

# Estudo de Matéria Escura e suas formas de detecção em experimentos de aceleradores

30 de junho de 2022

## 1 Resumo

Este Projeto de Pesquisa tem por objetivo introduzir a estudante nas técnicas e conceitos fundamentais da Física de Altas Energias, tanto no aspecto teórico como no experimental. Através de um programa de estudos bem estruturado, visamos complementar a formação acadêmica do estudante, fornecendo um conhecimento básico da pesquisa atual na área e possibilitando sua futura participação no experimento CMS do LHC. Neste projeto será abordada as diferentes formas de procura por matéria escura no CMS, com especial atenção para o entendimento de possíveis backgrounds para os processos. Concomitante com o estudo de matéria escura, a estudante deverá se familiarizar com algumas ferramentas de análise em física de partículas. Para um primeiro contato será simulada a produção do boson  $Z$  no LHC decaindo em jatos, que é uma importante fonte de background para os processos no CMS. Desta forma a estudante irá se familiarizar com aspectos importantes da análise de dados no experimento.

## 2 Introdução

Construído para investigar as interações fundamentais da natureza e a estrutura íntima da matéria, o acelerador de partículas Large Hadron Collider - LHC da European Organization for Nuclear Research - CERN [1] está operando desde o início de 2010. Desde agosto de 2015 vem colidindo prótons a energia sem precedentes de 13 TeV de centro de massa. Ao longo do LHC estão instalados quatro experimentos: ATLAS, CMS, LHCb e ALICE. Desde 2004, a equipe de pesquisadores do São Paulo Research and Analysis Center - SPRACE [2] participa do desenvolvimento e operação do detetor Compact

Muon Solenoid - CMS [3], bem como da análise dos dados obtidos pelo experimento.

O objetivo principal do experimento CMS é investigar de forma ampla e exhaustiva as interações fundamentais na escala de 1 TeV. Talvez o mais destacado item de sua agenda tenha sido a descoberta do bóson de Higgs [4]. O mecanismo de Higgs é, no Modelo Padrão, responsável pela quebra espontânea de simetria e, conseqüentemente, pela geração de massa dos bósons vetoriais intermediários das interações e dos férmions constituintes da matéria. Remanescente deste mecanismo, o elusivo bóson de Higgs foi por muitas décadas o maior desafio da Física Experimental de Altas Energias. Apesar de não se poder prever sua massa, havia fortes indicações experimentais indiretas que apontavam para valores que seriam acessíveis a este experimento.

Além de servir para a comprovação da existência do Bóson de Higgs, o LHC foi projetado para ser uma máquina de descobertas, que permite explorar de forma sistemática regiões ainda não acessíveis até hoje. Similarmente, o experimento CMS foi projetado de forma a ser capaz de identificar eventos característicos de uma nova física, além daquela prevista pelo Modelo Padrão. Ele é capaz de identificar com precisão múons, fótons e elétrons em uma ampla faixa de energia. Isto permitiu, por exemplo, identificar o bóson de Higgs através de seu decaimento em dois fótons. O detector foi projetado para ter uma excelente resolução na medição da energia e momento das partículas produzidas, com uma grande cobertura angular.

Com a comprovação experimental da existência do Bóson de Higgs, foi concluída a descoberta de todos os componentes do Modelo Padrão, conforme previstos teoricamente nos anos 60 e 70 do século passado. Há, no entanto, uma série de indícios tanto teóricos quanto observacionais que o Modelo Padrão não seja ainda a explicação completa e formalmente coerente das interações entre os constituintes elementares da matéria. Dentre os indícios observacionais a existência de matéria escura certamente indica a necessidade de uma física além do modelo padrão [5]. Vários possíveis cenários podem incorporar a existência de matéria escura, dentre eles modelos de supersimetria [6] e aqueles que prevêem a existência de dimensões extras [7] estão entres os mais promissores.

### 3 Objetivos e Metas

O grupo do SPRACE participa de análises ligadas a busca por uma física além do modelo padrão. Nosso grupo tem atuado na procura de matéria escura no CMS. Em todos estes estudos o correto entendimento das predições

teóricas do modelo assim como o entendimento do background esperado no modelo padrão é fundamental para a busca. Dentre os possíveis processos que contribuem para os backgrounds em buscas de uma física nova, certamente a produção de bósons de gauge está entre os mais importantes.

Com o estudo da produção e decaimento do bóson  $Z$  no LHC a estudante irá se familiarizar com conceitos importantes de física de partículas, a possível reconstrução destes eventos permitirá um entendimento da identificação de eventos no detector do CMS.

## 4 Metodologia

Para conseguir cumprir os objetivos do programa o estudante terá que aprender os rudimentos de física de partículas assim como as ferramentas computacionais para realizar a análise proposta. A correta análise e interpretação das variáveis mensuráveis nos experimentos de física de altas energias demanda o domínio da cinemática relativística. Para tanto serão estudados os primeiros capítulos do livro de Teoria de Campos de Landau [8] e a apostila de curso Introdução à Cinemática Relativística [9]. Para a correta compreensão o dos fenômenos físicos envolvidos nestas simulações será necessário o estudo sistemático de livros textos da área, bem como adquirir cultura geral dos problemas da física de partículas através da leitura de textos de divulgação da área [10, 11].

Uma parte substancial deste programa consiste no estudo das diferentes formas de detecção da matéria escura. Será necessário um bom entendimento do problema da matéria escura e sua relação com a física de partículas [12], sendo necessário um amplo estudo teórico. Na parte final deste programa a estudante deverá ser capaz de trabalhar com eventos simulados do decaimento do bóson  $Z$  e estudar sua reconstrução, utilizando as variáveis cinemáticas para obter a massa e largura do  $Z$ . Desta forma, a estudante terá um bom entendimento dos processos de análise em um experimento de acelerador, podendo estabelecer um diálogo proveitoso com os estudos sendo feito no grupo.

Concomitantemente com este programa o estudante participará de reuniões semanais com o orientador e outros membros do grupo onde serão discutidos as diversas análises em andamento pelo grupo do SPRACE. Ao final, o estudante deverá redigir o relatório final expondo os procedimentos realizados, seus resultados e conclusões. Deverá então elaborar o cartaz contendo os resultados obtidos, e apresentá-lo no Simpósio de Iniciação Científica da UFABC.

## 5 Cronograma

As atividades descritas acima deverão seguir aproximadamente o seguinte cronograma, dividido em trimestres de duração do projeto:

	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
Conceitos fundamentais				
Estudo da linguagem C++				
Ferramentas de análise: ROOT				
Elaboração do relatório final e cartaz				

## Referências

- [1] CERN: <http://public.web.cern.ch/public/Welcome.html>
- [2] SPRACE: <http://www.sprace.org.br/SPRACE>
- [3] CMS: <https://cms.web.cern.ch/org/cms-collaboration>
- [4] CMS Collaboration, “*Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC*”, Physics Letters B **716**, 30 (2012).
- [5] K. Garrett and G. Duda, “*Dark Matter: A Primer*,” Adv. Astron. **2011**, 968283 (2011)
- [6] S. P. Martin, “*A Supersymmetry primer*,” Adv. Ser. Direct. High Energy Phys. **21**, 1 (2010); M. E. Peskin, “*Dark matter and particle physics*,” J. Phys. Soc. Jap. **76**, 111017 (2007)
- [7] L. Randall and R. Sundrum, “*A Large mass hierarchy from a small extra dimension*,” Phys. Rev. Lett. **83**, 3370 (1999), N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos and G. R. Dvali, “*The Hierarchy problem and new dimensions at a millimeter*,” Phys. Lett. B **429**, 263 (1998)
- [8] L.D. Landau e E.M. Lifshitz, “*The Classical Theory of Fields*”, Pergamon Press (1975)
- [9] S. F. Novaes, apostila de curso, disponível em <http://www.sprace.org.br/slc/course/view.php?id=9>
- [10] F. Halzen e A.D. Martin, “*Quarks and Leptons: an Introductory Course in Modern Particle Physics*”, Wiley & Sons (1984).

- [11] D. Cline, C. Rubbia, and S. van der Meer, “The Search for Intermediate Vector Bosons”, *Scientific American* (March 1982) p. 48.  
 D. Cline, “Low Energy Ways to Observe High Energy Phenomena”, *Scientific American* (September 1994).  
 F.E. Close and P.R. Page, “Glueballs”, *Scientific American* (November 1998) p. 52.  
 J.W. Cronin, S.P. Swordy and T.K. Gaisser, “Cosmic Rays at the Energy Frontier”, *Scientific American* (January 1997) p. 44.  
 M.J. Duff, “The Theory Formerly Known as Strings”, *Scientific American* (February 1998) p. 64.  
 H. Georgi, “A Unified Theory of Elementary Particles and Forces”, *Scientific American* (April 1981) p. 48.  
 C. Grab, H. Breuker, H. Drevermann, and A.A. Rademaker, “Tracking and Imaging of Elementary Particles”, *Scientific American* (August 1991) p. 42.  
 H. Harari, “The Structure of Quarks and Leptons”, *Scientific American* (April 1983) p. 56.  
 R.C. Howis and H. Kragh, “P.A.M. Dirac and the Beauty of Physics”, *Scientific American* (May 1993) p. 62.  
 M. Kaku, “Into the Eleventh Dimension”, *New Scientist* (January 18, 1997) p. 32.  
 A.M. Litke and A.S. Schwarz, “The Silicon Microchip Detector”, *Scientific American* (February, 1994) p. 56.  
 C. Quigg, “Elementary Particles and Forces”, *Scientific American* (April 1985) p. 84  
 H.R. Quinn and M.S. Witherell, “The Asymmetry Between Matter and Antimatter”, *Scientific American* (October 1998) p. 76.  
 C. Sutton, “Subatomic Forces”, *New Scientist* (February 11, 1989) p. 1;  
 “Four Fundamental Forces”, *New Scientist* (November 19, 1988) p. 1;  
 “The Secret Life of the Neutrino”, *New Scientist* (January 14, 1988) p. 53.  
 M. Veltman, “The Higgs Boson”, *Scientific American* (November 1986) p. 76.  
 S. Weinberg, “The Discovery of Subatomic Particles”, *Scientific American* (1983) p. 206; “A Unified Physics by 2050?”, *Scientific American* (December 1999).  
 E. Witten, “Duality, Spacetime and Quantum Mechanics”, *Physics Today* (May 1997) p. 28; “Reflections on the Fate of Spacetime”, *Physics Today* (April 1996) p. 24.

- [12] G. Bertone e D. Hooper, “A History of Dark Matter”, *Rev. Mod. Phys.* 90, 45002 (2018)
- [13] ROOT: <http://root.cern.ch/>  
R. Brun e F. Rademakers, *Nucl. Inst. & Meth. in Phys. Res. A*389, 81 (1997).
- [14] A. Koenig e B. Moo, “*Accelerated C++: Practical Programming by Example*”, Addison-Wesley (2000).