

5

Condições de Tomada de Dados de 2010

O experimento LHCb no ano de 2010 começou a tomar dados com excelentes resultados de performance em seus diversos subdetetores. Na medida que os dados foram tomados, uma maior compreensão do alinhamento do detetor foi adquirida, de forma que tanto a eficiência dos traços, parâmetros de impacto, tempo próprio de vida e resolução de massa foram gradualmente concordando com as expectativas de Monte Carlo. No entanto, diversas modificações foram feitas em comparação ao projeto inicial, o que discutiremos neste capítulo. Além disso, apresentaremos uma breve descrição da performance dos subdetetores, que nos fornece ferramentas para que esperemos grandes resultados de física de B em um futuro próximo.

5.1

Condições de Feixe

O LHC teve como principal propósito, neste primeiro ano, assegurar a confiabilidade de futuras medidas, validando toda a física de partícula descrita no Modelo Padrão. Isto representou a estipulação de um limite desejável do número de núvens (“bunches”) em cada feixe. Dessa forma, para maximizar a luminosidade integrada e a física esperada neste ano, o LHCb optou por uma focalização maior do que a planejada do feixe. Se fosse possível atingir a luminosidade projetada para este ano de 50pb^{-1} , algumas medidas poderiam competir com as melhores já feitas, tal como o decaimento do $B_s \rightarrow \mu\mu$, violação de CP na oscilação de B_s e violação de CP no setor de Charme.

Recordando a equação 4-3, a modificação feita foi utilizar $\beta^* = 3.5\text{m}$, ao invés do valor projetado $\beta^* = 10\text{m}$. Como consequência natural, ocorreu um aumento significativo no número médio de interações por cruzamento. Este fenômeno pode ser observado na figura 5.1, em que destacamos o valor de $\mu = 0.4$ projetado. Como fica evidente, foram adquiridos dados com até seis vezes este valor de μ . Estas condições extremas de tomada de dados aumentaram de maneira significativa a multiplicidade dos eventos. Como consequência, o processamento dos dados teve que ser re-otimizado, se tornando um grande desafio principalmente para o Trigger, a reconstrução e as análises.

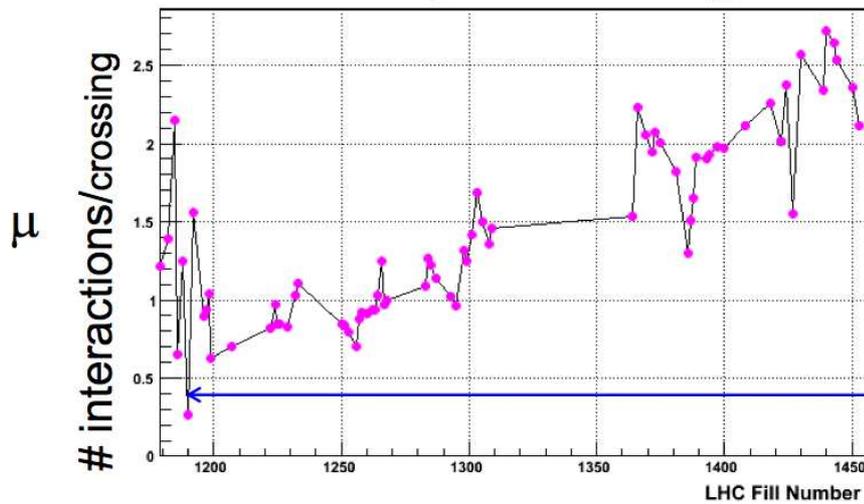


Figura 5.1: Número médio de interações ao longo do ano de tomada de dados.

A luminosidade integrada total acumulada foi de $\mathcal{L} = 42.15\text{pb}^{-1}$ (abaixo do planejado de 50pb^{-1}), sendo que foi possível armazenar 90.3% dos dados, representando para o experimento um total de $\mathcal{L} = 37.66\text{pb}^{-1}$. Na figura 5.2 apresentamos a luminosidade acumulada ao longo do ano.

Os diversos cenários de tomadas de dados são identificadas pelo número característico da rodada (“runNumber”). Os primeiros dados acumulados no ano possuíam definições de feixe e trigger muito diferentes da maior parte dos dados registrados. Dessa forma, optamos nessa dissertação por não utilizar o primeiro grupo de runNumber¹, que correspondente a $\mathcal{L} = 3.1\text{pb}^{-1}$. Com isso, analisaremos uma luminosidade total de $\mathcal{L} = 34.5\text{pb}^{-1}$.

Na próxima seção, vamos discutir as especificações do Trigger para este primeiro ano de tomada de dados para a luminosidade de interesse. Em seguida, apresentaremos um resumo da performance do detetor, destacando a evolução do alinhamento e da reconstrução.

5.2

Definições de Trigger

A implementação do Trigger no LHCb é definida de acordo com as condições das colisões p-p discutidas na seção anterior. Desta forma, neste primeiro ano de tomada de dados, as configurações tanto de hardware como de software foram re-otimizadas constantemente. Como resultado, temos que os dados gerados não foram produzidos todos com as mesmas características, e por isso, vamos discutir os principais cenários do Trigger utilizados nos dados.

¹Os runNumber não utilizados correspondem ao intervalo de 69353 a 78330.

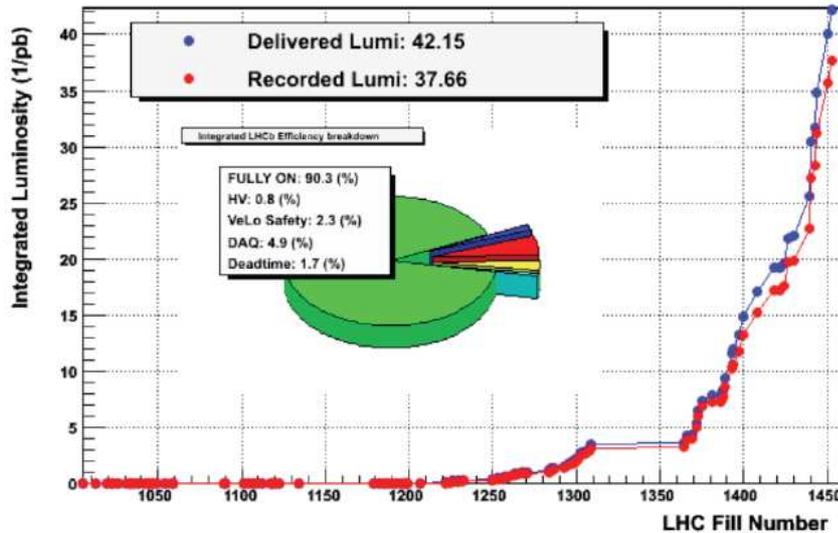


Figura 5.2: Luminosidade acumulado do Run 2010 e entregue para as análises.

Nesta discussão apresentaremos exclusivamente as definições que afetam nosso candidato a hádron² para os três níveis do Trigger.

5.2.1 L0

Como foi discutido na seção 4.6.1, o nível zero do LHCb atua aceitando ou rejeitando eventos de acordo com as informações coletadas em diversos subdetetores. Os conjuntos de cortes do *L0* implementados na eletrônica são chamados de *Trigger Configuration Keys* (TCK). No que diz respeito aos candidatos a hadron, eles possuem duas características para sua seleção: uma energia transversa depositada no HCAL superior a um dado valor e um limite no número de traços relacionados a esta energia (multiplicidade dada pelo SPD). Na tabela 5.1 estão presentes os principais valores utilizados em relação a luminosidade acumulada.

Energia Transversa no HCAL	2600 MeV	3600 MeV	3600 MeV
Multiplicidade do SPD	< 900	< 900	< 450
Luminosidade [nb^{-1}]	19014	2120	12785

Tabela 5.1: Valores utilizados para a decisão *L0Hadron* em três cenários de TCK's

No próximo capítulo, quando discutirmos nossa seleção, apresentaremos os efeitos dos diferentes cenários de TCK para a alley hadrônica, que é de interesse do nosso decaimento. A nível de classificação, cortes como a

²Caso seja necessário citarmos alguma característica definida para outro candidatos, o múon por exemplo, indicaremos as informações relevantes.

energia depositada no calorímetro, multiplicidade no SPD e número de vértices primários em um evento são conhecidos como *Global Event Cuts*³ (GEC).

5.2.2 HLT1

A discussão sobre o *HLT1*, diferentemente do *L0*, está pautada em duas filosofias distintas que foram aplicadas na tomada de dados. Com isso se torna necessário definirmos e estudarmos os efeitos de ambas as linhas de forma a compreendermos nossos resultados.

Linha de Hádron Única e Dupla (HLT1Single/Di Hadron)

O primeiro *HLT1* que iremos apresentar foi aplicado desde março (início da tomada de dados) até Setembro de 2010. Os eventos que são aceitos pelo *L0* (especificamente pelo *Level-0 DU*), serão encaminhados para o algoritmo genérico do *HLT1* por meio de *alleys* (linhas de códigos). Estas *alleys* são definidas de acordo com os candidatos em questão, como elétrons, fótons, múons e hádrons. O *HLT1* se caracteriza por ser composto por três etapas principais: confirmação de *L0*, linhas de hádron única e dupla.

Confirmação de *L0*

Como diz o próprio nome, esta etapa tem como objetivo ratificar a informação proveniente do *L0*. A idéia básica é verificar se um candidato do *L0*, por exemplo uma aglomerado hadrônico que disparou o trigger *L0*, tem associado a ele um traço. A confirmação da alley utiliza os seguintes algoritmos [48]:

- $L0 \rightarrow T$: A partir do objeto encontrado pelo *L0* na região de interação, a trajetória do candidato é definida. Em seguida é pedido que as chamadas sementes T (*hits* em uma dada janela nas estações T) estejam de acordo com os objetos definidos de momento e energia do *L0*.
- $L0 \rightarrow VELO$: Neste processo são feitas as comparações em duas etapas: associação em 2-D e 3-D [62]. Se reconstrói pelo sensor *R* do VELO um traço 2-D que comparamos com o objeto encontrado pelo *L0*, requerendo um pequeno χ^2 para ser aceito. Os candidatos aceitos são usados para construir um traço 3-D a partir do sensor ϕ do VELO, que deve novamente ser associado por χ^2 ao objeto do *L0*. Além disso, os traços 2-D são utilizados para reconstruir o vértice primário do evento.
- $VELO \rightarrow T$: Temos por fim a associação conjugada tanto da seed do VELO em relação a uma T-seed análogo a $L0 \rightarrow T$ e a T-seed

³Traduzido do Inglês como Cortes Globais para o Evento

em associação ao VELO. Como resultado desta associação, obtemos os chamados traços avançados.

A tabela 5.2 apresenta os valores utilizados nestas etapas. Com objetivo de preparar os traços para serem utilizados para reconstruir um candidato a B, pede-se que o parâmetro de impacto entre os traços $3D$ do VELO e o vértice primário seja maior que um dado valor (etapa 2). Em seguida, aplica-se um corte no momento transversal dos traços avançados (traços reconstruídos para referência, a partir dos traços $3D$ do Velo e do candidato do L0) maior que um dado valor. Estes traços que são aceitos serão utilizados nas próximas etapas do *HLT1*.

Linhas de Confirmação do L0	Cortes
E_T depositada no HCAL	> 860 MeV
$\chi^2(2D)$ entre o objeto do $L0$ /Traço-VELO $2D$	< 4
$\chi^2(3D)$ entre o objeto do $L0$ /Traço-VELO $3D$	< 4
IP dos traços-VELO $3D$	> 0.06 mm
P_T dos traços avançados	> 250 MeV

Tabela 5.2: Valores utilizados para seleção do candidato na etapa de Confirmação do $L0$.

Hádron Único e Duplo

Após a confirmação do $L0$, os traços que foram aceitos seguem de forma independente para as linhas de hádron único e duplo [63]. A linha de hádron único tem como objetivo reduzir ainda mais a taxa de eventos, aplicando cortes que aprimorem a qualidade dos traços. Para isso, o corte no momento transversal dos traços avançados do $L0$ é apertado. Em seguida são aplicados ajustes de qualidade (χ^2 dos traços) de Kalman filter para assegurar sua veracidade. Nesses traços são novamente requeridos parâmetros de impacto maior que dado valor. A linha de hádron duplo busca selecionar um outro traço associado àquele que sai da confirmação do $L0$. Neste nível, a correspondência é feita de maneira mais sofisticada, visto que a idéia básica é reconstruir um vértice secundário. Desta forma, o processo se inicia reconstruindo todos os traços $3D$ do VELO, para verificar sua correspondência com o traço do $L0$. Depois de pedir este traço com maior parâmetro de impacto do que um dado valor, aplica-se um critério de mínima distância entre os traços (DOCA) e do vértice secundário em relação ao primário (Δz). Por fim, se requer que a soma dos momentos de ambos os traços no vértice secundário apontem para o primário (pointing⁴). Novamente sucessivas etapas de minimização de

⁴Historicamente a variável pointing vem dos experimentos de neutrinos, sendo definida por: $Pointing = \frac{P \sin \theta}{P \sin \theta + \sum_i p_{T_i}}$.

qualidade de traço (tanto Kalman filter como χ^2 do traço) são aplicados. Os cortes utilizados nessas duas linhas podem ser encontrados na tabela 5.3 e 5.4.

Cortes	Valores
P_T do traço avançado	> 4800 MeV
$\chi^2/ndof$ do ajuste de Kalman Filter	< 10
Parâmetro de Impacto após ajuste de Kalman	> 0.06 mm

Tabela 5.3: Valores de cortes utilizados na decisão do Trigger de hádron único como descrito no texto.

Cortes	Valores
P_T do traço avançado Principal	> 250 MeV
Parâmetro de Impacto do traço-Velo Companheiro	> 0.05 mm
DOCA entre os Traços Avançados e Companheiros	< 0.2 mm
δz entre o Vértice Primário e Secundário	> 1.83 mm
Pointing	< 0.4 mm
$\chi^2/ndof$ do ajuste de Kalman Filter	< 10
Parâmetro de Impacto após ajuste de Kalman	> 0.06 mm

Tabela 5.4: Valores de Cortes utilizados na decisão do Trigger de hádron duplo como descrito no texto.

HLT1TrackAIILO

No constante processo de otimização do Trigger, por volta do meio do mês de outubro de 2010 entrou em funcionamento no LHCb uma nova metodologia de nível 1, chamada de *HLT1TrackAIILO* [64]. A idéia básica é que em um decaimento genérico de um B em partículas filhas carregadas, sempre se encontra pelo menos um traço que carrega um alto momento. Dessa forma, a estratégia de reconstrução e seleção segue as seguintes características: todos os mésons B/D possuem pelo menos dois traços carregados no seu estado final; a distância típica de vôo do méson B no LHCb é da ordem de 1 cm, resultando em um alto parâmetro de impacto com relação ao vértices primários do evento; uma vez que os B produzidos são pesados e carregam uma média de momento em torno de 100 GeV, seus produtos irão possuir um alto momento e momento transverso. A forma de implementação é dada pelas seguintes etapas:

- Para permitir que esta estratégia seja satisfeita, é necessário remover eventos com muita ocupação no VELO, OT e IT. Para isso, aplica-se

cortes do tipo GEC: limite no número de hits deixados no VELO e no limite de hits no OT e IT.

- Como a reconstrução do VELO é rápida o suficiente, todos os eventos que entram no HLT tem seu padrão 3-D reconhecido (descrito na 4.4.4) e seus vértices primários identificados. No entanto, nem todos os traços construídos no VELO serão extrapolados para as estações de traços. Dessa forma, são aplicados três cortes: parâmetro de impacto, número de hits no VELO associados a estes traços e a diferença entre estes hits e o número de hits esperados dado a direção e o primeiro ponto medido deste traço.
- O processo continua associando os traços do VELO com as estações de traço (traços avançados). Nestes traços, é aplicado um corte no seu momento e no seu momento transversal. Como resultado, a janela no OT e IT utilizada para reconstruir o evento reduzida, resultando em um excelente ganho no tempo de processamento e reconstrução do traço.
- A última etapa do processo consiste da seleção do nosso traço. São aplicados cortes no momento e no momento transverso. Em seguida os traços são ajustados por Kalman Filter, permitindo um corte no χ^2 do traço e no χ^2 do parâmetro de impacto.

Os cortes utilizados nesta etapa do trigger, conforme acima, estão listados na tabela 5.5.

Cortes	Valores
Número de OT hits	< 10K
Número de Velo hits	< 3K
IP dos traços-Velo 3D	> 125 μ m
P dos traços do Velo associados as estações de Traço	> 8 GeV
P_T dos traços do Velo associados as estações de Traço	> 0.8 GeV
Partícula de maior momento	> 12.5 GeV
P_T na partícula de maior momento	> 1.25 GeV
Track χ^2 após ajuste de Kalman	< 3
χ^2 do Parâmetro de Impacto após ajuste de Kalman	> 50

Tabela 5.5: Valores de cortes utilizados na decisão de trigger *HLT1TrackAll0*

A grande diferença desta metodologia de *HLT1* comparada com a que apresentamos anteriormente, está na confirmação do *L0*. Na primeira etapa da linha de hádron único ou duplo, se faz uma associação entre o VELO e as estações de T com a informação do *L0*. Este procedimento é justificável uma vez que os recursos computacionais disponíveis não permitem a reconstrução completa do evento com esta taxa.

Uma das questões principais é quanto a vulnerabilidade do trigger de ser contaminado por traços ditos fantasmas⁵. Este comportamento foi comprovado na tomada de dados desse ano, uma vez que a multiplicidade foi maior do que esperado se tornando um problema para esta primeira estratégia. No entanto, o *HLT1TrackAllL0* se mostrou muito mais eficiente em discriminar estes eventos, tornando-se uma boa alternativa para o problema. Em termos de tempo de processamento, em ambas as filosofias a taxa encontrada é em torno de 50 kHz⁶.

Em contraste com a linha anterior, o segundo trigger tem caráter inclusivo, uma vez que são reconstruídos todos os traços (não é pedido confirmação do *L0* que associa o traço à energia depositada no HCAL). Dessa forma, quando discutirmos nossa análise no próximo capítulo, teremos que nos preocupar em requerer apenas eventos associados ao HCAL (hádrons).

5.2.3 HLT2

Como vimos na seção anterior, a taxa de eventos entregue é em torno de 20 - 50 kHz. Dessa forma, o *HLT2* consiste de uma série de seleções exclusivas e inclusivas com intuito de chegar a uma taxa de alguns kHz. A questão principal é que existem diferenças entre a reconstrução *online* e *offline*, no que diz respeito ao vértice e identificação de partículas. No contexto *online*, o procedimento de reconstrução do vértice deve ser feito de maneira rápida, resultando numa perda de performance. Como consequência, cortes no χ^2 do vértice ou parâmetro de impacto, são bem menos efetivos do que a seleção *offline*. Além disso, a informação do RICH não está disponível, não permitindo a distinção de píons e káons.

Especificamente para o decaimento $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ iremos discutir uma das linhas inclusivas conhecida como trigger topológico.

Trigger Topológico

A primeira consideração que deve ser feita em relação ao Topológico é que sua implementação possui duas etapas: uma fase em que são aplicados cortes em todas as partículas que saem do *HLT1* e outra baseada na topologia. No primeiro caso, utiliza-se a concepção dos trigger *L0* e *HLT1*, aplicando cortes

⁵Um traço é considerado fantasma caso a fração de sinal deixado em um detetor for inferior a 70% (em comparação a simulação) ou se as partículas forem diferentes ao comparmos as informações de dois detetores.

⁶Como base de comparação, as linhas de hádron única e dupla tiveram esta taxa pela simulação com $\mu = 1$. No caso da segunda filosofia, este valor é dado com $\mu = 2.2$, sendo mais realista com os dados tomados este ano.

que sejam eficientes em questão de tempo de tomada de decisão. O primeiro requisito é que os traços tenham momento e sua projeção transversal superior a um dado valor. Além disso, para reduzir a taxa de background devido a traços fantasmas e devido a outras partículas, são aplicados cortes de qualidade do traço e χ^2 do parâmetro de impacto, respectivamente. A idéia básica é que, aplicando estes cortes, pode-se reduzir a taxa de eventos a um nível aceitável, permitindo assim, aplicar cortes mais complexos (tomam um maior tempo computacional).

A filosofia do Topológico está pautada na criação de três linhas: 2, 3 e 4 corpos. Os candidatos são construídos de forma sucessiva, em que duas partículas são combinadas para formar o objeto de 2 corpos, e em seguida se associa a este objeto outra partícula para criar a linha de 3 corpos. Este procedimento se estende para 4 corpos também. Definidos nossos objetos, é aplicado um critério de mínima distância entre os traços em cada etapa. Por ser de caráter inclusivo, se fosse aplicado um corte diretamente na massa do candidato, alguns eventos poderiam ser perdidos. Isso acontece uma vez que não necessariamente a massa do candidato coincide com o B, visto que o candidato pode conter apenas uma amostra de todas suas partículas filhas. Nesse sentido, aplica-se um corte na variável chamada de MCOR, que basicamente corrige o fato de estarmos perdendo uma filha, calculando a correção mínima possível para este caso:

$$MCOR = \sqrt{M^2 + |P_T^{miss}|^2} + |P_T^{miss}| \quad (5-1)$$

onde P_T^{miss} é o momento transversal da partícula perdida. Esta seria a massa de B se o momento perdido pertencesse a uma partícula sem massa, ou seja, é a mínima correção à massa se perdêssemos uma filha. Foi demonstrado que esta estratégia de corte é bem eficiente em seleções inclusivas, sendo aplicada para as três linhas com seus respectivos valores.

As partículas filhas tendem a ter um alto momento transversal, visto que o méson B carrega um alto momento. O topológico se aproveita deste fato para cortar no partícula de maior momento transversal, além da soma de P_T das filhas. Para reduzir ainda mais o background, a linha requer que pelo menos uma das partículas tenha uma excelente qualidade de traço. Como o B viaja uma dada distância antes de decair, são aplicados cortes na distância de vôo e no seu χ^2 , e na soma do χ^2 do parâmetro de impacto das filhas. Por fim, para vetar contribuições de méson D, pedimos que a massa do objeto seja maior do que um valor e que o objeto não aponte para o vértice primário (χ^2 do parâmetro de impacto). O cenário de cortes para o trigger topológico pode ser

visto na tabela 5.6.

Cortes em todas as Partículas	Valores
Momento mínimo	$> 5 \text{ GeV}$
Momento transverso mínimo	500 MeV
χ^2 do traço máximo	> 16
$IP\chi^2$ mínimo	> 16
Cortes Topológicos	Valores
MCOR	$> 4 \text{ GeV e } < 7\text{GeV}$
P_T Máximo	$> 1.5 \text{ GeV}$
ΣP_T	$> 4, 4.25, 4.5$ (2, 3, 4 corpos) GeV
Melhor χ^2 do traço das partículas	< 3
$\Sigma IP\chi^2$	$> 100, 150, 200$ (2, 3, 4 corpos)
Todas as possibilidade de DOCA	$< 0.15 \text{ mm}$
χ^2 da Distância de vôo	> 64
Distância de vôo	> 0
Massa para Veto de D	$M > 2.5$
χ^2 do parâmetro de impacto para Veto de D	> 16

Tabela 5.6: Valores de cortes utilizados na linha de Trigger Topológico.

Para o canal $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$, além do requerimento óbvio da linha de 3 corpos, a linha de trigger de 2 corpos é vital para nossa análise, o que será discutido com mais detalhes no próximo capítulo.

Uma das informações fundamentais que retiramos do Trigger é sua eficiência. As decisões do trigger são divididas em: *Triggered on Signal* (**TOS**), são eventos que disparam o Trigger devido à associação da informação que vem do detetor com o sinal do candidato; *Triggered Independently of Signal* (**TIS**), eventos sem o requerimento de ter disparado o Trigger em associação ao sinal. Estas definições serão relevantes no momento que discutirmos efeitos do trigger na nossa seleção.

5.3

Performance do Detetor

Como adiantamos na seção 5.1, neste primeiro ano o detetor teve um excelente desempenho, atingindo cerca de 99% de eficiência para todos os subdetetores (figura 5.3). O VELO atingiu uma resolução de $4\mu\text{m}$ para apenas um hit, além de uma resolução do vértice primário de $13\mu\text{m}$ em X e Y , e $75\mu\text{m}$ para Z . Este valor é um pouco inferior ao projetado de $11\mu\text{m}$ (X e Y) e $60\mu\text{m}$ (Z), sendo ainda esperadas melhorias. Ambas as estações de IT e TT rodaram sem nenhum problema, com uma resolução de “cluster” em torno de $50\mu\text{m}$. A estação OT, por sua vez, possui uma resolução espacial de

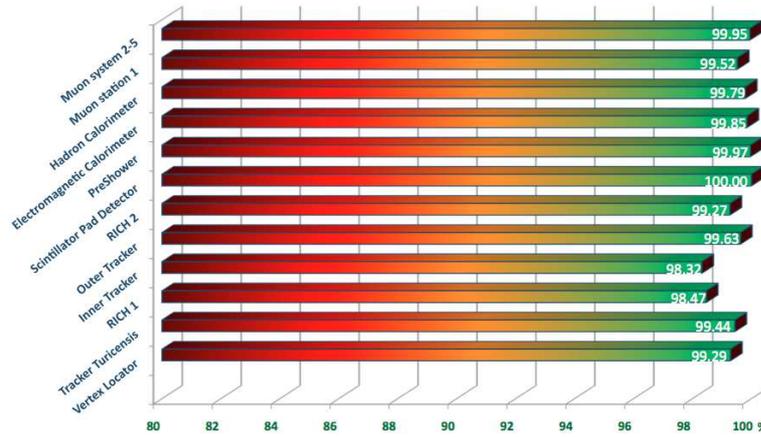


Figura 5.3: Eficiência para os diversos subdetetores neste primeiro ano de tomada de dados.

270 μ m para momentos acima de 10GeV. Em comparação com o projetado, temos uma performance inferior ao esperado de 200 μ m, porém, sem causar limitações à física esperada. Os RICH's, da mesma forma, foram extremamente eficientes, tendo suas resoluções angulares dos gases radiadores gradualmente concordando com o projetado. Por fim, os calorímetros obtiveram uma precisão inferior a 1ns para o ECAL e HCAL, e 1.5ns para o PS e SPD. Nas figuras a seguir apresentamos alguns destes resultados.

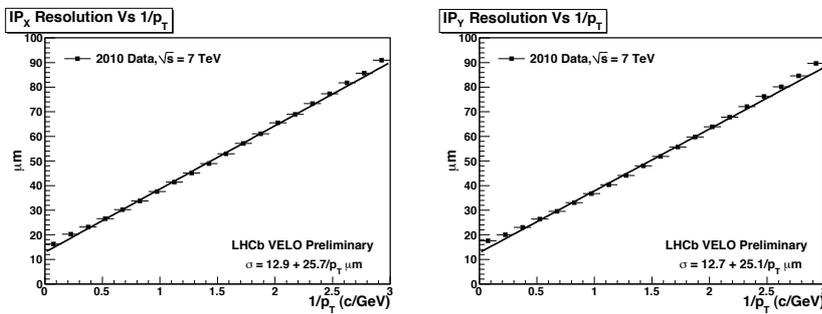


Figura 5.4: Resolução de IP no eixo x (esquerda) e y (direita) em função do inverso do momento transversal. O valor de σ foi calculado com o ajuste de uma gaussiana da distribuição do resíduo de IP em binagens de $1/p_T$.

No próximo capítulo discutiremos os aspectos da seleção para o canal $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ no LHCb. Nesse sentido, apresentaremos as principais características da análise dada pela simulação e os resultados para este primeiro ano de tomada de dados.

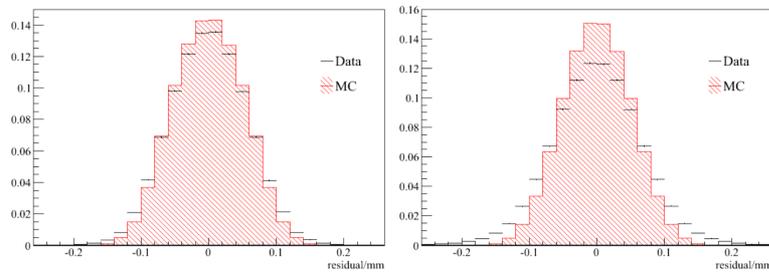


Figura 5.5: Resolução para IT (esquerda) e TT (direita) para este ano de tomada de dados. Note que existe uma excelente concordância com o esperado pela simulação.

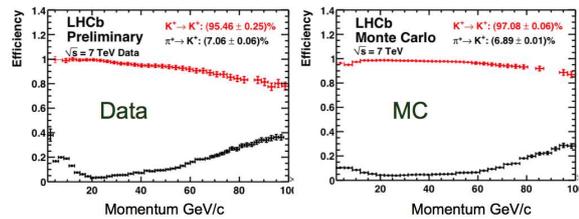


Figura 5.6: Comparação da identificação pelo RICH de K/π , em termos de eficiência em função do momento. Na distribuição à esquerda temos o resultado dos dados que estão em concordância com o esperado pela simulação