



Estudos de Radiação Cósmica de Alta Altitude: Uma Experiência no Ensino Médio Público do Estado de São Paulo

Veronica Trevizoli¹, Camila Eduarda e Lima Petarnela², Otávio Henrique Evangelista de Lima², Eduardo Silva Morais da Nobrega², Emily Christine de Faria³

¹ Professora da EE Humberto de Campos, Sorocaba, SP, Brasil

² Alunos do Ensino Médio da EE Humberto de Campos, SP, Brasil

³ Aluna do Ensino Médio da EE João Clímaco de Camargo Pires

Resumo. *O trabalho tem por objetivo criar um modelo de dados importantes como radiação, pressão e temperatura para desenvolvimento de estudos de raios cósmicos e seus potenciais efeitos no clima, dispositivos eletrônicos e organismos biológicos, fazendo uso do lançamento de balão de alta altitude com eletrônica de baixo custo baseado em Arduino e sensores Geiger. Com sucesso do primeiro lançamento e captura de dados, validamos a eficiência da eletrônica sujeita a baixas temperaturas e altas radiações. Coletas adicionais com próximos voos permitirá o desenvolvimento de um modelo de dados para estudos de padrão de comportamento.*

Palavras-chave: Radiação cósmica; Clima; Ensino; Modelagem de dados.

1. Introdução

Raios cósmicos é o nome genérico para diferentes tipos de partículas que atingem a atmosfera da Terra com a velocidade da luz, variando em energia e em uma ampla gama de partículas. Foi descoberto que com o aumento da energia, o número de raios cósmicos que chega à Terra cai drasticamente conforme Figura 1.

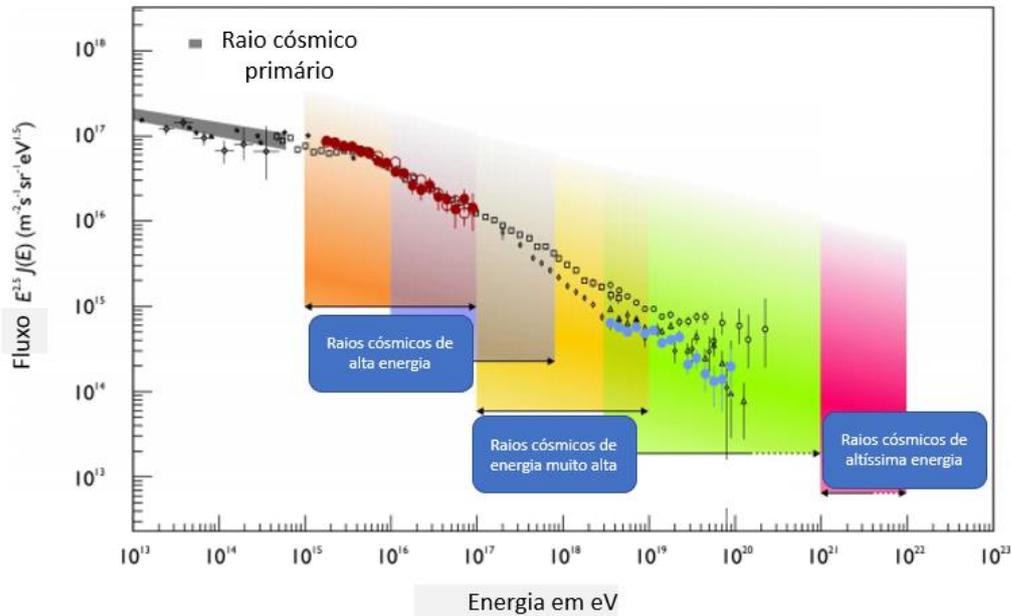


Figura 1 - Diminuição da quantidade de raios cósmicos na chegada a atmosfera terrestre.

[Fonte: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0809/0809.2717.pdf>, 2008]

A composição do raio cósmico consiste em prótons (86%), partículas alfas (11%), núcleos de elementos mais pesados (1%), elétrons (2%) e neutrinos (<1%) (PERKINS, 2003).

A maioria dos raios cósmicos possuem energia da ordem de giga elétron volts, e são gerados em nossa galáxia pelas estrelas e, acima destes valores de energias, em remanescentes de supernovas; no entanto, a origem das partículas de mais alta energia ainda não são bem conhecidas. Um limite máximo de energia observado está em torno de 100 EeV (GREISEN, 1966, ZATSEPIN, KUZMIN, 1966). Uma distribuição uniforme no céu indica fortemente que os raios cósmicos de maior energia são produzidos em uma variedade de fontes extragalácticas (RONALD CINTRA SHELLARD, 2001). As fontes mais prováveis são fluxos de matéria relativística colimadas associados as galáxias emisoras de poderosas ondas de rádio (radio galáxias), bem como rádio galáxias jovens, chamadas de quasares. Além disso, surtos de emissão eletromagnética de alta frequência chamados explosões de raios gama e magnetares, que são estrelas muito compactas com fortes campos magnéticos, também são candidatos para a origem dos raios cósmicos de alta energia, uma vez que podem ser capazes de acelerar as partículas a nível relativístico (RONALD CINTRA SHELLARD, 2001).

Na atmosfera terrestre, os raios cósmicos começam uma cascata de colisões de partículas em que muitas partículas de todos os tipos são produzidas durante o processo. A criação e aniquilação de partículas na cascata estabelece um chamado chuveiro de partículas. Além disso, as partículas carregadas no chuveiro cósmico - principalmente os elétrons e suas anti-partículas, os pósitrons - se desviam no campo magnético da Terra e emitem radiação



coerente em feixe chamada emissão geosincrotron (HUEGE, 2005). O número de partículas no chuvaire e a tensão de pico do rádio emissão detectável ao nível do solo dependem aproximadamente da energia da partícula primária. A emissão de rádio aumenta com o aumento do ângulo entre a trajetória do raio cósmico e campo magnético da Terra (HORNEFFER, 2006).

A cada segundo, uma partícula de raios cósmicos de baixa energia está atingindo cada metro quadrado da nossa atmosfera. O resultado chuvaire é atenuado na atmosfera antes de atingir a terra e pode, no entanto, só ser detectado diretamente por um detector em um avião ou balão.

Em 1912, através de lançamentos de balões, os raios cósmicos foram descobertos pelo físico austríaco-norte-americano Victor F. Hess (BUSTAMANTE, 2013). Raios cósmicos de alta energia atingem uma área de um quilômetro quadrado apenas uma vez por ano, portanto necessita-se de um detector mais robusto e de custo elevado que possibilite cobrir determinada área para uma medição eficaz. Entretanto, o chuvaire, que se inicia por partículas primárias, dependendo da energia dos raios cósmicos, centenas de milhares de partículas podem atingir o solo dentro de um raio de centenas de metros. Dessa forma, analisar o chuvaire para inferir informações sobre as partículas dos raios cósmicos é mais eficiente.

Tipos de radiação:

A radiação como é conhecida hoje foi descoberta em 1896 por Henry Becquerel, quando ele percebeu que o urânio sensibilizava uma película de filme. A radiação em sua definição mais simples é a emissão de energia por uma substância qualquer e em função disso podemos dizer que existem vários tipos de radiação.

Cerca de 80% da exposição de radiação é proveniente de fontes naturais e apenas 20% de fontes artificiais (expostas pelo homem), principalmente de aplicações da radiação na medicina.

Há radiação eletromagnética e radiação nuclear. A radiação eletromagnética cobre todo espectro eletromagnético, desde ondas de rádio, micro-ondas, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama. Normalmente quando pessoas falam de radiação, se referem a radiação nuclear, que é quando uma partícula subatômica é emitida do núcleo do átomo.

É interessante ressaltar que radiação nuclear é em algumas situações chamada de radiação ionizante, isto é, tem energia suficiente para expulsar elétrons de um átomo.

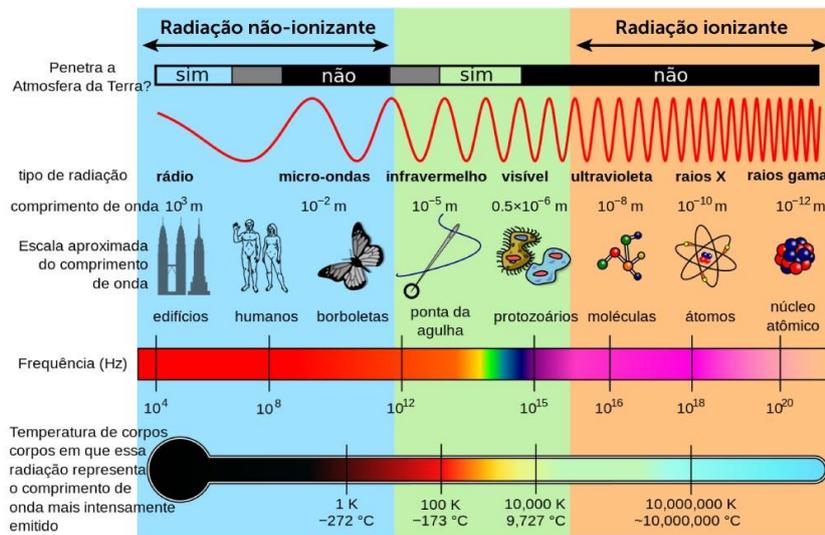


Figura 2- Espectro eletromagnético (EM). [Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro_Eletromagn%C3%A9tico.png, Acesso em:04/07/2020]

Existem pelo menos 4 diferentes tipos de radiação:

- Radiação Alfa (α), também conhecida como partículas alfa ou raios alfa. Ocorre quando o núcleo atômico emite dois prótons e dois nêutrons; seria um núcleo de hélio sem o elétron.
- Radiação Beta (β) ou partículas beta ou raios beta. Ocorre quando o núcleo atômico emite um elétron, geralmente quando um nêutron no núcleo decai em um próton e um elétron, o próton fica no núcleo e o elétron escapa.
- Radiação gama (γ) ou raios gama. Ocorre quando fóton de alta energia escapa do núcleo atômico. Devido a energia, os raios gama afetam gravemente materiais no entorno, pois estão gerando calor constantemente.
- Radiação de nêutron. Ocorre quando o núcleo emite um nêutron. É o mais perigoso tipo de radiação.

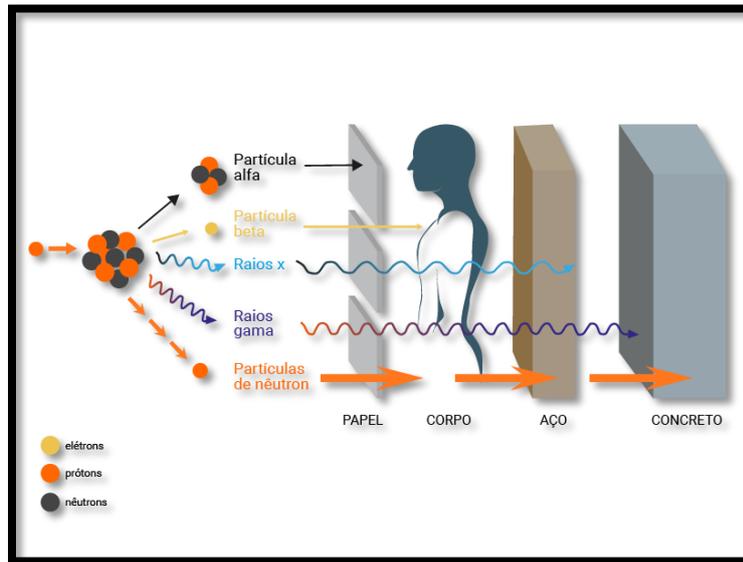


Figura 3 - Poder de penetração dos diferentes tipos de radiação. [Fonte: https://www.pngitem.com/middle/hRTTRbw_qual-efeito-do-nacl-nas-particulas-poder-de/: Acesso em: 04/07/2020]

A Figura 3 apresenta o poder de penetração de cada tipo de partícula.

As partículas alfas, por possuírem massa, são relativamente lentas e pesadas, propagam-se de maneira retilínea em meios materiais e são facilmente bloqueadas, o que as fazem ter baixo poder de penetração.

Com um alcance maior do que as partículas alfa, as partículas beta são mais leves e mais rápidas, possuem um poder de penetração médio, podem ser facilmente bloqueadas por uma folha de papel alumínio ou plástico.

Nenhum desses dois tipos de radiação penetram o corpo humano.

Já as partículas γ não possuem carga nem massa, por se propagarem em onda, é de longo alcance e possui um alto poder de penetração, sendo blindada somente com uma espessa camada de chumbo ou de concreto.

E a mais perigosa entre elas é a radiação de nêutrons, constituídas por partículas sem carga, por serem rápidas são de longo alcance e mais difíceis de serem bloqueadas.

O objetivo deste projeto é investigar as naturezas das variações dos raios cósmicos em diferentes escalas que são relevantes para a Física e para a Astrofísica dos raios cósmicos. Quando se analisa as variações da intensidade de raios cósmicos usando detectores em terra, os efeitos atmosféricos no fluxo de raios cósmicos secundários não podem ser ignorados. Os efeitos de pressão e temperatura produzem significativas variações no comportamento do chuva secundário. Concomitante, entender a dinâmica da radiação em alta altitude e como ela pode afetar ou não componentes eletrônicos e organismos biológicos.

O SOROSAT foi o primeiro microssatélite lançado em Sorocaba embarcado no BAA-Sorocaba (Balão de Alta Altitude), integrando a iniciativa de estabelecer a cidade de



Sorocaba como base operacional de experimentos científicos de baixa órbita na região. A sonda embarcada teve por objetivo coletar dados de contagem de raios cósmicos em diferentes altitudes. Esta contagem possui também informações de temperatura, pressão, altitude e radiação em cada instante de subida e descida do balão atmosférico.

2. Metodologia

Desenvolvimento para tratar dos dados:

O contador Geiger foi projetado para coletar a ocorrência de partículas cósmicas e pode detectar partículas carregadas, permitindo sua passagem através de um tubo de alta tensão.

Quando uma partícula carregada atinge a alta tensão de gás neon dentro do tubo, o gás é ionizado desencadeando uma reação em cadeia de fluxo de elétrons, o que resulta em um "pulso" do tubo. Cada "pulso" corresponde a uma partícula de alta energia. Além disso, o subsistema de contadores Geiger utiliza um microcontrolador conectado e sensores de ambiente para analisar e armazenar os dados *in loco* em um cartão micro SD.

Depois do voo, este cartão pode ser removido e usado para análise dos dados. Esses dados serão armazenados em um arquivo *.TXT livre*, contendo hora, contagens por minuto, mSv, temperatura externa, pressão e altitude.

O subsistema de bateria e o controle de temperatura vão trabalhar em conjunto com o contador Geiger e com o subsistema de aquisição de dados, para uma adequada operação do container e assim garantir o sucesso da missão. O revestimento e subsistema de estrutura foi projetado para incluir fácil acesso aos interruptores de energia a todos os componentes que podem ser ligados ou desligados após a estrutura ser fechada e selada. Por fim, presume-se que exista uma absorção insignificante de partículas de alta energia pela estrutura de revestimento que é considerada irrelevante para esta primeira missão.

Uma imagem com a instalação completa de todos os subsistemas pode ser vista na Figura 4.



Figura 4- Estrutura da carga útil totalmente montada. [Fonte: Elaborado pelos autores]



O voo:

No domingo, 15 de dezembro de 2019, a carga útil foi lançada em um balão alta altitude - BAA. O lançamento aconteceu no Parque das Águas em Sorocaba às 10:15 AM. Logo após o lançamento do balão, entrou em operação o sistema de localização, realizado com a ajuda de um GPS, o qual permitiu a recuperação da carga útil, 25 dias após o lançamento, devido à dificuldade de acesso ao local da queda (mata) próximo à divisa de Juitiba com Miracatu, à uma distância de aproximadamente 180 Km do seu ponto de partida. O balão atingiu uma máxima altitude de 20 quilômetros e o voo durou 2 horas e 50 minutos.

Sabe-se que nosso Sol é emissor de raios cósmicos que atingem a atmosfera da Terra. Distúrbios no Sol podem produzir efeitos que poderiam afetar nossos dados coletados. No entanto, não houve alteração no clima estelar significativo – como supernovas ou erupções solares - detectadas no dia do nosso lançamento.

A partir dos dados coletados foram estruturados vários gráficos comparativos para análise de comportamento de eventos como variação de temperatura, pressão e radiação ao longo do voo, isto é, gradiente de variação comparado com época do ano, uma vez que será feito de forma recorrente, duas vezes por ano para se criar um modelo.

3. Resultados e Discussão

Todos os dados coletados durante o voo foram analisados e tratados para fazer visualizações gráficas tais como: Altitude por Tempo, apresentado na Figura 5; Partículas por Altitude, conforme Figura 6; Temperatura por Tempo, mostrado na Figura 7.

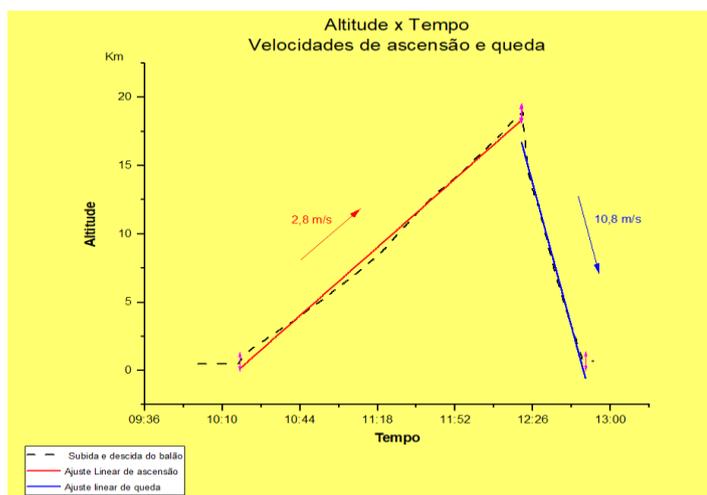


Figura 5- Altitude por tempo de voo. Regressão linear aplicada aos dados coletados através de sensoriamento. [Fonte: Elaborado pelos autores]

A Figura 5 mostra a velocidade do balão durante a subida, assim como sua descida. A subida foi bastante consistente. Após a aplicação da regressão linear, podemos verificar que a velocidade foi por volta de 2,8 m/s. Ao atingir sua altitude máxima o balão estoura, causando assim uma queda da carga útil do projeto BAA acelerada, mas desacelera porque o paraquedas é acionado em seguida e cria aumento na resistência do ar. Observa-se uma



velocidade de 10,8 m/s na fase de descida. O balão subiu por aproximadamente 2 horas e levou aproximadamente 50 minutos para descer.

Os cálculos das velocidades de ascensão e queda foram calculados a partir do ajuste linear aplicado ao gráfico.

$$V = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Onde, Δy é a variação de altitude e o Δx variação de tempo.

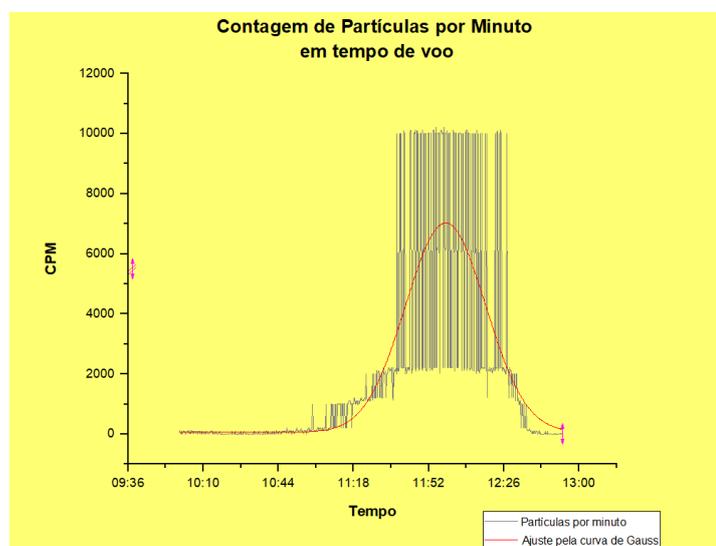


Figura 6 - Partículas capturadas por tempo de voo. [Fonte: Elaborado pelos autores]

A Figura 6 mostra as contagens por minuto de partículas registradas no contador Geiger. Conforme previsto, existe uma quantidade crescente de partículas radioativas registradas diante do aumento da altitude. Verifica-se que em altitude de 19055 m existe 10101 “contagem por minutos” de partículas energéticas contra uma medida de 21 CPM no nível do solo. Adicionalmente, o dado coletado durante a subida tem uma correlação singular com os dados durante a descida, isso permite concluir que o contador Geiger se comportou adequadamente durante todo o voo.

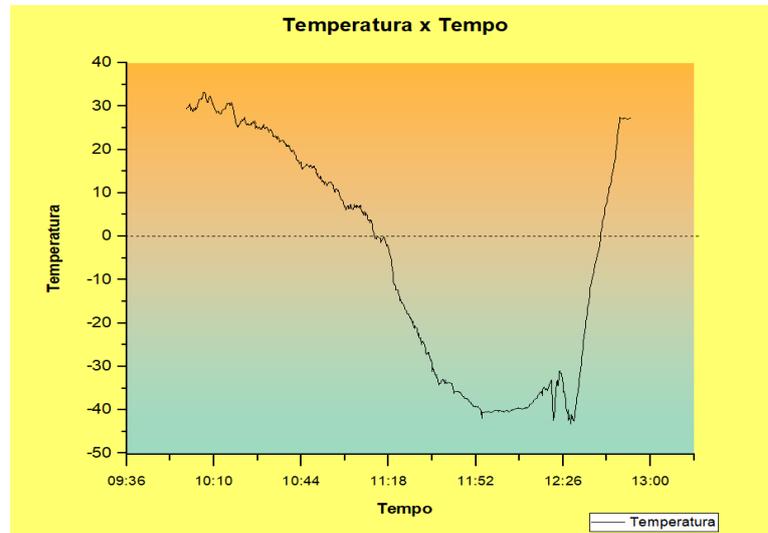


Figura 7. Temperatura por tempo de voo. Dados coletados através de sensoriamento. [Fonte: Elaborado pelos autores]

A Figura 7 é um gráfico de temperatura por tempo. Observa-se que em um dado momento, mais específico às 12 horas e 29 minutos, ocorre a medição da menor temperatura, $-43,2^{\circ}\text{C}$, o que representa uma altitude aproximada de 11,5 Km. O propósito principal do gráfico é verificar o comportamento da temperatura e, se de alguma forma, impactaria o funcionamento de toda a eletrônica da carga útil para a altitude pretendida. Dessa forma, poderíamos identificar a necessidade ou não de melhoria no isolamento térmico do sistema. Verificou-se que o isolamento foi adequado uma vez que as leituras por parte do sensor BMP280 estão adequadas, mesmo estando externo ao container, sujeitos às baixas temperaturas e alta radiação.

4. Conclusão

Esse lançamento possibilitou a avaliação de equipamentos como arduínos e sensores de baixo custo, bem como o contador Geiger e as câmeras que registraram diversas imagens durante o voo. Atenderam perfeitamente a proposta do projeto e se mostraram bastante resistentes, pois após 25 dias em condições adversas com muita umidade foram resgatados e continuam operando normalmente.

Para continuidade dos estudos, estão planejados novos lançamentos de BAA, sendo um por semestre na região de Sorocaba para obtenção de mais dados que possibilitarão a formação de modelos e padrões adequados para tratar os objetivos propostos.

Um resultado observado e animador foi o engajamento dos alunos na iniciativa e o ganho de conhecimento de ciências e o protagonismo alcançado em experiências práticas.

Referências

Baade, W.; Zwicky, F. (1934). Cosmic Rays from Super-novae. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (National Academy of Sciences) 20th ed. sec.65, pp. 259-263



- Babcock, H. (1948). Magnetic Variable Stars as Sources of Cosmic Rays. *Physical Review* 74th ed. sec. 4, pp. 489
- Bustamante. M. C, 2013, A descoberta dos raios cósmicos ou o problema da ionização do ar atmosférico, vol.35 no.2
- Greisen. K, 1966, End to the Cosmic-Ray Spectrum, *Phys. Rev. Lett.*, 16, 748
- Huege, T.& Falcke,H. 2005, Radio emission from cosmic ray air showers, *A&A*, 430, 779
- Horneffer.A, 2006, Measuring Radio Emission from Cosmic Ray Air Shower with a Digital Radio Telescope, PhD-thesis,Universität Bonn
- Manske, M. (2007). Atmospheric collision.
- Nigl. A, 2008, Cosmic rays studied with a hybrid high school detector array.
- Perkins. D.H, 2003, Particle astrophysics (Publications of the American Astronomical Society).
- Shellard, R.C, 2001, Cosmic Accelerators and Terrestrial, vol.31, n.2, pp.247-254. ISSN 1678-4448.
- Swordy. S, The energy spectra and anisotropies of cosmic rays, 2001, *Space Science Reviews* 99, pp85-94.
- Zatsepin. G.T, & Kuzmin.V.A, 1966, Upper Limit of the cosmic rays, *JETP*, 4, 78