

Um catálogo unificado para os *Gamma-ray Bursts*

RACHEL S. A. BOTELHO* & IVAN SOARES FERREIRA†

Universidade de Brasília

Resumo

Os Gamma-ray Bursts são eventos transientes de altíssima energia. Possivelmente têm como origem dois tipos de fenômenos: o colapso gravitacional de estrelas de grande massa; ou a coalescência de estrelas compactas. Ocorrem entre 300 e 400 destes eventos ao ano, distribuídos uniformemente no céu e também, em termos de distância, acompanham a taxa de formação estelar já bem conhecida. Neste trabalho serão apresentadas as características gerais destes fenômenos obtidas durante a produção de um catálogo de eventos bastante abrangente, que ficará disponível para uso de toda a comunidade científica.

Palavras-chave: Astrofísica de altas energias, Gamma-ray Bursts, Análise de catálogos de objetos.

I. INTRODUÇÃO

Uma das tarefas mais antigas na astronomia, remontando a era clássica, é a de produzir catálogos de objetos celestes. Nomeá-los, indicar sua posição no céu e especificar suas características peculiares, tais como brilho ou variabilidade, ocupa astrônomos até os dias de hoje. Contudo, se no começo eram os planetas e estrelas brilhantes que enchiam os *notebooks*, hoje são objetos bastante diversificados, muitos deles só descobertos nos últimos 40 anos.

Neste trabalho especificamente, lidamos com eventos transientes que emitem inicialmente em raios gama. São conhecidos como *Gamma Ray Bursts* (GRBs), pois se mostram como explosões

altamente energéticas. Ao longo do tempo, foram detectados por diferentes instrumentos colocados no espaço, sendo que a equipe de cada um destes instrumentos produziu catálogos para os *seus* GRBs. Aqui tentamos produzir um catálogo unificado, com a quase totalidade dos eventos medidos, e enumerando algumas das características relevantes para o estudo da cosmologia usando estes eventos.

A história dos GRBs iniciou-se em 1963 com a assinatura de um tratado entre as nações hegemônicas na Guerra Fria, segundo o qual apenas seria permitido executar testes nucleares no subterrâneo. Visando o cumprimento deste, os Estados Unidos iniciaram um programa para o lançamento de satélites capazes de detectar esse tipo de evento. No

*Universidade de Brasília -Aluna de Graduação do Instituto de Física (IFD)), E-mail: rsabotelho@gmail.com

†Professor Adjunto, Laboratório de Cosmologia e Astrofísica, Instituto de Física, Universidade de Brasília. Para maiores informações acesse: <http://labcosmologiaunb.org>. E-mail:ivan@fis.unb.br

total, ao longo da década, foram lançados 6 pares de satélites (Vela 1 a,b até Vela 6 a,b) [12].

Não foram encontrados evidência de testes nucleares, mas detectou-se uma série de enormes explosões de raios gama com origem desconhecida e características intrigantes, sendo o primeiro visualizado em 2 de julho de 1967 pelos pares 3 e 4. Nos primeiros momentos, apenas conseguiu-se verificar que não foram originados no Sistema Solar [12].

Então seguiram-se uma série de missões espaciais com o intuito de compreender melhor o que seriam esses eventos. O marco das missões iniciais foi o Batse a bordo do satélite Compton. Depois, com o BeppoSAX foi possível o estudo dos eventos de contrapartida (emissão remanescente ou *afterglow*, em inglês) em outros comprimentos de onda que permitiu resolver a questão de origem galáctica ou extragaláctica deixada pelo Batse. Já o *Swift* e o HETE-2, por serem mais sensíveis a GRBs curtos que os satélites anteriores, possibilitaram estudá-los mais profundamente inclusive seus *afterglows*. Por fim, tem-se o satélite Fermi.

Nas próximas seções discutiremos mais as propriedades gerais dos GRBs como encontradas na literatura, falaremos, com alguns detalhes, dos instrumentos de onde obtivemos informações sobre os eventos e por fim exploraremos algumas características dos GRBs conforme nosso próprio catálogo mostra.

II. MODELOS POSSÍVEIS PARA OS GRBS

I. GRBs Curtos

Os GRBs curtos (SGRB, do inglês) são aqueles que duram menos que aproximadamente 2 segundos [18]. Além disso possuem um espectro duro, ou seja, rapidamente alcançam o máximo da sua emissão, e este máximo corresponde aos fótons de mais alta energia.

No caso de SGRB, o modelo mais aceito é o da coalescência de objetos supermassivos, como buracos negros e estrelas de nêutrons, em sistemas binários. O modelo sugere que, com o tempo, a órbita desses objetos diminui devido à liberação de energia em forma de ondas gravitacionais até que eles colidam formando um buraco negro com disco de acreção, que dará origem ao GRB. Por meio de simulações, acredita-se que para esse cenário ser possível, é necessário que a fração das massas seja diferente de 1, ou seja, os dois corpos devem ter massas distintas [22].

Em fevereiro de 2016 foi anunciada a observação de ondas gravitacionais pelo *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (LIGO) em 14 de setembro de 2015. Essa descoberta aumenta a credibilidade do modelo pois comprova a existência dos sistemas binários de buracos negros, que até então não haviam sido observados [6].

Os SGRBs são encontrados distantes das regiões de formação estelar, pois estando ligados às estrelas de nêutrons, a muito estes objetos já se afastaram de sua posição de nascimento, visto que tipicamente, durante a formação da estrela de nêutrons, ela é ejetada em alta velocidade [12]. Como exemplo temos os objetos *AE Aurigae* e *53 Arietis*, conhecidos como estrelas hipervelozes [13].

II. GRBs Longos

Os GRBs longos (LGRB) são aqueles cuja duração é maior que aproximadamente 2 segundos [18]. Estes eventos comumente apresentam uma emissão remanescente que persiste por dias, e pode ser detectada em todo o espectro, até em rádio. De fato, muito do que sabemos sobre estes eventos, sua distância, a galáxia hospedeira, e outros, é devido a detecção da emissão remanescente.

A respeito de sua origem, o modelo mais aceito é o de colapso de estrelas supermassivas (*Collapsar Model*) em sistemas binários (o que parece ser mais

provável) ou isoladas. De acordo com esse modelo, há alguns requisitos que a estrela deve cumprir para ser possível o surgimento do GRB [22]:

- Possuir núcleo supermassivo;
- Possuir enorme momento angular;
- Ter eliminado suas camadas de hélio e hidrogênio antes da explosão.

Um núcleo supermassivo e alto momento angular são necessários para que o resultado da explosão possa ser um buraco negro com um disco de acreção ao seu redor. Este sistema alimenta os jatos relativísticos, nas direções polares, que darão origem ao GRB observado. É esperado que a região dos pólos tenha baixa densidade de matéria, pois assim não reduz a velocidade dos jatos [12].

Para fomentar melhor esse modelo, observações de supernovas do tipo Ic foram muito úteis. Visto que também são produzidas pelo colapso da estrela progenitora, associadas à maioria dos LGRBs.

A candidata mais provável é a estrela do tipo *Wolf-Rayet*, que é um estágio final da evolução de estrelas supermassivas (com massa maior que aproximadamente 20 vezes a do Sol). Devido a enorme massa, essas estrelas usam rapidamente todo o seu hidrogênio, pois a pressão de radiação deve ser suficiente para conter o colapso gravitacional, e, então, começa a fusão de outros elementos (hélio, silício, carbono até o ferro). Nessa fase, a pressão de radiação gera enormes ventos que levam consigo parte das camadas exteriores da estrela, gerando grossas linhas de absorção em seu espectro. Quando o combustível de fusão se esgota, as *Wolf-Rayet* colapsam gerando supernovas e buracos negros [17].

Além disso, também verificou-se que LGRBs advém de galáxias com alta formação estelar, o que já era esperado pois esse tipo de estrela pouco se locomove ao longo de sua vida [12].

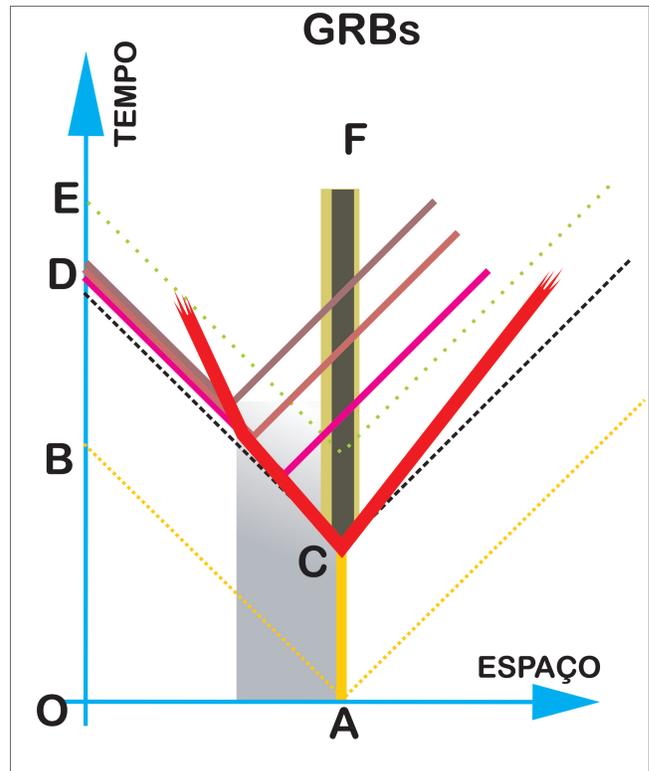


Figura 1: Esquema geral para um GRB, longo ou curto, dentro de um diagrama do tipo espaço-tempo. Aqui temos: O) Posição do observador; A) posição do progenitor. Note que junto ao objeto há um meio material que o envolve, ilustrado em cinza; B) Instante que o observador recebe fótons ou radiação gravitacional oriunda do progenitor; C) Colapso e produção do jato relativístico (em vermelho); D) Observador detecta os fótons em raios gama, ou seja, vê o GRB. Além dos pulso principal, vários outros são observados, produzindo uma curva de luz complexa. E) Observador detecta a emissão em raios X, proveniente do objeto colapsado. F) Objeto colapsado acompanhado por um disco de acreção, responsável pelos raios X.

Na figura 1 encontra-se uma ilustração do observado em um GRB, seja ele curto ou longo. Trata-se de um diagrama espaço-tempo, com o observador na origem. Os raios de luz e a radiação gravitaci-

onal sempre se deslocam por retas a 45 graus. Lá estão indicados o progenitor, o objeto colapsado, o jato relativístico, e diversos momentos importantes do processo, essenciais para a compreensão da curva de luz destes eventos.

III. A DETECÇÃO DE UM GRB

O estudo de fenômenos de altas energias deve ser realizado por satélites no espaço pois essa radiação (raios gama, raios X) é absorvida pela atmosfera. Seus fótons reagem com a matéria, principalmente, por meio dos processos [15]:

- Efeito fotoelétrico – cede toda sua energia ao elétron, liberando-o do confinamento;
- Espalhamento Compton – cede parte de sua energia ao elétron, que pode estar livre ou preso ao átomo, com o qual colide. A colisão desvia o fóton de sua direção original, altera sua frequência e o elétron adquire energia e momentum;
- Formação do par elétron-pósitron – esse fenômeno pode ocorrer quando o fóton de raio gama possuir energia maior que 1,022 MeV (dobro da energia de repouso do elétron).

No caso dos GRBs, os detectores mais utilizados são os do tipo cintilador (Batse, BeppoSAX, Agile e GBM/Fermi) e os do tipo semiconductor (Swift e LAT/Fermi).

Cintilador

Os detectores do tipo cintilador são compostos por cristais de, principalmente, NaI(Tl) ou CsI(Tl). A energia dos fótons incidentes é convertida em luz visível pelo material cintilador. Estes fótons vão para um tubo fotomultiplicador composto, basicamente por um cátodo, dínodos e um ânodo. Ao colidirem com o cátodo, elétrons são liberados

(efeito fotoelétrico) e, depois, acelerados contra os dínodos, onde são multiplicados. Por fim, interagem com o ânodo produzindo um sinal elétrico, que é proporcional à energia do fóton de raio gama [15].

Semicondutor

Um detector deste tipo é basicamente composto por um material semiconductor disposto entre dois eletrodos. Sobre este sistema, age um campo elétrico. Inicialmente, o material serve como um isolante, não permitindo a passagem de corrente elétrica. Porém, a incidência de partículas de alta energia promove elétrons para a banda de condução, logo se tem uma corrente não nula [20].

IV. MISSÕES ESPACIAIS IMPORTANTES

Nesta seção serão mostradas algumas especificações e descobertas das principais missões espaciais para o estudo dos GRBs

Interplanetary Network (IPN):

- Rede de satélites localizados bem distante entre si (perto de Vênus, por exemplo) para determinar a localização dos GRBs na esfera celeste por meio da triangulação dos raios de luz. A precisão conseguida foi boa, mas não o suficiente para reduzir a diversidade de teorias a respeito da origem dos GRBs [12])
- Descobriu o primeiro GRB do tipo *Soft Gamma-Ray Repeaters* (SGRs). Devido as seguintes características foi associado à estrelas de nêutrons: encontrado perto de um ‘resto de supernova’, primeiro pulso curto e bastante intenso (aproximadamente 100x mais luminoso que os demais GRBs), repetição de eventos no mesmo local e periodi-

cidade de emissão compatível com objetos compactos e de alta frequência rotativa [12].

Burst and Transient Source Experiment (BATSE)

- Especificações

Instrumento integrante do satélite *Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)*, missão especializada na detecção de fenômenos de altas energias (raios gama e raios X). Teve duração de 9 anos (1991-2000).

É composto por 8 pares de detectores de NaI(Tl) localizados em cada canto do CGRO. Tal disposição permitia a total visualização do céu. Cada par é constituído por um Large Area Detector (LAD) e um Spectroscopy Detector (SD). O primeiro tem 2025 cm^2 de área e atua no intervalo $20 \text{ keV} - 1,9 \text{ MeV}$. Já o segundo, 127 cm^2 de área e $10 \text{ keV} - 100 \text{ MeV}$ [2].

- Descobertas

Com o Batse foi possível verificar duas características importantes: distribuição isotrópica espacialmente [12] e bimodal em relação ao tempo, em que os curtos duram aproximadamente menos que dois segundos e o longos, mais que dois segundos [19]. No entanto, deixou em aberto a questão da origem dos GRBs: Galáctica ou extragaláctica [12].

BeppoSAX

- Duração: 1996-2003

- Especificações

A detecção de GRBs no BeppoSax é feita pelo *Gamma-Ray Bursts Monitor (GRBM)*, que é formado por quatro placas de CsI(Na) com 10 mm de espessura e 1136 cm^2 de

área. Já localização, é determinada, principalmente, pelas *Wild Field Camera (WFC)* com precisão de alguns minutos de arco (aproximadamente 3). O Primeiro atua na faixa $40 - 700 \text{ keV}$ e o segundo, $1,5 - 26 \text{ keV}$ [8].

Essa podia ser determinada em poucas horas e logo enviada à comunidade científica para que outros telescópios pudessem analisar a região em outros comprimentos de onda. Além disso, foi colocado em órbita quase equatorial de modo que o campo magnético terrestre minimizasse a radiação de fundo de alta energia [22].

- Descobertas

Detectou as primeiras emissões remanescentes em outros comprimentos de onda: em raios X e luz visível para o GRB 970228 e em rádio para o GRB 970508. Também foi possível identificar suas galáxias hospedeiras, em que a do segundo foi caracterizada como azul de alta formação estelar [22] e [12].

Com o GRB 970508 pode-se determinar origem extragaláctica por meio da identificação de linhas de absorção em seu espectro. E, pelo afterglow em rádio, que a superfície emissora devia expandir-se relativisticamente [12].

Além disso, descobriu uma nova classe de eventos: X-ray flashes [22] e visualizou uma supernova no mesmo local que o GRB 980425, surgindo a possibilidade da conexão entre GRBs e estrelas massivas [12].

High Energy Transient Explorer 2 (HETE-2)

- Lançamento: 2000

- Especificações

Composto pelos instrumentos: FREGATE, que faz a detecção dos GRBs (1 - 400 keV); *Wide Field X-Ray Monitor* (WXM), capaz de localizá-los com precisão de aproximadamente 10 minutos (2 – 25 keV) e *Soft X-Ray Camera* (SXC) com precisão de 30 segundos de arco (0,5 - 10 keV) [1].

Foi o primeiro satélite a poder, em seu interior, determinar a localização de um GRB, o que permitiu a análise de (afterglows) mais rapidamente, segundos após o evento. Outra propriedade importante é o anti-solar pointing, que facilita a análise dos eventos por outros telescópios, pois os GRBs detectados estarão sempre na região noturna da Terra [22].

- Descobertas

Observou o primeiro *afterglow* ótico de um GRB curto (GRB 050709) e o primeiro evento - GRB 030329 - a ser associado, sem dúvidas, a uma supernova Ic. Também se verificou, por meio de análises espectrais, de *redshift*, galáxias hospedeiras, entre outras propriedades, que os *X-Ray flashes* descobertos pelo BeppoSAX são GRBs pouco luminosos [22].

Swift

- Lançamento: 2004

- Especificações

Composto por três instrumentos:

1. *Burst Alert Telescope* (BAT): possui 32.768 elementos detectores de CdZnTe com tamanho 4 x 4 x 2mm, produzindo uma área sensível de 5200

cm^2 . Detecta os GRBs e faz as medidas básicas – duração, posição, fluência, fluxo, entre outras. É capaz de realizar medidas de posição com 4 minutos de arco de precisão. É sensível no intervalo 15 - 150 keV [3].

2. *X-Ray Telescope* (XRT): especializado em medidas espectrais dos afterglows, principalmente na faixa dos raios X. Possibilita o estudo desses eventos desde aproximadamente 20 s até semanas após o GRB. Também pode fornecer a posição com 5 segundos de arco de precisão. Atua na faixa 0,2 - 10 keV [5].
3. *Ultraviolet/Optical Telescope* (UVOT): designado para o estudo de afterglows na faixa do visível e ultravioleta. É capaz de determinar localizações com 0,5 segundos de precisão. [4].

O Swift tem capacidade para reconhecer um evento como GRB em poucos segundos e logo se reposicionar para poder estudá-lo [12].

- Descobertas

Detectou o primeiro *afterglow* em raios X de um GRB curto. Por meio deste, o GRB 050509b foi associado à galáxias vermelhas (com pouca formação estelar) [12].

Fermi Gamma-Ray Space Telescope

- Especificações

O instrumento principal *Large Area Telescope* (LAT) é sensível no intervalo 20 MeV – 300 GeV e possui uma área efetiva de incidência normal de 9500 cm^2 . É capaz de localizar GRBs com uma precisão de até 10 minutos de arco [9]. O estudo dos GRBs

é feito, principalmente, pelo Gamma-Ray Burst Monitor (GBM), que é composto por dois tipos detectores: 12 peças de NaI(Tl) com dimensões 1,27 cm (espessura) x 12,7 cm (diâmetro), atuando na faixa 8 keV - 1 MeV, e 2 peças de BGO com 12,7 cm x 12,7 cm, sensível no intervalo 200 keV – 40 MeV [11].

- Descobertas

Detectou um GRB no mesmo local e 0,4 s após o LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) ter observado ondas gravitacionais. A probabilidade de não estarem conectados é de 0,22%, como calculado pelo grupo do Fermi [14]. Além disso, detectou o evento (GRB130427A) mais luminoso (fótons de até 94 GeV) e mais longo [7].

Agile

- Lançado em abril de 2007
- Composto por 3 instrumentos [21]:
 1. The Gamma-Ray Imaging Detector (GRID): especializado na formação de imagens. É sensível na faixa 30 MeV – 50 GeV e funciona, basicamente, por meio da formação de pares elétron-positron em um *tracker* de silicone e tungstênio. Capaz de determinar posições com precisão de aproximadamente 15 minutos de arco.
 2. The hard X-ray Imager (Super-AGILE): formação de imagens em raios X. Atua no intervalo 18 – 60 keV. Capaz de determinar posições com precisão de aproximadamente 1-2 minutos de arco.

3. The Mini-Calorimeter: faz medidas de energia. Composto por 30 barras de CsI(Tl) dispostas em duas camadas. Sensível no intervalo 0,35 – 50 MeV.

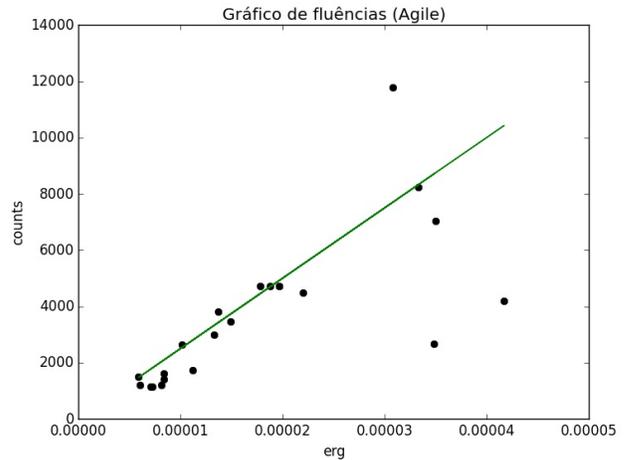


Figura 2: Gráfico que correlaciona as fluências em counts e em erg para o Agile.

V. CONSTRUÇÃO DO CATÁLOGO

Os dados utilizados na construção do catálogo foram os de tempo (T50 e T90), coordenadas galácticas, fluência (erg cm^{-2}) e fluxo (fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) dos catálogos de GRBs listados abaixo juntamente com a descrição das alterações feitas nos dados originais.

Do Batse¹ foram utilizados apenas os GRBs concomitantemente presentes nas partes: *Basic*, *Duration* e *Flux and Fluence*, ou seja, os GRBs que estão em uma ou duas partes, mas não nas outras, foram excluídos. Ao todo, usaram-se 1971 GRBs desse catálogo, pois são aqueles que possuem maior confiabilidade (não são, por exemplo, emissões solares).

¹Catálogo obtido no site <http://gamma-ray.msfc.nasa.gov/batse/grb/catalog/current/>

No caso do Swift² foi necessário converter as coordenadas de equatoriais (ascensão reta e declinação) para galáctica (longitude e latitude). Isto foi feito por meio da rotina SkyCoord do pacote Astropy. O mesmo também precisou ser feito para os dados do Agile³.

Também foi necessário transformar as unidades da fluência de counts para erg cm^{-2} , da seguinte forma:

1. Primeiro, obteve-se o coeficiente angular do melhor ajuste ao gráfico que correlaciona a fluência em counts e a fluência em erg cm^{-2} para os GRBs cujo último valor é fornecido pelo artigo [16], como pode ser visto na figura 2;
2. Em seguida, dividiu-se a fluência em counts pelo coeficiente encontrado. Esse passo foi particularmente necessário no processamento dos dados do Agile.

Além disso, no processo deve-se notar a existência de GRBs em comum entre o Swift e o Agile. Nesse caso, foram consideradas as coordenadas do primeiro, por serem mais precisas. Para os GRBs com denominações distintas em cada um, utilizou-se a nomenclatura do Swift.

Para fechar, os dados do Telescópio Fermi⁴ também precisaram de uma conversão de coordenadas e uma identificação dos eventos coincidentes com os catálogos do Swift e Agile.

VI. ANÁLISE ESTATÍSTICA DESTE NOVO CATÁLOGO

Com os dados do catálogo foram feitos alguns gráficos relacionando informações dos vários catálogos utilizados. Primeiramente, verificou-se a

distribuição isotrópica no céu, independente do instrumento usado para a detecção, da duração ou do fluxo. Na figura 3 temos um mapa, em projeção Mollweide, com todos os eventos do catálogo. Nitidamente não há regiões especialmente povoadas, entretanto, mais que por um exame visual, testes de isotropia já foram conduzidos demonstrando isso, veja por exemplo [10]. Vale também ressaltar, analisando as figuras 4 a 7, que para a fluência também não há direção preferencial.

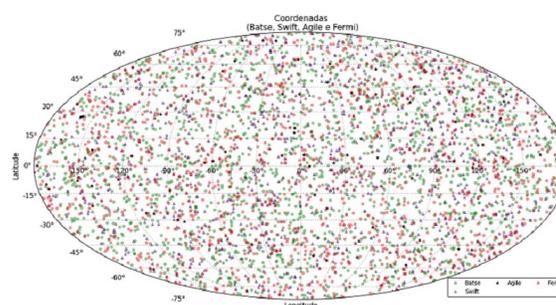


Figura 3: Mapa em projeção Mollweide e em coordenadas Galácticas de todos os eventos detectados pelos instrumentos do Batse, do Agile, do Swift e do Fermi.

Por outro lado, ao se graficar a distribuição temporal dos eventos, vemos que é claramente bimodal (ou seja, há dois picos no gráfico, em que o primeiro representa os eventos de curta duração e o segundo, os longos). Gráficos como o mostrado na figura 8, que relacionam duração com fluência e fluxo também mostram a existência de duas famílias distintas de eventos.

Note que no entanto, ao graficar outras características também listadas no catálogo, como é feito na figura 9, outras famílias aparecem, indicando que talvez existam outras populações de GRBs, que fogem ao modelo de eventos do tipo *short* ou *long*. Pode ser que ao explorar as características já me-

²Catálogo obtido no site http://swift.gsfc.nasa.gov/archive/grb_table/

³Catálogo obtido no site <http://www.asdc.asi.it/mcalgrbrcat/>

⁴Catálogo obtido no artigo [11]

didados dos eventos que fazem parte destas famílias, entendamos a sua natureza.

Já as figuras de 10 a 12 mostram algumas curvas de correlação, onde se vê informações combinadas de fluência e duração.

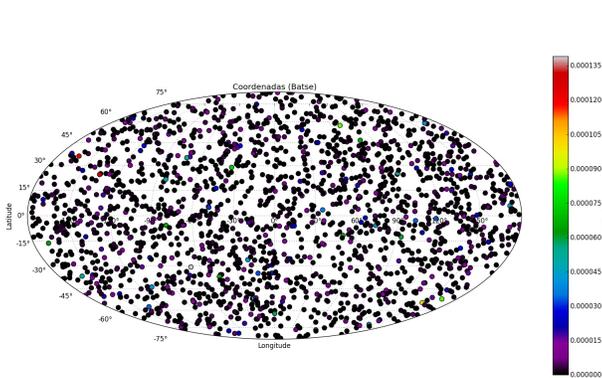


Figura 4: Mapa em projeção Mollweide e em coordenadas Galácticas para os eventos do Batse com a cor dos pontos determinada pela fluência 3.

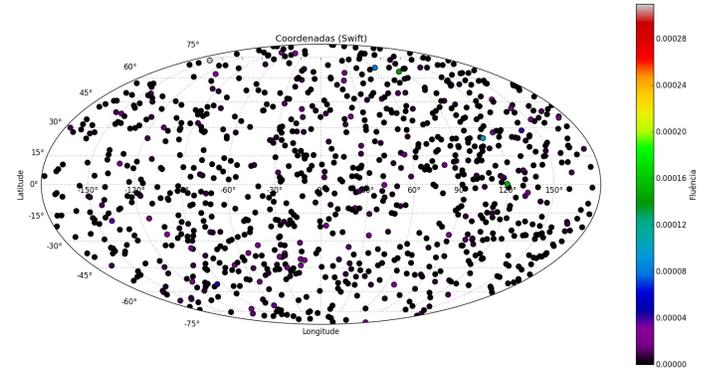


Figura 6: Mapa em projeção Mollweide e em coordenadas Galácticas para os eventos do Swift com a cor dos pontos determinada pela fluência.

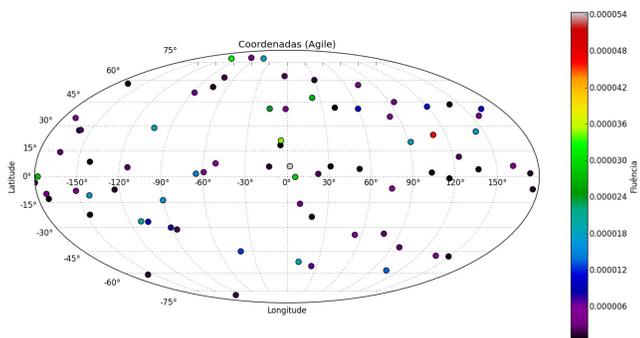


Figura 5: Mapa em projeção Mollweide e em coordenadas Galácticas para os eventos do Agile com a cor dos pontos determinada pela fluência.

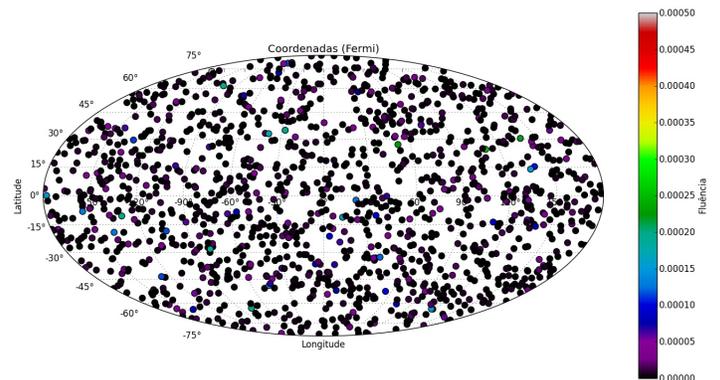


Figura 7: Mapa em projeção Mollweide e em coordenadas Galácticas para os eventos do Fermi com a cor dos pontos determinada pela fluência.

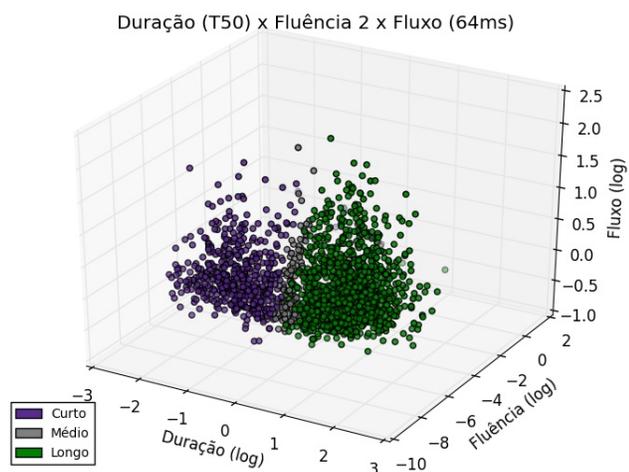


Figura 8: Gráfico de Duração x Fluência x Fluxo com os dados do Batse. Para construí-lo, foram utilizados o tempo T50, a fluência 2 e o fluxo 1 (64ms).

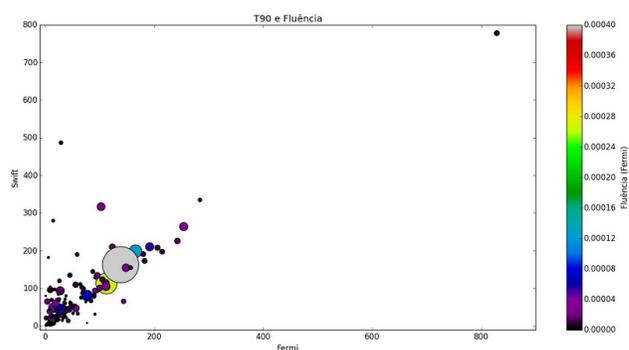


Figura 10: Gráfico de tempo T90 para os GRBs em comum entre o Fermi e o Swift com a cor dos pontos determinada pela fluência do Fermi e o tamanho, pela fluência do Swift.

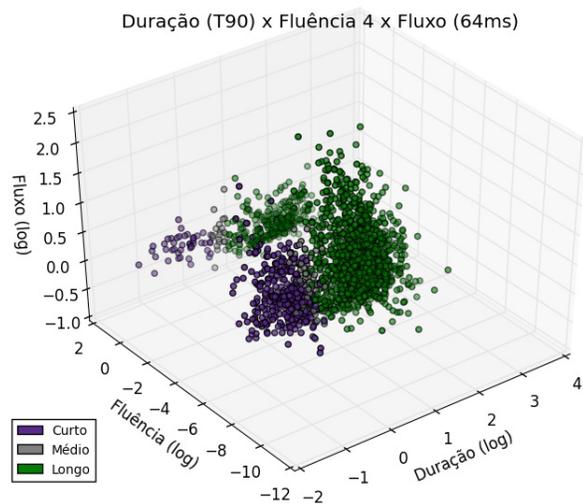


Figura 9: Gráfico de Duração x Fluência x Fluxo com os dados do Batse. Para construí-lo, foram utilizados o tempo T90, a fluência 4 e o fluxo 1 (64ms).

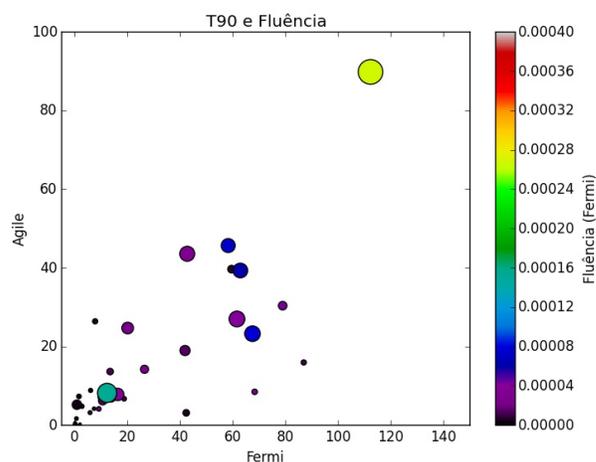


Figura 11: Gráfico de tempo T90 para os GRBs em comum entre o Fermi e o Agile com a cor dos pontos determinada pela fluência do Fermi e o tamanho, pela fluência do Agile.

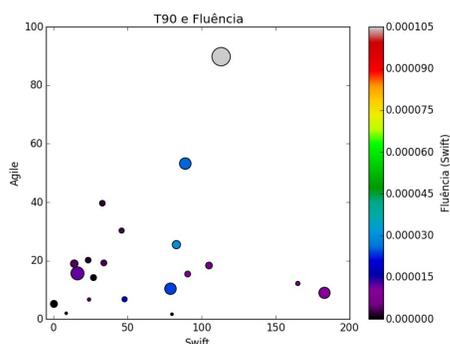


Figura 12: Gráfico de tempo T_{90} para os GRBs em comum entre o Swift e o Agile com a cor dos pontos determinada pela fluência do Swift e o tamanho, pela fluência do Agile.

VII. CONCLUSÕES

O catálogo unificado de GRBs está disponível publicamente em labcosmologiaunb.org e a medida que novos eventos forem detectados ele será atualizado. Além de dados, o catálogo conta com cabeçalho que ajuda o usuário, qualquer que seja, a processar estes dados. É importante dizer que online há um conjunto muito mais detalhado de informações que aquelas aqui presentes.

Pela nossa análise dos eventos, é possível perceber que os GRBs realmente seguem duas po-

pulações, ambas isotropicamente distribuídas no céu. Entretanto, ao se olhar a distribuição destes eventos tendo em mente o fluxo em várias bandas, nota-se peculiaridades que merecem atenção. Assim, uma segunda fase deste trabalho será voltado a compreender estas questões.

Em termos da sua aplicabilidade no estudo da Cosmologia, de posse do catálogo aqui produzido alguém poderá fazer estudos de correlação cruzada com traçadores da estrutura em grande escala, tais como mapas de potencial gravitacional gerados a partir da observação de lentes gravitacionais fracas, ou mesmo a partir de catálogos de aglomerados de galáxias, o que é mais usual.

AGRADECIMENTOS

RSAB agradece ao PROIC/DPP/UnB, enquanto que ISF agradece ao CNPq, pelo projeto PDE(234529/2014-08), e à FAPDF pelo projeto 0193.000868/2015, referente ao edital 03/2015. Agradecemos também aos criadores das ferramentas Python utilizadas, tais como WinPython, Astropy e matplotlib, e por fim as equipes dos telescópios Batse, Swift, Fermi, Hete-2, BeppoSAX e Agile.

REFERÊNCIAS

- [1] <http://space.mit.edu/HETE/instruments.html>. Acessado: 11/07/2016.
- [2] Appendix g to the nasa research announcement for the compton gamma ray observatory guest investigator program. http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/nra/appendix_g.html. Acessado: 11/07/2016.
- [3] Swift's burst alert telescope (bat). http://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/bat_desc.html. Acessado: 11/07/2016.
- [4] Swift's ultraviolet/optical telescope (uvot). http://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/uvot_desc.html. Acessado: 11/07/2016.

- [5] Swift's x-ray telescope (xrt). http://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/xrt_desc.html.
Accessado: 11/07/2016.
- [6] B. P. Abbott and *et al.* Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*, 116(6):061102, February 2016.
- [7] M. Ackermann and *et al.* Fermi-LAT Observations of the Gamma-Ray Burst GRB 130427A. *Science*, 343:42–47, January 2014.
- [8] Lorenzo Amati. The beposax gamma-ray burst monitor response matrix and its application to the study of cosmic gamma-ray bursts. *Università di Roma "La Sapienza", Dottorato di Ricerca in Astronomia*, 1999.
- [9] W. B. Atwood and *et al.* The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-Ray Space Telescope Mission. *The Astrophysical Journal*, 697:1071–1102, June 2009.
- [10] A. Bernui, I. S. Ferreira, and C. A. Wuensche. On the Large-Scale Angular Distribution of Short Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 673:968–971, February 2008.
- [11] P Narayana Bhat and *et al.* The third fermi gbm gamma-ray burst catalog: the first six years. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 223(2):28, 2016.
- [12] Joshua S Bloom. *What are gamma-ray bursts?* Princeton University Press, 2011.
- [13] W. R. Brown, M. J. Geller, S. J. Kenyon, and M. J. Kurtz. Discovery of an Unbound Hypervelocity Star in the Milky Way Halo. *The Astrophysical Journal*, 622:L33–L36, March 2005.
- [14] V. Connaughton and *et al.* Fermi GBM Observations of LIGO Gravitational Wave event GW150914. *ArXiv e-prints*, February 2016.
- [15] Carl Eugene Crouthamel, Freddy Adams, and Richard Dams. *Applied gamma-ray spectrometry*. Pergamon Press, 1975.
- [16] M. Galli and *et al.* AGILE mini-calorimeter gamma-ray burst catalog. *Astronomy & Astrophysics*, 553:A33, May 2013.
- [17] Elizabeth Howell. What is a wolf-rayet star? <http://www.universetoday.com/24736/wolf-rayet-star/>. Accessado: 11/07/2016.
- [18] C. Kouveliotou and *et al.* Correlations between duration, hardness and intensity in GRBs. In C. Kouveliotou, M. F. Briggs, and G. J. Fishman, editors, *American Institute of Physics Conference Series*, volume 384 of *American Institute of Physics Conference Series*, pages 42–46, August 1996.
- [19] Chryssa Kouveliotou, Charles A Meegan, Gerald J Fishman, Narayana P Bhat, Michael S Briggs, Thomas M Koshut, William S Paciesas, and Geoffrey N Pendleton. Identification of two classes of gamma-ray bursts. *The Astrophysical Journal*, 413:L101–L104, 1993.

- [20] Helmuth Spieler. *Semiconductor detector systems*, volume 12. Oxford university press, 2005.
- [21] M. Tavani and *et al.* The AGILE Mission. *Astronomy & Astrophysics*, 502:995–1013, August 2009.
- [22] Gilbert Vedrenne and Jean-Luc Atteia. *Gamma-ray bursts: the brightest explosions in the universe*. Springer & Praxis Publishing Ltd, 2009.