

# Simulação de tracejamento de raios dos telescópios de raios gama CTA

Projeto de Iniciação Científica para o Edital UFABC/Propes 01/2017

## Resumo

O Cherenkov Telescope Array (CTA) é um novo observatório de raios gama de Energia Muito Alta (VHE<sup>1</sup>). O CTA tem objetivos científicos ambiciosos, para os quais é necessário atingir uma cobertura completa do céu, melhorar a atual sensibilidade de resolução angular e de energia em cerca de uma ordem de grandeza e abranger cerca de quatro décadas de energia (a partir de algumas dezenas de GeV até acima de 100 TeV).

Neste projeto de iniciação científica apresentamos uma proposta na qual o aluno tomará conhecimento de detalhes dos projetos telescópios do CTA nas suas três diferentes dimensões — Small Size Telescope (SST), Medium Size Telescope (MST) e Large Size Telescope (LST) — e desenvolverá um programa para simular suas respectivas ópticas, através da técnica de tracejamento de raios, visando minimizar a fração de sombra das estruturas de suporte projetada sobre os espelhos.

**Palavras-chave:** Raios gama, Telescópios, Tracejamento de raios.

**Área e sub-área de conhecimento:** Física (Física de Partículas Elementares e Campos).

## I. INTRODUÇÃO

Radiações eletromagnéticas de Energia Muito de Alta (VHE) atingem a Terra proveniente de todo o Cosmos, trazendo consigo informações cruciais sobre os fenômenos mais energéticos do Universo. No entanto, somente nos últimos 25 anos que foram desenvolvidos os instrumentos capazes de captar estas radiações. A situação mudou com o desenvolvimento de Imageamento por Telescópios Cherenkov Atmosféricos (IACTs) [1] e detectores de chuviscos atmosféricos, que agora amadureceram para abrir uma nova janela de exploração do Universo nas altas energias. Os atuais instrumentos IACT, como o H.E.S.S. [2], o MAGIC [3] e o VERITAS [4], juntamente com os bem sucedidos satélites Fermi [5] e AGILE [6] e com os experimentos de chuviscos atmosféricos Milagro [7], Tibet AS-gamma [8] e ARGO-YBJ [9] — que foram concebidos para a detecção de raios gama — têm produzido vários resultados interessantes e demonstrado que os fenômenos de VHE são onipresentes em todo o Universo. Mas muitos dos resultados levantaram novas questões que requerem mais e melhores dados para uma compreensão mais profunda dos fenômenos subjacentes.

O Cherenkov Telescope Array (CTA) [10] irá responder a muitas das perguntas que persistem, permitindo a detecção de mais de 1000 fontes ao longo de todo o céu [11]. O CTA tem por base a técnica comprovada de detecção cascatas de partículas induzidas por raios gama na atmosfera, através da radiação Cherenkov, formando imagens estereoscópicas de cada cascata, simultaneamente, com vários telescópios e reconstruindo as propriedades do raio gama primário a partir dessas imagens. Através da implantação de uma centena de telescópios em dois sítios, um localizado no hemisfério sul e um no norte, o CTA alcançará uma cobertura completa do céu. Este número de telescópios, que virão em três tamanhos, aumenta a sensibilidade e a cobertura em energia em, pelo menos, uma ordem de magnitude em comparação com instrumentos de VHE existentes. Além disso, as resoluções angulares e de energia irá melhorar significativamente, dando origem a incomparável capacidade de imageamento nas altas energias. Ademais, a sensibilidade melhorada pode permitir a descoberta de novos fenômenos completamente inesperados. O CTA será o primeiro, nesta faixa de energia, a ser operado — e desde o início — como um observatório aberto, que aceitará propostas de observação de cientistas interessados e fornecerá as ferramentas e o suporte para as análises de dados. O conceito do CTA foi proposto inicialmente ao comitê ESFR<sup>2</sup>, em 2006, como uma infra-estrutura de investigação para a astronomia de raios gama, com um custo de investimento estimado (na época) em cerca de 150 M€. O Consórcio CTA foi formado, então, para elaborar a concepção do instrumento e trabalhar em sua implementação. Desde então, o interesse e o apoio pelo projeto cresceu e,

<sup>1</sup>Ao longo de todo o texto, usaremos as siglas correspondentes em inglês.

<sup>2</sup>European Strategy Forum on Research Infrastructures.

atualmente, o Consórcio CTA consiste em mais de 1000 cientistas e engenheiros de mais de 160 instituições de 27 países mundo afora.

Os principais temas científicos do CTA são estudar a aceleração de raios cósmicos galácticos em Remanescentes de SuperNovas (SNRs), os processos para a formação buracos negros, jatos e a história da formação de estrelas do Universo, a natureza da matéria escura e possíveis processos de violação da invariância de Lorentz [11] [12] [13]. O CTA será de cerca de dez vezes mais sensível do que qualquer instrumento existente em sua faixa de energia. Como consequência ele vai, pela primeira vez, permitir a detecção e o estudo aprofundado de grandes amostras de fontes conhecidas de raios gama. Vai explorar uma ampla gama de candidatos emissores de raios gama e será sensível a possíveis fenômenos novos que estão além da sensibilidade dos instrumentos atuais. Na sua faixa central de energia, a partir de cerca de 100 GeV para vários TeV, o CTA terá sensibilidade de mili-Crab (mcrab), ou seja, suficiente para um fluxo comparável a  $10^{-3}$  vezes ao da fonte mais forte e constante de raios gama de VHE: a Nebulosa do Caranguejo; e um fator de  $10^{-4}$  menor ao dos mais altos fluxos medidos até agora de surtos transientes de raio gama. Esta faixa dinâmica não só irá permitir o estudo das fontes mais fracas e de novos tipos de fontes, mas também irá reduzir o viés de seleção na classificação dos tipos de fontes conhecidas.

## II. METODOLOGIA

Para alcançar as metas de desempenho e, especificamente, a vasta faixa de energias a ser coberta, os instrumentos necessitam ser otimizados para as três regiões de energia cobertas (vide figura 1):

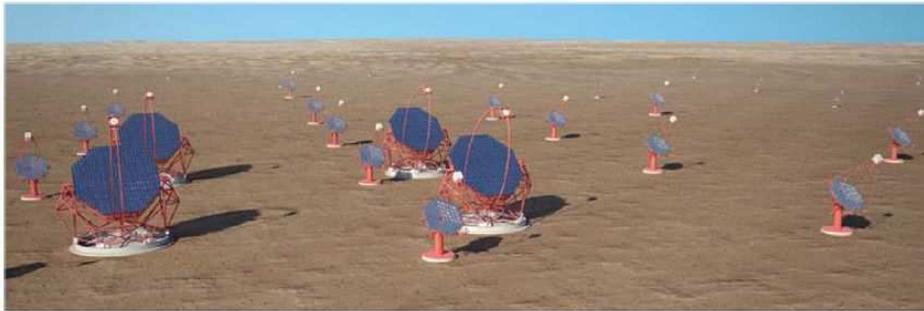


Figura 1: Visão artística do arranjo de telescópios do CTA no sítio sul, com quatro LSTs, ~ 30 MSTs e ~ 50 SSTs.

- **A região de baixa energia ( $\leq 100$  GeV):** para detectar chuviscos a partir de algumas dezenas de GeV, a luz Cherenkov precisa ser amostrada de maneira eficiente, com a fração de área coberta por coletores de luz sendo da ordem de 10%. Uma vez que a taxa de eventos é elevada e as incertezas sistemáticas do fundo limita a sensibilidade possível, a área desta parte do arranjo pode ser relativamente pequena (da ordem de alguns  $10^4$  m<sup>2</sup>). O projeto CTA assume um pequeno número ( $\leq 4$ ) de Telescópios de Grande Porte colocados próximos (LSTs), com um diâmetro do espelho de cerca de 23 m, para recolher o máximo possível de fótons Cherenkov dos chuviscos de baixa energia.
- **A região de energia 0.1-10 TeV:** a detecção de chuviscos e a reconstrução nesta faixa de energia são bem compreendidos pelos instrumentos atuais. O passo apropriado para melhorar o desempenho é um arranjo de Telescópios de Médio Porte (MSTs), com espelhos de cerca de 12 m de diâmetro e um espaçamento de cerca de 100 m. Sensibilidade melhorada em relação aos instrumentos existentes será obtida tanto pelo aumento da área coberta pelo arranjo de telescópios e pela maior qualidade da reconstrução dos chuviscos, já que chuviscos individuais serão tipicamente observados estereoscopicamente por um maior número de telescópios que os arranjos atuais de poucos telescópio. Além disso, o eixo chuviscos é visto sob um ângulo suficientemente grande para a reconstrução eficiente de sua direção. No H.E.S.S. ou VERITAS, por exemplo, eventos que são vistos e acionados por todos os quatro telescópios fornecem significativamente melhor resolução e fundos fortemente reduzidas, mas eles representam apenas uma fração relativamente pequena dos eventos. Para o CTA quase todos os eventos serão gravados em alta qualidade.
- **A região de alta energia  $> 10$  TeV:** aqui, a principal limitação é o número de chuviscos de raios gama detectados. Por conseguinte, para alcançar grande melhoria a matriz precisa para cobrir uma área de vários quilômetros quadrados. Em

altas energias a produção de luz de um chuvaire é grande, de modo que os chuvaireos podem ser detectados muito além do raio de 150 m de emissão de luz Cherenkov. Duas opções podem ser consideradas: ou um grande número de espelhos de pequenas áreas com telescópios de alguns m<sup>2</sup> de espaçamento ou um menor número de telescópios maiores com 10-20 m<sup>2</sup> de área que podem ver chuvaireos a distâncias  $\geq 500$  m do núcleo. Ambas as implementações são chamadas de Telescópios de Tamanhos Pequenos (SSTs).

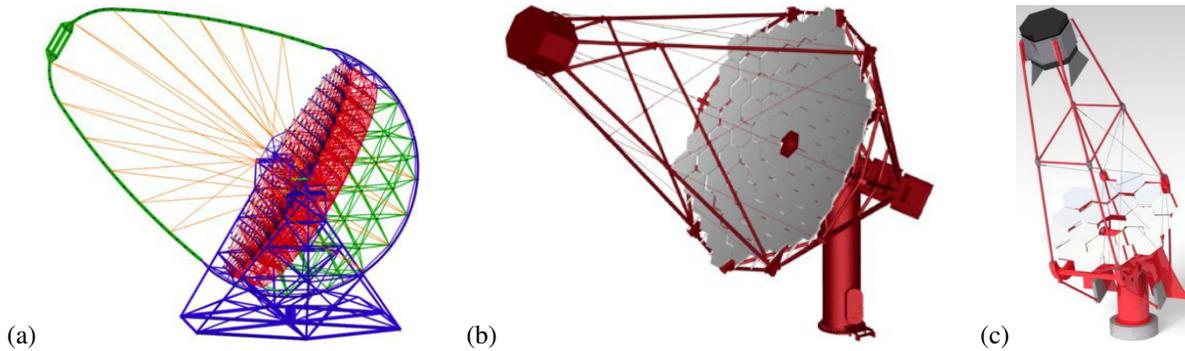


Figura 2: Concepções básicas para os telescópios do CTA: (a) LST; (b) MST e (c) SST.

O projeto será executado através da modelagem computacional do MST (vide figura 3-a) e de uma geração de raios, utilizando-se princípios da óptica geométrica, para estudar a formação de sombras sobre os espelhos (vide figura 3-b) e da Função de Espalhamento Puntual (PSF) na região da câmara do MST.

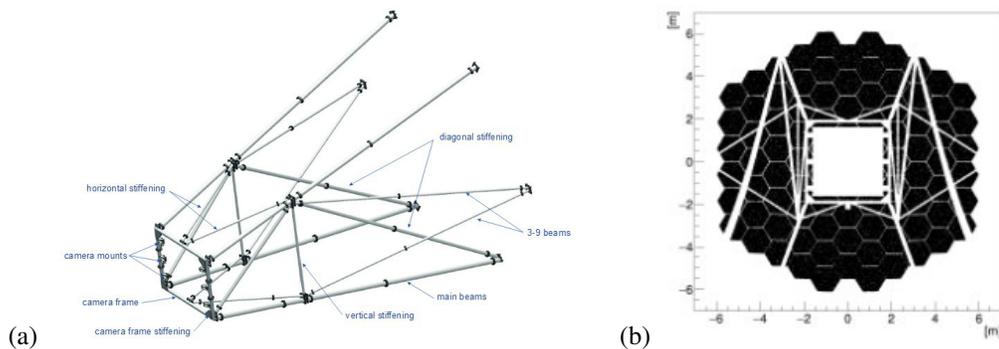


Figura 3: Concepções básicas para os telescópios do CTA: (a) LST; (b) MST e (c) SST.

Os dados relativos ao projeto executivo do MST estão disponíveis ao orientador, uma vez que este trabalha no projeto e construção da Estrutura de Suporte da Câmara (CSS) destes telescópios. Ademais, e possuímos todos os recursos computacionais necessários nos laboratórios da UFABC: sistema operacional Linux, compiladores C/C++ e distribuições da plataforma de análise de dados ROOT [14], a mais utilizada em nossa área de pesquisa.

### III. OBJETIVOS E METAS

A atividade principal no decorrer do projeto será o desenvolvimento da rotina de tracejamento de raios e os respectivos métodos de visualização. O foco é obter das reconstruções dos raios informações acerca da resolução angular que os telescópios devem ter, de acordo com os seus projetos de construção. Estão propostas as seguintes metas específicas:

1. Estudo do projeto do CTA [10], obtendo os parâmetros desejados aos três tipos de telescópio: SST, MST e LST;
2. Estudo do método de tracejamento de raios (ou *ray tracing*, em inglês);
3. Desenvolvimento da rotina com orientação a objetos: serão criadas classes denominadas Geometria, Óptica e Detector, contendo os métodos específicos em cada caso;

4. Análise dos resultados: obtenção do tamanho da mancha luminosa (PSF) no foco e da resolução angular do telescópio;
5. Desenvolvimento da rotina de visualização tridimensional.

Além das atividades de pesquisa citadas, o aluno deverá participar de reuniões periódicas do Grupo de Raios Cósmicos (GRC) com o orientador em que serão discutidos aspectos técnicos (teóricos ou experimentais) das pesquisas na área. Temos também como metas as apresentações dos resultados deste trabalho no Simpósio de Iniciação Científica da UFABC, bem como em encontros nacionais e/ou internacionais de Física de Astropartículas.

## IV. CRONOGRAMA

O cronograma das atividades a serem realizadas no presente projeto resume-se às seguintes etapas básicas:

- Estudo das características fundamentais do CTA (1 mês);
- Estudo da óptica geométrica e do método do tracejamento de raios (1 mês);
- Estudo sobre as linguagens de programação e os métodos de simulação (1 mês);
- Desenvolvimento da rotina de tracejamento de raios do MST (2 meses);
- Elaboração do relatório parcial (1 mês);
- Desenvolvimento da rotina de visualização (2 meses);
- Construção dos histogramas do tamanho da PSF (2 meses);
- Determinação da resolução angular (1 mês);
- Elaboração do relatório final (1 mês).

## V. CONCLUSÃO

O Cherenkov Telescope Array (CTA) é um projeto para a próxima geração de observatórios terrestres de raios gama de energias muito altas (GeV-TeV). Ele encontra-se, atualmente, em fase de projeto e de pré-produção dos telescópios. O CTA deverá entrar em operação nos próximos anos em seus dois sítios: nas Ilhas Canárias, no hemisfério norte, e no Chile, no hemisfério sul. O CTA deverá fornecer informações fundamentais em problemas em aberto na campo das Astropartículas, que envolvem raios cósmicos, raios gama de altas energias, neutrinos e matéria escura.

Neste projeto apresentamos uma proposta de iniciação científica na qual o aluno tomará conhecimento de detalhes dos projetos telescópios do CTA e desenvolverá um programas para simular e visualizar suas ópticas. Os trabalhos servirão para a formação de recursos humanos, através do treinamento do estudante em técnicas da Astrofísica de Altas Energias. Seus resultados serão apresentados em encontros especializados e no Simpósio de Iniciação Científica da UFABC. Aproveitando dos vários anos de experiência profissional do orientador na área, da sua participação no Consórcio do CTA, temos plena capacidade de desenvolver o projeto na UFABC com êxito.

## VI. REFERÊNCIAS

- [1] A.M. Hillas, Evolution of ground-based gamma-ray astronomy from the early days to the Cherenkov telescope arrays, *Astropart. Phys.* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2012.06.002>.
- [2] F. Aharonian et al., HESS Collaboration, *A&A* 457 (2006) 899.  
<<http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/about/telescopes>>.

- [3] MAGIC. <<http://magic.mppmu.mpg.de>>
- [4] VERITAS. <<http://veritas.sao.arizona.edu>>.
- [5] W.B. Atwood et al., *ApJ* 697 (2009) 1071, <http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/697/2/1071>. <<http://fermi.gsfc.nasa.gov>>.
- [6] M. Tavani et al., *NIM A* 588 (2008) 52.
- [7] Milagro. <<http://www.lanl.gov/milagro>>
- [8] Tibet AS Gamma. <<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/em/index.html>>.
- [9] G. Aielli et al., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* 562 (2006) 92. <<http://argo.na.infn.it>>.
- [10] B.S. Acharya et al., CTA Consortium, *Astropart. Phys.* 43 (2013) 3-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2013.01.007>
- [11] J.A. Hinton, W. Hofmann, *Ann. Rev. Astronom. Astrophys.* 47 (2009) 523.
- [12] F.A. Aharonian et al., *Rep. Prog. Phys.* 71 (2008) 096901.
- [13] M. Martinez, *J. Phys. Conf. Ser.* 171 (2009) 012013.
- [14] <http://root.cern.ch/root>