

# INCERTEZA NOS OBSERVÁVEIS DE FOTOPRODUÇÃO DE DILÉPTONS

FELIPE SOARES SPIESS<sup>1</sup>; GUSTAVO GIL DA SILVEIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – fel.s.spiess@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – gustavo.gil.silveira@ufpel.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

A descoberta de novas partículas tem estimulado estudos na área da Física de Partículas Elementares, especialmente em relação a parte teórica para descrição dos dados. Entre as observações mais significantes, cita-se o bóson de Higgs, buscado a cerca de 50 anos por físicos experimentais de diferentes aceleradores de partículas e descoberto em 2012 no CERN. Além de novas observações, estudos também são destinados ao entendimento dos mecanismos de produção de partículas elementares, sobretudo aqueles já medidos por diferentes experimentos, mas que ainda carecem de uma descrição teórica precisa.

Para se caracterizar um processo de interação entre partículas do ponto de vista experimental, o número de eventos esperados determinará o grau de precisão dos observáveis a serem medidos. Assim, uma quantidade básica utilizada nas análises experimentais se baseia tanto na parte teórica quanto experimental através da relação  $N = L \cdot \sigma$ , onde  $N$  é o número de eventos esperado,  $L$  é a luminosidade do colisor, que depende somente de sua geometria do equipamento e fluxo de partículas incidentes, e  $\sigma$  é chamada seção de choque de produção, calculada analiticamente. A seção de choque é obtida para um processo de interação específico e tem como resultado o número de partículas finais produzidas dado um fluxo de partículas incidentes (WILLIAMS, 1991).

Os mecanismos envolvendo a interação entre fótons tornam-se interessantes visto a simplicidade de serem calculados pela Eletrodinâmica Quântica (GRIFFITHS, 1987), mas trazem dificuldades experimentais para sua observação dado o pequeno número de eventos em comparação com outros processos (CHATRCHYAN et al., 2013). Diversas observações destes processos foram efetuadas para colisões entre elétrons e pósitrons (ABBIENDI et al., 1999), contudo, para colisões entre prótons – como aquelas ocorrendo atualmente no Grande Colisor de Hádrons – necessitam de melhor descrição teórica, e os dados experimentais podem auxiliar nesta tarefa (GONÇALVES; DA SILVEIRA, 2015; DA SILVEIRA; GONÇALVES, 2015).

Neste trabalho, nos restringimos a produção de diléptons (ou pares de léptons) pela interação entre dois fótons provenientes dos prótons incidentes:  $pp \rightarrow p + (\gamma\gamma) + X \rightarrow p + \ell^+ \ell^- + X$ . O estado final deste processo é chamado de *semi-elástico*, pois somente se observam um próton intacto e o par de léptons resultante da interação entre os fótons, sendo o segundo próton dissociado após a emissão do fóton (estado  $X$ ). Processos desta natureza já foram medidos no Grande Colisor de Hádrons (CHATRCHYAN et al., 2013) e ainda atraem interesse tanto teórico quanto experimental pelas incertezas associadas a sua descrição teórica (DA SILVEIRA et al., 2015).

A forma convencional para o cálculo da seção de choque de produção de diléptons pela interação entre fótons provenientes de prótons acelerados pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\sigma_{pp}(M^2) = \iint f_{\gamma}^{el}(x_1, Q^2) f_{\gamma}^{inel}(x_2, Q^2) \sigma_{\gamma\gamma}(M^2) dx_1 dx_2$$

onde a função  $f_{\gamma}^i$  descreve a emissão de fótons nas interações elástica (*el*), onde o próton não se dissocia, ou inelástica (*inel*),  $x_i$  representa a fração de energia carregada pelo fóton emitido e  $\sigma_{\gamma\gamma}$  é a seção de choque do processo de interação  $\gamma\gamma \rightarrow \ell^+ \ell^-$ , calculada exatamente de forma analítica. Ambas as seções de choque são dadas em termos da variável  $M$ , que representa a massa do diléptons produzido.

O interesse de investigação neste trabalho é estudar a parte inelástica da interação entre fótons ( $f_{\gamma}^{inel}$ ), visto que a parte elástica já é bem conhecida e concorda com os dados experimentais. A abordagem da parte inelástica depende de modelos teóricos para descrever a emissão de um fóton a partir de um próton e sua posterior dissociação, e autores propõem formas distintas para este fim. As tarefas deste trabalho visam estudar as abordagens propostas chamadas de modelo ingênuo (DRESS; GODBOLE; NOWAKOWSKI; RINDANI, 1994) e outra mais recente utilizando redes neurais (BALL et al., 2013).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é produzir os gráficos relevantes para cada um dos dois modelos e evidenciar as regiões onde estes se distinguem, com o intuito de determinar regiões onde a comparação com os dados experimentais revele o modelo que fornece a melhor descrição dos dados. Logo, o que se produzirá neste trabalho são distribuições do número de eventos observados em termos das variáveis cinemáticas relevantes (massa do par de léptons, momentum das partículas, etc.) Caso as diferenças sejam significativas em uma dada região, a distinção entre modelos será possível, eliminando a abordagem menos vantajosa. Contudo, caso as diferenças sejam menos expressivas, será importante determinar uma incerteza estatística para fomentar os resultados experimentais para processos desta natureza.

Portanto, este trabalho visa explorar a física relacionada à interação entre fótons, tema este sendo estudado atualmente no Grande Colisor de Hádrons e que permite dar início a investigações que possam ser aprofundadas no futuro.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho tem como início a obtenção de amostras de eventos de processos semi-elásticos por meio de um gerador de eventos, o qual tem seu algoritmo computacional baseado no método de Monte Carlo. De posse deste algoritmo, produz-se amostras de eventos de diléptons produzidos pela interação entre fótons, obtendo-se um arquivo de saída contendo a energias e momenta lineares destes léptons. O gerador de eventos utilizado é o chamado *LPAIR*, dedicado a produção de diléptons pela interação entre fótons e utilizado como referência teórica para ser comparada com os dados experimentais. A parte inicial deste projeto visa a familiarização com o algoritmo e sua utilização, bem como o conhecimento básico da física envolvida no processo de interesse.

O procedimento adotado neste trabalho consiste em introduzir no algoritmo os modelos de interação semi-elásticos ( $f_{\gamma}^{inel}$ ), chamados ingênuo e de redes neurais. De posse dos arquivos de saída com as informações dos léptons produzidos, gráficos das distribuições das grandezas físicas são produzidos para comparação mútua. Esta etapa é efetuada com o software *ROOT*, onde um arquivo macro para produção de tais distribuições é disponibilizado. Dado que existem diversas variáveis que podem ser comparadas, este estudo prevê uma

avaliação de cada distribuição para encontrar as regiões onde a diferença entre os modelos possa ser mais significativa.

Dado que as análises experimentais se restringem a uma certa área onde o detector de partículas efetua sua medidas, as predições teóricas devem ser ajustadas a tal área de medida, o que resulta em restrições nos valores possíveis das variáveis cinemáticas das partículas envolvidas no processo – os chamados cortes cinemáticos. Este estudo irá abranger também regiões onde estes cortes sejam mais restritivos, buscando dar subsídios para definir a região que apresente maior diferença entre os resultados dos modelos semi-elásticos.

Em se evidenciando tais regiões, este trabalho visa obter os cortes cinemáticos e regiões onde se permita evidenciar o modelo que mais se ajusta a descrição dos dados experimentais. Caso a diferença entre os modelos não seja significativa, busca-se obter uma incerteza estatística através de um erro relativo entre os modelos a fim de subsidiar as análises experimentais, a qual é incluída ao erro sistemático inerente à medida experimental.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De forma inicial, as distribuições cinemáticas produzidas constituem uma amostra de 5.000 eventos de produção de pares de múons e elétrons, permitindo verificar o efeito de cada modelo semi-elástico no resultado final. Esta etapa inicial permite a familiarização com o algoritmo de geração de eventos e o uso do software para a produção de distribuições cinemáticas.

Em se tratando da análise para discriminar as regiões onde as diferenças entre os modelos possam ser mais significativas, uma amostra de eventos maior deve ser produzida para se obter melhor uma melhor descrição. Ademais, os estudos envolvendo cortes cinemáticos deverão ser elaborados em uma fase posterior a fim de se abranger ambas as possibilidades (com e sem cortes) visto os diferentes interesses nas áreas teórica e experimental para o corrente estudo.

### **4. CONCLUSÕES**

Em suma, este trabalho introduz o tema de física de partículas experimental de forma simplificada, permitindo explorar a física envolvida nas medidas experimentais e utilizar as ferramentas básicas que auxiliam o início de quaisquer estudos neste tema. Os resultados obtidos até o presente momento possibilitam a familiarização com os algoritmos e softwares disponíveis e dão início ao estudo, o qual se aprofundará na física envolvida em tais processos bem como se estenderá para determinar a incertezas teóricas relacionadas a diferentes modelos para processos semi-elásticos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

WILLIAMS, W.S.C. **Nuclear and Particle Physics**. Oxford: Clarendon Press, 1991.

GRIFFITHS, D.J. **Introduction to elementary particles**. Nova Iorque: John Wiley & Sons Inc., 1987.

CHATRCHYAN, S. et al. Study of exclusive two-photon production of  $W^+W^-$  in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV and constraints on anomalous quartic gauge couplings. **Journal of High Energy Physics**, Heidelberg, v.2013, n.7, p.116-153, 2013.

ABBIENDI, G. et al. Measurement of the  $W^+W^- \gamma$  cross-section and first direct limits on anomalous electroweak quartic gauge couplings. **Physics Letters B**, Amsterdã, v.471, n.2-3, p.293-307, 1999.

GONÇALVES, V.P.; DA SILVEIRA, G.G. Probing the photon flux in the diffractive quarkonium photoproduction at LHC. **Physical Review D**, Melville, v.91, n.5, p.054013, 2015.

DA SILVEIRA, G.G.; GONÇALVES, V.P. Constraining the photon flux in two-photon processes at the LHC. **Physical Review D**, Melville, v.92, n.1, p.014013, 2015.

CHATRCHYAN, S. et al. Exclusive photon-photon production of muon pairs in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV. **Journal of High Energy Physics**, Heidelberg, v.2012, n.01, p.52-87, 2012.

DA SILVEIRA, G.G.; FORTHOMME, L.; PIOTRZKOWSKI, K.; SCHAEFER, W.; SZCZUREK, A. Central  $\mu^+ \mu^-$  production via photon-photon fusion in proton-proton collisions with proton dissociation. **Journal of High Energy Physics**, Heidelberg, v.2015, n.2, p.159-185, 2015.

DRESS, M.; GODBOLE M.; NOWAKOWSKI M.; RINDANI, S.D.  $\gamma\gamma$  Processes at High Energy pp Colliders. **Physical Review D**, Melville, v.50, n.3, p.2335-2338, 1994.

BALL, R.D. et al. Parton distributions with QED corrections. **Nuclear Physics B**, Amsterdã, v.877, n.2, p.290-320, 2013.