

1

Introdução

Raios cósmicos são partículas carregadas produzidas tanto dentro quanto fora de nossa galáxia que bombardeiam constantemente a atmosfera terrestre. A radiação cósmica foi medida pela primeira vez no início do século vinte por Victor Hess [1], sendo denominada como *raios cósmicos* por Robert Andrews Millikan na década de 1920. Posteriormente, esta radiação mostrou-se como fonte natural de partículas altamente energéticas, assim, sua descoberta marcou o início da Física de Partículas. Na época, levou à descoberta de novas partículas, por exemplo o pósitron em 1932 [2], o múon em 1936 [3] e o pión em 1947 [4], participando nesta última descoberta o físico brasileiro César Lattes.

As características das partículas de maior energia ($E > 10^{15}$ eV) têm sido estudadas por meio dos denominados chuviros atmosféricos extensos, os quais são cascatas de bilhões de partículas produzidas quando o raio cósmico primário interage com moléculas da atmosfera. Dado que a taxa com que estes raios cósmicos chegam à Terra é extremamente baixa (aproximadamente uma partícula por km^2 por século para energias acima de 10^{20} eV), para detectores com áreas de coleção pequenas, como aqueles a bordo de satélites ou balões, as taxas de contagem apresentariam-se essencialmente nulas. Assim, é necessário utilizar a atmosfera como um grande calorímetro para o estudo dessas partículas.

Na atualidade, duas técnicas de medida são exploradas para o estudo dos raios cósmicos ultra-energéticos ($E \geq 10^{18}$ eV). Primeiramente, ao utilizar arranjos de detectores cobrindo grandes áreas, tem-se a possibilidade de medir os subprodutos destas partículas que conseguem atingir o solo, monitorando assim o desenvolvimento lateral do chuviro. Por outro lado, por meio de detectores de fluorescência, é possível também a detecção da luz fluorescente gerada na interação das moléculas de nitrogênio da atmosfera com componentes do chuviro, observando-se assim o desenvolvimento longitudinal dele. O Observatório Pierre Auger [5], sendo o maior instrumento do seu tipo já construído, foi planejado para medir chuviros atmosféricos extensos num intervalo de energia de 10^{18} eV até valores maiores a 10^{20} eV. Ele combina estas duas técnicas de medida (detector híbrido): um arranjo de

detectores de superfície (SD) e detectores de fluorescência (FD). Foi projetado principalmente para o estudo do espectro de energia dos raios cósmicos, sua composição química e a direção de chegada destas partículas na procura das possíveis fontes onde eles estariam sendo gerados.

Os dados coletados pelo Observatório Pierre Auger e sua posterior análise mostraram alguns resultados importantes. Por exemplo, demonstrou-se a natureza anisotrópica nas direções de chegada de raios cósmicos com energias acima de 6×10^{19} eV [6–8]. Além disso, obtiveram-se medidas da profundidade atmosférica em que o chuveiro atinge seu nível máximo de desenvolvimento na atmosfera em termos do número de partículas secundárias, e sabe-se que tal parâmetro é sensível à composição química do primário [9].

Este trabalho dedica-se ao estudo de parâmetros que caracterizem os chuveiros e que sejam sensíveis à composição química da partícula primária, mais especificamente, aqueles medidos pelo SD, já que ele fornece uma estatística maior em relação ao FD. Para esse propósito, é necessário primeiramente testar a qualidade no processo de reconstrução de eventos medidos pelo SD, o qual será realizado por meio de dois testes complementares: procura dos resíduos do sinal como função da distância ao eixo do chuveiro e um teste estatístico baseado na distribuição de probabilidades do χ^2 do processo de ajuste. Ao garantir que o processo de reconstrução de eventos é confiável, pode-se procurar finalmente por parâmetros que forneçam informações associadas à composição química do primário.

A tese está estruturada da seguinte forma:

No capítulo 2 aborda-se os conceitos gerais da física dos raios cósmicos. Assim, detalhes do seu espectro de energia, mecanismos de aceleração e possíveis fontes onde estes raios cósmicos possam ter sido acelerados serão apresentados. Finalmente, a física dos chuveiros atmosféricos extensos será examinada, já que na faixa de energia de interesse, são estas estruturas as que fornecem toda a informação das características próprias dos raios cósmicos com energia maior que 10^{15} eV.

No capítulo 3, serão apresentadas as características fundamentais de funcionamento do Observatório Pierre Auger, tanto dos detectores de superfície quanto dos de fluorescência. Porém, considerando que o objetivo neste trabalho é a análise de parâmetros medidos pelo SD, dar-se-á maior ênfase aos detalhes desse detector. Assim, apresentaremos uma discussão minuciosa das características e propriedades da função que descreve a densidade lateral do sinal medido por estes detectores como função da distância ao eixo do chuveiro, a denominada Função de Distribuição Lateral (LDF). Sendo que esta LDF é a que permite a determinação de alguns parâmetros do chuveiro por meio do

seu ajuste.

No capítulo 4, a qualidade no processo de ajuste da LDF será apresentada. Como uma primeira abordagem, discutiremos os resíduos do sinal com respeito àquele previsto por uma dada LDF como função da distância ao eixo do chuveiro. E como um teste estatístico adicional da qualidade no processo de reconstrução, a distribuição de probabilidades para o χ^2 do processo será também analisada.

No capítulo 5, uma análise das flutuações chuveiro a chuveiro do parâmetro de inclinação β da LDF será apresentada, já que elas guardam informação valiosa sobre a composição química da partícula primária. Sabe-se, por exemplo, que chuveiros iniciados por núcleos atômicos pesados tendem a atingir seu estado de maior desenvolvimento na atmosfera a uma profundidade atmosférica mais bem definida quando comparado aos chuveiros induzidos por prótons. Os dados do Observatório Pierre Auger apontam para uma diminuição praticamente monótona das flutuações na profundidade de máximo a medida que a energia aumenta. Por sua vez, essa menor flutuação na profundidade de máximo deve levar a menos flutuações no nível do solo, ou seja, em variáveis acessíveis ao SD, mais especificamente no caso estudado nessa tese, no parâmetro de inclinação. Essa ligação entre flutuações intrínsecas acessíveis ao FD e aquelas acessíveis ao SD é discutida no capítulo 5, além de como essas podem ser usadas para inferir a natureza do primário.

Finalmente o capítulo 6 apresentará as conclusões do trabalho desenvolvido, além de sugestões para futuras pesquisas.