

## 6 Conclusões

Nesta tese estudou-se a evolução de parâmetros medidos pelo detector de superfície do Observatório Pierre Auger, na procura de possíveis evidências da composição química de raios cósmicos de ultra-altas energias. Sendo assim, encontrou-se que as flutuações intrínsecas chuva a chuva do parâmetro que descreve a inclinação da LDF, para eventos inclinados em relação à vertical (45 - 60°), apresentam uma tendência de diminuição com o aumento da energia. O mesmo comportamento de diminuição de flutuações chuva-a-chuva é observado na variável  $X_{max}$  de chuvas reconstruídos em modo híbrido, confirmando que cascatas cuja profundidade de máximo desenvolvimento é mais estável na atmosfera apresentam menos flutuação no sinal medido ao nível do solo com o SD. Além de completamente independente do resultado de  $X_{max}$ , os resultados aqui descritos mostram que a tendência de flutuações decrescentes se estende até no mínimo  $10^{19.6}$  eV, uma região extremamente difícil de ser acessada pelos detectores de fluorescência devido ao baixíssimo fluxo de raios cósmicos nessa região do espectro (os dados do Observatório Pierre evidenciam uma forte supressão do fluxo exatamente nessa energia).

A interpretação do resultado do  $X_{max}$ , à luz das simulações de cascatas atmosféricas extensas geradas por primários de diferentes tipos é de uma gradual mudança de composição química relativamente leve em torno do tornozelo ( $\simeq 10^{18.5}$  eV) para uma composição cada vez mais pesada à medida que a energia aumenta. Assim, ao considerar que o resultado aqui apresentado é consistente com o encontrado para o  $X_{max}$ , ele pode ser considerado como um indício adicional da mudança de composição química nestes intervalos de energia. No entanto, esta interpretação em termos de composição química para as flutuações chuva-a-chuva do  $X_{max}$  só pode ser extraída caso as extrapolações feitas pelos modelos de interação hadrônica para quantidades como a seção de choque núcleo-núcleo, a multiplicidade e inelasticidade da primeira colisão sejam válidas. Medidas desses parâmetros foram feitas em aceleradores até energias no centro de massa em torno de 1 TeV (e serão estendidas pelo LHC até 14 TeV no caso de colisões próton-próton). As energias de centro de massa equivalentes para a amostra aqui analisada estão acima de

55 TeV, assumindo o primário como sendo próton.

Para esta análise, foi necessário primeiramente aprimorar o processo de reconstrução de eventos, especificamente para nosso caso, os algoritmos de ajuste da LDF. Sendo assim, eliminamos um viés de seleção para estações disparadas longe do eixo de chuveiro, efeito esse introduzido pelo nível mais baixo do sistema de disparo (T1) do SD e que leva à reconstrução de LDFs mais *planas* nas regiões periféricas (além de 2500 m) em relação ao eixo do chuveiro. O viés é tal que os limiares de sinal aplicados pelo T1 fazem com que o conjunto de estações disparadas num evento sejam dominadas longe do eixo do eixo por aquelas com flutuações positivas no sinal. A correção foi feita impondo-se um corte fiducial em que, evento a evento, apenas estações com sinal suficientemente acima do limiar são levadas em conta na reconstrução da geometria e da LDF do chuveiro.

Posteriormente, o modelo de erro no sinal medido nas estações foi também atualizado. Uma análise complementar de qualidade da reconstrução foi realizada por meio da distribuição de probabilidades de  $\chi^2$  da amostra final. Encontrou-se que após o corte fiducial imposto, existem ainda eventos com limitações na sua reconstrução devido à presença de um número maior que o esperado de eventos com valores demasiado pequenos de probabilidade, o que implica valores maiores que esperado para o  $\chi^2$ . Esses eventos foram eliminados por meio de um corte na probabilidade de  $\chi^2$ .

A flutuação total do parâmetro  $\beta$  foi tomada como o RMS de suas distribuições para diferentes valores de ângulo zenital entre 0 e 60° e de energia entre 10<sup>18.5</sup> eV e 10<sup>19.6</sup> eV. A contribuição do detector à flutuação total observada foi obtida por meio da matriz de covariância do programa de reconstrução CDAS. Num momento posterior, foi preciso validar de alguma maneira essa resolução do detector usando os eventos medidos por um conjunto particular de detectores de superfície, o denominado Super-Hexágono, por meio do qual é possível reconstruir o mesmo chuveiro de maneira independente usando 2 conjuntos independentes de estações SD. No curso do trabalho, diversas modificações foram implementadas na cadeia de algoritmos de reconstrução empregada pelo CDAS.

Como desdobramentos futuros da análise aqui apresentada é possível citar:

- comparações da evolução com a energia de  $\text{RMS}(\beta)$  obtida dos dados com simulações para diversas composições químicas. Isso exige uma cadeia completa de simulação que incluem não somente a geração do chuveiro como também a resposta do detector de superfície e a posterior reconstrução dos eventos com os mesmos algoritmos aplicados aos dados.

Considerando que a eficiência após passar toda a cadeia de simulação é de  $\sim 60\%$ . Por exemplo, para nosso *Conjunto 1* de 20806 eventos ( $E > 3 \text{ EeV}$  e  $\theta < 60^\circ$ ), precisaria-se aproximadamente 32300 chuveiros simulados para cada tipo de primário (próton e ferro) afim de realizar tal comparação.

- estudo mais detalhado de eventos atualmente mal reconstruídos (por exemplo, eventos com  $\chi^2$  elevado) no intuito de se aumentar a amostra final de dados.