

A observação do centro galáctico e as novas ferramentas do conhecimento com “Inteligência”

A. Amorim

3 de Julho de 2015

Índice

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

O que Construimos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

Equipa do consórcio GRAVITY

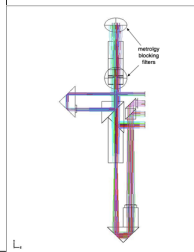
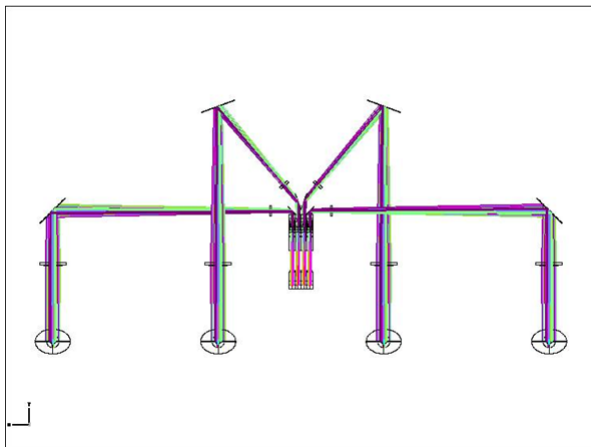
Eisenhauer, Perrin, Brandner, Straubmeier, Rousset-Perraut, Amorim, Abuter, Genzel, Kervella, Böhm, Eckart, Jocou, Garcia, Accardo, Pfuhl, Paumard, Deen, Wank, Moulin, Gordo, Delplancke-Stroebele, Gillessen, Lacour, Henning, Wiest, Magnard, Anugu, Finger, Blind, Clénet, Hippler, Yazici, Ventura, Lima, Garcia, Burtscher, Gendron, Huber, Lazareff, Gitton, Kok, Rousset, Klein, Monin, Jakob, Sturm, Habois, Laun, Benisty, Jochum, Haug, Fedou, Lenzen, Kern, Kellner, Lapeyriere, Neumann, Lizon, Wieprecht, Chapron, Panduro, Mehrgan, Ott, Dembet, Ramos, Schöller, Lippa, Sevin, Rohloff, Stroebele, Weber, Collin, Salzinger, Suarez Valles, Haussmann, Ziegler, Scheithauer, Wittkowski, Hans, Azouaoui, Yang



Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

Reunião e análise do feixe de 4 telescópios



O que Construímos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

Projeto e avaliação da ótica

The screenshot displays the Zemax OpticStudio interface with several key components:

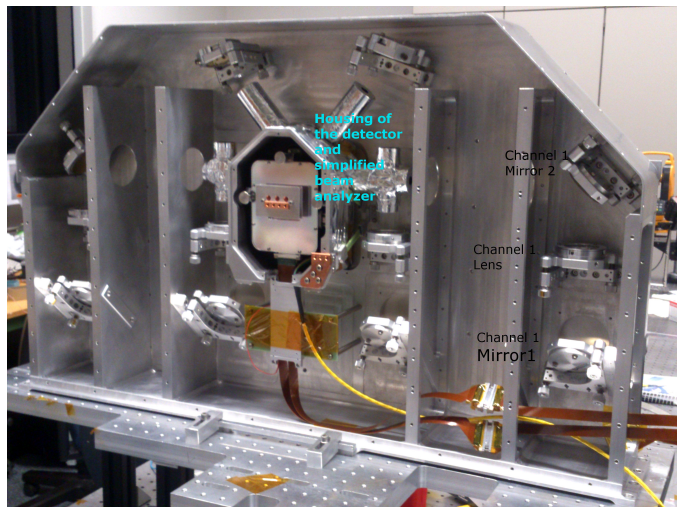
- 3D Model:** A 3D rendering of the optical system showing light rays in various colors (red, green, blue) passing through lenses and mirrors.
- Lens Data Editor: Config 2/16**

Surf.	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass
OBJ	Standard		Infinity	Infinity	
STO	Standard	Entrance pupil/inf	Infinity	0.000	P
2	Paraxial			0.000	
3	Coordinate Br..	Shift	0.000		
4	Standard	Global coord. ref.	Infinity	0.000	
5	Coordinate Br..		0.000		
6	Standard	Field Pupil	Infinity	360.000	
7	Coordinate Br..		0.000		
8*	Standard	MACUP	Infinity	0.000	MIRROR
9	Coordinate Br..			-109.924	V
10*	Standard	CaF2 lenses	-200.000	-4.909	CAF2
11*	Standard		Infinity	0.000	
12	Standard		Infinity	-74.705	F
13	Coordinate Br..		0.000		
14	Coordinate Br..	Element Tilt	0.000		
15*	Standard	MACIM	Infinity	0.000	MIRROR
16	Coordinate Br..	Element Tilt	0.000		
17	Coordinate Br..			314.250	F
18*	Standard	Blocking filter	Infinity	3.000	F_SILICA
19*	Standard		Infinity	30.000	
20	Coordinate Br..			0.000	
21*	Standard	MACBEAM			MIRROR
22	Coordinate Br..				
23*	Standard	Beam ana entrance			F_SILICA
24	Coordinate Br..				
25*	Standard	Split/Dichroic			F_SILICA
26*	Standard				F_SILICA
27	Coordinate Br..				
28	Coordinate Br..				
29*	Standard				F_SILICA
30*	Standard				F_SILICA
31	Coordinate Br..				
- Full Field Spot Diagram 3:** A grid showing the distribution of light spots across the field of view.
- Ray Path Diagrams:** Two diagrams showing the path of light rays through the system, including a top-down view and a side view.

O que Construímos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

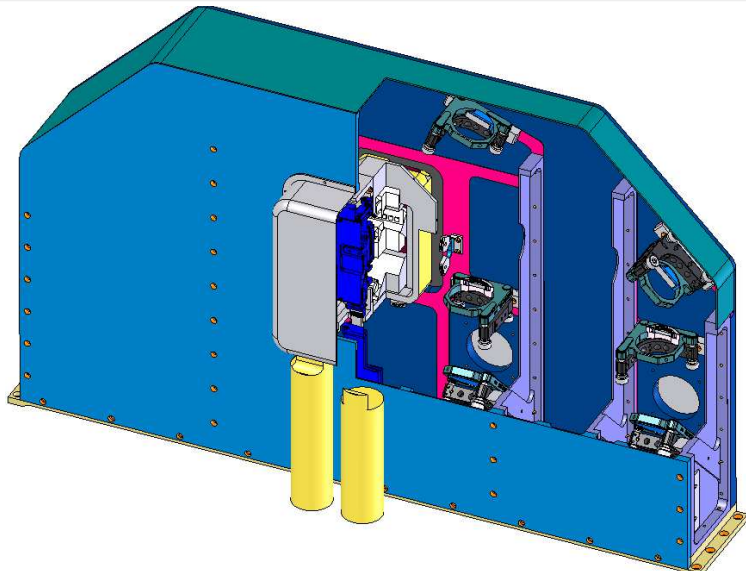
A câmara de infravermelhos



O que Construímos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

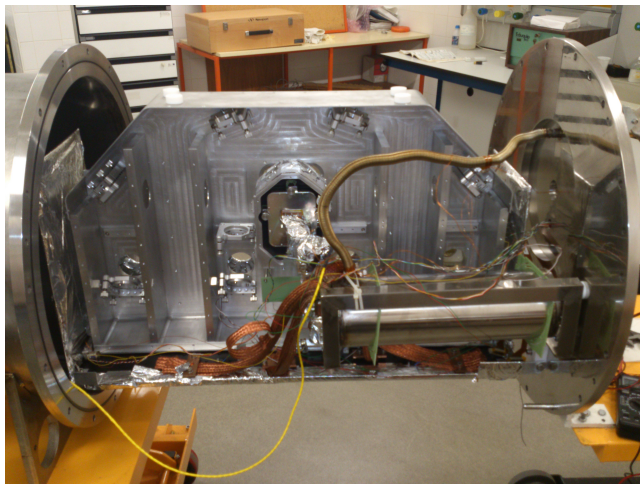
Do projeto óptico ao modelo mecânico



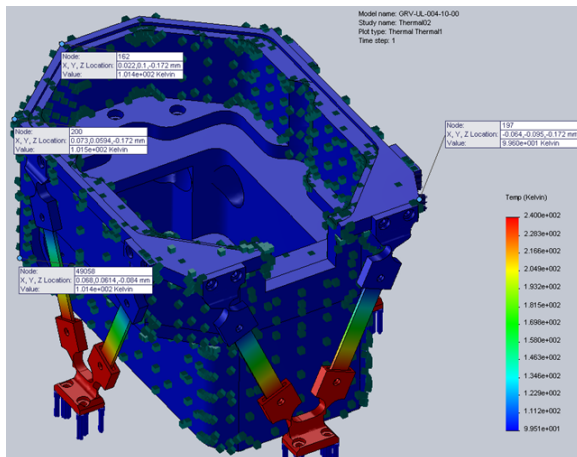
O que Construímos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

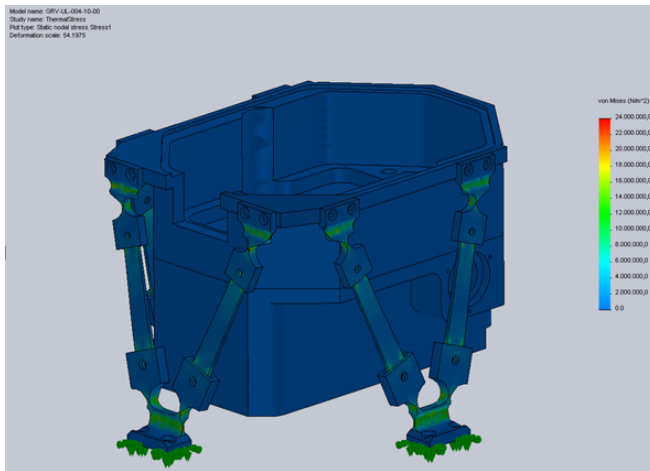
Teste criogénico e validação da câmara



Simulação de criogenia



Simulação Deformações



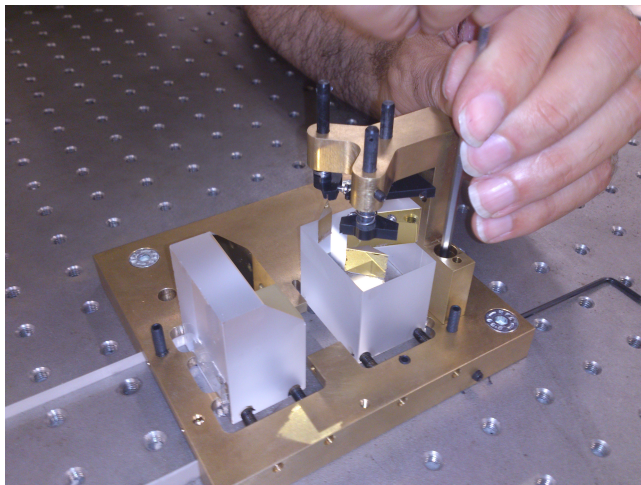
Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

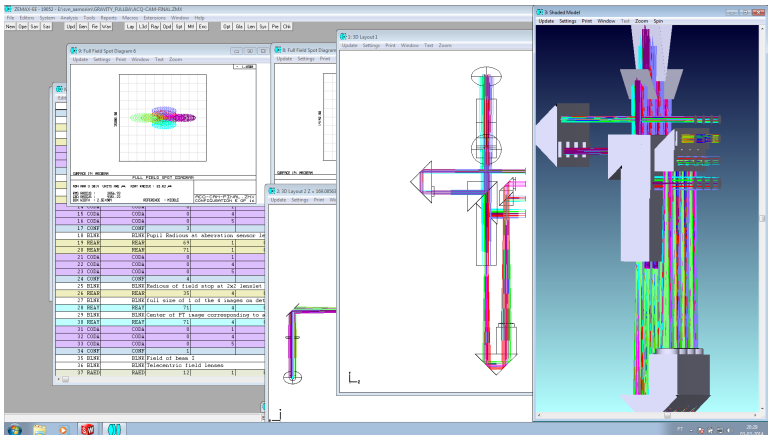
O que Construimos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

Analisador de feixe (versão simplificada)



Projeto e simulação do analisador óptico



- imagem do plano focal, imagem da pupila, imagem em sub-aberturas, no mesmo detetor

Contacto com o nosso saber fazer

Construção Ótica/Coatings



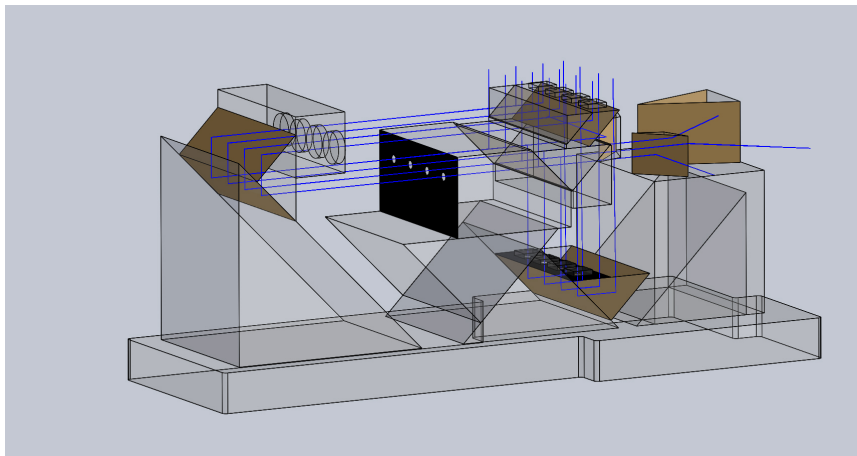
Corte, polimento e colagem – POLO
Coatings – POLO - Vila Real
UTAD - Vila Real

Validação de qualidade de superfície
Interferómetro SIM-FCUL – Lisboa

Validação espectral no infravermelho
Espectrómetro IST - Lisboa

Ferramenta de alinhamento e colagem
Oficina Digital - Santa Iria

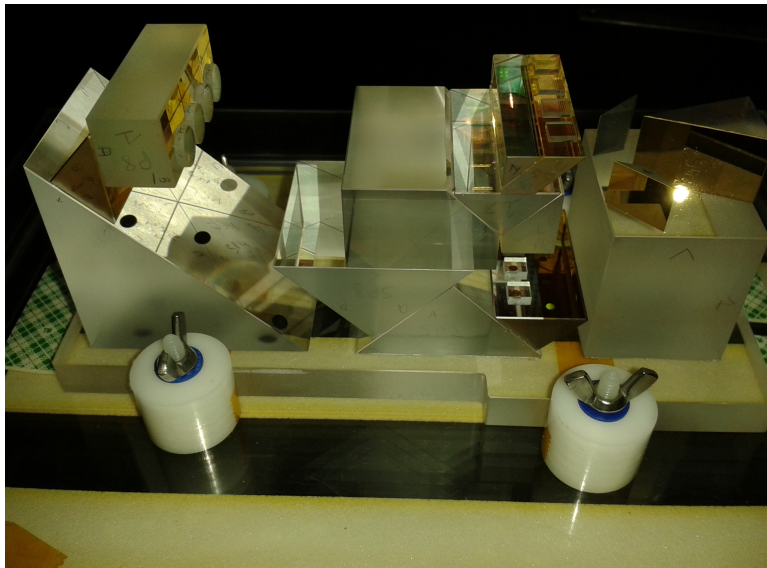
Desenho mecânico



O que Construímos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

Implementação



Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

Propriedades do feixe

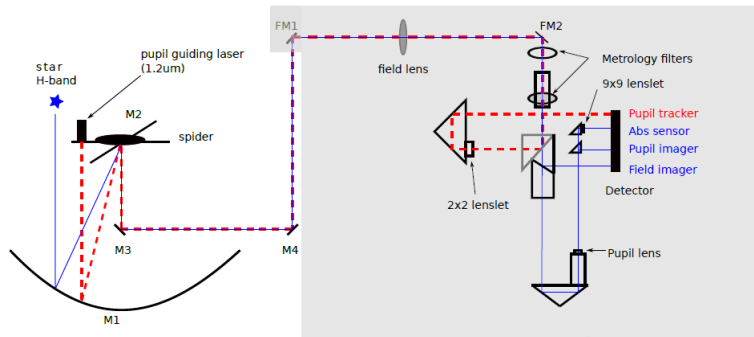
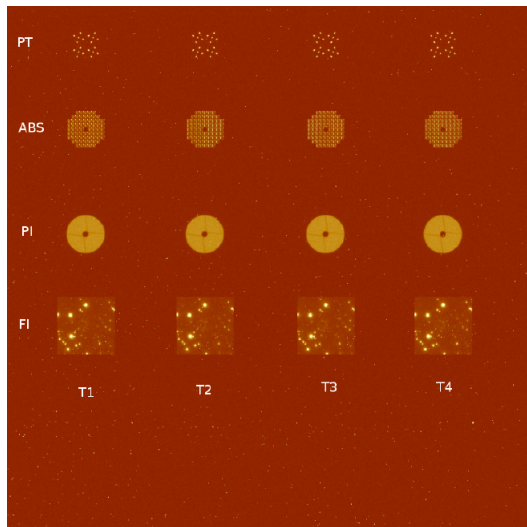
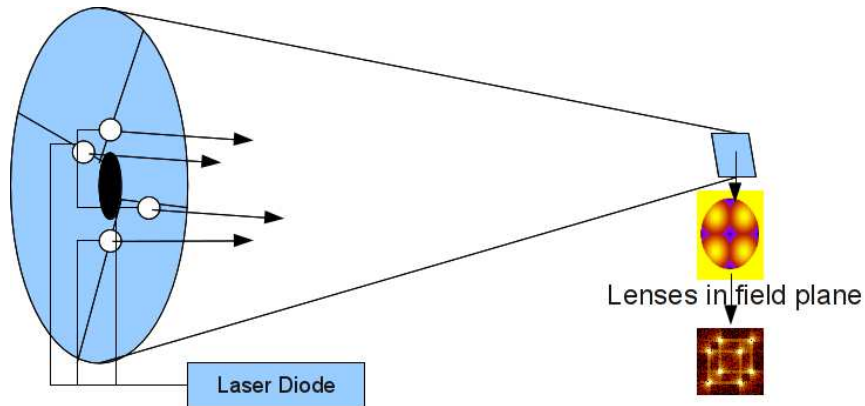


Imagem para análise (1s)



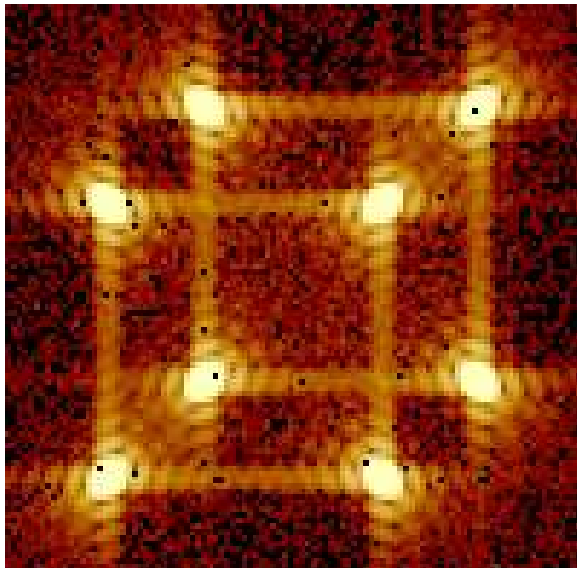
Análise de difração



O que Construímos?
Porquê?
Como?

Uma câmara para 4 telescópios
Um analisador de feixes
Um sistema de processamento de imagem

Imagem através de 4 lentes



Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

A perceção social e política

- “O que é o mundo?” torna-se acessível a instrumentos.
 - 1905, Interpretação do efeito fotoelétrico (Einstein)
 - 1933, Declínio fraco (Enrico Fermi)
 - 1935, Youkawa – física nuclear e troca de piões
- Portugal
 - 1961, Escola de física nuclear: Mecânica Quântica à medicina
- Portugal Europeu (ex: tel. madeira...)
 - 1986, Portugal no CERN, LEP → Z, LHC → Higgs...
 - 1990, Portugal na EURATOM ... ITER
 - 1996-2000, Portugal adere à ESA
 - 2001, Portugal adere no ESO

Neste contexto podemos investigar...

- Constituintes da matéria
- Formação de estrelas
- Estrutura de larga escala do Universo
- Sistema solar e Planetas Extra-solares
- Centros energia do universo (Centro galáctico)
 - 1963 Quasares Radio + ocultação lunar-> 3C 273
 - 1974 Sgr A*, B. Balick an R. Brown, interferometria no rádio.
 - 1995 S2 star in NIR, UCLA e Max Planck for Extra-terrestrial Phy.
 - 2005 S1 to S14in NIR, MPE, Genzel et. al., UCLA Ghez et. al.

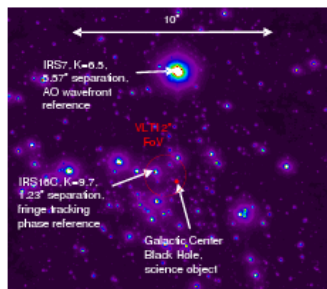
Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

Galáxias, quasares e o centro da via láctea

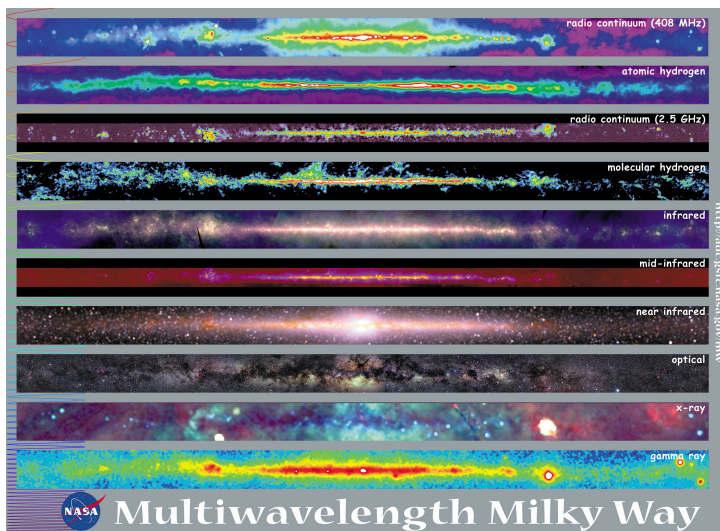


1000 x a luminosidade da Via-Láctea

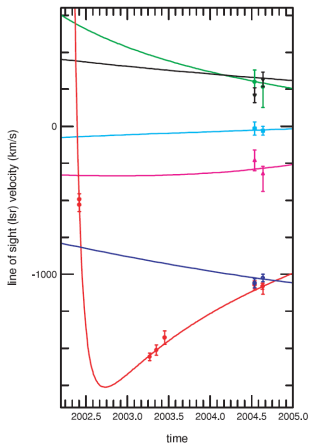
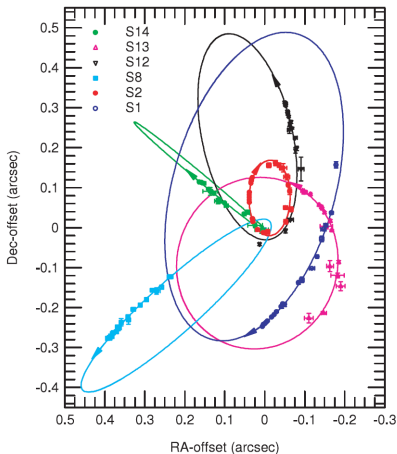


quase oculto

Observação da via láctea



Orbitas no centro galáctico (Estabilidade e marés)

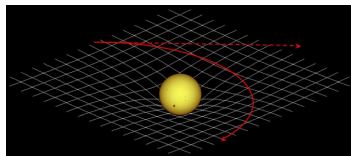


S14 \rightarrow d menor que 6.25 horas luz (\sim diam. orb. Úrano)
 4 milhões M_{sol} \rightarrow buraco negro.

Simulação, Excentricidade e Estabilidade de Orbitas

- + Interessante (x 100 M anos - A. Correia e Laskar):
 - O que existe é o mais provável ou até estável? Marés?
- “The other possibility, ..., consists in a semi-analytical approach.”
- The system of equations ... comprises some 150,000 terms ... does not model the motion, but the averaged motion of orbits.
- It thus can be integrated numerically on a computer using a very large step-size, on the order of 500 years.
- An integration over 200 million years showed that the solar system, and more particularly the system of inner planets (Mercury, Venus, Earth, and Mars), is chaotic, with a Lyapunov time of 5 million years (Laskar, 1989).”

Grandezas



Métrica (distância) relativista de Schwarzschild (sem rotação)

$$ds^2 = \frac{1}{1 - \frac{r_s}{r}} dr^2 + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) - c^2 \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) dt^2$$

distância torna-se infinita no raio de Schwarzschild

$$r = r_s = \frac{2Gm}{c^2}$$

Raio de Schwarzschild

a velocidade de escape é a velocidade da luz

$$E = T + V = \frac{1}{2} m v^2 - G \frac{mM}{r_s} = 0$$

- r_s para o Sol ≈ 3 km
- r_s para a Terra ≈ 9 mm
- r_s para Sgr A* ≈ 12 milhões Km (4 milhões de M_{sol})

Orbitas de fotões com $1.5 r_s$.

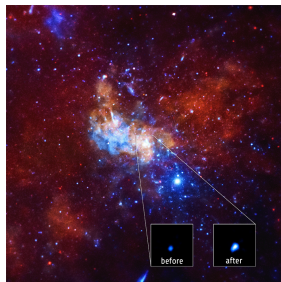
O inesperado

2M Anos atrás, o núcleo galáctico ficou ativo?

FOSSIL IMPRINT OF A POWERFUL FLARE AT THE GALACTIC CENTRE ALONG THE MAGELLANIC STREAM

J. BLAND-HAWTHORN¹

Sydney Institute for Astronomy, School of Physics A28, University of Sydney, NSW 2006, Australia

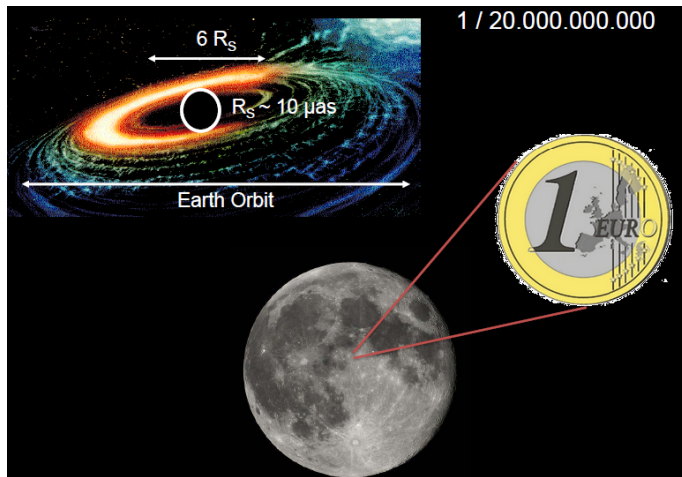


em 2013 clarão no raio X (400)
gás, poeira, cometas?
Gravidade quântica e buracos negros...

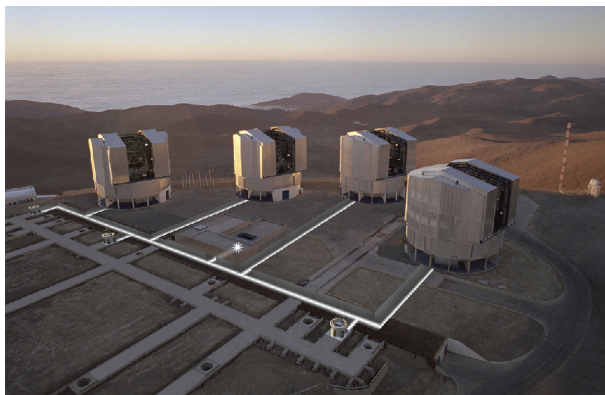
Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

A escala do desafio



Telescópios do ESO 4 UTs para obter 10μ de resolução



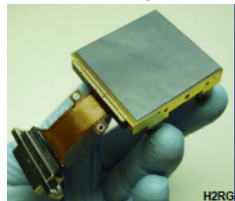
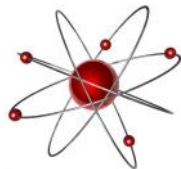
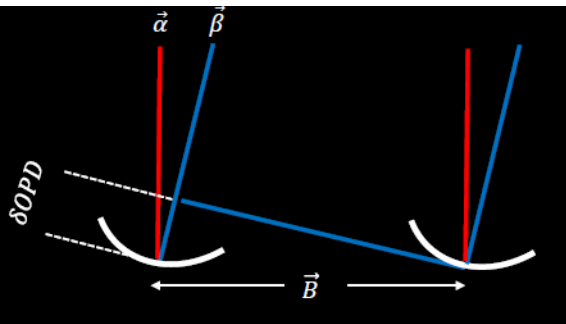
Aerial View of Paranal Observing Platform with VLTI Light Paths

ESO PR Photo 102/01 (18 March 2001)

© European Southern Observatory



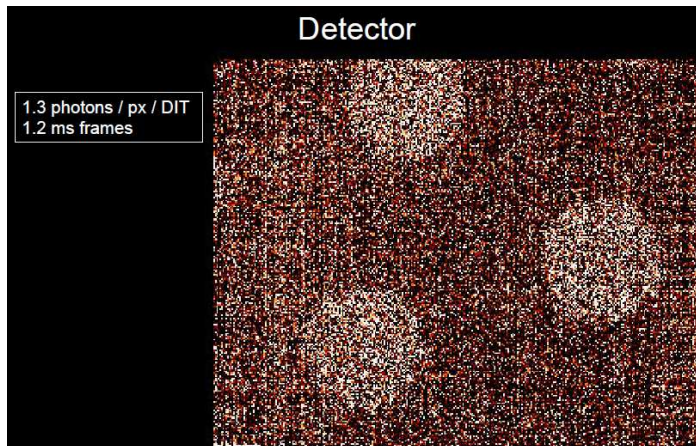
Extremo quântico e Relações de Heisenberg



$$\delta OPD = \vec{B} \cdot (\vec{\alpha} - \vec{\beta})$$

com $\delta OPD \approx 5 \text{ nm}$ e $|\vec{B}| \approx 500 \mu\text{m}$ e $\vec{\alpha} - \vec{\beta} \sim 10 \mu\text{arc. seg.}$

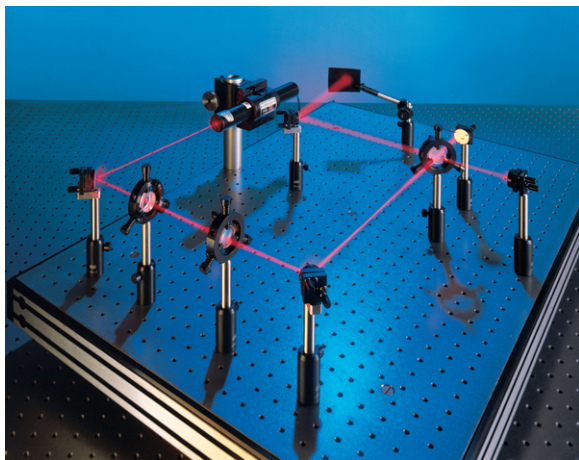
Contar Fotões no Detetor



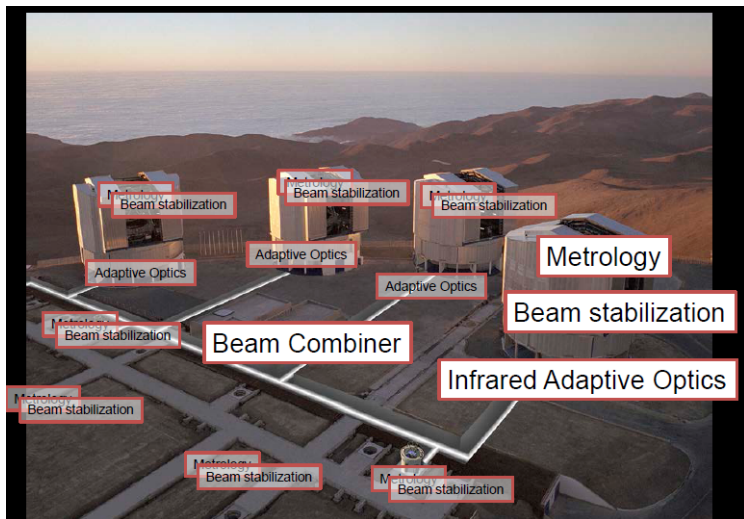
Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - **Compensar e atuar**
 - Obra prima de tecnologia

Interferómetro de “telescópios” sobre uma mesa ótica

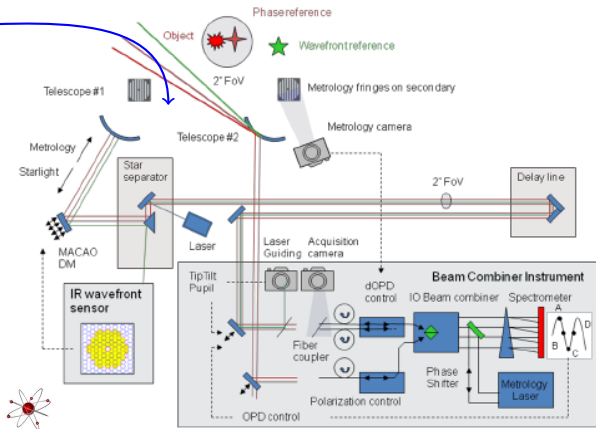


Estabilização



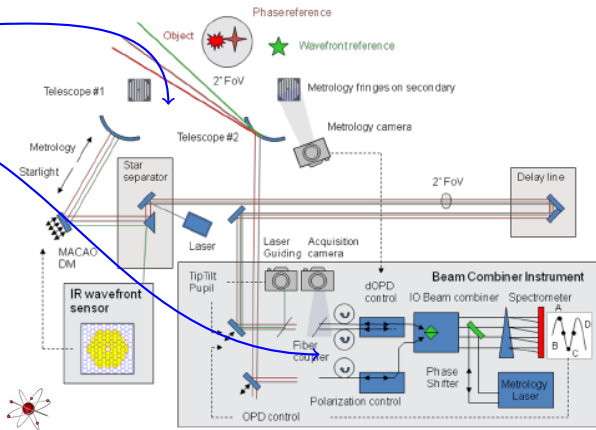
Controlo GRAVITY

- Telescópios
- acoplamento de fibras
- Câmara de aquisição
- Lasers
- Atuadores piezo
- Detetores de posição



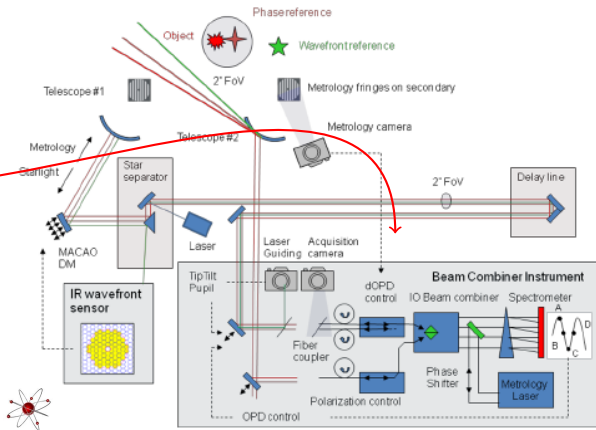
Controlo GRAVITY

- Telescópios
- acoplamento de fibras
- Câmara de aquisição
- Lasers
- Atuadores piezo
- Detetores de posição



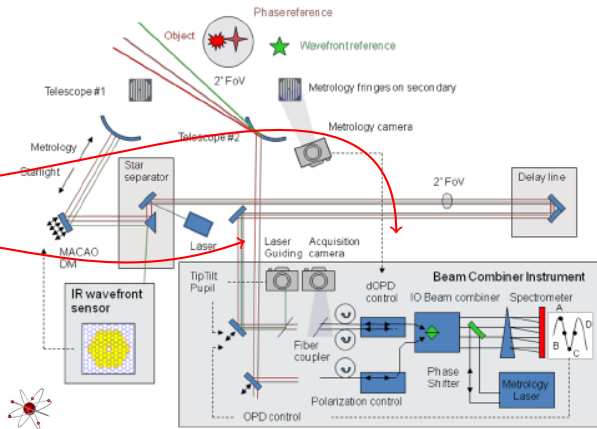
Controlo GRAVITY

- Telescópios
- acoplamento de fibras
- Câmara de aquisição
- Lasers
- Atuadores piezo
- Detetores de posição



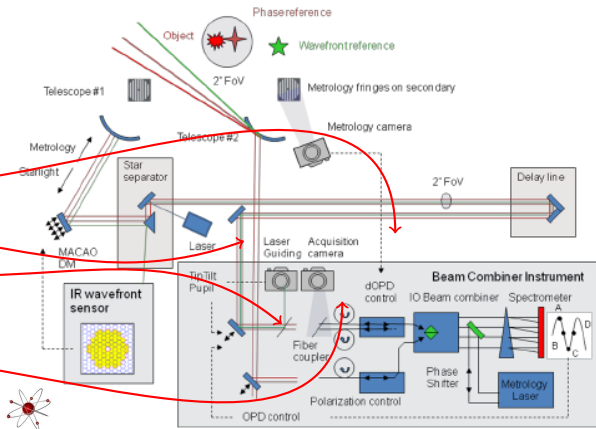
Controlo GRAVITY

- Telescópios
- acoplamento de fibras
- Câmara de aquisição
- Lasers
- Atuadores piezo
- Detetores de posição



Controlo GRAVITY

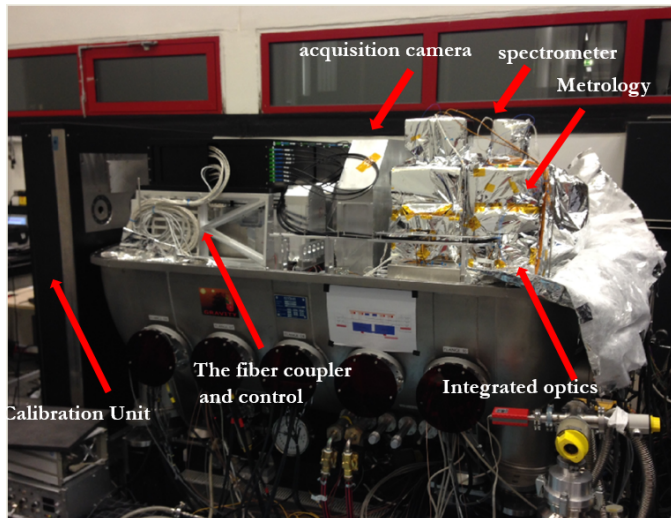
- Telescópios
- acoplamento de fibras
- Câmara de aquisição
- Lasers
- Atuadores piezo
- Detetores de posição



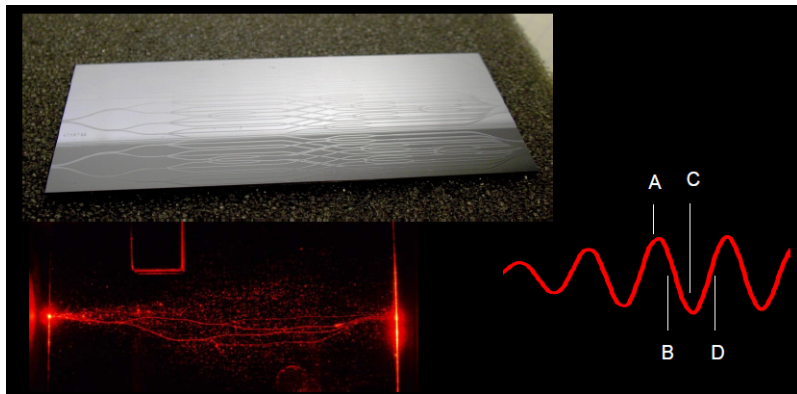
Outline

- 1 O que Construimos?
 - Uma câmara para 4 telescópios
 - Um analisador de feixes
 - Um sistema de processamento de imagem
- 2 Porquê?
 - Motivação nacional
 - Interesse científico
- 3 Como?
 - Interferometria
 - Compensar e atuar
 - Obra prima de tecnologia

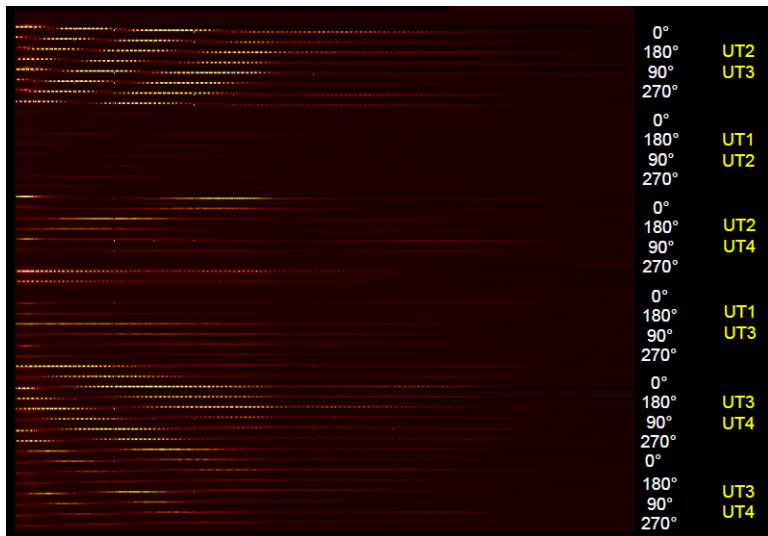
Instrumento complexo



Interferência num circuito impresso



Franjas no espectrómetro em função de λ



Conclusões

- A procura da natureza das coisas gera desafios gigantescos
- Portugal optou por aprender participando. Impacto local?
- O “Monstro” no centro da nossa galáxia é um laboratório de ciência nos limites
- O instrumento GRAVITY é o de que melhor se pode fazer
- Nós projetamos, construimos, participamos e aprendemos