

EXCLUSIVE VECTOR MESON

PHOTOPRODUCTION AT THE LHC AND THE FCC:

A CLOSER LOOK ON THE FINAL STATE<sup>1</sup>

Gustavo G. da Silveira, Victor Gonçalves, &  
Miguel Medina



GRUPO DE ALTAS E MÉDIAS ENERGIAS  
UFPEL, Pelotas, RS. Brasil.

Seminário



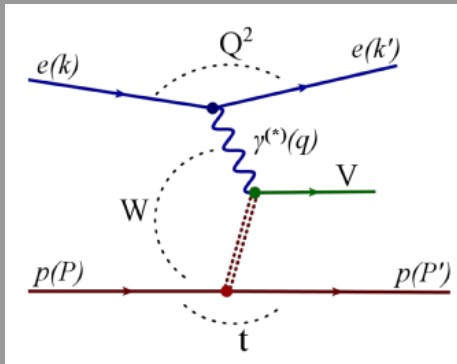
14 de Outubro de 2016

<sup>1</sup> arXiv:1609.09854

- Introdução à fotoprodução de mesons vetoriais
- Status
- Idéia do trabalho!
- SuperCHIC2...
- Resultados
- Resumo

# FOTOPRODUÇÃO DE MESONS VETORIAIS NO HERA [3]

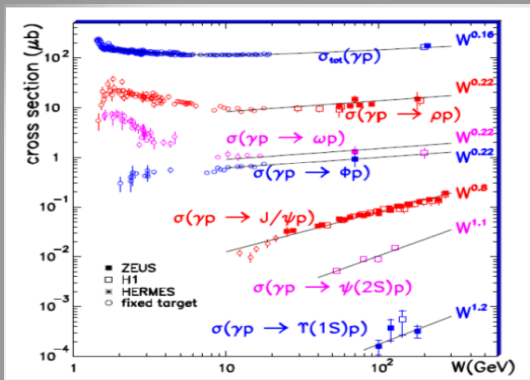
VARIÁVEIS DE MANDELSTAM (INVARIANTES DE LORENTZ)



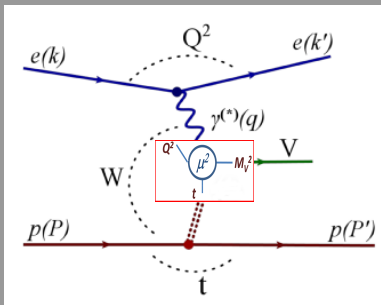
$$\begin{aligned}
 W_{\gamma p} &= (q + p)^2 \\
 Q^2 &= -q^2 \\
 &= -(k - k')^2 \\
 s &= (k + p)^2 \\
 t &= (p - p')^2 \\
 x &= M_V^2 / W_{\gamma p}^2 \\
 &= M / \sqrt{s} e^{\pm y}
 \end{aligned}$$

Sistema de Centro de massa:

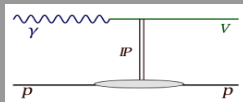
- para  $s \gg m^2$ :  $\cos \theta = 1 + 2t/s$ ,  $t \approx -p_{\perp}^2$ 
  - $\theta$  é o ângulo de espalhamento do proton
  - $Q^2 \sim 0$  fotoprodução,  $Q^2 > 0$  eletroprodução



- $\sigma(\gamma p) \propto W^\delta$
- $\delta$  incrementa com a massa do meson vectorial
- O rápido crescimento da seção de choque com  $W_{\gamma p}$  pode ser explicado pelo aumento da densidade glúons com a diminuição da fração de momento  $x \sim 1/W_{\gamma p}^2$

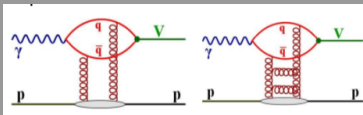


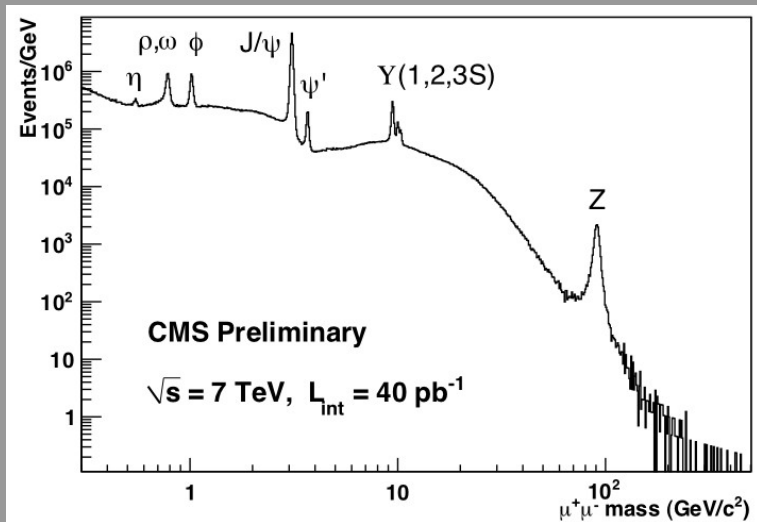
Física macia: não pQCD, descrição baseada na teoria de Regge e Vector Dominance Model.



Em presença de uma escala dura ( $M_{VM}, Q^2, t$ ) calculos em pQCD são possíveis: descrição baseada on DVCS\*, Abordagem Modelo de Dipolo, bCGC, etc...

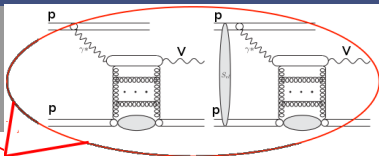
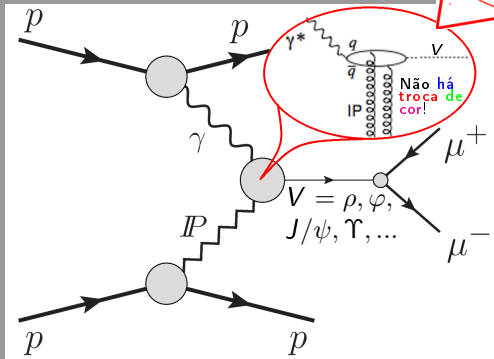
- $\Lambda_{QDC} = 200 - 300 \text{ MeV}$
- No limite de grandes momentos ou de liberdade assintótica,  
 $Q^2 \gg \Lambda_{QCD}^2, \alpha_s(Q^2) \rightarrow 0$





# FOTOPRODUÇÃO DE MESONS VETORIAIS NO LHC [7]

INTERAÇÃO FÓTON-HADRON.

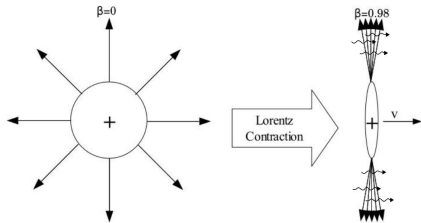


Mais Altas ordens

## Interação $\gamma$ - hadron (p,Pb)

- fóton fluctua em par  $q\bar{q}$  .
- O par  $q\bar{q}$  interatua com o próton pela troca de pelo menos dois glúons (Singleto de cor-QCD pomeron).
- $q\bar{q}$  decai em meson vetorial  $V = \rho, \varphi, J/\psi, \Upsilon$

A emissão de fóton é descrito em EPA:



pp	TeV
$\sqrt{s}$	$\omega_{max}$
7 TeV	$\sim 1$
8 TeV	$\sim 1,2$
13 TeV	$\sim 1,9$
100 TeV	$\sim 15$

Espectro de fótons

$$\frac{dn}{d\omega} = \frac{\alpha}{\pi} \frac{dQ^2}{Q^2 \omega} \left[ \left(1 - \frac{\omega}{\sqrt{s}}\right) \left(1 - \frac{Q_{min}^2}{Q^2}\right) F_E + \frac{\omega^2}{2s} F_M \right]$$

$\omega$ ,  $Q^2$  energia e virtualidade do fóton. Factores de forma EM.

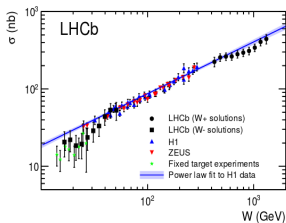
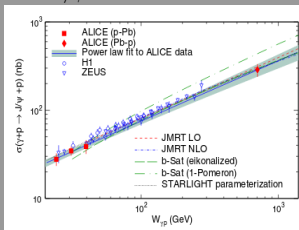
onde  $F_M = G_M^2 = 7,78 G_E^2$ ,  $F_E = \frac{4m_p^2 G_E^2 + Q^2 G_M^2}{4m_p^2 + Q^2}$

$$\omega_{\pm} = \left(\frac{M_V}{2}\right) e^{\pm Y}$$

$$G_E^2 = (1 + Q^2/0,71\text{GeV}^2)^{-4}, \forall \sqrt{s} - \omega \gg m_p^2 \Rightarrow Q_{min}^2 = \frac{\omega}{\sqrt{s}} \frac{m_p^2}{\sqrt{s} - \omega}$$

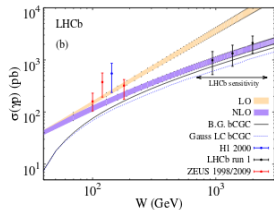
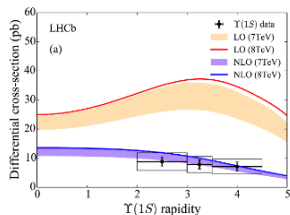
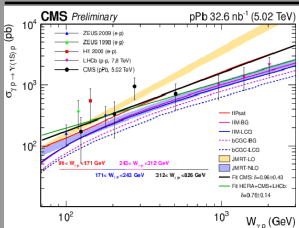
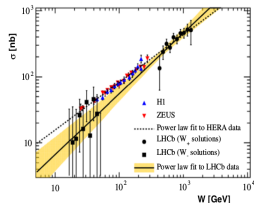


$\delta_{J/\psi} \rightarrow$  [LHCb 0, 67(3)] [Alice 0, 68(6)] [ZEUS 0, 69(2)] [H1 0, 67(3)] [HERA 0, 65(2)]



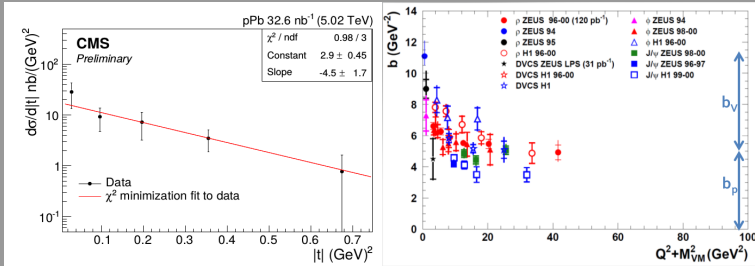
J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 40 (2013) 045001

R. Aaij et al



$\delta_{\Upsilon} \rightarrow$  [HERA 1, 2(8)] [LHCb x(x)] [CMS 0, 95(40)] **0, 76(14)**

## Motivação para t-dependência (inclinação exponencial)



A dependência em  $t$  da seção de choque elástica carrega informações sobre o tamanho transversal da região de interação..

elástica:  $d\sigma/d|t| = N_{el}e^{-b_{el}|t|}$

$b_{el} \approx (b_p + b_V)$ , onde

$b_p = R_p^2/2$ ,  $R_p \sim 0,65\text{fm} \Rightarrow \frac{0,6\text{fm}}{0,197\text{GeV}\cdot\text{fm}} \approx 3,3 \text{ GeV}^{-1} \Rightarrow b_p \sim 5 \text{ GeV}^{-2}$

$b_V \sim 1/(Q^2 + M_{VM}^2) \Rightarrow b_{el} \approx (R_p^2 + R_{VM}^2)/4$

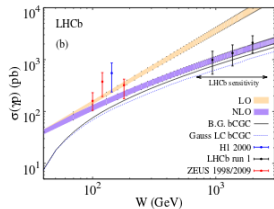
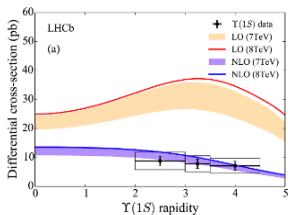
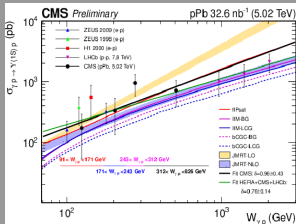
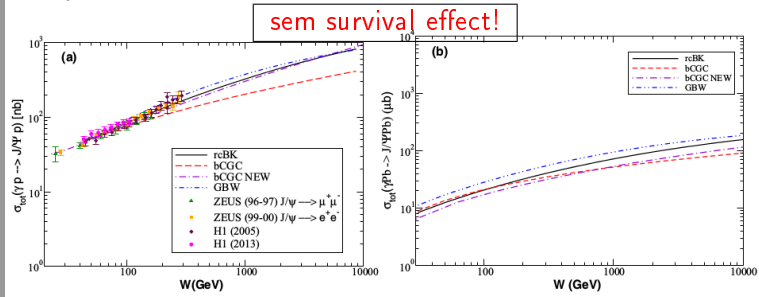
# FORMALISMO DE DIPOLO

## DIFERENTES ABORDAGENS PARA A APLITUDE DE ESPALHAMENTO

[11]

V. P. GONÇALVES, B. D. MOREIRA, AND F. S. NAVARRA

PHYSICAL REVIEW C 90, 015203 (2014)



SuperCHICv2: gerador de MC para MV...

- Fenomenológico: fit sobre dados experimentais usando parametros sem se preocupar pela física envolvida..



bCGC: abordagem teorica envolvendo física...

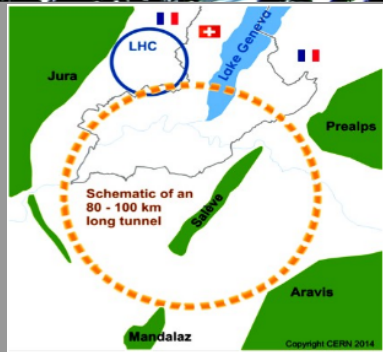
- Comportamento dos dados experimentais tem o mesmo "formato" que as predições teoricas...

- Fitar as previções teoricas usando a mesma equação usada no superCHICv2...
- Introducir os novos parametros no MC e fazer predições para energias do Run-II do LHC e do FCC..
- É possivel medir alguma diferença entre modelos?

FCC at 100km project circular ring with pp collider long-term project at  $\sqrt{s}$  100 TeV



- usar o LHC como injetor...
- pp para  $\sqrt{s} = 100\text{TeV}$  (também pPb & PbPb para  $\sqrt{s} = 39 - 63 \text{ TeV}$ )
- Opção  $e^+ e^-$  (antes que pp) para  $\sqrt{s} = 90 - 350 \text{ GeV}$
- Opção e-h para  $\sqrt{s} = 3,5 \text{ TeV}$  (também e-Pb para  $\sqrt{s} \sim 1 - 3 \text{ TeV}$ )



## SUPERCHICv2

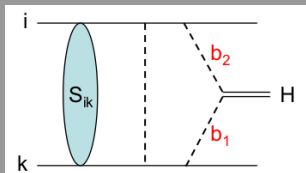
## fotoprodução

40	$J/\psi (5) \rightarrow \mu^+ (6) + \mu^- (7)$
41	$\Upsilon(1S) (5) \rightarrow \mu^+ (6) + \mu^- (7)$

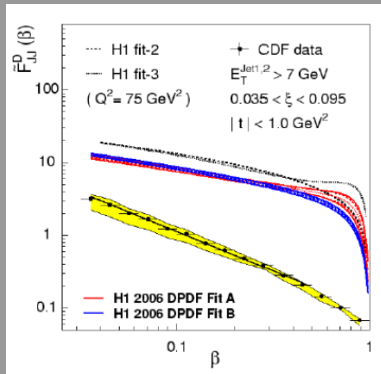
- Também temos informação dos dois prótons emergentes...
  - $p(3), p(4)$ .
- 100k eventos gerados.
  - 7, 13 e 100 TeV
- Cortes
  - Massa  $[0, 8]$ TeV
  - $|y| < 15,5$
- NÃO USA FLUXO INTEGRADO em  $Q^2$ ... Luminosidade efetiva!

Para calcular as seções de choque para baixa multiplicidade em altas energias é importante conhecer os fatores de sobrevivência!!...

Esto é: interação adicional entre os partons expectadores podem preencher as lacunas de rapidez!...



- superCHICv2 inclui 4 diferentes modelos arxiv:1306.2149



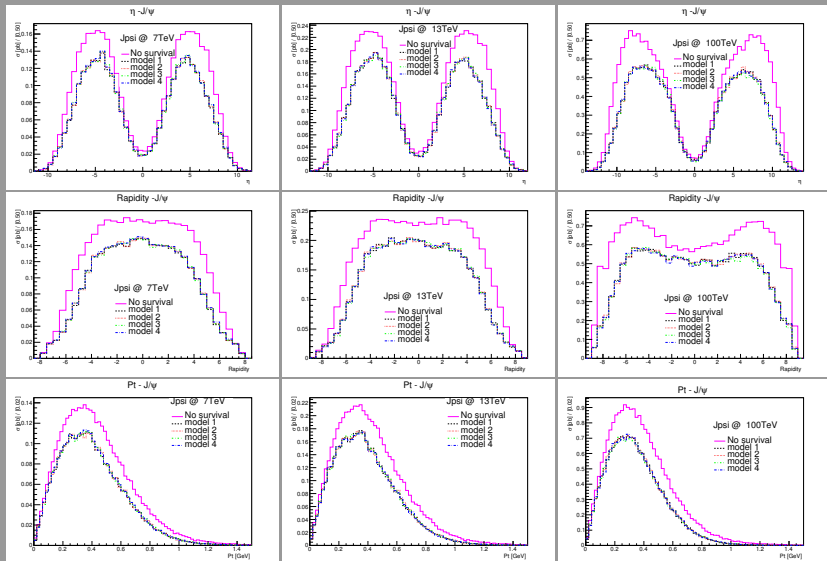
- Probabilidade de sobrevivência não é igual a um!

processo	$\sqrt{s}$ [TeV]	sem	survival effect!			
			1	2	3	4
$\rho^0 \rightarrow \pi^- \pi^+$ 100% [ $\mu b$ ]	7	10,26(4)	9,02(4)	9,02(4)	9,03(4)	9,05(4)
	13	12,49(5)	11,19(5)	11,18(5)	11,06(5)	11,06(5)
	100	22,4(1)	19,86(8)	19,88(8)	19,87(9)	19,81(8)
$J/\psi \rightarrow \mu^- \mu^+$ 5,961% [nb]	7	3,91(2)	2,97(1)	2,97(1)	2,97(1)	2,96(1)
	13	5,87(2)	4,40(2)	4,40(2)	4,39(2)	4,40(2)
	100	22,32(9)	16,20(7)	16,30(7)	16,20(8)	16,25(7)
$\Upsilon_{1s} \rightarrow \mu^- \mu^+$ 2,48% [pb]	7	3,08(4)	2,32(11)	2,32(11)	2,32(11)	2,32(11)
	13	4,94(2)	3,60(1)	3,60(1)	3,63(1)	3,62(1)
	100	21,47(8)	15,07(7)	15,05(6)	15,01(7)	15,19(7)

- Os 4 modelos que consideram "survival effect" tem comportamento similar.
- Diferença aprox. de  $\sim 20\%$



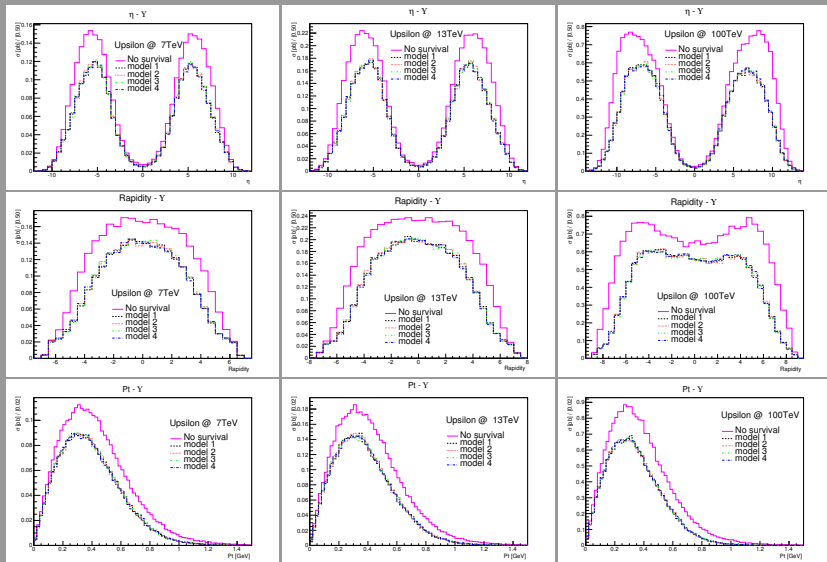
$$J/\psi \rightarrow \mu^+ + \mu^-$$

DISTRIBUIÇÃO DE  $\eta$ ,  $y$  E  $P_T$  DE  $J/\psi$  @ 7 TEV, 13 TEV E 100 TEV

$$\Upsilon_{1s} \rightarrow \mu^+ + \mu^-$$

DISTRIBUIÇÃO DE  $\eta$ ,  $y$  E  $P_T$  DE  $\Upsilon_{1s}$  @ 7 TEV, 13 TEV E 100 TEV

[18]



Efeitos de bCGC para  $J/\psi$  e  $\Upsilon$   
no superCHICv2...

sem survival effect!

$$\frac{d\sigma^{\gamma p \rightarrow Vp}}{dt} = N_V \left( \frac{w_{\gamma p}}{w_0} \right)^{\delta_V} \beta_V e^{-\beta_V |t|}$$

$w_{\gamma p}$  = energia de centro-de-massa gamma-p

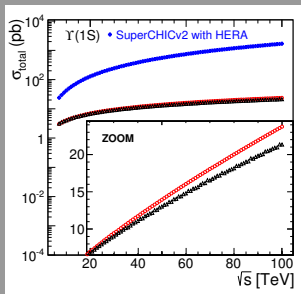
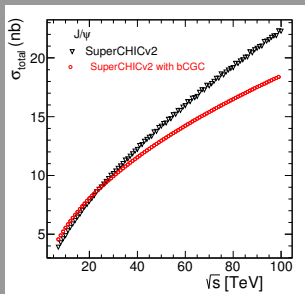
$$b = b_0 + 4\alpha_b \log \left( \frac{w_{\gamma p}}{w_{0_b}} \right)$$

	$\rho^0$	$J/\psi$	$\Upsilon$
$w_0$	75 GeV <sup>2</sup>	1 GeV <sup>2</sup>	1 GeV <sup>2</sup>
$\delta$	0,19	0,64	0,49
$N$	11,4 ub	3,970 nb	10,25 nb
$b_0$	11.1 GeV <sup>-2</sup>	4,7 GeV <sup>-2</sup>	4,7 GeV <sup>-2</sup>
$\alpha_b$	0.125 GeV <sup>-2</sup>	0,2 GeV <sup>-2</sup>	0,2 GeV <sup>-2</sup>
$w_{0_b}$	84 GeV	90 GeV	90 GeV

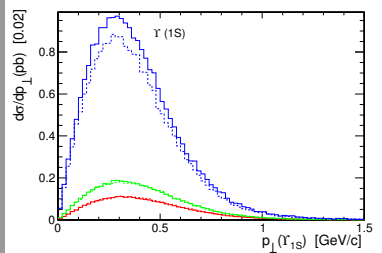
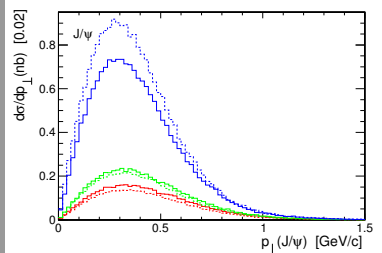
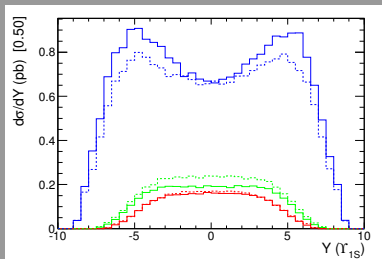
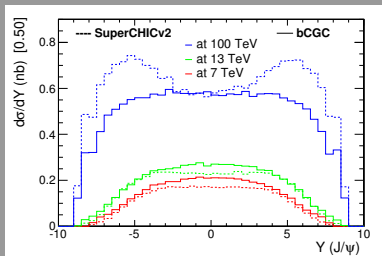
\* superCHICv2, \*HERA, \*bCGC

# COMPORTAMENTO $\sigma$ COM $\sqrt{s}$ !

[21]

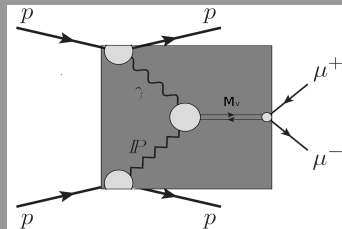
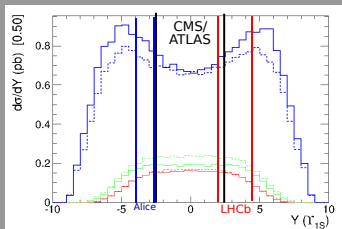


Processo	$\sqrt{s}$ (TeV)	HERA	Default	bCGC
$J/\psi \rightarrow \mu^- \mu^+$ 5,961%	7.	-	3.90 nb	4.58 nb
	13.	-	5.87 nb	6.43 nb
	100.	-	22.42 nb	18.65 nb
$\Upsilon_{1s} \rightarrow \mu^- \mu^+$ 2,48%	7.	23.91 pb	3.13 pb	3.02 pb
	13.	64.34 pb	4.95 pb	4.92 pb
	100.	1682.72 pb	21.50 pb	23.91 pb

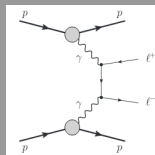


## Abordagem experimental

- Aceptancia dos detectores
- Background..



2-fótons	
47	$p(1)p(2) \rightarrow \mu^+(6) + \mu^-(7)$

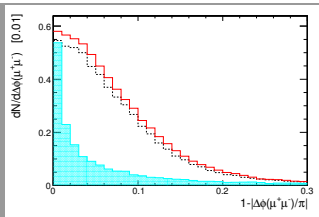
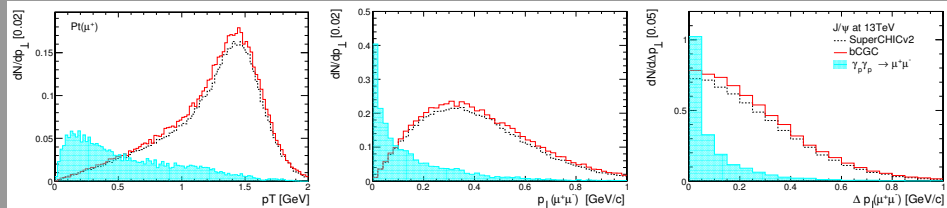


- Também temos informação dos dois prótons emergentes...
  - $p(3), p(4)$ .
- @ 7, 13 e 100 TeV
- Cortes
  - Massa  $\begin{cases} [2, 2 - 3, 8] \text{ GeV} & \forall J/\psi, 100k \\ [8, 5 - 10, 0] \text{ GeV} & \forall \text{Upsilon } 100k \end{cases}$
  - $|y| < 15, 5$

$p_t(\mu^\pm) > 3 \text{ GeV}, |\eta(\mu^\pm)| < 2, 5 @ 7 \text{ TeV} \implies (16.28 \text{ pb})_{Lpair} \text{ e } (16.23 \text{ pb})_{superCHICv2}$

<http://arxiv.org/pdf/1409.1541v2.pdf>



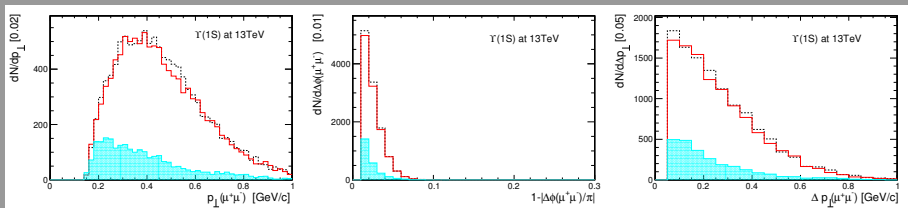
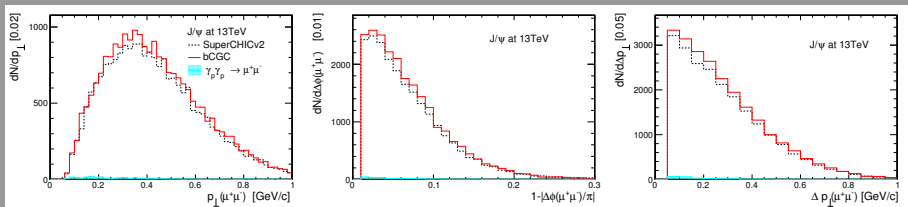


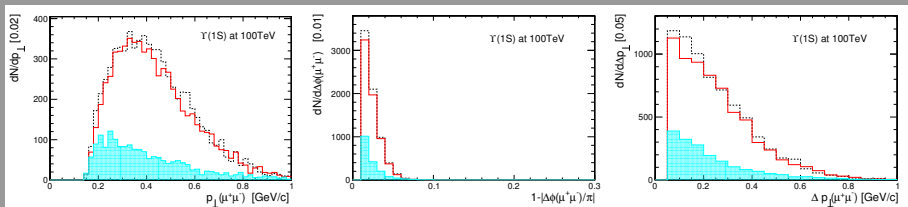
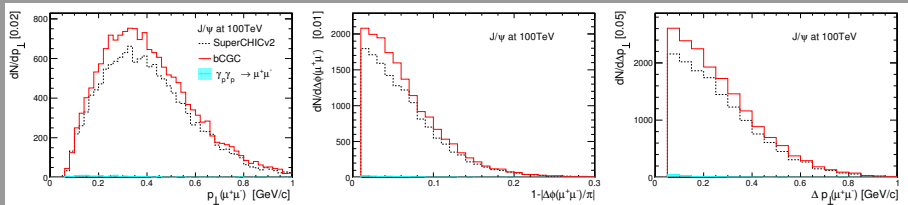
$p_{\perp} (\mu^+ \mu^-)$     7 TeV    13 TeV    100 TeV

$J/\psi$     0.04    0.04    0.02

$\Upsilon(1S)$     0.14    0.12    0.08

corte	$J/\psi$	$\Upsilon(1S)$
massa [GeV]	[2.6 , 3.5]	[9.2 , 9.6]
$ \eta (\mu^{\pm}) $	<2.5	<2.5
$p_t (\mu^{\pm})$ [GeV]	>0.5	>4.0
$\Delta p_{\perp} (\mu^+ \mu^-)$	>0.5	>0.5
$1 - \frac{\Delta\phi(\mu^+ \mu^-)}{\pi}$	>0.01	>0.5





- Foi utilizado o SuperCHIC2 sintonizado pelos dados LHCb, além disso, modificamos a dependência energética da seção de choque photon-hadron, a fim de ter em conta os efeitos não lineares na dinâmica QCD, como é descrito pelo modelo bCGC, e obter previsões mais realistas para as energias superiores as sondadas no Run-I.
  - O impacto da modelagem da dependência energética da seção de choque  $\gamma p \rightarrow Vp$  foram investigados.
- Distribuições para os dimuons gerados a partir do decaimento dos mésons vetoriais foram estudadas considerando cortes cinemáticas realistas e comparado com o background para produção exclusiva.
- Foi analisada a fotoprodução exclusiva  $J/\psi$  e  $\Upsilon(2S)$  em colisões pp nas energias do Run-II do LHC e apresenta-se previsões para o FCC pela primeira vez.

- Implementar interações p-Pb e Pb-Pb no superCHICv2

Obrigado!!