

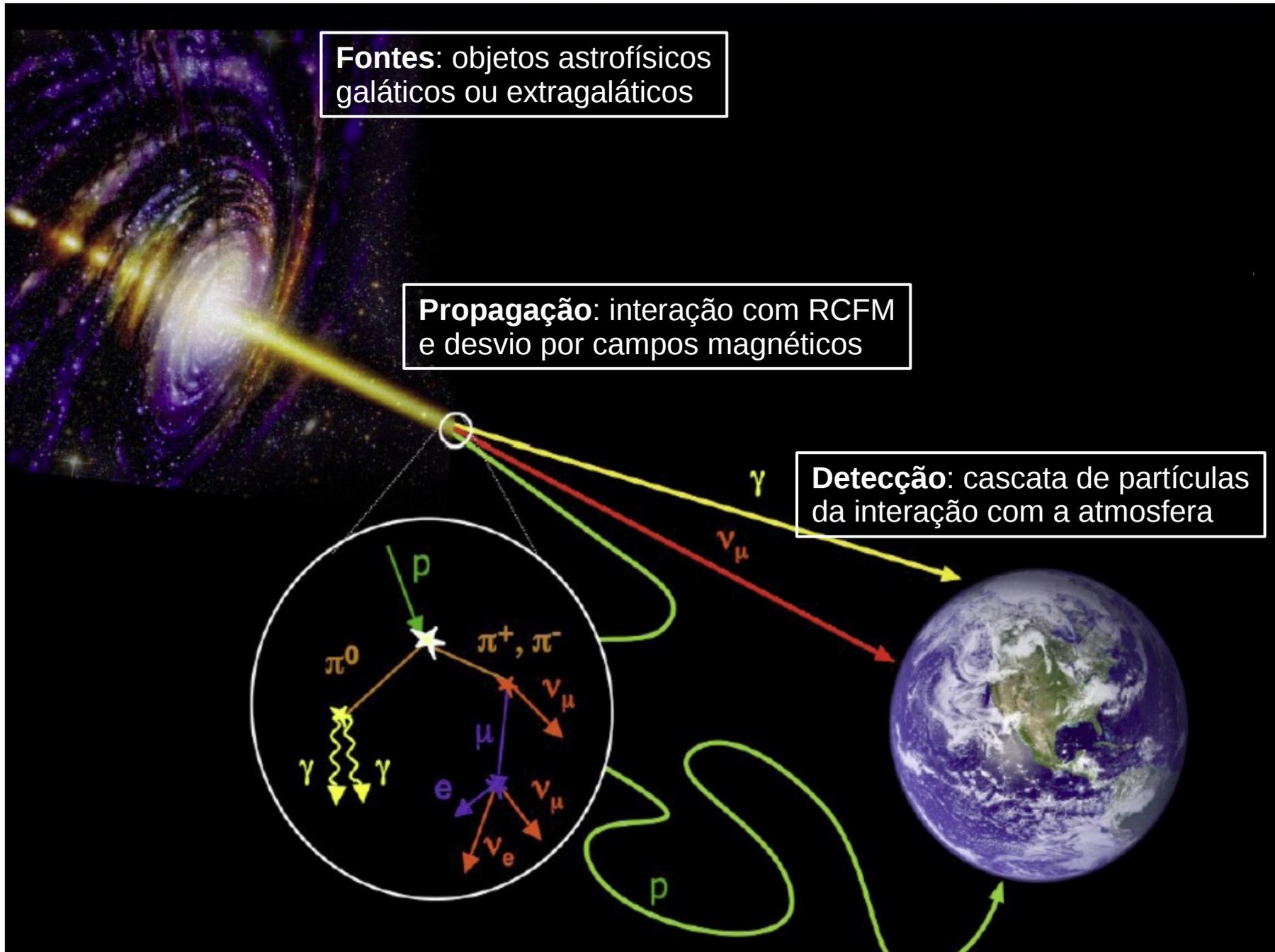
Influência da física difrativa em chuveis atmosféricos extensos ultraenergéticos

Luan B. Arbeletche

**Orietador: Victor B. Gonçalves
Coorientador: Márcio A. Müller**

**Univesidade Federal de Pelotas
Grupo de Altas e Médias Energias (GAME)**

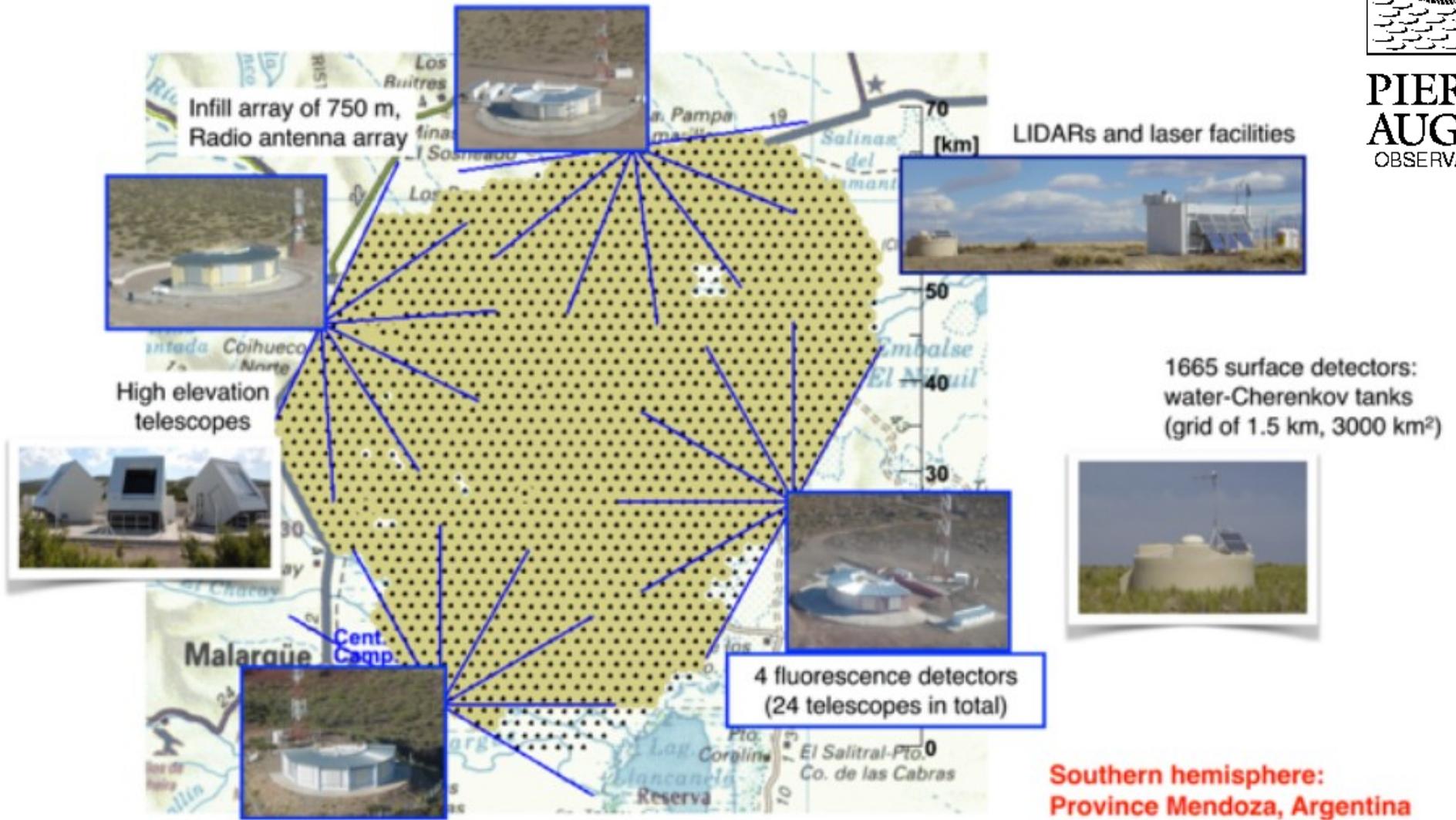
Raios C3smicos Ultra Energ3ticos



O Observatório Pierre Auger

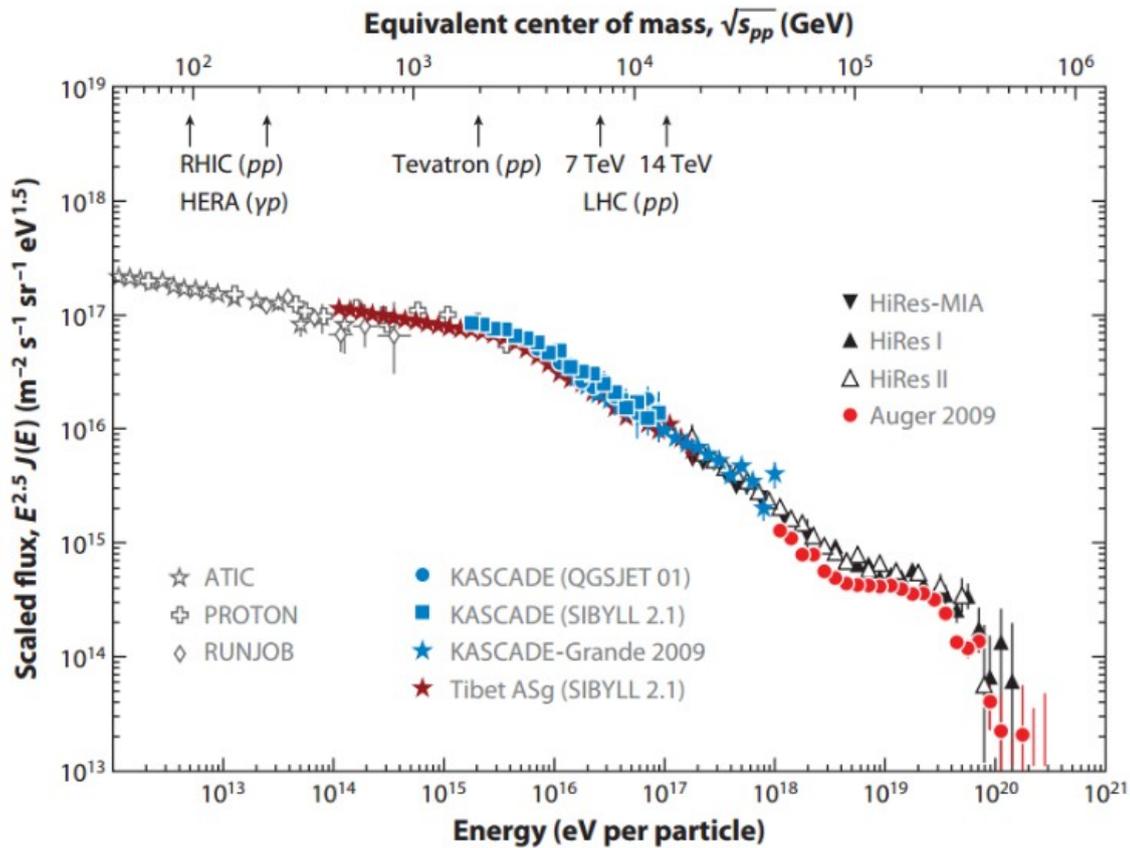


**PIERRE
AUGER**
OBSERVATORY



Detecção *híbrida* - energias acima de 3×10^{18} eV.

O espectro de Raios C3smicos

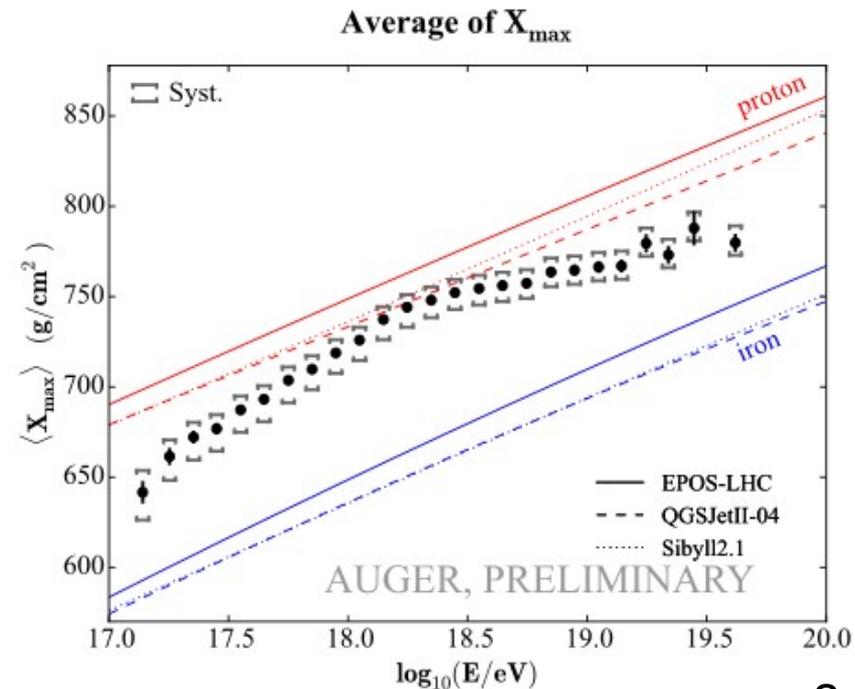


[R. Engel et al. Ann.Rev.Nucl.Part.Sci. 61 (2011) 467-489]

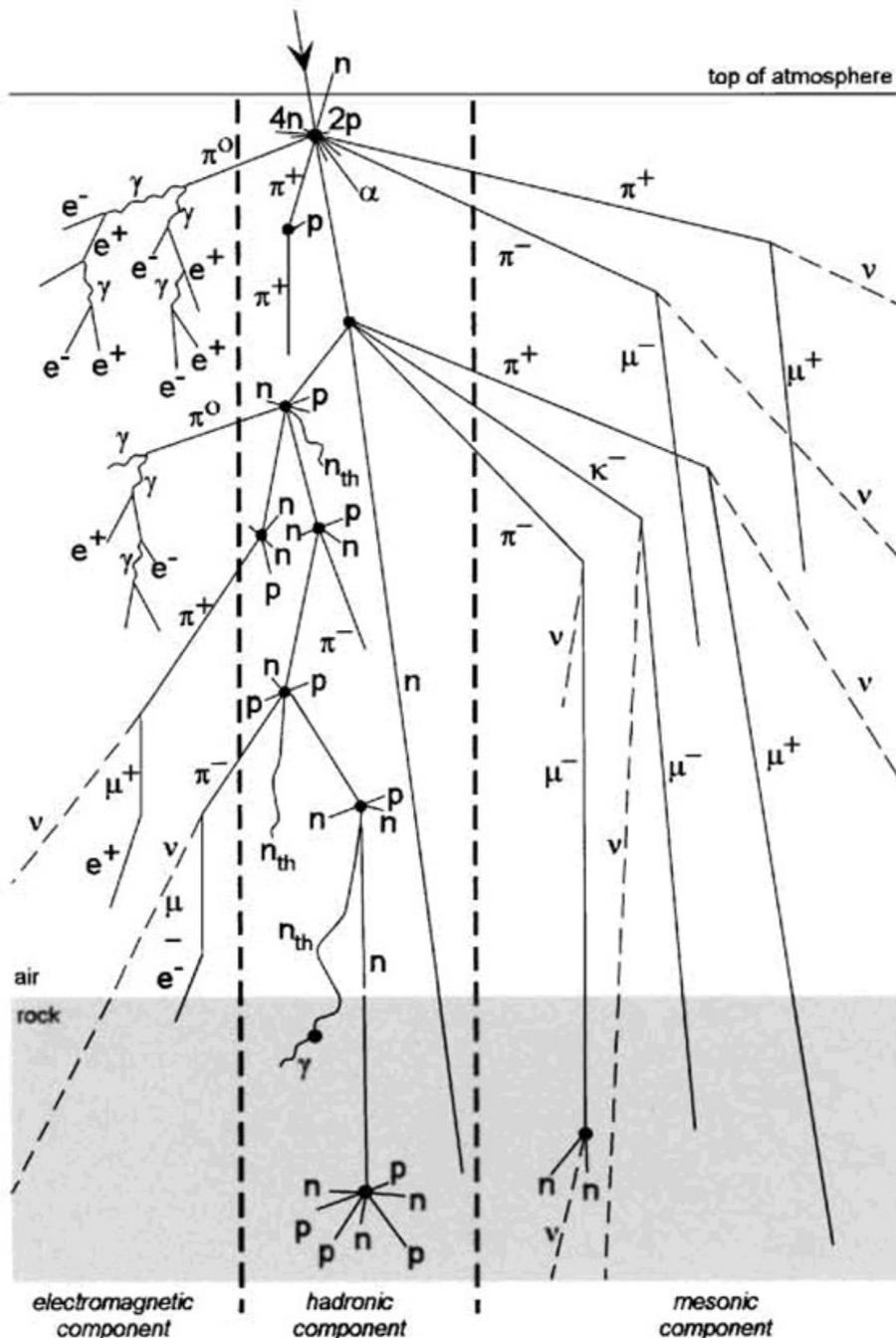
- **Regimes de energias:**
 - LHC: $\sqrt{s_{pp}} = 7 \text{ TeV e } 14 \text{ TeV}$
 - Auger: $\sqrt{s_{pp}} \leq 430 \text{ TeV}$

- **Detecção indireta**
- **Observações vs simulação, dependência de modelos!**

Por exemplo, a composição:



Chuveiros Atmosféricos Extensos



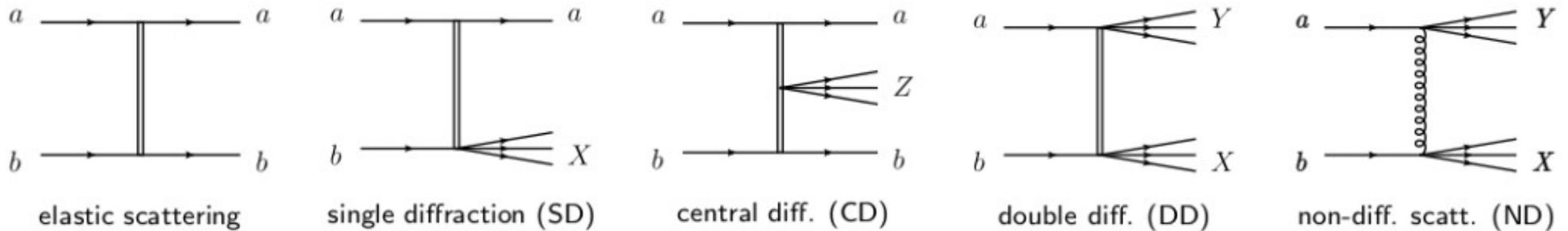
- Interações hadrônicas governam o desenvolvimento das cascatas
 - Multiplicidade (n° de secundários)
 - Elasticidade (*leading particle*)
 - Produção de píons
- $\sqrt{s_{pp}} = 430 \text{ TeV} !!!$
- Em particular, a modelagem da seção de choque hádron-hádron e núcleo-núcleo

$$X_{max}^{(p)}(E_0) = X_0 + \lambda_r \ln \left(\frac{E_0}{2n_{sec} \xi_c^{e.m.}} \right)$$

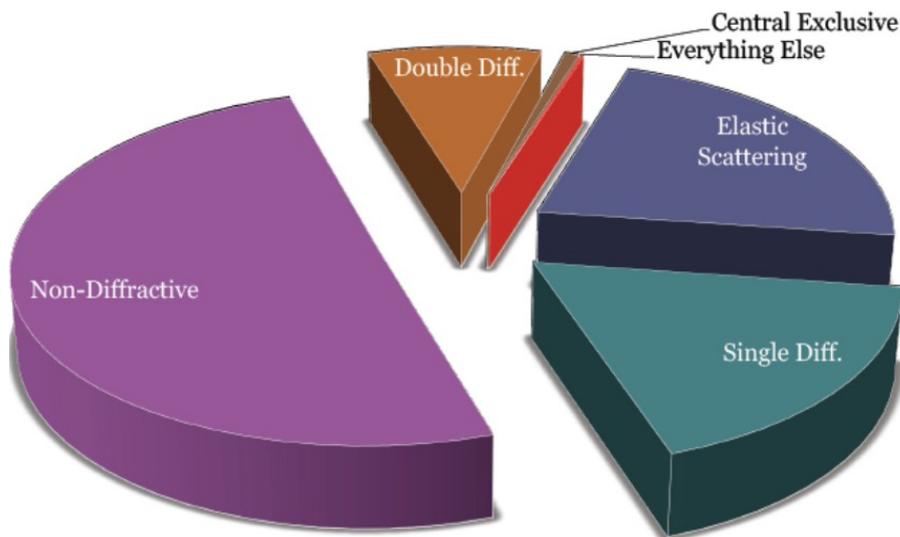
$$N_{\mu}^{(p)}(E_0) = \left(\frac{E_0}{\xi_c^{\pi}} \right)^{\beta}$$

$$\beta = \ln(n_{\pi+-}) / \ln(n_{sec})$$

Seção de choque hádron-hádron



$$\sigma_{tot} = \sigma_{el} + \sigma_{SD} + \sigma_{CD} + \sigma_{DD} + \sigma_{ND}$$



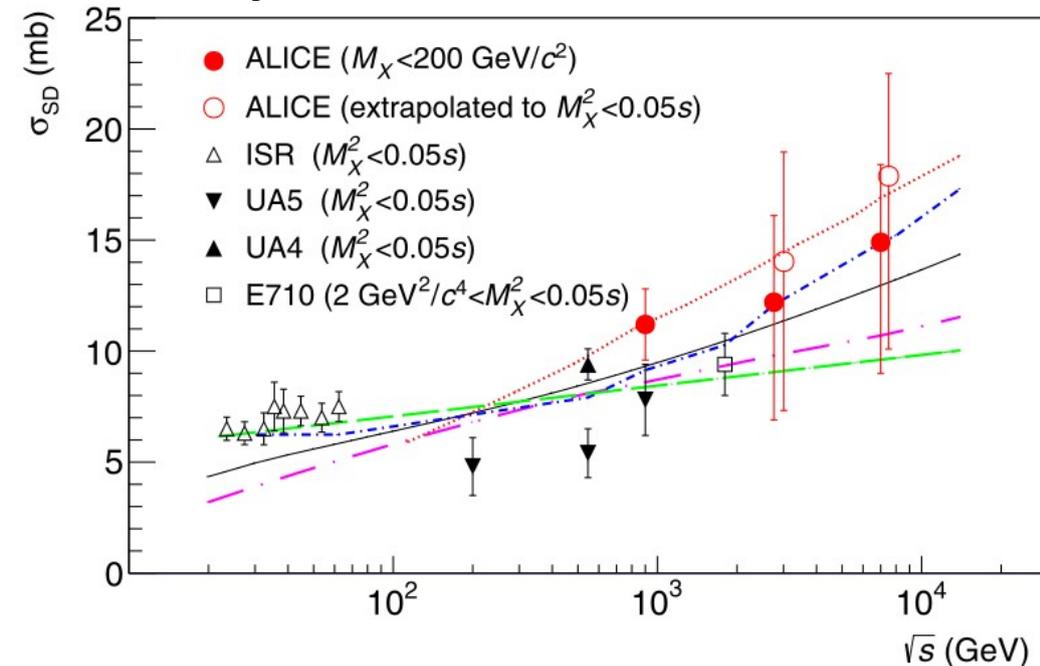
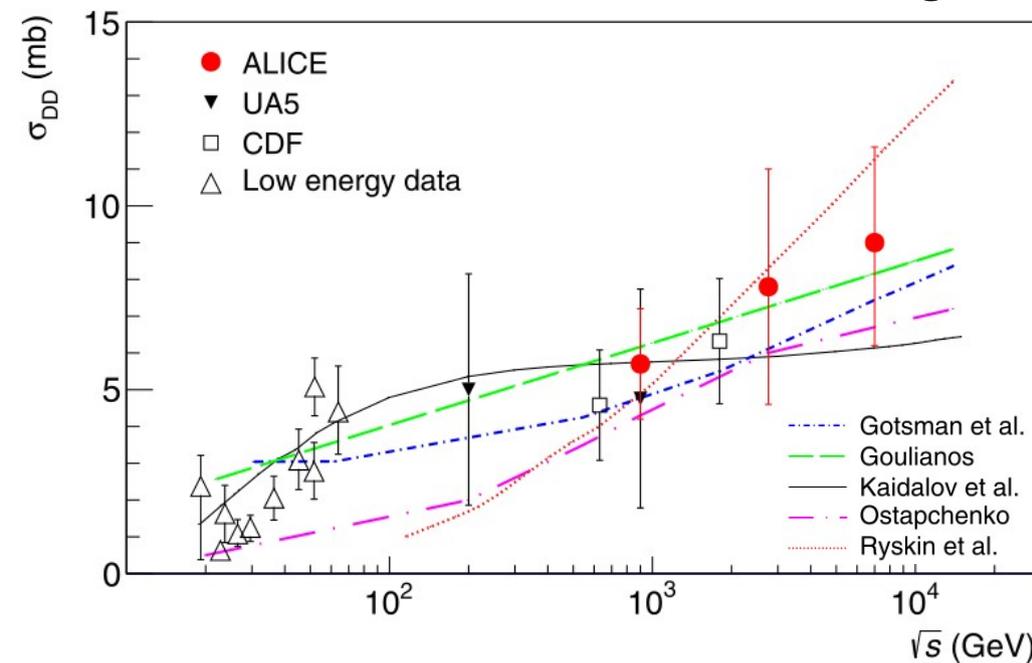
- Cromodinâmica Quântica (QCD)

- **Regime duro (hard):** partículas pesadas ou grande troca de momento ($p_t > p_t^{min}$)
 - QCD perturbativa
 - Produção *central*
- **Regime macio (soft):** pequena troca de momento ($p_t < p_t^{min}$)
 - Descrição fenomenológica
 - Produção *frontal*

Difração de hádrons

- **Definição:** interações onde não há troca de números quânticos entre as partículas

Interações difrativas são dominadas pela baixa troca de momento e se encontram no regime das interações macias!



[B. Abelev et al. Eur.Phys.J. C73 (2013) no.6, 2456]

- Estado final caracterizado por:
 - Partículas produzidas essencialmente na região *frontal*
 - Poucos secundários
 - Alta elasticidade

Objetivos

Difração em CAEs: a produção de secundários altamente energéticos na região frontal deve providenciar um mecanismo para transportar energia mais profundamente na atmosfera, influenciando ambos perfis, lateral e longitudinal, dos chuviros.

- I. Comparar os modelos atuais para interações hadrônicas em energias de raios cósmicos: QGSJET-II 04c, EPOS LHC e Sibyll 2.1
- II. Quantificar o impacto da presença das interações difrativas no desenvolvimento de CAEs e nos seus observáveis
- III. Aplicar extrapolações sobre os modelos de interação para relacionar observáveis de CAEs e características das interações hadrônicas
- IV. Verificar o impacto dos resultados do LHC, utilizados para ajustar os modelos de interação, sobre as incertezas na simulação de CAEs

Geradores de evento para física de RCs

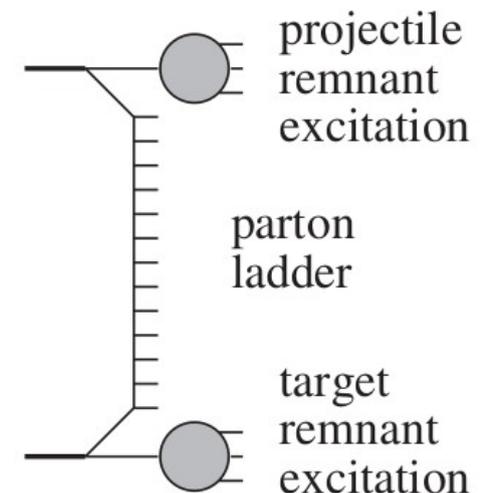
Devem descrever dados de aceleradores e providenciar extrapolações razoáveis para energias superiores e para regiões do espaço de fase onde não há dados disponíveis.

QGSJET-II 04c e EPOS LHC

- Pomeron “semihard” - Teoria de Regge
- Escala de separação *soft-hard* Q_0
- Ambos ajustados pelos dados do LHC

Sibyll 2.1

- Modelo de “minijatos”
- Aproximação eikonal para $\sigma_{jato}(s, p_t^{min})$ com $p_t > p_t^{min}$
- Soma de funções eikonais soft e hard
- Tratamento simplificado de processos macios - Teoria de Regge
- Modelo de superposição para interações núcleo-núcleo

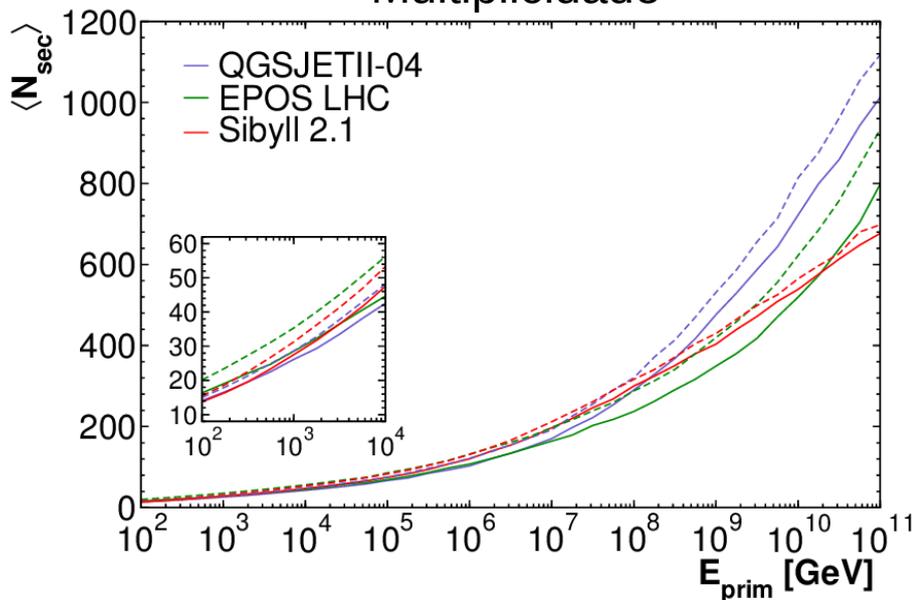


I Comparação entre os modelos de interação

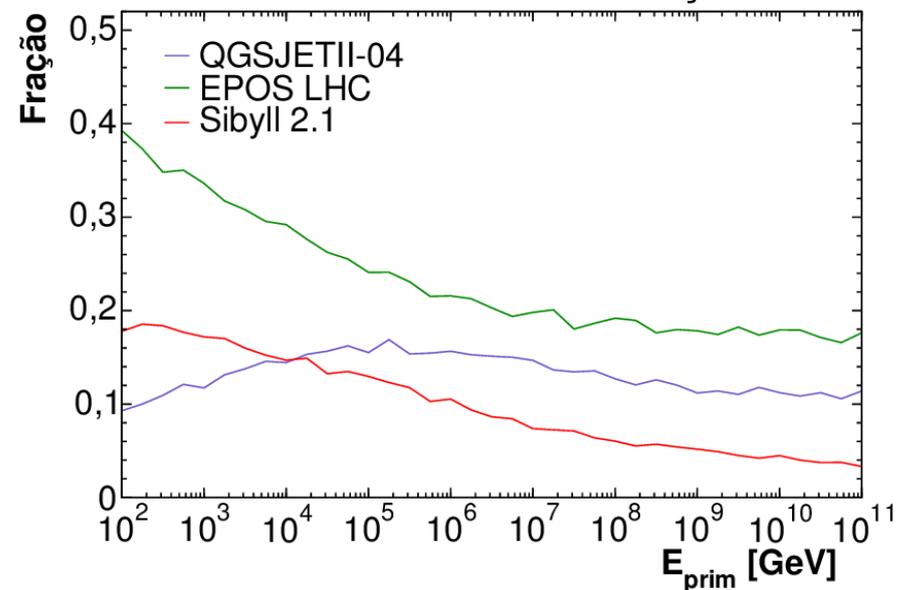
- Metodologia:
 - QGSJET-II 04c, EPOS LHC e Sibyll 2.1
 - Colisões próton-ar com energias entre 10^9 eV e 10^{20} eV
 - 10^4 colisões para cada combinação de modelo, energia, ligando ou desligando as interações difrativas
 - Partículas instáveis são forçadas a decair
 - Código em FORTRAN

I Comparação entre os modelos de interação hadrônica

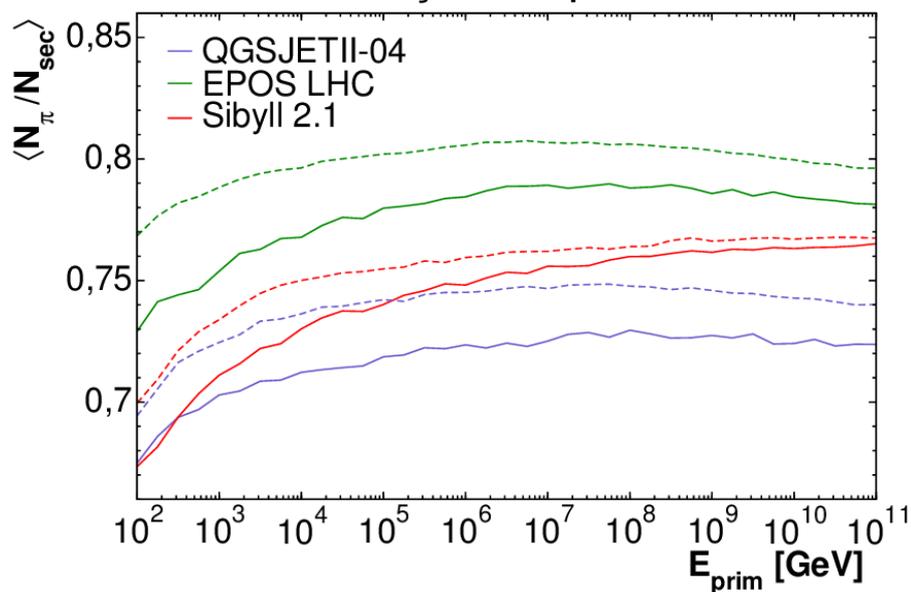
Multiplicidade



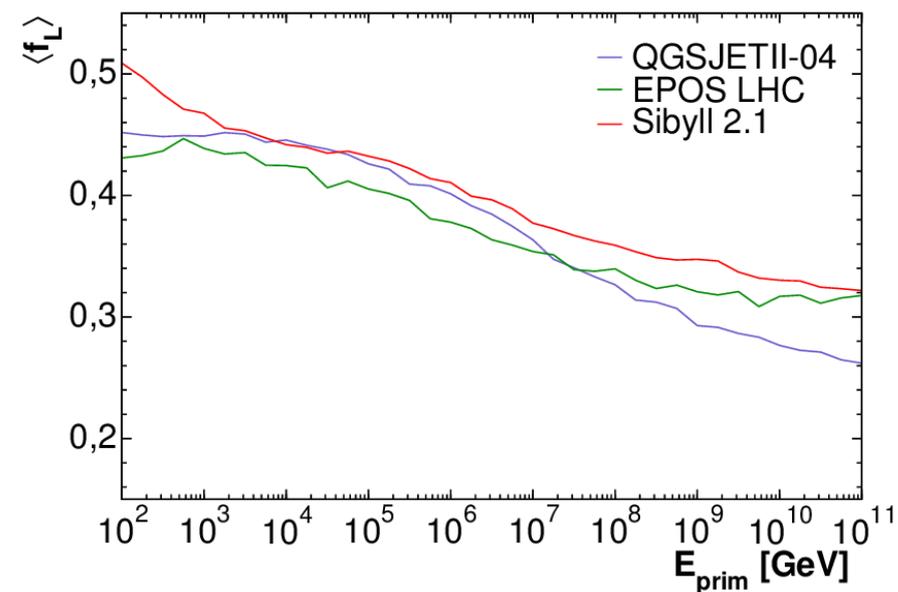
Probabilidade de difração



Fração de píons



Elasticidade

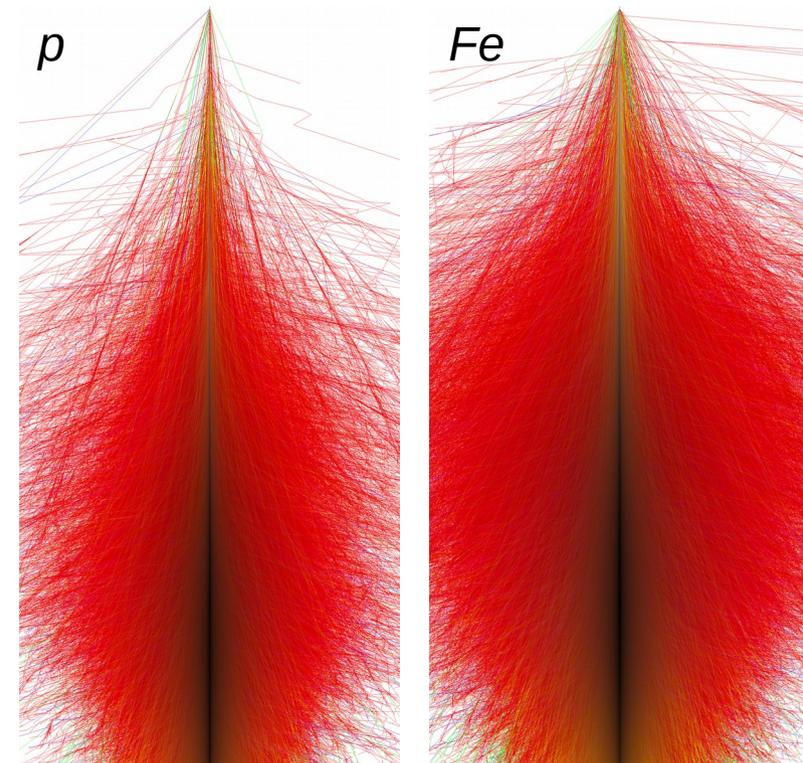


II Impacto da física difrativa sobre observáveis de CAEs

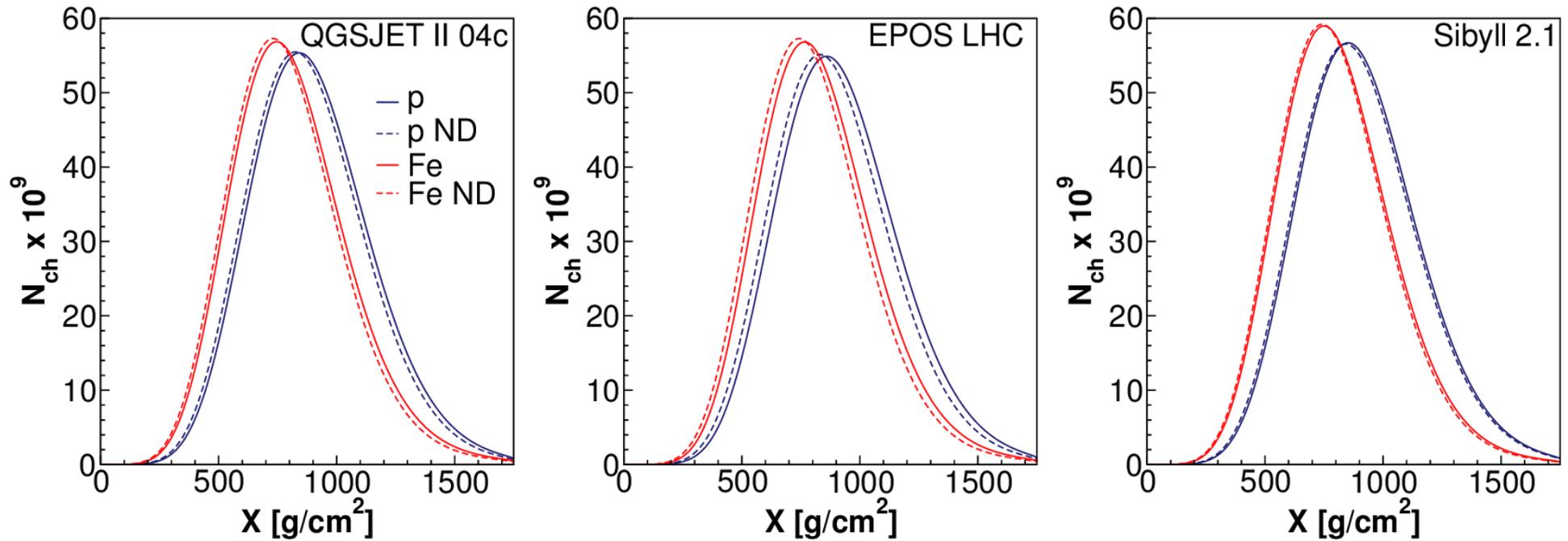
- Metodologia
 - CAEs simulados com o CORSIKA e os mesmos modelos de interação
 - Primários: próton e núcleos de ferro a energias de 10^{20} eV
 - Ângulo zenital de 60° e nível de observação de 1400m (Auger, 1760 g/cm^2)
 - 1000 chuveiros para cada combinação de modelo, partícula primária, ligando ou desligando as interações difrativas

CORSIKA (Cosmic Ray Simulations for Kascade)

- Interações (Monte Carlo)
- Propagação
- Decaimentos
- Thinning

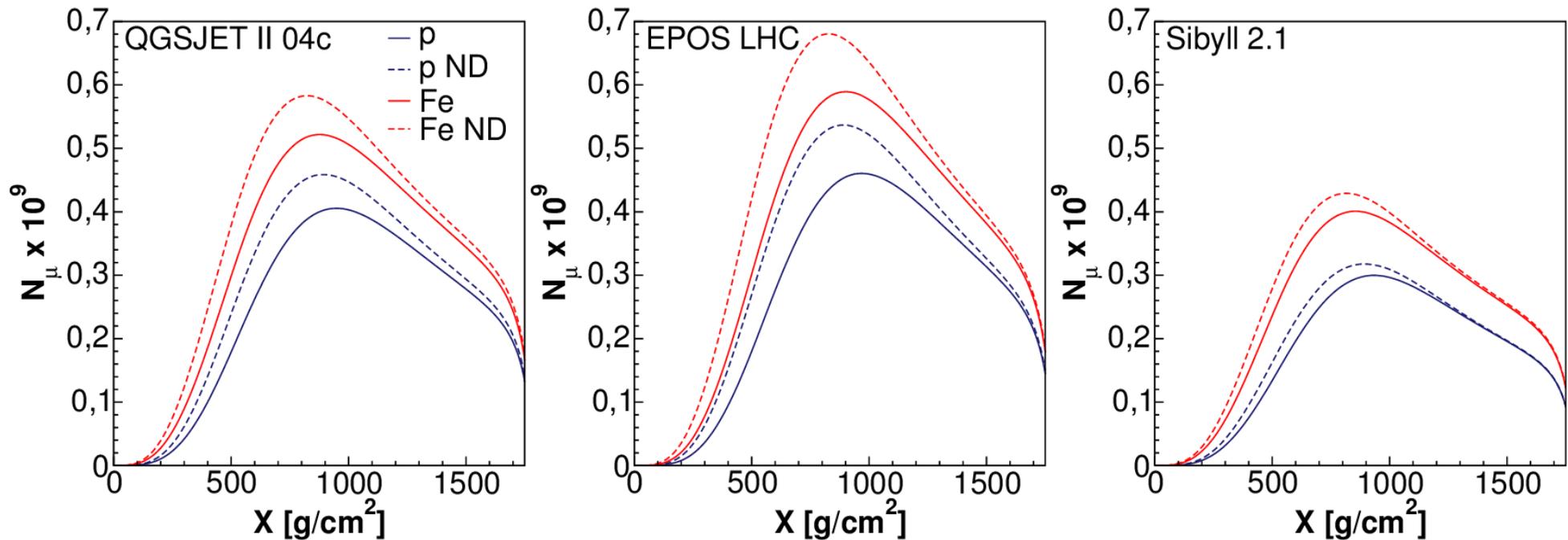


II Perfil longitudinal (partículas carregadas)



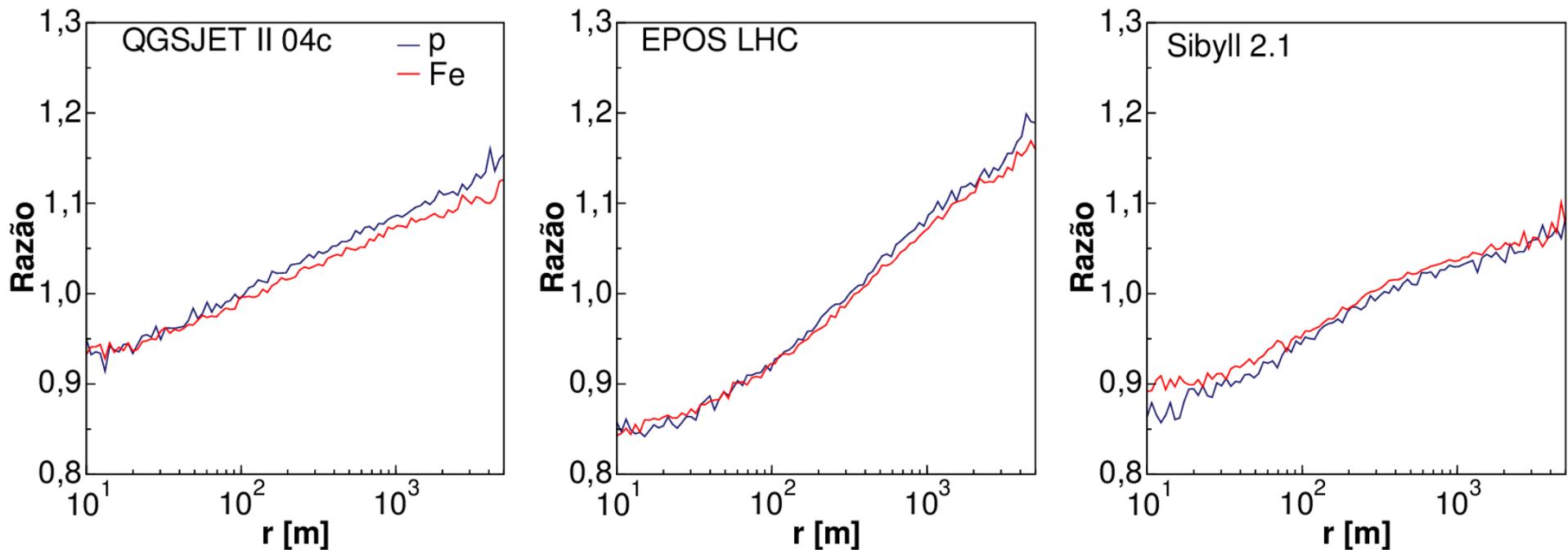
		QGSJET II 04	EPOS LHC	Sibyll 2.1
$X_{max}^{(normal)} - X_{max}^{(ND)}$	p	18 g/cm ²	28 g/cm ²	11 g/cm ²
	Fe	15 g/cm ²	23 g/cm ²	8 g/cm ²

II Perfil longitudinal da componente muônica



		QGSJET II 04	EPOS LHC	Sibyll 2.1
$X_{max}^{\mu(normal)} - X_{max}^{\mu(ND)}$	p	50 g/cm^2	75 g/cm^2	35 g/cm^2
	Fe	55 g/cm^2	70 g/cm^2	40 g/cm^2

II Mudança na densidade de múons no solo



		QGSJET II 04	EPOS LHC	Sibyll 2.1
$\rho_{\mu}^{(ND)} / \rho_{\mu}^{(normal)}$	p	1.08	1.07	1.03
	Fe	1.07	1.07	1.04

Conclusões preliminares

- Modelos diferem consideravelmente na produção de partículas, principalmente nas energias mais altas
- Em particular, na fração de eventos difrativos
- Existe um impacto pequeno das interações difrativas sobre X_{max}
- A componente muônica é significativamente alterada
- Temos resultados para chuveis a 10^{17} eV

As diferenças entre os modelos cobrem toda a faixa de incertezas em energias de raios cósmicos?

III Extrapolação dos modelos de interação

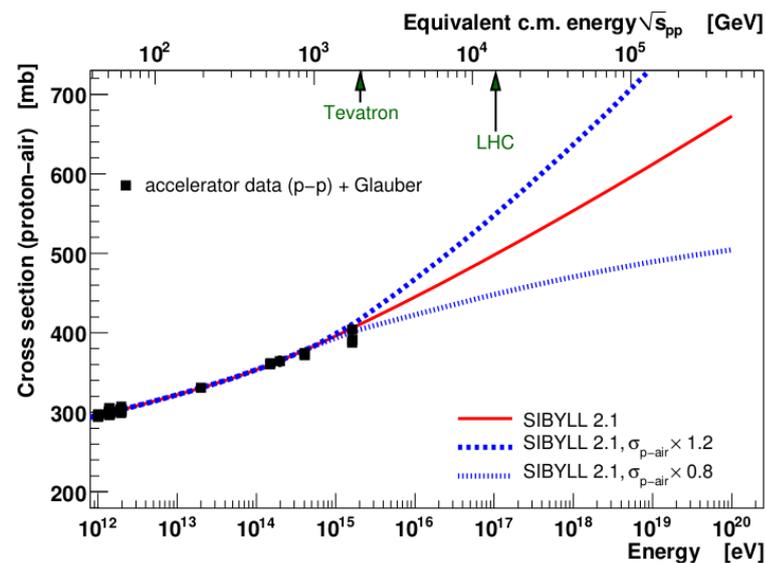
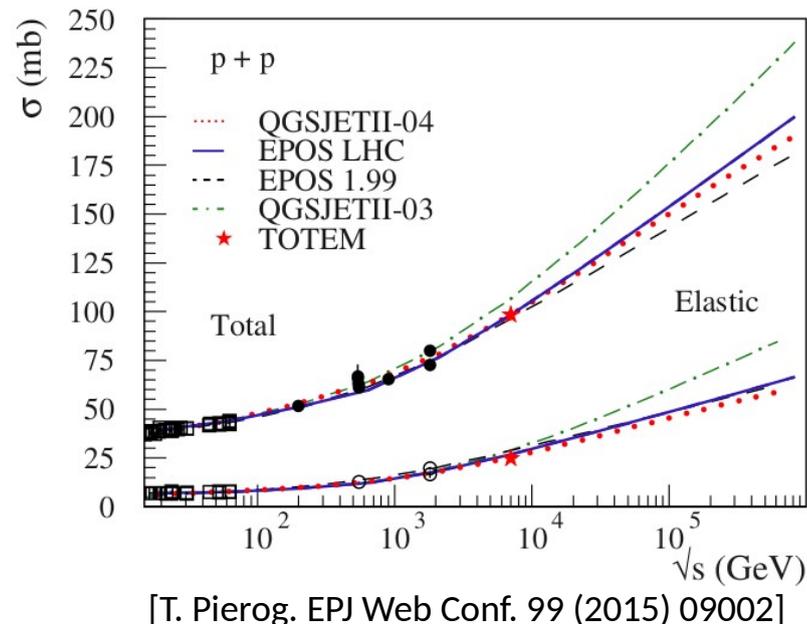
- Diferenças crescem com a energia
- Cobrem toda faixa de incertezas?
- Forma funcional

$$f(E, f_{19}) = 1 + (f_{19} - 1)F(E)$$

$$F(E) = \begin{cases} 0, & \text{se } E \leq 1\text{PeV} \\ \frac{\log_{10}(E/1\text{ PeV})}{\log_{10}(10\text{ EeV}/1\text{ PeV})}, & \text{se } E > 1\text{PeV} \end{cases}$$

- A seção de choque, por exemplo

$$\sigma_{tot}^{(nova)} = f(E, f_{19}) \cdot \sigma_{tot}$$



III Extrapolação dos modelos de interação

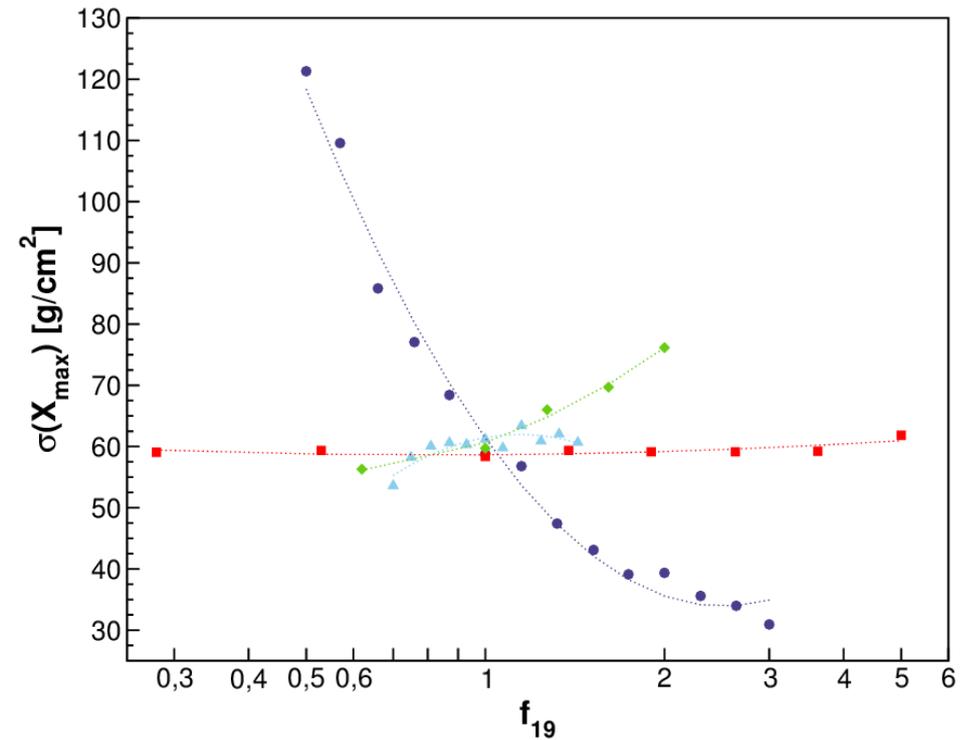
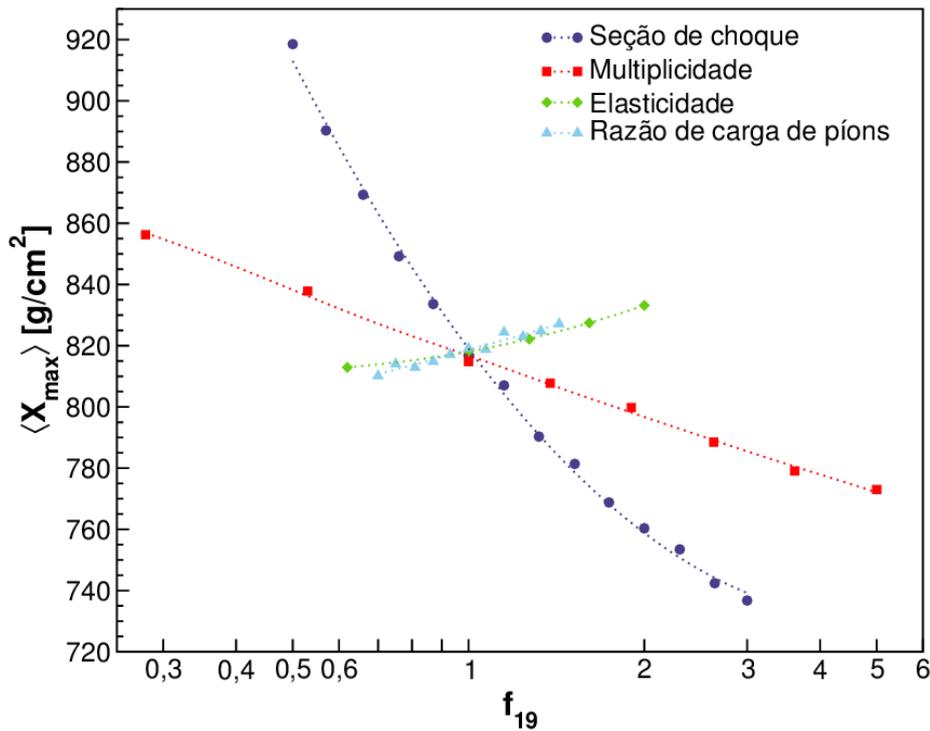
- Metodologia
 - Parâmetros considerados:
 - σ_{tot} - seção de choque total
 - N_{sec} - número de secundários (multiplicidade)
 - f_L - elasticidade
 - c - razão de carga de píons (n° de píons neutros / n° total de píons)
 - CAEs simulados com o CONEX + QGSJET-II 04c
 - 1000 chuoveiros para cada combinação de parâmetro e fator f_{19}

CONEX

- Simulação híbrida de CAEs em 1D
- Monte Carlo para $E > E_{limiar}$
- Equações de cascata para $E < E_{limiar}$
- Somente perfil longitudinal

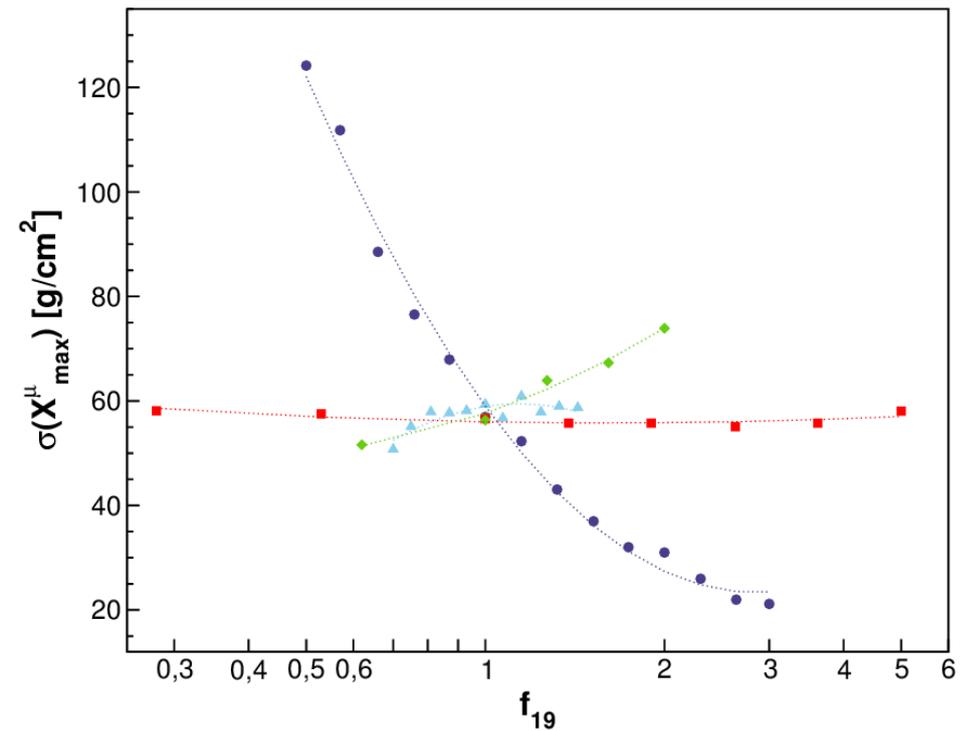
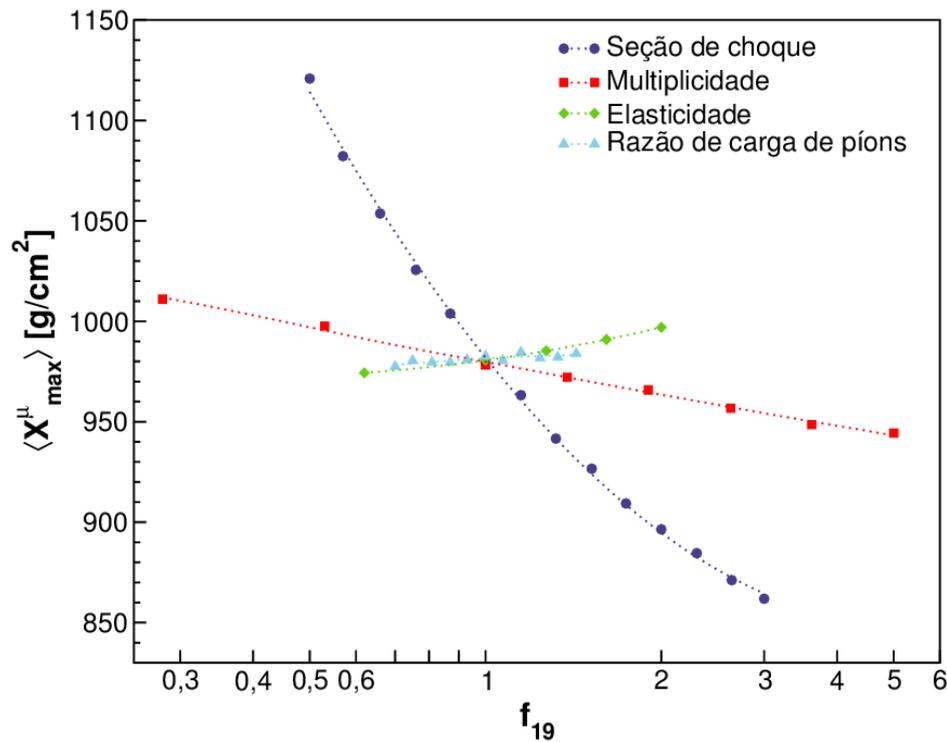
III Extrapolação dos modelos de interação

- Impacto sobre a profundidade de máximo X_{max}



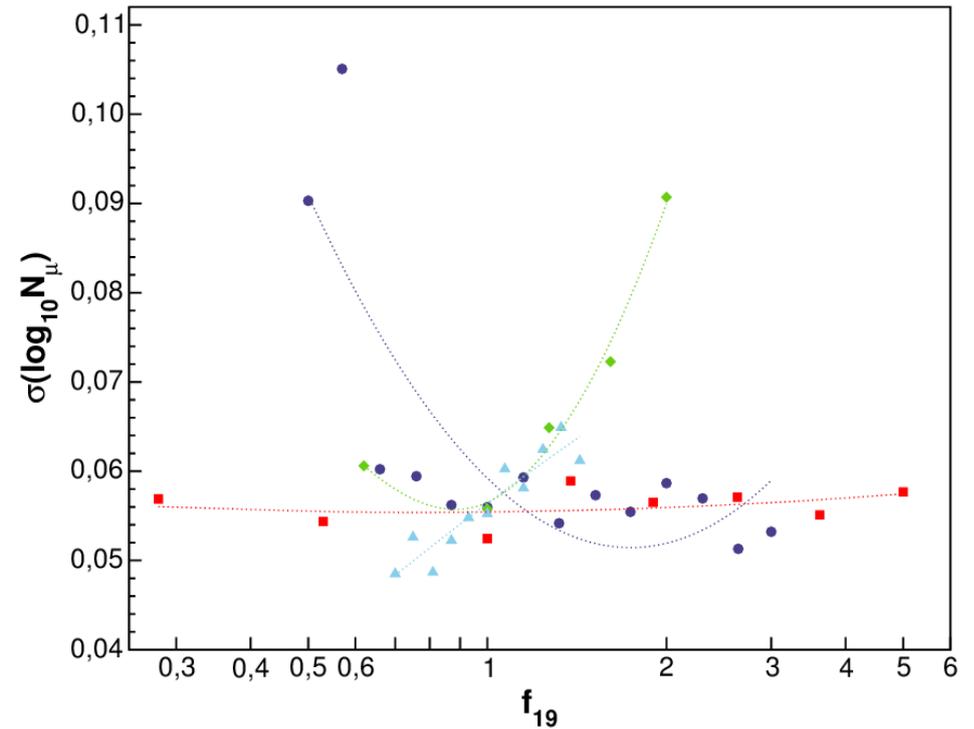
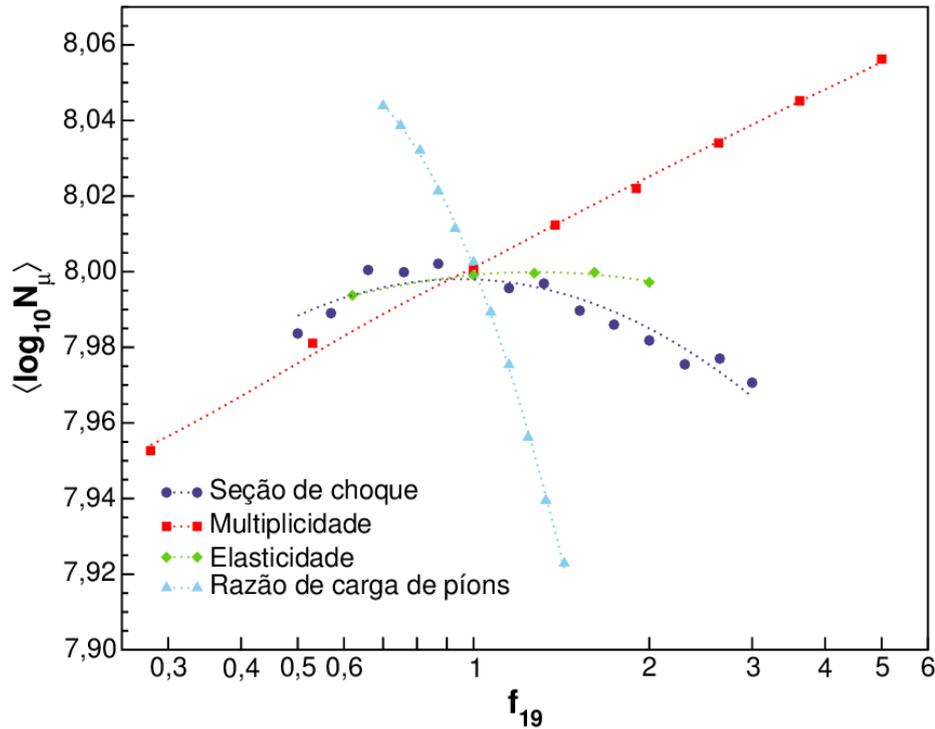
III Extrapolação dos modelos de interação

- Impacto sobre a profundidade de máximo da componente muônica X_{max}^{μ}



III Extrapolação dos modelos de interação

- Impacto sobre a quantidade de múons a 1000 g/cm^2



Conclusões preliminares

- Aplicando a extrapolação para modificar as características das interações hadrônicas observamos
 - X_{max} e X_{max}^{μ} e suas flutuações dependem fortemente da seção de choque
 - A quantidade de múons é fortemente afetada pela razão de carga de píons
- Resultados para os outros modelos são semelhantes
- Questão em aberto: *qual o impacto da modificação do limiar de extrapolação?*

Considerações finais e perspectivas

- Complementação dos resultados
 - Impacto da física difrativa em CAEs: simulação de chuveciros que incidem com menor ângulo zenital em andamento
 - Estudo das extrapolações: alterar o limiar de extrapolação para a energia do LHC e quantificar a redução no impacto sobre observáveis de CAEs
- Submissão dos resultados para revista científica
- Escrita e defesa da dissertação de mestrado

Atividades de mestrado

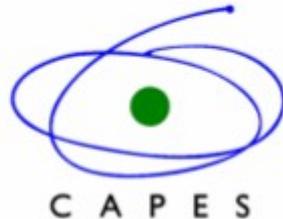
- Disciplinas cursadas

Disciplina	Conceito
Dissertação de Mestrado	cursando
Estágio Docente	A
Mecânica Quântica	B
Mecânica Estatística	A
Teoria Eletromagnética	A
Teoria Quântica de Campos	A
Tópicos em Física de Partículas e de Hádrons	A
Seminários de Física de Partículas e de Hádrons	A

- Participação em escolas e eventos

- Xth International Conference on the Interconnection between Particle Physics and Cosmology (ICTP – SAIFR). Julho de 2016, São Paulo, Brasil.
- Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos (SBF). Setembro de 2016, Natal RN, Brasil.
- MCNet School on Event Generators (ICTP – SAIFR). Março de 2015, São Paulo SP, Brasil.

Agradecimentos



Grupo de Altas e Médias Energias (GAME)

