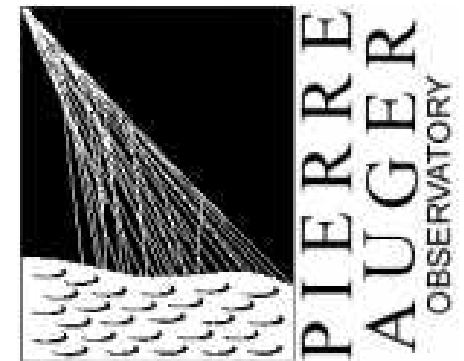


Estudo de parâmetros em CAEs com inclusão de charm

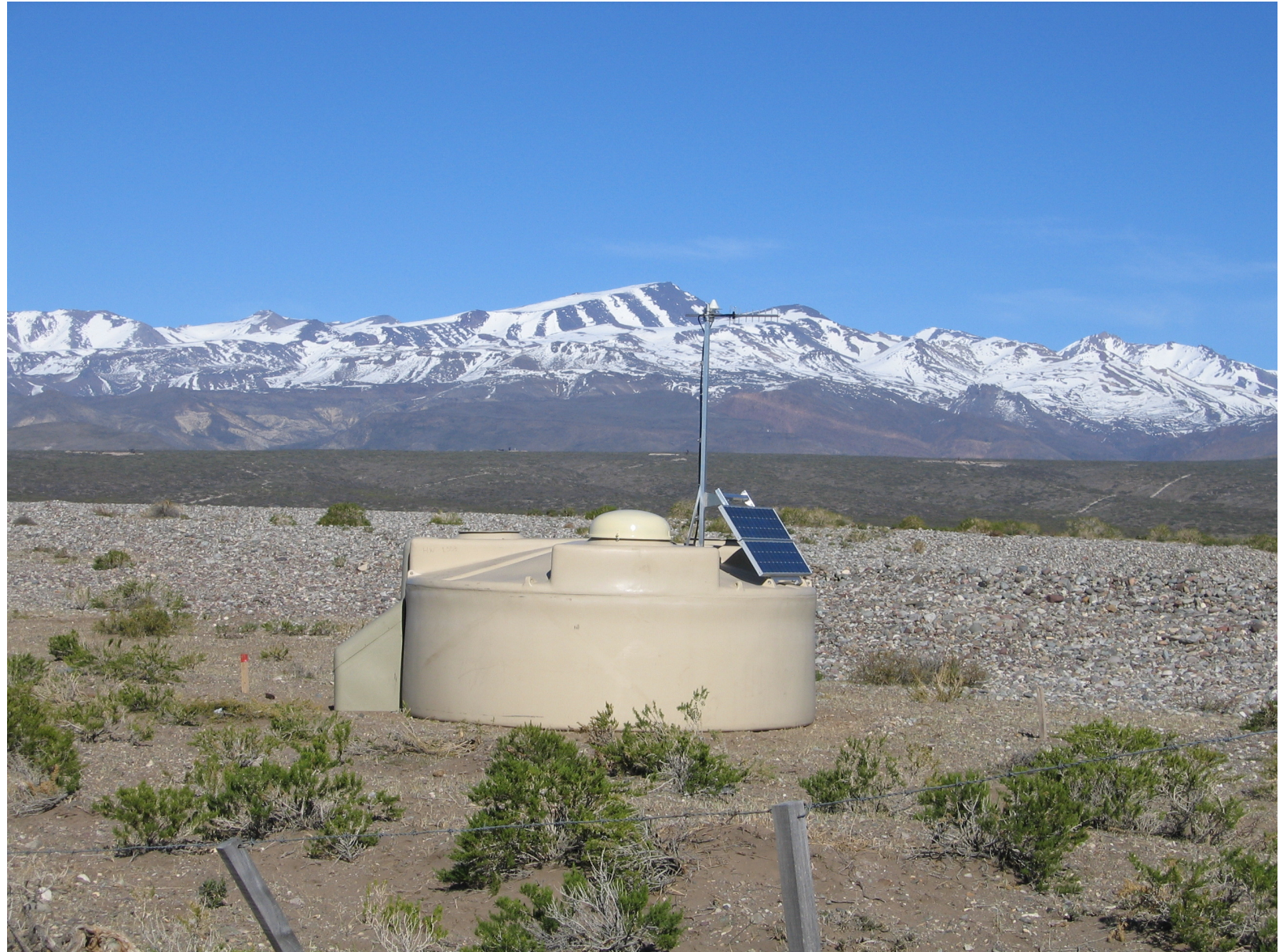
Márcio Müller

Grupo de Altas e Médias Energias

Universidade Federal de Pelotas - 2015



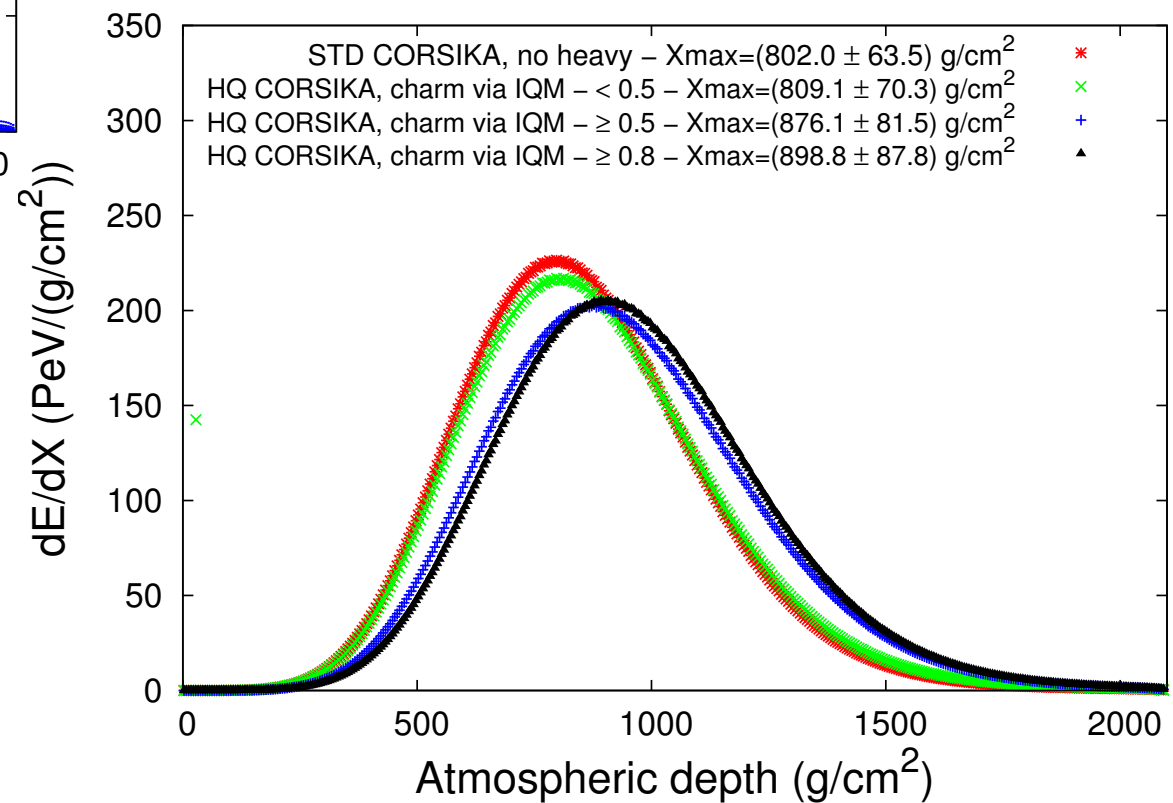
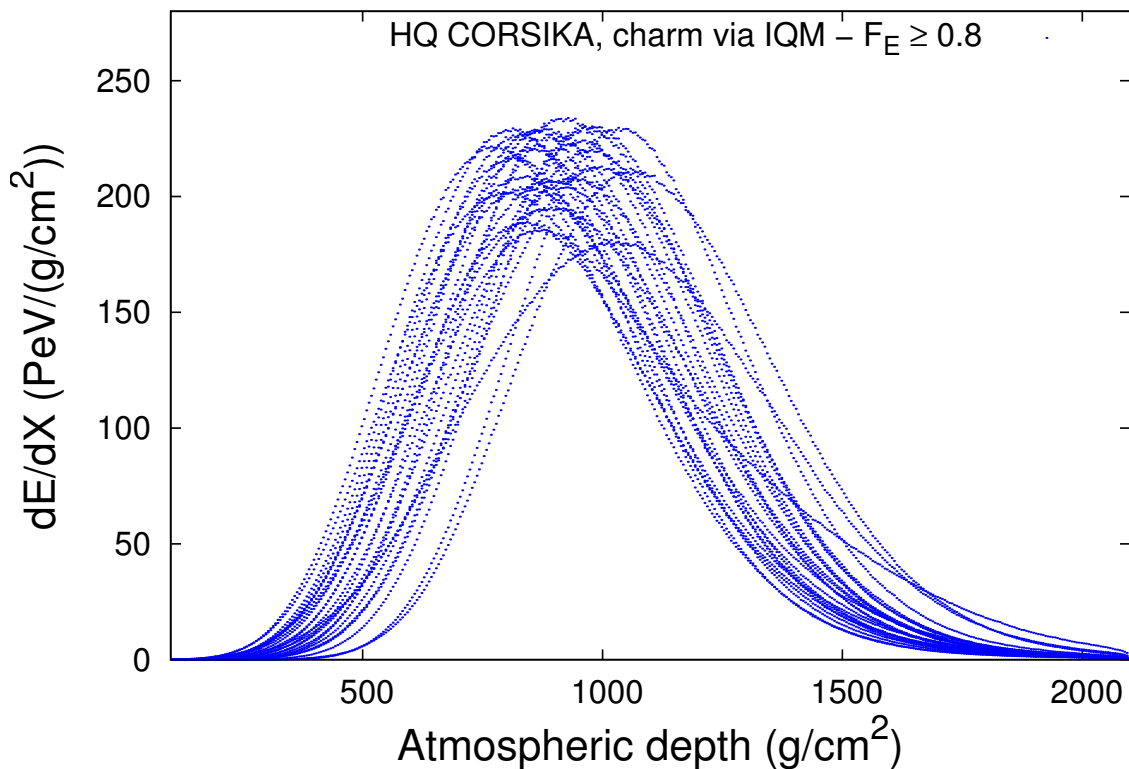
1. Partículas Chamosas em CAEs
2. Distribuição Lateral de Partículas
3. Reconstruções Offline
4. Energia e LDF.
5. Risetime
6. Conclusões
7. FD Shift



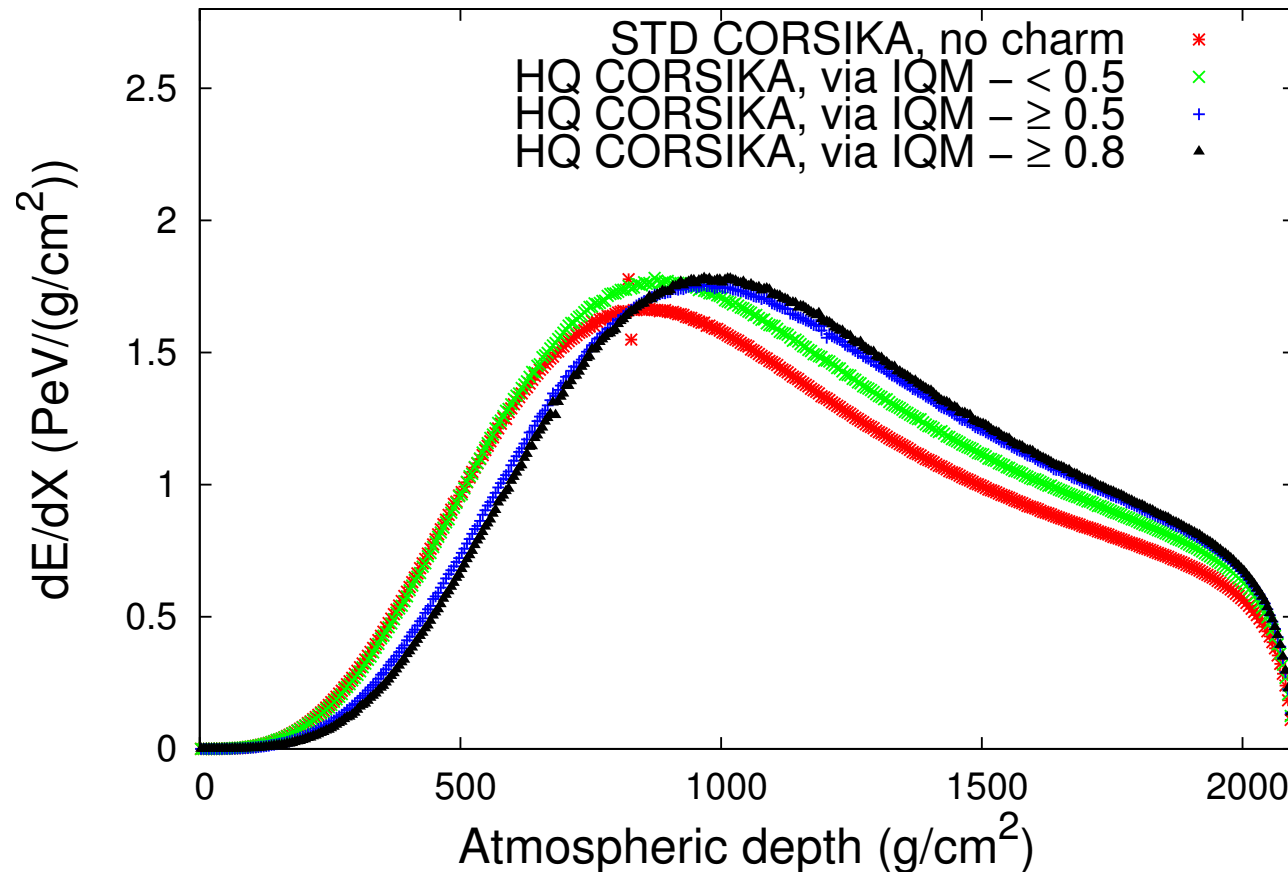
I. PARTÍCULAS CHARMOSAS EM CAES

- Charm e bottom hádrons altamente energéticos podem ser produzidos na mais alta atmosfera quando um raio cósmico primário ou o “leading” hádron em um CAE colide com o ar.
- Por causa de sua vida média curta, $\approx 10^{-12} s$ ($\approx 300 \mu m$), hádrons pesados decaem antes de interagirem.
- À $E \gtrsim 10^7 GeV$ hádrons pesados alcançam sua energia crítica e sua probabilidade de decaimento decai rapidamente. Comprimentos de decaimento crescem à valores consideráveis.
- $E \approx 10^8 GeV$ - $\lambda \approx 10 km$,
- As colisões de hádrons pesados com núcleos do ar são bastante elásticas.
 - um méson D após uma colisão de $10^9 GeV$ poderia manter ao redor de 55% na energia inicial, enquanto que um méson B terá tipicamente 80% da energia incidente após a colisão.

- Tais partículas pesadas poderiam transportar uma significativa soma de energia em camadas atmosféricas profundas e provavelmente ter efeitos observáveis no desenvolvimento do chuveiro.



- A produção de múons e outras partículas poderiam mudar significativamente o perfil longitudinal visto nos Detectores de Fluorescência e/ou a distribuição temporal e sinal observado no Detector de Superfície.



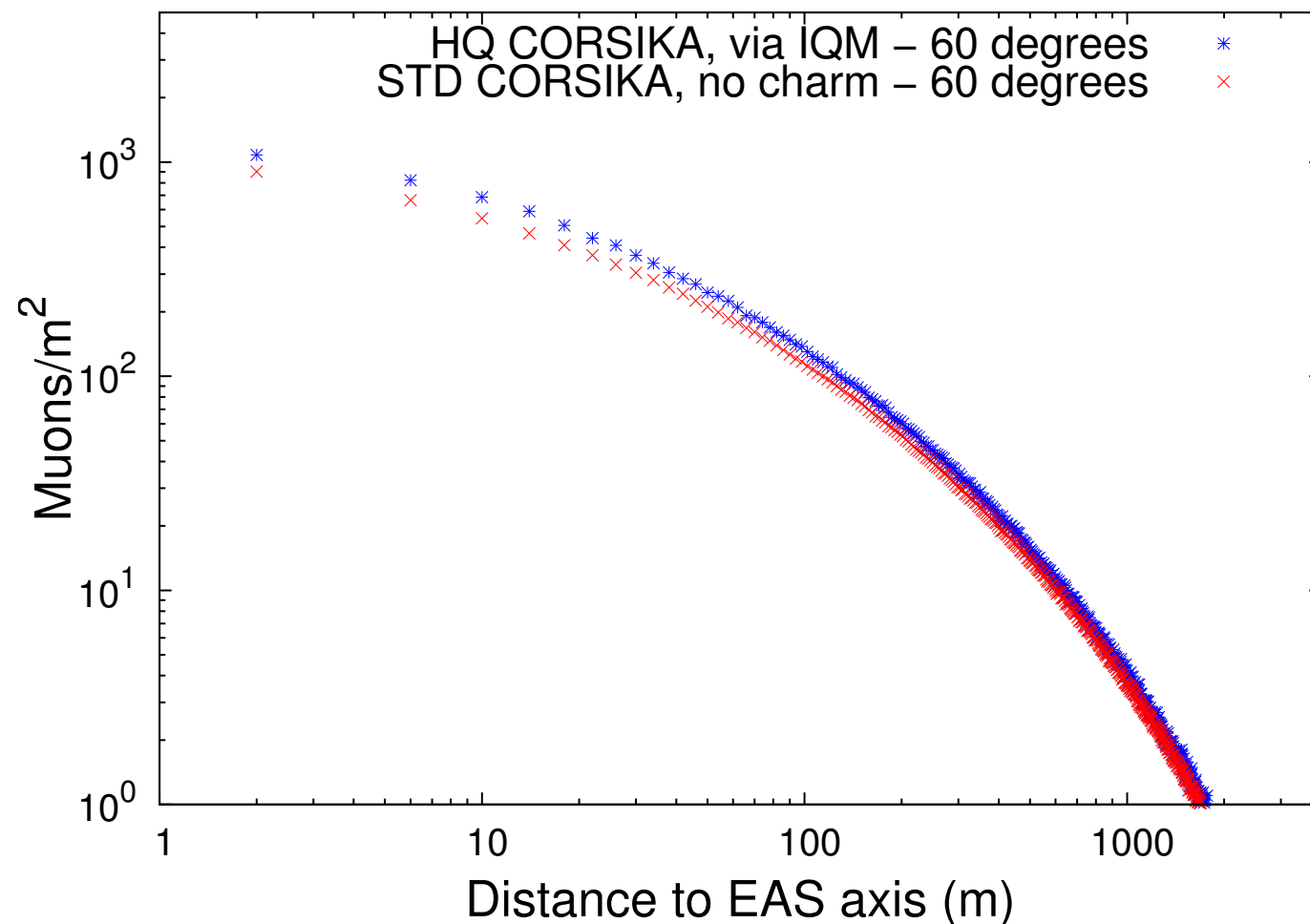
- Possíveis mudanças na distribuição temporal e no sinal visto pelos tanques Cherenkov e suas implicações na reconstrução de energia do raio cósmico primário serão discutidas neste trabalho.

II. DISTRIBUIÇÃO LATERAL DE PARTÍCULAS

- A produção e propagação de charm em CAEs são processos aleatórios, com efeito que pode ou não pode acontecer dependendo das simulações de Monte Carlo.
- Para este trabalho nós iremos usar o aplicativo CORSIKA [2] (Cosmic Ray Simulations for Kaskade). Nós iremos utilizar um código modificado do CORSIKA, com inclusão de produção de charm e bottoms na primeira interação do raio cósmico primário [3] and [4].
- Iremos considerar apenas a hadronização de charms via Intrinsic Quark Model (IQM).

- Nesta seção iremos investigar como estes processos aleatórios podem modificar a Distribuição Lateral da Componente Muônica no chão.
- Iremos comparar os nossos resultados com chuveiros simulados pelo código padrão do CORSIKA - sem produção de charm.
- Usaremos chuveiros com $3 \times 10^{19} \text{ eV}$ de energia primária, partícula primária próton - ângulo zenitais verticais e $\theta = 60^\circ$.

A. Resultados



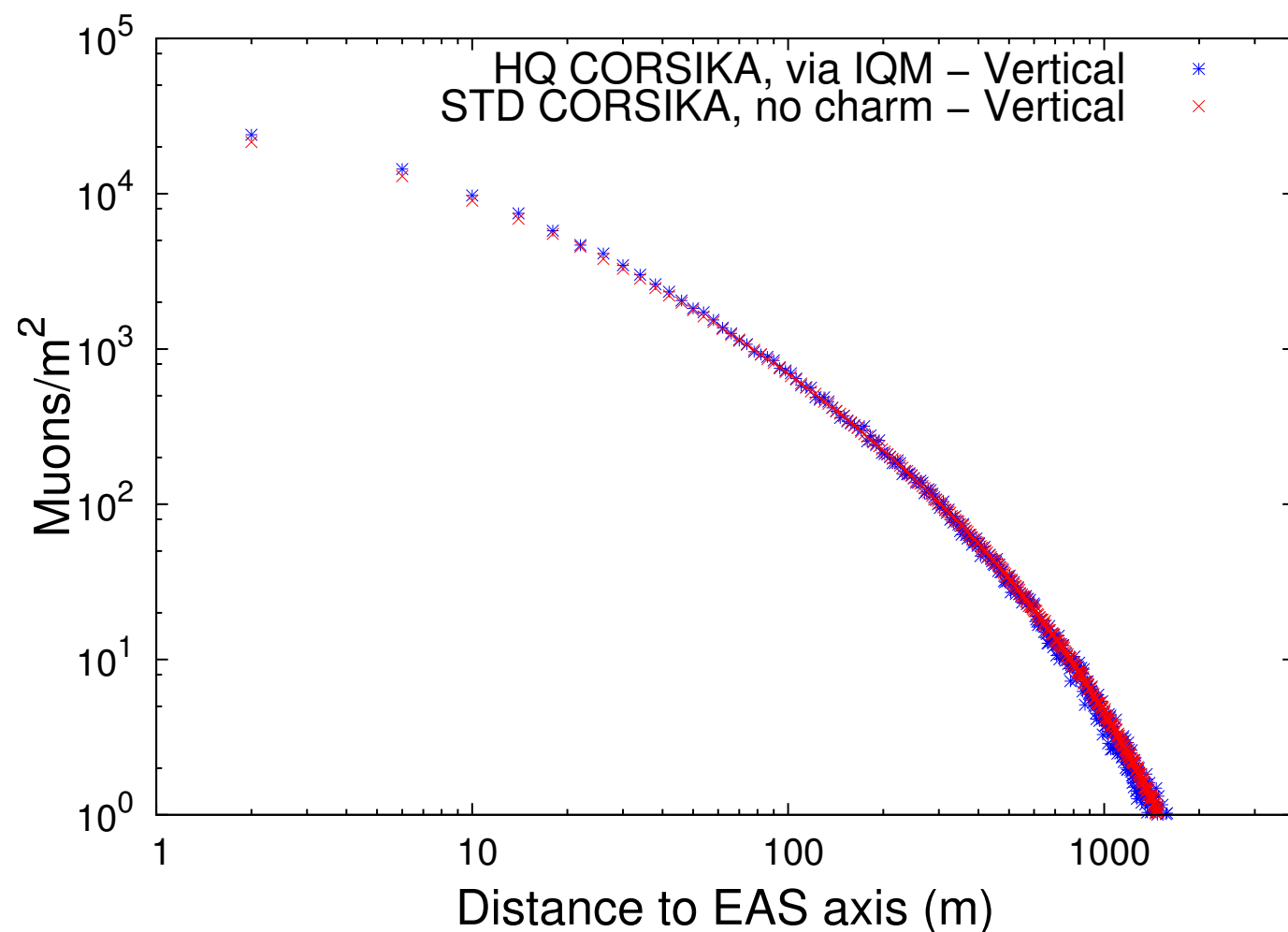
20 a 30%

Comparação CORSIKA

Heavy via IQM ×

CORSIKA STD. 60° .

Média de ≈ 100 chuviros.



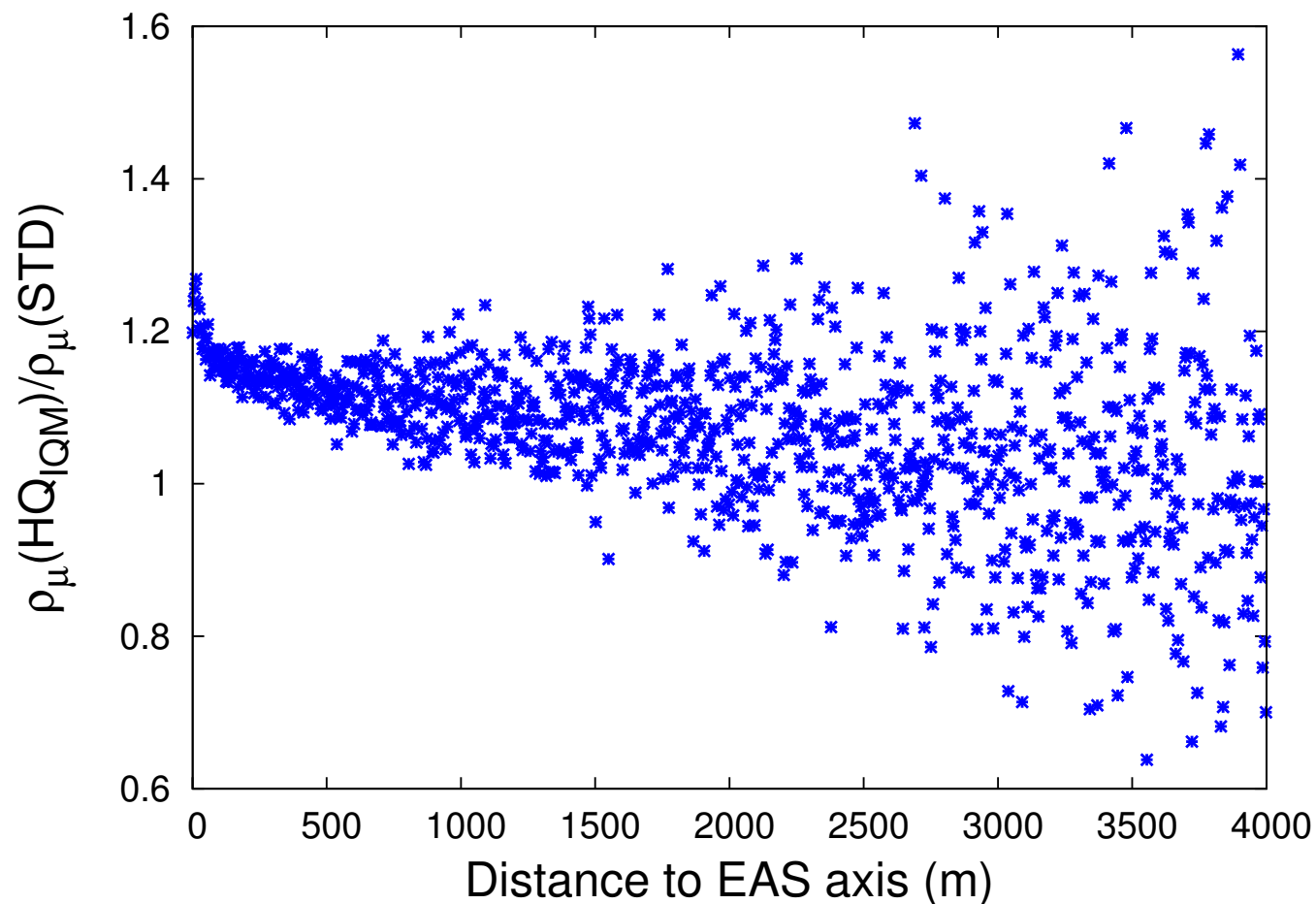
≈ 10%

Comparação CORSIKA

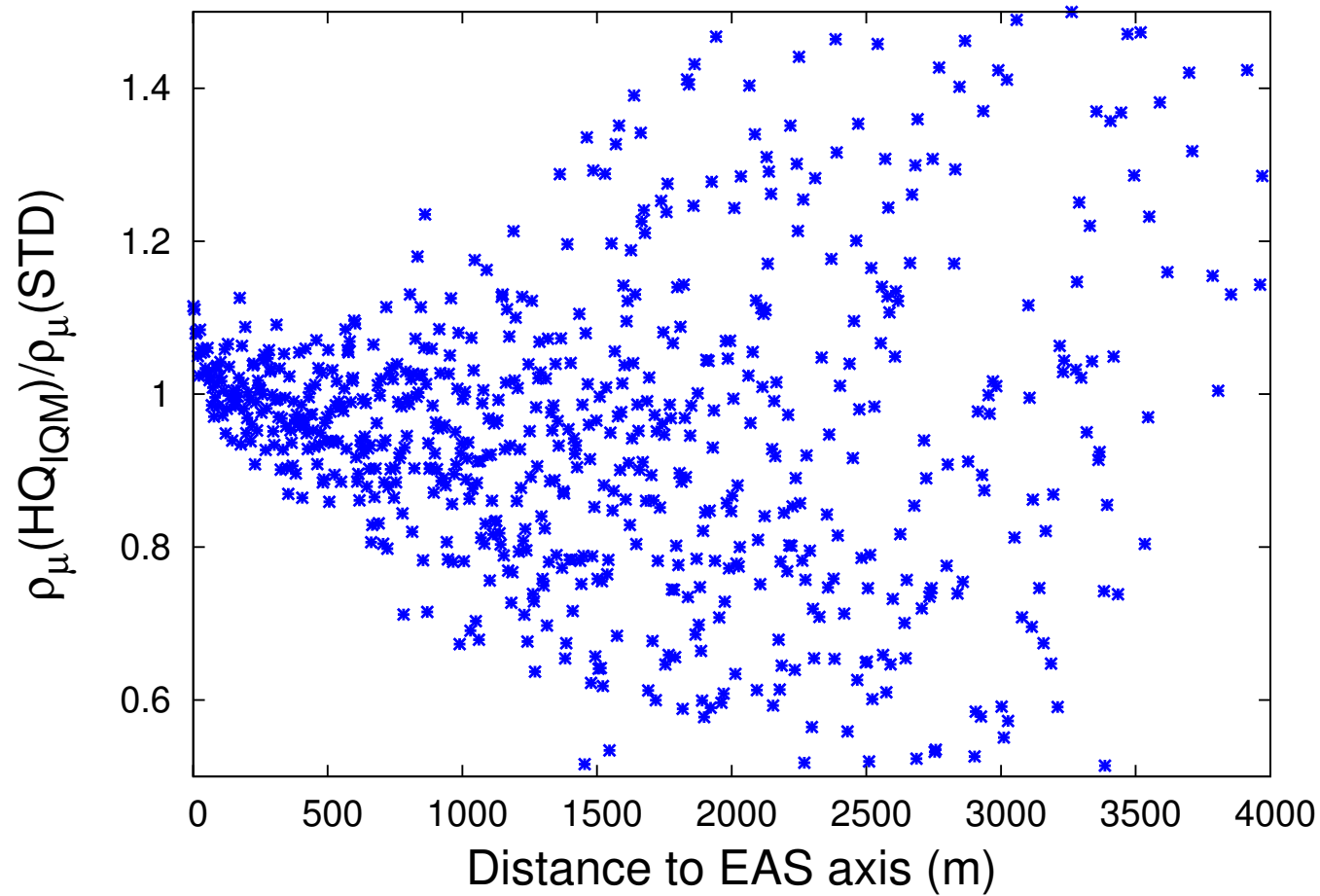
Heavy via IQM ×

CORSIKA STD. Vertical.

Média de ≈ 100 chuviros.



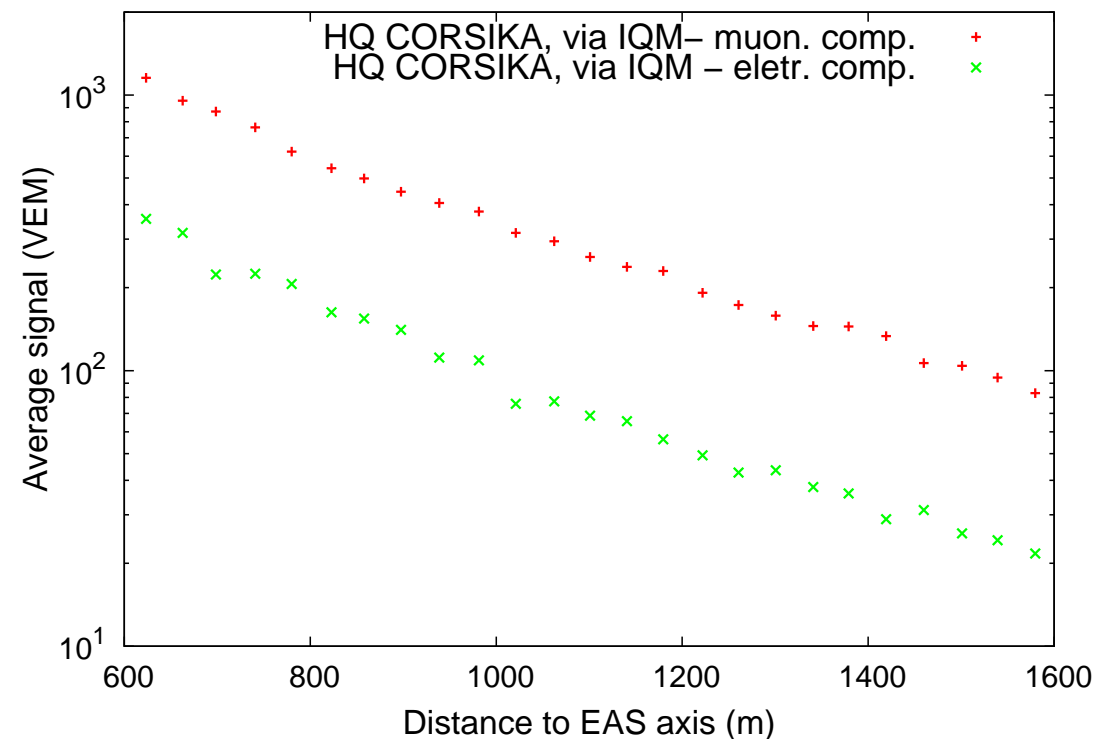
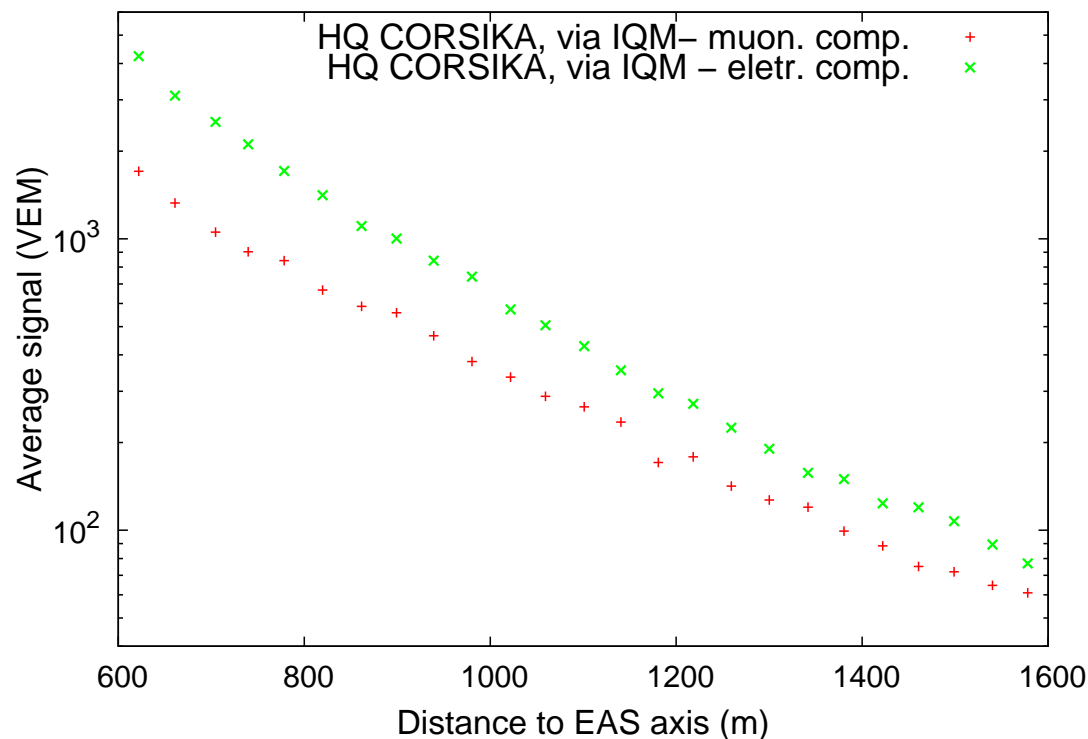
Razão da distribuição lateral
de densidade de número de múons.
Razão CORSIKA STD \times CORSIKA
via IQM. 60° . Média de ≈ 100 chuviros.



Razão da distribuição lateral
de densidade de número de múons.
Razão CORSIKA STD \times CORSIKA
via IQM. Vertical. Média de
 ≈ 100 chuveiros.

III. RECONSTRUÇÕES OFFLINE

- A resposta dos tanques Cherenkov será simulada pelo aplicativo Offline, escrito pela Colaboração Pierre Auger.
- A natureza espaçada do detector, a resposta das partículas que o atravessam, e o sistema eletrônico serão simulados.
- Em chuveis muito inclinados teremos que quase a totalidade do sinal dos tanques será formado por múons, já que a componente eletromagnética é amplamente absorvida.



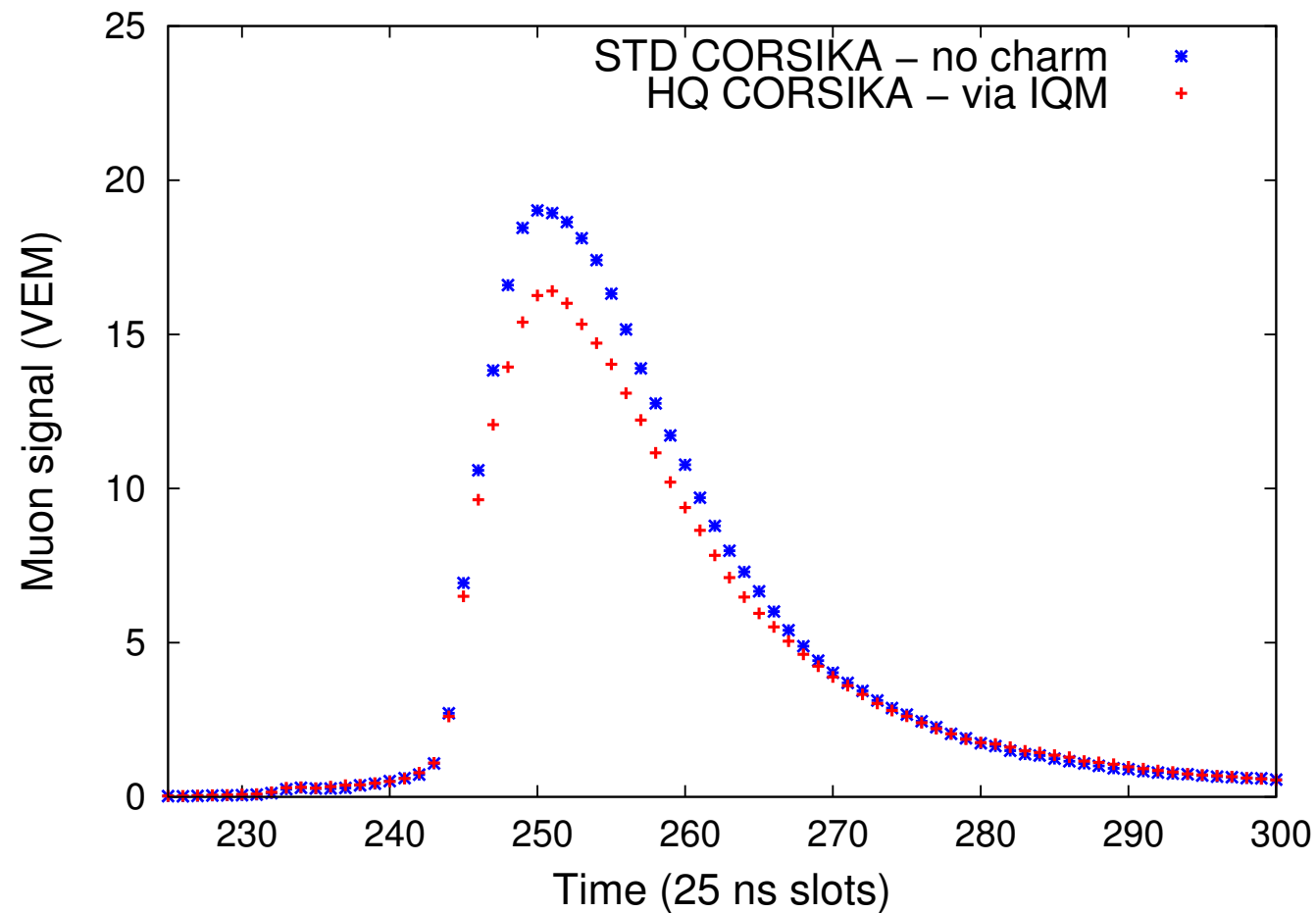
- Chuveiros com diferentes estágios de desenvolvimento.
- A estrutura temporal do sinal do FADC tem 768 bins temporais com 25 ns cada - janela temporal.
- Serão usados 50 chuveiros, 3×10^{19} eV, primário próton, diferentes ângulos zenitais
- 200 eventos reconstruídos pelo Offline.
- Comparação de chuveiros usando nosso código CORSIKA modificado (produção de charm via IQM), e standard (STD) CORSIKA, sem produção de charm.
- Estrutura temporal do sinal, sinal total, Função Distribuição Lateral e Energia reconstruída serão analisadas na seção seguinte.
- Não há corte de qualidade usado para a seleção dos eventos.

- O nível de Malargüe está a 890 g/cm^2 de profundidade atmosférica (1400 m).
- Este é grosseiramente o valor do X_{max} para chuviros verticais.
- A seguir, temos respectivamente os resultados para chuviros verticais, 60° de ângulo zenital e 60° selecionados para chuviros com $F_E \geq 0.8$.

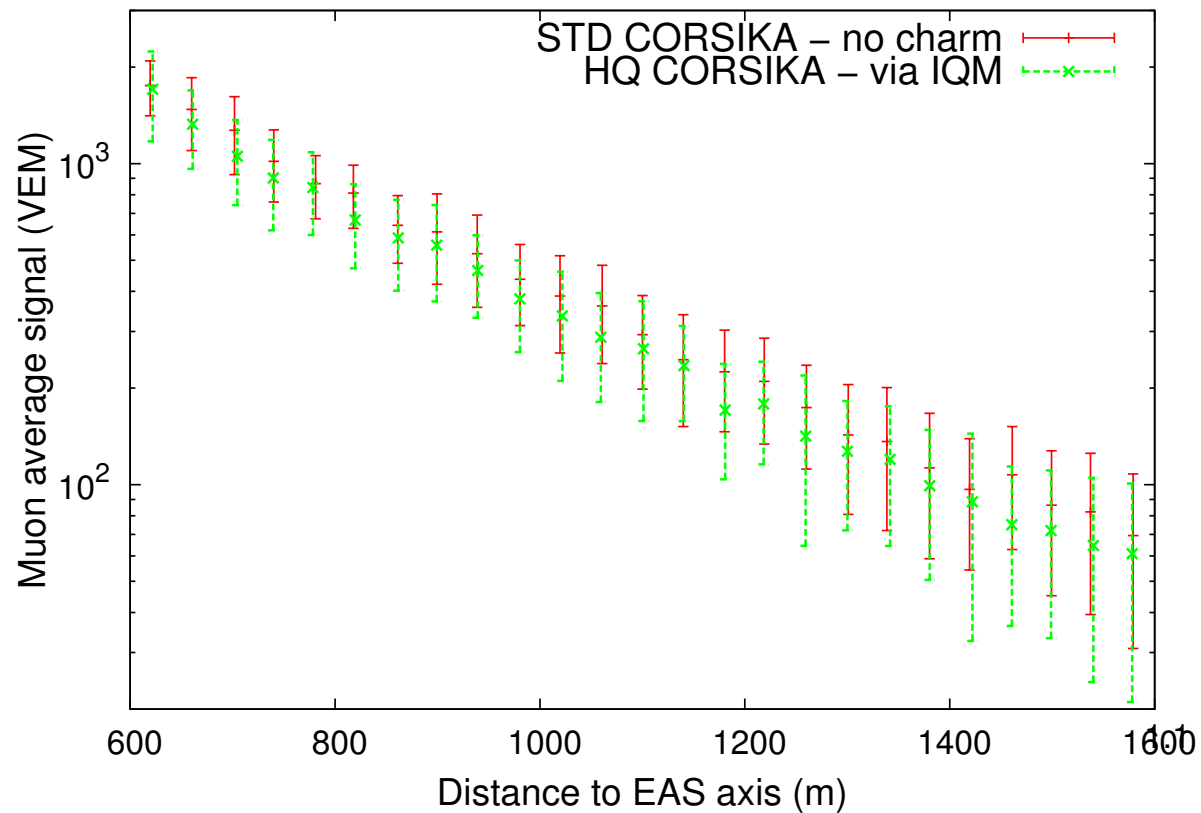
IV. ENERGIA E LDF

1. Chuveiro Vertical

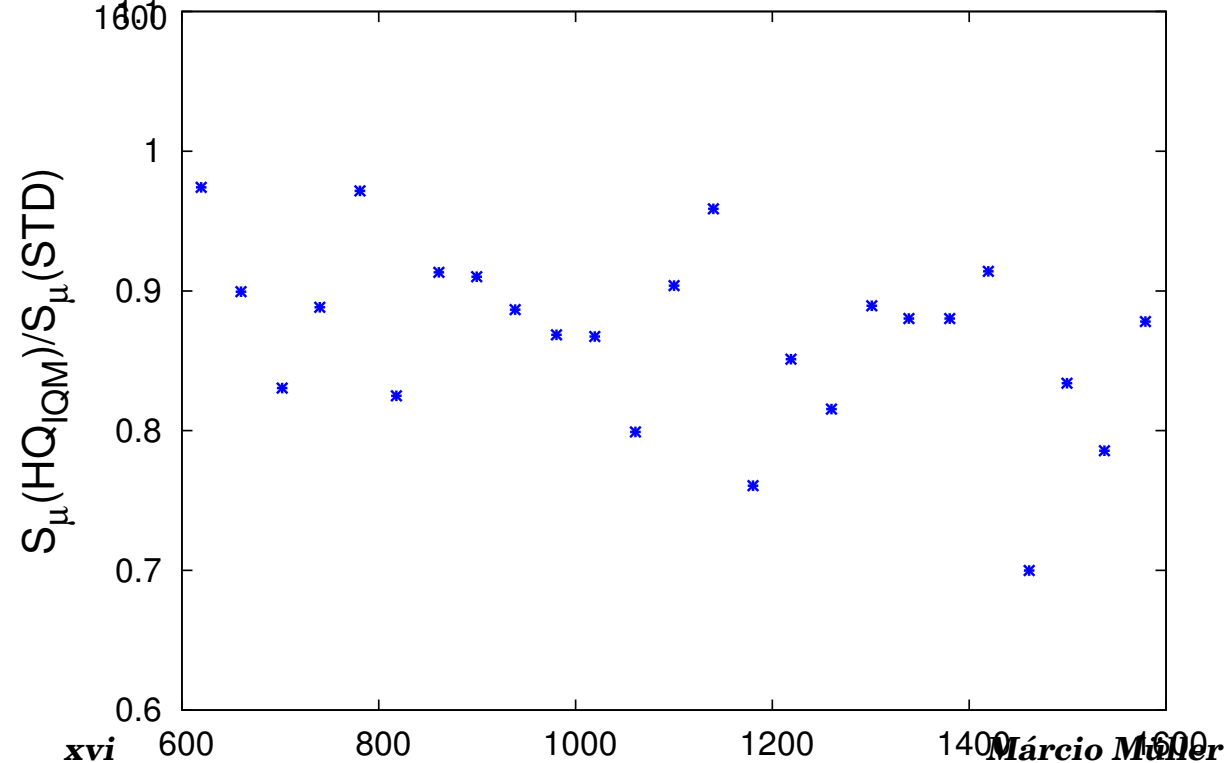
- Sinal muônico médio dos slots. 2000 estações “triggeradas”. CORSIKA IQM \times CORSIKA STD.



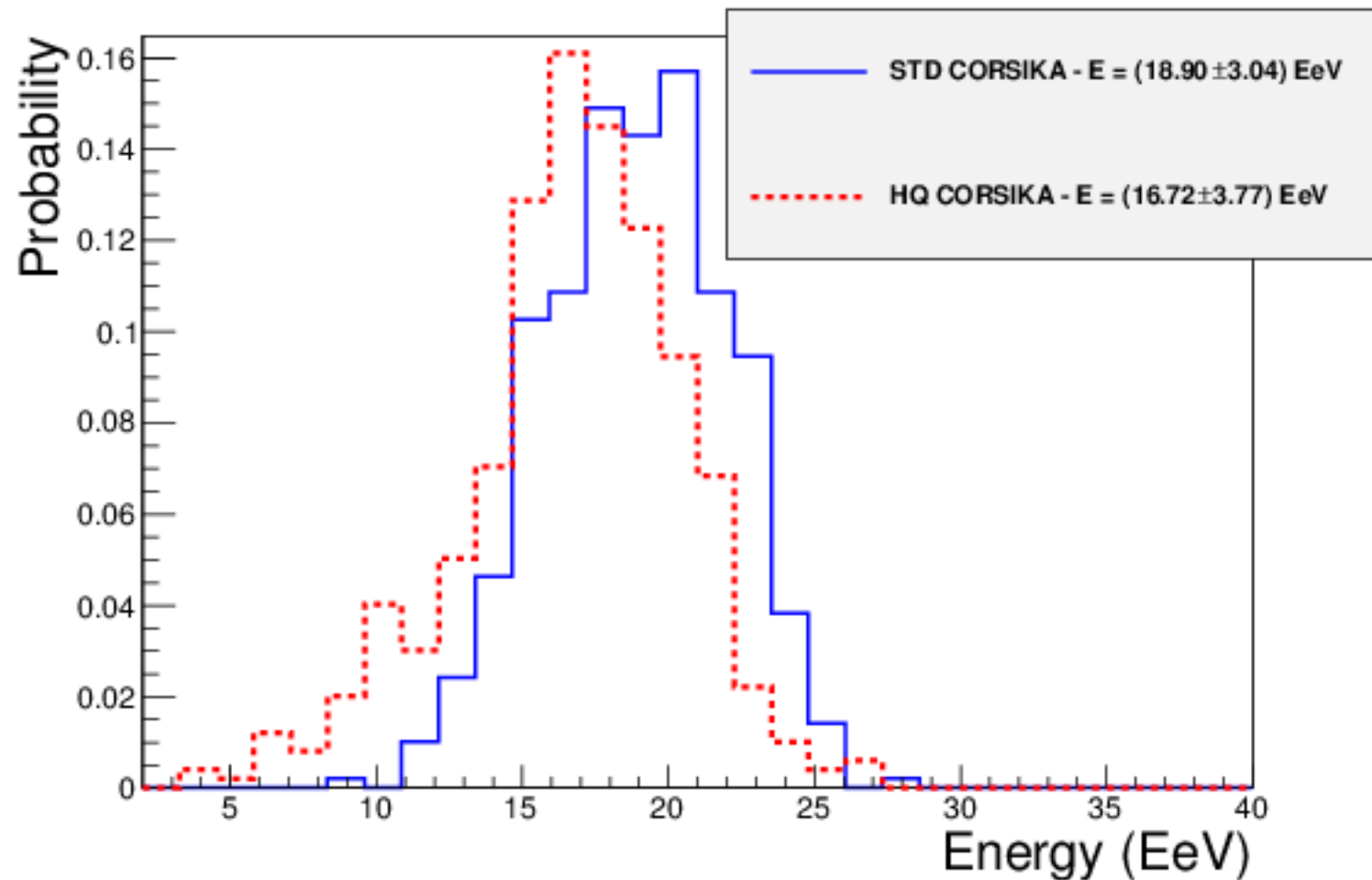
- Sinal médio de múons e razão entre o sinal de múons para CORSIKA via IQM e CORSIKA padrão.



Menor valor de
sinal para CORSIKA
via IQM.



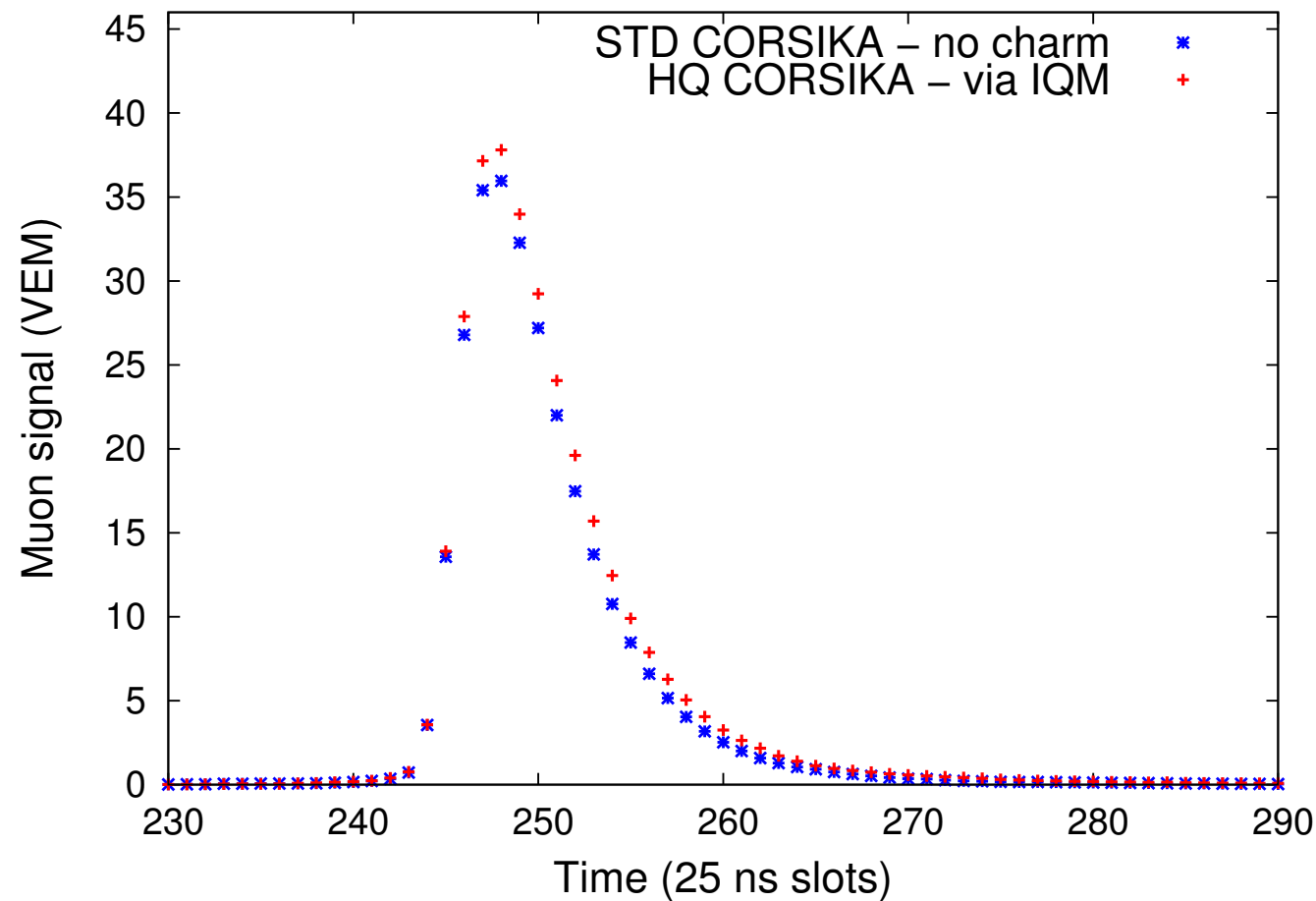
- Distribuição de energias reconstruídas. 200 eventos reconstruídos. CORSIKA IQM \times CORSIKA STD.



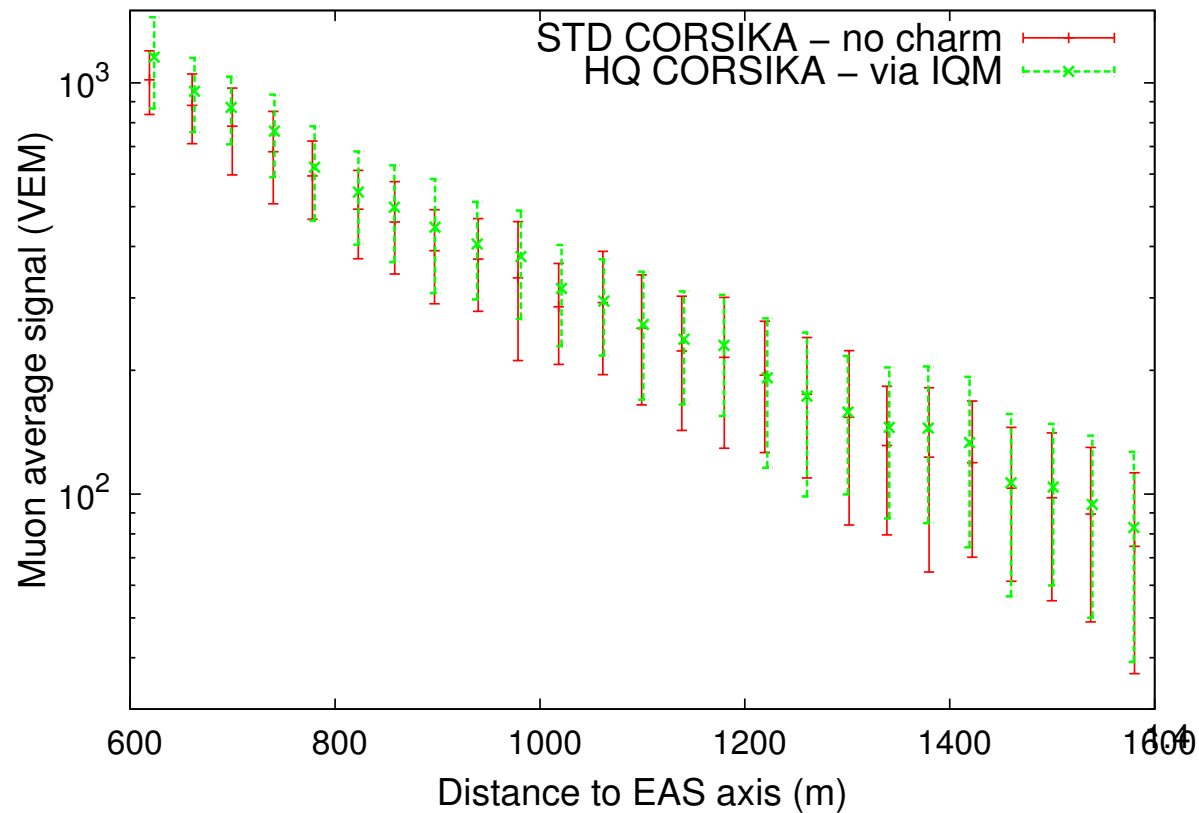
Menor energia reconstruída - $\approx 10\%$

2. Ângulo zenital de 60 graus

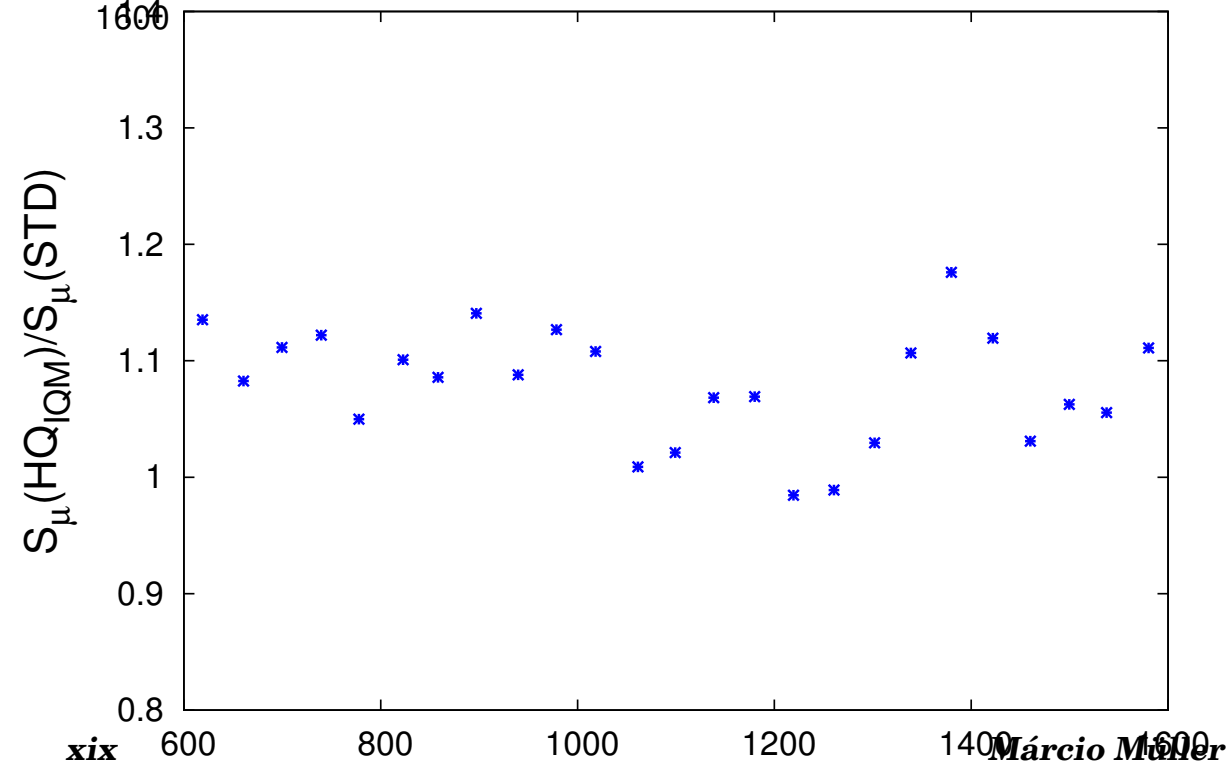
- Sinal muônico médio dos slots. 2000 estações “triggeradas”. CORSIKA IQM \times CORSIKA STD.



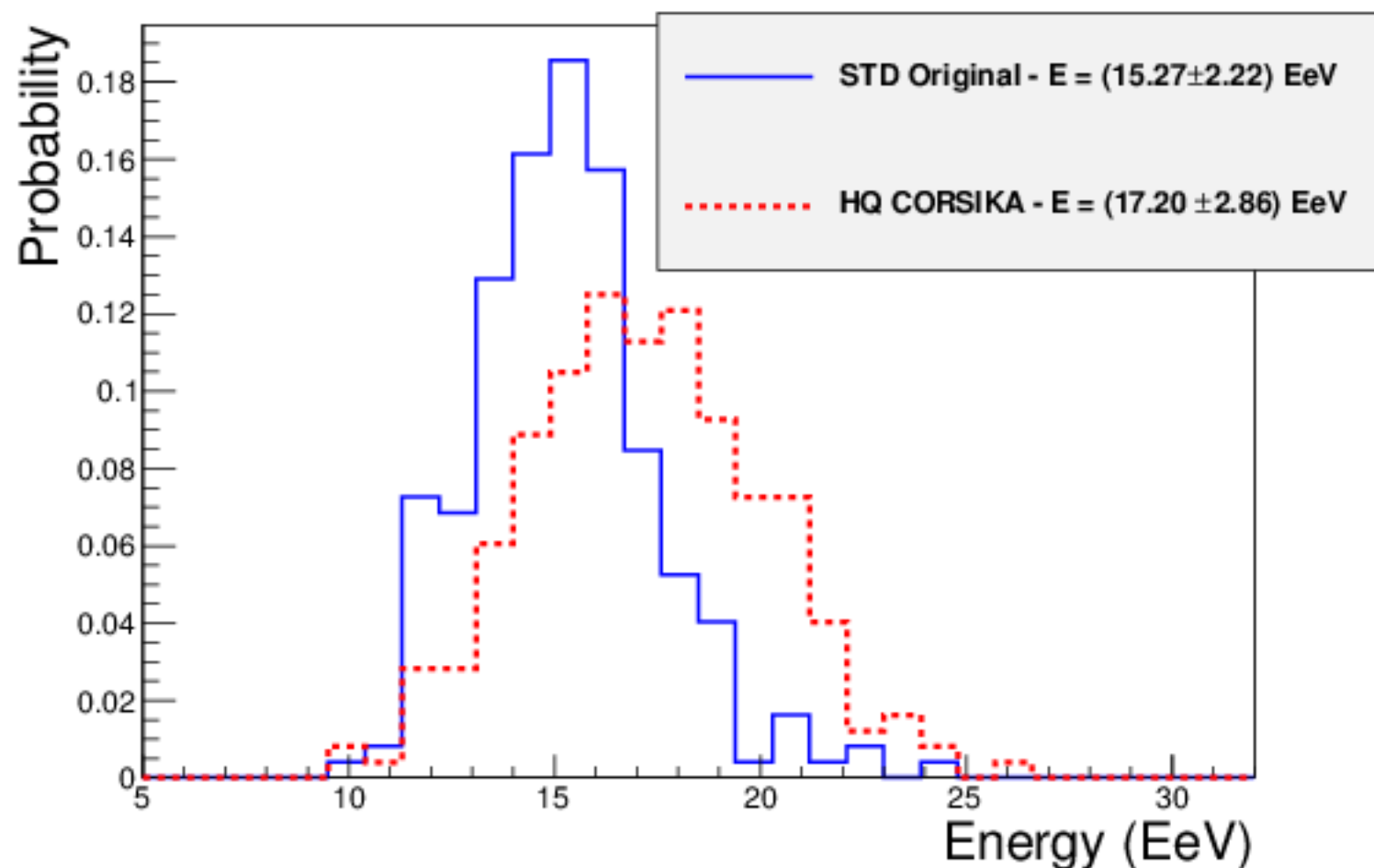
- Sinal médio de múons e razão entre o sinal de múons para CORSIKA via IQM e CORSIKA padrão.



Valor de sinal maior
para CORSIKA IQM
- $\approx 15\%$.



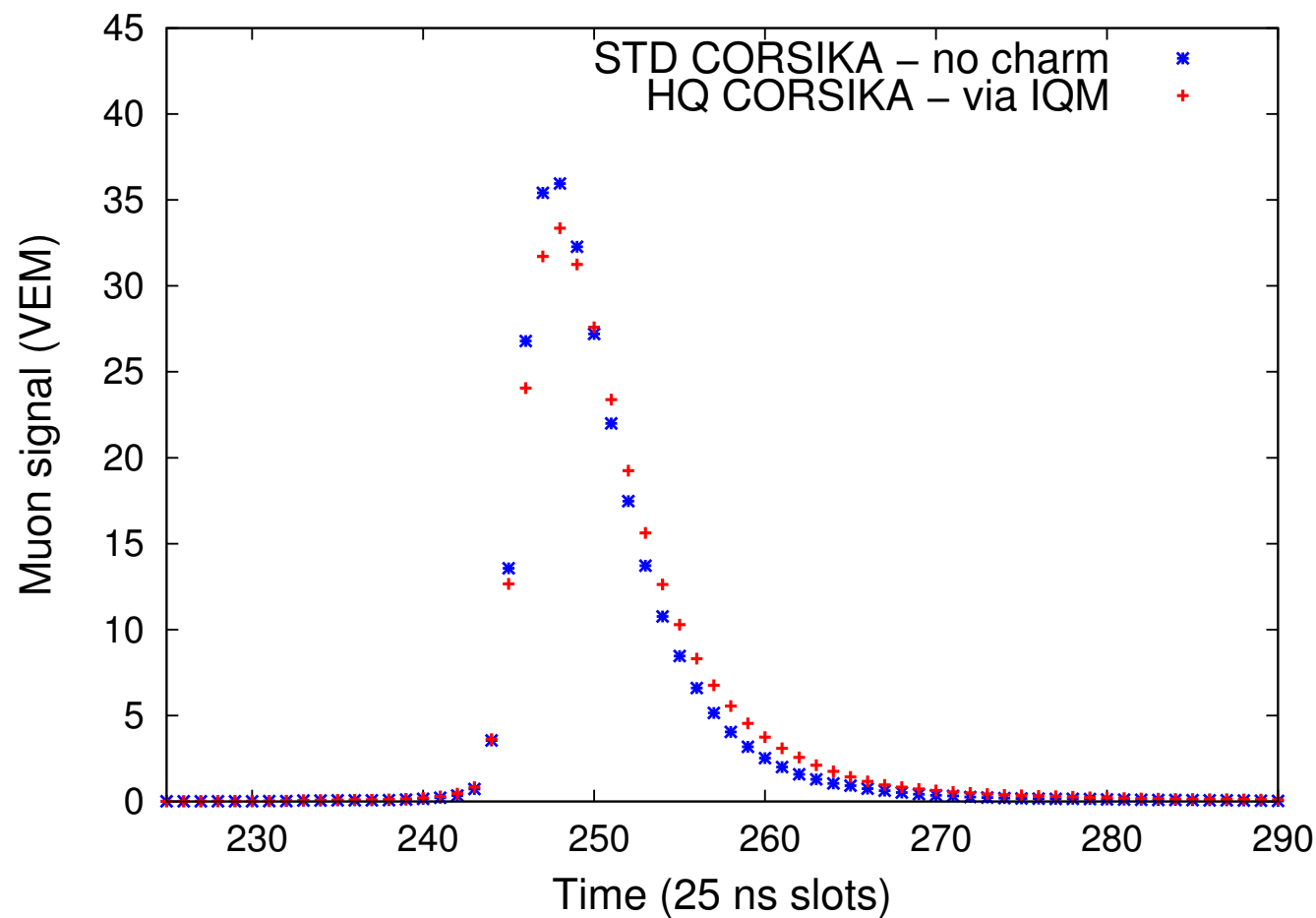
- Distribuição de energias reconstruídas. 200 eventos reconstruídos. CORSIKA IQM \times CORSIKA STD.



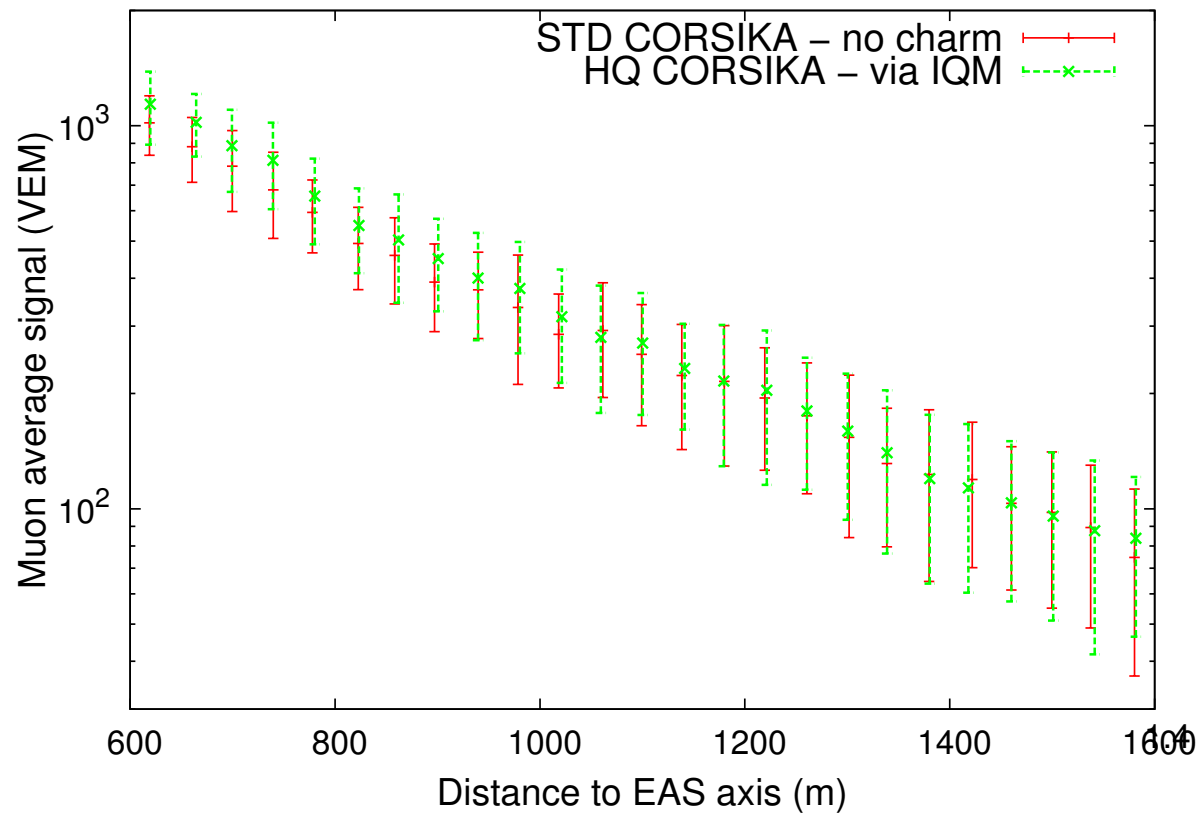
Maior energia reconstruída - $\approx 10\%$

3. 60 graus - Chuveiros separados para $F_E \geq 0.8$

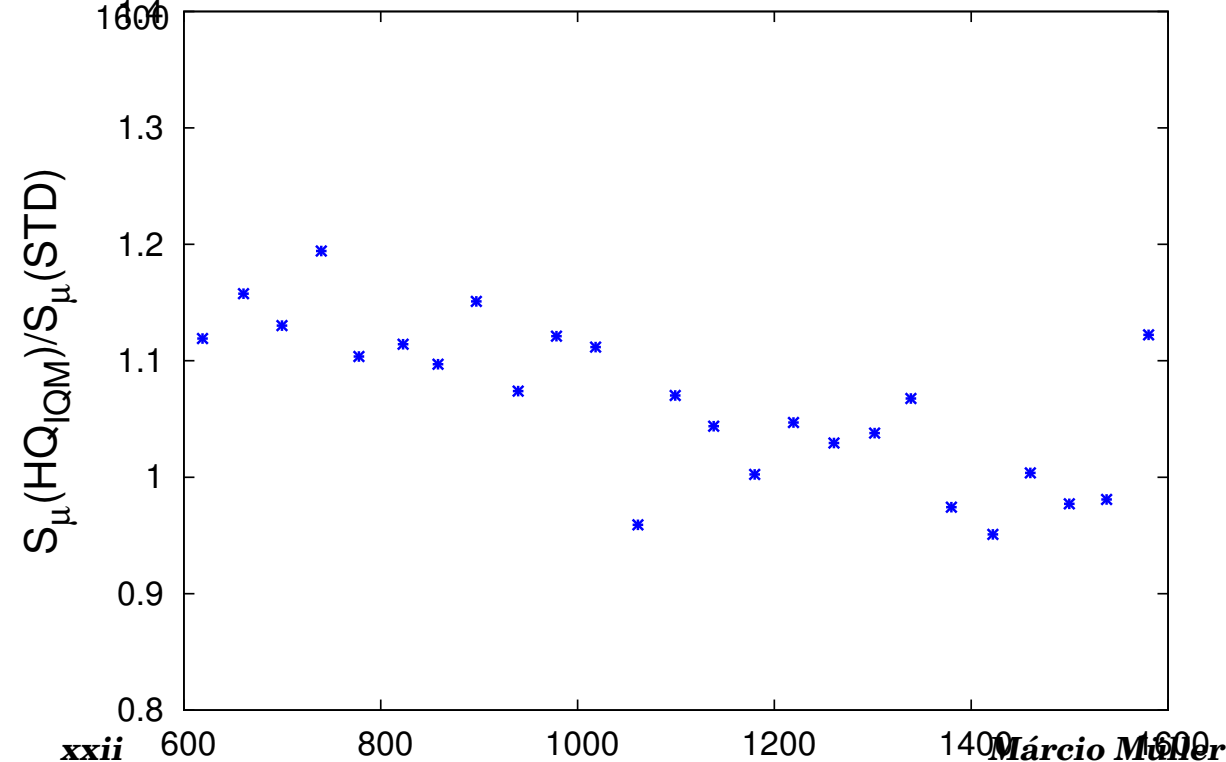
- Sinal muônico médio dos slots. 2000 estações “triggeradas”. CORSIKA IQM \times CORSIKA STD.



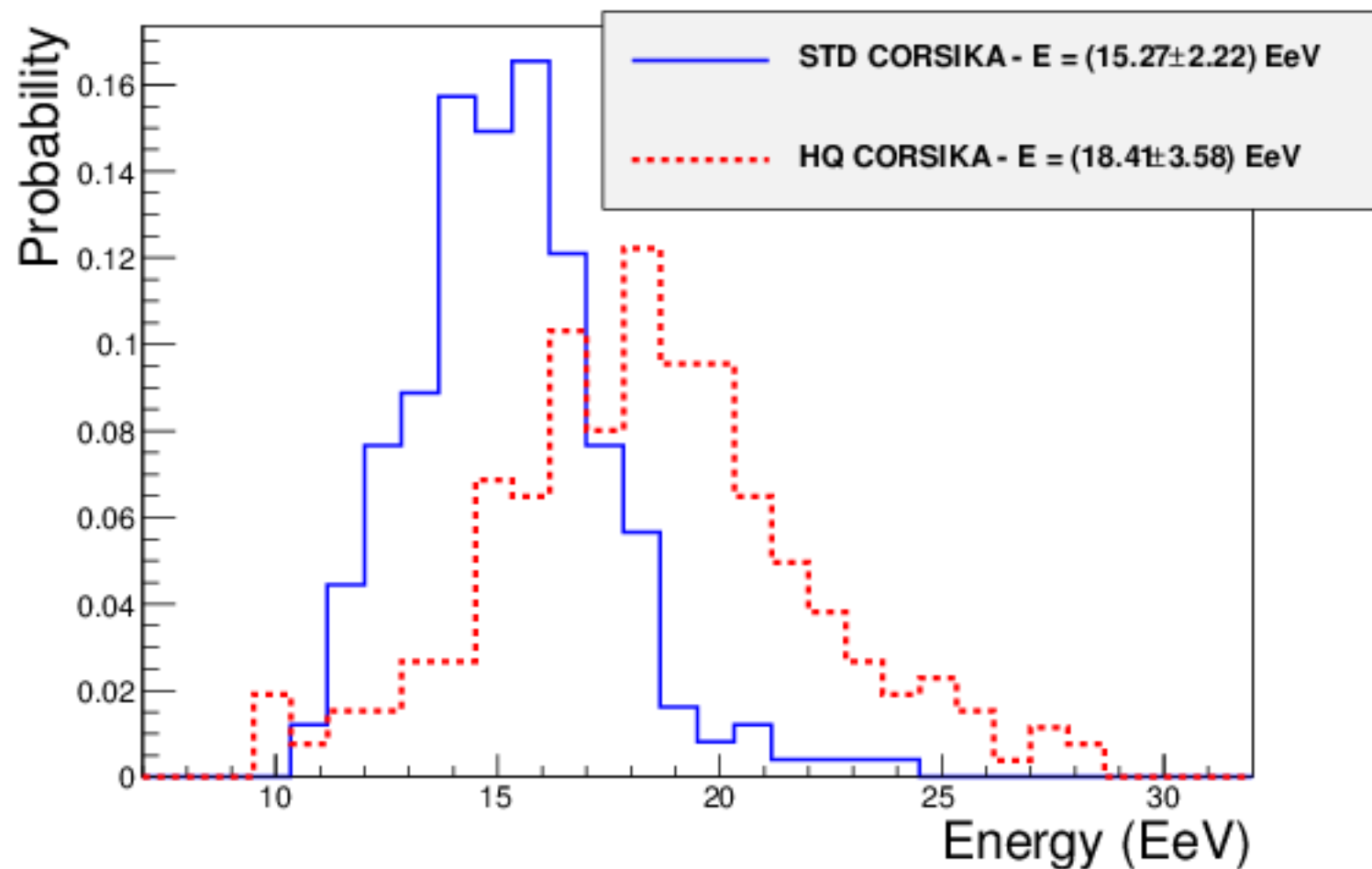
- Sinal médio de múons e razão entre o sinal de múons para CORSIKA via IQM e CORSIKA padrão.



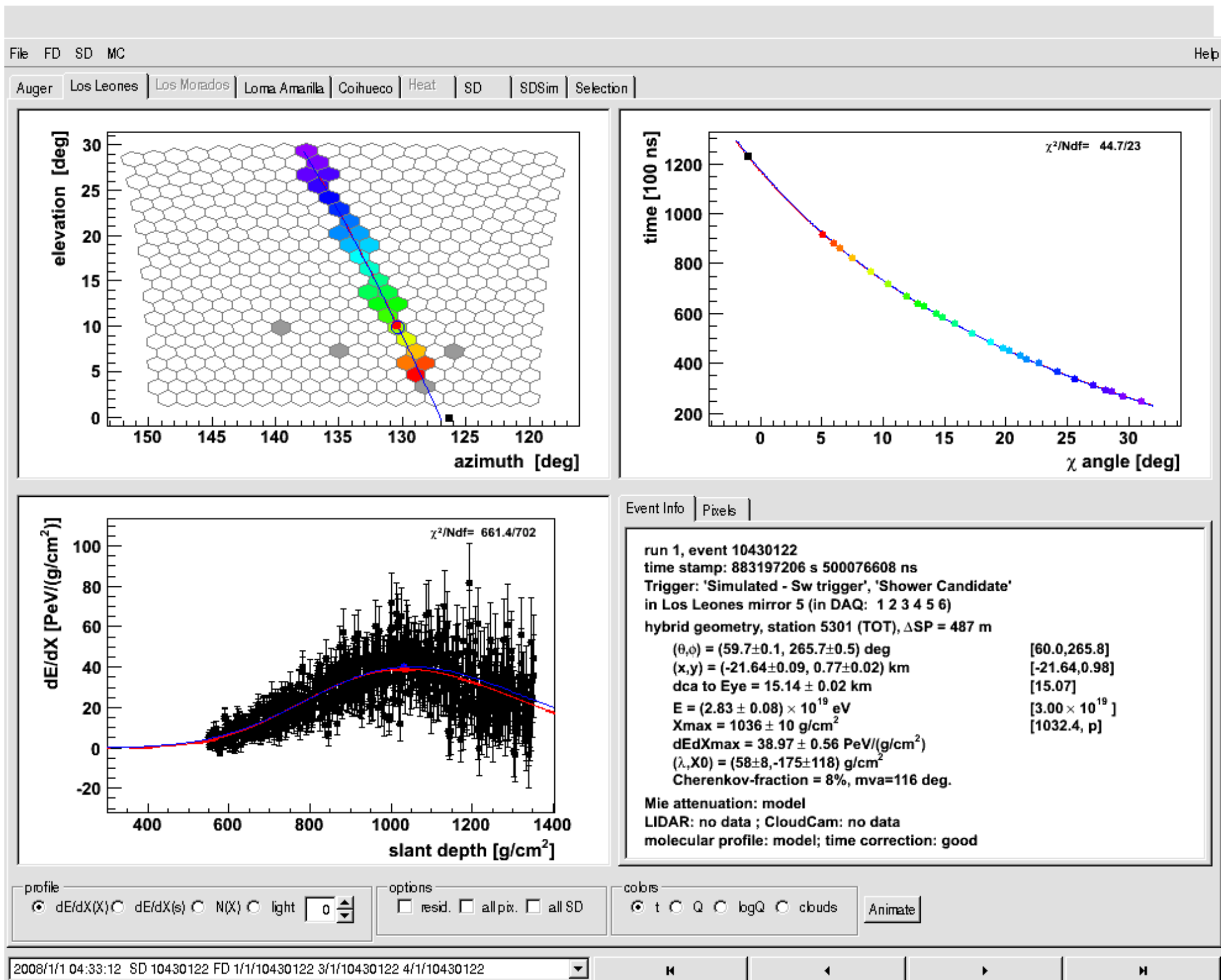
Valor de sinal maior
para CORSIKA IQM
- $\approx 20\%$.

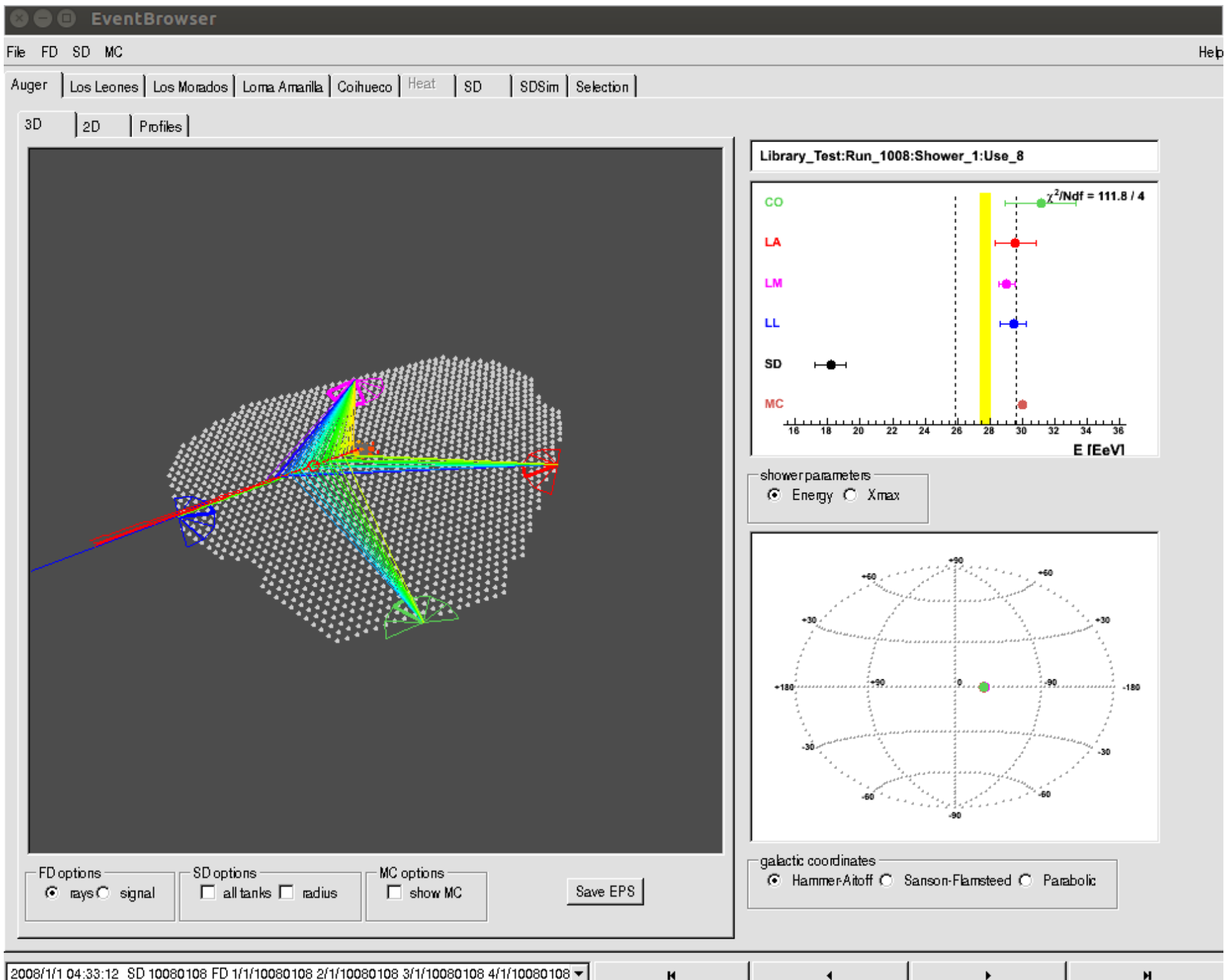


- Distribuição de energias reconstruídas. 200 eventos reconstruídos. CORSIKA IQM \times CORSIKA STD.



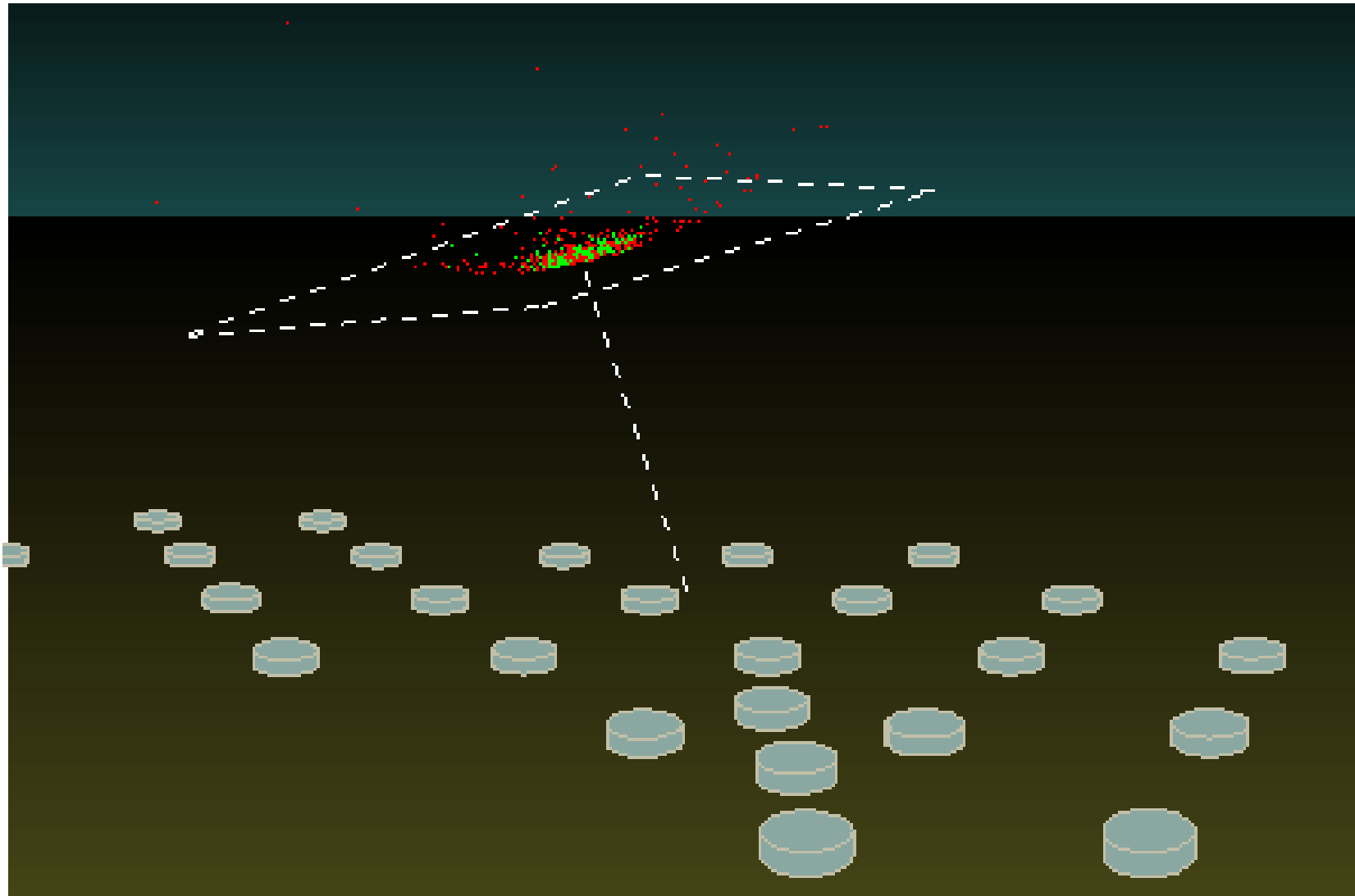
Maior energia reconstruída - $\approx 12\%$



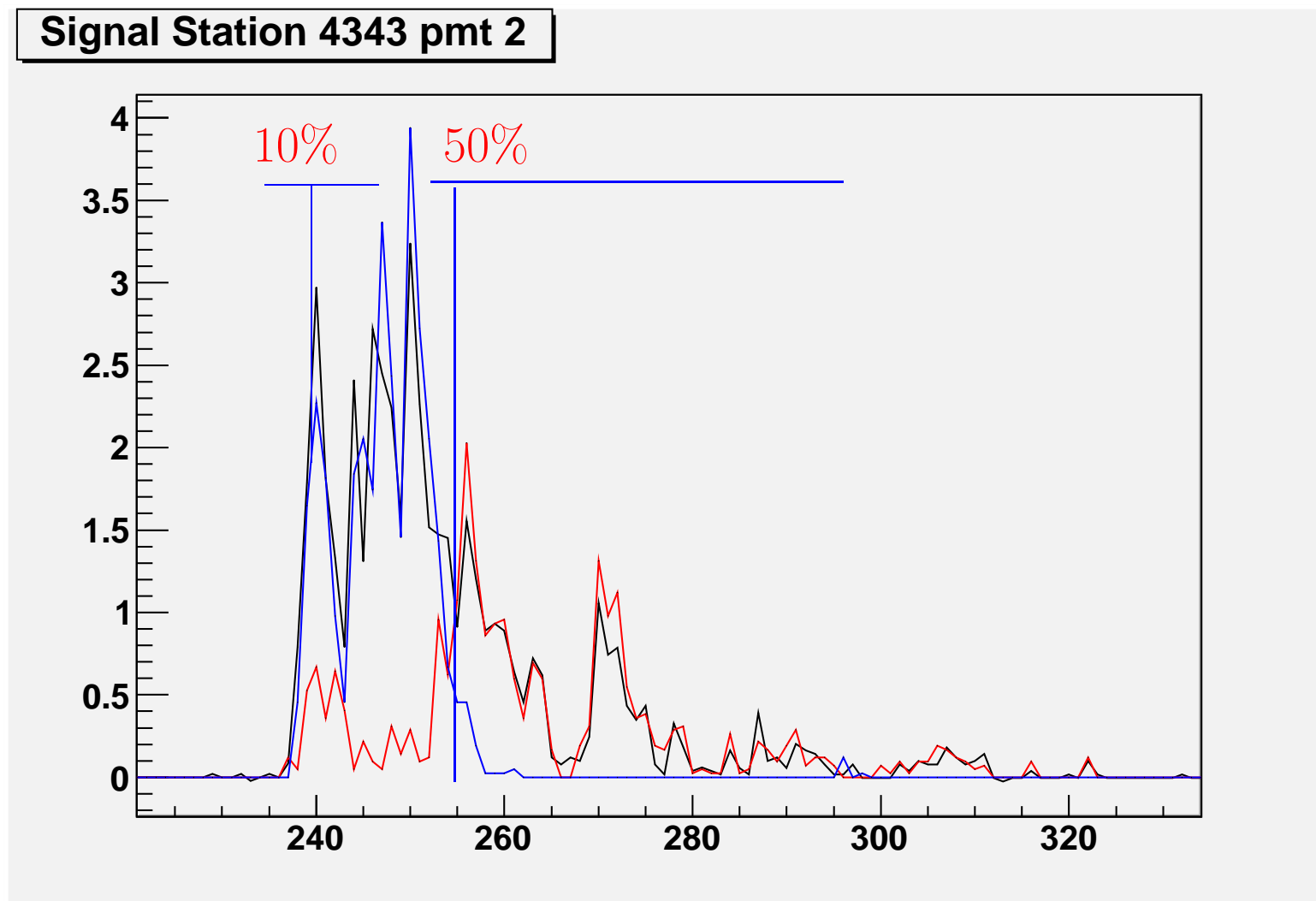


V. RISETIME

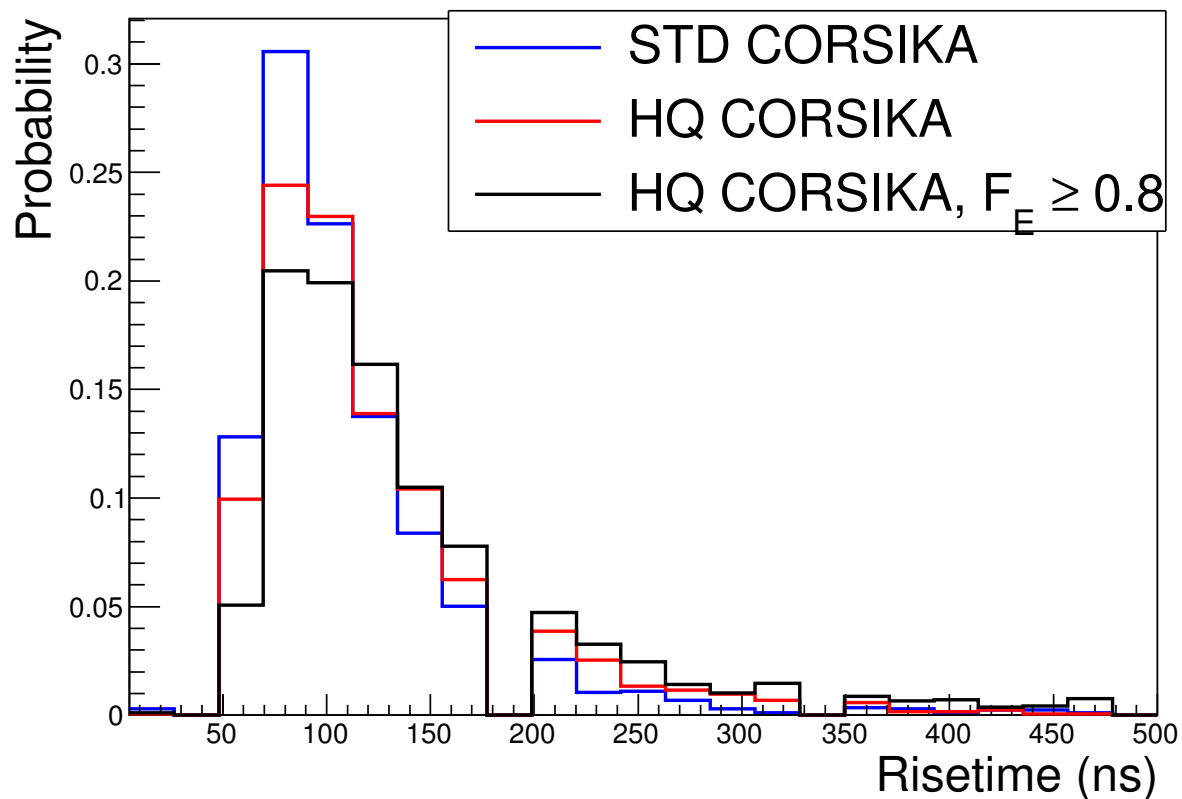
- Risetime - Tempo de subida do sinal dos tanques Cherenkov.
- Usado como parâmetro para separar componentes muônicas e eletromagnéticas.



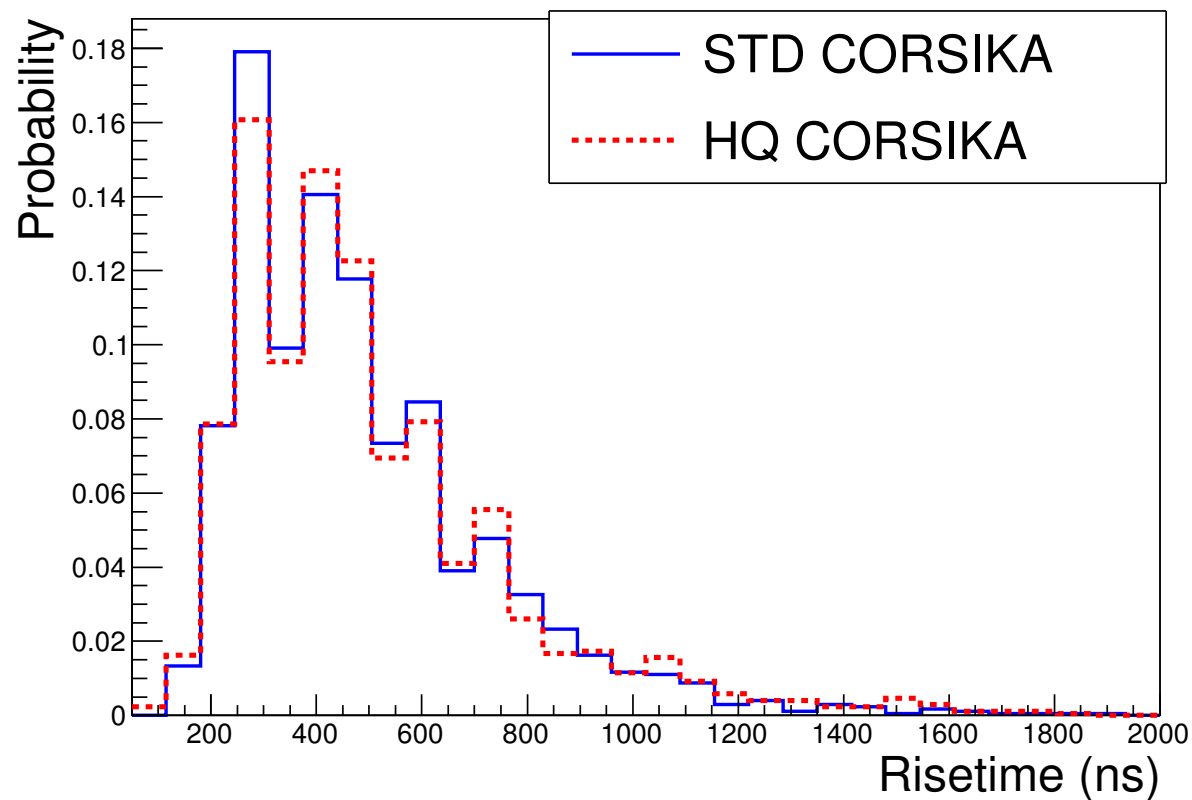
- As diferentes componentes (eletromag. e muônica) chegam em tempos diferentes aos tanques.
- t_{10-50} - Tempo em que a integral do sinal alcance 10% e 50% do sinal.

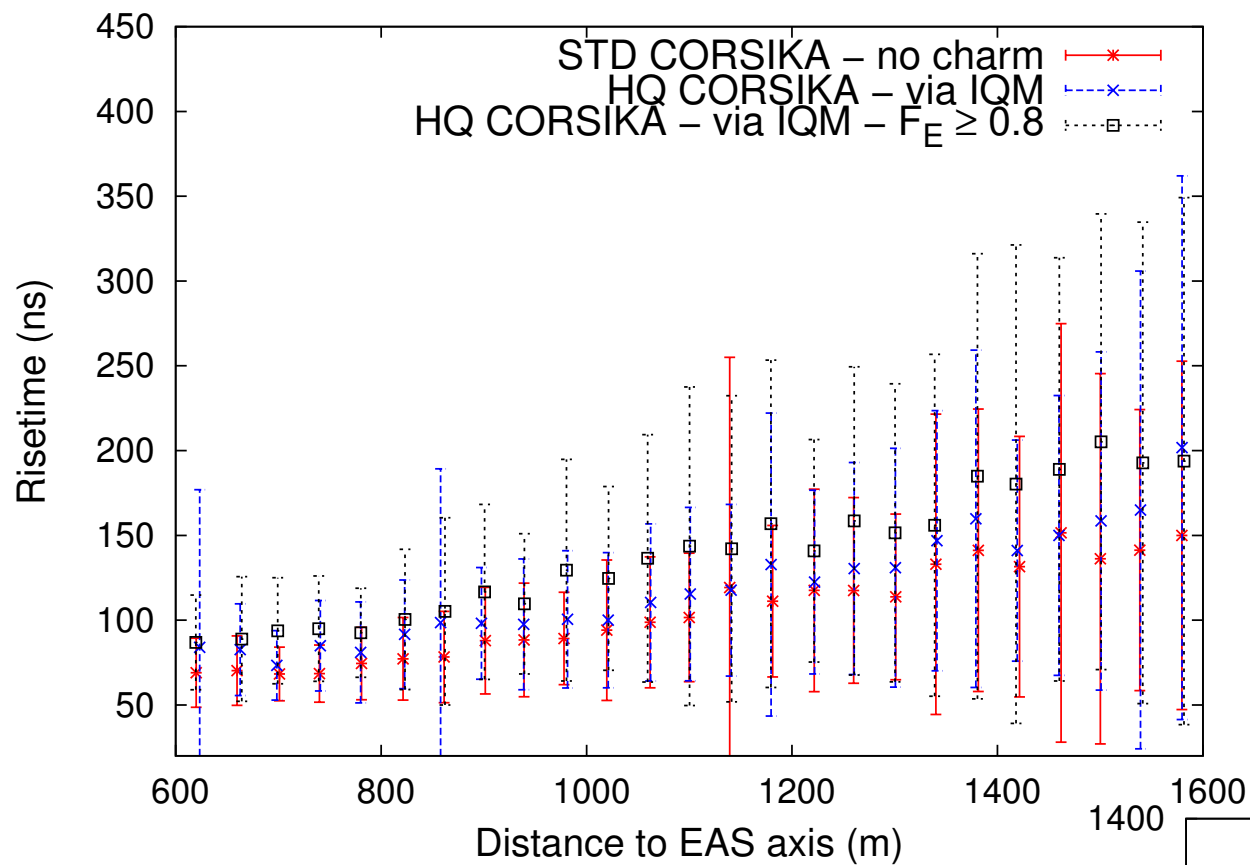


A. Resultados

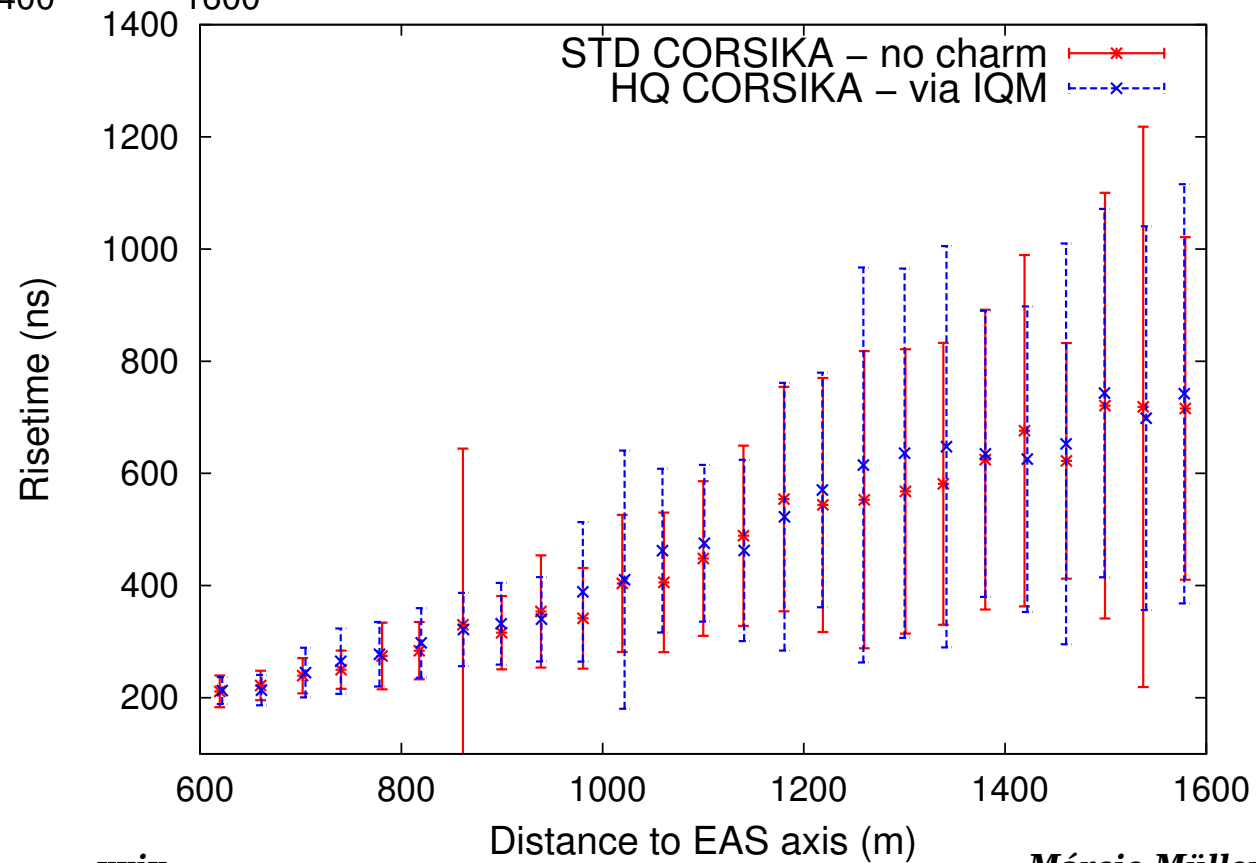


Distribuição de
risetime. 2000
estações “triggeradas”.
CORSIKA IQM ×
CORSIKA STD.
60° e verticais.

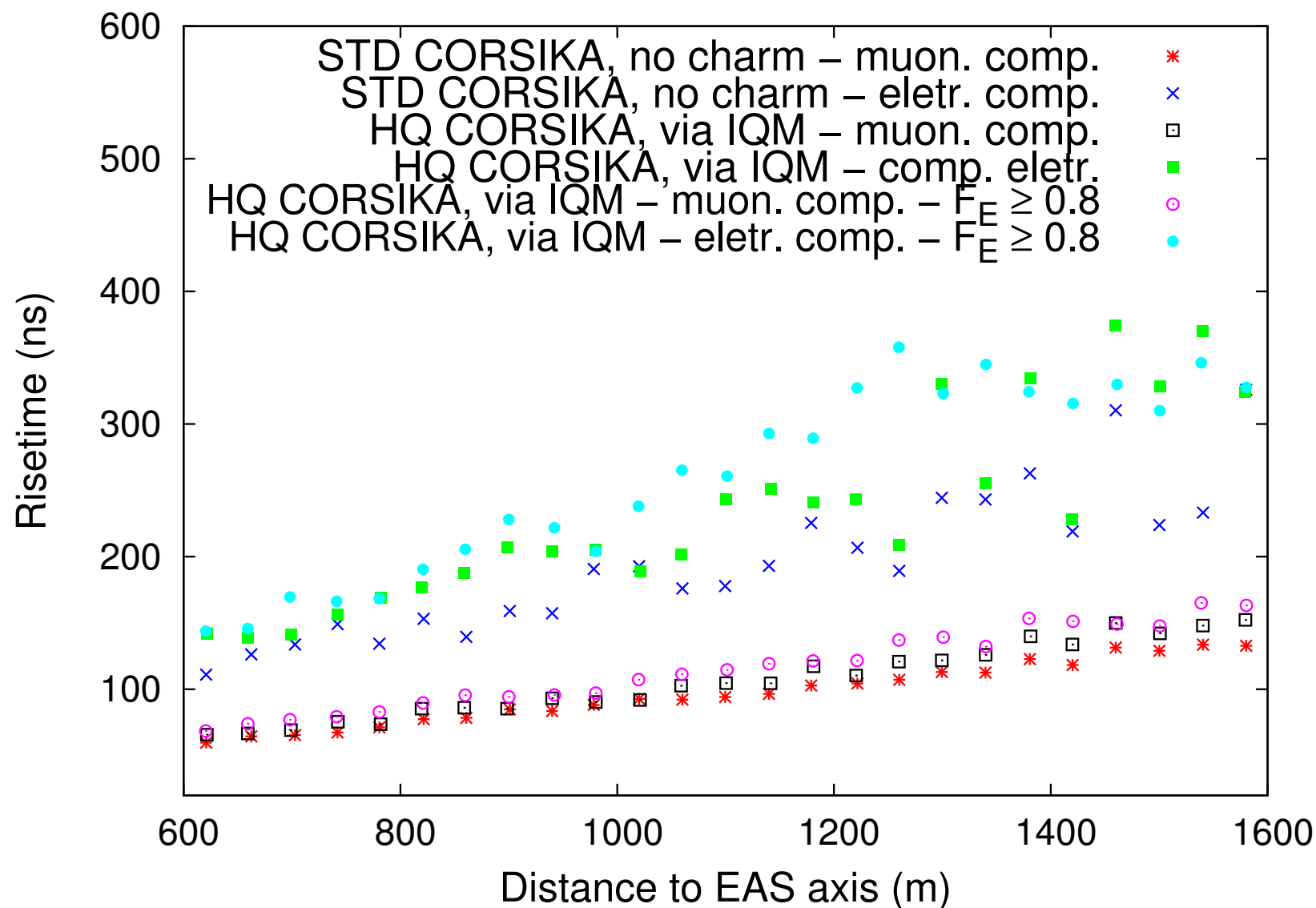




Risetime em função ao
 eixo do CAE. 2000
 estações “triggeradas”.
 CORSIKA IQM x
 CORSIKA STD.
60° e verticais.



- Comparação de risetimes entre as componentes puras.
- Comp. eletromag. e muônica para $\theta = 60^\circ$ - CORSIKA padrão, CORSIKA via IQM e CORSIKA via IQM ($F_E \geq 0.8$).



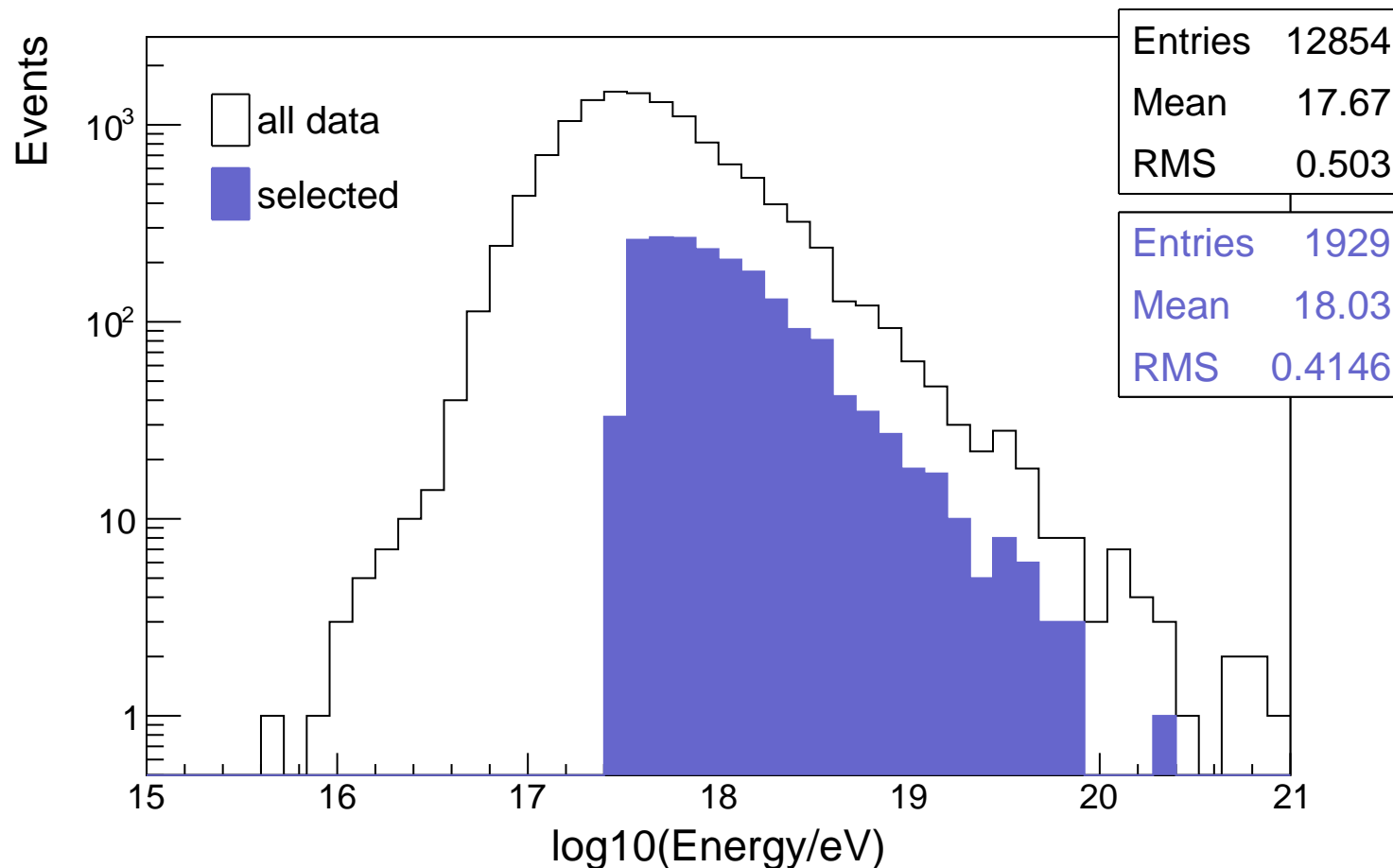
VI. CONCLUSÕES

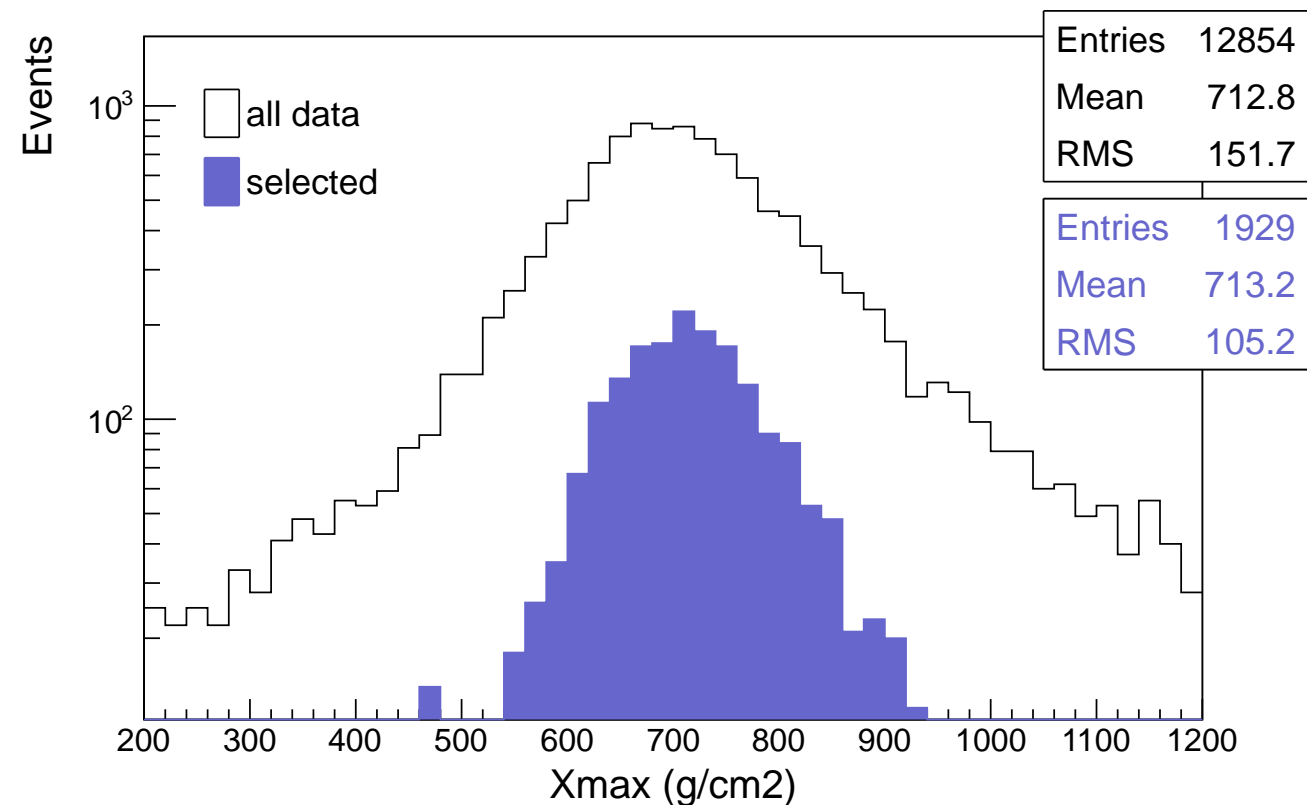
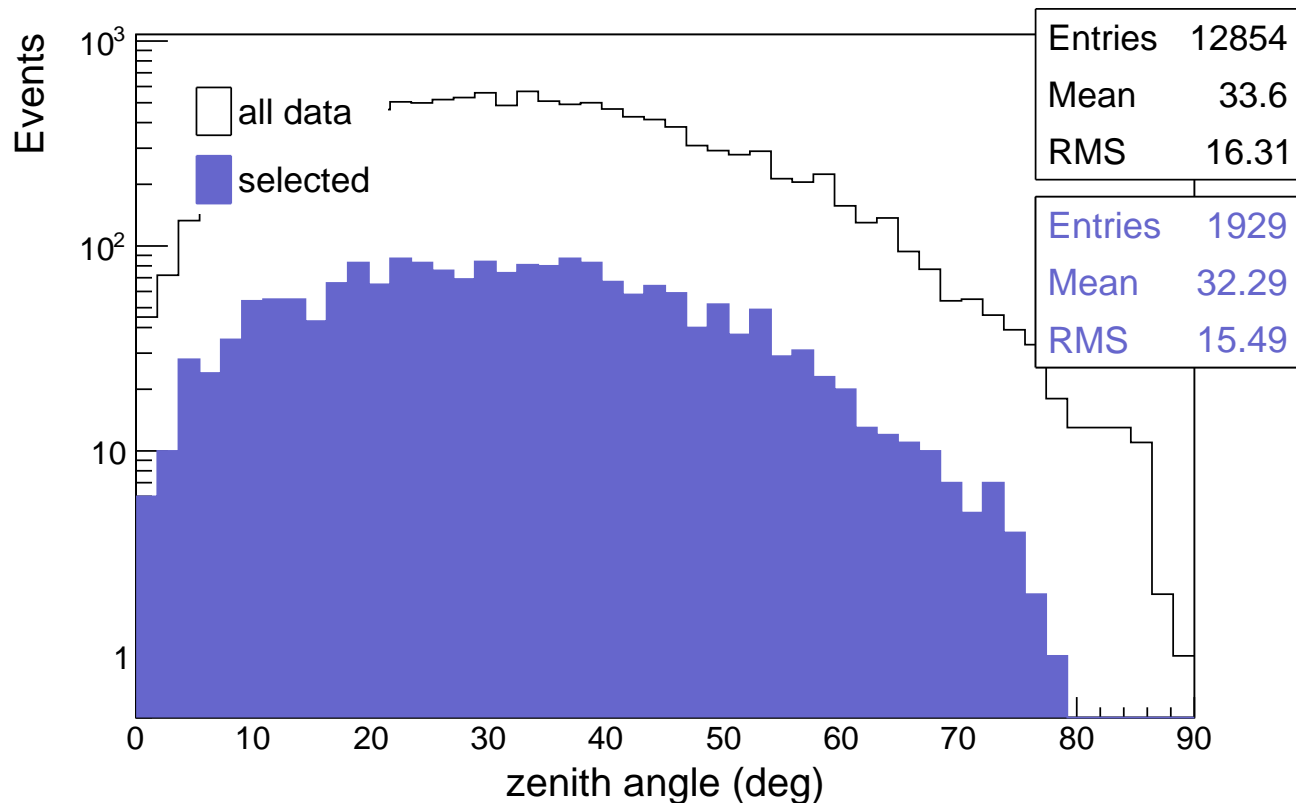
- Temos um excesso na densidade de múons de 20 a 40% para chuveciros simulados pelo CORSIKA Heavy via IQM.
- A distribuição de energia dos charms produzidos via IQM [4] alcançam energias que podem chegar a $3 \times 10^{19} \text{ eV}$ ($F_E \approx 1$).
- Os charms mais energéticos geram mais múons ao nível do detector.
- Chuveciros inclinados tem mais múons vindo do decaimento de charm e alcançam o chão mais espalhados.
- Para chuveciros verticais o excesso de múons está mais concentrado no centro do chuveciro, $< 300 \text{ m}$.
- Observando o formato temporal do sinal, temos uma diferença relevante para chuveciros verticais.
- Para chuveciros verticais temos energias menores na reconstrução dos chuveciros - 10%.

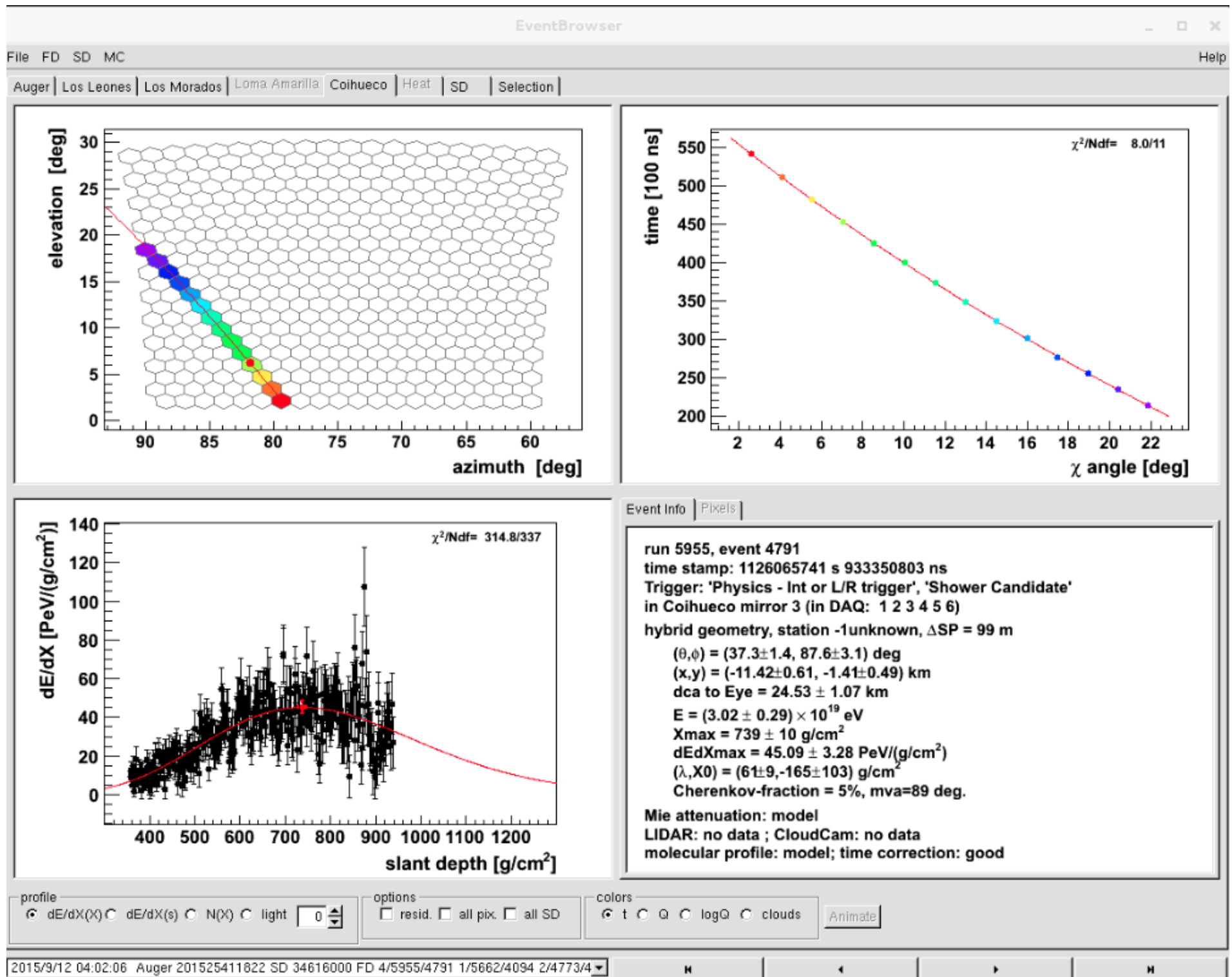
- Para chuveiros com $\theta = 60^\circ$, temos energias maiores na reconstrução dos chuveiros - 10%.
- Para $\theta = 60^\circ$, $F_E \geq 0.8$, temos maiores energias reconstruídas - 12%
- Neste caso a razão do sinal ($S_\mu(\text{heavy}_{IQM})/S_\mu(STD)$) alcança 15%.
- Nenhuma mudança relevante é observada na frente do chuveiro nos tanques Cherenkov. A menos para alguns chuveiros particulares com partículas pesadas com altas frações de energia do primário.
- Na distribuição de rissetime para as componentes puras é observado um leve aumento para os rissetimes comparando entre CORSIKA padrão e CORSIKA via IQM.
- Charms altamente energéticos em CAEs podem ser a fonte para explicar eventos anômalos observados no Observatório Pierre Auger.

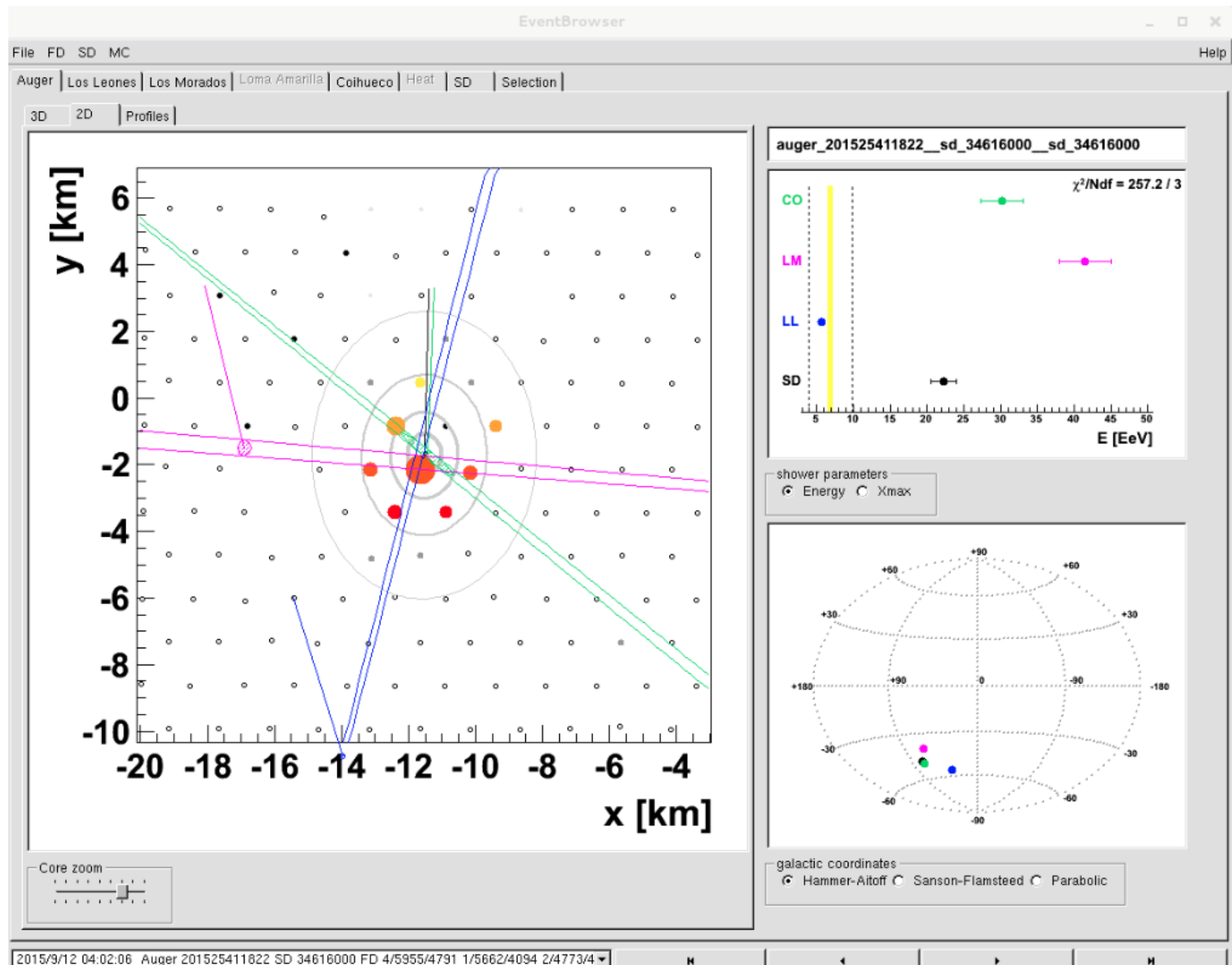
VII. FD SHIFT

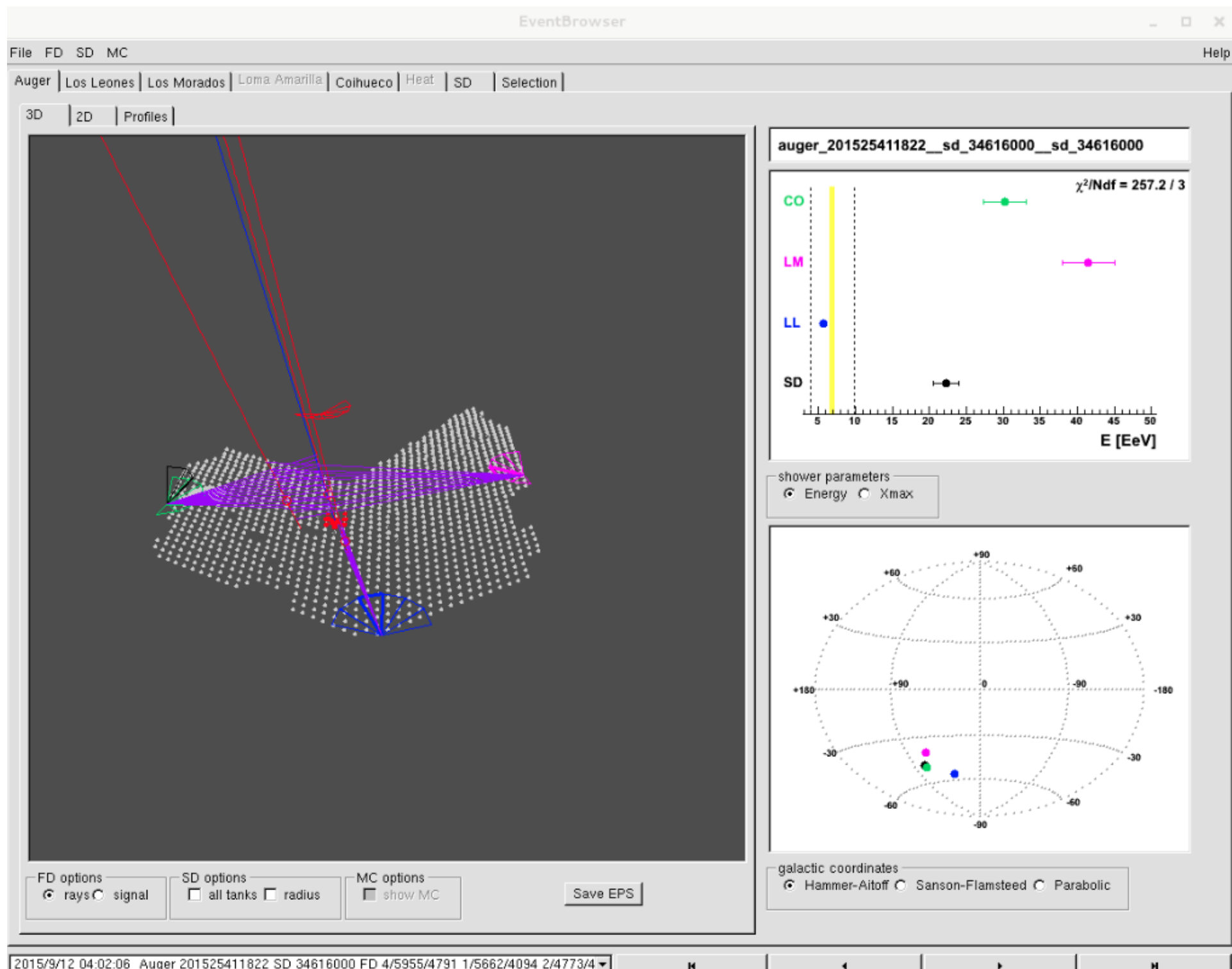
- Tomada de dados entre os dias 3 a 21 de setembro - 18 dias
- Das 20:40 hs às 06:30 hs aproximadamente
- Todo dia posterior a tomada de dados é feita uma reconstrução rápida dos dados observados.











-
- [1] C. A. García, et al, *Production and propagation of heavy hadrons in air-shower simulators*, *Astroparticle Physics*, 46, 29-33, 2013.
- [2] Heck, D., Knapp, J., Capdevielle, J. N., Schatz, G., and Thouw, T., Report FZKA 6019 (1998), Forschungszentrum Karlsruhe, Germany.
- [3] A. Bueno and A. Gascón, *Corsika implementation of heavy quark production and propagation in Extensive Air Showers*, *Computer Physics Communications*, 185, 638-650, 2014.
- [4] M. Muller and V. P. Gonçalves, *Longitudinal profiles of Extensive Air Showers with inclusion of charm and bottom particles*, in submission.
- [5] M. Muller and V. P. Gonçalves, *Prompt muons and neutrinos in simulations of Extensive Air Showers*, in submission.
- [6] A. Gascón and A. Bueno, *Charm production and identification in EAS*, Gap Note (Internal notes of Pierre Auger Collaboration), 2011-019, 2011.

