

# UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE QUARKS PESADOS NO LHC E EM FUTUROS COLISORES COMO ASSINATURA PARA DIMENSÕES EXTRAS

**THIEL, Maurício<sup>1</sup>; GONÇALVES, Victor Paulo Barros<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Univerisdade Federal de Pelotas – mauricio.thiel@gmail.com*

<sup>2</sup>*Univerisdade Federal de Pelotas – barros @ufpel.tche.br*

## 1. INTRODUÇÃO

A compreensão da Cromodinâmica Quântica (QCD) - teoria que descreve as interações fortes - e da Gravitação Quântica - a Gravitação à nível microscópico - são dois dos grandes desafios teóricos da atualidade. Para ajudar no entendimento destes dois desafios alguns autores propuseram a existência de dimensões extras na Natureza, as quais estariam compactadas e não seriam visíveis a nível macroscópico, mas cujos efeitos poderiam se manifestar em processos de colisão de partículas ultrarelativísticas [1]. Com esta proposta, buracos negros (BN ou black holes BH) poderiam ser produzidos no processo de colisão próton- próton que é realizada no experimento denominado Grande Colisor de Hádrons (LHC) e em futuros colisores. O BN é um objeto que é caracterizado por sua massa e temperatura, as quais definem o processo de evaporação do mesmo. Em princípio, todos os tipos de partículas deverão ser emitidos durante a evaporação [2]. Nosso objetivo é estudar a produção de BN, no LHC e em uma faixa de energia correspondente a futuros colisores, e a taxa de evaporação destes especificamente em quarks pesados. Neste trabalho, calculamos a seção de choque da colisão próton-próton para a produção de quarks pesados considerando um modelo simplificado para a descrição da produção dos BNs e considerando também correções associadas a inelasticidade. Comparamos a estimativa da evaporação em quarks pesados com as predições da QCD para a produção dos mesmos. Por fim, estudamos a dependência dos resultados nos possíveis valores da massa de Planck e diferentes massas dos BN indicados por [5].

## 2. PRODUÇÃO DE BURACOS NEGROS EM COLISORES

Um objeto é um BN se seu raio é menor do que o seu raio de Schwarzschild. Se em uma colisão próton-próton, eles forem compactados a uma distância menor que o raio de Schwarzschild associado a eles, teremos a criação de um BN. A taxa de produção de buracos negros em uma colisão próton-próton é dada pela sessão de choque diferencial da colisão, dada por [1]:

$$\frac{d\sigma}{dM_{BH}} = \frac{2M_{BH}}{s} \int_{\frac{M_{BH}^2}{s}}^1 \frac{dx_a}{x_a} f_a(x_a) f_b \left( \frac{M_{BH}^2}{sx_a} \right) \sigma(ab \rightarrow BH)$$

(1)

a qual nos fornece a probabilidade da partícula “a” interagir com a partícula “b” e ambas formarem um BN. Temos que  $f_i$  ( $i = a$  ou  $b$ ) são as funções de estrutura

partônica das respectivas partículas, as quais especificam as probabilidades de encontrar no interior do hádron um quark ou glúon com fração de momentum  $x_i$ . A função de estrutura partônica utilizada em nosso trabalho foi a CTEQ6 [3].

Após a sua criação, o BN deve evaporar. Para o decaimento em quarks pesados teremos que a multiplicidade de partículas emitidas em um dado sabor de massa  $M$  é descrita por [2]:

$$N = \int_0^{t_f} dt \int_0^{M_{BH}} dp \frac{c_s \sigma_s}{8\pi^2} \frac{p^2}{e^{\frac{\sqrt{p^2 + M^2}}{T_{BH}}} + 1} \quad (2)$$

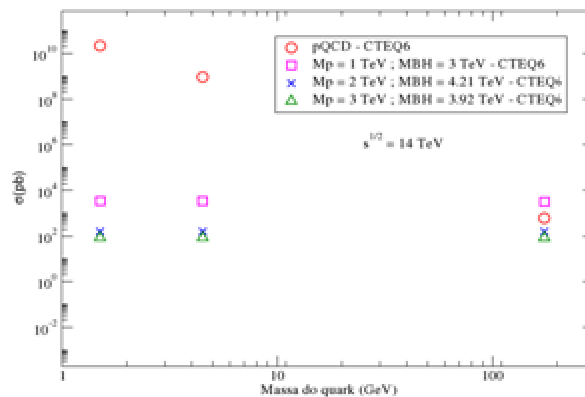
onde  $t_f$  é o tempo de evaporação do BN,  $T_{BH}$  é a temperatura do BN,  $c_s$  é o fator de multiplicidade e  $\sigma_s$  é a opacidade.

Para obter a seção de choque da colisão próton-próton para a produção de determinado quark multiplicamos a seção de choque de produção de BN, obtida a partir de (1), pela multiplicidade de partículas emitidas em um dado sabor, dada por (2).

Fazemos também, para a seção de choque para a produção de quarks top, a análise da correção para a perda de energia por radiação gravitacional, a qual não pode ser negligenciada, ou seja, consideramos que na produção do BN há perda de energia.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Fig.1 temos a seção de choque de produção de quarks. Temos a produção dada pela pQCD e via evaporação dos BNs. Vemos que a produção de quarks se torna competitiva, entre pQCD e via produção de BNs, apenas quando analisamos a massa de 174 GeV que representa o quark top.

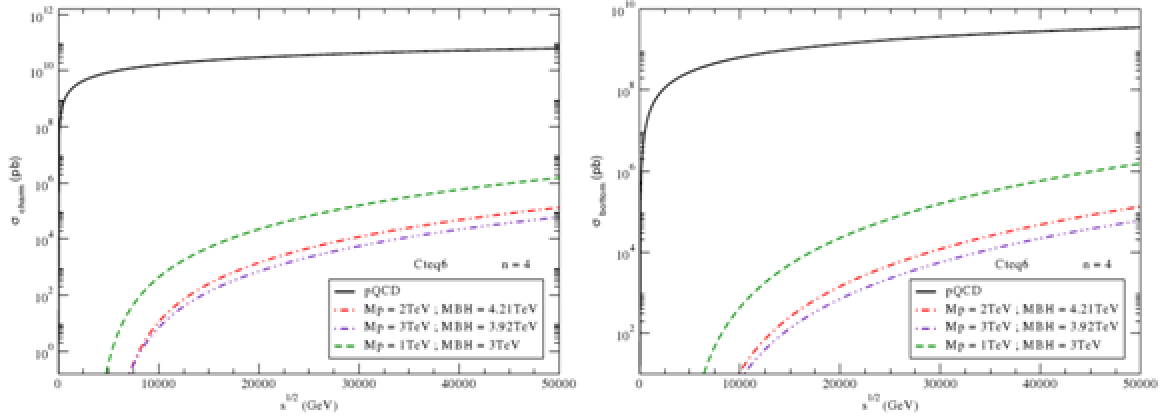


**Fig.1:** Seção de choque de produção de quarks pesados em função da massa do quark.

Nas Figs. 2 e 3 calculamos a seção de choque de produção, via pQCD e via evaporação dos BNs, de quarks charm (esquerda) e bottom (direita) em função da energia de centro de massa e extrapolamos o limite desta energia para até 50 TeV (valor muito superior ao LHC e de possíveis futuros aceleradores). Vemos

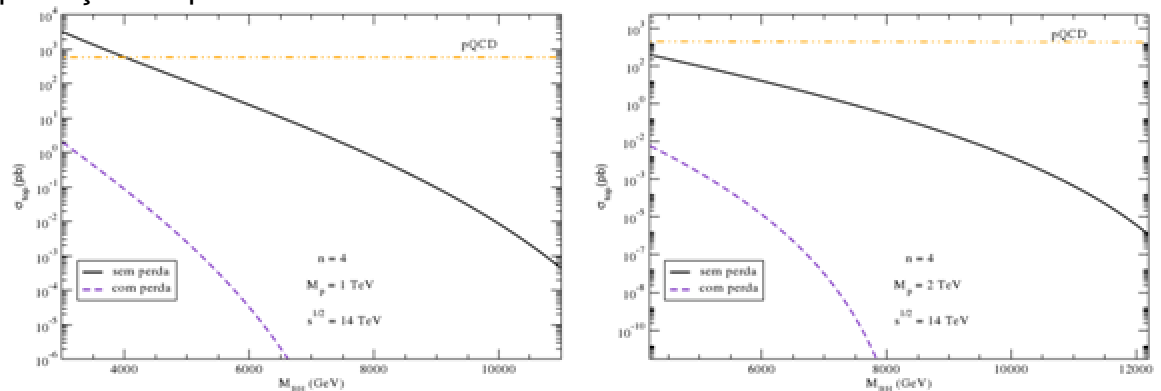
que em nenhum momento a produção, via evaporação de BNs, destes quarks se torna competitiva com a predita pela pQCD.

Os parâmetros utilizados para o cálculo via evaporação nas Figs 1, 2 e 3 foram escolhidos baseados em [5].



**Figs.2 (esq.) e 3 (dir.):** Seção de choque de produção do quark charm(esq.) e do quark botton(dir.) em função da energia de centro de massa.

Agora nas Figs. 3 e 4 temos a seção de choque de produção, via pQCD e via evaporação de BNs, do quark top em função da massa do BN. Incluímos neste cálculo a perda de energia por radiação gravitacional. Vemos que com esta inclusão a produção de quarks top via evaporação não é mais competitiva com a produção via pQCD.



**Fig.4 (esq.) e 5 (dir.):** Seção de choque de produção do quark top incluindo a perda de energia, por radiação gravitacional, em função da massa do BNs com  $M_p = 1 \text{ TeV}$ (esq.) e  $M_p = 2 \text{ TeV}$ (dir.).

## 4. CONCLUSÕES

Considerando a proposta de existência de dimensões extras compactadas na natureza nossos resultados indicam que existirá uma taxa de produção de BNs em colisões próton-próton no Grande Colisor de Hadrons e em futuros colisores.

Considerando um modelo simplificado para a descrição da produção dos BNs em colisores vemos que a taxa de produção de quarks top via evaporação de

BNs é competitiva com a produção via pQCD, podendo assim ser um bom observável para a análise de dimensões extras na natureza.

Em contrapartida, se considerarmos correções no modelo para a produção de BNs na análise da produção de quarks pesados, tanto quarks charm e bottom quanto o top, via evaporação de BNs no LHC e em futuros colisores vemos que estes não são um bom observável para a evidência de dimensões extras compactadas na natureza.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DIMOPOULOS, S., LANDSBERG, G.. Black Holes at the Large Hadron Collider. *Physical Review Letters*, v. 87, n. 16, p. 16102-1 - 161602-4, 2001.
- [2] CHAMBLIN, A ., COOPER, F., NAYAK, G. C.. Top quark production from black holes at the CERN LHC. *Physics Letters B*, v. 672, n. 1, p. 147 - 151, 2009.
- [3] Coordinated Theoretical and Experimental Collaboration. New generation of parton distributions with uncertainties from global QCD analysis. *Journal of High Energy Physics*, v. 0207, n. 1, p. 012 - 056, 2002.
- [4] GINGRICH, D. M.. Black Hole Cross-Section at the LHC. *International Journal of Modern Physics A*, vol. 21, n. 32 p. 6653-6676, 2006.
- [5] CMS Collaboration. Search for Microscopic Black Hole Signatures at the Large Hadron Collider. *Physics Letters B*, v. 697, p. 434 – 453, 2011.