



OBSERVATÓRIO NACIONAL  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA

IMPLANTAÇÃO DE REDE DE OBSERVAÇÃO DE  
METEOROS PARA O LEVANTAMENTO DE SUAS  
PROPRIEDADES DINÂMICAS E FÍSICAS  
VISANDO À IDENTIFICAÇÃO DE SEUS  
RADIANTES E CORPOS PARENTAIS.

MARCELO ANTONIO BARROS DE CICCIO  
ORIENTADORA: DRA. DANIELA LAZZARO

RIO DE JANEIRO - RJ  
2017

IMPLANTAÇÃO DE REDE DE OBSERVAÇÃO DE METEOROS PARA O  
LEVANTAMENTO DE SUAS PROPRIEDADES DINÂMICAS E FÍSICAS  
VISANDO À IDENTIFICAÇÃO DE SEUS RADIANTES E CORPOS  
PARENTAIS.

Marcelo Antonio Barros De Cicco

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-graduação em Astronomia do  
Observatório Nacional/MCTI, como parte dos  
requisitos necessários à obtenção do Grau de  
Mestre em Ciências.

Orientador: Daniela Lazzaro

Rio de Janeiro  
Setembro de 2017

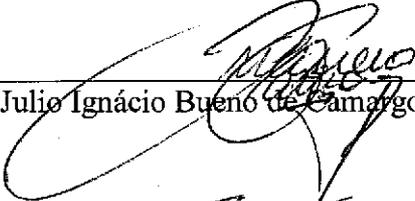
"IMPLANTAÇÃO DE REDE DE OBSERVAÇÃO DE METEOROS PARA O  
LEVANTAMENTO DE SUAS PROPRIEDADES DINÂMICAS E FÍSICAS  
VISANDO À IDENTIFICAÇÃO DE SEUS RADIANTES E CORPOS  
PARENTAIS "

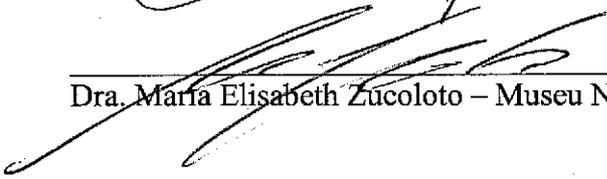
MARCELO ANTONIO BARROS DE CICCIO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE EM ASTRONOMIA.

Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Daniela Lazzaro – ON/MCTIC  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Julio Ignacio Bueno de Camargo – ON/MCTIC

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Maria Elisabeth Zucoloto – Museu Nacional/UFRJ

RIO DE JANEIRO – BRASIL

27 DE SETEMBRO DE 2 017

Barros De Cicco, Marcelo Antonio

Implantação de rede de observação de meteoros para o levantamento de suas propriedades dinâmicas e físicas visando à identificação de seus riantes e corpos parentais./Marcelo Antonio Barros De Cicco. – Rio de Janeiro: ON/MCTI, 2017.

XIV, 88 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Daniela Lazzaro

Dissertação (mestrado) – ON/MCTI/Programa de Pós-graduação em Astronomia, 2017.

Bibliography: p. 79 – 88.

I. , . II. Observatório Nacional/MCTI, Programa de Pós-graduação em Astronomia. III. Título.

Quero dedicar esta dissertação as pessoas que acreditaram no meu caminhar na astronomia, em primeiro lugar a minha querida e saudosa Sonia de Azevedo Gonçalves, depois aos meus colegas da rede Exoss, em especial a minha irmã de fé Luciana Fontes que soube lidar com as agruras do desafio em fundar um projeto pioneiro em nosso País, unindo o formalismo acadêmico e a liberdade furiosa do leigo. Por fim dedico especialmente a presente dissertação a minha orientadora Daniela Lazzaro que sempre me apoiou, corrigiu e apontou o melhor caminho na Ciência.

# Agradecimentos

São inúmeras pessoas que precisaria agradecer, portanto uma pagina não seria suficiente para mencionar todos aqueles que de uma forma ou de outra me proporcionaram aprendizado e amadurecimento na vida acadêmica. Agradeço a meus pais pela educação e estrutura familiar proporcionadas, ao Prof. Rodrigo Capaz pelo apoio a minha formação científica e meus professores nas cadeiras do Mestrado.

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Astronomia do Observatório Nacional/MCTI como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

IMPLANTAÇÃO DE REDE DE OBSERVAÇÃO DE METEOROS PARA O  
LEVANTAMENTO DE SUAS PROPRIEDADES DINÂMICAS E FÍSICAS  
VISANDO À IDENTIFICAÇÃO DE SEUS RADIANTES E CORPOS  
PARENTAIS.

Marcelo Antonio Barros De Cicco

Setembro/2017

Orientador: Daniela Lazzaro

Programa: Astronomia

EXOSS (Exploring Southern Skies for New Radiants) é um projeto cidadão cientista que iniciou suas atividades em maio de 2015, logo em seguida vindo a se tornar projeto de mestrado para o desenvolvimento de sua estrutura operacional e científica, aprimorando a definição de seus principais objetivos que são a detecção de meteoros por videomonitoramento e obtenção de órbitas acuradas relacionando a ciência dos meteoros com a pesquisa de asteroides e cometas. O projeto é organizado em uma estrutura hierárquica coordenada por um conselho composto de quatro membros que fazem a gestão da operação técnica e das diretrizes científicas, operando em 10 estados com 33 associados e 51 câmeras, formando uma rede de monitoramento. Também, como parte do projeto EXOSS, foi criada a rede R-OASI para expandir o videomonitoramento de meteoros na região do Nordeste brasileiro. O projeto usa a suite de softwares UFO para detecção, análise de trajetórias e cálculos de órbitas, e seus resultados podem ser utilizados na pesquisa de meteoróides, riantes e corpos parentais. A rede já registrou 28 000 meteoros simples, sendo 1624 pareados, permitindo o cálculo de 1600 órbitas com boa qualidade de precisão.

Palavras-chaves : meteoros, meteoroides

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Astronomia do Observatório Nacional/MCTI como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

IMPLANTAÇÃO DE REDE DE OBSERVAÇÃO DE METEOROS PARA O  
LEVANTAMENTO DE SUAS PROPRIEDADES DINÂMICAS E FÍSICAS  
VISANDO À IDENTIFICAÇÃO DE SEUS RADIANTES E CORPOS  
PARENTAIS.

Marcelo Antonio Barros De Cicco

Setembro/2017

Orientador: Daniela Lazzaro

Programa: Astronomia

EXOSS (Exploring Southern Skies for New Radiants) it is a citizen science project that started its activities on May 2015 and later became a master graduate project developing its operational and scientific structure, improving main proposals specifications which are detecting meteors by video surveillance, get accurate orbits and connecting meteor science with asteroidal and cometary research. It is organized on a hierarchial structure ruled by a board of four members that manages the technical operations and scientific directions, the project is operating on 10 states with 33 associates and 51 cameras as a monitoring network. Also, as part of EXOSS project, it was created the R-OASI network to expand meteors video-monitoring on brazilian northeast region. The project uses UFO software suite for detection, trajectory analysis and orbit calculations, so the results can be applied on meteoroids, radiants and parental bodies research. The network registered 28 000 single meteors, of which 1624 are double meteors, enabling 1600 calculated orbits with good quality accuracy.

key words: meteors, meteoroids

# Contents

<b>List of Figures</b>	<b>x</b>
<b>List of Tables</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Conceituação do fenômeno Meteoro</b>	<b>4</b>
1.1 Origem . . . . .	8
1.1.1 Meteoros originados de Cometas . . . . .	13
1.1.2 Meteoros originados de Asteroides do Cinturão Principal . . . . .	18
1.1.3 Meteoros originados de NEO . . . . .	18
1.2 Chuvas e os Meteoros esporádicos . . . . .	19
1.3 Meteoros Hiperbólicos . . . . .	21
1.4 Bólidos e Superbólidos . . . . .	23
1.5 Meteoritos e suas fontes . . . . .	24
1.6 Correntes de Meteoroides e Chuvas de meteoros . . . . .	26
1.6.1 Quantidade de massa que penetra na Terra . . . . .	27
1.7 Regras de Nomenclatura das Chuvas . . . . .	29
1.8 O Videomonitoramento de Meteoros no Brasil . . . . .	32
1.9 Considerações sobre o estudo dos Meteoros . . . . .	33
<b>2 Implantação e Metodologia da Rede EXOSS e R-OASI</b>	<b>34</b>
2.1 A Descrição das Redes . . . . .	35
2.1.1 A Rede EXOSS . . . . .	36
2.1.2 A rede R-OASI . . . . .	43
2.2 Softwares e Instrumentação de uma estação de monitoramento . . . . .	44
2.2.1 Softwares de videocapturas e análises . . . . .	45
2.2.2 Câmeras e lentes . . . . .	48
2.3 Banco de Dados . . . . .	49
2.4 A Capacitação dos associados e parceiros . . . . .	50
2.5 Técnicas e Metodologias de Análise de trajetórias e órbitas . . . . .	51

<b>3 Resultados e Discussões</b>	<b>56</b>
3.1 Meteoros registrados . . . . .	56
3.1.1 Magnitudes . . . . .	59
3.2 Chuvas e Esporádicos . . . . .	59
3.3 Bólidos . . . . .	62
3.4 Conclusões e perspectivas . . . . .	63
<b>A Glossário de termos</b>	<b>64</b>
<b>B Desenvolvimento de Softwares</b>	<b>67</b>
B.1 ” <i>EXOSS Analyser Helper</i> ” . . . . .	67
B.2 ” <i>DOCCA</i> ” . . . . .	68
<b>C Relate um Bólido</b>	<b>69</b>
<b>D Participação de associados em eventos de divulgação</b>	<b>71</b>
<b>E Listagem de Chuvas associadas a Cometas</b>	<b>73</b>
<b>F Links das estações de Monitoramento da Rede EXOSS e Parceiros</b>	<b>76</b>
<b>Bibliography</b>	<b>79</b>

# List of Figures

1	Mapa ilustrativo da distribuição das principais redes de monitoramento de meteoros no mundo. Fonte: <a href="http://press.exoss.org/mapas/redes-de-monitoramento-de-meteoros/">press.exoss.org/mapas/redes-de-monitoramento-de-meteoros/</a> . . . . .	1
1.1	Nesta imagem é possível identificar o núcleo ativo e a coma em torno do cometa 252P/LINEAR. Imagens feitas por Filipe Vieira, Marcelo De Cicco e Plicida Arcoverde, em 01.04.2016, no Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica. . . . .	14
1.2	Diagrama mostrando uma corrente de meteoroides formada por um cometa. No caso é representada a chuva Leonids, cujo progenitor é o cometa Tempel-Tuttle. Figura retirada de SAO (2017). . . . .	14
1.3	Diagrama da modelagem da corrente de meteoroides do NEO (196256) 2003 $EH_1$ , figura retirada de (Jenniskens, 2007a). . . . .	19
1.4	Aplicação do modelo de Grün em função da massa e do diâmetro do meteoróide que penetram na atmosfera da Terra figura retirada de (Drolshagen et al., 2015) . . . . .	28
1.5	Modelo de fluxo de Brown e função da massa e do diâmetro. Figura retirada de(Drolshagen et al., 2015) . . . . .	28
1.6	Interpolação dos modelos de Grün e de Brow. Figura retirada de (Drolshagen et al., 2015) . . . . .	29
1.7	Listagem contendo os nomes oficiais das 112 chuvas reconhecidas retirada de <a href="https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje_lista.php?corobic_roje=1&amp;sort_roje=0">https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje_lista.php?corobic_roje=1&amp;sort_roje=0</a> . . . . .	31
2.1	<i>Esquerda: foto de uma estação EXOSS desmontada, pertencente ao associado Eduardo P. Santiago. Direita: foto de quatro câmeras da estação de monitoramento de meteoros - ITU 1, localizada na cidade de Itú/SP.</i> . . .	36
2.2	<i>Logo do projeto Exoss.</i> . . . . .	37

2.3	<i>Gráfico retirado de Kullenberg and Kasperowski (2016) mostrando a tendência crescente de publicações, usando a prática de ciência cidadã desde a década de 90. Note-se o rápido aumento, a partir de 2010, com o lançamento de projetos digitais, como Galaxy Zoo, Planet Hunter, Ebird, dentre outros.</i>	39
2.4	<i>Histograma de frequência absoluta de categorias de ciência cidadã encontrados no sitio Web of Science, em 17.12.2015. A área de astronomia e astrofísica ocupa o 14º lugar. Figura retirada de (Kullenberg and Kasperowski, 2016)</i>	40
2.5	<i>Organograma da Rede Exoss.</i>	41
2.6	<i>Mapa mostrando a localização do OASI, centro da rede R-OASI.</i>	44
2.7	<i>Primeira imagem de um meteoro capturado pela estação ION_1, em 05.06.2016, às 07:54:58 UTC.</i>	44
2.8	<i>Camera ION_1 instalada nas dependências do OASI.</i>	44
2.9	<i>Folder descritivo do conjunto de equipamentos utilizados para montar uma estação de monitoramento de meteoros da EXOSS.</i>	45
2.10	<i>Imagem analisada de um bólido, no dia 16.05.2016, às 07:22:35 TU registrado pela estação COL, localizada em Colatina/ES, do associado Leonardo Simões.</i>	47
2.11	<i>Analises do bólido apresentado na figura 2.10 através do software UFOOrbitV2 e sua captura por duas estações permitiram o cálculo do radiante e da órbita. Esquerda: A linha vermelha representa a trajetória pareada pelas estações, a linha verde e a linha tracejada sao prolongamentos até o radiante observado e o asterisco amarelo representa o radiante modificado. Direita: a órbita osculatória de pré-impacto do bólido, representada pela elipse tracejada. As estações são SJU e CFB, dos associados Marcelo Mozer, de São José do Ubá/RJ, e Carlos Henrique Barreto, de Campos dos Goytacazes.</i>	47
2.12	<i>Modelo de camera CCTV usada em projeto de monitoramento. À esquerda: imagem da câmera em montagem de teste. À direita: imagem caixa de proteção e câmera.</i>	49
2.13	<i>Tipica lente CCTV usada em câmeras de monitoramento.</i>	49
2.14	<i>Front end do Banco de dados do projeto EXOSS. A janela da direita mostra um exemplo de query, e na sua parte inferior o resultado da pesquisa, que pode ser exportada em formatos como CSV, XLS, SQL e JSON/PHP.</i>	49
2.15	<i>Resultado de uma "query" sobre modelos de placa de captura por estação.</i>	50
2.16	<i>Imagem do sítio eletrônico destinado ao suporte e capacitação dos participantes no monitoramento de meteoros.</i>	51

2.17	<i>Mapa da região do norte-fluminense, onde estão plotados duas estações que parearam o mesmo meteoro, a trajetória está em amarelo, e os dois triângulos representam a visualização, de parte do caminho feito pelo meteoro, por cada estação.</i>	52
2.18	<i>Diagrama mostrando um meteoro visto de duas estações, S1 e S2, a trajetória dele segue de A para B, <math>\vec{n}</math> e o vetor normal ao plano, e <math>\vec{M2}</math>, a direção da vista de um ponto do caminho do meteoro observado por S2. Figura retirada de (Koschny and Diaz del Rio, 2002).</i>	52
2.19	<i>Frame do vídeo do bólido já apresentado em figuras anteriores, com marcação exemplificativa, em laranja, de ponto da trajetória, no caso a posição do objeto em #4.</i>	53
2.20	<i>Imagem do bólido, com frames empilhados, já apresentado em figuras anteriores, com marcações exemplificativas, em laranja, de pontos da trajetória (indo de 1 a 7).</i>	54
3.1	<i>Histograma de frequência absoluta de total de meteoros por estações das redes.</i>	57
3.2	<i>Gráfico torta de órbitas por estações.</i>	57
3.3	<i>Mapa geográfico da distribuição de meteoros registrados e pareados. A reta amarela representa a trajetória do meteoro, o ponto vermelho o início dela e as linhas verdes a secção de cada estação durante o registro do meteoro.</i>	58
3.4	<i>Em cima: Distribuição de magnitudes absolutas de 1624 videometeoros pareados. Embaixo: Distribuição das magnitudes visuais, seu limite está próximo de <math>+2.5^m</math> seguindo a média de valores para o tipo de câmera empregado no monitoramento.</i>	59
3.5	<i>As dez principais chuvas identificadas no período de maio de 2015 a maio de 2017.</i>	59
3.6	<i>Acima: 58 órbitas de meteoros da rho Geminids. Abaixo: 54 órbitas de meteoros da Geminids.</i>	61
3.7	<i>Acima: 40 órbitas de meteoros das Perseids. Abaixo: 37 órbitas de meteoros da Southern delta - Aquariids.</i>	61
3.8	<i>Acima: 30 órbitas de meteoros das Southern iota Aquariids. Abaixo: 27 órbitas de meteoros da alpha Capricornids.</i>	61
3.9	<i>Acima: 20 órbitas de meteoros da eta Eridanis. Abaixo: 15 órbitas de meteoros da omicron Hydrids.</i>	61
3.10	<i>Acima: 15 meteoros da delta Mensids. Abaixo: 14 meteoros da October alpha Virginids.</i>	61

3.11	<i>Mapa celeste sinusoidal dos radianes calculados do período de 2 anos de monitoramento de meteoros das redes EXOSS e R-OASI, a partir de maio de 2015. Os pontos coloridos representam a posição do radiante de cada meteoro.</i>	62
3.12	<i>Gráfico de distribuição de bólidos ao longo entre maio de 2015 e maio de 2017.</i>	62
A.1	<i>Diagrama de intersecção de planos mostrando o radiante aparente.Figura retirada de (Bettonvil, 2006).</i>	65
A.2	<i>Imagem de um radiante, feitas por mosaicos de fotografias da atividade da Chuva Draconids, em 1985.Figura retirada de (Jenniskens, 2006).</i>	65
A.3		65
B.1	<i>Á direita, tela principal do software de análises UfoAnalyserV2, á esquerda, aplicativo que irá auxiliar exibindo quais dados devem ter uma maior atenção para tratamento de dados dos meteoros registrados</i>	67
B.2	<i>As modificações em andamento nos pareamentos da rede, já apresentam resultados, aumentando o número de meteoros triangulados.</i>	68
C.1	<i>Ferramenta disponível em quase todos os países e idiomas conta com a participação do Exoss na sua disseminação no Brasil, através do trabalho de tradução de Eduardo P. Santiago</i>	69
C.2	<i>Exemplo de Evento (1642-2015). Um grande bólido avistado em 3 países incluindo o Brasil, seus dados podem ser consultados no site e o arquivo deste evento específico pode ser baixado via o link:<a href="http://fireballs.imo.net/members/imo_kml/view_event_kml?event_id=1642&amp;event_year=2015">http://fireballs.imo.net/members/imo_kml/view_event_kml?event_id=1642&amp;event_year=2015</a>.</i>	70

# List of Tables

1.1	<i>Classificação C-A - Tabela que discrimina a proporção de órbitas cometárias dentre meteoros observados, usando os resultados de critérios C-A, no caso foram usados dois catálogos distintos (Jopek and Williams, 2013).</i> . . . . .	10
1.2	Quadro exemplificativo de faixas de densidade nuclear por autores . . .	15
2.1	<i>Região Sul</i> . . . . .	41
2.2	<i>Região Sudeste</i> . . . . .	42
2.3	<i>Região Nordeste</i> . . . . .	43
2.4	<i>Região Centro-Oeste e Norte</i> . . . . .	43
3.1	<i>Tabela que discrimina os valores de corte para fator de qualidade Q1.</i>	57
3.2	<i>Tabela que discrimina a proporção de órbitas cometárias dentre meteoros observados, usando os resultados de critérios C-A para amostra de 1393 meteoros.</i> . . . . .	58
3.3	<i>Tabela que discrimina os valores de corte para fator de qualidade Q2.</i>	58
E.1	Tabela de Chuvas associadas a cometas . . . . .	73
F.1	<i>Região Sul</i> . . . . .	76
F.2	<i>Região Sudeste</i> . . . . .	77
F.3	<i>Região Nordeste</i> . . . . .	78
F.4	<i>Região Centro-Oeste e Norte</i> . . . . .	78

# Introdução e Motivação

A pesquisa de meteoros teve grande expansão a partir da primeira década do ano 2000, quando novas técnicas de análise de trajetória de meteoros foram incorporadas, tais como: astrometria por frames de video, pacotes de análise de órbita pré-impacto e programas de captura de movimento adaptadas ao monitoramento do céu noturno. Aliado a essas novas técnicas, o barateamento de computadores domésticos, bem como de câmeras, lentes e acessórios utilizados permitiram a expansão da pesquisa de meteoros.

A ampliação desse estudo por conta das novas técnicas e facilidade de acesso a equipamentos de monitoramento com o objetivo de imagear meteoros permitiu a criação de grupos organizados de astrônomos amadores. Atualmente tais grupos estão estruturados nas chamadas redes de monitoramento, espalhadas pelo mundo, que pode ser constatado no mapa das distribuição das redes, mostrada na figura 1.



Figure 1: Mapa ilustrativo da distribuição das principais redes de monitoramento de meteoros no mundo. Fonte: [press.exoss.org/mapas/redes-de-monitoramento-de-meteoros/](http://press.exoss.org/mapas/redes-de-monitoramento-de-meteoros/)

Este mapa mostra a distribuição global das redes de monitoramento no mundo, sendo que as principais e mais atuantes são:

**IMO** - International Meteor Organization;

**UKMON** - United Kingdom Meteor Observation Network;

**EDMOND** - European viDeo MeteOr Network Database;

**BOAM** - Base de Observateurs Amateurs de Méteores;

**IMTN** - Italian amateurs observer in Italian Meteor and TLEs Networks;

**PFN** - Polish Fireball Network;

**CAMS** - Cameras for All Sky Surveillance;

**AMS** - American Meteor Society;

**SONOTACO** - Sonotaco Network Japan.

Estas redes foram criadas no intuito de apoiar a pesquisa, fornecendo registros de parâmetros orbitais de meteoros para catálogos e bancos de dados<sup>1</sup>. Seguindo a expansão da pesquisa de meteoros no mundo, um grupo de pessoas reunindo um astrônomo profissional e oito entusiastas de astronomia fundou em maio 2015 a rede de observação de meteoros denominada de EXOSS - Exploring Southern Skies for New Radiants. Inicialmente com 9 associados e 12 câmeras, foi dado início ao estabelecimento desta organização de monitoramento e estudos de meteoros no Brasil.

Hoje em dia a rede EXOSS conta com 33 membros e 51 câmeras distribuídas em 10 estados brasileiros, promovendo a continuidade do trabalho de vasculhar os céus noturnos coletando imagens em video de meteoros, calculando trajetórias, órbitas e estimativas de magnitudes. O projeto EXOSS tem como fundamento o espírito "*citizen Science*" (ciência cidadã), que é um movimento mundial na ciência unindo pesquisadores e leigos, com objetivo comum de produzir dados científicos destinados a trabalhos acadêmicos e pesquisas científicas. Mais a frente, na seção 2.1.1 do Capítulo 2 discutiremos um pouco mais sobre ciência cidadã.

É importante ressaltar que o estudo de meteoros é um tema atual em ciência planetária, além de constituir-se de um tópico dinâmico, multidisciplinar, envolvendo principalmente a química, materiais, mecânica celeste, espectrografia, dentre outras áreas, aplicando-se conceitos desde formação do Sistema Solar até propriedades dos pequenos corpos planetários, como dureza, tamanho e grãos e

---

<sup>1</sup>A lista dos principais catálogos e bancos de dados disponíveis para consulta estão no link do Meteor Data Center - IAU: [www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/](http://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/)

composição química (Borovička et al., 2005).

Conseqüentemente, o estudo do fenômeno conhecido como meteoro, envolvendo desde sua origem, evolução, queima na atmosfera terrestre e eventual queda (na forma de um meteorito), é parte da investigação do Sistema Solar e sua formação, assim como também auxilia no estudo das propriedades físico-químicas de pequenos corpos, como asteroides e cometas (Ceplecha and McCrosky, 1976).

O estudo de meteoros faz-se através da observação de suas interações na atmosfera - durante a sua breve existência - sendo que tanto trajetórias, velocidades e órbitas podem ser determinadas. Durante a queda de um meteoro, a altura em que ocorre a ablação nos informa sobre a resistência do corpo, sua massa inicial e parâmetros de classificação do meteoróide, o estudo da velocidade indica propriedades dinâmicas, como a desaceleração e a análise do espectro do fenômeno, produzido pelo material vaporizado, contendo informações sobre sua composição química (Ceplecha, 1987; Borovička et al., 2005).

A presente dissertação versará sobre a criação e organização de uma rede de monitoramento de meteoros, com objetivo de gerar dados e sua posterior análise, fundamentada no conceito de trabalho "*citizen science*", apresentando os seus primeiros resultados de trajetórias de bólidos, levantamento de chuvas e determinação de órbitas. Ela se divide em três partes: (i) uma introdução básica ao tema da ciência de meteoros, discorrendo sobre os pontos fundamentais e gerais sobre a temática e apresentando os principais conceitos, (ii) a organização e estruturação da rede monitoramentos, e por fim, (iii) os resultados e principais conclusões de nosso trabalho. Além dessas partes, apresentaremos no Apêndice A um glossário de termos técnicos relativos ao tema dessa dissertação

No próximo capítulo vamos introduzir o conceito de meteoros, suas origens e suas características gerais, assim como os meteoritos, os fluxos de massa que a Terra atravessa e as regras de nomenclatura para nomeação de raios, com considerações sobre o estudo desta ciência. No capítulo 2 será descrita a implementação e metodologia da Rede EXOSS e sua associada, a Rede R-OASI. Por fim, no capítulo 3 serão apresentados os resultados.

# Chapter 1

## Conceituação do fenômeno

### Meteoro

Desde as eras mais primitivas da civilização humana, os meteoros cruzando os céus noturnos tem causado admiração às testemunhas oculares de seus traços . Existem inúmeros registros de meteoros e bólidos riscando os céus de povos antigos como os sumérios, os persas, os árabes e, inclusive, os Maias (Hasegawa, 1993; Imoto and Hasegawa, 1958; Kinsman, 2014).

Os chineses da antiguidade são notórios pela diligente anotação de fenômenos celestes como eclipses, cometas e chuvas de meteoros, dentre outros fenômenos. É deles o primeiro registro oficial conhecido de uma chuva, ocorrida no dia 16 de março de 687 DC, na dinastia Chou (Jenniskens, 2006).

Os meteoros eram explicados como sendo fenômenos ligados aos deuses e a energias sobrenaturais (Jenniskens, 2006). Somente a partir da era clássica, com Aristóteles (350 AC) foi que os filósofos da natureza tentaram explica-los. Seriam vapores do firmamento exalados no reino do Fogo, acima do Reino do Ar, pois eram causados por exalações da terra aquecida pelo Sol, que acabavam chegando as esferas do Fogo criando tochas ou bólidos (do grego *βολιδες*). A palavra meteoro vem do adjetivo grego *μετεωρον*, e se refere a "fenômenos atmosféricos ou qualquer coisa nos céus".

A visão aristotélica prevaleceu até meados do século XVIII quando em 1714 o astrônomo Edmund Halley lançou a ideia de que bólidos não eram vapores provindos da Terra, mas corpos entrando na atmosfera terrestre em altas velocidades. Porém, somente em 1794 dois estudantes da Universidade de Göttingen (Alemanha), Johann Friederich Brezenberg e Henreich Willeilm Brandes realizaram um experimento de observação de meteoros, simultaneamente. Foram observados

22 meteoros, por cada um, a uma distância de 15 quilômetros. Utilizando cálculos levando em conta a paralaxe, eles determinaram as velocidades dos meteoros observados, algo em torno de 28 km/seg e também as suas alturas, chegando a um resultado variando entre 35 a 126 quilômetros (Jenniskens, 2006).

Os resultados dos cálculos das alturas, obtidos pelo experimento dos estudantes de Göttingen mostraram que os meteoros aconteciam acima da camada atmosférica onde ocorrem as variações meteorológicas. Porém, por conta de erros de cálculo e devido à pequena distância da linha de base entre os dois observadores, as velocidades calculadas mostravam trajetórias ascendentes. Somente 40 anos mais tarde, outro experimento foi realizado, e finalmente foi aceito que meteoros eram corpos que penetravam em altas velocidades em nossa atmosfera.

Hoje sabemos que os meteoros são de origem espacial, constituindo-se de um conjunto de fenômenos aerodinâmicos que ocorrem nas camadas superiores da atmosfera (podendo variar entre 180 a 15 quilômetros de altura), produzindo intenso brilho por conta do impacto de partículas sólidas em altas velocidades com o ar. Devido às altas velocidades que podem variar desde 15 km/seg até 65 – 70 km/seg, estes corpos sofrem extrema ablação (processo de perda de massa), vaporizando seu material e criando ao seu redor um envoltório de plasma. Modelos foram desenvolvidos para interpretar a dinâmica deste complexo fenômeno, estimando propriedades como: massa inicial, densidade e origem. Os modelos atuais que explicam a dinâmica de meteoros, basicamente partem de três equações diferenciais que descrevem suas trajetórias na atmosfera terrestre combinando os efeitos de desaceleração e ablação. São expressas pelas equações abaixo (Hoppe, 1937):

$$\frac{dv}{dt} = -\Gamma A \rho_d \rho m^{-1/3} v^2 \quad (1.1)$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{A\Lambda}{2\zeta} \rho_d^{-2/3} \rho m^{2/3} v^3 \quad (1.2)$$

$$\frac{dh}{dt} = -v \cos(Z_R) \quad (1.3)$$

, onde:

$v$  : a velocidade em um ponto arbitrário de sua trajetória

$\Gamma$  : é o coeficiente de arrasto

$A$  : fator de forma e corresponde a seguinte relação  $A = Sm^{-2/3}\rho_d^{2/3}$

$m$  : a massa do corpo

$S$  : seção cruzada do meteoróide

$\rho_d$  : densidade nuclear do corpo

$\rho$  : densidade do ar

$\Lambda$  : o coeficiente de transferência de calor

$\zeta$  : energia necessária para ablação de uma unidade de massa do meteoróide

O modelo representado por estas equações é denominado de "*single body*" ou "*non fragmentation*", sendo a primeira aproximação para se estudar o fenômeno. As equações 1.1 e 1.2 tratam respectivamente da desaceleração e da perda de massa do corpo, enquanto que a equação 1.3 relaciona a perda de altura com a distancia zenital do radiante do meteoro (Pecina and Ceplecha, 1983).

Uma divisão conceitual deve ser introduzida neste ponto. Enquanto meteoros são um conjunto de fenômenos luminosos, o corpo material que dá origem a estes fenômenos se chama de meteoróide. Portanto, quando estivermos descrevendo conceitos, classificações e dinâmica do fenômeno, nos referiremos preferencialmente à palavra meteoróide, que são fragmentos sólidos que impactam na atmosfera terrestre, produzindo meteoros. Eles podem variar da escala micrométrica até a ordem de metros. Nessa linha, levando em conta a escalabilidade de detecção destes corpos, Bronshten (1983b) divide os meteoros em três tipos:

1. Meteoroides: não chegam a se vaporizar por serem freados nas camadas superiores da atmosfera devido a sua diminuta massa, menor que  $10^{-6}$  g. São de difícil detecção seja no ótico ou seja no radar, já que não produzem luminosidade ou ionização suficiente. Sua observação se dá via detectores em espaçonaves, coletores de partículas em foguetes e balões, (Drolshagen et al., 2008), estudos de microcrateras em amostras lunares, depósitos glaciais, observação da Luz Zodiacal e o fenômeno conhecido como "*Gegenschein*".
2. Meteoroides que produzem meteoros: ao penetrarem na atmosfera, produzem luminosidade e ionização suficiente para serem observados tanto no visível quanto no radar. Sua massa varia entre  $10^{-6}$  a  $10^7$  g. Sua observação através de técnicas adequadas (ver mais detalhes na seção 2.5) permite a determinação de riantes, órbitas, e até do corpo parental. Nesse grupo também entram os bólidos, que são meteoros que atingem magnitudes inferiores a  $-4$ .

3. Meteoritos: são os restos de matéria que atingem o solo. Suas amostras permitem o estudo petrológico do meteoróide original, o chamado "*drop-meteorite fireball*".

Outra tipificação do fenômeno considera o brilho e o rastro luminoso deixado pela passagem do meteoro, separando-o em duas características básicas (Bronshten, 1983a):

1. Luminosidade intensa: Quando o meteoróide penetra na atmosfera a vaporização do seu material devido às velocidades extremas em colisão com as moléculas do ar produzem a luminosidade.
2. Trilho: Enquanto o meteoróide percorre sua trajetória na atmosfera a ionização do ar ao longo do caminho produz o efeito denominado de trilho ("*train*"). A formação do trilho dependerá da massa, velocidade, altura de ablação e composição, podendo ser de quatro tipos (Borovička, 2006):
  - (a) "*wake*": é uma radiação emitida logo atrás do meteoro, as dimensões deste fenômeno podem ser de centenas de metros a quilômetros de extensão, ocorre sempre em bólidos.
  - (b) "*green train*": são formados pela linha do oxigênio, centrada em 557.7 nm, ocorrem devido a altas velocidades dos meteoros, atingindo seu máximo brilho em torno de 105 km de altura.
  - (c) "*persistent trains*": são rastros visíveis mesmo depois da passagem do meteoro, podendo ser visíveis por dezenas de minutos, eles são produzidos por bólidos bastante brilhantes, ocorrendo a alturas entre 75 e 100 km.
  - (d) "*reflection train*": são formados pela passagem de bólidos muito brilhantes, consistindo de um efeito a luz do dia, ou no crepúsculo, pois as partículas suspensas deixadas pelo rastro são visíveis graças ao espalhamento da luz solar.

No que se refere à classificação da origem do meteoro (ou do meteoróide), basicamente podemos dividi-la em dois grandes grupos:

1. Chuvas de meteoros: quando é conhecida a Chuva relacionada ao radiante do meteoro.
2. Esporádicos: quando se desconhece a que Chuva pertença o radiante do meteoro.

No próximo tópico discutiremos a questão de origens dos meteoros de maneira pormenorizada.

## 1.1 Origem

Já explicamos que meteoro é um conjunto de fenômenos luminosos devido a fragmentos (de cometas ou asteroides) que penetram na atmosfera terrestre em altas velocidades, sofrendo ablação pelo choque com as camadas superiores do ar. Para fins desta seção, falar sobre a origem dos meteoros é discutir sobre a origem dos meteoroides, pois são esses corpos que geram o fenômeno atmosférico.

Em primeiro lugar os meteoroides fazem parte de nosso Sistema Solar, sendo que menos de 1% de suas velocidades heliocêntricas excedem a velocidade de escape, ou seja, a velocidade limite considerada a uma distância de 1 U.A. do Sol, igual a 42 km/seg. Notar que o cálculo dessa velocidade leva em consideração a velocidade orbital média da Terra que é de 30 km/seg, a uma distância de 1.U.A, multiplicada por  $\sqrt{2}$ .

Os meteoroides podem ser provenientes de remanescentes da passagem de um cometa, nas proximidades do Sol ou de Asteroides em órbita próxima a Terra (em inglês NEA) e, em menor número, de fragmentos gerados por impactos na Lua e em Marte.

Particularmente, detritos de cometas e de asteroides podem formar correntes de meteoroides tendo órbitas similares dos seus corpos progenitores. Quando nosso planeta atravessa uma dessas correntes, ocorrem as chuvas de meteoros (Jopek and Williams, 2013). Se o corpo parental possui atividade será cometa, caso contrário será um asteroide ou cometa dormente (Jewitt, 2012; Jewitt et al., 2013).

De acordo com Borovička (2007), três processos básicos levam a separação de meteoroides de seus corpos parentais:

1. Arrasto de vapor: gelos aquecidos acabam carreando partículas sólidas, poeira e meteoroides (Whipple, 1951);
2. Disrupção catastrófica de cometas. Além de criar núcleos secundários, produzem grandes quantidades de poeira e meteoroides (Jenniskens, 2006);
3. Colisões entre corpos do Sistema Solar, basicamente choques entre asteroides, produzindo fragmentos colisionais (Nesvorný et al., 2003).

Os fragmentos assim separados de seus corpos progenitores vão formando um fluxo de material desprendido que vai originar correntes de poeira e meteoroides. Os fragmentos destas correntes acabam evoluindo dinamicamente de forma diferenciada, pois vão sofrendo perturbações, encontros próximos e colisões mútuas, (ver na seção 1.6).

Os meteoros podem ser diferenciados, de acordo com sua origem parental, aplicando critérios dinâmicos conhecidos como C-A (Cometas -Asteroides) (Imoto and Hasegawa, 1958; Ceplecha, 1967; Jacchia et al., 1967; Voloshchuk et al., 1997). O critério C-A usa elementos orbitais ( $a$ ,  $\epsilon$ ,  $i$  e  $I$ ) para discriminar a origem do cometa ou asteroide, classificando meteoros conforme a aplicação do critério escolhido, que abaixo listamos:

**K** : (Whipple, 1954);

**Pe** : (Kresák, 1967);

**Q** : (Kresák, 1967);

**Tisserand** : (Kresák, 1969);

**E** : (Jopek and Williams, 2013).

Cada critério usa uma fórmula própria de avaliação que vamos descrever nas linhas seguintes, começando com o critério empírico K, desenvolvido por (Whipple, 1954):

$$K = \log a(1 + \epsilon)/(1 - \epsilon) - 1 \quad (1.4)$$

Se o valor de  $K \geq 0$ , a órbita é tipo cometária.

O critério Pe, desenvolvido por (Kresák, 1967), aplica a fórmula:

$$P = e \times a^{1.5} \quad (1.5)$$

, se  $P \geq 2.5$  a órbita é tipo cometária.

O critério Q proposto por Kresák (1967) é o seguinte:

$$Q = a(1 + e) \quad (1.6)$$

Se  $Q > 4.6$  U.A. então é uma órbita tipo cometária.

Já o critério T é usado através da fórmula:

$$T = a^{-1} + 2A_j^{-1.5} \times [a(1 - \epsilon^2)] \times 0.5 \cos I \quad (1.7)$$

onde  $A_j$  é o semi-eixo maior de Júpiter,  $a$  e  $\epsilon$  são, respectivamente, semi-eixo maior da órbita do pequeno corpo e a sua excentricidade e  $I$  é a inclinação da órbita do corpo em relação ao plano orbital de Júpiter. Kresák (1969) usa a condição  $T < 0.58$  para definir a órbita tipo - cometa.

O critério E (energia orbital) tem a seguinte equação:

$$E = \frac{-k^2}{2a} \quad (1.8)$$

, onde  $k$  é a constante de gravitação de Gauss, sendo  $E > -5.28 \times 10^{-5}$  considerado para órbitas cometárias.

A partir das classificações de critérios, descritos acima, Jopek and Williams (2013) apresentam uma tabela demonstrativa da classificação de 78000 meteoroides tipo esporádicos, por técnica de observação de rádio, vídeo ou fotografia. A escolha de esporádicos feita pelos autores é proposital, pois usa como premissa que tais tipos têm uma distribuição aleatória entre tipos cometários e asteroidais. Reproduzimos abaixo a tabela:

Table 1.1: *Classificação C-A - Tabela que discrimina a proporção de órbitas cometárias dentre meteoros observados, usando os resultados de critérios C-A, no caso foram usados dois catálogos distintos (Jopek and Williams, 2013).*

Q (%)	E (%)	T (%)	P (%)	K (%)	Tamanho da Amostra
44.0	41.8	56.8	49.0	61.8	77 869 (todos meteoroides)
23.4	21.4	36.1	28.1	44.8	45 539 radio meteoros
73.4	71.0	86.6	78.9	86.1	30 899 videometeoros
65.5	59.6	70.6	68.4	76.5	1431 meteoros fotográficos
23.6	—	35.5	28.7	42.8	55 891 (todos meteoroides)
22.2	—	34.0	27.1	41.4	52 993 radio meteoros
46.9	—	64.9	54.2	63.6	1221 videometeoros
51.7	—	60.2	62.4	71.7	1677 meteoros fotográficos

A tabela acima segundo os autores do trabalho sofre de dois problemas: a primeira é observacional, pois as amostras pertencem a diferentes catálogos e a segunda é relacionada à aplicação de critérios de "clustering" entre radio meteoros

e fotográficos. Mesmo assim, apresenta a distinção entre meteoros, conforme o critério aplicado, variando a percentagem entre asteroidais e cometários.

Quando os cálculos dinâmicos da trajetória do meteoróide na atmosfera apontam um radiante definido, critérios de similaridade das órbitas são aplicados, permitindo relacionar o meteoro com alguma chuva, ou, se não há similaridades, em tipo esporádico. Os critérios de similaridade serão detalhados mais adiante.

Outra classificação importante é a de Ceplecha and McCrosky (1976) e aprimorada nos artigos subsequentes (Ceplecha, 1988, 1994). Esta classificação leva em conta parâmetros que avaliam o comportamento da trajetória de um bólido e que são usados para tipificar suas propriedades físicas. Basicamente definem a habilidade crescente de desintegração de um meteoróide, durante sua entrada atmosférica, agrupando-os em tipo rochoso, condrítico ou cometário. Dessa forma, a classificação é dividida em três tipos básicos, sendo o último subdividido em dois subtipos:

**I** : condritos ordinários;

**II** : condritos carbonáceos;

**IIIA** : material cometário, relacionado a cometas de curto período;

**IIIAi** : material cometário, relacionado a cometas de longo período;

**IIIB** : material cometário *soft*, ligado a cometas de curto período, do tipo Giacobini- Zinner.

A classificação é calculada através da altura terminal do bólido, utilizando o chamado critério PE (Ceplecha and McCrosky, 1976), dado por:

$$PE = \log \rho_E + A \times \log m_o + B \times \log v_\infty + C \times \log \cos(Z_R), \quad (1.9)$$

onde  $\rho_E$  é a densidade atmosférica terminal,  $m_o$  é a massa inicial do meteoróide,  $v_\infty$  velocidade pré-atmosférica e  $Z_R$  é a distância zenital. A, B e C são parâmetros para os valores definidos observacionalmente para bólidos (Ceplecha, 1988) :  $A = -0.42$ ;  $B = 1.49$ ;  $C = -1.29$ . Dessa forma, os diferentes grupos são definidos pelas relações:

$$PE > -4.60 \implies \textit{GrupoI} \quad (1.10)$$

$$-5.25 < PE < -4.60 \implies \textit{GrupoII} \quad (1.11)$$

$$-5.70 < PE < -5.25 \implies \textit{GrupoIIIA} \quad (1.12)$$

$$-5.70 < PE < -5.25 (a \geq 5 \text{ U.A.}) \implies \textit{GrupoIIIAi} \quad (1.13)$$

$$PE \leq -5.70 \implies \textit{GrupoIIIB} \quad (1.14)$$

Outra metodologia, baseada em critérios de similaridade, associa fluxos de meteoroides a corpo progenitores, considerando três etapas: (a) uma função de distância; (b) um valor de "threshold" (c) e técnicas de análises estatísticas de *cluster*. É a metodologia utilizada para definir se meteoros estão ligados a algum radiante ou chuva, levando em conta dados orbitais de populações de meteoros observados.

A etapa (a), conhecida como critério de função da distância, foi introduzida por Southworth and Hawkins (1963), com o desenvolvimento do método de função de similaridade de distância entre duas órbitas  $D_{SH}$ , também conhecido como D-criterion. Existem algumas variações deste método, introduzidas por Steel et al. (1991), que aplicam apenas espaço de 3 dimensões:  $q, \epsilon, i$  ou  $a, \epsilon, i$ . Modificações subsequentes foram introduzidas por Drummond (1981),  $D_D$ , e Jopek (1993),  $D_H$ , ou critério híbrido.

Esses métodos de função de distância consideram um espaço de cinco dimensões, usando os elementos orbitais:  $\epsilon, q, \omega, \Omega, i$ . Existem outros critérios de distância, menos usados, como: o critério  $D_N$  (Valsecchi et al., 1999), o critério  $D_B$  (Jenniskens, 2008a) e o critério  $D_V$  (Jenniskens, 2008b)).

Vamos aqui discutir apenas o critério  $D_{SH}$ , sendo este o mais utilizado. Sua formulação é dada por:

$$D_{SH} = (\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (q_1 - q_2)^2 + (2 \sin I/2)^2 + ((\epsilon_1 + \epsilon_2)/2)^2 \\ \times (2 \sin I/2)^2 + ((\epsilon_1 + \epsilon_2)/2)^2 \times (2 \sin \pi/2)^2 \quad (1.15)$$

, onde  $\epsilon_1$  e  $\epsilon_2$  são as excentricidades e  $q_1, q_2$  distâncias periélicas das duas órbitas,  $I$  é o ângulo entre elas e  $\pi$  a distancia das longitudes do periélio medidos da intersecção das órbitas.

O valor de "*threshold*",  $D_c$ , é um ponto fundamental na aplicação das funções de similaridade D-criterion, pois a identificação da corrente de meteoroides é sensível a escolha desse valor. Quanto mais perturbada for a evolução orbital da corrente maiores deverão ser os valores usados.

Os critério de distância D e de similaridade,  $D_c$ , são combinados na análise estatística de grupos para definir se um conjunto de meteoros observados compartilham de características orbitais semelhantes para serem considerados oriundos do mesmo corpo progenitor, ou seja, comparando-se as órbitas de meteoros individuais com a órbita média de uma chuva conhecida, cometa, asteroide ou NEO.

A partir da explicação das metodologias descritas acima relacionadas ao D-criterion, podemos definir uma corrente de meteoroides como: "**...um grupo de meteoroides onde uma significativa concentração de parâmetros dinâmicos é observada, ou de forma simplificada uma corrente de meteoroides consiste de orbitas concentradas em torno de uma órbita média.**" (Jopek, 2011)

Conforme discutido no artigo de Jopek (2011) é importante ressaltar que o uso de critérios D tem problemas em aberto, tais como : Qual o melhor método de análise de cluster? Qual o valor ideal de "*threshold*"? Quais parâmetros orbitais mais indicados ao problema?

A seguir, vamos falar dos meteoros provindos de fragmentos e poeira de cometas, e depois dos oriundos de restos de asteroides. Em seguida, discutiremos a fonte dos meteoros esporádicos.

### 1.1.1 Meteoros originados de Cometas

A relação entre meteoros e cometas é bastante conhecida, sendo que algumas chuvas de meteoros apresentam parâmetros orbitais com altas excentricidades e inclinações, típicas de cometas (Starczewski and Jopek, 2005). Por exemplo, são bem estabelecidas a relação parental entre as chuvas Orionids e Eta-Aquarids e o cometa 1P/Halley, a chuva Apryl Lyrids e o cometa C/1861 G1 (Thatcher), a chuva October Draconids e o cometa 21P/Giacobini-Zinner (Jenniskens et al., 2016). Meteoroides associados às três grandes Chuvas Geminids, Taurids e Quadrantids tem sua origem progenitora em cometas (Rudawska et al., 2005). No Apêndice E apresentamos a listagem atual de Chuvas associadas a cometas

As fontes mais usuais de meteoros são os fragmentos cometários. Na medida que um cometa aproxima-se do Sol, sua superfície vai sendo aquecida e os gelos são sublimados e o fluxo de gás decorrente acaba arrastando grãos de poeira. Outra forma de espalhamento de detritos é a fragmentação cometária, um exemplo sendo os cometas gêmeos 252P/LINEAR e o P/2016 BA14. Dessa forma, periodicamente, a Terra atravessa a região onde estão estes fragmentos, gerando chuvas ou enxames de meteoros.

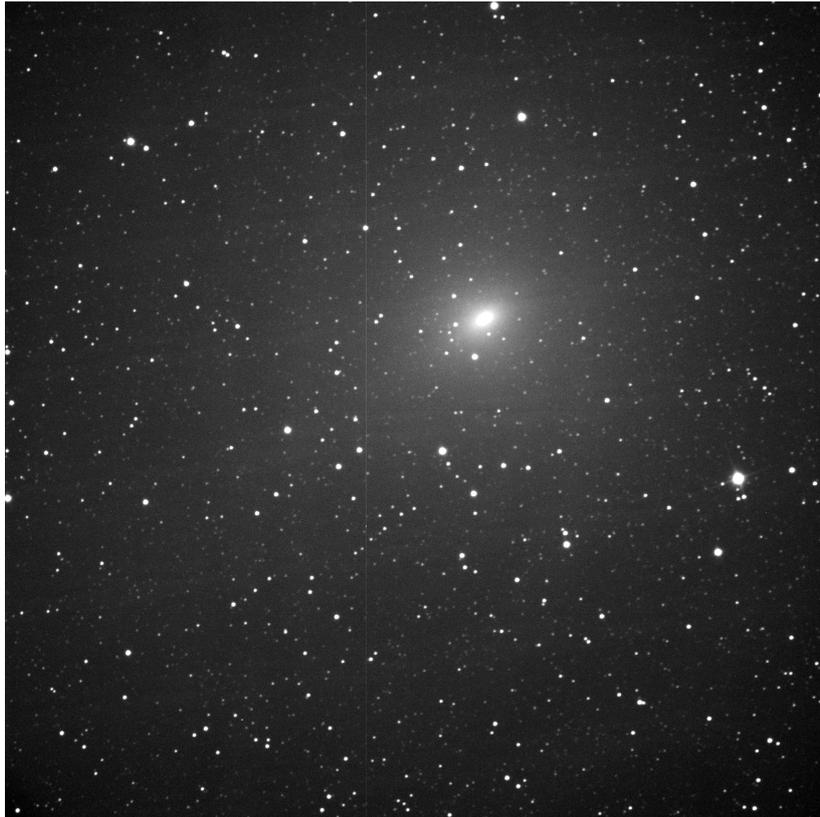


Figure 1.1: Nesta imagem é possível identificar o núcleo ativo e a coma em torno do cometa 252P/LINEAR. Imagens feitas por Filipe Vieira, Marcelo De Cicco e Plicida Arcoverde, em 01.04.2016, no Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica.

Os detritos deixados no caminho orbital, são denominados de correntes "*streams*" pois vão espalhando-se ao longo da trajetória do cometa, como imensos rastros de poeira e partículas. Quando a Terra vai de encontro a essas correntes, os fragmentos adentram a nossa atmosfera, gerando as chuvas.

Quanto 'a velocidade de ejeção dos meteoroides, em média, seu valor é menor do que a velocidade orbital do cometa, implicando que as órbitas iniciais dos meteoroides serão muito similares entre si. A velocidade de um meteoróide é de aproximadamente de 100 m/seg, relativa ao núcleo cometário, conforme o modelo básico de Whipple (1951):

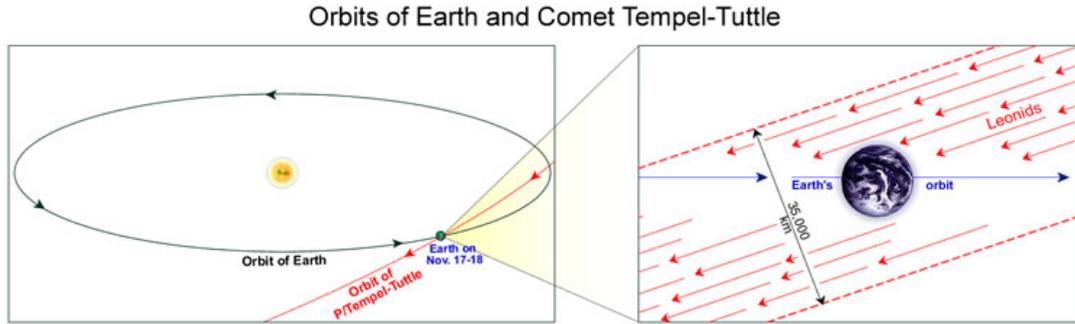


Figure 1.2: Diagrama mostrando uma corrente de meteoroides formada por um cometa. No caso é representada a chuva Leonids, cujo progenitor é o cometa Tempel-Tuttle. Figura retirada de SAO (2017).

$$V^2 = 4.3 \times 10^5 \times R_c \left( \frac{1}{b\sigma r^{2.25}} - 0.013R_c \right) \quad (1.16)$$

$R_c$  é o raio do núcleo do cometa, em unidades de quilômetros, a uma distância heliocêntrica  $r$  em U.A.,  $\sigma$  é a densidade nuclear e  $b$  é o raio do meteoróide.

Vale ressaltar que a velocidade de ejeção de matéria do núcleo cometário é um tema ainda em discussão, pois é incerto como os mecanismos de sublimação e ejeção ocorrem no vácuo. Para cometas com diâmetro do núcleo de 10 km, a velocidade de escape é de 3m/seg e a velocidade de ejeção pode ser entre 0.5 e 1 km/seg

Um importante parâmetro para o cálculo da trajetória de um meteoro é a densidade média nuclear deste, pois está relacionada com a altura do início da ablação, dependendo da velocidade, rupturas e massa final. No que se refere a meteoroides do tipo cometário, diversos estudos apontam uma densidade nuclear entre 500 e 1000  $\text{kg}/\text{m}^3$ , porém essa faixa de valores ainda é bastante debatida e autores divergem. Abaixo apresentamos um quadro demonstrativo de várias faixas de densidade nuclear, calculadas por diversos autores:

Table 1.2: Quadro exemplificativo de faixas de densidade nuclear por autores

	<b>densidade nuclear</b>	<b>Autor</b>
	260 $\text{kg}/\text{m}^3$	Jacchia et al(1967)
140 $\text{kg}/\text{m}^3$ - 630 $\text{kg}/\text{m}^3$ (chuvas)	280 $\text{kg}/\text{m}^3$ (esporádicos)	Verniani (1969)
	1400 $\text{kg}/\text{m}^3$ - 4000 $\text{kg}/\text{m}^3$	Ceplecha (1967)
	1400 $\text{kg}/\text{m}^3$ - 630 $\text{kg}/\text{m}^3$	Babadghanov (1993)

A densidade nuclear além de fornecer informação sobre as propriedades do material do meteoróide, tais como a força mecânica, também auxilia na determinação do tipo do corpo parental, conforme a classificação de Ceplecha, apresentada anteriormente. Entretanto, conforme mostrado na tabela 1.1.1 as faixas de densidade variam de autor para autor, pois dependem da modelagem utilizada para a dinâmica de entrada na atmosfera.

Além do problema do viés de modelagem, apresenta-se também a questão das características não-homogêneas de um núcleo cometário pois ele é formado por gelos e compostos de partículas rochosas. O material cometário pode conter constituintes mais duros, demonstrando uma inhomogeneidade, em escala milimétrica, dos grãos.

É importante ressaltar que o material cometário pode ser processado no ambiente espacial, seja pela atuação da radiação solar em regiões  $< 0.2$  U.A, quanto por longos períodos de exposição aos raios cósmicos na nuvem de Oort, acarretando efeitos similares. Ambos os casos levam a depleção de materiais voláteis, como a molécula de Na e a compactação da poeira. Assim, duas populações de meteoróides com falta de Na podem existir no Sistema Solar:

1. Meteoróides que se aproximam do Sistema Solar interior ou do Sol;
2. Remanescentes da crosta superficial cometária.

Os meteoróides podem ser agrupados conforme os quatro tipos de famílias cometárias, sendo que a influência gravitacional de Júpiter altera a evolução dinâmica das correntes de meteoróides, ocasionando quatro tipos de evoluções (Borovička, 2007):

#### *Cometas de Longo Período*

As órbitas dos meteoróides são muito longas e a partir de duas evoluções a dispersão e distorção das correntes são extremas. Exemplo: chuva Aurigids que apresentou uma hiperatividade prevista, para primeiro de setembro de 2007.

#### *Cometas do tipo Halley:*

A interação com Jupiter é fraca e as órbitas dos meteoróides são relativamente estáveis ( $P < 200$  anos) e critério de Tisserand:  $T_j < 2$ . Os rastros de poeira são reconhecidos mesmo depois de muitas revoluções, podendo dar origem a múltiplas

chuvas. Entre os cometas que se enquadram neste tipo podemos citar:

**1P/Halley** → eta-aquarids, orionids

**55P/Temple-Tuttle** → Leonids

**8P/Tuttle** → Ursids

Os meteoroides que se originam dessa família de cometas apresentam baixa força mecânica ( $< 0.05$  Mpa), baixa densidade ( $\leq 1$  g/cm<sup>3</sup>) e alta porosidade. Os meteoroides menores, em geral, se desintegram nos grãos constituintes logo ao penetrarem na atmosfera, produzindo meteoros com curvas de luz simétricas (Koten et al., 2004). Meteoroides maiores não se rompem imediatamente, mas desintegram-se catastróficamente em altitudes mais baixas, levando à rápida evaporação dos grãos e criando enormes *flares* que são resultantes do brilho de uma grande quantidade de material (Spurný et al., 2000; Borovička and Jenniskens, 2000).

Esses meteoroides apresentam uma grande diversidade de forma, de estrutura e de composição, em escala milimétrica, mesmo que pertençam a uma mesma chuva. Análises espectrais mostram ausência do elemento Fe relativamente à Mg, quando comparado aos condritos CI, baixa abundância de Cr e Mn, enquanto que Si e Na são mais abundantes (Borovička et al., 2005; Borovička, 2005).

A maioria do meteoros esporádicos tipo - Halley mostram propriedades similares às das chuvas Leonids e Perseids, embora estudos apontam materiais mais resistentes ( $\approx 1$ MPa), e densidade em torno de  $0.8$ gcm<sup>-3</sup> com ausência de Na. O bólido Karlstjn é um exemplo típico que apresenta essas características (Spurný and Borovička, 1999). Os meteoroides da chuva  $\alpha$  - Monocerotids tem força mecânica mais alta que as Perseids, possuindo baixo teor de Na (Jenniskens and Docters van Leeuwen, 1997; Jenniskens, 1997). Borovička et al. (2008) especulam que esses materiais podem ser originados de crostas primordiais de cometas de longo período que habitavam as regiões da nuvem de Oort por longo tempo e devido a raios cósmicos foram perdendo o material mais volátil como o Na e sofrendo compactação.

### *Cometas da família de Júpiter*

Cometas e meteoroides desta família no afélio estão próximos ao planeta Júpiter, momento em que se movem mais lentos. O espalhamento de poeira é portanto intensificado e os trilhos tendem a se partirem em " *Traillets*" enquanto trilhos independentes acabam sendo formados. A poeira é espalhada rapidamente, ao longo dos

ciclos de nutação causado pela rotação rápida da linha nodal. Nesse caso o o critério de Tisserand tem valor  $2 < T_j < 3$ . Exemplos que se enquadram nessa tipologia:

**1D/Biela** → Andromedis

**7P/Pons-Winnecke** → June Bootids

**21P/Giacobini-Zinner** → October Draconids

Os meteoróides dessa família são mais leves que os do tipo - Halley e a chuva October Draconids apresenta material mais frágil, com densidade nuclear de aproximadamente  $0.3 \text{ g/cm}^3$

### *Cometas Tipo Encke*

Sendo o afélio desta família de cometas longe da órbita de Júpiter, eles interagem mais com os planetas terrestres. A poeira é dispersada vagarosamente, a Taurids é um exemplo típico de chuva ligada a essa família que é definida como tendo critério Tisserand de  $T_j > 3$ . O cometa 2P/Encke é o progenitor dessa tipologia.

## **1.1.2 Meteoros originados de Asteroides do Cinturão Principal**

A busca da associação entre asteroides específicos e chuvas de meteoros é um tema que vem sendo discutido desde o trabalho de Olivier em 1925 (Jopek and Williams, 2013). Asteroides poderiam gerar correntes de meteoroides através de colisões mútuas, acomodações internas liberando energia, efeitos de maré, efeito YORP e *spin up* gerando instabilidade rotacional. A pesquisa sobre fluxos de meteoroides associados a asteroides é um tema ainda em aberto, pois ainda é pouco claro quais mecanismos levariam asteroides e NEAs a produzirem *streams* que possam dar origem a chuvas. Vale mencionar o caso do asteroide 2010 A2 que sofreu colisão deixando um trilha de detritos.

## **1.1.3 Meteoros originados de NEO**

Esta extensa população é composta por cometas, muitos dormentes ou mortos, asteroides e meteoroides, (Near Earth Objects). Esses objetos tem dimensões acima de dezenas de metros, com periélio em torno de 1.3 U.A. e distância de afélio Q de 0.983 U.A. Suas órbitas aproximam-se ou interceptam a órbita da Terra.

Dividem-se basicamente em 4 grupos dinâmicos: Amor, Apolo, Atenas e Atira. Os do tipo Amor, tem  $a \geq 1$  U.A e  $1.017$  U.A.  $\leq q \leq 1.3$  U.A.; os da classe Apolo possuem  $a > 1$  U.A. e  $q \leq 1.017$  U.A.; os do tipo Atenas  $a < 1$  U.A e  $Q > 0.983$  U.A. e os Atira possuem  $a < 1$  U.A. e  $Q \leq 0.983$  U.A.

Os NEO são considerados a principal fonte de meteoritos terrestres, dado que são os corpos mais próximos ao nosso planeta com características similares aos meteoritos do tipo condríticos, o tipo mais comum presente nas diversas coleções. Vernazza et al. (2008) demonstraram a relação entre NEO e os meteoritos condrito do tipo LL, sugerindo que a família Flora, na parte interna do cinturão de asteroides, poderia ser uma importante fonte. Alguns estudos apontam também que uma pequena parte dos NEO podem ser cometas adormecidos ou extintos (NECs – Near Earth Comets), (Jenniskens, 2008b). Portanto, determinar uma associação entre NEO e correntes de meteoroides pode revelar se o progenitor é um cometa inativo ou um asteroide.

Conforme já mencionado, a partir da obtenção de parâmetros de entrada na atmosfera dos bólidos, é possível estudar suas características e classificar a tipologia do meteoróide. Por exemplo: meteoroides originados de cometas tem a densidade menor que os originados de asteroides.

Uma simplificação do critério  $D_{SH}$  (Steel et al., 1991) é o mais aceito para o estudo do parentesco entre correntes de meteoroides e NEO, sendo dada por:

$$D^2 = \left( \frac{a_1 - a_2}{3} \right)^2 + (\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + \{2 \times \sin(i_1 - i_2)/2\}^2 \quad (1.17)$$

, onde  $a$ ,  $\epsilon$ ,  $i$  são semi-eixo maior, a excentricidade e a inclinação, enquanto os índices referem-se às órbitas do meteoróide e do NEO.

Babadzhanov et al. (2008) identificam que os NEO 2003 WP21, (380955) 2003 UL3 e 2004 TG10 podem ser associados a correntes de meteoróides do complexo Taurids. Outros autores também realizaram cruzamentos de associação entre corpos progenitores e meteoros no complexo das Taurids (Jopek, 2011; Porubčan et al., 2006), achando resultados similares. Estudos aventam a possibilidade da fragmentação de um cometa há cerca de 20.000 anos, deixando corpos menores, como NEO e sub-correntes formando o referido complexo. No diagrama a seguir, apresentamos um exemplo de um NEO que é fonte de chuva de meteoros Quadrantids (Wiegert and Brown, 2005).

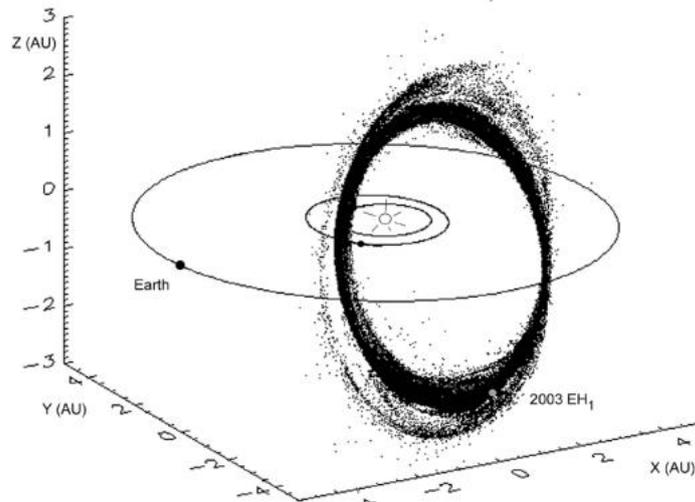


Figure 1.3: Diagrama da modelagem da corrente de meteoroides do NEO (196256) 2003  $EH_1$ , figura retirada de (Jenniskens, 2007a).

## 1.2 Chuvas e os Meteoros esporádicos

Uma chuva de meteoros ocorre quando a taxa de meteoros observada é significativamente maior do que a média de fundo e possuem um radiante bem definido. Meteoros que não possuem uma chuva definida ou que não tenham um radiante definido são denominados pela literatura como meteoros do tipo esporádicos (Jopek and Williams, 2013). Este tipo de meteoro adiciona às chuvas usuais mais alguns meteoros por hora, em geral 1 ou 2, de forma que os meteoros esporádicos podem inflar artificialmente as taxas horárias das chuvas mais fracas (Lunsford, 2009).

Apenas 25 a 35 % dos meteoros observados pertencem à chuvas, sendo que a grande maioria de meteoros observados são esporádicos. Provavelmente, são originários de cometas e asteroides e que em algum momento devem ter pertencido a uma corrente de meteoroides, mas devido à perturbações e efeitos colisionais, suas órbitas evoluíram a ponto de não mais serem similares às de seus corpos parentais.

Embora não seja possível determinar um radiante, os meteoros esporádicos possuem uma distribuição não isotrópica que pode ser estudada (Pokorný et al., 2014). No Hemisfério Norte, são mais intensos durante o outono e no Hemisfério Sul atingem dois máximos, um no mês de janeiro e outro no mês de julho (Lunsford, 2009; Jenniskens, 2006). Existem 6 fontes aparentes bem definidas de meteoros esporádicos, sendo que os estudos mais recentes apontam a distribuição dessas fontes em 3 grandes grupos (Pokorný et al., 2014; Campbell-Brown, 2008): (1) Héliion e AntiHéliion, (2)

Apex Norte e Sul e (3) Toroidal Norte e Sul, que não estão ligadas a qualquer chuva conhecida e são descritos brevemente a seguir:

### 1. Héllion e AntiHéllion

Os meteoros originados de fontes Héllion são esporádicos mais difíceis de identificação noturna, na faixa do visível, pois estão posicionados sempre a  $20^\circ$  do Sol (Pokorný et al., 2014; Lunsford, 2009; Campbell-Brown, 2008), portanto nunca são observados totalmente na escuridão da noite, sua detecção é feita por radar. Os meteoroides de fontes AntiHéllion vem de uma região a cerca de  $20^\circ$  do ponto diametralmente oposto ao Sol (AntiSol).

Tanto os meteoroides de fonte Héllion quanto os de AntiHéllion, possivelmente, foram produzidos por cometas da família de Júpiter (Pokorný et al., 2014), antigamente eram classificados como chuvas distintas, com exemplo: Delta Cancrids em janeiro, Virginids em fevereiro, março e abril, Alfa Scorpiids em maio, Sagitarids em junho, Capricornids em julho, Iota Aquarids em agosto, Southern Piscids de setembro e Arietids em outubro, Taurids em novembro e por fim Chi Orionids em dezembro. Possuem uma taxa média de 3 meteoros/hora e atuam ao longo de todo o ano, sendo observado em ambos hemisférios e nunca ultrapassando  $\pm 23^\circ$  em declinação do equador celeste.

### 2. Apex

São menos numerosos que os esporádicos do grupo acima e compõe-se de dois ramos: Norte e Sul, estando respectivamente a  $20^\circ\text{N}$  e  $20^\circ\text{S}$  da eclíptica e sempre a  $90^\circ$  do Sol. É uma fonte artificialmente criada pelo movimento de translação da Terra. São sempre melhor observados antes do amanhecer, quando o céu ainda está bem escuro. O material da fonte Apex move-se em alta inclinação, predominantemente de forma retrógrada e as correntes são prováveis restos de cometas de longo período do tipo Halley (Pokorný et al., 2014). Por conta do movimento retrógrado impactam a atmosfera terrestre em alta velocidade produzindo meteoros brilhantes, com trilhos persistentes.

Os meteoros originados da região oposta ao Apex (Antapex) são melhor observados ao entardecer, tão logo escureça. É um radiante artificial, pois é um efeito do movimento de translação da Terra, por conta de sua alta atração zenital, esta fonte é muito difusa, tornando sua classificação bem difícil. Ao contrário do Apex, estes são meteoros muito lentos, estudos recentes indicam que isso pode favorecer a atividade de *fireballs* no Hemisfério Norte entre fevereiro e abril. Para o Hemisfério Sul sua ocorrência teoricamente

situa-se entre meados de agosto até a quinzena de outubro, entretanto a falta de dados do Hemisfério Boreal ainda não permite uma correlação mais robusta.

### 3. Toroidal:

São grupos de meteoros que se movem em orbitas aproximadamente circulares, em inclinação elevada, encontrando-se com a Terra continuamente. Ainda não se conhece que tipo de corpo parental poderia dar origem a suas partículas (Pokorný et al., 2014). Seu radiante é bem difuso, estando seus ramos a cerca de  $60^\circ$  Norte e Sul da eclíptica, respectivamente, e sempre a cerca de  $90^\circ$  do Sol (Campbell-Brown, 2008). Os meteoros desta fonte atingem a atmosfera em ângulos quase perpendiculares, e em velocidades medianas, em torno de 35 km/seg.

## 1.3 Meteoros Hiperbólicos

Quando falamos de meteoros hiperbólicos queremos dizer que os mesmos possuem órbitas hiperbólicas, embora não necessariamente tenham origem fora do Sistema Solar. A discussão se existem meteoroides de origem interestelar é um tema debatido há muito tempo. Hawkes and Woodworth (1997) apoiam a ideia da existência de meteoros hiperbólicos, porém apontam a baixa probabilidade de terem origem extra-solar. Estes autores constatam que quanto menor é a massa, maior é a percentagem de meteoros com órbitas hiperbólicas. Isto vem sendo comprovado por estudos posteriores que mostram que a contribuição de poeira cósmica na população de meteoroides interplanetários é maior para partículas diminutas medidas em sensores de poeira espacial do que partículas medidas por radar e pelo domínio ótico (Hajduková et al., 2014). Vale lembrar que as sondas *Ulysses* e *Galileo* mostraram a predominância de partículas interestelares entre  $10^{-17}$  e  $10^{-15}$  Kg, na parte mais externa do Sistema Solar (Grün et al., 1997). A identificação de meteoroides interestelares supõe os seguintes requisitos: (a) trajetórias retrógradas, (b) altas velocidades de entrada, (c) independência latitudinal do plano da eclíptica (Grün and Landgraf, 2000).

Os estudos mais atuais acerca da origem de meteoros hiperbólicos, apontam que o cálculo das velocidades e da órbita esbarram na questão dos erros de medida mais do que ser uma característica real do objeto observado. Mesmo descartando-se a questão de erros, restam as perturbações planetárias que podem levar um meteoróide a evoluir para uma trajetória orbital hiperbólica.

Inúmeros levantamentos feitos através de catálogos de videometeoros tem sido publicados, mas até o momento não se alcançou nenhuma resposta satisfatória sobre a origem interestelar foi respondida. Considera-se o limite de frequência estatística <sup>1</sup> para videobservação de meteoroides interestelares o valor de  $1.3 \times 10^{-3}$ . Por exemplo, o trabalho de Hajduková et al. (2014) sobre o catálogo da SONOTACO concluiu que a maioria das órbitas hiperbólicas,  $a < 0$  e  $\epsilon > 1$ , são devidas a erros de estimativa de velocidades dos meteoros observados. Dos 7489 "hiperbólicos" calculados no catálogo de um total de 64650 meteoros com órbitas determinadas, após a aplicação de filtros estatísticos de qualidade de medida e de tipo de órbita, restaram apenas 484 órbitas hiperbólicas, sendo que destas 96% são claramente de origem do nosso Sistema Solar, os restantes 4% podem ter origem interestelar.

Portanto, as estatísticas disponíveis até o momento apontam para uma baixa possibilidade de existência de meteoroides vindos de fora do Sistema Solar. Vale ressaltar de que até hoje nenhum levantamento pôde aferir qualquer meteorito, com órbita calculada tipo hiperbólica ou mesmo com características não-usuais às coleções já existentes. A afirmação de meteoros interestelares sobrevive apenas na esfera da estatística.

## 1.4 Bólidos e Superbólidos

Bólidos são fenômenos extremamente brilhantes, atingindo magnitudes entre  $-4$  a  $-17$ , enquanto os superbólidos são mais raros e atingem magnitude visual inferior a  $-17$  (Ceplecha et al., 1999). Os superbólidos são ainda um fenômeno pouco conhecido, pois seu corpo meteoroidal pré-impacto é de difícil detecção, sendo observáveis apenas quando estão bem próximos a Terra, a distâncias de centenas de milhares de quilômetros. Entre os exemplos podemos citar o NEO 2104 AA, descoberto apenas 21 horas antes de penetrar na atmosfera da Terra, em 01.01.2014. Outro caso é o do meteorito Almhata Sitta, cuja previsão da queda do NEO 2008TC<sub>3</sub>, somente foi feita com um dia de antecedência (Loehle et al., 2017).

Os meteoroides que dão origem a superbólidos pertencem a uma classe de objetos ainda pouco estudados, porém de alto interesse científico relacionados aos estudos de pequenos asteroides. Se são corpos monolíticos ou "*rubble pile*" e como suas estruturas internas são geradas ainda está em aberto. Solucionar essas questões

---

<sup>1</sup>Em catálogos como IAU Meteor Data Center, a frequência calculada é de  $2 \times 10^{-3}$  (Hajdukova, 1994),  $6.1 \times 10^{-3}$  para o mesmo catálogo atualizado em 2008 (Hajduková, 2008), para meteoroides de origem interestelar.

ajudará na pesquisa dos processos de impacto na Terra, já que eles podem produzir crateras como no caso Carrancas (Borovička and Spurný, 2008) e explosões sônicas causando danos, como no caso Chelyabinsk, (Brown et al., 2013).

Abaixo, enumeramos três casos típicos de superbólidos recentes (Borovička et al., 2017):

1. Kosice: 28.02.2010, recuperação de meteorito condrito ordinario tipo H5, na região da Eslováquia, o superbólido atingiu a magnitude de  $-18$  a cerca de 36 km de altura (Borovička et al., 2013);
2. Maribo: 17.01.2009, recuperação de meteorito condrito tipo CM ocorrida na Dinamarca (Borovička et al., 2013), o superbólido atingiu a magnitude de  $-19$  a uma altura de 37 km;
3. "Bólido" Taurida: 31.10.2015, sem recuperação de meteorito, acredita-se ser de origem cometária, mas atingiu a magnitude de  $-18.6$ , numa altura de 81 km. Este é um caso típico de fragmento de cometa que foi completamente destruído ao penetrar em nossa atmosfera (Olech et al., 2016).

Além do efeito luminoso, por conta da ablação do meteoróide, outros fenômenos também podem ocorrer, como: (i) o estampido sônico por conta das velocidades hipersônicas detonarem ondas de explosão, (ii) efeitos inaudíveis de baixa frequência na faixa do infrassom, (iii) sons eletrofônicos na faixa do rádio que reverberam em objetos próximos às testemunhas e (iv) trilhos de ionização (também comuns a meteoros mais fracos em brilho).

Portanto, a análise completa da queda de bólidos fornece dados sobre a distribuição orbital, propriedades físicas e, se acompanhadas de análise espectral, sua composição química, sendo uma ferramenta complementar ao estudo dos asteroides e cometas. Esse tipo de estudo também proporciona informações sobre os efeitos de impacto em nosso planeta, como os estampidos sônicos, ondas de explosão em camadas atmosféricas, efeitos de danos na superfície. Este foi o caso do superbólido Chelyabinsk em 2013 provocando uma onda sonora cuja explosão estilhaçou vidros, ferindo cerca de mil pessoas, além de provocar outros danos materiais. Efeitos maiores já ocorreram em outro caso conhecido, a famosa explosão de Tunguska, na Sibéria em 1908.

## 1.5 Meteoritos e suas fontes

Até o final do século XVIII, a ideia de pedras oriundas do espaço não era reconhecida pela comunidade científica, o que veio somente a ocorrer em 1794, reconhecendo a origem extraterrestre (Marvin, 1996; Lauretta and McSween, 2006). Os meteoritos são os restos recuperados de meteoroides que sobreviveram a passagem pela atmosfera terrestre (McSween, 1999).

Conforme sua composição mineralógica os meteoritos são classificados, basicamente em rochosos e metálicos, podendo haver também a mistura dos dois tipos. Os rochosos são compostos de silicatos, como olivina e piroxênio, as vezes com a presença de Fe. Os metálicos são compostos primariamente de Fe, Ni e traços de outros elementos como Cr e Ti.

A divisão mais básica dos meteoritos, entre rochosos e metálicos (Zucolotto et al., 2013, pag. 34) é a seguinte:

1. Rochosos : subdivide-se em Condritos (ordinários e carbonáceos) e Acondritos
2. Siderólitos (Metálicos-Rochosos)
3. Sideritos (Metálicos)

Resumidamente, os meteoritos do tipo Condritos são materiais aglomerados da época da formação do Sistema Solar que passaram por pouca ou nenhuma alteração química. Os Acondritos são um tipo de rocha ígnea devido a processos de fusão e cristalização. Os meteoritos tipo ferro-rochosos possuem quantidades em proporção similares de metais e silicatos, típicos de mantos planetários, já os do tipo ferroso são constituídos basicamente de ferro-níquel, típicos do núcleo.

De acordo com a descoberta de um meteorito na superfície terrestre, podem ser classificados, como "quedas" ou "achados" (Zucolotto et al., 2013; Borovička et al., 2015): os primeiros ocorrem quando a sua queda é testemunhada, enquanto os demais quando são encontrados no chão e se desconhece a data da queda.

Os meteoritos apresentam alto grau de valor científico, pois são amostras extraterrestres contendo informações sobre o Sistema Solar e sua formação. Para tanto, é importante saber a origem desses corpos, determinar sua órbita, trajetória e local de impacto. O estudo de meteoros permite obter estas informações através de processos de monitoramento dos céus por radares, satélites, câmeras fotográficas e de vídeo, registrando assim a passagem de um meteoro - mãe. Embora a maioria

dos meteoros logo se extinguam ao adentrar na atmosfera terrestre, alguns tipos podem sobreviver gerando meteoritos, a média de queda com massa final de 1 kg ou mais é em torno de 4500 meteoritos/anuais (Halliday et al., 1996; Grun et al., 1985), sendo que a estatística de quedas e achados do banco de dados do catalogo de Grady and Natural History Museum (London, 2000(@) aponta a seguinte distribuição:

1. Condritos: 90.9%
2. Acondritos: 3.8%
3. Metálicos- Rochosos: 0.7%
4. Metálicos: 4.6%

Os meteoros que podem gerar meteoritos são do tipo bólidos ou superbólidos. É bom frisar que bólidos de origem cometária não geram meteoritos, pois devido a baixa resistência mecânica e densidade são logo destruídos nas altas camadas atmosféricas (Madiedo et al., 2014).

Define-se como meteoro - mãe os bólidos (ou superbólidos) que geram meteoritos, sendo suas características principais: (a) massa suficiente para sobreviver a ablação atmosférica, (b) suficiente força mecânica do material que o compõe para suportar altas pressões aerodinâmicas e (c) baixa velocidade de entrada, em geral em torno de 20 km/seg (Borovička et al., 2015).

Quando os processos termais da ablação finalizam, o bólido atinge velocidades abaixo de 3 km/seg, sendo que duas situações podem ocorrer: ou o meteoróide é totalmente vaporizado ou, caso parte da massa inicial tenha sobrevivido, ele entrará no chamado "*Dark Flight*", quando a superfície do corpo é esfriada, se apagando e continuando a queda de forma balística. Em geral, isso ocorre em alturas variando entre 10 a 30 km, conforme a massa inicial de penetração, sendo que esta última parte da trajetória é em queda livre e sofre influencias dos ventos (Ceplecha, 1987).

A velocidade de impacto de um meteorito ao chão pode variar em torno de 50 a 200 m/seg, para massas abaixo de 100 kg, dependendo também do tipo de seu material (veja em Bland and Artemieva, 2006, figura 4). Os meteoritos vão apresentar uma crosta de fusão, por conta da última parte da sua trajetória quando ele se resfria, acarretando a resolidificação de camadas do corpo que sofreram o processo ablasivo (Zucolotto et al., 2013).

Quando o meteorito é recuperado, posterior análise laboratorial poderá fornecer dados mineralógicos, químicos, físicos e isotópicos. Análises de nucleotídeos

cosmogênicos, por exemplo, fornecer uma estimativa do tempo de exposição do corpo aos raios cósmicos (CRE), ou seja, o período em que o meteoróide ficou exposto no espaço, após sua retirada do corpo parental (Eugster et al., 2006).

As medidas das propriedades físicas, como densidade e porosidade, condutividade térmica, força de tensão do material do meteoro ajudam na elucidação da dinâmica da trajetória do meteoróide durante seu voo na atmosfera, permitindo o aperfeiçoamento de modelos de trajetória, ablação e classificação de meteoros.

## 1.6 Correntes de Meteoroides e Chuvas de meteoros

As correntes de meteoroides (*"streams"*) no Sistema Solar interno vem fundamentalmente de duas fontes: asteroides e cometas, e, em bem menor escala, detritos de impactos na Lua e em Marte (Jopek and Williams, 2013). Um dos principais efeitos de fluxo de meteoroides é a chuva de meteoros que atingem periodicamente a Terra. As chuvas acontecem quando o número de meteoros observados ultrapassa a média de fundo de fluxo de massa usual penetrando na Terra.

As chuvas de meteoros têm sua origem num lugar denominado de radiante, e isto implica que os meteoroides dessas chuvas possuem orbitas heliocêntricas similares. A determinação dos elementos orbitais das chuvas, portanto permite sobre origem parental dos meteoroides. A conexão dinâmica entre uma chuva e seu corpo parental pode ser determinada através dos critérios de similaridade D-criterion, conforme já explicados.

### 1.6.1 Quantidade de massa que penetra na Terra

A pesquisa sobre os fluxos de meteoroides que penetram na atmosfera terrestre é um tópico atual em ciências planetárias, abrangendo: determinação de riantes, corpos parentais, estatísticas de massa e tamanhos que diariamente impactam nosso planeta (Brown et al., 2002). Existem 2 modelos básicos de simulação de entrada de fluxo de matéria na atmosfera terrestre: o de Grün e o de Brown. O primeiro (Grun et al., 1985), baseia-se em medições de microimpactos em espaçonaves, microcrateras lunares e fotometria da luz zodiacal, abrangendo de  $10^{-21}$  a  $10^3$  kg. A descrição do fluxo de massa de meteoroides à distância de 1 U.A. e dada pela relação:

$$F(m) = (2.2 \times 10^3 m^{0.306} + 15)^{-4.38} + 1.3 \times 10^{-9} (m + 10^{11} m^2 + 10^{27} m^4)^{-0.36} + 1.3 \times 10^{16} (m + 106 m^2)^{0.85} \quad (1.18)$$

As unidades são fluxo de massa (kg) por metro quadrado ( $m^2$ ) e segundo ao quadrado ( $seg^2$ ). Este modelo não leva em conta o fator G: efeito da gravidade na Terra que aumenta o fluxo de objetos impactantes. Para se compensar essa lacuna, é levado em conta a de velocidade de escape dada por  $v_{esc} = \sqrt{2 \times \frac{\mu}{r+H}}$ , onde r é o raio médio da Terra H a altura considerada (H= 100 Km, por padrão) e  $\mu = 3.986 \times 10^5 Km^3 seg^2$ . Assim, para uma altura de 100 km teremos a  $v_{esc} = 11.099$  km/seg e aplicando a formula de cálculo do fator  $G = \frac{v^2}{v^2 - v_{esc}^2}$ , para uma velocidade média de  $v = 20$  km/seg, assumida para os meteoroides, obteremos um fator de correção 1.445 para ser multiplicado a  $F(m)$ .

Na figura 1.4 é mostrado o fluxo de massa em função da massa e do diâmetro, por ano, calculados por Drolshagen et al. (2015):

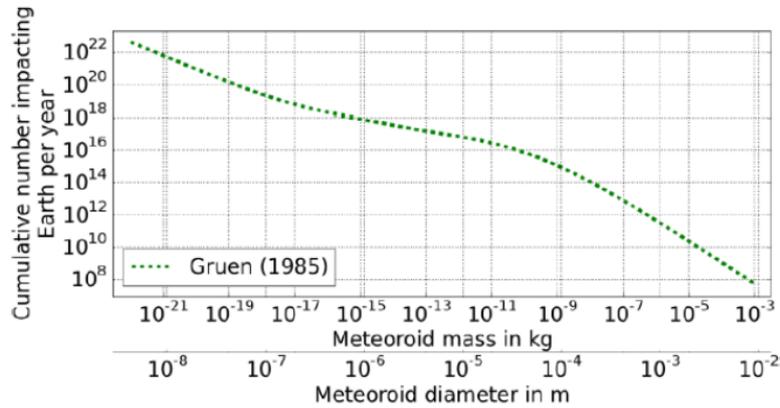


Figure 1.4: Aplicação do modelo de Grün em função da massa e do diâmetro do meteoróide que penetram na atmosfera da Terra figura retirada de (Drolshagen et al., 2015)

O segundo modelo, de Brown et al. (2002), leva em conta o número cumulativo de meteoroides impactando a Terra anualmente, com uma dependência na energia E [kilotons]. Esse modelo é baseado em dados de bólidos registrados por sensores de satélites, variando o diâmetro entre 1 a 9 m e interpolando-se até 20 km. A fórmula que descreve esse fluxo é dada por

$$F_B(E) = 3.7E^{-0.9} \quad (1.19)$$

que convertida em energia é dada por:

$$F_B(m) = \left( \frac{mv^2}{24.185 \times 10^{12}} \right)^{-0.9} \quad (1.20)$$

Na figura 1.5 é mostrado o gráfico utilizando o modelo de Brown (Drolshagen et al., 2015)

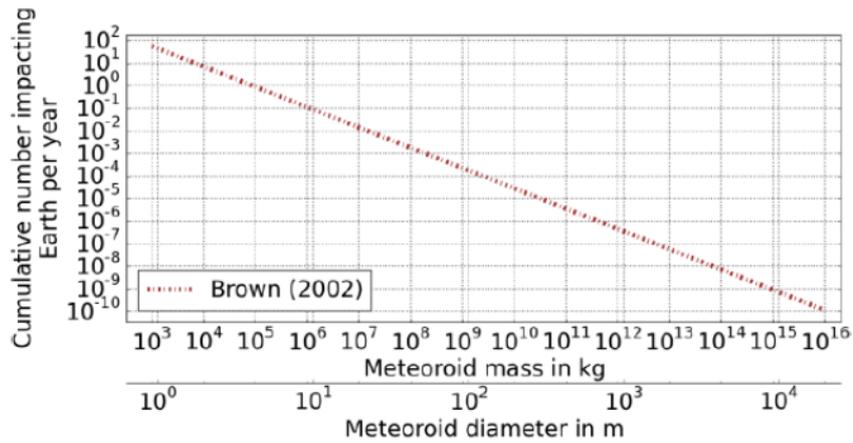


Figure 1.5: Modelo de fluxo de Brown e função da massa e do diâmetro. Figura retirada de(Drolshagen et al., 2015)

Para unir os dois modelos, de forma a ter amplo espectro de fluxo de massa, os autores aplicam uma interpolação de lei de potências do tipo  $Y = am^b$ , resultando na expressão:

$$F_{int}(m) = 5.59 \times 10^4 m^{-0.993} \quad (1.21)$$

O modelo interpolado é mostrado na figura abaixo, onde o intervalo de massa varia de  $10^{-20}$  a  $10^{16}$  kg:

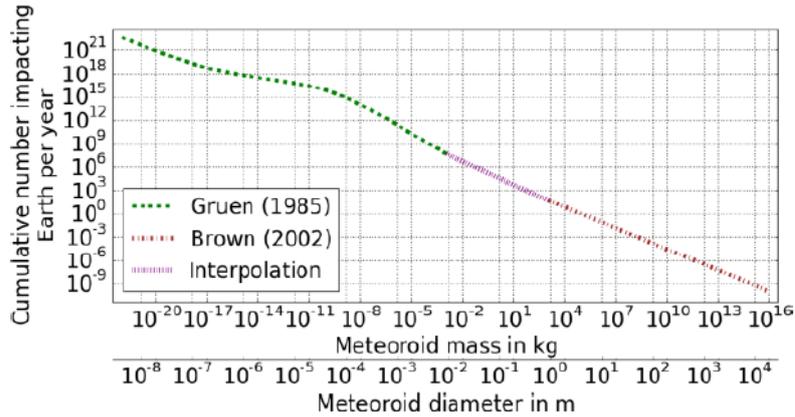


Figure 1.6: Interpolação dos modelos de Grün e de Brow. Figura retirada de (Drolshagen et al., 2015)

A partir desse novo modelo pode-se calcular uma média de fluxo de massa total anual chegando ao valor de:  $21.9 \times 10^3$  ton/ano ou 60 ton/dia. É importante ressaltar que o modelo de Grün é compatível com análises de impacto de micrometeoritos, e com os dados da rede CILBO<sup>2</sup>, corroborando o fato desse modelo ser compatível até a massa de 100 g.

O estudo leva em conta também o limite de diâmetro de 1 km, já que objetos maiores que este valor tem uma expectativa de impacto de 700.000 anos, portanto dentro de um limite de massa:  $10^{-21}$  a  $10^{12}$  kg, o fluxo é de cerca de 54 ton/dia. Ainda mais, segundo o mesmo artigo, o fluxo máximo vem de dimensões que variam entre  $10^{-11}$  a  $10^{-5}$  kg.

No que diz respeito ao fluxo de massa de bólidos e meteoros, as incertezas no cálculo são ainda muito grandes, conforme apontam os estudos de Drolshagen et al. (2017, 2015), inclusive há indicações para um fluxo reduzido nessas dimensões.

<sup>2</sup>CILBO é o acrônimo de Canary Island Long-Baseline Observatory, é um projeto de câmeras pareadas para observação de meteoros da ESA. Koschny et al. (2013)

## 1.7 Regras de Nomenclatura das Chuvas

Antes da oficialização de regras de nomenclatura, reconhecidas pela IAU, em sua Assembleia Geral do ano de 2006 (Jenniskens, 2007b) o processo de atribuição de nome de um novo radiante ou chuva era feito sem normas claras. O costume era de rotular-se o radiante de acordo com o nome da constelação de sua localização, sem previsão para as exceções, sendo pouco criteriosa e causando confusão. As novas regras seguem critérios bem definidos, evitando problemas técnicos como no caso de riantes localizados em zonas limite entre duas constelações.

Até o ano de 2005 a própria IAU não demonstrava grandes preocupações relativas dos nomes de riantes. Em 2006, entretanto, foi estabelecida uma força-tarefa que faria o estudo de diretrizes e regras de padronização, com a responsabilidade de construir uma listagem de chuvas oficiais, a ser publicada na reunião seguinte da Assembleia da IAU, em 2009, na cidade do Rio de Janeiro. Assim a força -tarefa definiu os seguintes passos:

1. Chuvas recém descobertas e as já conhecidas deveriam ser descritas na literatura, apenas com o nome IAU, número e código;
2. A IMO (International Meteor Organization) tem o papel de coordenar os relatos de novas chuvas e facilitar a inclusão de chuvas que são identificadas por astrônomos amadores;
3. Chuvas que satisfazem um critério de validação<sup>3</sup> passariam a ser incluídas na listagem de chuvas definitivas e aceitas oficialmente na próxima reunião da IAU. Sendo daí em diante, conhecidas por seus nomes oficiais e a descoberta anunciada;
4. Depois de serem publicadas, cada nova chuva será adicionada a lista de trabalho (*"Working List"*).

A "lista de trabalho", mantida e alimentada pela força-tarefa até o ano de 2009, é constituída da seguinte forma:

1. Chuvas com o nome da constelação que contenha seu radiante, usando a forma possessiva do latim da constelação usando a declinação "id" ou "ids";
2. Na dúvida, a posição do radiante, à época do pico da chuva (no ano da descoberta), deve ser escolhida;

---

<sup>3</sup>Os critérios de validação de uma nova chuva seguem as orientações e modelos aceitos pela literatura especializada mais atual.

3. Para distinção entre chuvas da mesma constelação, os seguintes passos devem ser cumpridos:
  - a. A chuva deve ter o nome da estrela mais próxima, com sua letra grega ou romana (em casos excepcionais o número de Flamsteed é usado), da seguinte forma: "η- Lyrids", "η - Andromedids".
  - b. O nome do mês (meses) podem ser adicionadas : May Lyncids, September-october Lyncids.
  - c. Para chuvas com o radiante em elongação menor que 32° do Sol deve ser adicionado o termo "Daytime", antes do nome da chuva, por exemplo: Daytime-Arietids, Daytime April-Piscids.
4. Ao se adicionar "South" ou "North", a referência é ao ramo de um único fluxo de meteoróides, ambos ramos estão ativos pelo mesmo período de tempo. Tais radianes são localizados ao Norte ou ao Sul do plano da Eclíptica.
5. Chuvas que se deslocam através de duas constelações podem ter o nome das constelações, respectivas, em ordem sucessiva usando o simbolo "-", por exemplo, Librids-Luppids.
6. Nomes compostos para a chuva são permitidos, p.ex.: Northen Daytime ro Cetids.

Após a Assembléia Geral da IAU, de 2009, a força-tarefa passou a se chamar de Grupo de Trabalho da Nomenclatura de Chuvas de Meteoros ("Working Group on Meteor Shower Nomenclature") tendo proposto a primeira listagem definitiva de chuvas de meteoros com seus nomes oficiais aceita e aprovada, pela primeira vez. Abaixo é dada a listagem mais atual, das chuvas definitivas:

Hoje, a listagem completa, que pode ser conferida no sitio: <https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>, e é composta da seguinte forma:

- (i) a listagem de chuvas oficiais com 112 radianes reconhecidos;
- (ii) a listagem "*working list*": que são as chuvas publicadas na literatura, e as que foram submetidas, mas ainda não publicadas. Essa listagem recebe o rótulo "*pro tempore*", que é removido após sua publicação. Se a submissão não for publicada dentro de dois anos, ou no caso de invalidação da descoberta, o radiante será

Explain and Send Screenshots

### Established meteor showers

Sorting by:      [DOWNLOAD](#)

No	Code	Name	No	Code	Name	No	Code	Name	No	Code	Name
00001	CAP	alpha Capricornids	00096	NCC	Northern delta Cancrids	00206	AUR	Aurigids	00337	NUE	nu Eridanids
00002	STA	Southern Taurids	00097	SCC	Southern delta Cancrids	00208	SPE	September epsilon Perseids	00338	OER	omicron Eridanids
00004	GEM	Geminids	00100	NXA	Daytime xi Sagittariids	00212	KLE	Daytime kappa Leonids	00339	PSU	psi Ursae Majorids
00005	SDA	Southern delta Aquarids	00102	ACE	alpha Centaurids	00221	DSX	Daytime Sextantids	00341	XUM	January xi Ursae Majorids
00006	LYR	April Lyrids	00110	AAN	alpha Antliids	00233	OCC	October Capricornids	00343	HVI	h Virginids
00007	PER	Perseids	00128	MKA	Daytime kappa Aquarids	00242	XDR	xi Draconids	00346	NHE	x Herculis
00008	ORI	Orionids	00137	PPU	pi Puppids	00246	AMO	alpha Monocerotids	00348	ARC	April rho Cygnids
00009	DRA	October Draconids	00144	APS	Daytime April Piscids	00250	NOO	November Orionids	00362	JMC	June mu Cassiopeids
00010	QUA	Quadrantids	00145	ELY	eta Lyrids	00252	ALY	alpha Lyncids	00372	PPS	phi Piscids
00011	EVI	eta Virginids	00151	EAU	epsilon Aquilids	00254	PHO	Phoenicids	00388	CTA	chi Taurids
00012	KCG	kappa Cygnids	00152	NOC	Northern Daytime omega Cetids	00257	ORS	Southern chi Orionids	00390	THA	November theta Aurigids
00013	LEO	Leonids	00153	OCE	Southern Daytime omega Cetids	00281	OCT	October Camelopardalids	00404	GUM	gamma Ursae Minorids
00015	URS	Ursids	00156	SMA	Southern Daytime May Arietids	00319	JLE	Jamary Leonids	00411	CAN	c Andromedids
00016	HYD	sigma Hydrids	00164	NZC	Northern June Aquilids	00320	OSE	omega Serpentids	00427	FED	February eta Draconids
00017	NTA	Northern Taurids	00165	SZC	Southern June Aquilids	00321	TCB	theta Coronae Borealis	00428	DSV	December sigma Virginids
00018	AND	Andromedids	00170	JBO	Jane Bootids	00322	LBO	lambda Bootids	00431	JIP	June iota Pegasids
00019	MON	December Monocerotids	00171	ARI	Daytime Arietids	00323	XCB	xi Coronae Borealis	00445	KUM	kappa Ursae Majorids
00020	COM	Comae Berenicids	00172	ZPE	Daytime zeta Perseids	00324	EPR	epsilon Perseids	00446	DPC	December phi Cassiopeids
00021	AVB	alpha Virginids	00173	BTA	Daytime beta Taurids	00325	DLT	Daytime lambda Taurids	00506	FEV	February epsilon Virginids
00022	LMI	Leonis Minorids	00175	JPE	July Pegasids	00326	EPG	epsilon Pegasids	00510	JRC	June rho Cygnids
00023	EGE	epsilon Geminids	00183	PAU	Piscis Austrinids	00327	BEQ	beta Equuleids	00512	RPU	rho Puppids
00026	NDA	Northern delta Aquarids	00184	GDR	July Gamma Draconids	00328	ALA	alpha Lacertids	00524	LUM	lambda Ursae Majorids
00027	KSE	kappa Serpentids	00187	PCA	psi Cassiopeids	00330	SSE	sigma Serpentids	00526	SLD	Southern lambda Draconids
00031	ETA	eta Aquarids	00188	XRI	Daytime xi Orionids	00331	AHY	alpha Hydrids	00529	EHY	eta Hydrids
00033	NIA	Northern iota Aquarids	00191	ERI	eta Eridanids	00333	OCU	October Ursae Majorids	00530	ECV	eta Corvids
00061	TAH	tau Herculis	00197	AUD	August Draconids	00334	DAD	December alpha Draconids	00533	JXA	July xi Arietids
00063	COR	Corvids	00198	BHY	beta Hydrusids	00335	XVI	December chi Virginids	00549	FAN	49 Andromedids
00069	SSG	Southern mu Sagittariids	00202	ZCA	Daytime zeta Cancrids	00336	DKD	December kappa Draconids	00569	OHY	omicron Hydrids

**Total: 112 established showers.**

[https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje\\_lista.php?corobic\\_roje=1&sort\\_roje=0](https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje_lista.php?corobic_roje=1&sort_roje=0)

Figure 1.7: Listagem contendo os nomes oficiais das 112 chuvas reconhecidas retirada de [https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje\\_lista.php?corobic\\_roje=1&sort\\_roje=0](https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje_lista.php?corobic_roje=1&sort_roje=0)

permanentemente retirado do banco de dados do MDC/IAU<sup>4</sup>

(iii) Lista de grupos de chuvas, denominadas de complexos, que são chuvas que podem ser originadas do mesmo corpo parental.

(iv) Listagem de chuvas removidas.

## 1.8 O Videomonitoramento de Meteoros no Brasil

A atividade de videomonitoramento de meteoros no Brasil tem seu início com a instalação de uma câmera tipo Allsky na cidade do Rio de Janeiro, no ano de 2006, pela professora Maria Elizabeth Zucolotto do Museu Nacional, com o objetivo de fomentar o estudo de bólidos e recuperação de meteoritos. Em seguida, no ano de 2008, um grupo de astrônomos amadores do CASP (Clube de Astronomia de São Paulo) instalou duas câmeras também do tipo allsky e a partir daí esforços esparsos de entusiastas e astrônomos amadores fomentaram a instalação de mais câmeras para monitorar os céus noturnos em busca de registro de meteoros Izcson et al. (2017).

<sup>4</sup>MDC/IAU - Meteor Data Center da IAU, funciona no Instituto Astronômico da Academia Eslovaca de Ciências, sob a direção da divisão F (Sistemas Planetários e Bioastronomia da União Astronômica Internacional (IAU). Atualmente o MDC também é responsável, em conjunto com o Grupo de Trabalho de Nomenclatura de Chuvas de Meteoros da Comissão F1 (Meteoros, Meteoritos, e Poeira Interplanetária

Somente em 2013 um grupo de amadores deu início a formação de uma rede organizada de monitoramento de meteoros denominada de REMIM (Rede Integrada de Monitoramento de Meteoros), iniciando uma parceria com a rede europeia conhecida como EDMOND. No início de 2014 essa rede passou a chamar-se de BRAMON (*Brazilian Meteor Observation Network*), por sugestão de Julio Lobo do Observatorio Municipal de Campinas Jean Nicolini, e angariando mais colaboradores.

Em 2015 duas novas redes foram criadas, a EXOSS (Exploring the Southern Sky for New Radiants) e a rede R-OASI (rede do Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica), o funcionamento, a estruturação e os primeiros resultados destas duas redes serão descritas no restante desta dissertação.

## 1.9 Considerações sobre o estudo dos Meteoros

Este capítulo introduziu o tema de ciência de meteoros e demonstrou que seu estudo é de fundamental importância para o entendimento de mecanismos de produção de fluxos de massa que a Terra constantemente atravessa e melhorar a compreensão da formação e evolução do Sistema Solar, ao buscar a conexão entre cometas e asteroides. Além de fornecer evidências sobre pequenos corpos, de dimensões até dezenas de metros que adentram a nossa atmosfera e tentar entender a dinâmica de deposição dos mesmos na proximidade de nosso planeta.

A recuperação de meteoritos, previamente detectados por redes de monitoramento, possibilita o estudo amplo da sua origem e fatores dinâmicos pré-impacto. De cerca de 50000 meteoritos conhecidos, apenas 30 destes tiveram registrados seu caminho atmosférico de queda, possibilitando derivar as órbitas heliocêntricas, evidenciando que apesar da coleta de milhares de meteoros por mês feita pelas redes de monitoramento, a determinação da trajetória de um meteorito é um fato extremamente raro, ou seja cerca de 0.06% do total dos achados e caídos.

A prevenção e mitigação de impactos de meteoroides que podem causar danos consideráveis, como o exemplo recente do superbólido Chelyanbinsk, em 2013, precisam de mais levantamentos quanto a frequência e características de bólidos para aprimoramento dos modelos de probabilidade de impacto.

Portanto estudar e compreender o fenômeno conhecido como meteoro permite a

visão e leitura de um quadro maior, relacionado a pequenos corpos e às múltiplas ramificações da ciência dos asteroides e dos cometas. No próximo capítulo vamos abordar a criação de rede de monitoramento de meteoros, em nosso País, discorrendo sobre sua estruturação, objetivos, técnicas e metodologias empregadas.

## Chapter 2

# Implantação e Metodologia da Rede EXOSS e R-OASI

Neste Capítulo vamos descrever a implantação e metodologia utilizadas nas redes de monitoramento de meteoros, em particular, a rede EXOSS e sua associada a rede R-OASI.

Vale lembrar que o monitoramento de meteoros utilizando registros fotográficos, por duas ou mais estações de observação teve início com o projeto “*The Harvard Meteor Project*”, liderado por F. L. Whipple, entre os anos de 1936 a 1951, nos EUA (Jacchia and Whipple, 1956; Whipple and Jacchie, 1957). Em seguida, entre os anos de 1951 a 1977, o Observatório Ondrejov, na República da Tchecoslováquia, desenvolveu um projeto similar (Gritsevich, 2009) e obteve a recuperação de quatro meteoritos por meio dos dados calculados de queda (Ceplecha, 1961).

O programa tchecoslovaco ampliou-se com a adesão de outros países europeus, formando a EFN (European Fireball Network) e vindo mais tarde a formar diversas redes de monitoramento na Europa. Nos EUA, o programa “Praire” deu início as suas pesquisas em 1963 e obtendo como maior resultado a recuperação do meteorito “*Lost City*” (McCrosky et al., 1971). Entre 1971 e 1985 o projeto do MORP (Meteorite Observation and Recovery) do Canadá realizou monitoramento contínuo de bólidos, logrando sucesso na recuperação de meteoritos (Halliday et al., 1996, 1978).

Desde então inúmeras redes foram sendo criadas, como a SPMN (Spanish Photographic Meteor Network) (Trigo-Rodríguez et al., 2005), a PFN (Polish Fireball Network) e a Desert Fireball Network, na Austrália (Bland, 2004). Hoje em dia diversas redes de monitoramento estão espalhadas no mundo, formadas por profissionais e amadores, conforme mostrado na figura 1, onde é indicado a

distribuição das principais redes de monitoramento atuais.

É importante notar que as primeiras redes de detecção de meteoros ensejaram esforços na recuperação de meteoritos, como também, levantar estatísticas de chuvas e determinar novos riantes, utilizando os sistemas de registro fotográfico e aplicando métodos astrométricos de cálculos de trajetória pré-atmosféricas para se determinar a órbita antes do impacto. Os dados produzidos pelas primeiras redes possibilitaram o desenvolvimento e o aprimoramento dos modelos de interação de meteoróides com a atmosfera, bem como proporcionaram melhores estimativas de fluxo de matéria penetrando na atmosfera (Halliday et al., 1996).

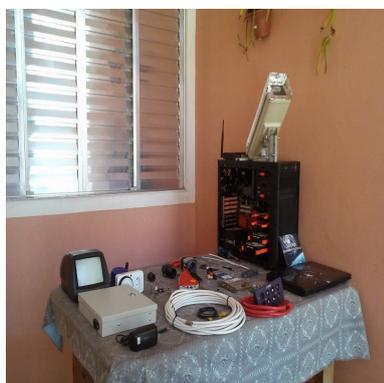
Na esteira da expansão da pesquisa de meteoros, mesclando profissionais e amadores, em maio de 2015, foi fundado o grupo EXOSS. Inicialmente o projeto tinha 12 câmeras e após um ano da fundação foi implantada a primeira câmera da rede parceira a R-OASI com base no Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica, em Itacuruba, Pernambuco.

No que segue vamos descrever as duas redes, a instrumentação e software utilizados, a implantação do banco de dados, a capacitação dos associados e finalizando com a descrição das técnicas de análise de dados.

## 2.1 A Descrição das Redes

As câmeras do projeto estão distribuídas no território nacional e são parte do que denominamos de estação de monitoramento, ou seja, um conjunto instrumental equipado basicamente com uma câmera, um pc e um software apropriado para a realização de videocapturas. Na figura 2.1 são mostradas uma estação desmontada e uma outra pronta, adquiridas por colaboradores voluntários e parceiros.

A rede utiliza o conceito denominado de ciência cidadã ou "citizen science", unindo leigos e profissionais da área de pesquisa para gerar contribuições úteis na área. A segunda rede denominada R-OASI (Rede do Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica) tem base no observatório com uma câmera direcionada na direção Leste, fazendo pareamento com a estação de Arapiraca -AL, da associada Kécia dos Santos. Esta rede deve ser complementada com outras 9 câmeras instaladas em instituições públicas na região Nordeste, como Instituto Nacional do Semi-Árido (IMSA) em Campina Grande e a Universidade Federal Rural de Pernambuco em Recife. No que segue vamos detalhar as principais características



(a) estação desmontada



(b) estação operacional

Figure 2.1: *Esquerda: foto de uma estação EXOSS desmontada, pertencente ao associado Eduardo P. Santiago. Direita: foto de quatro câmeras da estação de monitoramento de meteoros - ITU 1, localizada na cidade de Itú/SP.*

das duas redes.

## 2.1.1 A Rede EXOSS

### (a) A fundação da Rede

O início do grupo em monitoramento de meteoros denominado de EXOSS foi em 17 de maio de 2015 e a sua característica principal era a informalidade científica. Para que a rede EXOSS pudesse tomar uma estrutura melhor organizada e respaldada dentro do conceito de ciência cidadã era importante ter apoio institucional que lhe desse os nortes dentro da atuação científica. Dessa forma, objetivando formalizar cientificamente o trabalho de monitoramento de meteoros, em agosto de 2015, o coordenador da rede ingressou no mestrado do Observatório Nacional.

A partir desse momento, a experiência de pesquisar e monitorar meteoros foi tomando a forma de um projeto científico estruturado, pois começamos a participar de seminários, workshops e congressos, organizando a metodologia de trabalho dentro dos moldes da investigação científica. A presente dissertação é fruto deste trabalho.

## (b) Visão geral da Rede

A ação da rede é baseada no trabalho em equipe e na colaboração de todos, desde a escolha do nome que acabou sendo **EXOSS**. A escolha do nome veio da ideia da exploração do céu no hemisfério sul para a identificação de novos riantes, de onde surge o acrônimo **EXOSS**, o slogan da rede: *EXplOring the Southern Sky for new Meteors Riantes*. Adotamos a expressão CITIZEN SCIENCE no logo, para deixar claro a nossa forma de atuação.



Figure 2.2: Logo do projeto Exoss.

A pedra fundamental do projeto é a mão-de-obra dos associados, em sua grande parte amadores, que trabalham voluntariamente em prol das pesquisas contribuindo para o desenvolvimento da rede EXOSS, mantendo as câmeras ativas e funcionais e realizando duas tarefas básicas: as (1) videocapturas e (2) pré-análise (usando o pacote de software chamado UFO). Estas duas tarefas consistem a primeira etapa de coleta de dados dos meteoros. Na segunda etapa os dados obtidos são tratados por pessoas com treinamento adequado, para obter os resultados científicos, tais como cálculo de riantes, trajetórias de bólidos e estatísticas de magnitude e curvas de brilho.

A rede EXOSS usa o mesmo modelo de algumas redes europeias de atuação comprovadamente eficiente, como, por exemplo, a UKmon e a PFN (Campbell-Burns and Kacerek, 2014; Olech et al., 2006), promovendo observações de meteoros através de câmeras CCTV, disseminando a ciência de meteoros junto ao grande público, através de ações como palestras, divulgação científica em *homepage* própria: [exoss.org](http://exoss.org) e articulando parcerias e colaborações com instituições científicas e amadoras. Como exemplo de interação com uma rede amadora, destacamos a parceria para a tradução em português e suporte da ferramenta interativa "*Relate um Bólido*" desenvolvida pela AMS (American Meteor Society), em conjunto com a IMO e explicada no Apêndice C.

A homepage do projeto conta com a ferramenta "*translate*" para todos os idiomas e com tradução para a linguagem brasileira de sinais. Nas diversas abas do sítio eletrônico, existem informações sobre o EXOSS, notas de divulgação científica na área de meteoros, pequenos corpos e assuntos relacionados à astronomia, assim

como relatórios de análises de casos de bólidos, projetos em andamento, dentre outras inúmeras informações e novidades.

A visão do grupo de trabalho é manter um nível de qualidade adequado na condução do projeto, para tanto estabelecemos estações com equipamentos padronizados e associados treinados, através de capacitação via tutoriais e reuniões à distância via *hang outs*, abordamos o assunto sobre capacitação na seção 2.4.

### (c) Objetivos

O projeto da rede é amparado por um conselho formado por quatro pessoas, sob a minha coordenação, seguindo as diretrizes gerais que podem ser lidas no seguinte link: <http://press.exoss.org/projetos/diretrizes-basicas-da-exoss-citizen-science/> e que desenvolve um plano de trabalho científico que norteia o projeto, cumprindo os seguintes objetivos:

1. Registrar meteoros e desenvolver estudos astrométricos e astrofísicos;
2. Catalogar novos riantes de chuvas de meteoros no hemisfério sul;
3. Colaborar com instituições de ensino e pesquisa tornando a rede um instrumento de contribuição à sociedade;
4. Incentivar a produção de artigos científicos pelos membros integrantes, bem como desenvolver tecnologias para a otimização das atividades da rede.

Desde o início do projeto, os objetivos acima tem sido paulatinamente alcançados, pois estamos diariamente registrando meteoros, fazendo as análises astrométricas e iniciando estudos de propriedades de bólidos, conforme demonstrado no Capítulo 3, que versa sobre os resultados científicos alcançados. Também realizamos colaborações com diversas instituições, como o Observatório Municipal de Campinas Jean Nicolini (OMCJN) (Silva, 2017), UNIVAP e Observatório Nacional. Incentivamos a publicação de trabalhos (vide Apêndice D) e desenvolvemos softwares destinados ao projeto, como o Analyser Help e o DOCCA, que são explicados no Apêndice B.

O trabalho de estruturação e organização do projeto tem sua base ideológica fundamentada na disseminação da cultura de ciência cidadã, pois é uma forma de atuação cooperativa que incentiva o associado a aprimorar seus conhecimentos e técnicas, amplifica a coleta de dados e pré-análises, além de ser mais um canal facilitador entre a academia e o público. A seguir vamos delinear a fundamentação

ideológica do projeto EXOSS, dentro do contexto de ciência cidadã.

#### (d) O conceito de Ciência Cidadã ("Citizen Science")

Ciência cidadã (*Citizen Science*) é um conceito também conhecido como: *crowd science*, *crowd-sourced science*, *civic science*, *volunteer monitoring* ou *networked science*. Ele é uma forma de conduzir uma pesquisa científica através de cooperação por amadores (ou não-profissionais da área de estudo) e especialistas. A ciência cidadã também é vista como um meio de democratizar a ciência e disseminar a cultura de comunidades produzirem dados que possam ser utilizados em benefício próprio, aplicados em políticas públicas relacionadas à saúde e meio-ambiente, principalmente. É uma tendência crescente, conforme demonstra a figura 2.3, logo abaixo.

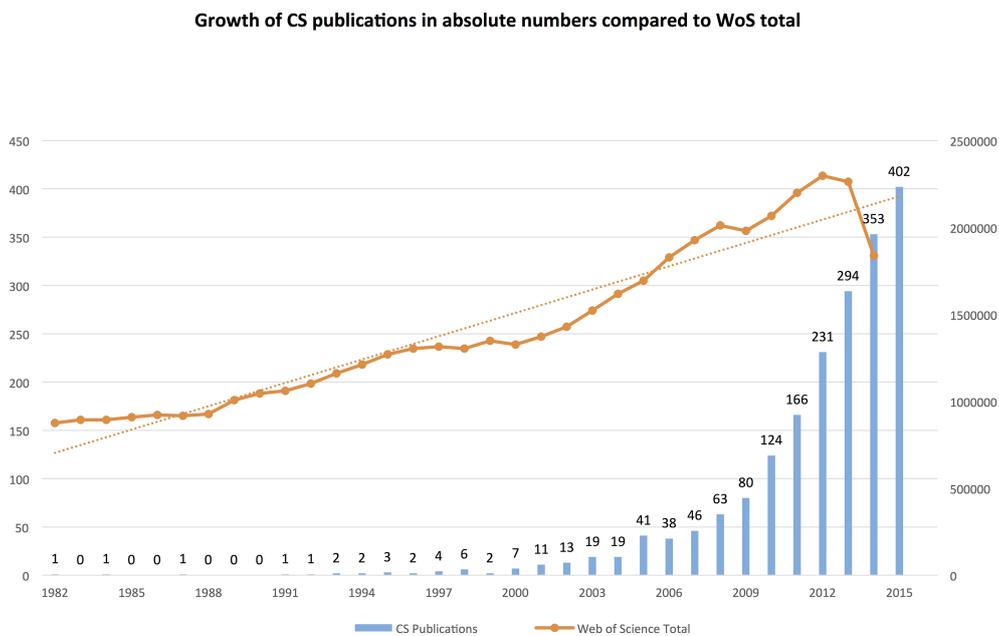


Figure 2.3: Gráfico retirado de Kullenberg and Kasperowski (2016) mostrando a tendência crescente de publicações, usando a prática de ciência cidadã desde a década de 90. Note-se o rápido aumento, a partir de 2010, com o lançamento de projetos digitais, como *Galaxy Zoo*, *Planet Hunter*, *Ebird*, dentre outros.

Em recente estudo usando métricas em catálogos de periódicos Kullenberg and Kasperowski (2016) identificaram quatro grandes áreas do conhecimento onde o conceito de ciência cidadã é aplicado: (i) Biologia, (ii) Geografia, (iii) Epidemiologia e (iv) Ciências Sociais. No que diz respeito a astronomia, os autores identificaram mais de 50 artigos na área referenciados no sitio *Web of Science*, envolvendo ciência cidadã. Na figura 2.4 apresentamos gráfico de frequência de artigos publicados

por área de conhecimento. Pesquisa, em dia 23.05.2017, no banco de dados ADS (*Astrophysics Data System*) usando o termo *Citizen Science* retornou 1811 resumos catalogados. Isto demonstra uma consolidação da prática ciência cidadã no meio da pesquisa científica formal. Em relação a área da astronomia, inúmeros projetos elegem esta aplicação como meio de apoio às suas atividades, como exemplo:

**Galaxy Zoo** : classificação de galáxias (Raddick et al., 2007).

**RECON (The Research and Education Cooperative Occultation Network)**

: determinação de tamanhos de objetos transnetunianos (Keller and Buie, 2013).

**Identificação de NEAS** : (Solano et al., 2014).

**SPACE WARP - II** : candidatos a lentes gravitacionais do CFHTLS (Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey) (More et al., 2016).

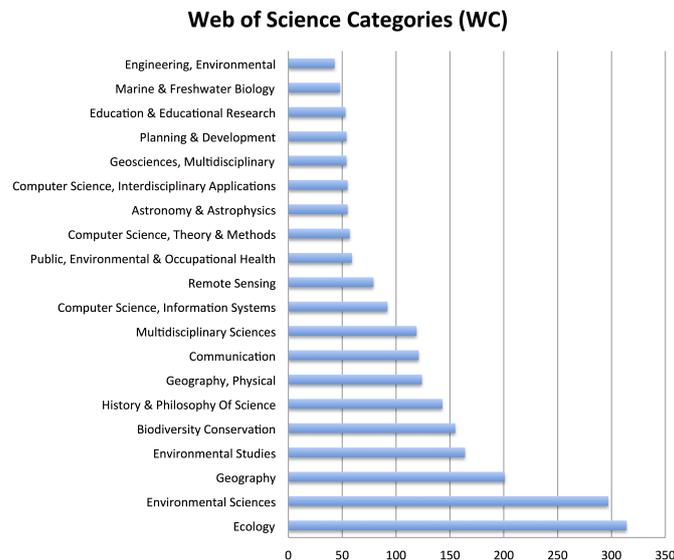


Figure 2.4: *Histograma de frequência absoluta de categorias de ciência cidadã encontrados no sitio Web of Science, em 17.12.2015. A área de astronomia e astrofísica ocupa o 14º lugar. Figura retirada de (Kullenberg and Kasperowski, 2016)*

Assim, o movimento de ciência cidadã vem apresentando um crescente volume de projetos, conforme demonstrado em pesquisas nas bases bibliográficas, mostrando que pode ser uma ferramenta exitosa de ação social estratégica no apoio e alavancagem de pesquisas científicas.

### (e) A estrutura Organizacional

A estrutura organizacional da rede consiste na divisão das atividades a serem desenvolvidas no projeto por um Conselho-diretor, constituído por quatro integrantes:

Eduardo P. Santiago, Luciana Fontes, Marcelo De Cicco e Marco Mastria. Os membros deste conselho atuam nas seguintes áreas:

- Marcelo De Cicco: coordenação-geral, atuando na administração geral, nos estudos e pesquisas dos dados, orientação técnica e representação da rede EX-OSS;
- Eduardo P Santiago: coordena o suporte às estações e ativações da rede;
- Marco Mastria: coordena o desenvolvimento de softwares e o suporte de TI;
- Luciana Fontes: coordena a área administrativa, mídia social e recursos humanos.

Na base da organização estão os associados que participam ativamente do projeto efetuando a operacionalidade das câmeras, realizando a limpeza de falsos positivos, pré-análises e sincronizando os resultados no Banco de Dados.

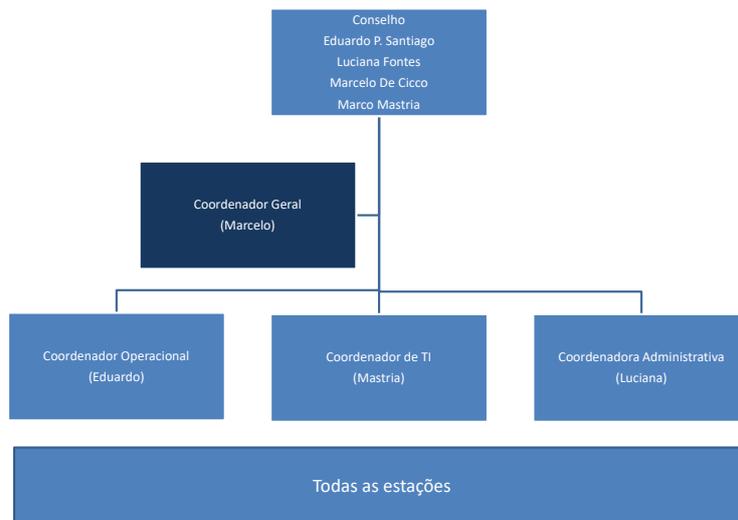


Figure 2.5: *Organograma da Rede Exoss.*

#### (f) A distribuição Territorial

A rede de colaboração do projeto EXOSS, envolve 29 associados e 4 parceiros, para melhor explicar a distribuição da rede, apresentamos abaixo tabelas por região brasileira, discriminando o estado e cidade da estação, o nome do associado, a sigla

da estação/câmeras e o link<sup>1</sup> que fornece maiores informações sobre cada um dos participantes.

Table 2.1: *Região Sul*

<b>Estado/cidade</b>	<b>Associado</b>	<b>Estac/cam</b>	<b>link</b>
SC/Chapecó	Diego de Bastiani	EMC	emc
SC/Nova Erechim	Diego Bastiani	ENE	ene
SC/Chapecó	Roberto Magno Siqueira	RMP	rmp
SC/Vitória	UFES	UFE_1	sem link

Table 2.2: *Região Sudeste*

<b>Estado/cidade</b>	<b>Associado</b>	<b>Estac/cam</b>	<b>link</b>
RJ/Petrópolis	Alexandre Fernandes	BAS	bas
RJ/Petrópolis	Marcelo De Cicco	PET	pet
RJ/Rio de Janeiro	Leonardo Sattler	RJK	rjk
RJ/Rio de Janeiro	Renato Travassos	RCO	rco
RJ/Rio de Janeiro	Obser.Nacional	ONA_1 e ONA_2	ona
RJ/Rio de Janeiro	Obser. Valongo	VAL_1	sem link
RJ/Campos dos Goytacazes	Carlos H. Barreto	CFB_1 e CFB_2	cfb
RJ/Itaguaí	Natan C. Lameu	NCL	ncl
MG/Caeté	Tiago Torres	HSE	hse
ES/Vitória	Luciana Fontes	VIX_1 a 3	vix
ES/Colatina	Leonardo Simões	COI	col
ES/São Mateus	Gustavo Casagrande	ERB	erb
ES/Colatina	William Eugênio	WMR	wmr
SP/São Paulo	Amanda Martins	HAL	hal
SP/São Paulo	Billy Dorsch	CDR_1 CDR_2	cdr
SP/Valinhos	Adriano Rondini	GBS	gbs
SP/Sorocaba	André Luiz Oliveira	SOR	sor
SP/São Sebastião	Eduardo P.Santiago	EPS_1 a 3	eps
SP/São Sebastião	Johne Oliveira	JOH	joh
SP/Limeira	Marco Mastria	LMR	lmr
SP/Mogi das Cruzes	Marco Mastria	MCZ	mcz
SP/Campinas	Obs.Mun. Jean Nicolini	OMC1 a 5	omc
SP/São José dos Campos	Suzanne C. de Paula	SPS	sps
SP/Santo Antônio da Posse	Vinicius Lenci	VLW	vlm
SP/São José dos Campos	UNIVAP	UVP	uvp
SP/Itú	Welton M. Jesus	ITU_1 a 4	ITU

<sup>1</sup>No Apêndice F, relacionamos os endereços eletrônicos completos das estações referenciadas nas tabelas.

Table 2.3: *Região Nordeste*

<b>Estado/cidade</b>	<b>Associado</b>	<b>Estac/cam</b>	<b>link</b>
AL/Arapiraca	Kécia Silva	KFD	kfd
AL/Arapiraca	André Felipe	AFL	afl
PE/Itacuruba	OASI	ION	ion
MA/São Luís	Nordman Ribeiro	NRN	nrn

Table 2.4: *Região Centro-Oeste e Norte*

<b>Estado/cidade</b>	<b>Associado</b>	<b>Estac/cam</b>	<b>link</b>
RO/Ji-Paraná	Alysson Tamborelli	ART	art
MS/Campo Grande	Giovanni Rescigno	CGR	cgr

A organização da rede apresenta uma distribuição concentrada no litoral, em regiões metropolitanas do sudeste, e um número menor de câmeras nas regiões do Sul Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

A seguir vamos descrever a R-OASI que se constitui de uma rede em implantação, para expansão do videomonitoramento no entorno da região da cidade de Itacuruba em pleno sertão nordestino, no estado de Pernambuco. Esta rede é estratégica no sentido de ampliar o alcance do monitoramento de meteoros na região Nordeste.

### 2.1.2 A rede R-OASI

Ao longo do mestrado foi dado início à implementação da rede R-OASI como parte da rede EXOSS e em colaboração com o projeto IMPACTON, dedicado ao estudo das propriedades físicas de NEO. A R-OASI é uma rede de cerca de 10 câmeras de monitoramento de meteoros instaladas ou a serem instaladas em instituições de ensino e pesquisa na região do Nordeste do Brasil com centro no Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica (OASI), em Itacuruba (PE). A R-OASI, em conjunto com a rede EXOSS e o projeto IMPACTON deverá permitir um maior conhecimento das propriedades físicas dos meteoros e de seus corpos parentais.

Abaixo, apresentamos mapa de localização do OASI, onde está o centro irradiador da expansão da rede de monitoramento na região Nordeste, envolvendo diversas instituições de ensino e de pesquisa.

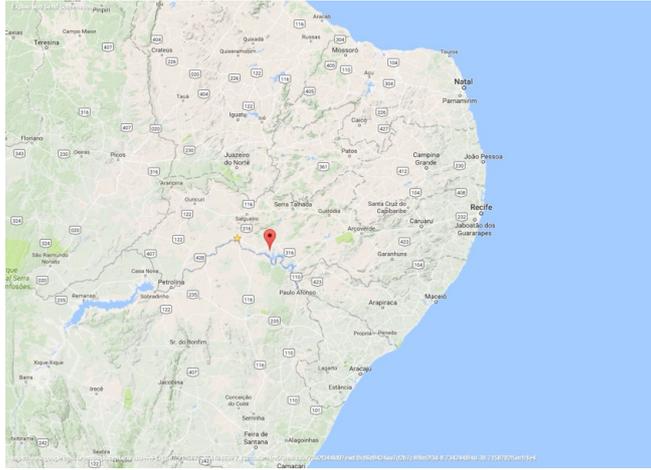


Figure 2.6: *Mapa mostrando a localização do OASI, centro da rede R-OASI.*

As próximas câmeras a serem instaladas serão nas dependências do INSA (Instituto Nacional do Semi Árido) em Campina Grande, da Universidade Rural de Pernambuco em Recife e no Instituto Federal de Floresta, em Floresta, Convênios neste sentido já foram assinados. Outras câmeras estão previstas para serem instaladas nos IF de Belém de São Francisco e de Paulo Afonso, ambos em Pernambuco e no de Monteiro, na Paraíba.

A câmera no OASI foi instalada em maio de 2016 e desde então já foram registrados mais de 500 meteoros, permitindo a determinação de cerca de 20 órbitas. Na figura 2.7 mostramos a primeira imagem de um meteoro registrado pela câmera ION\_1.



Figure 2.7: *Primeira imagem de um meteoro capturado pela estação ION\_1, em 05.06.2016, às 07:54:58 UTC.*

As duas redes totalizando um conjunto de mais do que 60 câmeras de monitora-



Figure 2.8: *Camera ION\_1 instalada nas dependências do OASI.*

mento, devem permitir obter uma amostra significativa dos meteoros e, portanto, resultados estatisticamente robustos sobre riantes no Hemisfério Sul e suas propriedades físicas.

## 2.2 Softwares e Instrumentação de uma estação de monitoramento

Uma estação de monitoramento é constituída por um conjunto de instrumentos e softwares. A relação de materiais que são utilizados para estruturar uma estação de monitoramento são os seguintes:

- Uma câmera CCTV com sensibilidade  $\leq 0.05$  lux, sem filtro IR.
- Uma lente para CCTV com F-Stop  $\leq 1.2$
- Um pc doméstico ou Lap Top com no mínimo 2 gb de memoria RAM e capacidade  $\geq 250$  gb de HD.
- Um monitor (qualquer modelo)
- Uma placa de captura ("framegrabber"), com entrada usb compatível com sistema DirectX <sup>2</sup> e modalidades NTSC ou PAL.

---

<sup>2</sup>O Microsoft DirectX é um pacote de instruções criado para o sistema operacional Microsoft Windows, padronizando a comunicação entre software e hardware aplicado principalmente em jogos e programas gráficos (Wikipedia, 2017).

- Caixa de proteção, filtros de ruídos, cabo coaxial e conectores bnc.



Figure 2.9: *Folder descritivo do conjunto de equipamentos utilizados para montar uma estação de monitoramento de meteoros da EXOSS.*

No que segue vamos primeiro detalhar os softwares utilizados e sua aplicação para então descrever as câmeras e lentes utilizadas nas estações da rede EXOSS.

### 2.2.1 Softwares de videocapturas e análises

O programa de registro, análise e cálculo de trajetória em que se apoia o projeto EXOSS é a suite UFO, que se divide em três partes independentes: UFOCaptureV2, UFOAnalyserV2 e UFOOrbitV2. A seguir vamos explicar como eles são utilizados.

Primariamente, vale ressaltar que a suite UFO é desenhada para a observação de vários fenômenos atmosféricos, sendo o programa UFOCaptureV2, o mais genérico. Este registra movimentos das mais diversa origens, tais como pássaros, aviões, meteoros e Eventos Luminosos Transientes (ELTs) que são fenômenos óticos decorrentes de atividades elétricas nas altas camadas da atmosfera, entre 18 – 100km de altura (ACATMOS, 2017). O programa usa um algoritmo de detecção de movimento que registra e filma em vídeo no formato AVI (“*Audio Video Interleave*”). Os vídeos são então armazenados no HD para consulta e análise.

No que se refere a detecção de meteoros, aplicamos as configurações sugeridas pelo manual<sup>3</sup> do desenvolvedor. Basicamente o programa funciona a partir da recepção de sinal analógico de vídeo da câmera que é digitalizado pela placa de captura acoplada ao computador. O software aplica filtros que analisam em tempo real a relação sinal/ruído e também o movimento e a variação de brilho por tempo e por deslocamento na imagem. Meteoros são registrados se certo número de pixels apresentam variação de brilho acima de um determinado limite e a sua contagem média varie num deslocamento em linha reta, numa velocidade determinada de número de pixels por segundo ( $N.^{\circ}$ pxsl/seg).

No caso de uma detecção imediatamente é disparado o registro do vídeo no HD, em média com duração de 1 a 2segs, ocupando entre 140 a 250mb de espaço, para cada registro. Uma série de arquivos tipo .TXT, .XML e .LOG contendo informações sobre a captura são gerados e, em seguida, depositados numa subpasta junto com o arquivo .AVI servindo de base para o próximo passo que é a aplicação do UFOAnalyserV2.

Os registros das capturas são analisados pelo software UFOAnalyserV2. Neste passo ocorre a astrometria da imagem quando são calculados as constantes da placa, a posição do centro da imagem, das estrelas e da trajetória do meteoro nos sistemas cartesiano e de coordenadas celestes. Na figura 2.10, é mostrado um exemplo de uma imagem de captura, que já passou pela análise astrométrica.

---

<sup>3</sup>Manual do UFOCapture pode ser lido no sítio eletrônico: <http://sonotaco.com/soft/UF02/help/english/1-1.html>.

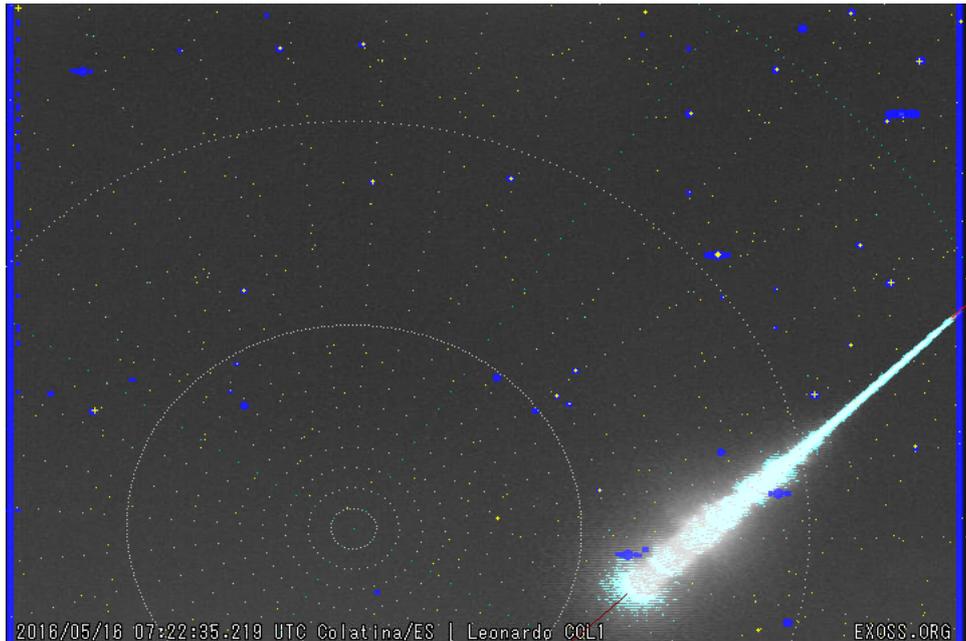
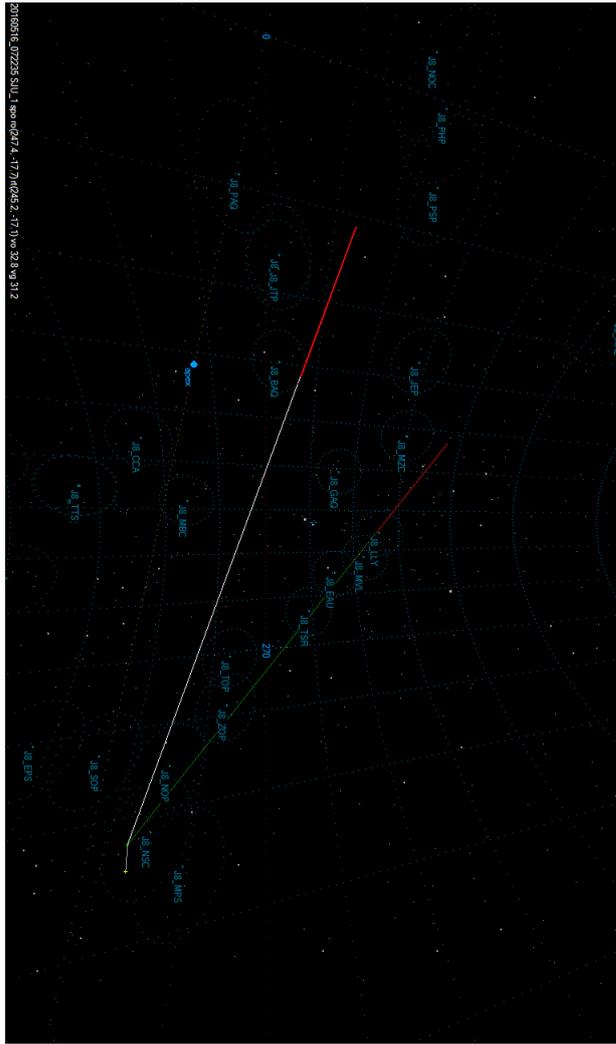


Figure 2.10: Imagem analisada de um bólido, no dia 16.05.2016, às 07:22:35 TU registrado pela estação COL, localizada em Colatina/ES, do associado Leonardo Simões.

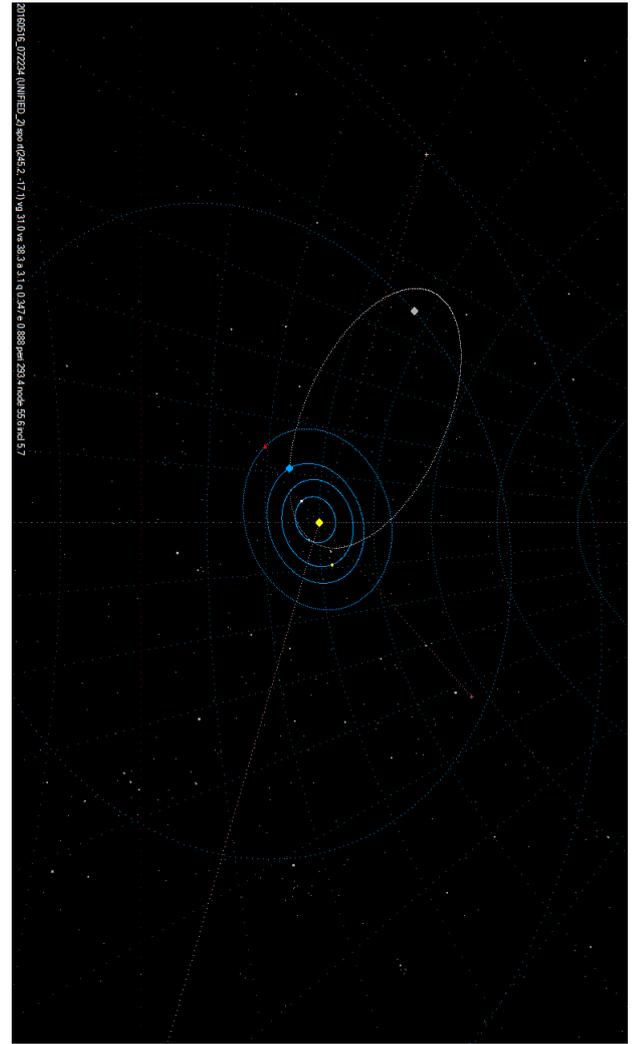
Na figura é possível notar a trajetória do bólido próximo ao Pólo Sul Celeste. As linhas pontilhadas demarcam as coordenadas equatoriais celestes de declinação e ascensão reta, as marcas azuis são máscaras de cintilação das estrelas detectadas e as marcas brancas as estrelas registradas. Através do software UFOAnalyserV2 coletamos informações como: (a) velocidade angular, (b) tempo de trajetória, (c) intensidade de brilho de cada pixel, e outras estimativas acerca do fenômeno coletado.

A próxima etapa refere-se ao cálculo de órbita, velocidade e altura da trajetória do meteoro, através do programa UFOOrbitV2. Neste ponto é vital que a captura do meteoro tenha sido registrada por no mínimo duas câmeras separadas por uma distância mínima. A distância ideal entre duas estações, utilizando câmeras CCTV, com sensores de tamanho  $1/3''$  é de aproximadamente de 150–250km, para que o cálculo da trajetória final tenha boa acurácia. A captura simultânea de um mesmo meteoro por duas câmeras é denominado de "pareamento" (em inglês "double station").

Na figura 2.11, são apresentados dois diagramas que representam resultados do software: o primeiro sendo a projeção da trajetória do meteoro, a partir de um ponto radiante, e o segundo uma órbita calculada através do pareamento de duas câmeras.



(a)



(b)

Figure 2.11: *Análises do bólido apresentado na figura 2.10 através do software UFOOrbitV2 e sua captura por duas estações permitiram o cálculo do radiante e da órbita. Esquerda: A linha vermelha representa a trajetória pareada pelas estações, a linha verde e a linha tracejada são prolongamentos até o radiante observado e o asterisco amarelo representa o radiante modificado. Direita: a órbita osculatória de pré-impacto do bólido, representada pela elipse tracejada. As estações são SJU e CFB, dos associados Marcelo Mozer, de São José do Ubá/RJ, e Carlos Henrique Barreto, de Campos dos Goytacazes.*

## 2.2.2 Câmeras e lentes

As câmeras utilizadas no projeto EXOSS são denominadas de CCTV (Closed-Circuit Television), conhecidas como câmeras de videovigilância e sendo elementos fundamentais do projeto de videomonitoramento de meteoros em todas as redes do mundo. A distinção entre câmeras utilizadas, no caso de aplicação para registro de meteoros, se dá principalmente pela escala de sensibilidade (sua variação em unidades de lux), além do preço que pode variar de 35 dólares - típicas CCTV - até mais de mil dólares para câmeras do tipo industrial, como os modelos WATEC que são adaptadas para filmar o céu noturno.

O sinal analógico da câmera CCTV pode vir no formato PAL ou NTSC<sup>4</sup>, que é digitalizado por uma placa de captura. O programa de videocaptura UFOCaptureV2 inspeciona as imagens digitalizadas oriundas do sinal analógico em tempo real. Uma vez que um meteoro é detectado as rotinas do referido software realizam o registro do fenômeno no HD do computador, armazenando-o numa pasta com os dados dessa captura, como já explicado na seção 2.2.1.

A câmera típica de CCTV na figura 2.12 adotada utiliza o sensor CCD - Sony ExView HAD<sup>5</sup>. O uso desse tipo de câmera apresenta as seguintes vantagens: (1) baixo custo, pois no mercado é possível encontra-la a preços em torno de 30 dólares, (2) a sensibilidade pode atingir 0.001lux, sem filtro IR, registrando meteoros até magnitude +4.0 (esta medida leva em conta o céu noturno com baixa poluição luminosa), usando lentes típicas de f/1.2 12 mm e (3) facilidade de configuração e montagem.

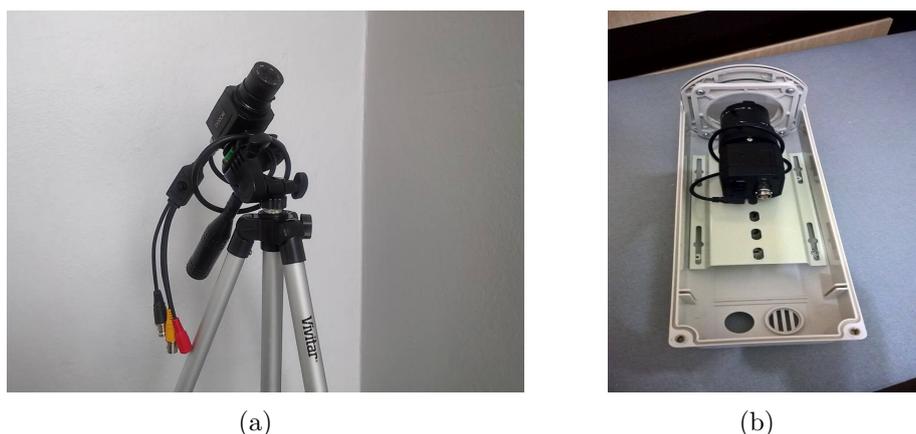


Figure 2.12: *Modelo de camera CCTV usada em projeto de monitoramento. À esquerda: imagem da câmera em montagem de teste. À direita: imagem caixa de proteção e câmera.*

A lente utilizada é própria para câmeras CCTV onde um modelo típico pode ser visualizado na figura 2.13. Estas variam de 8 a 12mm em distância focal, seu custo é baixo, em torno de 25 a 40 dólares. Dependendo do comprimento focal da lente utilizada o campo visual pode atingir até 180°, quando a lente passa a se chamar de "lente olho de peixe". O campo focal aplicado em nosso projeto está entre 40° a 80° seguindo o padrão usual das redes de monitoramento (veja Molau and Rendtel, 2009).

<sup>4</sup>O formato PAL quer dizer *Phase Alternating Line* e é uma forma de codificação de cores, para sistemas analógicos, com 625 linhas e uma taxa de 25 frames/seg. O formato NTSC quer dizer *National Television System(s) Committee*, com uma taxa de 29.9 frames/seg e 525 linhas.

<sup>5</sup>Uma definição sobre a tecnologia ExView pode ser encontrada no sítio: <https://www.ptgrey.com/exview-had-ccd-ii-sensor-technology>



Figure 2.13: *Tipica lente CCTV usada em câmeras de monitoramento.*

## 2.3 Banco de Dados

A parte nevrálgica do registro e captura de meteoros é o Banco de Dados (BD), pois ali estão guardadas todas as informações de captura e análise, descritas nas seções anteriores. Na figura 2.14 apresentamos "front end" do Banco de Dados da rede EXOSS, cuja concepção é fundamentada no *MySQL*<sup>6</sup>, ferramenta própria para a formatação de um banco de dados. Esta facilita a procura através de *queries*<sup>7</sup>, ou consulta, um exemplo pode ser visto na figura 2.14, onde mostramos o "front end" resultante de uma consulta, desse modo o usuário poderá coletar informações úteis à sua pesquisa.

The screenshot shows the EXOSS database front-end interface. The left sidebar contains a navigation menu with various options like 'Lentes estações', 'Placas capturas estações', 'Dados do MAP', etc. The main window displays a SQL query and its results. The query is as follows:

```
SELECT t1.mo, t1.tt capturas, t2.tt analises, t3.tt objetos
FROM (SELECT c.mo, count(*) tt
      FROM captures c
      WHERE c.y='2016'
      GROUP BY c.mo) t1
LEFT JOIN (SELECT a.mo, count(*) tt
          FROM analises a
          WHERE a.y='2016'
          GROUP BY a.mo) t2 ON t2.mo=t1.mo
LEFT JOIN (SELECT a.mo, count(*) tt
          FROM analises a
          JOIN analises_objects ao ON ao.analysis=a.analysis
          WHERE a.y='2016'
          GROUP BY a.mo) t3 ON t3.mo=t1.mo
```

The results table shows the following data:

#	mo	capturas	analises	objetos
3	03	1439	1416	1431
4	04	2728	2690	2761
5	05	2189	2136	2238
6	06	1695	1694	1720
7	07	3835	3610	3647
8	08	4812	3038	3293
9	09	4288	884	950
10	10	7150	785	815
11	11	1830	112	120

The interface also shows '11 rows selected in 0.000 sec.' at the bottom.

Figure 2.14: *Front end do Banco de dados do projeto EXOSS. A janela da direita mostra um exemplo de query, e na sua parte inferior o resultado da pesquisa, que pode ser exportada em formatos como CSV, XLS, SQL e JSON/PHP.*

<sup>6</sup> *MySQL* é um sistema de gerenciamento de banco de dados que utiliza o conceito de Linguagem de Consulta Estruturada (SQL), ele é facilmente integrável em várias plataformas de hospedagem de sites e é gratuito (WIKIPEDIA, 2017).

<sup>7</sup> *Queries* são formas de consulta ao Banco de Dados, extraindo informações e apresentando em uma formatação própria ao uso.

Os passos tomados para que as informações de capturas e análises dos dados sejam organizados no BD, seguem uma rotina estabelecida para otimizar esta coleta, conforme a seguir:

1. Após uma noite de capturas os associados fazem a sincronização de dados de seus registros e análises no BD, utilizando o script *sync*, desenvolvido pelo arquiteto de sistemas Marco Mastria, um dos fundadores do projeto EXOSS. Este roda no sistema WINDOWS, em todas suas versões.
2. Ao fim de cada mês é feita um conferência de estações que apresentaram alguma pendência, daí em diante os dados estarão disponíveis para consulta e pesquisa. O acesso ao BD é restrito somente ao usuários que tenham um login e senha.

O BD é o ponto de partida para o tratamento dos dados pré-analisados, organizando todas as informações desde a captura, passando pelas análises, além de discriminar tipos de câmeras, lentes, modelos diversos de placa de capturas, posição geográfica das estações, dentre outros parâmetros de operacionalidade, seja por estação, associado, ou outro valor separado das informações registradas nas redes. Também permite uma gama de consultas pormenorizadas otimizando o "data minning". Abaixo, mostramos um exemplo de resultado de uma "query" que discrimina o tipo de placa por estação, o referido resultado pode ser baixado em quatro tipos de formatos: *.CSV*, *.Excel*, *.SQL* ou *.PHP*.

#	st	cap	min(day)	max(day)
1	as1	ENLTVFM3	20161024	20161222
2	as1	Encore_TVL	20170108	20170329
3	art1	Easycap	20160812	20161201
4	bas1	Easycap	20160104	20161008
5	bas1	Pinnacle_DV100	20161012	20170602
6	car1	ENCORE	20160106	20170603
7	cb2	EASYCAP	20160212	20170424
8	cb1	Daz2k_HU3194	20160103	20170603
9	cb2	EasyCap	20160317	20170516
10	cb2	AverMedia	20170314	20170318
11	cgr1	AverMedia_M733	20170115	20170328
12	cgr1	AVERMEDIA	20170427	20170504
13	col1	Pinnacle150e55e	20160101	20170508
14	emc1	ENCORE_ENLTV	20160111	20170603
15	emc2	EASYCAP	20170427	20170602
16	ene1	EASYCAP	20160117	20170528
17	eps1	AverMedia_M798	20160116	20170115
18	eps1	DIAMOND_VCS500	20161008	20161008
19	eps2	AverMedia_M798	20160130	20170326
20	eps2	DIAMOND_VCS500	20160304	20161207
21	eps3	AVERMECIAC727	20160105	20160525

Figure 2.15: Resultado de uma "query" sobre modelos de placa de captura por estação.

## 2.4 A Capacitação dos associados e parceiros

No que se refere a capacitação, criamos um sitio eletrônico específico para o suporte aos associados e parceiros (veja a figura 2.16), com o objetivo de documentar por meio de tutoriais todos os processos de configuração e operação de uma estação de monitoramento. O sitio eletrônico de suporte é acessado por um login e senha. Durante o processo de ativação da estação o time de suporte orienta o novo associado a seguir os tutoriais em texto e vídeo, que estão listados na seguinte ordem:

1. configuração do equipamento;
2. configuração do UFOCaptureV2 e *sync*;
3. processando as análises das capturas;
4. processando órbitas;
5. transmissão ao vivo via `live.exoss.org`;
6. reporte um bólido - tutorial;
7. camera elements (tutorial sobre imagens).

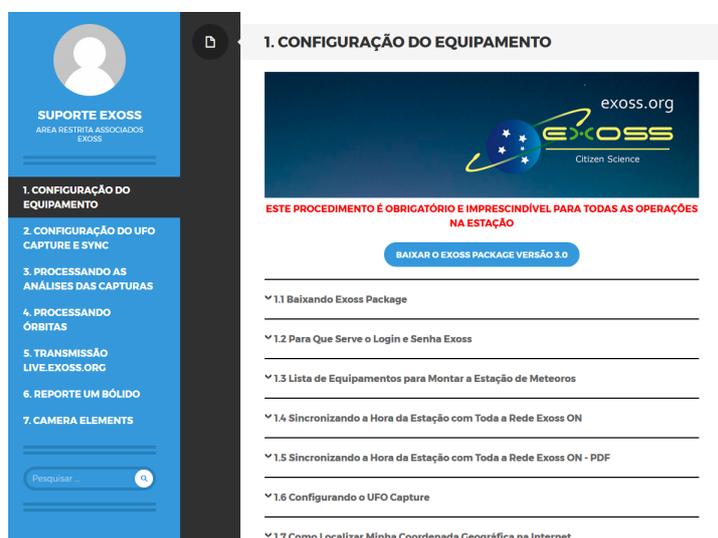


Figure 2.16: Imagem do sítio eletrônico destinado ao suporte e capacitação dos participantes no monitoramento de meteoros.

Dentro de cada tópico na janela da esquerda na figura 2.16 estão listados os sub-tópicos pertinentes (janela à direita), na sequência correta para que o processo de ativação e operação seja concluído com sucesso. Todos os novos associados são acompanhados no processo de ativação e análises iniciais pela equipe de suporte.

Posteriormente são aplicados treinamentos individuais ou em grupos, conforme a demanda e necessidade específica da área de conhecimento a ser melhorada. Todos os treinamentos realizados de forma virtual são gravados e arquivados na área restrita do canal do EXOSS: [https://www.youtube.com/c/ExossCitizenScience?sub\\_confirmation=1](https://www.youtube.com/c/ExossCitizenScience?sub_confirmation=1), para consultas dos associados.

## 2.5 Técnicas e Metodologias de Análise de trajetórias e órbitas

No que segue vamos detalhar as técnicas de análise de trajetórias iniciando pelo conceito fundamental de pareamento

### O que é Pareamento

O pareamento (*"double-station"*) é um arranjo de câmeras possibilitando o registro da trajetória de um meteoro, por meio fotográfico ou por vídeo, de tal forma que os campos visuais da captura do mesmo evento se entrelacem. Na figura 2.17 é dado um exemplo de configuração de pareamento entre duas estações. Neste caso é mandatório que cada câmera esteja separada por uma distância mínima de 60km, para que os cálculos da paralaxe possam ter resultados que permitam estimar a trajetória e definir seu radiante. São considerados resultados satisfatórios de paralaxe quando o ângulo entre os planos de intersecção de cada estação é maior que  $20^\circ$ , donde resulta numa distância mínima de 60km entre cada uma. O artigo de Whipple (1954) trata exaustivamente deste tema, bem como a forma de como é feito o cálculo de placa e astrometria da passagem do meteoro.

Quando duas ou mais estações registrarem o mesmo evento, nesse caso, os cálculos são feitos para cada par, combinando um a um, com a aplicação de pesos estatísticos que levam em conta a qualidade de captura como: (i) comprimento angular da trajetória, (ii) diferença de velocidades calculadas não ultrapassem 10% entre cada uma, (iii) a distância do evento e (iv) a distância entre as câmeras. A combinação do melhor pareamento será definido ao final do ajuste, obtendo-se então o valor da melhor trajetória entre duas estações, segundo a metodologia de Ceplecha (1987).

O programa UFOOrbitV2 calcula a trajetória do meteoro usando o denominado

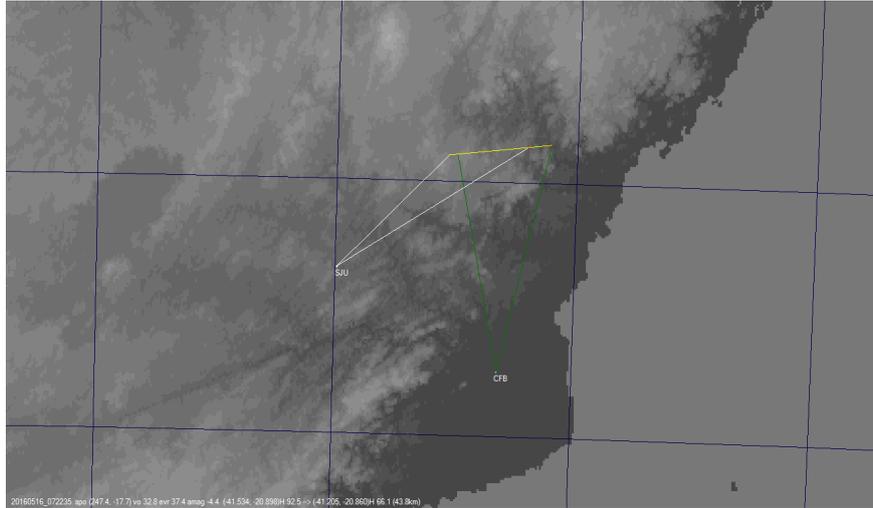


Figure 2.17: Mapa da região do norte-fluminense, onde estão plotadas duas estações que parearam o mesmo meteoro, a trajetória está em amarelo, e os dois triângulos representam a visualização, de parte do caminho feito pelo meteoro, por cada estação.

método da intersecção dos planos (Ceplecha, 1987). Esta metodologia utiliza os dados de observação pareada através da definição da intersecção de planos definidos pela posição de cada câmera e os pontos do caminho do meteoro. São dois planos, pois são duas câmeras, e o cruzamento desses planos constrói uma reta que servirá de base para a trajetória final (o caminho médio do meteoro). A figura 2.18 mostra um diagrama exemplificativo.

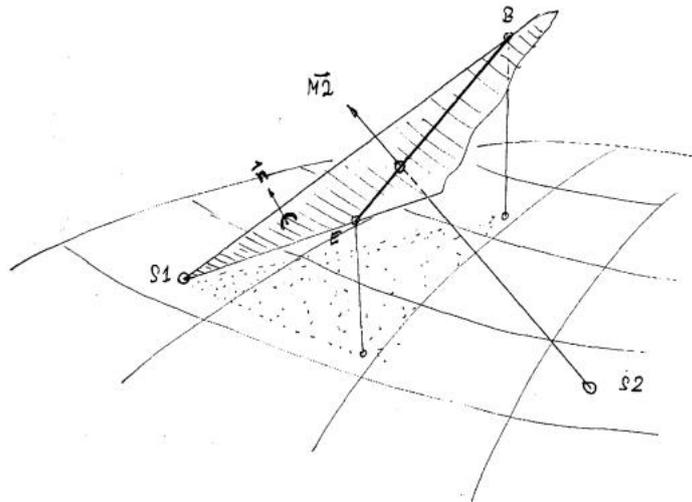


Figure 2.18: Diagrama mostrando um meteoro visto de duas estações, S1 e S2, a trajetória dele segue de A para B,  $\vec{n}$  e o vetor normal ao plano, e  $\vec{M2}$ , a direção da vista de um ponto do caminho do meteoro observado por S2. Figura retirada de (Koschny and Diaz del Rio, 2002).

Para aplicar a metodologia de cálculo do plano de intersecções, inicialmente as

imagens de capturas pareadas das estações são coletadas e tratadas pelo UFOAnalyser. A partir daí, as posições são determinadas para dois sistemas de coordenadas do céu, o Equatorial e o Horizontal (ver figura 2.19). Para que isso ocorra, estrelas individuais do campo são identificadas, e então as coordenadas de ascensão reta e declinação são medidas e convertidas para altura e azimute do local da câmera, no tempo medido de cada imagem. As posições das estrelas são usadas para se determinar as constantes da placa, permitindo determinar a astrometria da imagem.

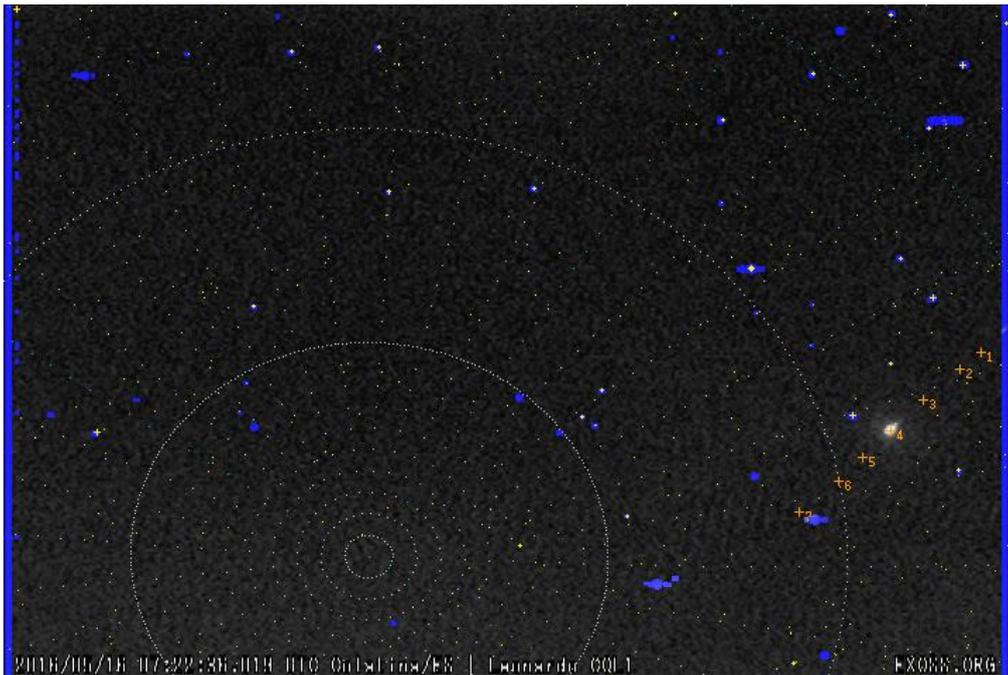


Figure 2.19: *Frame do vídeo do bólido já apresentado em figuras anteriores, com marcação exemplificativa, em laranja, de ponto da trajetória, no caso a posição do objeto em #4.*

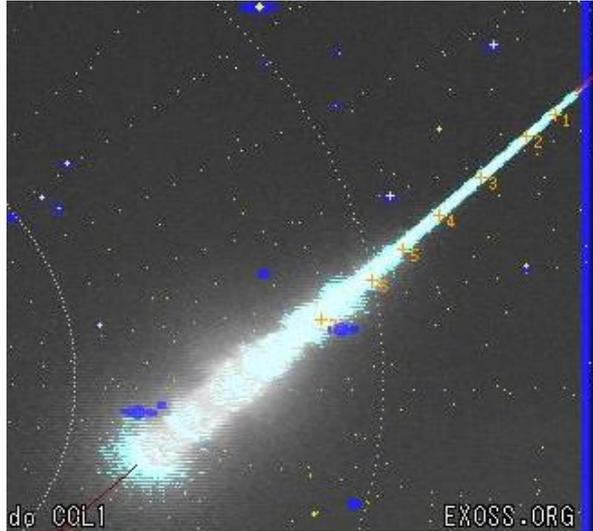


Figure 2.20: Imagem do bólido, com frames empilhados, já apresentado em figuras anteriores, com marcações exemplificativas, em laranja, de pontos da trajetória (indo de 1 a 7).

Conforme a metodologia descrita nos parágrafos anteriores, a altura e o azimute de cada posição do meteoro (no exemplo da figura 2.20 essas posições seriam as marcações de 1 a 7) são medidos para cada frame, de cada câmera. A recomendação é que pelo menos se tenha 20 pontos distribuídos ao longo da trajetória. Uma única câmera pode definir o plano no espaço ao longo da trajetória do meteoro (figura 2.18) e a intersecção dos planos de cada câmera fornecerá a trajetória atmosférica. Por conta das incertezas de medidas associadas à captura, a trajetória calculada final será uma média ponderada dos pontos calculados e projetados num caminho médio.

Outro método que pode ser aplicado desenvolvido por Borovicka (1990) é conhecido como *Least-Square Method*. Seus resultados são similares ao do plano de intersecções, ele usa as alturas e azimutes de cada câmera e aplica o cálculo de mínimos quadrados para achar uma solução de trajetória, incorporando efeitos sutis da curvatura da Terra, no UFOOrbitV2 é usado no modo "Unified".

Depois de determinada a trajetória do meteoro é possível calcular para cada ponto: (a) a altura a partir da superfície (ou do centro) da Terra, (b) as distâncias para cada estação (ou câmera), (c) posições geográficas ou geocêntricas, (d) tempo do trajeto, (e) distância percorrida e (e) velocidades. A velocidade observada ( $V_{\text{obs}}$ ) pode ser calculada mediante a posição inicial, da trajetória atmosférica conhecida, fornecendo dados que posteriormente serão usados para se estimar a ablação e desaceleração. A velocidade pré-atmosférica ( $V_{\infty}$ ) é calculada antes da

desaceleração atmosférica e medida usando a informação temporal para cada frame, já a velocidade geocêntrica ( $V_{geoc}$ ) é obtida corrigindo-se dos efeitos da gravidade da Terra. A partir destes valores o radiante ou a direção é conhecida e sendo assim possível estimar a órbita heliocêntrica, permitindo conhecer melhor a dinâmica pré-impacto e origem do meteoróide.

Frisamos que tanto o cálculo de trajetória do meteoro quanto a sua órbita são calculados pelo programa UFOOrbitV2, que une as informações das análises do mesmo evento, de cada câmera e aplica as metodologias descritas nesta seção. O produto final, ou resultados, são altura inicial, final, velocidades, distâncias percorridas, estimativas de tempo, riantes, parâmetros orbitais, etc.

No próximo Capítulo vamos apresentar nossos resultados científicos referentes aos dois primeiros anos de existência de projeto de monitoramento de meteoros.

# Chapter 3

## Resultados e Discussões

Os resultados desta dissertação exploram os registros de meteoros capturados pelas estações de monitoramento das redes EXOSS e R-OASI. As análises das trajetórias, suas características e estatísticas formam um conjunto de dados sobre os primeiros dois anos de atividade do projeto.

A seguir vamos explorar os dados coletados, apresentando levantamentos de meteoros, suas principais propriedades tais como, magnitudes, riantes e tipificação com aplicação dos critérios C-A. Iniciamos a apresentação de resultados com uma visão geral da população de meteoros analisados.

### 3.1 Meteoros registrados

O cálculo é feito utilizando o programa UFOOrbitV2, com a configuração de parâmetros básicos  $Q1$  que rejeita dados de baixa qualidade e combina todos os meteoros, conferindo o ângulo de intersecção, tempo de duração, altura, velocidade e trajetórias (SonotaCo, 2009), conforme descritos na tabela abaixo:

Table 3.1: Tabela que discrimina os valores de corte para fator de qualidade Q1.

Parâmetro	Valor	descrição
$H_{1,2}$	(50, 200) km	alturas ini. e fin.
$G_m\%$	> -100%	overlap
$Q_o$	> 1°	dur.do meteor
dur	> 0.1seg	dur. meteoro
dGP	< 1.00°	dif. de pólos
$V_o$	> 12.0 km/seg	veloc. obs.
dv12%	< 10%	dif. de duas veloc.
QA	> 0.010	análise de qualid. de trajet.

Entre maio de 2015 e maio de 2017 foram registrados 28.020 meteoros individuais sendo 1624 meteoros tipo multiestações próprios para o cálculo de órbitas. Na figura 3.1 mostramos histograma de número de meteoros por estação.

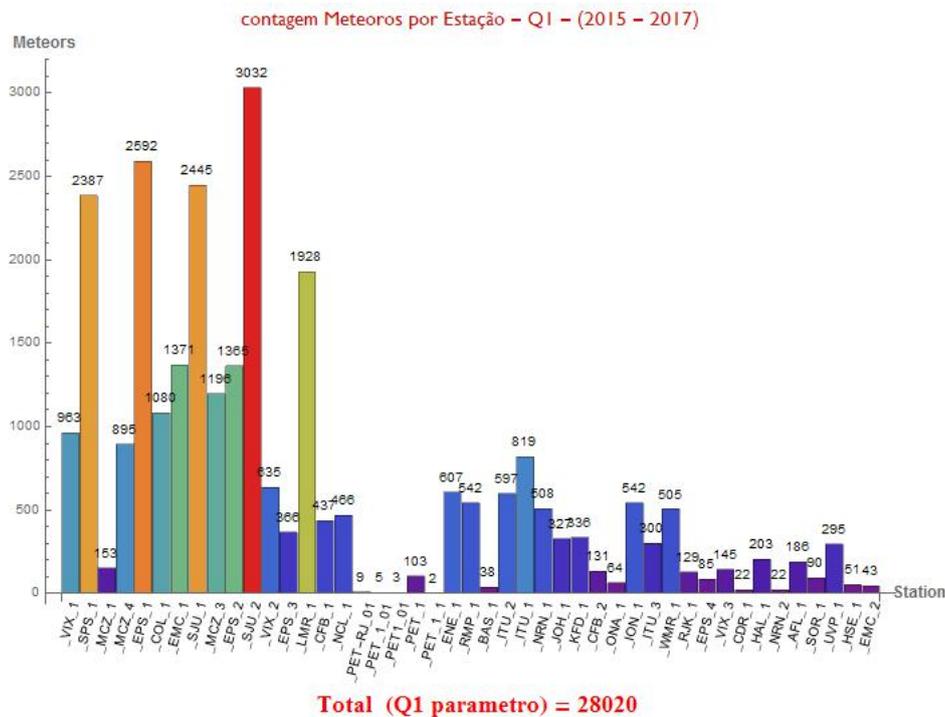


Figure 3.1: Histograma de frequência absoluta de total de meteoros por estações das redes.

O histograma acima mostra uma média de 684 metros/estac, sendo as estações SJU1, SJU2 , EPS1 e SPS1 as que obtiveram mais de 2000 meteoros no período. A diferença entre o número de capturas, entre as estações, decorre de inúmeros fatores como condições de clima, calibração da câmera, tempo de entrada em operação e experiência do operador. Mesmo assim os resultados mostram que o número de capturas foi satisfatório permitindo o cálculo de órbitas por conta de registros pareados.

As capturas pareadas permitem o cálculo das órbitas, assim obtivemos o rendimento de 6%, ou seja, cerca de 1600 órbitas do total de mais de 28 mil meteoros. No gráfico tipo torta, na figura 3.3, abaixo, mostramos a distribuição de órbitas por capturas multiestações, onde cerca de 94% são de duas estações e o restante distribuindo-se em capturas simultâneas de três, quatro e cinco estações.

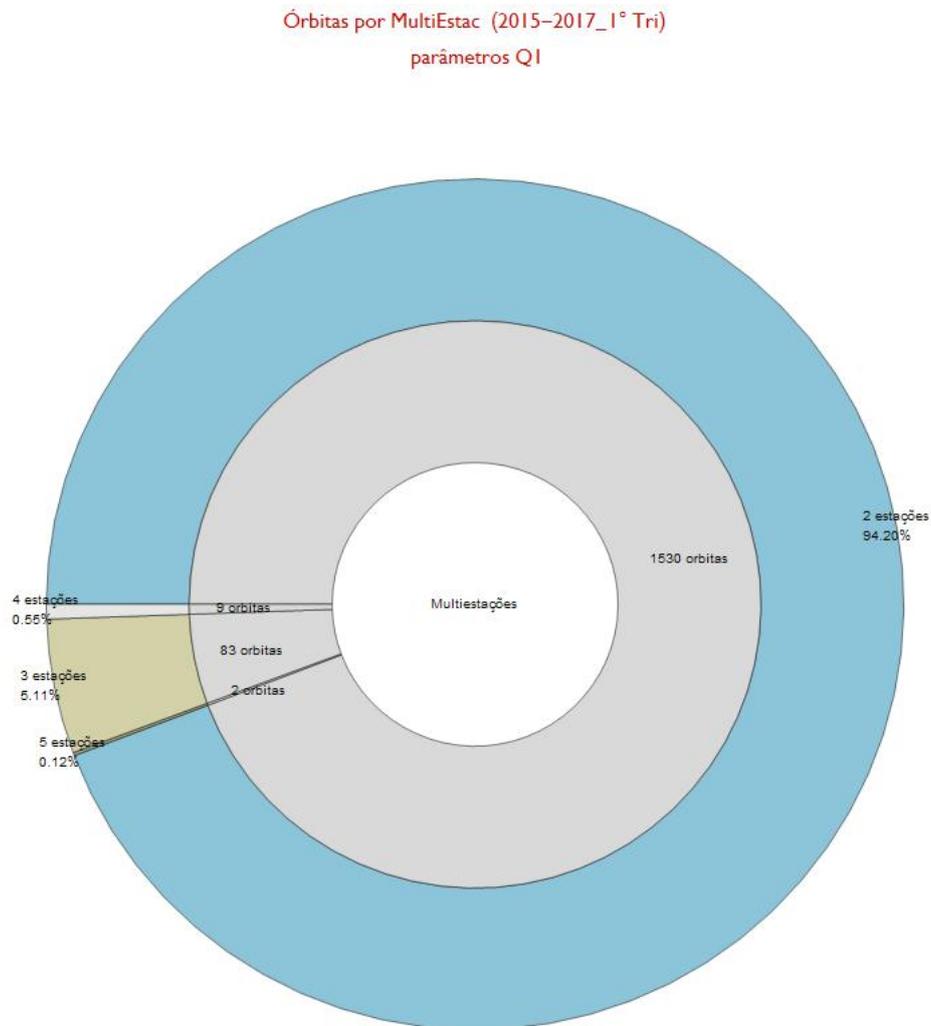


Figure 3.2: *Gráfico torta de órbitas por estações.*

Para melhor ideia do número de meteoros registradas por múltiplas estações, na figura 3.3 plotamos todas as capturas pareadas no período considerado do levantamento das redes.

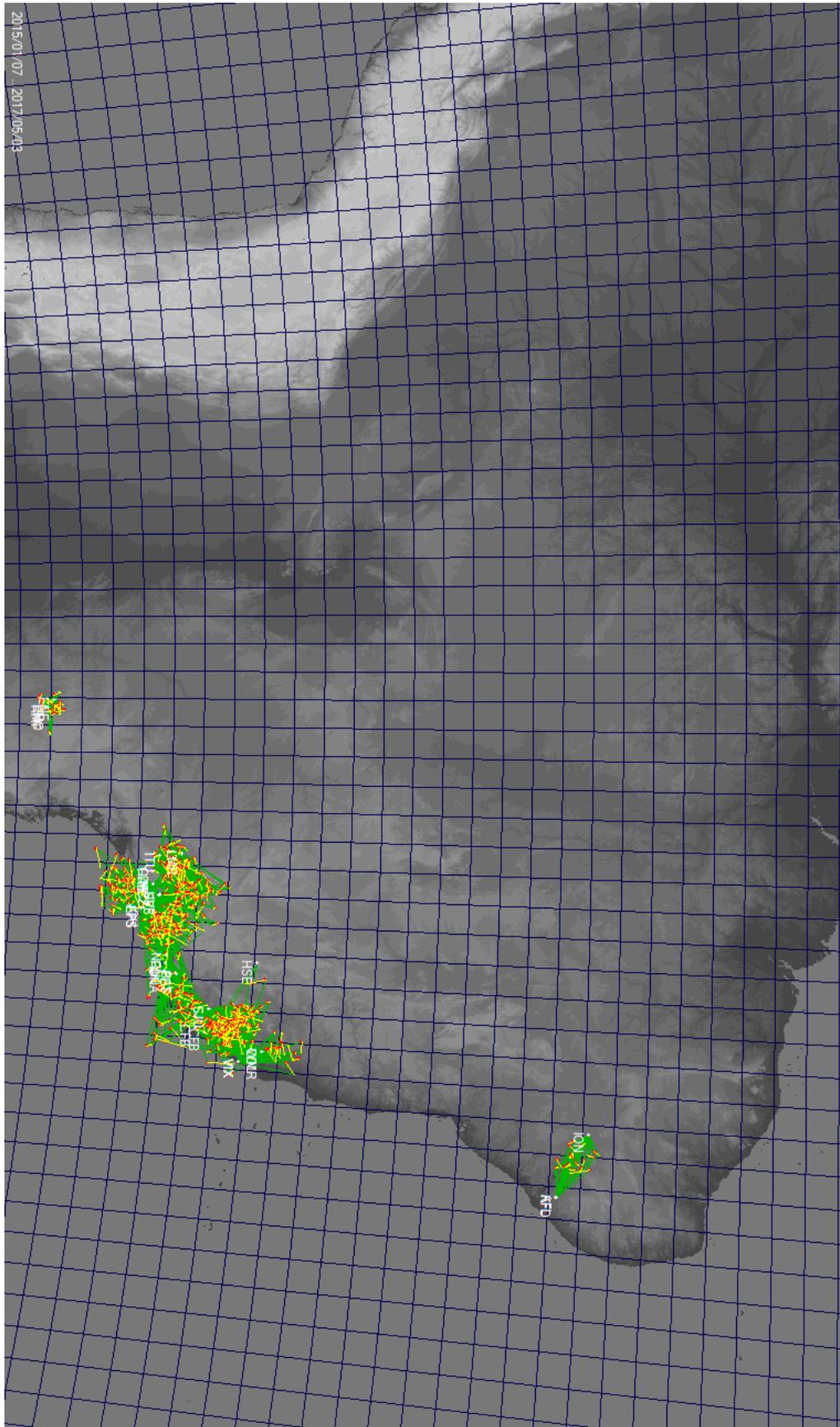


Figure 3.3: Mapa geográfico da distribuição de meteoros registrados e pareados. A reta amarela representa a trajetória do meteoro, o ponto vermelho o início dela e as linhas verdes a secção de cada estação durante o registro do meteoro.

A partir das órbitas calculadas e usando o corte de qualidade  $Q2$  (vide tabela 3.3), objetivando determinar os tipos de origens parentais: cometária ou asteroidal, aplicamos os critérios C-A numa amostra de 1393 meteoros e chegamos ao seguinte quadro:

Table 3.2: *Tabela que discrimina a proporção de órbitas cometárias dentre meteoros observados, usando os resultados de critérios C-A para amostra de 1393 meteoros.*

<b>Q (%)</b>	<b>E (%)</b>	<b>T (%)</b>	<b>Pe (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>Tamanho da Amostra</b>
56.71	50.32	71.21	68.27	98.27	1393 videometeoros

Table 3.3: *Tabela que discrimina os valores de corte para fator de qualidade  $Q2$ .*

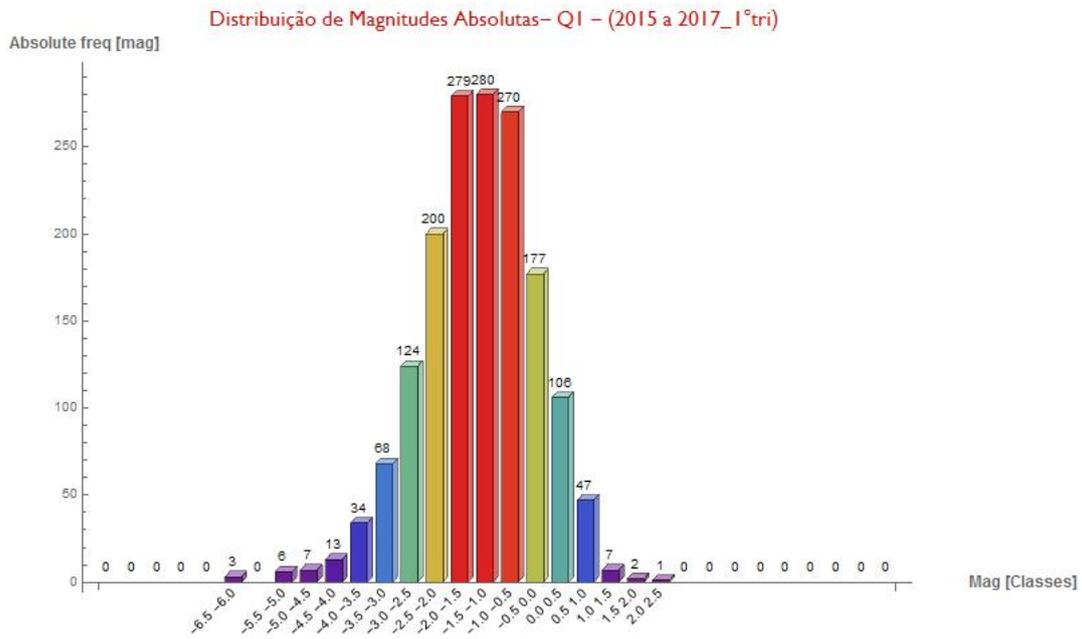
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>descrição</b>
$H_{1,2}$	(60, 180) km	alturas ini. e fin.
$G_m$ %	> -50%	overlap
$Q_o$	> 3.0°	dur.do meteor
$dur$	> 0.1seg	dur. meteoro
dGP	< 0.50°	dif. de pólos
$V_o$	> 12.0 km/seg	veloc. obs.
$dv12$ %	< 10%	dif. de duas veloc.
$QA$	> 0.050	análise de qualid. de trajet.

Os números da tabela 3.2 demonstram uma maior proporção de meteoros tipos cometários, nos critérios aplicados. É de se esperar que haja o domínio de meteoros originados de fragmentos de cometas, conforme discutimos na seção 1.1. O alto valor do critério K repete o mesmo bias dos estudos de (Whipple, 1954), sendo um critério empírico e sem fundamento físico. O critério E apresenta o valor mais baixo de meteoroides em órbita cometária, e os critérios Q, Pe e T mostram os valores mais altos. Estes resultados seguem a mesma tendência do artigo de Williams and Jopek (2014).

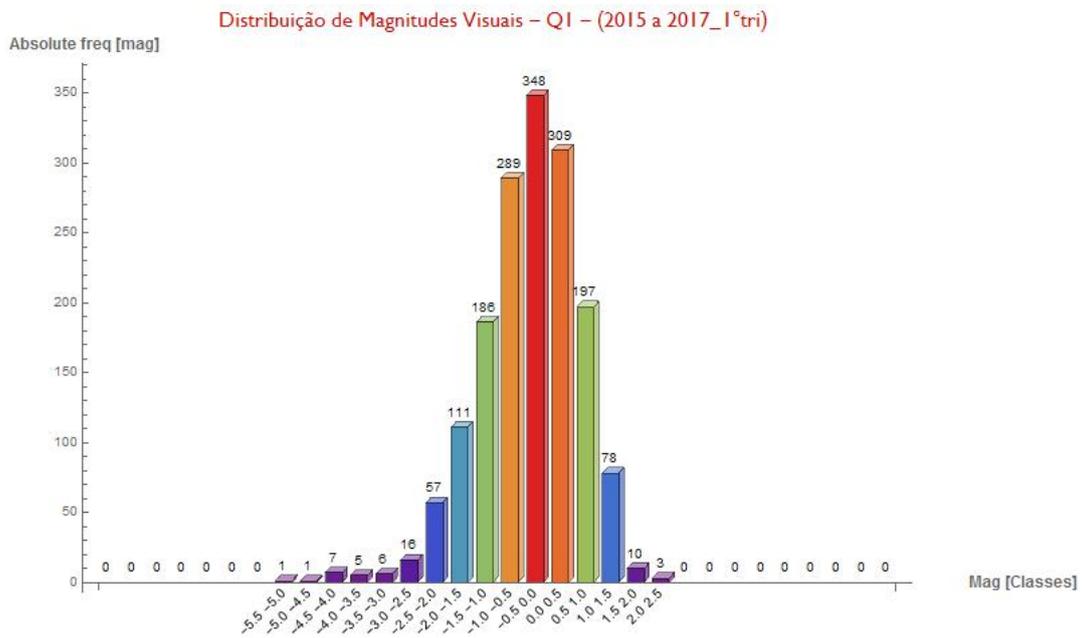
Os resultados apresentados nesta parte mostram que o projeto obteve sucesso no monitoramento de meteoros, pois obtivemos levantamentos consistentes, permitindo fornecer ao banco de dados da EXOSS registros para estudos de chuvas, bólidos e órbitas.

### 3.1.1 Magnitudes

O levantamento de magnitudes de meteoros, através do UFoOrbitV2, permitiu aferir a média de magnitudes absolutas em torno de  $-1.41^m$  e para magnitudes visuais  $-0.42^m$ , em capturas simultâneas. Na figura 3.4, apresentamos a distribuição de magnitudes de meteoros, absoluta e visual.



(a)



(b)

Figure 3.4: *Em cima: Distribuição de magnitudes absolutas de 1624 videometeoros pareados . Embaixo: Distribuição das magnitudes visuais, seu limite está próximo de +2.5<sup>m</sup> seguindo a média de valores para o tipo de câmera empregado no monitoramento.*

A distribuição apresentada nos gráficos acima segue o padrão de valores de magnitudes de projetos similares de videomonitoramento de meteoros por câmeras CCTV de baixo custo. As médias apresentadas estão consistentes com o esperado nesse tipo de instrumentação.

### 3.2 Chuvas e Esporádicos

O resultado desta parte é levantamento das principais chuvas já catalogados na listagem da IAU/MDC. O programa UfoOrbitV2 gera a listagem de chuvas, aplicando critérios estatísticos às órbitas calculadas, como a distância radial de uma mesma região do céu, velocidades geocêntricas e parâmetros orbitais similares. Abaixo mostramos a distribuição de chuvas identificadas no levantamento.

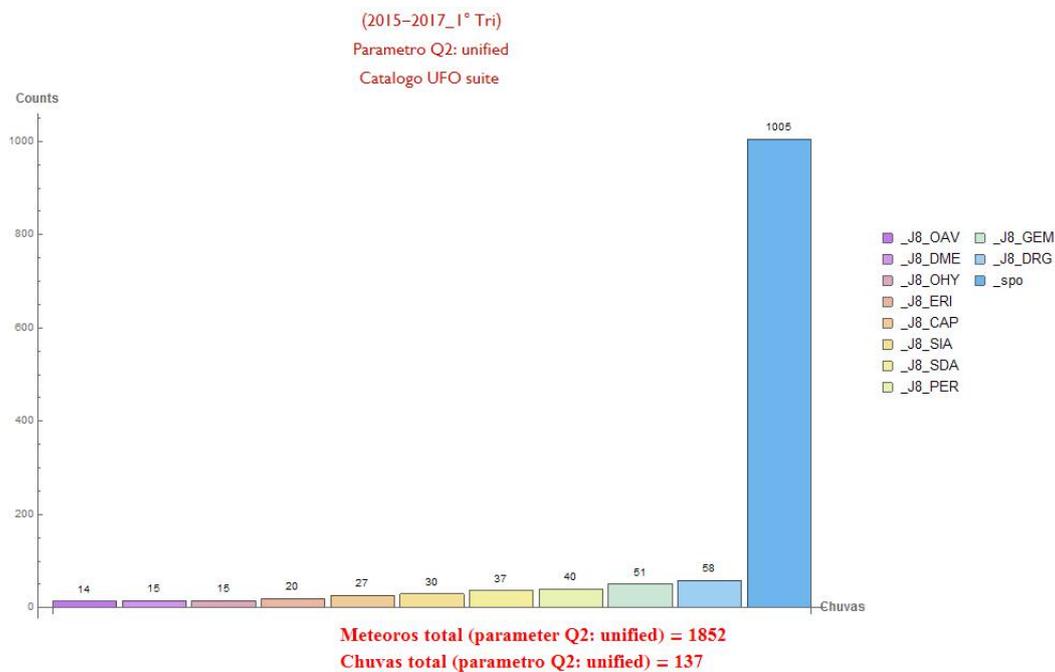


Figure 3.5: As dez principais chuvas identificadas no período de maio de 2015 a maio de 2017.

A figura acima apresenta as dez chuvas mais coletadas no levantamento realizado durante o período de pesquisa desta dissertação. Para a identificação de chuvas usamos o critério de corte Q2 (tabela 3.3), levantando o total de 137 chuvas. Vale notar que para o cálculo de radiante o número de meteoros é em torno de 1850.

A seguir apresentamos um breve resumo das dez Chuvas com o maior número de meteoros registrados. Nas figuras de 3.6 a 3.10 apresentamos os diagramas de órbitas calculadas dos meteoros dessas Chuvas .

### ***December rho Geminids***

Foram registrados 58 meteoros desta chuva, entre os dias 29 de novembro e 28 de dezembro, de cada ano. Desconhece-se o corpo progenitor deste radiante.

### ***Geminids***

Esta chuva apresenta atividade entre os dias 27 de novembro e 29 de dezembro, é uma das mais importantes chuvas, atingindo seu máximo torno de 13 de dezembro, sendo registrados 51 meteoros. Seu corpo parental é o NEA (3200)Phaeton.

### ***Perseids***

Foram registrados 40 meteoros das Perseids, entre os dias 21 de julho a 24 de agosto. esta chuva é considerada a mais popular e apresenta seu máximo em torno do dia 12 de agosto. Seu corpo parental é o cometa 106P/Swift-Tuttle.

### ***Southern delta-Aquarids***

A Southern delta-Aquarids tem atividade entre os períodos de 12 de julho até 19 de agosto, sendo que registramos 37 meteoros desta chuva, sendo seu máximo em torno do dia 28 de julho.

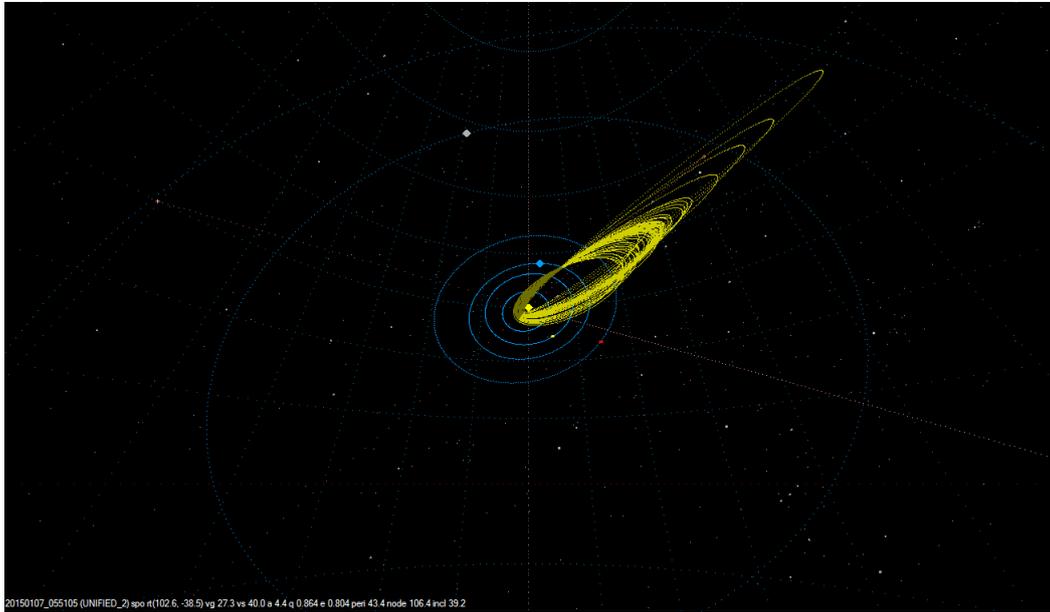
### ***Southern iota Aquariids***

É uma chuva ainda pouco conhecida, necessitando que mais levantamentos para se confirmar seu período de atividade taxa de meteoros e outros parâmetros orbitais. Foram registrados 30 meteoros.

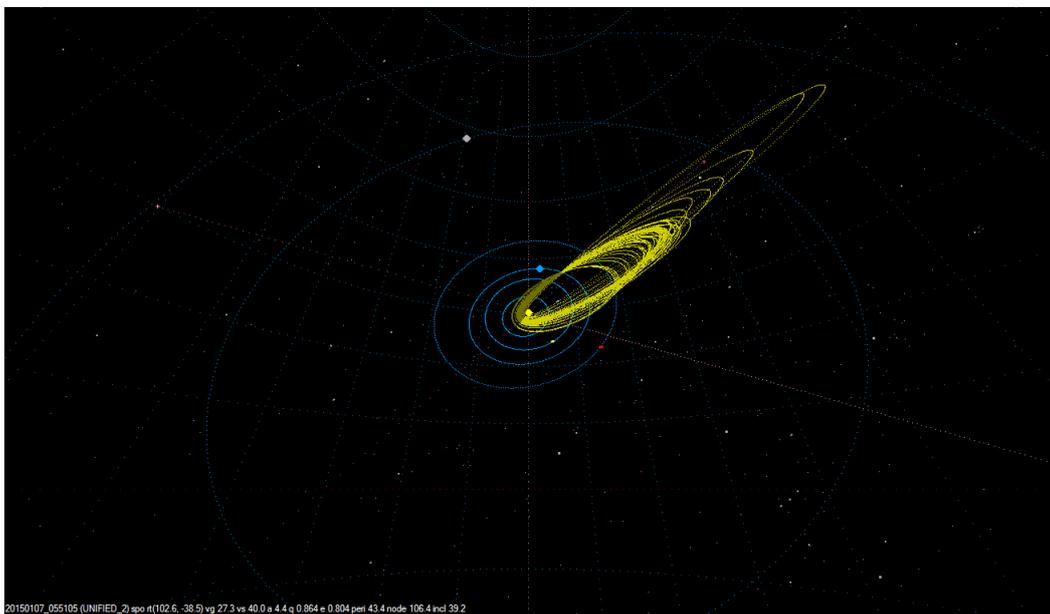
### ***alpha Capricornids***

Apresenta atividade entre os dias 3 de julho e 15 de agosto, foram registrados 27 meteoros. É uma chuva cujo corpo parental é o cometa 169P/NEAT.

As demais chuvas, ***eta Eridanids***, ***omicron Hydrids***, ***delta Mensids*** e ***October alpha Virginids*** são ainda pouco conhecidas e sendo registrados menos que 25 meteoros. Dentre o total das 137 Chuvas coletadas somente fazem parte da listagem de chuvas estabelecidas da IAU/MDC, 29 riantes, mostrando que dentre a população analisada somente 21% pertencem a Chuvas estabelecidas e o restante a Chuvas da "lista de trabalho". No que se refere aos esporádicos, foram registrados 1005 meteoros, representando cerca de 55 % da população de análises de chuvas.

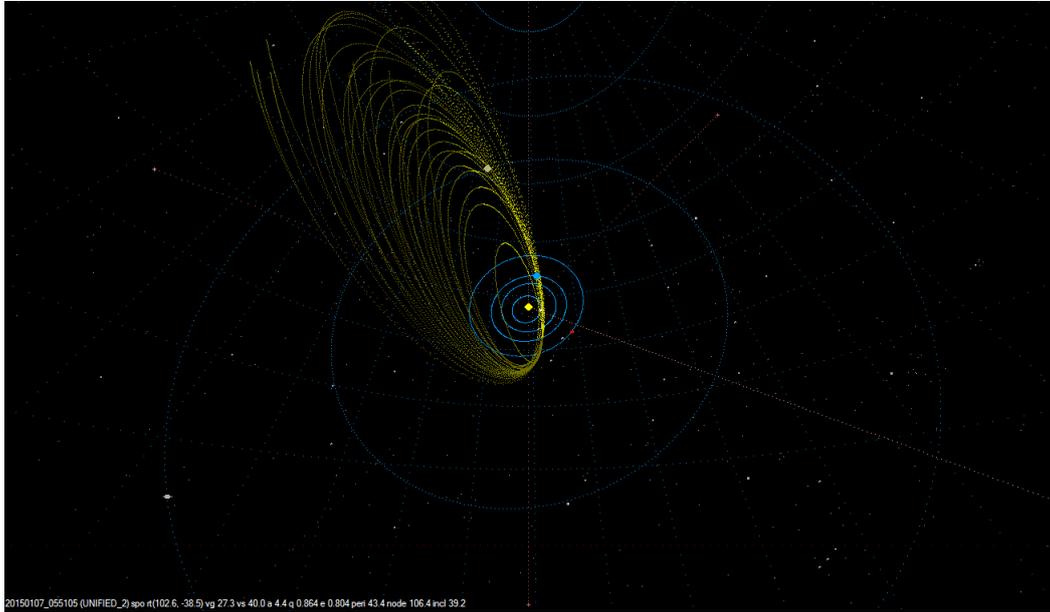


(a)

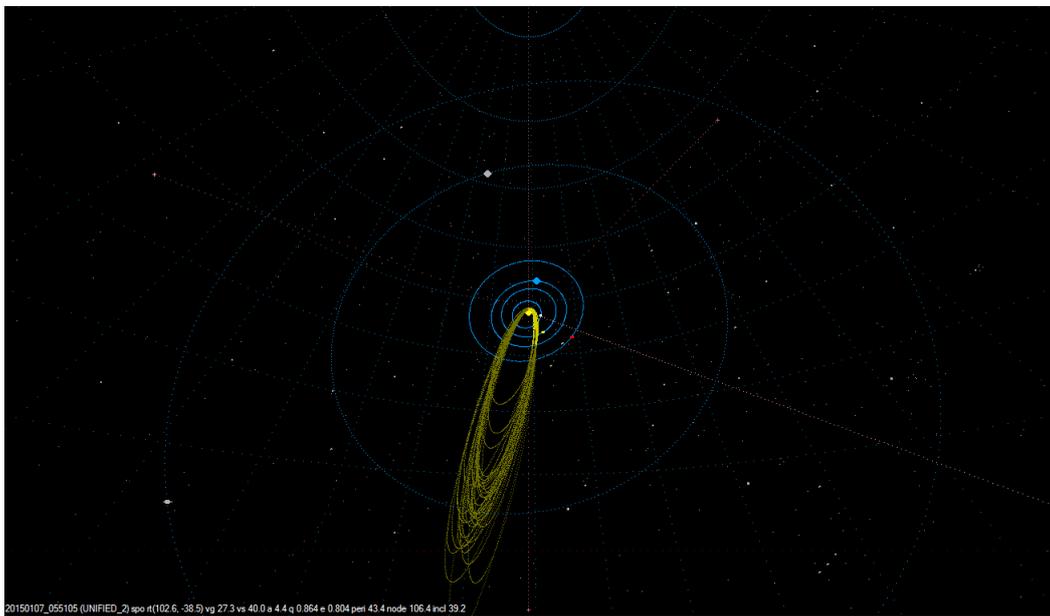


(b)

Figure 3.6: *Acima: 58 órbitas de meteoros da rho Geminids. Abaixo: 54 órbitas de meteoros da Geminids.*

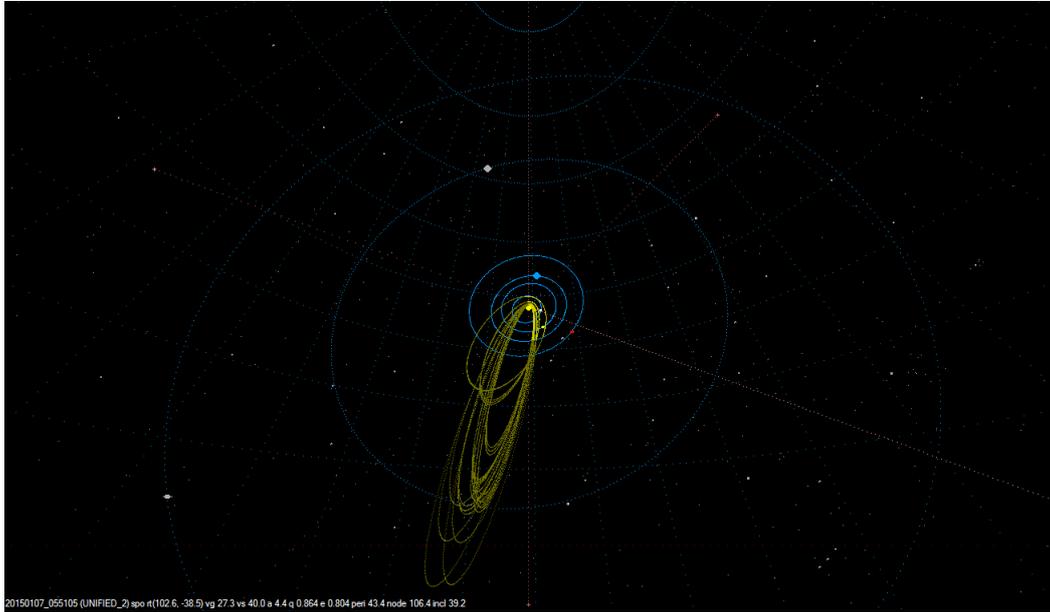


(a)

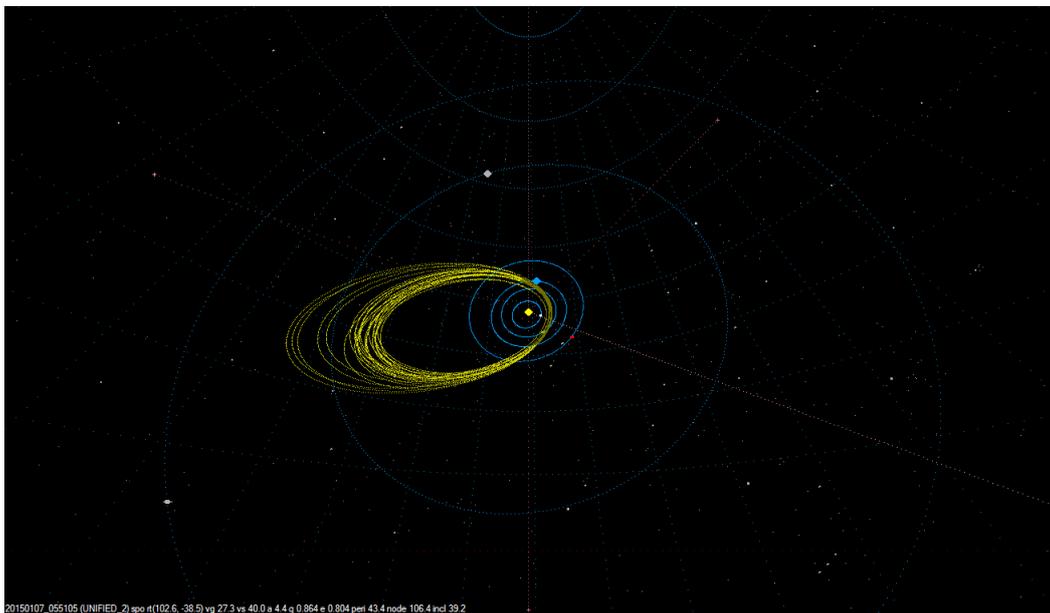


(b)

Figure 3.7: *Acima: 40 órbitas de meteoros das Perseids. Abaixo: 37 órbitas de meteoros da Southern delta - Aquariids.*

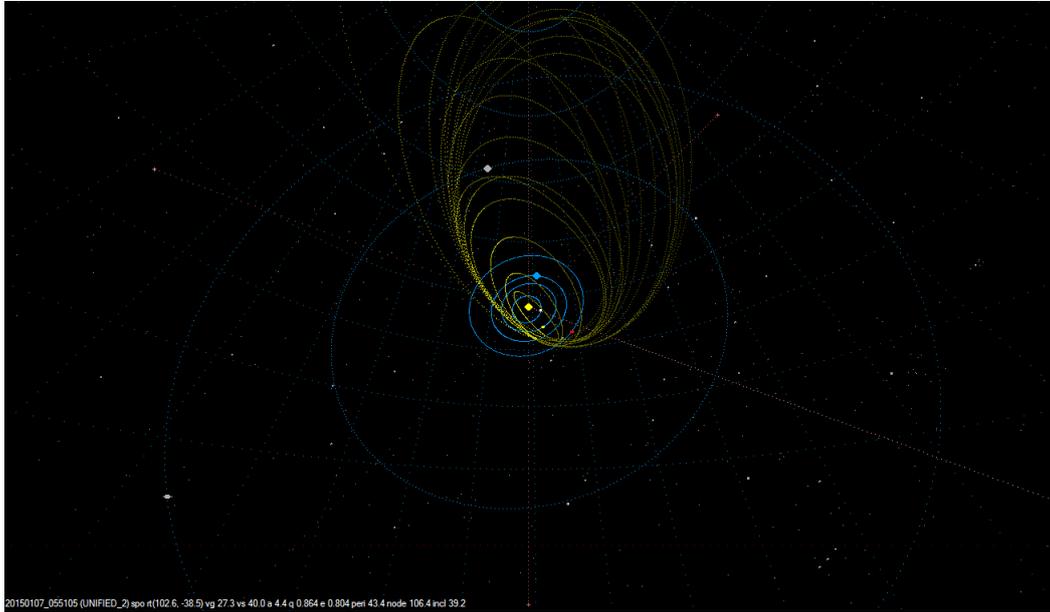


(a)

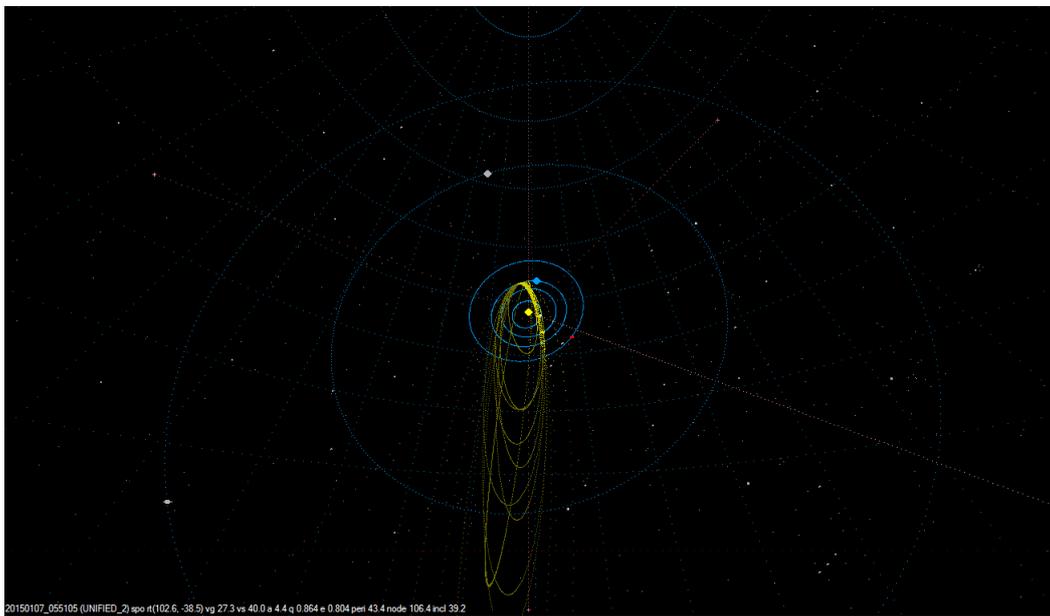


(b)

Figure 3.8: *Acima: 30 órbitas de meteoros das Southern iota Aquariids . Abaixo: 27 órbitas de meteoros da alpha Capricornids .*

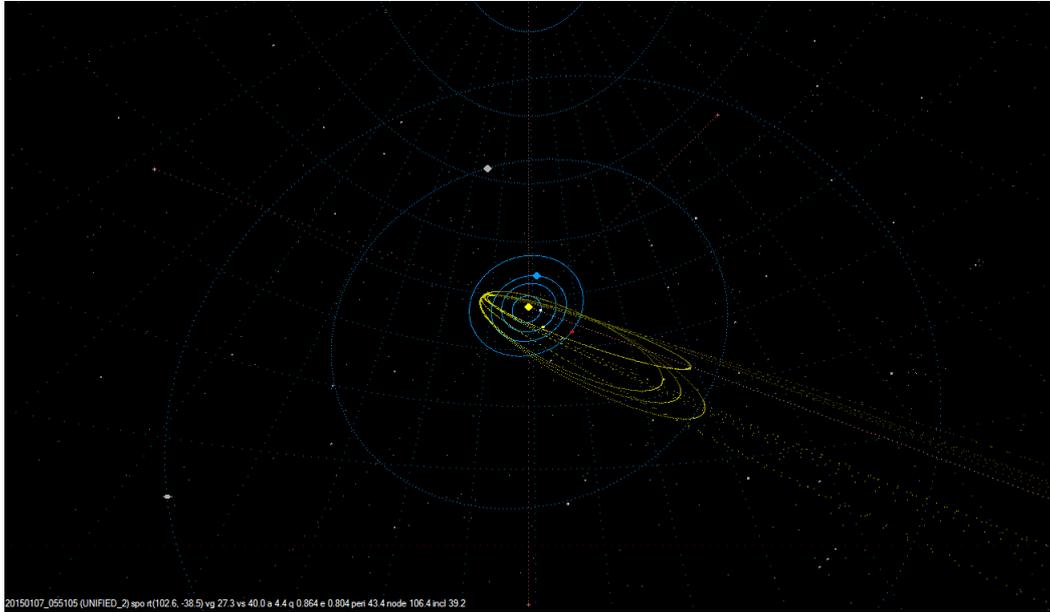


(a)

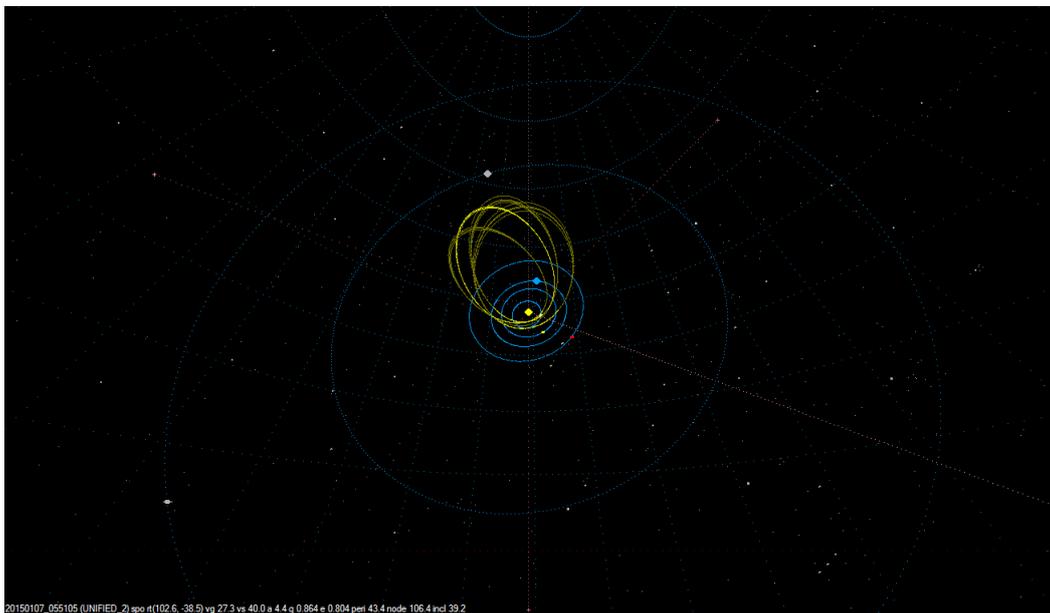


(b)

Figure 3.9: *Acima: 20 órbitas de meteoros da eta Eridanis. Abaixo: 15 órbitas de meteoros da omicron Hydrids.*



(a)



(b)

Figure 3.10: *Acima: 15 meteoros da delta Mensids. Abaixo: 14 meteoros da October alpha Virginids.*



### 3.3 Bólidos

Os bólidos são importantes objetos para o estudo de determinação de órbitas, origem do meteoróide e em casos de queda de meteoritos. Durante o período de levantamento foram registrados 29 bólidos com órbitas definidas, vide a figura 3.12, variando a magnitude absoluta entre  $-4^m$  e  $-6.5^m$ .

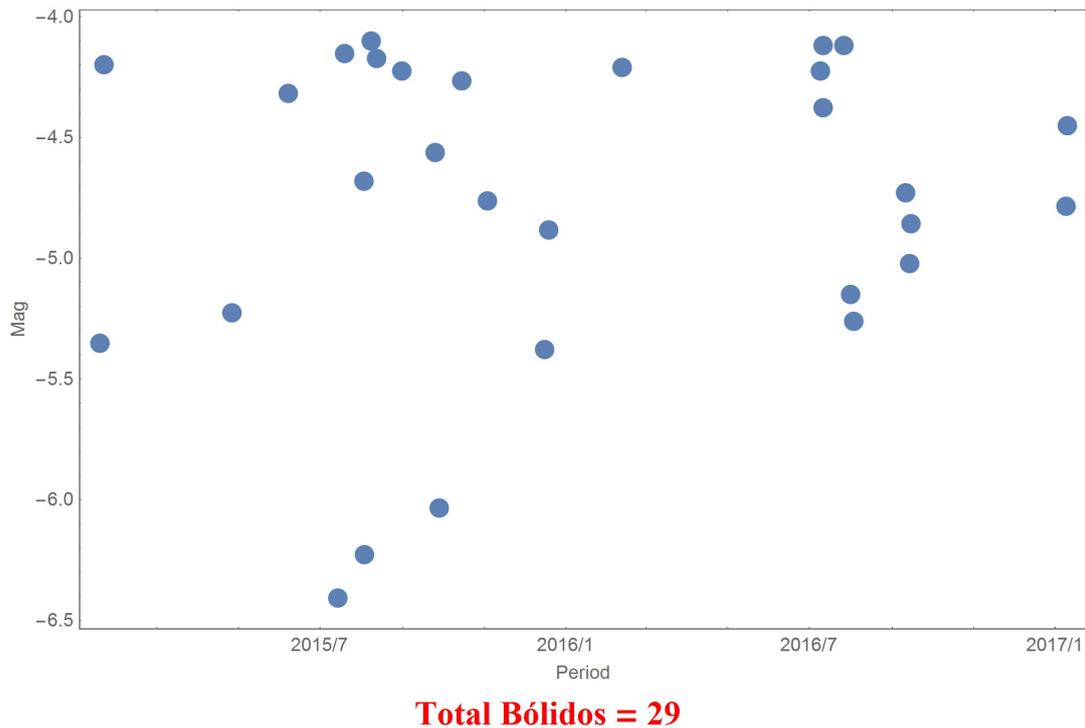


Figure 3.12: Gráfico de distribuição de bólidos ao longo entre maio de 2015 e maio de 2017.

O gráfico mostra uma tendência de registros no semestre de cada ano, isso pode ser devido a entrada de atividade do complexo das Taurids, que vai de início de outubro a início de dezembro, entretanto diversos fatores podem influenciar a distribuição das capturas ao longo do ano, como condições do tempo e área de cobertura das câmeras.

No que segue apresentamos os principais casos de bólidos estudados no período:

- Bólido São Sebastião: 13.05.2017, atravessou a região litorânea de São Sebastião/SP, atingiu a magnitude absoluta de  $-4^m$ , apresentou uma velocidade de 25 km/seg, com ângulo de entrada de  $75^\circ$  e duração de 2.8 segs, sua altura inicial em torno de 97 km e final de 68 km, possivelmente de origem cometária;
- Bólido Espírito Santo: 23.02.2017, na região da divisa entre o norte fluminense

e Espírito Santo, atingiu a magnitude visual de  $-3^m$ , apresentou uma velocidade de entrada de 14 km/seg, com ângulo de entrada de  $20^\circ$  e duração de 2.62 segs, sua altura inicial em torno de 81 km e final de 68 km;

- Bólido Norte do Espírito Santo: 09.01.2017, na região norte do Espírito Santo, atingiu a magnitude absoluta de  $-3.3^m$ , apresentou uma velocidade de 18 km/seg, com ângulo de entrada de  $61^\circ$  e duração de 2.60 segs;
- Bólido Sul do Espírito Santo: 16.05.2016, na região sul do Espírito Santo, atingiu a magnitude absoluta de  $-4^m$ , apresentou uma velocidade de entrada de 33 km/seg e duração aproximada de 3 segs, com ângulo de entrada de  $39^\circ$ ;

### 3.4 Conclusões e perspectivas

A partir do estabelecimento de uma rede de monitoramento de meteoros com cerca de 53 câmeras espalhadas em 10 estados brasileiros, foi possível coletar 28.020 video meteoros individuais sendo 1624 meteoros tipo multiestações consistentes para o cálculo de órbitas e determinação de riantes de chuvas. As análises de tipologia de corpo parental, cometária ou asteroidal, mostraram consistência com estudos similares de Whipple (1954) e Williams and Jopek (2014).

Os resultados apresentados concentram-se na determinação das características principais dos meteoros, como magnitudes, velocidades, riantes e órbitas, dentre outros parâmetros. Os resultados são limitados principalmente por questões de detectabilidade, resolução e acurácia da observação por video.

Os próximos passos desse estudo envolvem a melhoria das análises, aprimorando a precisão dos dados, a expansão das redes aumentando o número de instituições parceiras e associados, mais pessoas com treinamento adequado para suprir o apoio ao suporte das câmeras e tratamento dos dados. Isso deve proporcionar a expansão do nosso banco de dados e permitindo um estudo mais aprofundado das chuvas menores, menos conhecidas, classificação de bólidos e cálculos de queda de meteoros que geram meteoritos.

O trabalho apresentado nesta dissertação demonstra que os dados coletados pelas redes estão aptos a fornecer resultados para apoiar pesquisas de levantamento e confirmação de chuvas da *lista de trabalho* da IAU/MDC, aprimorando e desenvolvendo o levantamento de riantes, principalmente no Hemisfério Sul, assim como fazer estudos de meteoros para determinar sua classificação, conforme o estudo de Ceplecha and McCrosky (1976), dentre outras pesquisas.

# Appendix A

## Glossário de termos

**Atração Zenital** : modificação do radiante geocêntrico devido a atração gravitacional da Terra influenciando a trajetória do meteoro.

**Magnitude Absoluta** : magnitude estelar de um meteoro calculada na posição do zênite do observador e a uma altura de 100 Km, acima do nível do mar.

**Força mecânica** : pressão dinâmica que a frente superficial de um meteoróide sofre ao atravessar a atmosfera terrestre com velocidade, representada pela equação  $p = \rho v^2$ , onde  $\rho$  é a densidade da atmosfera e  $v$  a velocidade do meteoróide.

**Radiante Aparente** : o ponto onde a projeção retrógrada da trajetória do meteoro intersecta a esfera celeste ou a prolongação de trilhos aparentes de um dado meteoro, como visto por observadores em diferentes localidades. Na figura A.1 mostramos o diagrama representativo de um radiante aparente, e na figura A.2 uma imagem em mosaico de um radiante no céu.

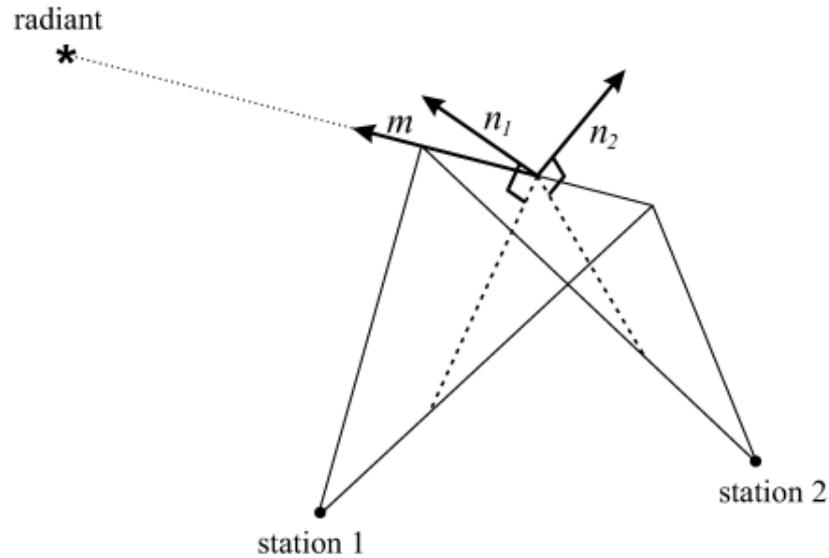


Figure A.1: Diagrama de intersecção de planos mostrando o radiante aparente. Figura retirada de (Bettonvil, 2006).

**Radiante Verdadeiro ou Geocêntrico** : posição do radiante antes da influência da atração zenital.

Na figura A.3 apresentamos um diagrama explicativo da atração zenital e das definições de riantes:

**Velocidade Heliocêntrica**( $V_h$ ) : velocidade do meteoróide relativa ao sistema de referência heliocêntrico, antes de entrar na esfera de influencia gravitacional da Terra.

**Velocidade Geocêntrica** ( $V_g$ ) : soma do seu vetor velocidade heliocêntrica do meteoróide e o vetor velocidade da Terra em torno do Sol (aprox. 29.9 km/seg).

**Velocidade Pré-atmosférica ou Inicial** ( $V_\infty$ ) : velocidade do meteoróide antes do início da ablação e antes da desaceleração superar os efeitos gravitacionais da Terra.

$$V_\infty = \sqrt{V_g^2 + V_{esc}^2} = \sqrt{(V_h^2 + V_E^2) + V_{esc}^2} \quad (\text{A.1})$$

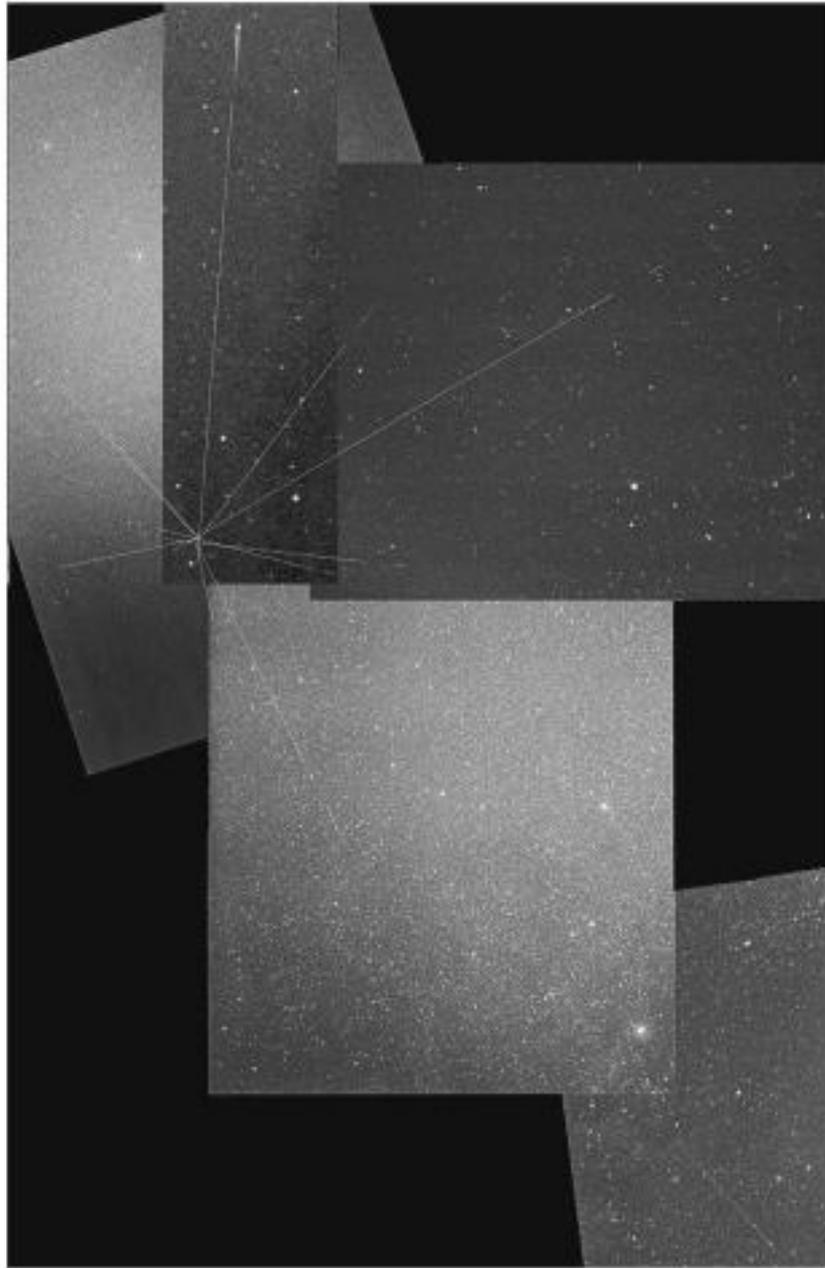


Figure A.2: Imagem de um radiante, feitas por mosaicos de fotografias da atividade da Chuva Draconids, em 1985.Figura retirada de (Jenniskens, 2006).

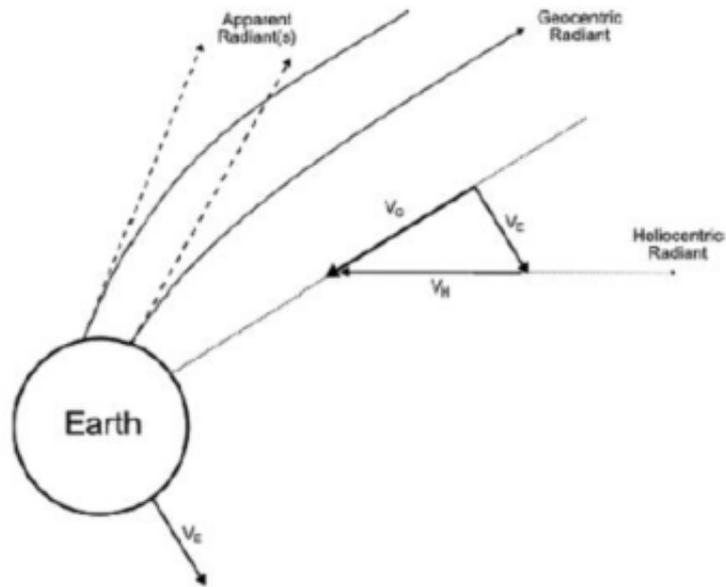


Figure A.3:

, onde  $V_E^2$  é a velocidade da Terra em torno do Sol e  $V_{esc}^2$  é a velocidade de escape a uma distância  $l$  do centro da Terra

**Velocidade Observada ( $V_{observed}$ )** : velocidade resultante do meteoróide ao entrar na atmosfera, após a transformação da velocidade heliocêntrica para o sistema geocêntrico, aplicada a correção da atração zenital e por último , a conversão de um sistema não - girante para um sistema girante, levando-se em conta os efeitos da rotação terrestre.

O seguinte esquema pode clarificar a ordem de aplicação de Velocidades:

$$V_h \longrightarrow V_g \longrightarrow V_\infty \longrightarrow V_{observed}$$

# Appendix B

## Desenvolvimento de Softwares

### B.1 ”*EXOSS Analyser Helper*”

A ferramenta foi desenvolvida pelo Associado Marco Mastria e nomeada de EXOSS ANALYSER HELPER, O processo se baseia em arquivos de logs gerados pelo software da suíte UFO que são criados para cada registro de meteoros captados pelas estações e devem ser consultados um por um para aferir a qualidade dos dados, velocidade angular de cada frame, por exemplo. Este processo é demorado, uma vez que tais parâmetros não são exibidos na tela principal do aplicativo, obrigando a consulta individual de cada um e trocas de telas. É nessa lacuna que o aplicativo Exoss economiza metade do tempo de análise bem como mostra em tempo real e de forma gráfica a situação atual da captura e seus parâmetros principais.

A ferramenta Exoss Analyser Helper monitora as atividades dos softwares UfoCapture e UfoAnalyser faz nos arquivos, auxiliando na qualificação dos dados em todas as estações antes de serem inseridas no banco de dados Exoss ao serem sincronizadas com o software ExossSync. Assim, a redução de dados se tornará mais eficiente, pois os critérios de qualidade são praticados desde a captura da estação até o tratamento dos dados.

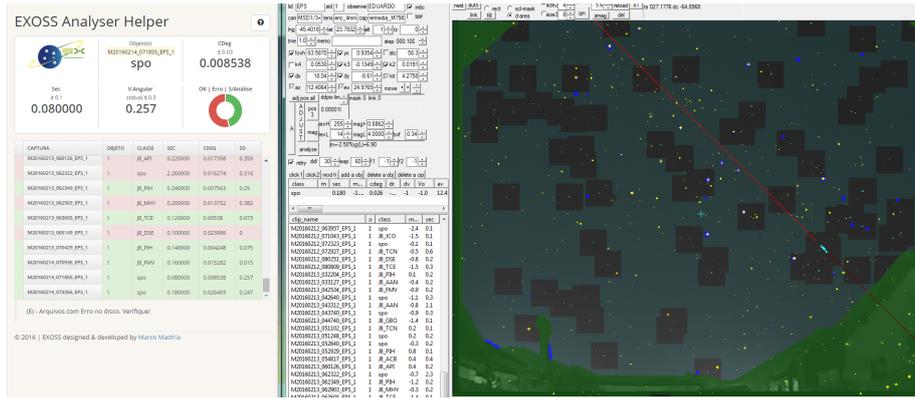


Figure B.1: À direita, tela principal do software de análises UfoAnalyserV2, á esquerda, aplicativo que irá auxiliar exibindo quais dados devem ter uma maior atenção para tratamento de dados dos meteoros registrados

## B.2 "DOCCA"

É um programa que apoia o apontamento e cobertura de pareamento das câmeras. Nomeado como DOCCA – Double Camera Configuration Assistant, baseado na linguagem Mathematica, ajuda na otimização de detecção de meteoros e leva em conta a distância das estações, a altura ideal de um meteoro padrão e a medida do índice de população "r" de uma chuva típica.

A figura abaixo, mostra o GUI do programa DOCCA, no exemplo duas estações Exoss, na região norte do estado do Rio de Janeiro, onde são calculados as melhores direções e alturas de apontamento. O mapa de temperatura indica o quão ideal está a posição escolhida de cada câmera, para um sensor tipo de 1/3".

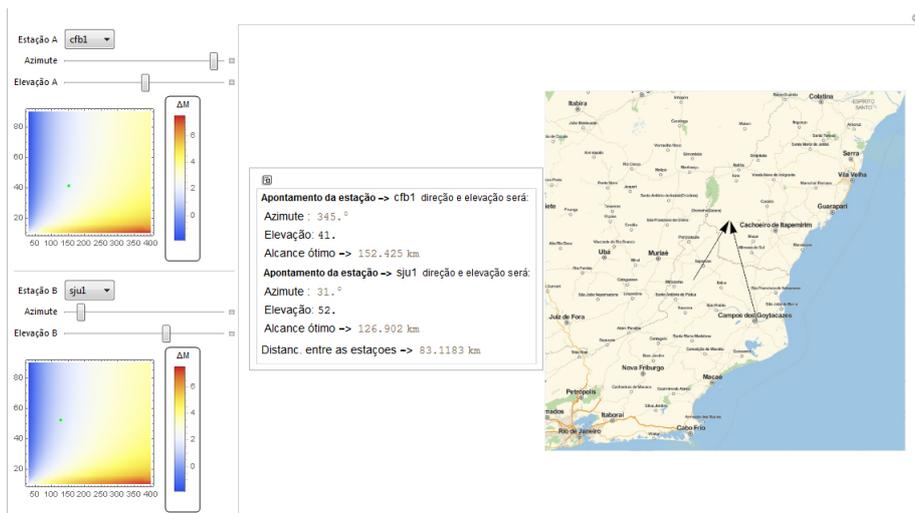


Figure B.2: As modificações em andamento nos pareamentos da rede, já apresentam resultados, aumentando o número de meteoros triangulados.

# Appendix C

## Relate um Bólido

Em maio de 2014 foi lançada uma ferramenta interativa para catalogar os relatos e registros visuais de bólidos em todo o mundo, pela AMS em conjunto com a IMO, denominada de **”Report a Fireball”**. Em 2015 o projeto Exoss disponibilizou a página em português da versão traduzida dessa ferramenta ao público brasileiro, além de administrar os relatos em nosso idioma para catalogação de avistamentos de bólidos (**fireballs**) na base de dados da AMS.

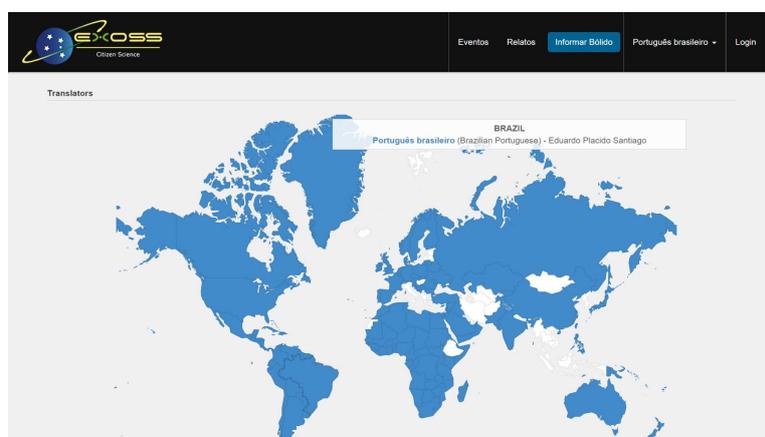


Figure C.1: Ferramenta disponível em quase todos os países e idiomas conta com a participação do Exoss na sua disseminação no Brasil, através do trabalho de tradução de Eduardo P. Santiago

Trata-se de uma ferramenta única e padronizada para todo o mundo onde o relato de quem observou um evento de um bólido pode facilmente ser registrado em 12 passos no sistema da IMO. Esta base de dados é aberta ao público; todos os relatos de um avistamento comum entre diversas regiões com avistamentos cadastrados neste formulário são catalogadas em um EVENTO que podem ser consultados e inclusive ter os seus dados de localização baixados na própria página.



## Appendix D

# Participação de associados em eventos de divulgação

Palestra sobre Mulheres na Astronomia realizada em Arapiraca - Semana Valentina, encontro expositivo desenvolvido pela LINEA (Liga Norte-Nordestina de Astronomia) <http://press.exoss.org/palestra-sobre-mulheres-na-astronomia-realizada-em-arapiraca/> Kecia Silva. Arapiraca-AL - 21 de março de 2017 - evento organizado pelo Planetario de Arapiraca ligado à prefeitura.

Seminário na Univap – Universidade Vale do Paraiba <http://press.exoss.org/seminario-exoss-na-univap-universidade-vale-do-paraiba/> Marcelo De Cicco, Eduardo Santiago. Campus Univap Sao Jose dos Campos SP - 22 março 2017.

Palestra sobre meteoros no Projeto Meninas no Museu Mast <http://press.exoss.org/palestra-sobre-meteoros-no-projeto-meninas-no-museu-mast/> Marcelo De Cicco. Rio de Janeiro -RJ - 18 novembro 2016

Palestra na Mostra de Física e Astronomia na UFES <http://press.exoss.org/palestra-exoss-na-mostra-de-fisica-de-astronomia-na-ufes/> Luciana Fontes. Vitoria-ES - 19 outubro de 2016 - evento organizado pela Universidade Federal do ES

IFSP Caraguatatuba promove mini curso de astronomia com palestra sobre meteoros <http://press.exoss.org/ifsp-caraguatatuba-promove-mini-curso-de-astronomia-com-palestra-sobre-meteoros/> Eduardo Santiago. IF Caraguatatuba-SP 25 de abril 2016 - evento organizado pelo Instituto Federal.

Palestra sobre a Exoss no Clube de Astronomia do ES

<http://press.exoss.org/palestra-sobre-a-exoss-no-clube-de-astronomia-do-es/> Luciana Fontes. Vitória ES - 19 março 2016

Palestra sobre astronomia para alunos em Chapecó-SC  
<http://press.exoss.org/associado-exoss-palestra-sobre-astronomia-para-alunos-em-chapeco/> Diego de Bastiani. Colégio Logosófico de Chapecó - SC 9 novembro 2015

Palestra no 12º EPAST Encontro Paranaense de Astronomia  
<http://press.exoss.org/palestra-exoss-no-12o-epast-encontro-paranaense-de-astronomia/> Diego de Bastiani. Ponta Grossa-PR 06 setembro 2015

Palestra no SCA 2015 <http://press.exoss.org/palestra-exoss-no-sca-2015/> Diego de Bastiani. Instituto Federal de Santa Catarina Araranguá SC 24 julho 2015

Palestra sobre a Exoss no CARJ <http://press.exoss.org/palestra-sobre-a-exoss-no-carj/> Marcelo De Cicco, Rio de Janeiro - 29 julho 2015

# Appendix E

## Listagem de Chuvas associadas a Cometas

Table E.1: Tabela de Chuvas associadas a cometas

Código da Chuva	Nome	Atividade	Corpo Parental
CAP	alpha Capricornids	annual	169P/NEAT (= 2002 EX12)
STA	Southern Taurids	annual	2P/Encke
GEM	Geminids	annual	(3200) Phaethon
SDA	Southern delta Aquariids	annual	2008 Y12, Marsden group
LYR	April Lyrids	annual	C/1861 G1 (Thatcher)
PER	Perseids	annual	109P/Swift-Tuttle
ORI	Orionids	annual	1P/Halley
DRA	October Draconids	annual	21P/Giacobini-Zinner
QUA	Quadrantids	annual	2003 EH1
EVI	eta Virginids	annual	D/1766 G1 (Helfenzrieder)?
EVI	eta Virginids	annual	D/1766 G1 (Helfenzrieder)?
EVI	eta Virginids	annual	D/1766 G1 (Helfenzrieder)?
LEO	Leonids	annual	55P/Tempel-Tuttle
URS	Ursids	annual	8P/Tuttle
NTA	Northern Taurids	annual	2P/Encke
AND	Andromedids	annual	3D/Biela
MON	December Monocerotids	2002/08	C/1917 F1 (Mellish)
MON	December Monocerotids	annual	C/1917 F1 (Mellish)
LMI	Leonis Minorids	annual	C/1739 K1 (Zanotti)
SOA	Southern October delta Arietids	annual	2P/Encke?
ETA	eta Aquariids	annual	1P/Halley
TAH	tau Herculis	annual	73P/Schwassmann-Wachmann 3
NSA	Northern mu Sagittariids	annual	C/1770 L1 Lexell?

JCO	January Comae Berenicids	annual	C/Lowe 1913 I
BTU	beta Tucanids	annual	C/1976 D1 (Bradfield)
DPA	delta Pavonids	annual	C/1907 G1 (Grigg-Mellish)
DAL	delta Aquilids	annual	C/1984 S1 (Meier)?
PPU	pi Puppids	annual	26P/Grigg-Skjellerup
ELY	eta Lyrids	annual	C/1983 H1 (IRAS-Araki-Alcock)
OCE	Southern Daytime omega Cetids	2002/06	C/2003 Q1 (SOHO)?
CET	pi Cetids	annual	C/1874 G1 (Winnecke)?
JBO	June Bootids	1998	7P/Pons-Winnecke
ARI	Daytime Arietids	annual	Marsden group of sunskirters
ARI	Daytime Arietids	annual	Marsden group of sunskirters
ARI	Daytime Arietids	2002/06	Marsden group of sunskirters
ARI	Daytime Arietids	annual	P/1999 J6
ZPE	Daytime zeta Perseids	2002/06	2P/Encke
BTA	Daytime beta Taurids	annual	2P/Encke, 2004 TG10
BTA	Daytime beta Taurids	2002/06	2P/Encke, 2004 TG10
JPE	July Pegasids	annual	C/1979 Y1 (Bradfield), C/1771 A1
DBA	Daytime beta Andromedids	annual	96P/Machholz?
ERI	eta Eridanids	annual	C/1852 K1 (Chacornac)?
ZAR	zeta Arietids	annual	C/1862 N1 (Schmidt-Tempel)?
BIN	beta Indids	annual	C/1991 L3 (Levy)
NPH	nu Phoenicids	annual	C/1951 C1 (Padjusakova)?
ADC	August delta Capricornids	annual	45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova
AUR	Aurigids	annual	C/1911 N1 (Kiess)
EER	epsilon Eridanids	annual	C/1854 L1 (Klinkerfues)?
BAU	beta Aurigids	annual	C/1790 A1 (Herschel)?
KLE	Daytime kappa Leonids	annual	C/1917 F1 (Mellish)
KLE	Daytime kappa Leonids	2002/08	C/1917 F1 (Mellish)
GSA	September gamma Sagittariids	annual	107P/Wilson-Harrington?
OMO	October Monocerotids	annual	C/1723 T1 (Keggler-Crossat-Saunderson)?
OCC	October Capricornids	annual	D/1978 R1 (Haneda-Campos)
NHD	November Hydrids	annual	C/1943 W1 (Van Gent-Peltier-Daimaca)?
PHO	Phoenicids	annual	D/1819 W1 (Blanpain) /2003 WY25
DCR	Daytime Craterids	annual	C/2007 W1 (Boattini)
DSV	December sigma Virginids	annual	C/1846 J1 (Brorsen)
DSV	December sigma Virginids	annual	C/1846 J1 (Brorsen)
DPC	December phi Cassiopeiids	annual	3D/Biela
CAM	Camelopardalids	annual	209P/LINEAR
MAC	May alpha Comae Berenicids	annual	73P/Schwassmann-Wachmann 3

LOP	lambda Ophiuchids	annual	P/2005 JQ5 (Catalina)
ANA	August nu Aquariids	annual	72P/Denning-Fujikawa
SOO	September omicron Orionids	annual	P/2005 T4 (SWAN)
FEV	February epsilon Virginids	annual	?C/1808F1(Pons); ?C/1978T3(Bradfield)
RPU	rho Puppids	annual	? C/1879M1 (Swift)
EPV	epsilon Virginids	annual	? C/1846J1 (Brorsen)
GAQ	gamma Aquilids	annual	C/1853G1(Schweizer)
MLD	May lambda Draconids	annual	209P(LINEAR)?
JXA	July xi Arietids	annual	C/1964N1(Ikeya)
FOA	51 Andromedids	annual	C/1870K1(Winnecke)?
FSO	47 Ophiuchids	2008	C/1939H1(Jurlof-Achmarof-Hassel)
KAU	kappa Aurigids	annual	C/1957U1(Latyshev-Wild-Burnham)?
FFA	55 Arietids	annual	C/1948L1(Honda-Bernasconi)
ACP	alpha Cepheids	annual	255P(Levy)
TCR	theta Craterids	annual	C/2012C2(Bruenjes)
SSD	66 Draconids	annual	2001XQ
DES	delta Sextantids	annual	1942R1(Daimaca)?
TTB	22 Bootids	annual	1793A1(Gregory)?
JNH	January nu Hydrids	annual	1787G1(Mechain)
XCS	xi Cassiopeiids	annual	1871V1(Tempel)
FAN	49 Andromedids	annual	C_2001W2(BATTERS)?
JBC	January beta Craterids	annual	C_1092A (?)
STS	s Taurids	annual	2P/Encke
JEA	June epsilon Arietids	annual	C/2002 V5

# Appendix F

## Links das estações de Monitoramento da Rede EXOSS e Parceiros

Table F.1: *Região Sul*

Estac/cam	link
EMC	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/emc-sc/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/emc-sc/</a>
ENE	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/emc-sc/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/emc-sc/</a>
RMP	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/rmp-sc/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/rmp-sc/</a>

Table F.2: *Região Sudeste*

<b>Estac/cam</b>	<b>link</b>
BAS	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/bas-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/bas-rj/</a>
PET	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/pet-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/pet-rj/</a>
RJK	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/rjk-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/rjk-rj/</a>
RCO	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/rco-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/rco-rj/</a>
ONA_1 e ONA_2	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ona-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ona-rj/</a>
ONA_1 e ONA_2	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ona-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ona-rj/</a>
CFB.1 e CFB.2	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/cfb-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/cfb-rj/</a>
NCL	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ncl-rj/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ncl-rj/</a>
HSE	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/hse-mg/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/hse-mg/</a>
VIX_1 a 3	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/vix-es/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/vix-es/</a>
COI	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/col-es/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/col-es/</a>
ERB	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/erb-es/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/erb-es/</a>
WMR	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/wmr-es/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/wmr-es/</a>
HAL	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/hal-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/hal-sp/</a>
CDR_1 CDR_2	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/cdr-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/cdr-sp/</a>
GBS	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/gbs-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/gbs-sp/</a>
SOR	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/sor-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/sor-sp/</a>
EPS_1 a 3	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/eps-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/eps-sp/</a>
JOH	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/joh-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/joh-sp/</a>
LMR	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/lmr-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/lmr-sp/</a>
MCZ	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/mcz-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/mcz-sp/</a>
OMC1 a 5	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/omc-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/omc-sp/</a>
SPS	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/sps-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/sps-sp/</a>
VLW	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/vlm-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/vlm-sp/</a>
UVP	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/uvp-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/uvp-sp/</a>
ITU_1 a 4	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ITU-sp/">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ITU-sp/</a>

Table F.3: *Região Nordeste*

<b>Estac/cam</b>	<b>link</b>
KFD	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/kfd-al">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/kfd-al</a>
AFL	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/afl-al">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/afl-al</a>
ION	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ion-pe">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/ion-pe</a>
NRN	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/nrn-ma">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/nrn-ma</a>

Table F.4: *Região Centro-Oeste e Norte*

<b>Estac/cam</b>	<b>link</b>
ART	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/art-ro">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/art-ro</a>
CGR	<a href="http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/cgr-ms">http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/cgr-ms</a>

# Bibliography

- ACATMOS, Divisão de Aeronomia, I. (2017). ACATMOS. <http://www.dae.inpe.br/acatmos/>. [Online; accessed 15-May-017].
- Babadzhanov, P. B., Williams, I. P., and Kokhirova, G. I. (2008). Near-Earth Objects in the Taurid complex. *MNRAS*, 386:1436–1442.
- Bettonvil, E. J. A. (2006). Least squares estimation of a meteor trajectory and radiant with a Gauss-Markov model. In Bastiaens, L., Verbert, J., and Wislez, Verbeeck, C. J.-M., editors, *Proceedings of the International Meteor Conference, 24th IMC, Oostmalle, Belgium, 2005*, pages 63–73.
- Bland, P. A. (2004). Fireball cameras: The Desert Fireball Network. *Astronomy and Geophysics*, 45(5):5.20–5.23.
- Bland, P. A. and Artemieva, N. A. (2006). The rate of small impacts on Earth. *Meteoritics and Planetary Science*, 41:607–631.
- Borovička, J. (1990). The comparison of two methods of determining meteor trajectories from photographs. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 41:391–396.
- Borovička, J. (2005). Spectral Investigation of Two Asteroidal Fireballs. *Earth Moon and Planets*, 97:279–293.
- Borovička, J. (2006). Meteor Trains - Terminology and Physical Interpretation. *JRASC*, 100:194.
- Borovička, J. (2007). Properties of meteoroids from different classes of parent bodies. In Valsecchi, G. B., Vokrouhlický, D., and Milani, A., editors, *Near Earth Objects, our Celestial Neighbors: Opportunity and Risk*, volume 236 of *IAU Symposium*, pages 107–120.
- Borovička, J. and Jenniskens, P. (2000). Time Resolved Spectroscopy of a Leonid Fireball Afterglow. *Earth Moon and Planets*, 82:399–428.

- Borovička, J., Koten, P., Spurný, P., Boček, J., and Štork, R. (2005). A survey of meteor spectra and orbits: evidence for three populations of Na-free meteoroids. *Icarus*, 174:15–30.
- Borovička, J., Koten, P., Spurný, P., and Štork, R. (2008). Analysis of a Low Density Meteoroid with Enhanced Sodium. *Earth Moon and Planets*, 102:485–493.
- Borovička, J. and Spurný, P. (2008). The Carancas meteorite impact - Encounter with a monolithic meteoroid. *A&A*, 485:L1–L4.
- Borovička, J., Spurný, P., and Brown, P. (2015). *Small Near-Earth Asteroids as a Source of Meteorites*, pages 257–280.
- Borovička, J., Spurný, P., Grigore, V. I., and Svoreň, J. (2017). The January 7, 2015, superbolide over Romania and structural diversity of meter-sized asteroids. *ArXiv e-prints*.
- Borovička, J., Tóth, J., Igaz, A., Spurný, P., Kalenda, P., Haloda, J., Svoreň, J., Kornoš, L., Silber, E., Brown, P., and Husárik, M. (2013). The Košice meteorite fall: Atmospheric trajectory, fragmentation, and orbit. *Meteoritics and Planetary Science*, 48:1757–1779.
- Bronshten, V. A. (1983a). *Physics of meteoric phenomena*.
- Bronshten, V. A. (1983b). Probability of Encounter of a Meteoroid with a Small Area. *Astronomicheskij Tsirkulyar*, 1266:1.
- Brown, P., Spalding, R. E., ReVelle, D. O., Tagliaferri, E., and Worden, S. P. (2002). The flux of small near-Earth objects colliding with the Earth. *Nature*, 420:294–296.
- Brown, P. G., Assink, J. D., Astiz, L., Blaauw, R., Boslough, M. B., Borovička, J., Brachet, N., Brown, D., Campbell-Brown, M., Ceranna, L., Cooke, W., de Groot-Hedlin, C., Drob, D. P., Edwards, W., Evers, L. G., Garces, M., Gill, J., Hedlin, M., Kingery, A., Laske, G., Le Pichon, A., Mialle, P., Moser, D. E., Saffer, A., Silber, E., Smets, P., Spalding, R. E., Spurný, P., Tagliaferri, E., Uren, D., Weryk, R. J., Whitaker, R., and Krzeminski, Z. (2013). A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors. *Nature*, 503:238–241.
- Campbell-Brown, M. (2008). High resolution radiant distribution and orbits of sporadic radar meteoroids. *Icarus*, 196(1):144 – 163.

- Campbell-Burns, P. and Kacerek, R. (2014). The UK Meteor Observation Network. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 42:139–144.
- Ceplecha, Z. (1961). Multiple fall of Příbram meteorites photographed. 1. Double-station photographs of the fireball and their relations to the found meteorites. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 12:21.
- Ceplecha, Z. (1967). Classification of meteor orbits. *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 11:35.
- Ceplecha, Z. (1987). Geometric, dynamic, orbital and photometric data on meteoroids from photographic fireball networks. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 38:222–234.
- Ceplecha, Z. (1988). Earth's influx of different populations of sporadic meteoroids from photographic and television data. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 39:221–236.
- Ceplecha, Z. (1994). Meteoroid Properties from Photographic Records of Meteors and Fireballs. In Milani, A., di Martino, M., and Cellino, A., editors, *Asteroids, Comets, Meteors 1993*, volume 160 of *IAU Symposium*, page 343.
- Ceplecha, Z. and McCrosky, R. E. (1976). Fireball end heights - A diagnostic for the structure of meteoric material. *J. Geophys. Res.*, 81:6257–6275.
- Ceplecha, Z., Spalding, E. R., Jacobs, C., Revelle, D. O., Tagliaferri, E., and Brown, P. (1999). Superbolides. In Baggaley, W. J. and Porubcan, V., editors, *Meteoroids 1998*, page 37.
- Drolshagen, G., Dikarev, V., Landgraf, M., Krag, H., and Kuiper, W. (2008). Comparison of Meteoroid Flux Models for Near Earth Space. *Earth Moon and Planets*, 102:191–197.
- Drolshagen, G., Koschny, D., Drolshagen, S., Kretschmer, J., and Poppe, B. (2017). Mass accumulation of earth from interplanetary dust, meteoroids, asteroids and comets. *Planet. Space Sci.*, 143:21–27.
- Drolshagen, S., Kretschmer, J., Koschny, D., Drolshagen, G., and Poppe, B. (2015). Mass accumulation of Earth from interplanetary dust, meteoroids, asteroids and comets. In Rault, J.-L. and Roggemans, P., editors, *International Meteor Conference Mistelbach, Austria*, pages 220–225.
- Drummond, J. D. (1981). A test of comet and meteor shower associations. *Icarus*, 45:545–553.

- Eugster, O., Herzog, G. F., Marti, K., and Caffee, M. W. (2006). *Irradiation Records, Cosmic-Ray Exposure Ages, and Transfer Times of Meteorites*, pages 829–851.
- Grady, M. and Natural History Museum (London, E. (2000). *Catalogue of Meteorites Reference Book with CD-ROM*. Catalogue of Meteorites: With Special Reference to Those Represented in the Collection of the Natural History Museum, London. Cambridge University Press.
- Gritsevich, M. I. (2009). Determination of parameters of meteor bodies based on flight observational data. *Advances in Space Research*, 44:323–334.
- Grün, E. and Landgraf, M. (2000). Collisional consequences of big interstellar grains. *J. Geophys. Res.*, 105:10291–10298.
- Grün, E., Staubach, P., Baguhl, M., Hamilton, D. P., Zook, H. A., Dermott, S., Gustafson, B. A., Fechtig, H., Kissel, J., Linkert, D., Linkert, G., Srama, R., Hanner, M. S., Polanskey, C., Horanyi, M., Lindblad, B. A., Mann, I., McDonnell, J. A. M., Morfill, G. E., and Schwehm, G. (1997). South-North and Radial Traverses through the Interplanetary Dust Cloud. *Icarus*, 129:270–288.
- Grun, E., Zook, H. A., Fechtig, H., and Giese, R. H. (1985). Collisional balance of the meteoritic complex. *Icarus*, 62:244–272.
- Hajduková, M. (2008). The occurrence of interstellar meteoroids in the vicinity of the Earth. In Kwok, S. and Sanford, S., editors, *Organic Matter in Space*, volume 251 of *IAU Symposium*, pages 347–348.
- Hajduková, M., Kornoš, L., and Tóth, J. (2014). Frequency of hyperbolic and interstellar meteoroids. *Meteoritics and Planetary Science*, 49:63–68.
- Hajdukova, Jr., M. (1994). On the frequency of interstellar meteoroids. *A&A*, 288:330–334.
- Halliday, I., Blackwell, A. T., and Griffin, A. A. (1978). The Innisfree meteorite and the Canadian camera network. *JRASC*, 72:15–39.
- Halliday, I., Griffin, A. A., and Blackwell, A. T. (1996). Detailed data for 259 fireballs from the Canadian camera network and inferences concerning the influx of large meteoroids. *Meteoritics and Planetary Science*, 31:185–217.
- Hasegawa, I. (1993). Historical records of meteor showers (Invited). In Stohl, J. and Williams, I. P., editors, *Meteoroids and their Parent Bodies*, page 209.

- Hawkes, R. L. and Woodworth, S. C. (1997). Do some meteorites come from interstellar space? *JRASC*, 91.
- Hoppe, J. (1937). Die physikalischen Vorgänge beim Eindringen meteoritischer Körper in die Erdatmosphäre. *Astronomische Nachrichten*, 262:169.
- Imoto, S. and Hasegawa, I. (1958). Historical Records of Meteor Showers in China, Korea, and Japan. *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 2:131.
- Izecson, A., Coelho, A., and C., J. (2008 (accessado em 10 de Outubro de 2017)). *Criação de uma rede brasileira de câmeras de vídeo automáticas para observação de meteoros*. [http://www.astrocasp.com/Artigo\\_ENAST\\_meteoros.pdf?attredirects=0](http://www.astrocasp.com/Artigo_ENAST_meteoros.pdf?attredirects=0).
- Jacchia, L. G., Verniani, F., and Briggs, R. E. (1967). Selected results from precision-reduced Super-Schmidt meteors. *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 11:1.
- Jacchia, L. G. and Whipple, F. L. (1956). The Harvard photographic meteor programme. *Vistas in Astronomy*, 2:982–994.
- Jenniskens, P. (1997). Successful Leonid Airborne Mission Validation Flight during August 1997 Perseids. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 25:215–217.
- Jenniskens, P. (2006). *Meteor Showers and their Parent Comets*.
- Jenniskens, P. (2007a). Meteor Showers from Broken Comets. *Dust in Planetary Systems*, 643:3–6.
- Jenniskens, P. (2007b). The I.A.U. meteor shower nomenclature rules. In Bettonvil, F. and Kac, J., editors, *Proceedings of the International Meteor Conference, 25th IMC, Roden, Netherlands, 2006*, pages 87–89.
- Jenniskens, P. (2008a). *Meteor Showers and their Parent Comets*.
- Jenniskens, P. (2008b). Meteoroid streams that trace to candidate dormant comets. *Icarus*, 194:13–22.
- Jenniskens, P. and Docters van Leeuwen, G. (1997). The  $\alpha$ -Monocerotids meteor outburst: the cross section of a comet dust trail. *Planet. Space Sci.*, 45:1649–1652.
- Jenniskens, P., Nénon, Q., Albers, J., Gural, P. S., Haberman, B., Holman, D., Morales, R., Grigsby, B. J., Samuels, D., and Johannink, C. (2016). The established meteor showers as observed by CAMS. *Icarus*, 266:331–354.

- Jewitt, D. (2012). The Active Asteroids. *AJ*, 143:66.
- Jewitt, D., Li, J., and Agarwal, J. (2013). The Dust Tail of Asteroid (3200) Phaethon. *ApJ*, 771:L36.
- Jopek, T. J. (1993). Remarks on the meteor orbital similarity D-criterion. *Icarus*, 106:603.
- Jopek, T. J. (2011). Meteoroid streams and their parent bodies. *Mem. Soc. Astron. Italiana*, 82:310.
- Jopek, T. J. and Williams, I. P. (2013). Stream and sporadic meteoroids associated with near-Earth objects. *MNRAS*, 430:2377–2389.
- Keller, J. and Buie, M. W. (2013). Involving Citizen Scientists to Measure Trans-Neptunian Objects. In *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts*, volume 45 of *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts*, page 414.12.
- Kinsman, J. H. (2014). Meteor Showers in the Ancient Maya Hieroglyphic Codices. *Meteoroids 2013*, pages 87–101.
- Koschny, D., Bettonvil, F., Licandro, J., Luijt, C. v. d., Mc Auliffe, J., Smit, H., Svedhem, H., de Wit, F., Witasse, O., and Zender, J. (2013). A double-station meteor camera set-up in the Canary Islands - CILBO. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 2:339–348.
- Koschny, D. and Diaz del Rio, J. (2002). Meteor Orbit and Trajectory Software (MOTS) - Determining the Position of a Meteor with Respect to the Earth Using Data Collected with the Software MetRec. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 30:87–101.
- Koten, P., Borovička, J., Spurný, P., Betlem, H., and Evans, S. (2004). Atmospheric trajectories and light curves of shower meteors. *A&A*, 428:683–690.
- Kresák, Ľ. (1967). Relation of meteor orbits to the orbits of comets and asteroids. *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 11:9.
- Kresák, L. (1969). The discrimination between cometary and asteroidal meteors. I. The orbital criteria. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 20:177.
- Kullenberg, C. and Kasperowski, D. (2016). What Is Citizen Science? - A Scientometric Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 11:e0147152.

- Lauretta, D. S. and McSween, H. Y. (2006). *Meteorites and the Early Solar System II*.
- Loehle, S., Jenniskens, P., Böhrk, H., Bauer, T., Elsäßer, H., Sears, D. W., Zolensky, M. E., and Shaddad, M. H. (2017). Thermophysical properties of Almahata Sitta meteorites (asteroid 2008 TC<sub>3</sub>) for high-fidelity entry modeling. *Meteoritics and Planetary Science*, 52:197–205.
- Lunsford, R. (2009). *Meteors and How to Observe Them*. Astronomers’ Observing Guides. Springer New York.
- Madiedo, J. M., Ortiz, J. L., Trigo-Rodríguez, J. M., Zamorano, J., Konovalova, N., Castro-Tirado, A. J., Ocaña, F., Miguel, A. S. d., Izquierdo, J., and Cabrera-Caño, J. (2014). Analysis of two superbolides with a cometary origin observed over the Iberian Peninsula. *Icarus*, 233:27–35.
- Marvin, U. B. (1996). Ernst F. F. Chladni (1756-1827) and the Founding of Meteoritics. *Meteoritics and Planetary Science Supplement*, 31.
- McCrosky, R. E., Posen, A., Schwartz, G., and Shao, C.-Y. (1971). Lost City Meteorite Its Recovery and a Comparison with Other Fireballs. *J. Geophys. Res.*, 76:4090–4108.
- McSween, H. (1999). *Meteorites and Their Parent Planets*. Cambridge University Press.
- Molau, S. and Rendtel, J. (2009). A Comprehensive List of Meteor Showers Obtained from 10 Years of Observations with the IMO Video Meteor Network. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 37:98–121.
- More, A., Verma, A., Marshall, P. J., More, S., Baeten, E., Wilcox, J., Macmillan, C., Cornen, C., Kapadia, A., Parrish, M., Snyder, C., Davis, C. P., Gavazzi, R., Lintott, C. J., Simpson, R., Miller, D., Smith, A. M., Paget, E., Saha, P., Küng, R., and Collett, T. E. (2016). SPACE WARPS- II. New gravitational lens candidates from the CFHTLS discovered through citizen science. *MNRAS*, 455:1191–1210.
- Nesvorný, D., Bottke, W. F., Levison, H. F., and Dones, L. (2003). Recent Origin of the Solar System Dust Bands. *ApJ*, 591:486–497.
- Olech, A., Zoladek, P., Wisniewski, M., Krasnowski M., Kwinta, M., Fajfer, T., Fietkiewicz, K., Dorosz, D., Kowalski, L., Olejnik, J., Mularczyk, K., and Zloczewski, K. (2006). Polish Fireball Network. In Bastiaens, L., Verbert, J., and Wislez, Verbeeck, C. J.-M., editors, *Proceedings of the*

*International Meteor Conference, 24th IMC, Oostmalle, Belgium, 2005*, pages 53–62.

- Olech, A., Żołądek, P., Wiśniewski, M., Rudawska, R., Bęben, M., Krzyżanowski, T., Myszkiewicz, M., Stolarz, M., Gawroński, M., Gozdalski, M., Suchodolski, T., Węgrzyk, W., and Tyimiński, Z. (2016). 2015 Southern Taurid fireballs and asteroids 2005 UR and 2005 TF50. *MNRAS*, 461:674–683.
- Pecina, P. and Ceplecha, Z. (1983). New aspects in single-body meteor physics. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 34:102–121.
- Pokorný, P., Vokrouhlický, D., Nesvorný, D., Campbell-Brown, M., and Brown, P. (2014). Dynamical model for the toroidal sporadic meteors. *The Astrophysical Journal*, 789(1):25.
- Porubčan, V., Kornoš, L., and Williams, I. P. (2006). The Taurid complex meteor showers and asteroids. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 36:103–117.
- Raddick, J., Lintott, C. J., Schawinski, K., Thomas, D., Nichol, R. C., Andreescu, D., Bamford, S., Land, K. R., Murray, P., Slosar, A., Szalay, A. S., Vandenberg, J., and Galaxy Zoo Team (2007). Galaxy Zoo: An Experiment in Public Science Participation. In *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, volume 39 of *Bulletin of the American Astronomical Society*, page 892.
- Rudawska, R., Jopek, T. J., and Dybczyński, P. A. (2005). The Changes of the Orbital Elements and Estimation of the Initial Velocities of Stream Meteoroids Ejected from Comets and Asteroids. *Earth Moon and Planets*, 97:295–310.
- SAO (2017). Meteor stream. <https://astronomy.swin.edu.au/cms/astro/cosmos/M/Meteor+Stream>. [Online; accessed 28-May-017].
- Silva, K. (2017). Estação associada a exoss. <http://press.exoss.org/associados/estacoes-associadas-a-exoss/omc-sp/>. [Online; accessed 15-May-017].
- Solano, E., Rodrigo, C., Pulido, R., and Carry, B. (2014). Precovery of near-Earth asteroids by a citizen-science project of the Spanish Virtual Observatory. *Astronomische Nachrichten*, 335:142.

- SonotaCo (2009). A meteor shower catalog based on video observations in 2007-2008. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 37:55–62.
- Southworth, R. B. and Hawkins, G. S. (1963). Statistics of meteor streams. *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 7:261.
- Spurný, P., Betlem, H., Jobse, K., Koten, P., and van't Leven, J. (2000). New type of radiation of bright Leonid meteors above 130 km. *Meteoritics and Planetary Science*, 35:1109–1115.
- Spurný, P. and Borovička, J. (1999). EN010697 Karlštejn: the first type I fireball on retrograde orbit. In Baggaley, W. J. and Porubcan, V., editors, *Meteoroids 1998*, page 143.
- Starczewski, S. and Jopek, T. J. (2005). *Dynamical Relation of Meteoroids to Comets and Asteroids*, pages 41–47. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Steel, D. I., Asher, D. J., and Clube, S. V. M. (1991). The structure and evolution of the Taurid complex. *MNRAS*, 251:632–648.
- Trigo-Rodríguez, J. M., Castro-Tirado, A., Llorca, J., and Fabregat, J. (2005). The Spanish Fireball Network: Popularizing Interplanetary Matter. In Ortiz-Gil, A. and Martinez, V. J., editors, *EAS Publications Series*, volume 16 of *EAS Publications Series*, pages 129–133.
- Valsecchi, G. B., Jopek, T. J., and Froeschle, C. (1999). Meteoroid stream identification: a new approach - I. Theory. *MNRAS*, 304:743–750.
- Vernazza, P., Binzel, R. P., Thomas, C. A., DeMeo, F. E., Bus, S. J., Rivkin, A. S., and Tokunaga, A. T. (2008). Compositional differences between meteorites and near-Earth asteroids. *Nature*, 454:858–860.
- Voloshchuk, Y. I., Vorgul', A. V., and Kashcheev, B. L. (1997). The Meteor Complex near the Earth's Orbit: Sporadic Background, Streams, and Associations. III. Sources of Stream and Sporadic Meteoric Bodies. *Solar System Research*, 31:306.
- Whipple, F. L. (1951). A Comet Model. II. Physical Relations for Comets and Meteors. *ApJ*, 113:464.
- Whipple, F. L. (1954). Photographic meteor orbits and their distribution in space. *AJ*, 59:201.
- Whipple, F. L. and Jacchie, L. G. (1957). Reduction Methods for Photographic Meteor Trails. *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 1:183–206.

- Wiegert, P. and Brown, P. (2005). The quadrantid meteoroid complex. *Icarus*, 179(1):139 – 157.
- Wikipedia (2017). Directx. <https://pt.wikipedia.org/wiki/DirectX>. [Online; accessed 30-May-017].
- WIKIPEDIA (2017). Mysql. <https://pt.wikipedia.org/wiki/MySQL>. [Online; accessed 15-May-017].
- Williams, I. P. and Jopek, T. J. (2014). The Origin of stream and sporadic meteors, comets or asteroids. *Meteoroids 2013*.
- Zucolotto, M., do Carmo Fonseca, A., and Antonello, L. (2013). *Decifrando os meteoritos*. Série Livros. Museu Nacional UFRJ.