

Refinamento de órbitas de Objetos Transnetunianos observados pelo levantamento Dark Energy Survey

Doutorando: Martín Banda Huarca

Orientador: Julio Camargo

Coorientador: Ricardo Ogando



Observatório
Nacional



II Encuentro Latinoamericano de e-Ciencia
Cartagena de Indias, Colombia, 3 - 5 de septiembre de 2018

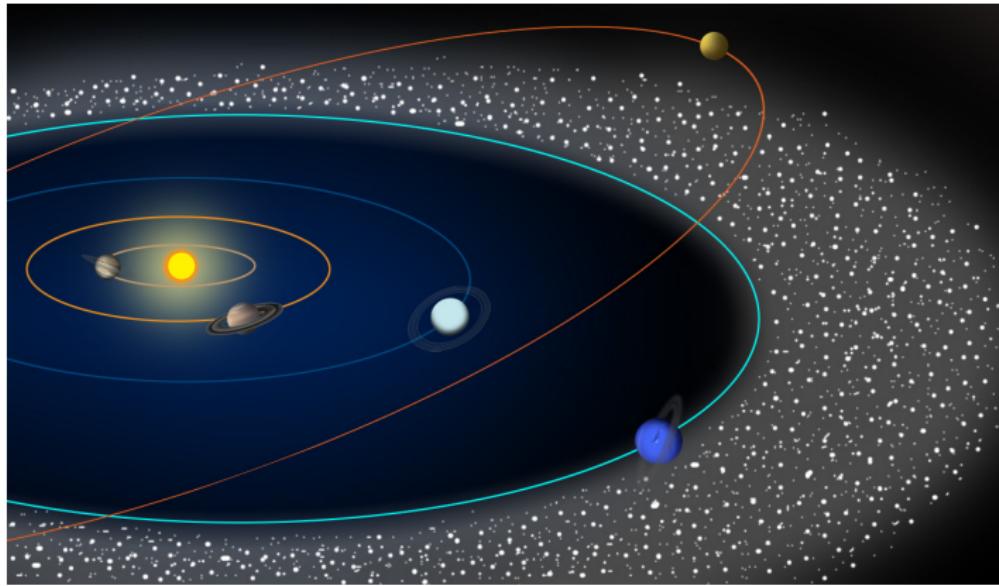
Conteúdo

- 1 Motivação
- 2 Identificação de objetos do Sistema Solar
- 3 Download de CCDs com observações de TNOs
- 4 Astrometria e Refinamento de órbitas
 - Astrometria
 - Refinamento de órbitas
- 5 Aplicação Web
- 6 Conclusões e comentários finais

Motivação

Por quê estudamos TNOs e Centauros?

Objetos em seu estado mais primitivo \Rightarrow fornecem informações da história e evolução do Sistema Solar exterior.



Motivação

Nosso conhecimento atual dos TNOs (atualização: 22/04/2018)
<http://www.johnstonsarchive.net/astro/tnoslist.html>

Parâmetros físicos	2 707 TNOs e Centauros descobertos
Diâmetro	178 (6.6%)
Cor B-R	349 (12.9%)
Tipo de taxonomia	262 (9.7%)
Com satélite	85 (3.1%)

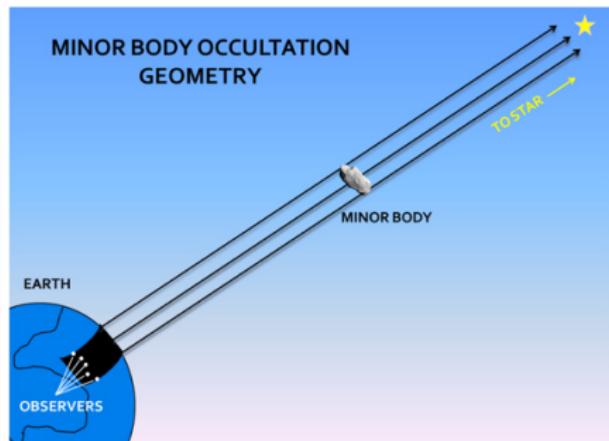
Motivação

Formas de se estudar TNOs

- Imageamento direto em diferentes bandas.
- Espectroscopia.

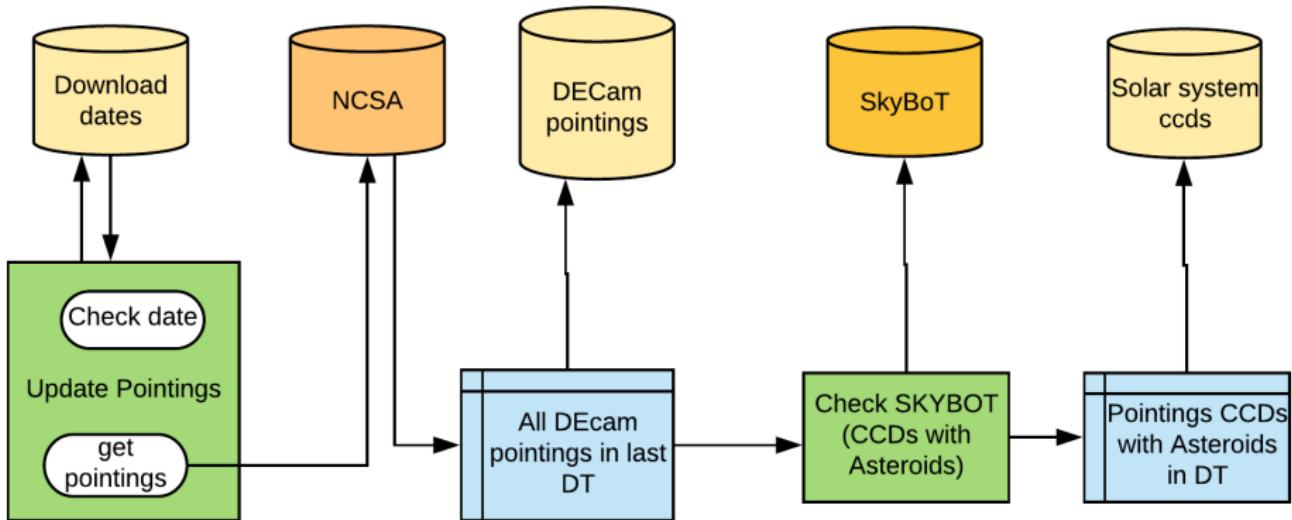
Ocultação estelar

- Consiste em analisar a variação de fluxo de uma estrela quando ela é ocultada por um TNO para um dado observador.
- É necessário prever a ocorrência desses eventos.
- O tamanho da sombra projetada na superfície terrestre corresponde ao tamanho do corpo projetado no plano do céu.



Extraída do: Santos P. et al., 2016.

Identificação de objetos do Sistema Solar

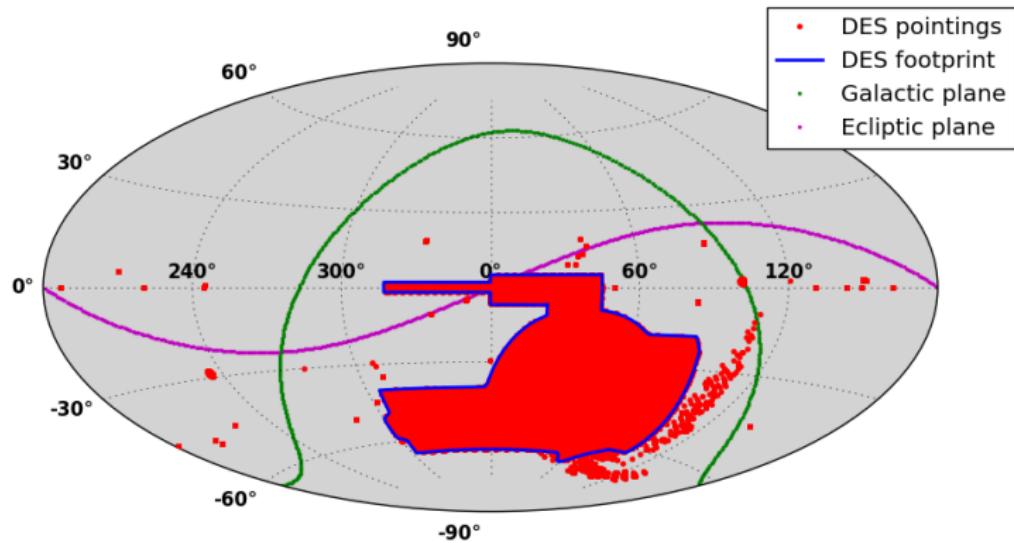


Fluxograma do processo de identificação de objetos do Sistema Solar a partir dos apontamentos feitos pelo DES.

Identificação de objetos do Sistema Solar

Dark Energy Survey - DES

O projeto DES fez um levantamento multibanda profundo, cobrindo 5 mil graus quadrados durante cinco anos (Setembro de 2013 até Fevereiro de 2018) para investigar os efeitos da energia escura ($\sim 300 \text{ GB} \times \text{noite}$).



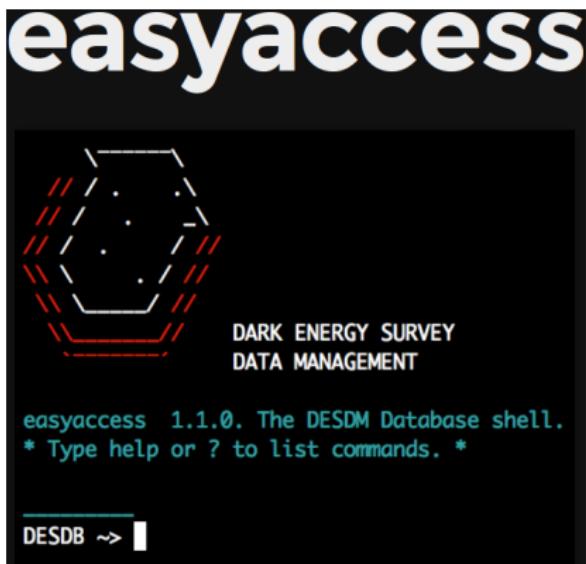
Identificação de objetos do Sistema Solar

Acessando a base de dados do DES

Através do serviço *easyaccess*, baixamos informações* dos metadados dos pouco mais de 4 milhões de frames CCDs (~ 70 mil imagens) geradas pelo DES nos três primeiros anos de funcionamento.

*Informações

- Ascensão Reta
- Declinação
- Data de observação
- PATH
- Nome do arquivo
- Tempo de exposição
- Filtro usado



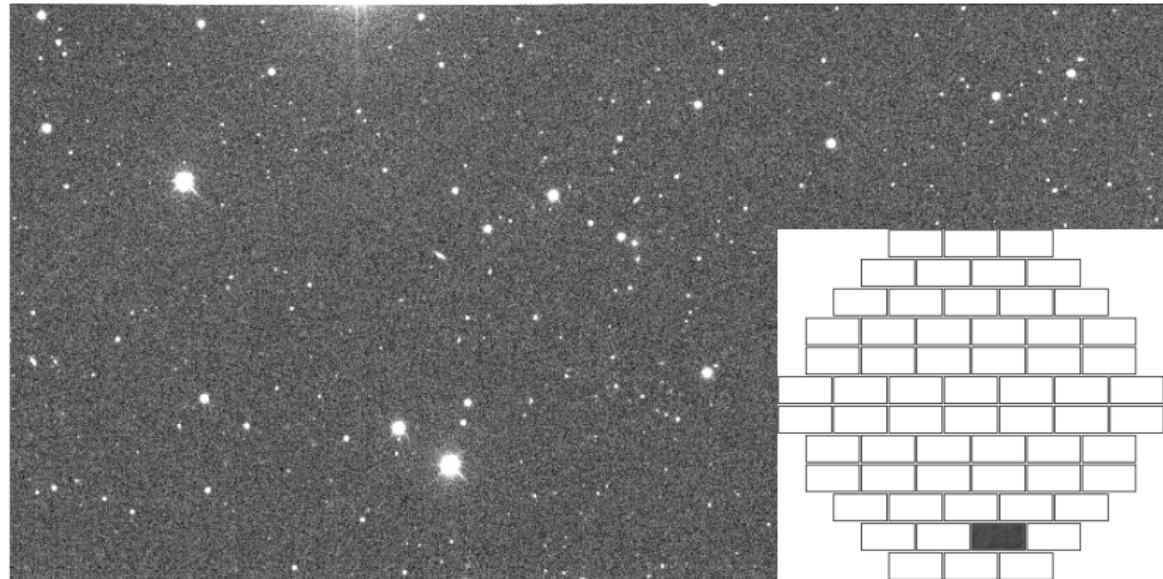
Identificação de objetos do Sistema Solar

ra_cent	dec_cent	date_obs	exptime	band	ccdnum
0.162192	-0.782987	2012-11-10 02:09:45.855327	15	g	58
0.473665	-0.454688	2012-11-10 02:10:28.175678	15	r	49
359.540949	-0.781913	2012-11-10 02:11:11.394607	15	i	56
0.162588	-0.454686	2012-11-10 02:11:53.92411	15	z	48
359.540723	-0.453624	2012-11-10 02:12:36.740399	20	Y	46



Identificação de objetos do Sistema Solar

ra_cent	dec_cent	date_obs	exptime	band	ccdnum
0.162192	-0.782987	2012-11-10 02:09:45.855327	15	g	58
0.473665	-0.454688	2012-11-10 02:10:28.175678	15	r	49
359.540949	-0.781913	2012-11-10 02:11:11.394607	15	i	56
0.162588	-0.454686	2012-11-10 02:11:53.92411	15	z	48
359.540723	-0.453624	2012-11-10 02:12:36.740399	20	Y	46



Identificação de objetos do Sistema Solar

Serviço: Sky Body Tracker - SkyBoT

Identifica objetos conhecidos do Sistema Solar numa região (de forma circular ou retangular) do céu para uma determinada data.

Cone Search Resolver getAsterClass Status

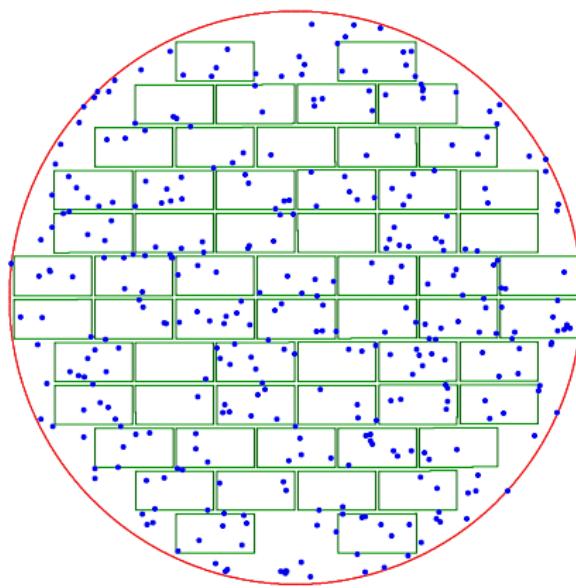
.: Cone Search Query Form .:

Epoch (UTC):	2015-01-09 00:54:21.160960
Target:	49.532336 +0.7380369999999999
Objects:	<input checked="" type="checkbox"/> Asteroids <input type="checkbox"/> Planets <input type="checkbox"/> Comets
Radius (arcsec):	1077x539
Observer:	W84 <small>(IAU code list)</small>
Filter:	0
Output:	<input type="radio"/> Object <input type="radio"/> Basic <input type="radio"/> Obs <input checked="" type="radio"/> All

Figura 1: Interface gráfica do serviço SkyBoT.

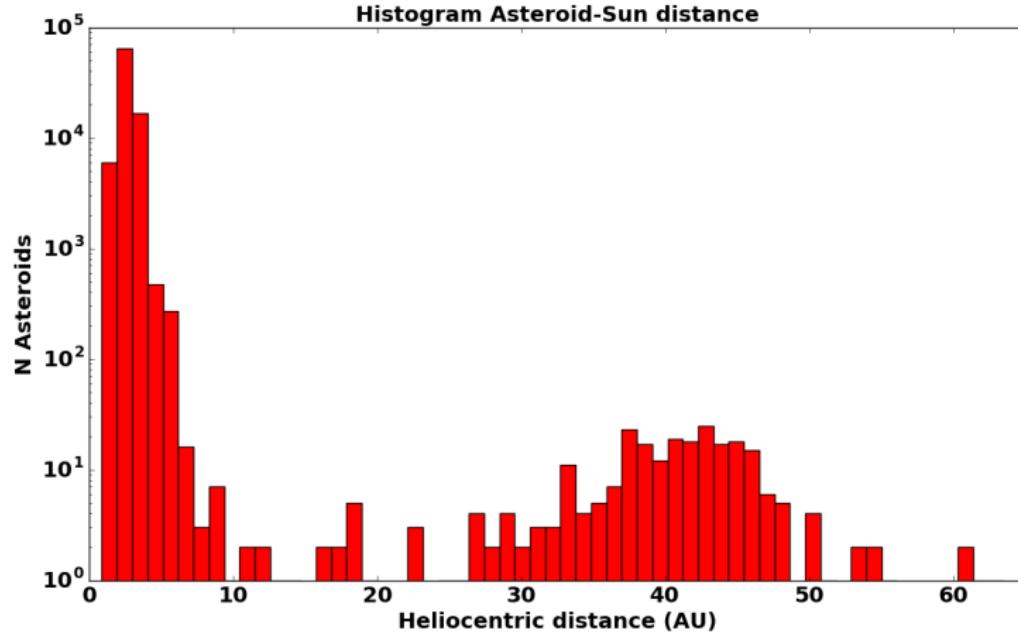
Identificação de objetos do Sistema Solar

FoV da identificação	N	IMCCE	LIneA
CCDs	4 281 223	180 dias	20 dias
Apontamentos	71 028	4 dias	10 horas



Identificação de objetos do Sistema Solar

Identificação	N	Observações
Small Solar System Objects	140 000	1 700 000



Download de CCDs com observações de TNOs

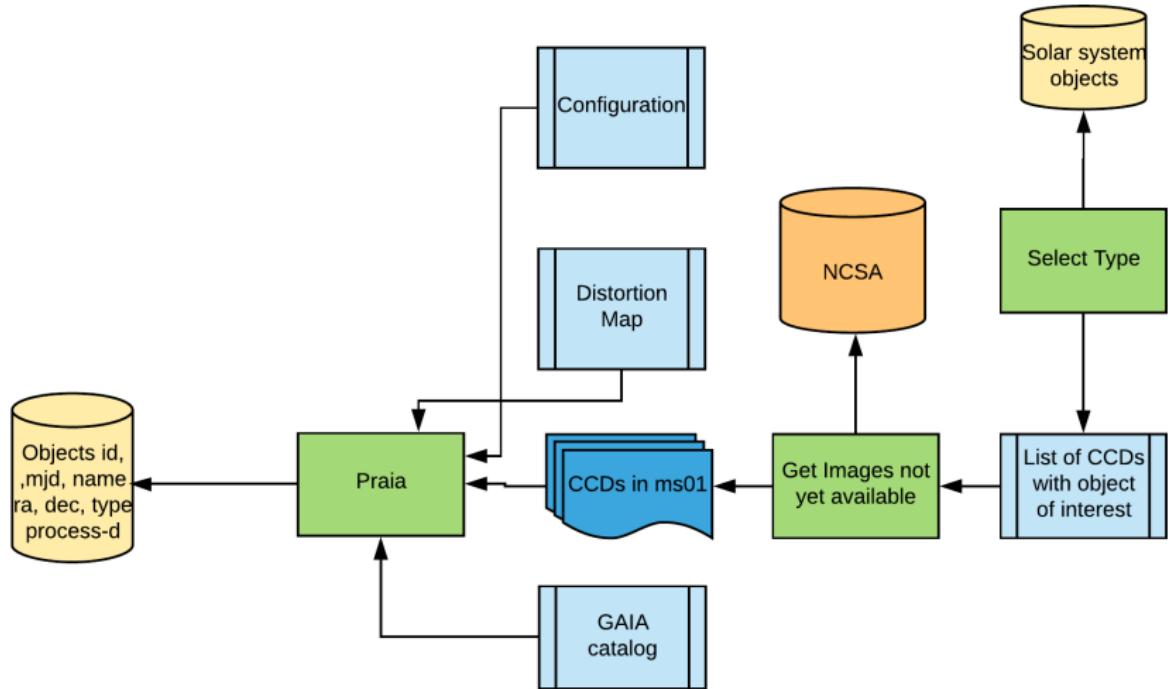
Seleção de objetos de interesse

Identificamos todos os frames CCDs que contém observações de TNOs e Centauros para baixá-los e armazená-los nas máquinas do LIneA.

Objetos	N	CCDs	Tempo	Espaço Disco
TNOs	177	10 859	30 horas	900 GB
Centauros	25	1 705	5 horas	140 GB
TOTAL	202	12 564	35 horas	~ 1 TB

Estatística dos objetos identificados nos frames CCDs, tempo de download e espaço no disco rígido necessários para o armazenamento.

Download de CCDs com observações de TNOs



Fluxograma do processo de download de CCDs com observações de objetos de interesse.

Astrometria

Definição

Parte da astronomia que se dedica à determinação de posições de corpos celestes, bem como das respectivas variações temporais dessas posições.

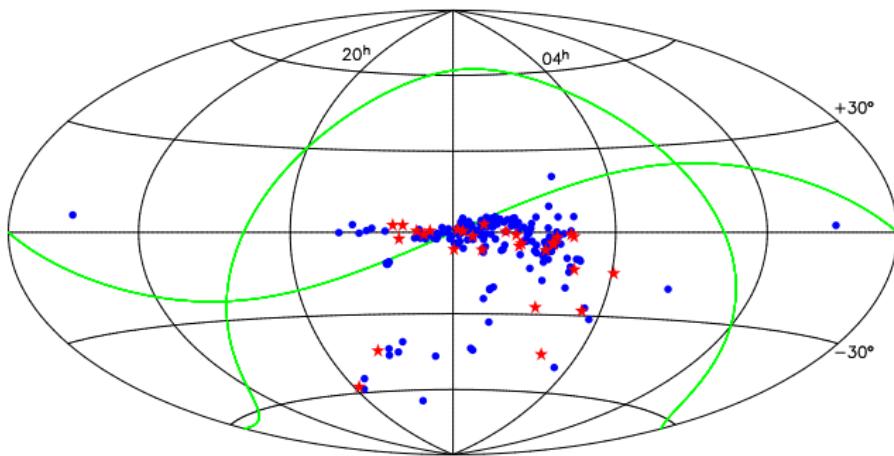
Plataforma para Redução Automática de Imagens Astronômicas

PRAIA, desenvolvido em fortran77, determina astrometria de alta precisão e fotometria de um grande número de imagens CCDs utilizando um catálogo de referência.

Paralelização do PRAIA

- Python: O módulo *Multiprocessing* permite o uso simultâneo dos processadores de uma determinada máquina.
- HT Condor: Gerenciador de recursos do cluster e jobs.

Objetos	Frames CCDs	PRAIA	
		Serial	Paralelo
270 TNOs	10 859	3 días	4.5 horas
67 Centauros	1 705		



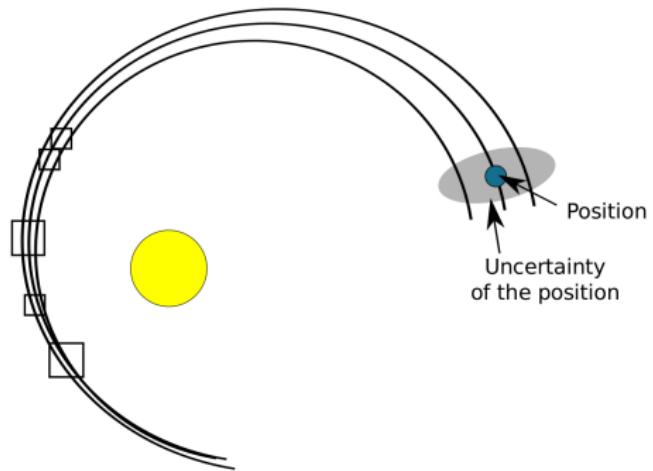
Refinamento de órbitas

NIMA - Numerical Integration of Motion of an Asteroid

Faz a integração numérica Gauss-Radau para resolver a equação de movimento, considerando a perturbação do Sol e dos oito planetas.

INPUT

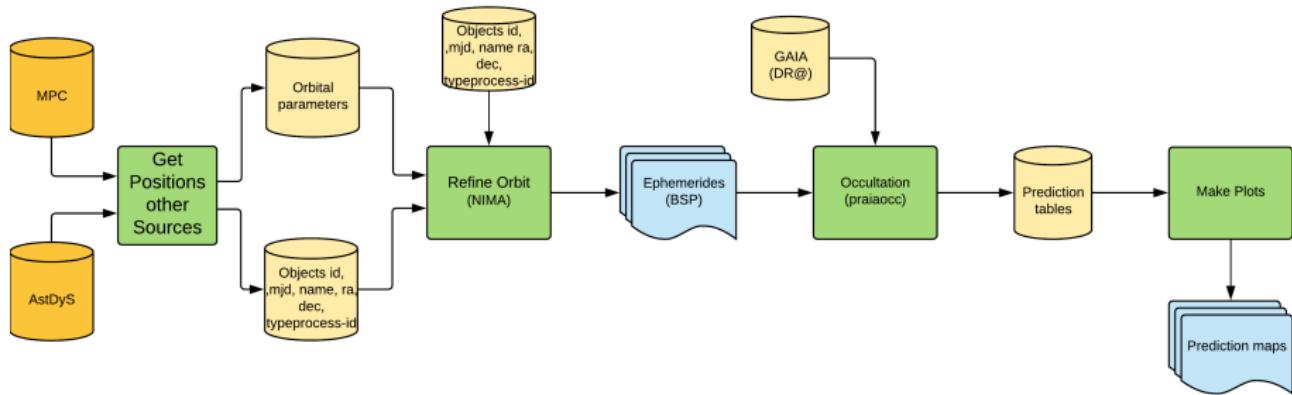
- ① Posições antigas
- ② Parâmetros orbitais iniciais
- ③ Posições determinadas
- ④ Ephemerides do JPL (bsp files)



Refinamento de órbitas

Separação

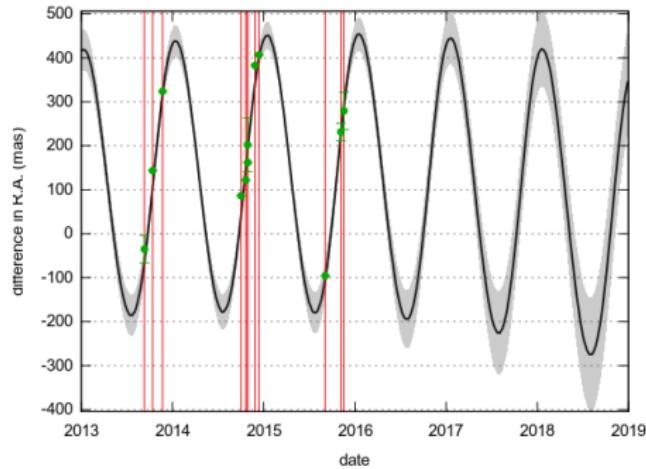
- Processos que tem dependências da rede.
- Processos de cálculos.



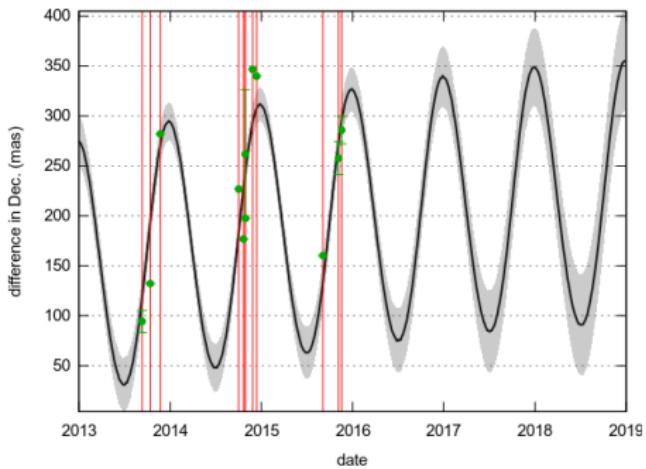
Fluxograma do processo de refinamento de órbitas para fazer previsões de eventos de ocultações estelares.

Refinamento da órbita do TNO 1999 RB₂₁₆

NIMA-JPL // (137295)1999RB216



NIMA-JPL // (137295)1999RB216



Diferença (linhas pretas) entre a órbita determinada com NIMA e a fornecida pelo JPL. Os pontos verdes representam a diferença entre a posição observada e a efeméride JPL, região cinza representa a incerteza na efeméride NIMA.

Predição de ocultação estelar

Object	Diam	Tmax	dots	<>	ra_off_obj_de	ra_of_star_de
1999RB216	147 km	8.2s	60 s	<>	+0.0 +0.0	+0.0 +0.0



year-m-d	h:m:s UT	ra_dec_J2000_candidate	C/A	P/A	vel	Delta	G*	long
2018-12-03	04:03:14.000	02 11 24.3325 +04 44 01.423	0.069	165.47	-17.87	32.98	19.8	260

Aplicação Web

Solar System Objects Portal

Uma aplicação web está sendo desenvolvido para centralizar e gerenciar as etapas:

- Ingestão de dados
- Execução de processos
- Visualização dos resultados

Frontend - Framework React JS

É responsável pelas interfaces e todas as interações do usuário com o sistema. Evitando:

- Uso de linhas de comando
- Manipulação de arquivos
- Execução de códigos

Backend - Python 3.6 e Django 2.0

É responsável por responder as requisições feitas através da interface e direcionar para o componente.

- Consulta no banco de dados
- Leitura e/ou escritura de arquivos
- Acesso a serviço externo

Gerencia todos os pedidos de execução de processos guardando:

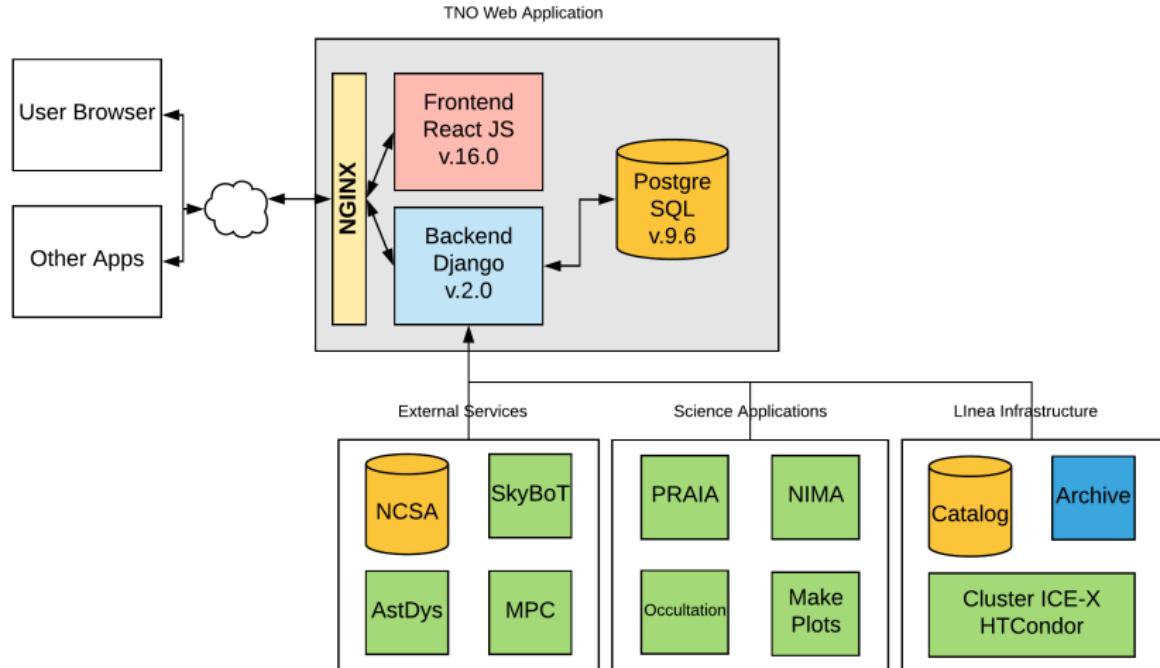
- Status
- Duração
- Usuário que solicitou
- Configurações usadas
- Resultados obtidos

Processamento

Cada aplicação científica vai ficar encapsulada em container Docker.
Exemplo de processamento do PRAIA (código em Fortran).

- ① Solicitação de execução via interface
- ② Backend:
 - Prepara os dados de entrada
 - Cria o arquivo de configuração (parâmetros escolhidos na interface)
 - Passa para um gerenciador de workflows para execução em paralelo no Cluster.
- ③ Container gera resultados e o backend os guarda.
- ④ Destrução do container.

Aplicação web



Desenho da aplicação web do projeto TNO, mostrando as diferentes etapas, serviços, ferramentas e clusters.

Aplicação web - Pointings

LIneA TNO

Pointings

Log out

DASHBOARD

REGISTRATION

POINTINGS

SEARCH SSO

FILTER OBJECTS

DOWNLOAD

ASTROMETRY

REFINE ORBIT

PREDICTION OF OCCULTATIONS

POST RESULTS

LIGHT CURVE ANALYSIS

Number of CCDs for each band

Number of CCDs in intervals of exposure time (seconds)

4281223 TOTAL OF CCDs

LATEST POINTING

8137 NUMBER OF CCDS DOWNLOADED

4273086 NUMBER OF CCDS NOT DOWNLOADED

Pointings in sky

List with all pointings

complete list with all entries recorded in the database. can search for expnrm and filename

Search By expnrm, filename		Search	Clear	Filters			
OBSERVATION DATE	FILENAME	CDD NUMBER	BAND	EXPOSURE TIME	RA_CENT	DEC_CENT	DOWNLOADED
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c60_r2380p01_immasked.fits	60	Y	5	180.618847	-46.304102	⚠
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c06_r2380p01_immasked.fits	6	Y	5	181.290127	-44.661122	⚠
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c01_r2380p01_immasked.fits	1	Y	5	180.636573	-44.496242	⚠
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c18_r2380p01_immasked.fits	18	Y	5	182.169197	-44.986207	⚠
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c32_r2380p01_immasked.fits	32	Y	5	179.741137	-45.474778	⚠
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c26_r2380p01_immasked.fits	26	Y	5	180.185845	-45.314835	⚠
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c09_r2380p01_immasked.fits	9	Y	5	180.632955	-44.824129	⚠
Wed, 24 Feb 2016 03:00:00 GMT	D00519543_Y_c41_r2380p01_immasked.fits	41	Y	5	180.846961	-45.648115	⚠

Martín Banda (ON & LIneA)

DES: Refinamento de órbitas de TNOs

25 / 30

Aplicação web - Search Small Solar System Objects

LIneA TNO

Search SSSO

Log out

DASHBOARD

REGISTRATION

POINTINGS

SEARCH SSSO

FILTER OBJECTS

DOWNLOAD

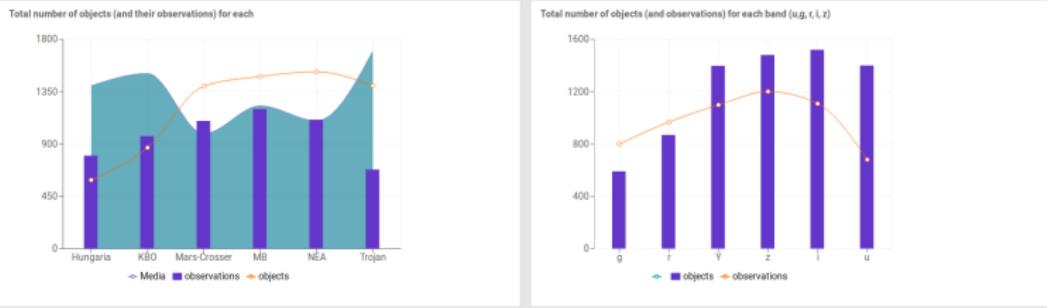
ASTROMETRY

REFINE ORBIT

PREDICTION OF OCCULTATIONS

POST RESULTS

LIGHT CURVE ANALYSIS



11204 TOTAL OF CCDs

11204 TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS OF ALL IDENTIFIED OBJECT

2013 RR98 OBJECT WITH THE LARGEST NUMBER OF OBSERVATIONS

SkyBot Output
complete list with all entries recorded in the database. can search for object name and number

OBJECT NAME	NUMBER	RA (DEG)	DEC (DEG)	EXPOSURE	DYNAMIC CLASS	VISUAL MAGNITUDE	ERROR ON THE POSITION
2002 TP36	142508	325.08369	-39.35102	370575	MB+Middle	20.3	0.207
2011 YD1	-	325.09189	-39.20148	370575	MB+Middle	21.3	0.238
2012 XZ16	-	327.21394	-39.95219	372002	Hungaria	21.9	0.757
1998 US47	74331	327.18496	-39.89043	372002	MB+Outer	18.8	0.219
2008 AH29	315506	327.10640	-39.76791	372002	MB+Inner	20.6	0.06

Aplicação web - Refine Orbits

LIneA
Laboratório de Informática Aplicada
TNO

1999 RB216 - 137295

Status	READY
Process	6 - Lista com objeto 1999 RB216
Executed	14 hours ago
Execution Time	59 seconds
Size	2.0 MB

DASHBOARD

REGISTRATION

POINTINGS

SEARCH SSSO

FILTER OBJECTS

DOWNLOAD

ASTROMETRY

REFINE ORBIT

PREDICTION OF OCCULTATIONS

POST RESULTS

LIGHT CURVE ANALYSIS

diff_nima_jpl_Dec.png

NIMA-JPL // (137295)1999RB216

Difference in Dec (mas)

Date

diff_nima_jpl_RA.png

NIMA-JPL // (137295)1999RB216

Difference in R.A. (mas)

Date

omc_sep_all.png

Residual in R.A.(arcsec)

Date

omc_sep_recent.png

Residual in R.A.(arcsec)

Date

Conclusões e comentários finais

- Como membros externos da colaboração do DES, temos acesso aos dados con certo tempo antes de serem disponibilizados ao público.
- Baixamos as informações de 4 281 223 frames CCDs.
- Identificamos em torno de 140 mil SSSO.
- Encontramos 1 708 335 observações dos SSSO nos frames CCDs.
- baixamos 12 564 frames CCDs que contém observações de 270 TNOs e 67 Centauros.
- Determinamos posições para 177 TNOs e 25 Centauros e refinamos suas órbitas.
- Gerenciamento das ferramentos de ciência e os serviços externos necessários.
- Aplicação de uma metodologia de programação paralela.
- Automatização dos processos.

Obrigado!

Paper em processo de submissão a Astronomical Journal

FERMILAB-PUB-XXXXXX
DES-2018-XXXX

ASTROMETRY AND OCCULTATION PREDICTIONS TO TRANSNEPTUNIAN AND CENTAUR OBJECTS OBSERVED WITHIN THE DARK ENERGY SURVEY

M.V. BANDA-HUARCA,^{1,2} J.I.B. CAMARGO,^{1,2} J. DESMARIS,³ R.L.C. OGANDO,^{1,2} R. VIEIRA-MARTINS,^{1,2} M. ASSAFIN,^{4,2}
L.N. DA COSTA,^{1,2} G.M. BERNSTEIN,⁵ M. CARRASCO-KIND⁶ A. DRILICA-WAGNER,⁷ R.S. GOMES^{1,2} M. MORSELLI-GYSI,^{8,2}
F. BRAGA-RIBAS,^{8,2,1} M.A.G. MALA,^{1,2} D.W. GERDES,^{9,10} AND DES PEOPLE – PLEASE ADD YOUR NAME

¹Observatório Nacional/MCTIC, Rua Gal. José Cristino, 77, 20921-400, Rio de Janeiro, Brazil

²Laboratório International de e-Astronomia, Rua Gal. José Cristino, 77, 20921-400, Rio de Janeiro, Brazil

³LESIA, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS, Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, Univ. Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, France

⁴Observatório do Valongo/UFRJ, Ladeira do Pedro Antônio, 43, 20080-090, Rio de Janeiro, Brazil

⁵Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, USA

⁶Department of Astronomy, University of Illinois, MC-221, 1002 W. Green Street, Urbana, IL 61801, USA

⁷Fermi National Accelerator Laboratory, P.O. Box 500, Batavia, IL 60510, USA

⁸Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/DAFIS), Rua Sete de Setembro 3165, 80230-901, Curitiba, Brazil

⁹Department of Physics, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

¹⁰Department of Astronomy, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

(Received XXXXXX XX, XXXX; Revised XXXXXX XX, XXXX; Accepted XXXXXX XX, XXXX)

Submitted to AJ

ABSTRACT

Transneptunian objects (TNOs) are a source of invaluable information to access the history and evolution of the outer solar system. However, observing these faint objects is a difficult task. As a consequence, important properties such as size and albedo are known for only a small fraction of them. Now, with the results from deep sky surveys and the Gaia space mission, a new exciting era is within reach as accurate predictions of stellar occultations by numerous distant small solar system bodies become available. From them, diameters with kilometer accuracies can be determined. Albedos, in turn, can be obtained from diameters and absolute magnitudes. We use observations from the Dark Energy Survey (DES) from November 2012 until February 2016, amounting to 4292847 CCD frames. We searched them for all known small solar system bodies and recovered a total of 202 TNOs and Centaurs, 63 of which have been discovered by the DES collaboration until the date of this writing. Their positions were determined using the Gaia Data Release 2 as reference and their orbits were refined. Stellar occultations were then predicted using these refined orbits plus stellar positions from Gaia. These predictions are maintained, and updated, in a dedicated web service. The techniques developed here are also part of an ambitious preparation to use the data from the Large Synoptic Survey Telescope (LSST), that expects to obtain accurate positions and multiband photometry for tens of thousands of TNOs.

Keywords: surveys – astrometry – ephemerides – occultations – Kuiper belt: general