{q\bar{q}} \quad (13)$$

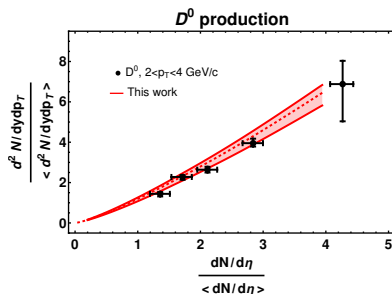
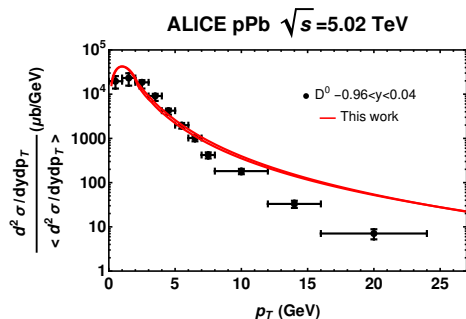
- Para  $J/\psi$  introduzimos a porcentagem de  $c\bar{c}$  que vira o meson ( $\mathbf{F} \approx 2\%$ );
- Para  $D^0$  introduzimos a função de fragmentação  $D_c/D^0(z)$

Fazemos a mudança:  $(x_1, x_2) \rightarrow (y, p_T)$  do meson produzido

# Resultados preliminares

J. Adam *et al.* [ALICE], Phys. Rev. C **94**, 054908 (2016).

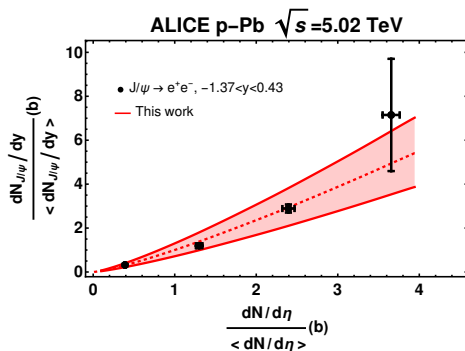
J. Adam *et al.* [ALICE], JHEP **2016**, 78 (2016).



- Conseguimos descrever a região de baixo  $p_T$ ;
- Explicamos parcialmente a produção de  $D^0$ ;
- Precisamos melhorar um pouco o jeito de calcular  $dN/d\eta$ .

# Resultados preliminares

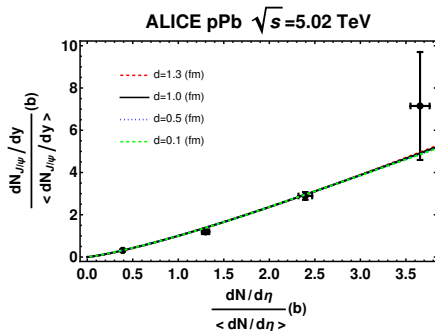
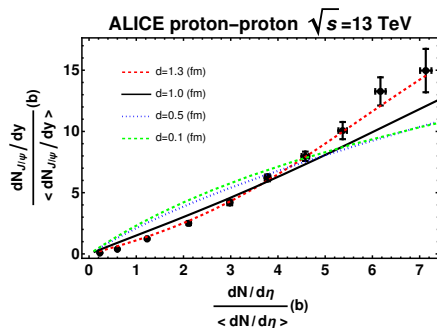
D. Adamová *et al.* [ALICE Collaboration], JHEP 776, 91 (2018).



- Conseguimos explicar a produção de  $J/\psi$ ;
- O crescimento ocorre por conta das altas densidades no centro do chumbo;
- A maior parte da produção vem dos processos  $gg \rightarrow c\bar{c}$ ;

# Efeitos da junção

R. Terra and F.S. Navarra, Phys. Rev. D **108**, 054002 (2023).



- As condições iniciais de junção explicam os dados;
- Seus efeitos são mais influentes em pp.

# Conclusão e perspectivas

- Introduzimos a junção bariônica através do modelo de Glauber;
- Utilizamos o CEM para lidar com a produção de charme;
- Explicamos parcialmente  $D^0$ , mas completamente  $J/\psi$  ;
- Os efeitos são mais evidentes em pp do que em pPb ;
- Demos mais um passo na direção de estabelecer a existência da junção.
- Estamos escrevendo um paper sobre o trabalho;
- Gostaríamos de olhar para o efeito da junção em outros observáveis ( $v_2$ , por exemplo);



# Obrigado!

