

---

## **PROJETO DE PESQUISA**

### **Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF**

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):

Juan Baptista de Souza Leite / COHEP

---

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

---

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

---

Título do Projeto:

Tratamento estatístico dos dados do Run 3 do experimento LHCb

---

Palavra-chave:

CERN, LHCb, B-physics, CPV

---

Área de conhecimento:

Física de sabores pesados

---

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

Conhecimento de Python e Relatividade Especial

---

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

O estudante deve estar no mínimo no quarto período da graduação

---

Possibilidade de orientação remota:

( ) Sim

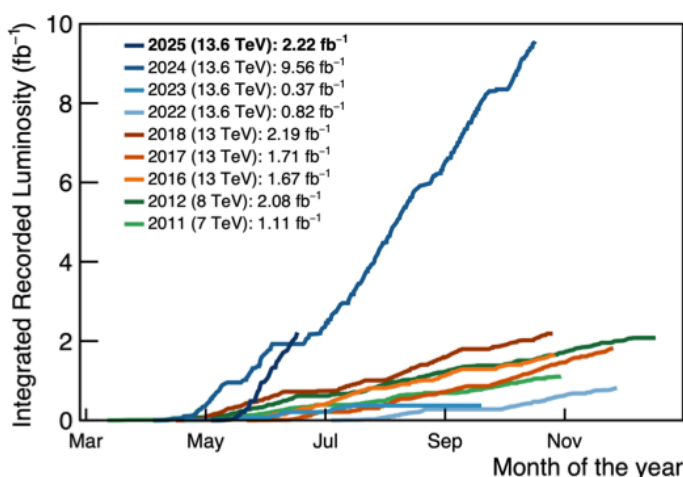
( x ) Não

Rio de Janeiro, 14 de agosto de 2025

## Introdução:

O LHCb (*Large Hadron Collider Beauty*) é um dos quatro principais experimentos do LHC (*Large Hadron Collider*) no CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*). O detector [1] é otimizado para o estudo de partículas contendo quarks b e c, possuindo um design assimétrico. Sua excelente resolução de vértices permite identificar com precisão os pontos de decaimento de partículas de vida curta, enquanto o sistema de *tracking* garante alta resolução em momento, fundamental para reconstruir massas invariantes com precisão. Além disso, a sofisticada identificação de partículas (PID), provida pelos detectores RICH (*Ring Imaging Cherenkov*), calorímetros hadrônico e eletromagnético e estações de múons, permite separar eficientemente diferentes tipos de hádrons e léptons. Essa combinação de geometria, resolução e PID torna o LHCb um poderoso instrumento para investigar a violação da simetria de carga-paridade (CP), decaimentos hadrônicos e busca por nova física.

O detector LHCb tomou dados durante o *Run 1* (2010-2012) e *Run 2* (2015-2018) com um tremendo êxito, coletando uma luminosidade<sup>1</sup> integrada ( $\mathcal{L}_{int}$ ) de  $9 \text{ fb}^{-1}$  de dados de colisões próton-próton (pp). A luminosidade é um importante fator para determinar a quantidade de dados disponível para análise e seu aumento amplia a capacidade de investigar processos raros.



O LHCb está atualmente em sua terceira fase de coleta de dados, o *Run 3*, após um longo e abrangente processo de atualização do detector, e já vem quebrando recordes. Apenas em 2024, a luminosidade integrada superou  $9 \text{ fb}^{-1}$ , ultrapassando, em um único ano, o total combinado do *Run 1* e *Run 2*. O ano de 2025 também desponta como promissor: até junho, já foram registrados  $2 \text{ fb}^{-1}$ , mantendo uma trajetória ascendente que sugere superar a marca do ano anterior.

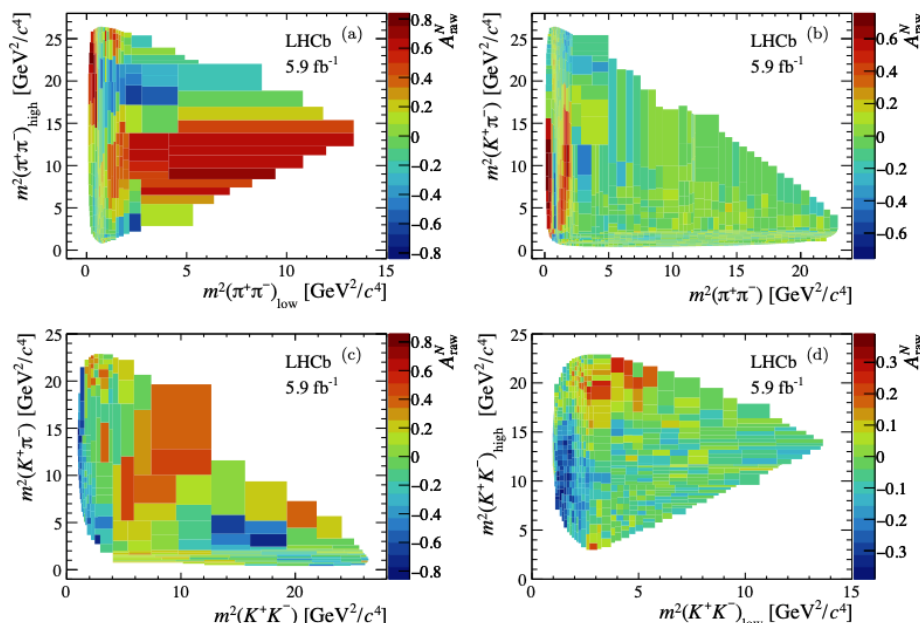
**Figura 1: Luminosidade registrada por meses do ano**  
(Fonte: LHCb-outreach)

O CBPF conta com um grupo consolidado dedicado ao estudo do decaimento do méson B, com ampla experiência e histórico de análises realizadas em colaboração com o experimento LHCb, resultando em diversas publicações.

Uma das principais linhas de análise do grupo é a busca por violação de CP em decaimentos do tipo  $B^\pm \rightarrow h^\mp h^\pm h^\pm$ ;  $h = \pi, K$ . Esses decaimentos em três corpos constituem um ambiente ideal para investigar o papel das interações de curta e longa distância na geração da diferença de fase forte necessária para a ocorrência de violação de CP direta<sup>2</sup>. Tais processos acontecem por meio da superposição de estados ressonantes ( $B^+ \rightarrow R(\rightarrow h^+ h^-) h^+$ ;  $R = f_0(980), f_0(1370), \phi(1020), \dots$ ). A dinâmica desses canais pode ser analisada estudando o Dalitz-plot (Dp) []. A dinâmica desses canais pode ser explorada por meio do Dalitz plot (DP), no qual os estados ressonantes se manifestam como estruturas localizadas, visíveis tanto como picos quanto como depressões. Uma vantagem adicional do DP é a possibilidade de investigar os padrões de interferência entre diferentes estados, aspecto fundamental para os estudos de violação de CP.

<sup>1</sup> No LHC, a luminosidade mede a “intensidade” das colisões por unidade de área e tempo — essencialmente, quão frequentemente partículas colidem.

<sup>2</sup> A violação de CP direta ocorre quando a taxa de decaimento de uma partícula para um determinado estado final é diferente da taxa de decaimento da antipartícula para o estado final correspondente -  $\Gamma(B^+ \rightarrow f) \neq \Gamma(B^- \rightarrow \bar{f})$ .



**Figura 2: Assimetria no Dp dos canais  $B \rightarrow hhh$ . Fonte: arxiv:2206.07622**

Uma análise modelo-independente foi realizada nos quatro canais  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ ,  $B^\pm \rightarrow \pi^\pm K^+ K^-$ ,  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$  e  $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$  [2] utilizando dados do Run 2 equivalente a  $5.9 \text{ fb}^{-1}$  e mediu assimetrias CP integradas significativas (acima de  $5\sigma$ ) nos três últimos, sendo os dois últimos observados pela primeira vez. Além disso, o estudo revelou distribuições não uniformes de assimetrias no Dalitz plot, incluindo a maior violação de CP local já registrada até então no canal  $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$  na região que sofre grande influência do rescattering  $\pi^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^-$ .

Com o aumento significativo da luminosidade no Run 3, será possível observar com mais detalhe as regiões de baixa estatística.

### Projeto:

O projeto consiste em realizar o mesmo estudo do artigo arxiv:2206.07622 com os dados que estão sendo coletados no Run 3. O aluno realizará as seguintes tarefas:

- Produção dos dados - os dados de um determinado canal precisam ser selecionados dos dados salvos no storage do LHCb. Para isso o aluno aprenderá a usar os softwares do LHCb como o DaVinci e o Analysis Production;
- Reconstrução do canal de decaimento - o aluno aprenderá a reconstruir o canal de decaimento desejado a partir dos dados produzidos;
- Estudos de seleção- o aluno entenderá o significado das variáveis e a eficiência ao aplicar seleções nas mesmas de modo a maximizar a razão Sinal/Ruído. Esses estudos serão realizados utilizando amostras de simulação;
- Estudo do Dp - Com os candidatos selecionados, o aluno investigará as estruturas presentes no Dp e suas assimetrias.

É isso. Qualquer dúvida só perguntar através de [juanbsleite@cbpf.br](mailto:juanbsleite@cbpf.br) colocando no assunto PIBIC 2025.2 .

### **Bibliografia:**

- [1] - The LHCb upgrade I - <https://arxiv.org/abs/2305.10515>
- [2] - Direct CP violation in charmless three-body decays of  $B^\pm$  mesons - <https://arxiv.org/abs/2206.07622>