ESPRESSO

Uma Aventura no Deserto de Atacama
An Adventure in the Atacama Desert

Alexandre Cabral

Nuno Cardoso Santos

AGÊNCIA ESPACIAL
PORTUGUESA

A astronomia - um dos mais antigos empreendimentos humanos - tem o poder de maravilhar cada um de nós com a beleza dos céus, de unir a humanidade por detrás do desafio de desvendar os mistérios do Universo, ajudando-nos a encontrar o nosso lugar na grande vastidão do cosmos.

ESPRESSO: Uma Aventura no Deserto de Atacama oferece um mergulho na beleza extraordinária do Deserto de Atacama no Chile e dos seus céus imaculados onde o Observatório Europeu do Sul (ESO) opera o Observatório Paranal - o observatório óptico mais avançado da Terra.

Ao longo das páginas deste livro, somos transportados pela fascinante aventura dos engenheiros e astrónomos portugueses membros da equipa do ESPRESSO durante os trabalhos de construção e comissionamento no Observatório Paranal. Um testemunho verdadeiramente inspirador de trabalho árduo, engenhosidade e, sobretudo, uma celebração do poder da cooperação humana.

Astronomy - one of the most ancient human endeavors - has the power to marvel each one of us with the beauty of the skies, to unite humankind behind the challenge to unveil the mysteries of the Universe helping us to find our place in the great vastness of the cosmos.

ESPRESSO: An Adventure in the Atacama Desert offers a glimpse of the outstanding beauty of the Atacama Desert in Chile and its pristine skies where the European Southern Observatory (ESO) operates the Paranal Observatory - the most advanced optical observatory on Earth.

Throughout the pages of this book, we are transported to the fascinating adventure of Portuguese engineers and astronomers members of the ESPRESSO team during the construction and commissioning works at the Paranal Observatory. A truly inspiring testimony of hard work, ingenuity and above all a celebration of the power of human cooperation.

Ricardo Conde

Presidente da Agência Espacial Portuguesa

President of the Portuguese Space Agency

Edição e tradução de textos / *Editing and translation of texts*
Alexandre Cabral & Nuno Cardoso Santos

Revisão de textos / *Proofreading*
João Retrê, Sérgio Pereira & Jonathan Wiltshire

Grafismo e paginação / *Design and composition*
Elsa Lopes

Impressão / *Printing*
GETBLISS, Lda
www.getbliss.pt

Edição / *Publishing*
Centro de Investigação em Astronomia/Astrofísica
da Universidade do Porto

Depósito Legal / *Legal Deposit*
479331/21
1000 ex.

ISBN 978-972-98162-2-2

Portugal, 2021

ia instituto de astrofísica e ciências do espaço www.iastro.pt

Apoio / *Support*

AGÊNCIA ESPACIAL PORTUGUESA www.ptspace.pt

O Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço reconhece
a participação Portuguesa no projeto ESPRESSO às instituições:

The Institute of Astrophysics and Space Sciences acknowledges
the Portuguese participation in the ESPRESSO project to the institutions:

Ciências ULisboa
FACULDADE DE CIÊNCIAS UNIVERSIDADE DO PORTO
U LISBOA
U.PORTO
FCiências.ID ASSOCIAÇÃO PARA A INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE CIÊNCIAS
Centro de Astrofísica da Universidade do Porto

Este trabalho é financiado por fundos nacionais portugueses através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. e pelo FEDER - Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional - através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização, no âmbito dos projetos: UIDB/04434/2020 & UIDP/04434/2020; POCI-01-0145-FEDER-032113 & PTDC/FIS-AST/32113/2017.

This work is financed by portuguese national funds through FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. and by FEDER through COMETE2020, in the scope of the research grants: UIDB/04434/2020 & UIDP/04434/2020; POCI-01-0145-FEDER-032113 & PTDC/FIS-AST/32113/2017.

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
Lisb@20[20]
COMPETE 2020
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

ESPRESSO

Uma Aventura no Deserto de Atacama

An Adventure in the Atacama Desert

CAPA:
Foto com uma exposição de 15 minutos, obtida durante o comissionamento do ESPRESSO, em preparação para a "primeira luz". Este é um termo utilizado para descrever quando um telescópio ou instrumento astronómico é usado pela primeira vez para adquirir uma imagem ou dados astronómicos após a sua construção. A primeira luz viria a ser obtida três dias depois, com os quatro telescópios em simultâneo, fazendo do Very Large Telescope (VLT), no Observatório do Paranal, no Chile, o maior telescópio óptico do mundo, com uma abertura equivalente à de um telescópio com um espelho primário de 16 metros de diâmetro. Na imagem, enquanto o ESPRESSO observa com o telescópio UT3 (terceiro da esquerda para a direita), o UT4 faz observações com o sistema de correção da turbulência atmosférica por geração de estrelas artificiais com feixes laser.
[Foto: Alexandre Cabral, 31-01-2018]

COVER:
Photo with a 15 minutes exposure, obtained during the ESPRESSO commissioning, in preparation for the "first light". This is a term used to describe the first time after its construction that a telescope or an astronomical instrument is used to acquire an astronomical image or data. The first light would be obtained three days later, with the four telescopes simultaneously, making the Very Large Telescope (VLT), at the Paranal Observatory, in Chile, the largest optical telescope in the world, with an equivalent aperture of 16 metres primary mirror in diameter.
In the image, while ESPRESSO observes with telescope UT3 (third from left to right), UT4 makes observations with the atmospheric turbulence correction system generating artificial stars with laser beams.
[Photo: Alexandre Cabral, 31-01-2018]

Este livro é dedicado às nossas famílias, sem as quais a magia nunca teria acontecido.

This book is dedicated to our families, without whom the magic could never have happened.

Alexandre Cabral é Licenciado em Física Tecnológica, Mestre em Engenharia Física e Doutor em Física, todos os graus obtidos na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. De 1992 a 2008 foi investigador do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, e em 2009, juntamente com o Laboratório de Óptica, Lasers e Sistemas, foi integrado no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa onde é atualmente Investigador Auxiliar. É também investigador do Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, onde foi membro da comissão coordenadora entre 2015 e 2018, sendo atualmente o responsável pelo Grupo de Instrumentação.

Foi responsável pela componente instrumental da construção, teste e integração do ESPRESSO, tendo para isso, entre Fevereiro de 2011 e Fevereiro de 2018, passado 268 dias distribuídos por 17 missões ao Observatório do Paranal no Deserto de Atacama, norte do Chile.

Alexandre Cabral holds a degree in Technological Physics, a Master in Physics Engineering and a PhD in Physics, all degrees obtained at the Faculty of Sciences of the University of Lisbon. From 1992 to 2008 he was a researcher at the National Institute of Engineering, Technology and Innovation, and in 2009, together with the Laboratory of Optics, Lasers and Systems he was integrated in the Physics Department of the Faculty of Sciences of the University of Lisbon where he is an Assistant Researcher. He is also a researcher at the Institute of Astrophysics and Space Sciences, where he was a member of the executive board between 2015 and 2018, and currently head of the Instrumentation Group.

He was responsible for the instrumentation component in the construction, testing, and integration of ESPRESSO, having, between February 2011 and February 2018, spent 268 days during 17 missions to the Paranal Observatory in the Atacama Desert, northern Chile.

Nuno Cardoso Santos é doutorado em Astronomia e Astrofísica pela Universidade de Genebra. É atualmente investigador no Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, e Professor Auxiliar no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Em 2004, foi o autor principal do artigo onde se publicou a descoberta do primeiro planeta potencialmente rochoso a orbitar outra estrela. Em 2009, foi-lhe atribuída uma "Starting Grant" pelo European Research Council, o que lhe permitiu criar uma equipa que conta atualmente com cerca de 25 investigadores e estudantes de doutoramento a trabalhar na pesquisa de planetas extrassolares.

É o investigador responsável em Portugal pelo projeto ESPRESSO. Tem igualmente um papel de liderança nos projetos HIRES@ ELT (ESO) e nas missões espaciais CHEOPS e PLATO (ESA). Estes projetos visam construir instrumentos capazes de detetar e caracterizar planetas semelhantes à Terra a orbitar outras estrelas.

Nuno Cardoso Santos holds a PhD in Astronomy and Astrophysics from the University of Geneva. He is currently a researcher at the Institute of Astrophysics and Space Sciences, and an Assistant Professor at the Department of Physics and Astronomy of the Faculty of Sciences of the University of Porto. In 2009, he was awarded a Starting Grant by the European Research Council, which allowed him to create a team that currently has about 25 researchers and PhD students working in the research of extrasolar planets.

He is the researcher responsible in Portugal for the ESPRESSO project. He also has a leading role in the HIRES@ELT (ESO) projects and in the CHEOPS and PLATO (ESA) space missions. These projects aim to build instruments capable of detecting and characterizing Earth-like planets that orbit other stars.

Prefácio

"Porquê ESPRESSO, quero dizer, porquê o nome 'ESPRESSO'?" As pessoas estão sempre a fazer-me esta pergunta. É uma pergunta justa, e na verdade uma boa pergunta. É como na investigação: as boas perguntas mantêm o seu interesse, porque são intrigantes, porque não têm uma resposta direta, porque temos de trabalhar e pensar muito para obter a resposta, se é que alguma vez a vamos obter.

É certo que o nome deste projeto não é uma questão cientificamente importante. O nome foi, no entanto, sempre útil para se fazer uma boa piada como 'Ok, vamos beber (have) um ESPRESSO antes de resolver este problema' ou, numa autoironia, usado para comparar a programação (atrasada) do projeto ESPRESSO com os comboios italianos Espresso (rápidos) dos tempos em que eu era um rapaz. Durante as longas missões em Paranal, quando começamos a ficar cansados e o isolamento nos leva a um estado mental indefinido, algures entre a automotivação forçada e o delírio, as mesmas piadas aparecem repetidamente, e quanto mais básicas, mais engraçadas elas são. "T(w)o ESPRESSO, please!". Esta era a primeira frase proferida ao entrar no carro que traria os nossos corpos indiferentes, de manhã cedo, do acampamento base para o topo da montanha, no início de um longo e árduo dia de trabalho.

O nome ESPRESSO foi proposto por dois Colegas pela primeira vez durante um jantar para gozar com a minha paixão pelo café italiano. Inesperadamente, chamou-me imediatamente a atenção, mas também a atenção de todos os futuros Colaboradores. Claro que ainda tínhamos de encontrar a sigla, mas este teria sido um pormenor; o nome foi adotado. Só mais tarde percebi que 'ESPRESSO' era mais do que um simples nome. Representa a ligação entre Portugal e Itália, dois países loucos por café, passando por Genebra e pelo seu Observatório, o local onde trabalho e que me adotou. Tornou-se também um símbolo do espírito positivo com que tantas pessoas do ESO e de Portugal, Itália, Espanha e Suíça trabalharam juntas, apesar de muitas dificuldades e contra todas as adversidades.

Este espírito transformou-se entretanto numa amizade entre as pessoas que trabalham no projeto ESPRESSO, unidas pelo trabalho árduo, a paixão pela qualidade e beleza, e a vontade de alcançar um objetivo comum. Ao olhar para as fotografias deste álbum fotográfico, perceberemos os sorrisos e a amizade que atribuem uma alma às belas paisagens e às incríveis infraestruturas em que tivemos a oportunidade de trabalhar.

Estou grato por esta experiência, e agradeço ao Alexandre e ao Nuno por partilharem estes momentos.

Francesco Pepe

Investigador Principal do ESPRESSO
Diretor do Observatório de Genebra

Foreword

"Why ESPRESSO, I mean, why the name 'ESPRESSO'?" People always keep asking me this question. It's a fair question, and actually a good question. It's like in research: The good questions keep your interest awake, because they are intriguing, because they do not have a straight-forward answer, because you will have to work and think hard to get the answer, if you ever get it at all.

Admittedly, the name of this project is not an important research question. It was always good for a joke like 'Ok, let's first have an ESPRESSO before solving this problem', or self-irony, when comparing the (delayed) project schedule with the Italian 'fast' Espresso trains of the times when I was a boy. During the long missions in Paranal, when you start get tired and the isolation drives you into an indefinite mental state somewhere between enforced and delirious self-motivation, the same jokes come over again and again, and the more basic, the more funny they are. "T(w)o ESPRESSO, please!", this was the first sentence spoken when stepping into the car that would bring our listless bodies, early morning, from the basecamp to the mountain top for a long and hard work day.

The name was first proposed during a dinner by two Colleagues making fun of my passion for Italian coffee. Unexpectedly, it immediately caught my attention and the attention of all the future Collaborators. Of course, we still had to find the acronym, but this would have been a detail; the name was adopted. Only later on, I realised that 'ESPRESSO' was more than a simple name. It represents the link between Portugal and Italy, two countries who are mad about coffee, passing through Geneva and its Observatory, the place I work in and which has adopted me. It has also become a symbol for the positive spirit in which so many good people at ESO and from Portugal, Italy, Spain and Switzerland worked together, despite many difficulties and against all adversities.

This spirit has in the meantime turned into a friendship between people working in the ESPRESSO project, united by the hard work, the passion for quality and beauty, and the will of achieving a common objective. When looking at the pictures in this photo book, one will perceive smiles and friendship that assign a soul to the beautiful landscapes and the amazing infrastructure we had the chance to work in.

I am grateful for this experience, and I'm grateful to Alexandre and Nuno for sharing these moments.

Francesco Pepe

ESPRESSO Principal Investigator
Director of the Geneva Observatory

Um pouco de história

A procura de outros mundos, planetas a orbitar outros sóis, apaixonou filósofos e cientistas ao longo de toda a história da humanidade. Esta vontade inspirou livros e filmes, tornando-se parte do imaginário de todos nós. Ao longo de grande parte do século XX, diversos foram os esforços para procurar outros planetas no Universo, outros "Sistemas Solares". No entanto, até meados dos anos 90 do século XX, nada tinha sido descoberto. A dúvida pairava de forma incómoda entre os investigadores: será que existem outros "Sistemas Solares" por esse Universo fora? Será que estamos sozinhos neste Universo tão vasto?

Mas em 1995 tudo se precipitou. Uma equipa suíça anunciou a deteção de um planeta gigante (denominado de '51 Peg b'), semelhante a Júpiter, a orbitar a estrela '51 Pegasi', uma pequena estrela semelhante ao Sol, que se encontra a uns meros 50 anos-luz do nosso Sistema Solar. Esta pequena grande descoberta abriu caminho para o que é hoje uma das áreas de maior impacto na astrofísica moderna. Este facto foi reconhecido pelo comité Nobel em 2019, que ofereceu aos seus descobridores, Michel Mayor e Didier Queloz, o Prémio Nobel da Física.

A descoberta do '51 Peg b' foi possível através de um método que os astrofísicos chamam de "Velocidades Radiais". Quando uma estrela tem um planeta em sua companhia, a ação gravitacional deste faz a estrela percorrer uma órbita no espaço. Na verdade, ambos os corpos (planeta e estrela) dançam em torno um do outro. Assim, e visto por nós, a estrela vai parecer afastar-se e aproximar-se de nós, à medida que rodopia em torno do seu companheiro.

A bit of history

The search for other worlds, planets orbiting other suns, has passionately fascinated philosophers and scientists throughout the history of humankind. This inspired books and films, becoming part of our collective imagination. Throughout much of the twentieth century, various efforts have been made to look for other planets in the Universe, other "Solar Systems". However, until the mid-90s of the twentieth century, nothing had been discovered. Doubt hung uneasily among researchers: are there other "Solar Systems" out there? Are we alone in this vast Universe?

But in 1995 it all came crashing down. A swiss team announced the detection of a giant planet (called '51 Peg b'), similar to Jupiter, orbiting the star '51 Pegasi', a small star similar to the Sun, which is only about 50 light years away from our Solar System. This amazing discovery paved the way for what is today one of the areas of greatest impact in modern astrophysics. This fact was recognised by the Nobel committee in 2019, which offered its discoverers, Michel Mayor and Didier Queloz, the Nobel Prize in Physics.

The discovery of '51 Peg b' was made possible through a method that astrophysicists call "Radial Velocities". When a star has a planet in its company, the later gravitational action causes the star to travel along an orbit in space. In fact, both bodies (planet and star) dance around each other. As seen by us, the star will appear to move away and towards us as it wobbles around its companion.

A noite no Observatório Europeu do Sul (ESO) na montanha do Paranal, a mais de 2600 metros de altitude no Deserto de Atacama no norte do Chile. Em baixo, a residência e ao longe os quatro grandes telescópios do Very Large Telescope (VLT), 300 metros acima da residência… É fundamental garantir que não chega qualquer tipo de poluição luminosa aos telescópios.
[Foto: Alexandre Cabral, 08-03-2012]

Night at the European Southern Observatory (ESO) in the Paranal mountain, more than 2600 metres high in the Atacama Desert in northern Chile. Below that, the residence and in the distance the four large telescopes of the Very Large Telescope (VLT), 300 metres above the residence... It is essential to ensure that no kind of light pollution reaches the telescopes.
[Photo: Alexandre Cabral, 08-03-2012]

Sabemos também (pelo efeito de Doppler) que quando um objeto se afasta de nós, a sua luz (o seu espectro de radiação eletromagnética) fica mais vermelha. Quando se aproxima, fica mais azul.

Para medir estas variações (que são muito subtis), os astrofísicos utilizam um espectrógrafo, um instrumento capaz de decompor a luz das estrelas nas suas várias cores. A análise do espectro obtido permite perceber se, em dado momento, a estrela está mais azul ou mais vermelha do que era esperado. A diferença de "cor" permite medir a velocidade da estrela na direção da linha que a une ao observador (a direção radial). Assim, utilizando medidas feitas com um espectrógrafo é possível descobrir planetas a orbitar estrelas distantes, mesmo que não os consigamos ver.

O problema deste método é que se torna necessário construir espectrógrafos capazes de detetar variações na velocidade radial de uma estrela com grande precisão. Em 1995, os astrofísicos tinham conseguido construir espectrógrafos que permitiam determinar a velocidade radial de uma estrela com uma precisão de aproximadamente 10 m/s (o equivalente a 36 km/h). Tal permitia detetar planetas gigantes, de grande massa, capazes de "puxar" a sua estrela e de a fazer mover de forma considerável. Para comparação, Júpiter tem uma massa aproximadamente 318 vezes superior à da Terra e induz no Sol um movimento com uma amplitude de 13 m/s. A descoberta deste tipo de mundos "gigantes" estava de facto ao alcance dos astrofísicos.

Mas a descoberta do '51 Peg b' fez a comunidade sonhar com a possibilidade de detetar outras "Terras". Não demorou para que outros planetas gigantes se juntassem à lista. Muitas vezes a ciência funciona assim: é difícil encontrar o primeiro, mas quando sabemos como o fazer, é só puxar a linha. Mas será que o desafio de encontrar planetas como a Terra estava ao alcance?

We also know (from the Doppler effect) that when an object moves away from us, its light (its spectrum of electromagnetic radiation) becomes more red. When it approaches, it becomes more blue.

To measure these variations (which are very subtle), astrophysicists use a spectrograph, an instrument capable of splitting the light of stars into their various colours. The analysis of the spectrum obtained makes it possible to see whether, at a given moment, the star is bluer or redder than expected. The difference in "colour" makes it possible to measure the speed of the star in the direction of the line that joins it to the observer (the radial direction). Thus, using measurements made with a spectrograph it is possible to discover planets orbiting distant stars, even if we cannot see them.

The problem with this method is that it becomes necessary to construct spectrographs capable of detecting variations in the radial velocity of a star with great precision. In 1995, astrophysicists had been able to construct spectrographs that could determine the radial velocity of a star with a precision of approximately 10 m/s (the equivalent of 36 km/h). This made it possible to detect giant planets, of great mass, capable of "pulling" their star and making it move considerably. For comparison, Jupiter has a mass approximately 318 times greater than that of Earth and induces in the Sun a movement with an amplitude of 13 m/s. The discovery of this type of "giant" worlds was in fact within reach.

But the discovery of '51 Peg b' made the community dream of the possibility of detecting other earth-like planets. Indeed, it didn't take long for other giant planets to join the list. Science often works like this: it's hard to find the first one, but when you know how to do it, it comes more easily. But was the detection of lower-mass planets like our Earth within reach?

As estrelas e Vénus (o objeto mais brilhante) a pintar o céu do Paranal no início de mais uma noite de observações. Foto com uma exposição de 50 minutos.
[Foto: Alexandre Cabral, 08-02-2017]

The stars and Venus (the brightest object) painting the sky of Paranal at the beginning of another night of observations. Photo with a 50 minutes exposure.
[Photo: Alexandre Cabral, 08-02-2017]

À noite, enquanto os astrónomos observam, as equipas técnicas aproveitam para contemplar um dos céus mais limpos do planeta. Na foto, Alexandre Cabral (IA) e Marco Riva (INAF) descansam de mais um dia de trabalho.
Foto com uma exposição de 40 minutos.
[Foto: Alexandre Cabral, 27-06-2013]

At night, while astronomers observe, the technical teams take the opportunity to watch one of the clearest skies on the planet. In the photo Alexandre Cabral (IA) and Marco Riva (INAF) rest from another day of work.
Photo with a 40 minutes exposure.
[Photo: Alexandre Cabral, 27-06-2013]

Residência do Paranal, edifício premiado pela forma como se integra na paisagem e conhecido por ser um dos locais das filmagens do filme "007 - Quantum of Solace".
[Foto: Alexandre Cabral, 23-02-2011]

Paranal Residence, a building awarded for its integration in the landscape and known as one of the filming locations of the movie "007 - Quantum of Solace".
[Photo: Alexandre Cabral, 23-02-2011]

Gerardo Ávila (ESO) mostra-nos o caminho para os telescópios, numa das primeiras missões da equipa do Expresso ao Paranal. [Foto: Alexandre Cabral, 03-03-2012]

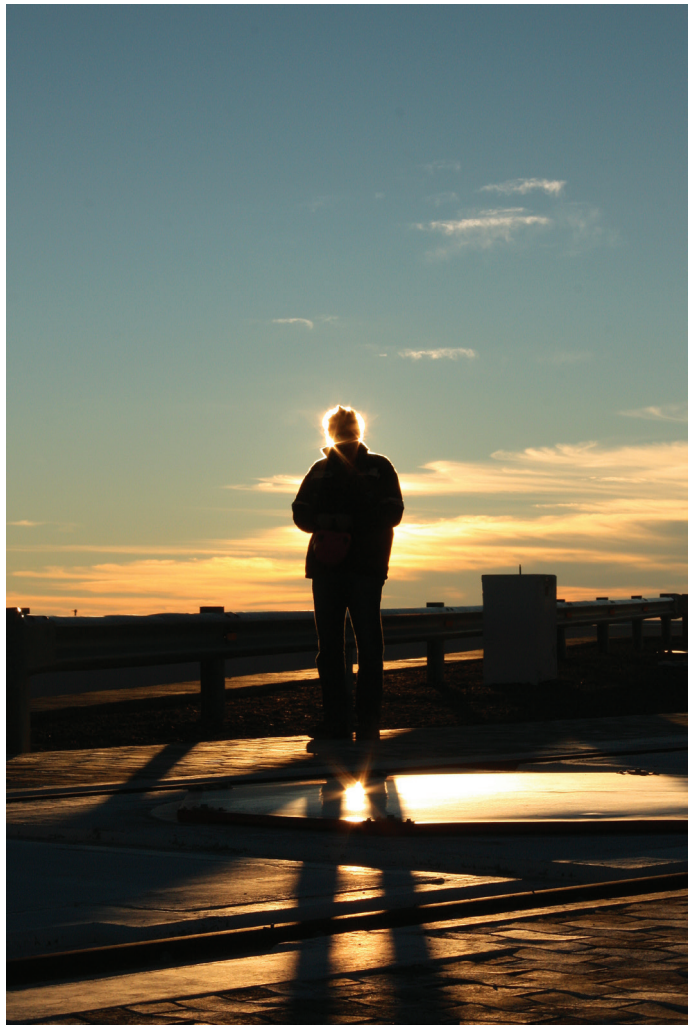
Gerardo Ávila (ESO) shows us the way to the telescopes, in one of the first ESPRESSO team missions to Paranal. [Photo: Alexandre Cabral, 03-03-2012]

Vista de uma das janelas do edifício de controlo dos telescópios para o Deserto de Atacama, mostrando a paisagem inóspita que é esta região e ao fundo o mar de nuvens que cobre o Oceano Pacífico.
[Foto: Alexandre Cabral, 27-06-2013]

View from one of the windows of the telescopes control building into the Atacama Desert, showing the inhospitable landscape that is this region and at a distance the sea of clouds that covers the Pacific Ocean.
[Photo: Alexandre Cabral, 27-06-2013]

Reflexo da plataforma do VLT nos óculos de proteção solar de Denis Mégevand (OBSGE).
[Foto: Alexandre Cabral, 21-06-2013]

Reflection of the VLT platform on Denis Mégevand's sunglasses (OBSGE).
[Photo: Alexandre Cabral, 21-06-2013]



No final do dia de trabalho tornou-se hábito observar o pôr-do-sol a partir da plataforma do VLT. Nesta foto, Denis Mégevand (OBSGE) bloqueia o sol para mais um dos muitos registos fotográficos dos finais de dia no Paranal. [Foto: Alexandre Cabral, 21-06-2013]

At the end of the day of work it became a habit to watch the sunset from the VLT platform. In this photo, Denis Mégevand (OBSGE) blocks the sun for another one of the many photographic records of the end of the day in Paranal. [Photo: Alexandre Cabral, 21-06-2013]

A noite no observatório do Paranal. Nesta foto de longa exposição (30 segundos) o luar é capaz de nos dar a sensação de ser dia. O céu nublado, não sendo o ideal para as observações astronómicas, permite, no entanto, os testes dos instrumentos antes de estes serem disponibilizados para a comunidade astrofísica internacional.
[Foto: Alexandre Cabral, 30-01-2018]

The night at the Paranal observatory. In this long exposure photo (30 seconds) the moonlight is able to give us the impression of daytime. The cloudy sky, which is not ideal for astronomical observations, does however allow the testing of the instruments before they are made available to the international astrophysics community.
[Photo: Alexandre Cabral, 30-01-2018]

Equipa do ESPRESSO junto a um dos telescópios numa das muitas missões do "Coudé Train" ao Paranal. Da esquerda para a direita, Pedro Santos (IA), Gerardo Ávila (ESO), Bernard Delabre (ESO), Denis Mégevand (OBSGE), Alexandre Cabral (IA), Manuel Abreu (IA), David Alves (IA) e António Oliveira (IA). [Foto: Alexandre Cabral, 17-09-2016]

ESPRESSO team next to one of the telescopes in one of the many missions of the "Coudé Train" to Paranal. From left to right, Pedro Santos (IA), Gerardo Ávila (ESO), Bernard Delabre (ESO), Denis Mégevand (OBSGE), Alexandre Cabral (IA), Manuel Abreu (IA), David Alves (IA) and António Oliveira (IA). [Photo: Alexandre Cabral, 17-09-2016]

O PROJETO ESPRESSO

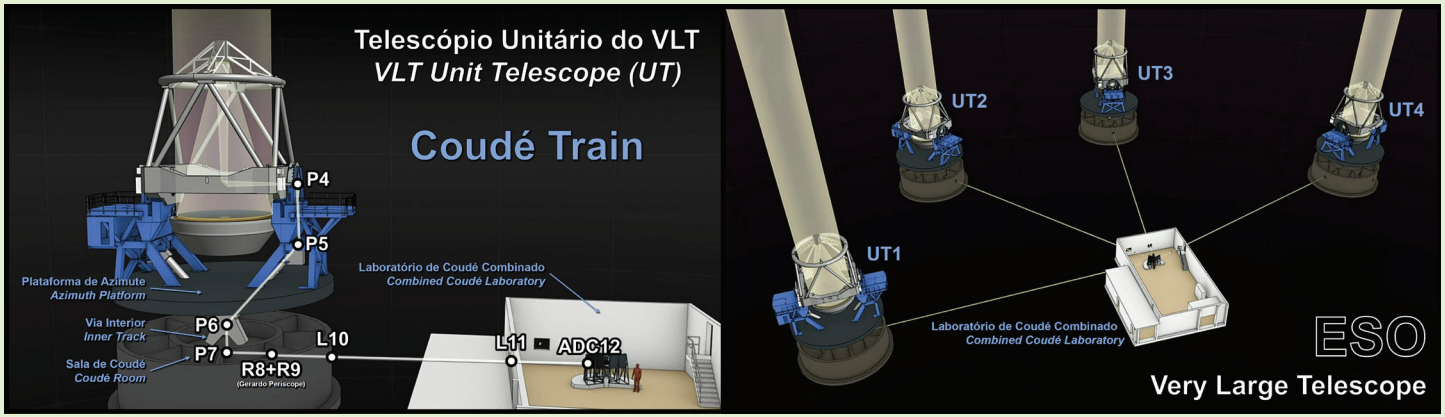
Em 2004, o desenvolvimento de novos espectrógrafos (tal como o HARPS, do ESO) e o desenvolvimento de novos métodos para analisar os dados obtidos, permitiu finalmente detetar planetas mais "pequenos". Mas era preciso dar mais um passo tecnológico para que fosse possível detetar planetas rochosos como a nossa Terra: construir um espectrógrafo capaz de determinar a velocidade radial de uma estrela com uma precisão de apenas 10 cm/s (ou 0,36 km/h). É essa a amplitude da velocidade radial que a perturbação gravitacional da Terra produz no Sol. Ou seja, era preciso alcançar uma precisão 100 vezes superior à que tinha permitido detetar, em 1995, o planeta '51 Peg b'.

Em 2009, e após alguns estudos preliminares, o ESO decidiu que era altura de dar esse passo. Desafiou então a comunidade internacional para construir um instrumento capaz de atingir esse nível de precisão. A resposta não se fez esperar: um consórcio de instituições de Portugal, Suíça, Espanha e Italia aceitou o desafio e propôs uma solução. E assim nasceu o ESPRESSO. Mas o desafio que o consórcio tinha pela frente era enorme. O que o ESO tinha pedido não era "apenas" a construção do espectrógrafo mais preciso do mundo. Queria também um instrumento que fosse capaz de combinar a luz dos quatro grandes telescópios que constituem o VLT (Very Large Telescope), cada um com um espelho de 8 metros de diâmetro. Assim, e se tal fosse conseguido, seria possível transformar o VLT num telescópio "virtual" com um espelho de 16 metros de diâmetro. O maior telescópio óptico do mundo! Essa parte do desafio ficou sob a responsabilidade da equipa portuguesa.

THE ESPRESSO PROJECT

In 2004, the development of new spectrographs (such as ESO's HARPS) and the development of new methods to analyse the obtained data, finally made it possible to detect "smaller" planets. But another technological step had to be taken to make it possible to detect rocky planets like our Earth: to build a spectrograph capable of determining the radial velocity of a star with a precision of only 10 cm/s (or 0,36 km/h). This is the amplitude of the radial velocity signal that Earth's gravitational disturbance produces in the Sun. In other words, it was necessary to reach a precision 100 times higher than what had allowed us to detect, in 1995, the planet '51 Peg b'.

In 2009, and after some preliminary studies, the ESO decided that it was time to take this step. It then challenged the international community to build an instrument capable of achieving this level of precision. The response did not take long: a consortium of institutions from Portugal, Switzerland, Spain and Italy accepted the challenge and proposed a solution. And so ESPRESSO was born. But the challenge facing the consortium was enormous. What ESO had asked for was not "just" the construction of the most precise spectrograph in the world. It also wanted an instrument that could combine the light of the four large telescopes that make up the VLT (Very Large Telescope), each with a mirror 8 metres in diameter. With this we would be able to transform the VLT into a "virtual" telescope with a mirror of 16 metres in diameter. The largest optical telescope in the world! This part of the challenge was under the responsibility of the portuguese team.



O Very Large Telescope do ESO, e os seus quatro grandes telescópios (UT – Unit Telescopes). Para cada telescópio foi construído um sistema, designado por "Coudé Train", constituído por um conjunto de ópticas, mecânica e unidades de controlo capazes de encaminhar a luz de cada telescópio para o laboratório onde o espectrógrafo foi instalado.

Cada Coudé Train é constituído por:

- prismas P4 a P6 acoplados à estrutura do telescópio;

- prisma P7 e espelhos R8 e R9 (que constituem o "periscópio Gerardo") instalados na Sala de Coudé por baixo do telescópio;

- lentes L10 e L11 nas extremidades do túnel que liga a Sala de Coudé ao Laboratório de Coudé Combinado;

- conjunto de prismas ADC12, localizado no Laboratório de Coudé Combinado, onde o Coudé Train cria uma imagem da estrela numa fibra que conduz a luz ao espectrógrafo.

The Very Large Telescope of ESO, and its four large telescopes (UT - Unit Telescopes). A system, named the "Coudé Train", was built for each telescope. The "Coudé Train" consists of a set of optics, mechanics and control units capable of directing the light from each telescope to the laboratory where the spectrograph was installed.

Each Coudé Train is made up of:

- P4 to P6 prisms attached to the telescope structure;

- prism P7 and mirrors R8 and R9 (which constitute the "Gerardo periscope") installed in the Coudé Room underneath the telescope;

- L10 and L11 lenses at the ends of the tunnel connecting the Coudé Room to the Combined Coudé Laboratory;

- an ADC12 prism set, located in the Combined Coudé Lab, where the Coudé Train creates an image of the star on a fibre that conducts the light to the spectrograph.

O desafio nacional

A equipa portuguesa que embarcou neste desafio foi constituída por elementos do Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço (IA) no Centro de Astrofísica da Universidade do Porto (CAUP) e na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), sendo a construção do instrumento financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior.

Durante os quase 10 anos que se seguiram, a equipa nacional teve de desenhar, construir, montar e testar a melhor solução tecnológica para combinar a luz dos quatro telescópios. Tratou-se de construir o chamado Coudé Train, um sistema óptico constituído por um conjunto de prismas (P4 a P7 e ADC12), lentes (L10 e L11) e espelhos (R8 e R9), com as respetivas montagens mecânicas e componentes eletrónicos, capazes de conduzir a luz por mais de 70 metros de tubos e túneis, até ao espectrógrafo em si. Na verdade, era preciso construir um sistema destes para cada telescópio.

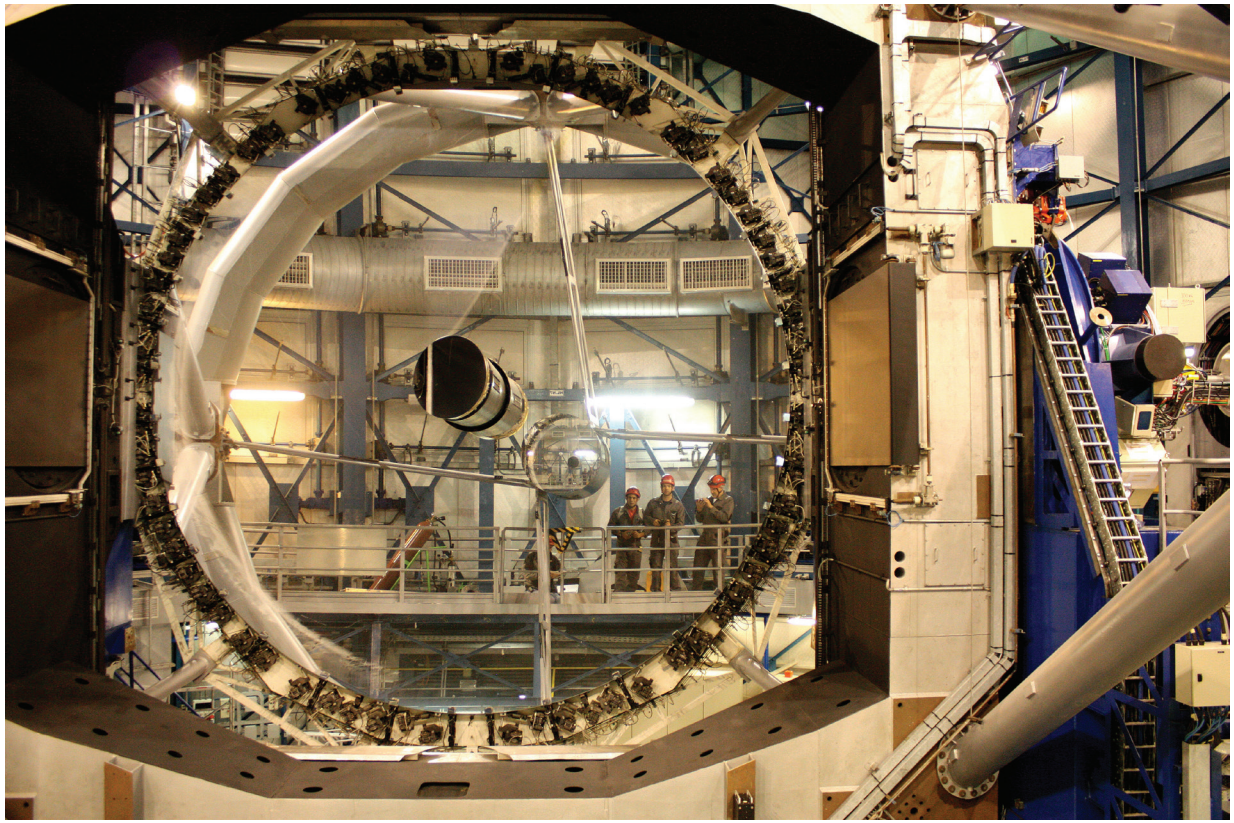
A construção do Coudé Train foi desafiante a vários níveis. Em primeiro lugar, implicou fazer algumas alterações à estrutura do VLT. Literalmente, foi preciso furar a estrutura do telescópio. Mas se esse problema foi relativamente simples de abordar (embora na prática tenha sido um obstáculo difícil de transpor, dados os riscos que comportava), a construção das várias componentes ópticas, com os respetivos suportes mecânicos, foi muito mais desafiante. Para trazer a luz para o espectrógrafo era preciso "pegar" nos fotões de luz recolhidos por um espelho de 8 metros de diâmetro e conduzi-los durante quase 100 metros para os focar numa fibra óptica com apenas um décimo de milímetro de espessura.

The national challenge

The portuguese team that embarked in this adventure consisted of members of the Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço (IA) at Centro de Astrofísica da Universidade do Porto (CAUP) and Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), and the construction of the instrument was funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia, the portuguese public agency that supports science, technology and innovation, and belongs to the Ministry of Science, Technology and Higher Education.

During the nearly 10 years that followed, the national team had to design, build, assemble and test the best technological solution to combine the light of the four telescopes. It was a matter of building the so-called Coudé Train, an optical system consisting of a set of prisms (P4 to P7 and ADC12), lenses (L10 and L11) and mirrors (R8 and R9), with the respective mechanical assemblies and electronic components, capable of conducting light through more than 70 metres of tubes and tunnels, to the spectrograph itself. In fact, one had to be built for each telescope.

The construction of the Coudé Train was challenging on several levels. First, it involved making some changes to the structure of the VLT. Literally, the structure of the telescope had to be drilled. But if this problem was relatively simple to address (although in practice it was a difficult obstacle to overcome, given the risks it entailed), the construction of the various optical components, with their mechanical supports, was much more challenging. To bring the light to the spectrograph it was necessary to "take" the light photons collected by an 8 metres diameter mirror and drive them for nearly 100 metres to focus them on an optical fibre only one tenth of a millimetre thick.



Cada um dos quatro grandes telescópios do VLT tem um espelho primário de 8 metros de diâmetro. Nesta foto, podemos ver três elementos da equipa do ESPRESSO refletidos no espelho principal, da esquerda para a direita, Pedro Santos (IA), Alexandre Cabral (IA) e Denis Mégevand (OBSGE).
[Foto: Alexandre Cabral, 30-01-2015]

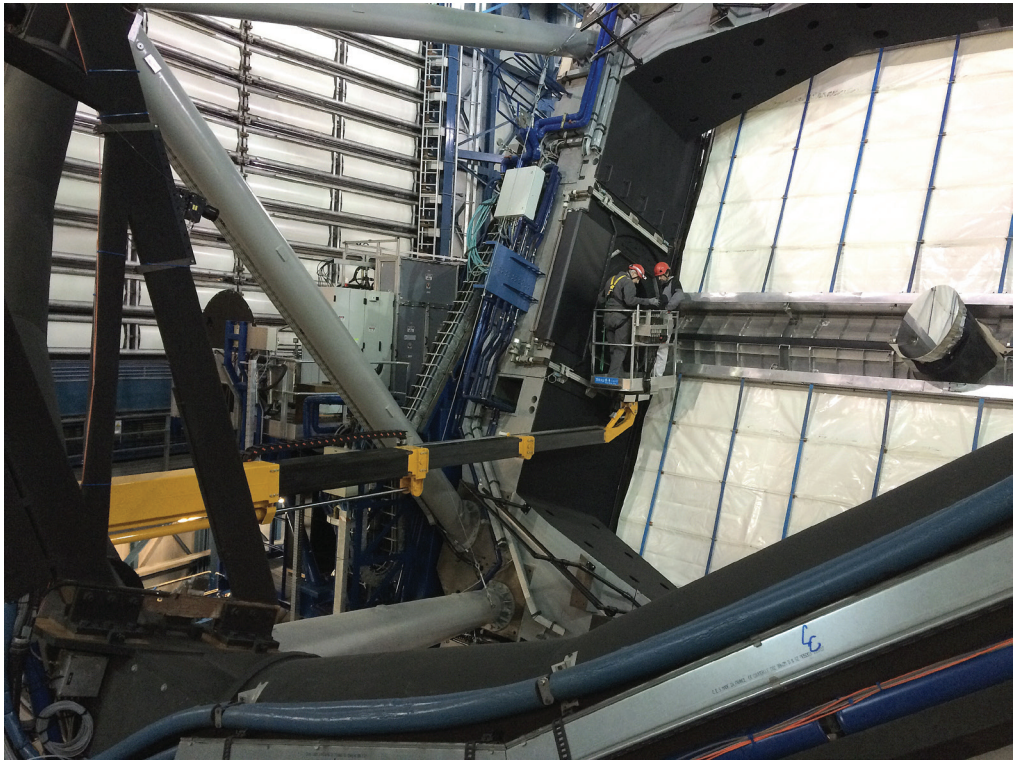
Each of the four large VLT telescopes has a primary mirror of 8 metres in diameter. In this photo, we can see three members of the ESPRESSO team reflected in the main mirror, from left to right, Pedro Santos (IA), Alexandre Cabral (IA) and Denis Mégevand (OBSGE).
[Photo: Alexandre Cabral, 30-01-2015]

Como "cereja no topo do bolo", foi preciso fazer isto num ambiente extremo, o Deserto de Atacama nos Andes Chilenos, onde os tremores de Terra são muito frequentes. Ou seja, o sistema tinha de ser fiável para que nada mudasse mesmo depois de um grande sismo. Para além destes requisitos que aumentaram a complexidade do desenho do sistema, foi também necessário transportar a luz da forma mais eficiente, garantindo que a imagem da estrela que é introduzida na fibra que faz a ligação ao espectrógrafo mantém todas as qualidades ópticas. Resumindo, um desafio de dimensões consideráveis.

Este desafio compreendeu diferentes fases de desenvolvimento que implicaram 17 missões ao observatório do Paranal no norte do Chile (exclusivas para a construção do Coudé Train). Totalizaram mais de 340 dias em pleno Deserto de Atacama. Numa primeira fase, entre Fevereiro de 2011 e Novembro de 2013 foram feitas quatro campanhas de medição a todas as estruturas do observatório com ligação ao sistema que estávamos a desenvolver. Após a definição do conceito do sistema, construíram-se todas as estruturas de interface com os sistemas opto-mecânicos, que foram integradas no observatório durante sete missões entre Agosto de 2014 e Julho 2016. Finalmente, após 11 missões, teve início a instalação e teste dos sistemas ópticos, que iriam necessitar de mais seis missões, na sua maioria com a duração de um mês cada.

As "the icing on the cake", it was necessary to do this in an extreme environment, the Atacama Desert in the Chilean Andes, where earthquakes are very frequent. In other words, the system had to be reliable so that nothing would change even after a major earthquake. In addition to these requirements which increased the complexity of the system's design, it was also necessary to transport light in the most efficient way, ensuring that the image of the star, that is introduced into the fibre that makes the connection to the spectrograph maintains all optical qualities. In short, a challenge of considerable dimensions.

This challenge comprised different stages of development that involved 17 missions to the Paranal observatory in northern Chile (exclusive to the Coudé Train) totalling more than 340 days in the middle of the Atacama Desert. In the first phase, between February 2011 and November 2013, four measurement campaigns were carried out on all the structures of the observatory linked to the system we were designing. Once the concept of the system had been defined, all the interface structures with the opto-mechanical systems were built and integrated into the observatory during seven missions between August 2014 and July 2016. Finally, after 11 missions, the installation and testing of the optical systems began, which would require six more missions, most of them lasting one month each.



Estrutura principal de um dos quatro grandes telescópios do VLT com o seu espelho primário de 8 metros de diâmetro (protegido com uma cobertura branca) e o espelho plano terciário elíptico de 1,2 metros por 0,9 metros (do lado direito). Na imagem, uma plataforma elevatória transporta os elementos da equipa Denis Mégevand (OBSGE) e Gaspare Lo Curto (ESO) para a zona onde foi instalado o prisma P4, perto do foco de Nasmyth. [Foto: Consórcio ESPRESSO, 14-06-2016]

Main structure of one of the four large telescopes of the VLT with its primary mirror of 8 metres in diameter (protected with a white cover) and the elliptical tertiary plane mirror of 1,2 metres by 0,9 metres (on the right side). In the image, a crane platform carries team members Denis Mégevand (OBSGE) and Gaspare Lo Curto (ESO) to the area where the P4 prism was installed, near the Nasmyth focus.
[Photo: ESPRESSO Consortium, 14-06-2016]

Foi um trabalho árduo, mas que demonstrou a excelência dos nossos cientistas e engenheiros. Em Setembro de 2016, o primeiro dos quatro Coudé Train foi instalado e testado. Quando a primeira imagem foi obtida, o sucesso do equipamento era evidente: tínhamos uma imagem perfeita, melhor ainda do que nos tinha sido encomendado. Os restantes Coudé Train foram instalados nos meses seguintes, e em Novembro de 2017 o ESPRESSO teve a sua estreia, quando foi possível obter o primeiro espectro de uma estrela. Fevereiro de 2018 é também um marco na história da astronomia: pela primeira vez a luz dos quatro telescópios foi observada em simultâneo pelo ESPRESSO, fazendo do VLT o maior telescópio óptico do mundo, equivalente a um único telescópio com um espelho de 16 metros de diâmetro.

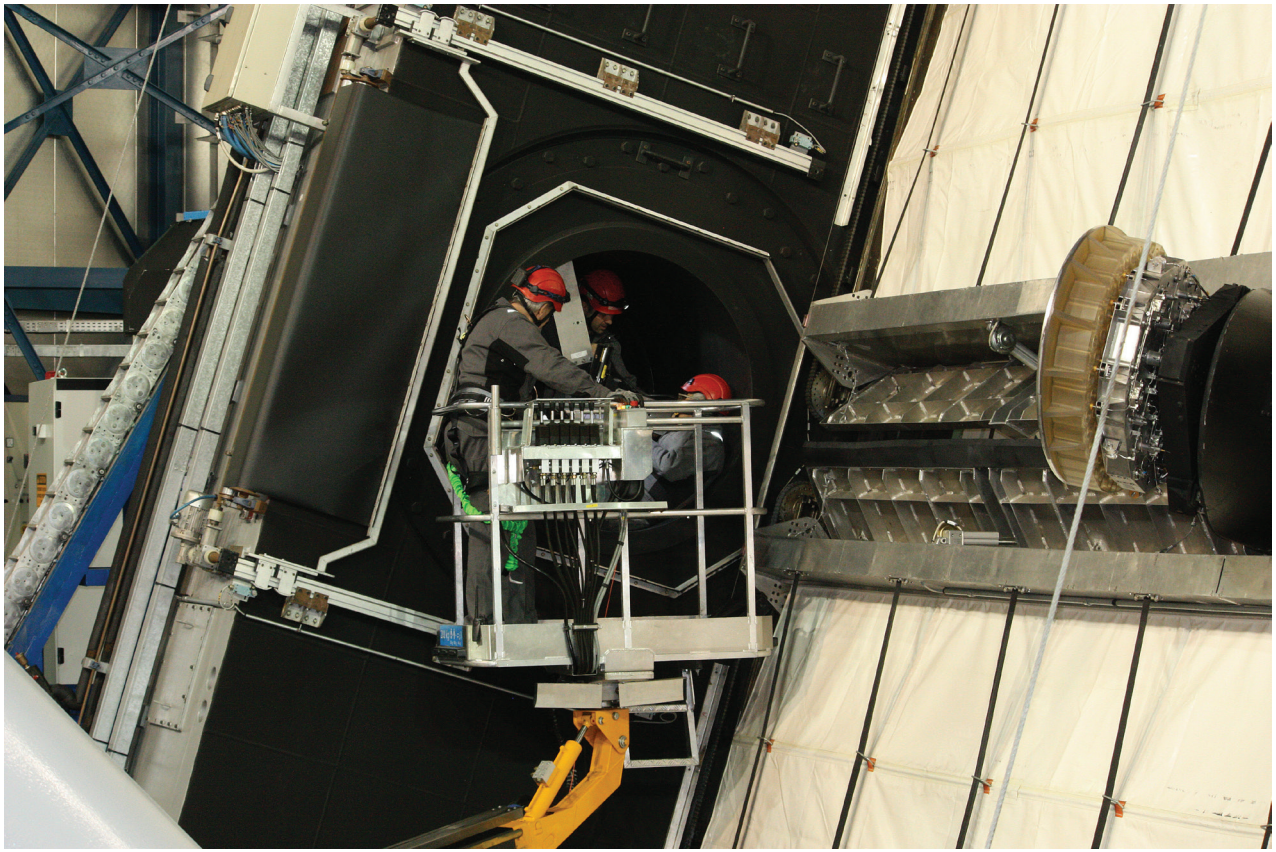
É essencialmente esta a história que é contada neste livro e nas fotos que o compõem: a aventura nacional para construir o Coudé Train do ESPRESSO. Uma história humana, feita de grandes alegrias, mas também de enormes obstáculos que foram transpostos graças à amizade e companheirismo de toda uma equipa que aceitou este desafio. Muitos dias e noites passados no Deserto do Atacama, a mais de 2500 metros de altitude, em que o calor humano e o sonho de descobrir o Universo se sobrepôs às grandes dificuldades técnicas (e não só) que se foram apresentando. Uma história que demonstrou que em Portugal é possível fazer mais e melhor ciência, desde que haja quem acredite que os cientistas podem fazer a diferença.

Um fator muito importante no sucesso desta aventura foi a forma como todo o consórcio colaborou, potenciando desta modo a valência de cada um dos elementos da equipa. Este facto é facilmente verificado por quem aparece nas fotos. Todos funcionaram como uma única equipa, com um objetivo comum.

It was hard work, but it demonstrated the excellence of our scientists and engineers. In September 2016, the first of the four Coudé Train was installed and tested. When the first image was obtained, the success of the equipment was evident: we had a perfect image, even better than had had been ordered from us. The remaining Coudé Train were installed in the following months, and in November 2017 ESPRESSO had its debut, when it was possible to obtain the first spectrum of a star. February 2018 also marks a milestone in the history of astronomy: for the first time the light from the four telescopes was simultaneously observed by ESPRESSO, making the VLT the world's largest optical telescope, equivalent to a single telescope with a 16 metres diameter mirror.

This is essentially the story that is told in this book and the photos that make it up: the national adventure to build the ESPRESSO Coudé Train. A human story, made of great joys but also of enormous obstacles that were overcome thanks to the friendship and companionship of an entire team that accepted this challenge. Many days and nights spent in the Atacama Desert, at over 2500 metres of altitude, where human warmth and the dream of discovering the Universe overcame the great technical (and other) difficulties that were presented. A story that demonstrated that in Portugal it is possible to do more and better science, as long as one believes that scientists can make the difference.

A very important factor in the success of this adventure was the way in which the whole consortium collaborated, thus enhancing the value of each of the team members. This fact is easily verified by who appears in the photos. Everyone worked as a single team with a common goal.



Denis Mégevand (OBSGE), Alexandre Cabral (IA) e Gerardo Ávila (ESO) instalam junto ao foco de Nasmyth um dos sistemas de alinhamento laser (LAT) que permitiu o alinhamento de todo o Coudé Train.
[Foto: Consórcio ESPRESSO, 18-02-2016]

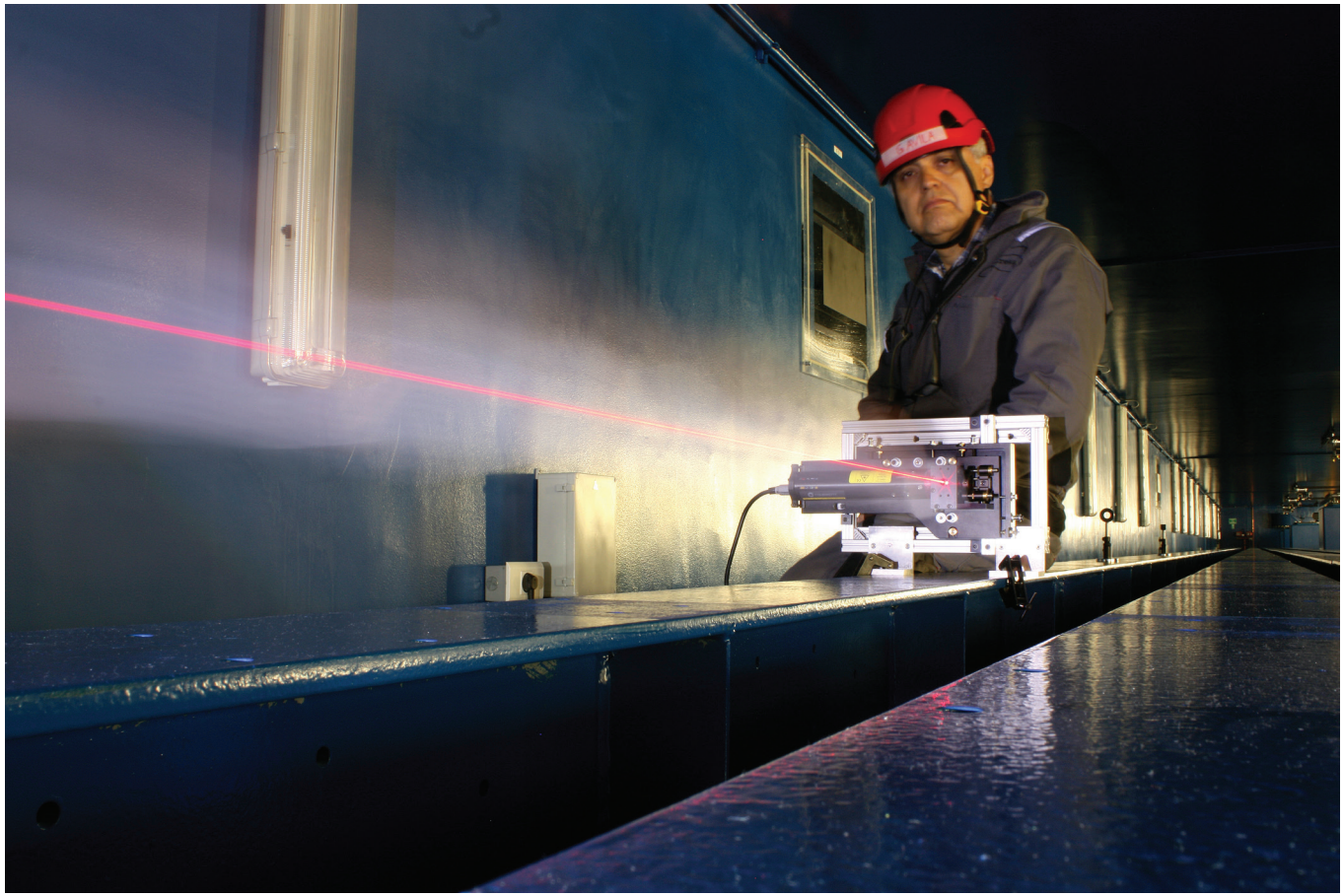
Denis Mégevand (OBSGE), Alexandre Cabral (IA) and Gerardo Ávila (ESO) installed one of the laser alignment systems (LAT) next to the Nasmyth focus, which allowed the alignment of the whole Coudé Train.
[Photo: ESPRESSO Consortium, 18-02-2016]

Ao longo do desenvolvimento do ESPRESSO, e em particular do Coudé Train, muitos foram os que contribuíram para este projeto. Para além dos que estiveram presentes no observatório e que são retratados nas fotos, outros houve que, ficando em Portugal, não deixaram de ter um papel importante no projeto. Listamos em jeito de agradecimento aqueles que na equipa portuguesa do Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço tiveram uma forte contribuição na fase de construção, teste e instalação do ESPRESSO (pelo Centro de Astrofísica da Universidade do Porto (a) e pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (b)):

- Alexandre Cabral [(b)]
- António Oliveira [(b)]
- David Alves [(b)]
- João Pinto Coelho [(b)]
- José Rebordão [(b)]
- Manuel Abreu [(b)]
- Manuel Monteiro [(a)]
- Mário João Monteiro [(a)]
- Nuno Cardoso Santos [(a)]
- Pedro Figueira [(a)]
- Pedro Santos [(b)]
- Sérgio Sousa [(a)]

Throughout the development of ESPRESSO, and in particular the Coudé Train, many have contributed to this project. Apart from those who were present at the observatory and who are portrayed in the photos, there were others who, staying in Portugal, played an important role in the project. We list by way of thanks those who in the portuguese team of the Institute of Astrophysics and Space Sciences had a strong contribution in the construction, testing and installation of ESPRESSO (by the Centre of Astrophysics of the University of Porto (a) and by the Faculty of Sciences of the University of Lisbon (b)):

- *Alexandre Cabral [(b)]*
- *António Oliveira [(b)]*
- *David Alves [(b)]*
- *João Pinto Coelho [(b)]*
- *José Rebordão [(b)]*
- *Manuel Abreu [(b)]*
- *Manuel Monteiro [(a)]*
- *Mário João Monteiro [(a)]*
- *Nuno Cardoso Santos [(a)]*
- *Pedro Figueira [(a)]*
- *Pedro Santos [(b)]*
- *Sérgio Sousa [(a)]*



Gerardo Ávila (ESO) junto ao sistema de alinhamento laser (LAT) aquando da sua calibração nas linhas de atraso do VLT.
[Foto: Alexandre Cabral, 07-10-2015]

Gerardo Ávila (ESO) next to the laser alignment system (LAT) at the time of its calibration on the VLT delay lines.
[Photo: Alexandre Cabral, 07-10-2015]

Para além da equipa portuguesa, o sucesso seria impossível de atingir sem o contributo de outros elementos do Consórcio ESPRESSO e do ESO, dos quais não podemos deixar de salientar:

Do Observatoire Astronomique Université de Genève,

- Denis Mégevand
- Francesco Pepe

Do Istituto Nazionale di Astrofisica de Itália nos observatórios de Milão e Trieste:

- Igor Coretti
- Marco Riva
- Paolo Di Marcantonio

Do *European Southern Observatory*,

- Antonio Manescau
- Bernard Delabre
- Gaspare Lo Curto
- Gerardo Ávila

Desta lista, destacamos Denis Mégevand e Gerardo Ávila que tiveram uma fortíssima participação nas missões do Coudé Train, facto bem visível pela quantidade de fotos em que aparecem.

Finalmente, um agradecimento muito especial a toda a equipa do Observatório La Silla-Paranal, bem como ao seu diretor, Dr. Andreas Kaufer, cujo apoio foi crucial para o sucesso do projeto e também aos dois Diretores Gerais do ESO que iniciaram e concluíram esta aventura connosco, respetivamente Prof. T. de Zeeuw e Prof. Xavier Barcons.

Apart from the portuguese team, success would be impossible to achieve without the contribution of other members of the ESPRESSO Consortium and ESO, of which we must highlight:

From Observatoire Astronomique Université de Genève,

- *Denis Mégevand*
- *Francesco Pepe*

From Istituto Nazionale di Astrofisica of Italy, in the observatories of Milan and Trieste:

- *Igor Coretti*
- *Marco Riva*
- *Paolo Di Marcantonio*

From the European Southern Observatory,

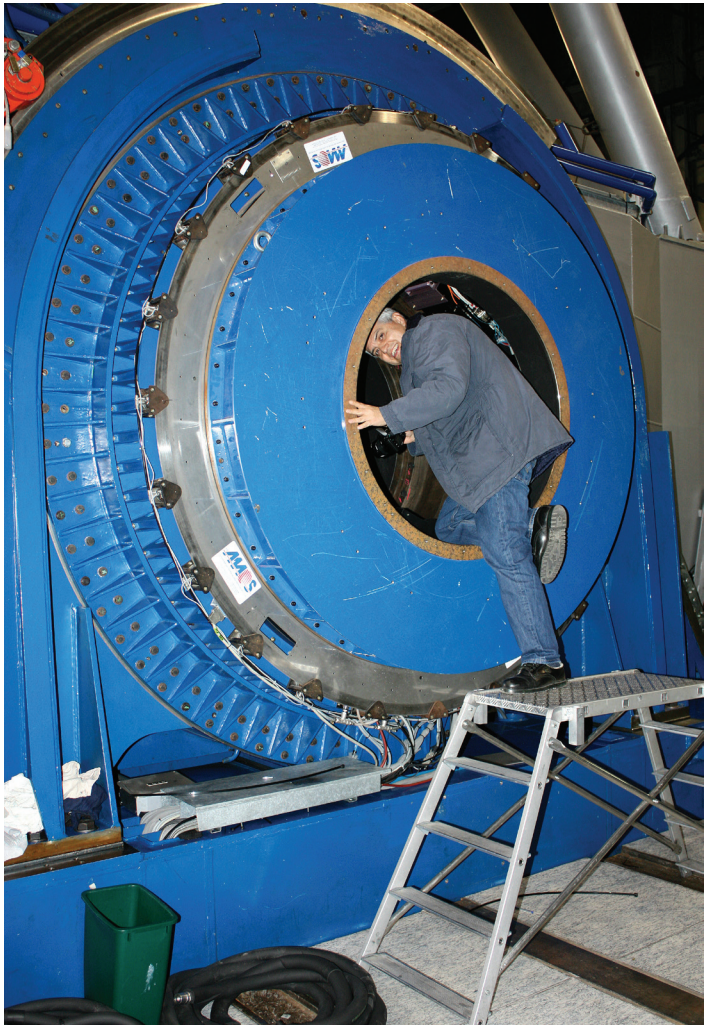
- *Antonio Manescau*
- *Bernard Delabre*
- *Gaspare Lo Curto*
- *Gerardo Ávila*

From this list, we highlight Denis Mégevand and Gerardo Ávila who had a very strong participation in the missions of the Coudé Train, a fact clearly visible by the number of photos in which they appear.

Finally, a very special thanks to all the team at the La Silla-Paranal Observatory, as well as to its director, Dr. Andreas Kaufer, whose support was crucial for the success of the project and also to the two ESO Directors General that started and concluded this adventure with us, respectively Prof. T. de Zeeuw and Prof. Xavier Barcons.

Alexandre Cabral (IA) no acesso à zona do foco de Nasmyth durante a instalação do prisma P4, visível ao centro no topo da imagem.
[Foto: Consórcio ESPRESSO, 15-09-2016]

Alexandre Cabral (IA) in the opening to Nasmyth's focus zone during the installation of the P4 prism, visible at the top centre of the image.
[Photo: ESPRESSO Consortium, 15-09-2016]



Gerardo Ávila (ESO) junto ao acesso à zona do foco de Nasmyth numa das primeiras missões de avaliação de possíveis locais de instalação das ópticas do Coudé Train.
[Foto: Alexandre Cabral, 24-02-2011]

Gerardo Ávila (ESO) near the opening to the Nasmyth focus area in one of the first missions of evaluation of possible locations for the Coudé Train optics.
[Photo: Alexandre Cabral, 24-02-2011]

Marco Riva (INAF) dentro da zona do foco de Nasmyth onde foi instalado o prisma P4. (Alexandre: "Marco, retira o capacete só para a fotografia por favor e sorri!").
[Foto: Alexandre Cabral, 08-03-2012]

Marco Riva (INAF) within the Nasmyth focus zone where the P4 prism was installed. (Alexandre: "Marco, remove the helmet just for the photo please and smile!").
[Photo: Alexandre Cabral, 08-03-2012]

Gerardo Ávila (ESO) e Manuel Abreu (IA) verificam a performance do sistema de fibras ópticas para simulação de estrelas instalado na plataforma de Azimute do telescópio junto ao prisma P5. Este sistema permite caracterizar o Coudé Train antes de cada observação do céu, garantindo assim o funcionamento ideal.
[Foto: Alexandre Cabral, 15-02-2016]

Gerardo Ávila (ESO) and Manuel Abreu (IA) verify the performance of the optical fibre system that simulates a star installed in the Azimuth platform of the telescope next to the P5 prism. This system allows us to characterise the Coudé Train before each sky observation, thus ensuring optimal operation.
[Photo: Alexandre Cabral, 15-02-2016]

Denis Mégevand (OBSGE), Pedro Santos (IA) e Gaspare Lo Curto (ESO), da esquerda para a direita, por baixo da plataforma de Azimute, nas entranhas do telescópio (zona designada por "inner track"), colocando a estrutura que iria suportar o prisma P7 e o mecanismo que lhe está associado. [Foto: Alexandre Cabral, 11-03-2015]

Denis Mégevand (OBSGE), Pedro Santos (IA) and Gaspare Lo Curto (ESO), from left to right, under the Azimuth platform, in the guts of the telescope (area called inner track), placing the structure that would support the P7 prism and the mechanism associated to it. [Photo: Alexandre Cabral, 11-03-2015]

Bernard Delabre (ESO) junto à escada de acesso para o "inner track" do VLT, cujo sistema óptico foi desenhado por si no final do século XX.
[Foto: Alexandre Cabral, 17-05-2017]

Bernard Delabre (ESO) by the access ladder to the inner track of the VLT, whose optical system was designed by him at the end of the 20th century.
[Photo: Alexandre Cabral, 17-05-2017]

Junto à entrada da Sala de Coudé, António Oliveira (IA) prepara a eletrónica que irá controlar os sistemas de posicionamento de alguns componentes ópticos do Coudé Train.
[Foto: Alexandre Cabral, 14-02-2016]

Next to the entrance of the Coudé Room, António Oliveira (IA) prepares the electronics that will control the positioning systems of some of the optical components of the Coudé Train.
[Photo: Alexandre Cabral, 14-02-2016]

Na Sala de Coudé, por debaixo do telescópio, Pedro Santos (IA) inicia a abertura para a passagem da luz entre o telescópio e os túneis que levam ao espectrógrafo.
[Foto: Alexandre Cabral, 14-03-2015]

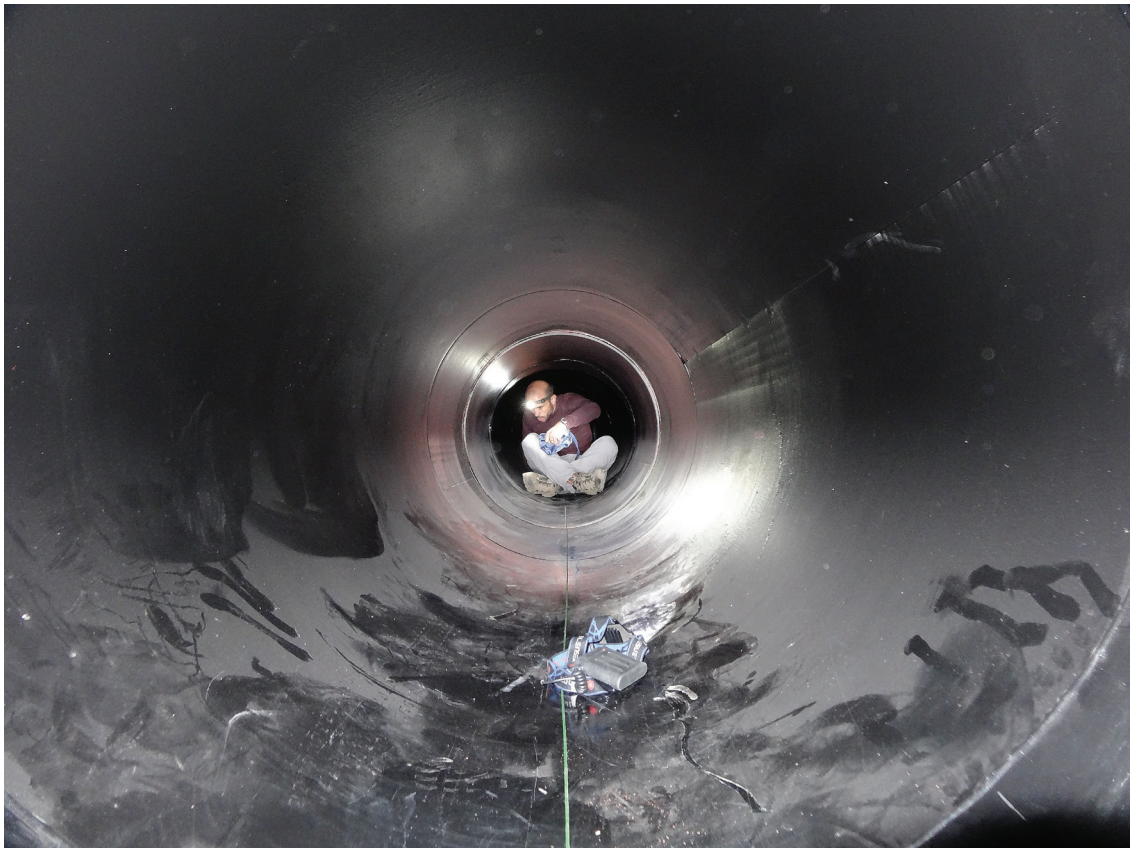
In the Coudé Room, underneath the telescope, Pedro Santos (IA) begins the opening for the passage of light between the telescope and the tunnels leading to the spectrograph.
[Photo: Alexandre Cabral, 14-03-2015]

Denis Mégevand (OBSGE), na Sala de Coudé, prepara-se para receber de Alexandre Cabral (IA) a câmara fotográfica depois de mais uma visita ao interior do túnel onde seriam instalados vários elementos do Coudé Train.
[Foto: Alexandre Cabral, 12-08-2015]

Denis Mégevand (OBSGE), in the Coudé Room, is about to receive the camera from Alexandre Cabral (IA) after another visit to the interior of the tunnel where several elements of the Coudé Train would be installed.
[Photo: Alexandre Cabral, 12-08-2015]

Francesco Pepe (OBSGE) prepara o espelho R8 para que Alexandre Cabral (IA) e Gerardo Ávila (ESO) procedam à sua instalação no "Gerardo Periscope" junto à entrada do túnel na sala de Coudé.
[Foto: Nuno Santos, 25-09-2016]

Francesco Pepe (OBSGE) prepares the R8 mirror for Alexandre Cabral (IA) and Gerardo Ávila (ESO) to install it in "Gerardo Periscope" next to the tunnel entrance in Coudé's room.
[Photo: Nuno Santos, 25-09-2016]



Pedro Santos (IA) inspeciona um dos túneis, com cerca de 50 metros de comprimento (diferente de telescópio para telescópio), que liga a Sala de Coudé ao local onde se localiza o espectrógrafo.
[Foto: Denis Mégevand, 20-10-2013]

Pedro Santos (IA) inspects one of the tunnels, with approximately 50 metres long (different from telescope to telescope), which connects the Coudé Room to the place where the spectrograph is located.
[Photo: Denis Mégevand, 20-10-2013]

Já dentro do túnel, Pedro Santos (IA) verifica o alinhamento da estrutura de suporte da lente L10. De referir que até as estruturas mecânicas de interface foram alinhadas utilizando feixes laser que materializavam direções de referência do telescópio e do Coudé Train.
[Foto: Alexandre Cabral, 12-08-2015]

Inside the tunnel, Pedro Santos (IA) checks the alignment of the L10 lens support structure. It should be noted that even the mechanical interface structures were aligned using laser beams that created reference directions for the telescope and the Coudé Train.
[Photo: Alexandre Cabral, 12-08-2015]

No Laboratório de Coudé Combinado, onde a luz dos quatro Coudé Train se junta para ser injetada no espectrógrafo pelo Front End do ESPRESSO, Alexandre Cabral (IA), Pedro Santos (IA) e Denis Mégevand (OBSGE) posam para uma foto diferente após todas as estruturas mecânicas de suporte aos sistemas ópticos ficarem prontas.
[Foto: Alexandre Cabral, 28-01-2015]

In the Combined Coudé Laboratory, where the light of the four Coudé Train is gathered to be injected into the spectrograph by ESPRESSO's Front End, Alexandre Cabral (IA), Pedro Santos (IA) and Denis Mégevand (OBSGE) pose for a different photo after all the mechanical structures supporting the optical systems are ready.
[Photo: Alexandre Cabral, 28-01-2015]

No Laboratório de Coudé Combinado, na outra extremidade do túnel, Pedro Santos (IA) e Manuel Abreu (IA) instalam a estrutura mecânica que iria suportar a lente L11 do telescópio UT4. [Foto: Alexandre Cabral, 01-07-2016]

At the Combined Coudé Laboratory, at the other end of the tunnel, Pedro Santos (IA) and Manuel Abreu (IA) install the mechanical structure that would support the L11 lens of the UT4 telescope. [Photo: Alexandre Cabral, 01-07-2016]

A poucas horas do primeiro teste no céu do Coudé Train do telescópio UT4, Alexandre Cabral (IA) termina o alinhamento do par de prismas ADC12, o último elemento do sistema que tem como função corrigir a dispersão cromática criada pela atmosfera. O trabalho é seguido de perto por Francesco Pepe (OBSGE) e Paolo Di Marcantonio (INAF) quase fora da fotografia. [Foto: Nuno Santos, 25-09-2016]

A few hours away from the first sky test of the UT4 telescope Coudé Train, Alexandre Cabral (IA) finishes the alignment of the ADC12 pair of prisms, the last element of the system that has the function of correcting the chromatic dispersion created by the atmosphere. The work is watched closely by Francesco Pepe (OBSGE) and Paolo Di Marcantonio (INAF) almost out of the picture. [Photo: Nuno Santos, 25-09-2016]

Após a "primeira luz" do Coudé Train no telescópio UT4, satisfação e alívio pela missão cumprida. Em cima, da esquerda para a direita, Antonio Manescau (ESO), Gerardo Ávila (ESO), Gaspare Lo Curto (ESO), Paulo Di Marcantonio (INAF), Alexandre Cabral (IA); em baixo, Manuel Abreu (IA), Manuel Monteiro (IA), Denis Mégevand (OBSGE), Francesco Pepe (OBSGE) e Nuno Santos (IA).
[Foto: Consórcio ESPRESSO, 25-09-2016]

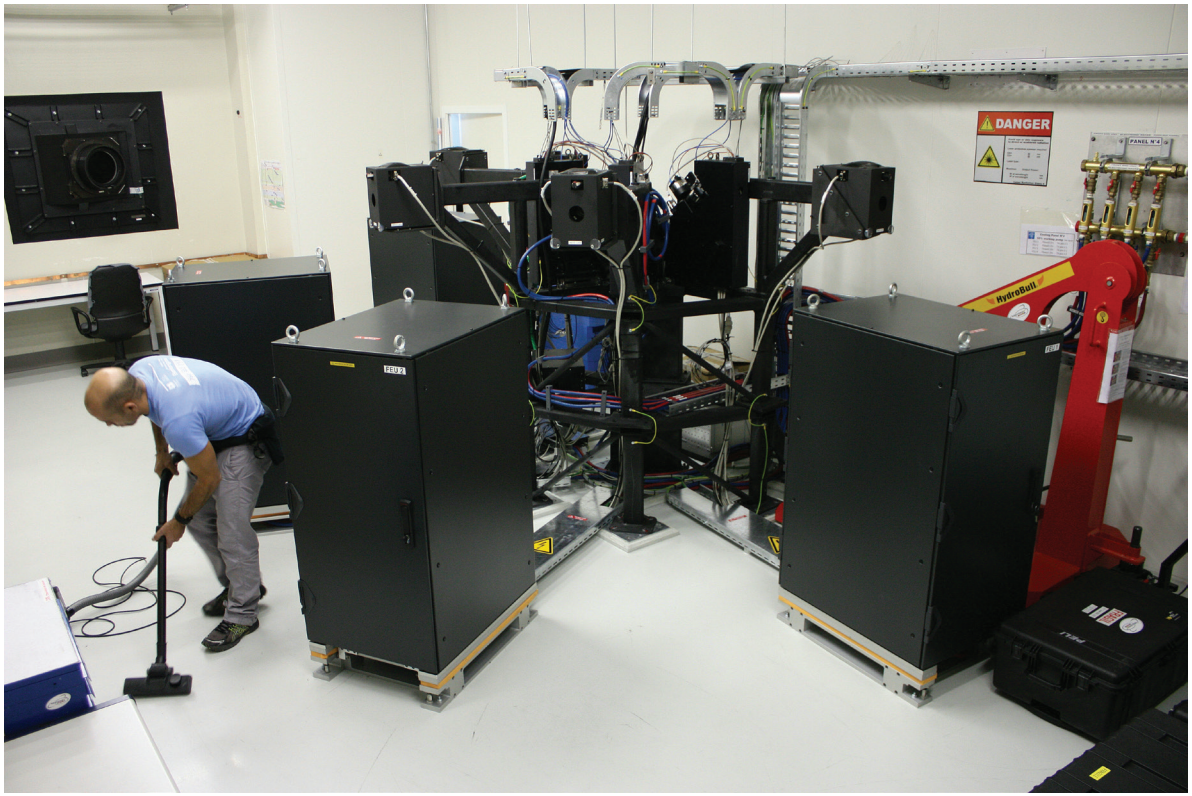
After the "first light" of the Coudé Train in the UT4 telescope, satisfaction and relief for the mission accomplished. Above, from left to right, Antonio Manescau (ESO), Gerardo Ávila (ESO), Gaspare Lo Curto (ESO), Paulo Di Marcantonio (INAF), Alexandre Cabral (IA); below, Manuel Abreu (IA), Manuel Monteiro (IA), Denis Mégevand (OBSGE), Francesco Pepe (OBSGE) and Nuno Santos (IA).
[Photo: ESPRESSO Consortium, 25-09-2016]

Denis Mégevand (OBSGE), à esquerda, e Gaspare Lo Curto (ESO), à direita, observam uma das primeiras imagens obtidas pelo Coudé Train do telescópio UT1 (uma estrela binária). [Foto: Consórcio ESPRESSO, 14-12-2016]

Denis Mégevand (OBSGE), left, and Gaspare Lo Curto (ESO), right, observe one of the first images obtained by the Coudé Train of the UT1 telescope (a binary star). [Photo: ESPRESSO Consortium, 14-12-2016]

Membros da equipa ESPRESSO, durante a integração do espectrógrafo, numa "selfie" antes de fechar o tanque, um mês antes da primeira luz do instrumento. Da esquerda para a direita, Marco Riva (INAF), Denis Mégevand (OBSGE), Alexandre Cabral (IA), Pedro Santos (IA), Gerardo Ávila (ESO) e Francesco Pepe (OBSGE).
[Foto: Alexandre Cabral, 17-10-2017]

Members of the ESPRESSO team, during the integration of the spectrograph, in a "selfie" before closing the vessel, one month before the first light of the instrument. From left to right, Marco Riva (INAF), Denis Mégevand (OBSGE), Alexandre Cabral (IA), Pedro Santos (IA), Gerardo Ávila (ESO) and Francesco Pepe (OBSGE).
[Photo: Alexandre Cabral, 17-10-2017]



Tudo pronto no Laboratório de Coudé Combinado para dar início aos testes no céu. Na imagem, a lente L11 do telescópio UT4 no topo esquerdo, Pedro Santos (IA) garantindo que tudo fica perfeito e, ao centro, o Front End do ESPRESSO que faz a ligação entre o Coudé Train e o espectrógrafo (numa sala climatizada localizada por detrás da parede).
[Foto: Alexandre Cabral, 07-11-2017]

All set in the Combined Coudé Laboratory to start the sky tests. In the image, the L11 lens of the UT4 telescope on the top left, Pedro Santos (IA) ensuring that everything is perfect and, in the centre, the ESPRESSO Front End which makes the connection between the Coudé Train and the spectrograph (in an acclimatised room located behind the wall).
[Photo: Alexandre Cabral, 07-11-2017]

O programa científico do ESPRESSO

A exploração científica do instrumento começou em Setembro de 2018, após mais um ano de testes e verificações. Em troca pelo trabalho e esforço realizado por toda a equipa, o ESO "concedeu" ao Consórcio a possibilidade de utilizar o instrumento durante 273 noites. Esta oportunidade está a ser utilizada pelos astrofísicos portugueses, em conjunto com os seus parceiros do consórcio, para procurar e caracterizar planetas rochosos em torno de outras estrelas e para estudar a composição química das suas atmosferas.

Adicionalmente, e aproveitando as características únicas do ESPRESSO, os astrofísicos estão a abordar outros casos científicos de grande impacto, incluindo o estudo da variabilidade das constantes fundamentais da física (algo com impacto na compreensão da física fundamental), o estudo da física das estrelas, ou a dinâmica dos ventos de planetas do nosso próprio Sistema Solar.

Os resultados científicos deste esforço estão agora a começar a ser divulgados. A precisão extrema das medidas do ESPRESSO continua a surpreender-nos. Os esforços levaram já a algumas descobertas inesperadas, incluindo a deteção de um planeta com uma massa inferior à da Terra a orbitar outro Sol (infelizmente demasiado quente para podermos considerar que possa ter vida) ou a descoberta de um outro planeta gigante tão quente que tem nuvens feitas de Ferro e de Lítio. E este é apenas o início de uma aventura científica que certamente está a colocar a equipa nacional na vanguarda daquela que é uma das áreas científicas de maior impacto na astrofísica moderna.

The ESPRESSO scientific programme

The scientific exploitation of the instrument started in September 2018, after another year of testing and verification. In return for the work and effort done by the team, ESO "granted" the Consortium the possibility to use the instrument for 273 nights. This opportunity is being used by portuguese astrophysicists, together with their consortium partners, to search and characterise rocky planets around other stars and to study the chemical composition of their atmospheres.

Additionally, and taking advantage of the unique characteristics of ESPRESSO, astrophysicists are addressing other high impact scientific cases, including the study of the variability of the fundamental constants of physics (something that impacts the understanding of fundamental physics), the study of the physics of stars, or the dynamics of winds from planets in our own Solar System.

The scientific results of this effort are now beginning to be disseminated. The extreme precision of the ESPRESSO measurements continues to surprise us. The efforts have already led to some unexpected discoveries, including the detection of a planet with a mass lower than the Earth orbiting another Sun (unfortunately too hot for us to consider that it may harbour life) or the discovery of another giant planet so hot that it has clouds made of Iron and Lithium. And this is just the beginning of a scientific adventure that is certainly putting the national team at the forefront of what is one of the scientific areas of greatest impact in modern astrophysics.

Nuno Cardoso Santos (IA) junto a um dos telescópios na missão da primeira luz do ESPRESSO.
[Foto: Consórcio ESPRESSO, 27-11-2017]

Nuno Cardoso Santos (IA) next to one of the telescopes in the mission of the ESPRESSO "first light".
[Photo: ESPRESSO Consortium, 27-11-2017]

E o futuro?

Enquanto o ESPRESSO estava a ser pensado e desenvolvido, os esforços de procura de outros planetas permitiram detetar mais de 4000 exoplanetas a orbitar outras estrelas. Hoje, quando olhamos o céu à noite, podemos dizer que muito provavelmente a maior parte das estrelas que vemos tem pelo menos um planeta à sua volta. No entanto, ainda não foi possível detetar nenhum planeta realmente parecido com a Terra: um pequeno grão de areia cósmico que esteja à distância certa da sua estrela para que possa existir água líquida. A esperança recai agora no ESPRESSO, e nas descobertas que este vai fazer. Em breve, certamente, teremos mais respostas.

E o que se segue? Os cientistas estão hoje focados essencialmente em três grandes linhas: a procura de planetas parecidos com a nossa Terra, a caracterização detalhada dos exoplanetas encontrados (incluindo as suas atmosferas), e a compreensão mais clara dos processos físicos que dão origem aos sistemas planetários. As grandes agências internacionais (ESO, ESA, NASA) estão a apostar fortemente neste esforço, estimulando a comunidade científica a construir novos instrumentos para os maiores telescópios na Terra e a lançar missões espaciais capazes de alcançar estes objetivos (um trabalho feito em parceria estreita com a indústria).

What about the future?

While ESPRESSO was thought out and developed, efforts to search for other planets made it possible to detect more than 4000 exoplanets orbiting other stars. Today, when we look at the night sky, we can say that it is very likely that most of the stars we see have at least one planet around them. However, it has not yet been possible to detect any planet really like the Earth: a small grain of cosmic sand that is at the right distance from its star so that there can be liquid water. Hopes now rest on ESPRESSO, and the discoveries it will make. Soon, surely, we will have more answers.

And what next? Scientists today are focused essentially on three main lines: the search for planets similar to our Earth, the detailed characterisation of the exoplanets found (including their atmospheres), and a clearer understanding of the physical processes that give rise to planetary systems. The major international agencies (ESO, ESA, NASA) are investing heavily in this effort, encouraging the scientific community to build new instruments for the largest telescopes on Earth and to launch space missions capable of achieving these goals (a work done in close partnership with industry).

Equipa "ESPRESSO … what else?" Da esquerda para a direita, Pedro Santos (IA), Alexandre Cabral (IA), António Oliveira (IA), Bernard Delabre (ESO), David Alves (IA), Manuel Abreu (IA), Denis Mégevand (OBSGE) e Gerardo Ávila (ESO).
[Foto: Gerardo Ávila, 07-02-2017]

Team "ESPRESSO … what else?" From left to right, Pedro Santos (IA), Alexandre Cabral (IA), António Oliveira (IA), Bernard Delabre (ESO), David Alves (IA), Manuel Abreu (IA), Denis Mégevand (OBSGE) and Gerardo Ávila (ESO).
[Photo: Gerardo Ávila, 07-02-2017]

Em 2020, ano em que este livro foi produzido, celebrámos também os 20 anos da adesão de Portugal ao ESO. Esse momento histórico para a ciência nacional possibilitou aos astrofísicos portugueses aceder aos melhores telescópios do mundo, envolvendo-os num ambiente científico internacional de grande competitividade e rigor. Tal oportunidade moldou, pela positiva, todo o desenvolvimento da astrofísica que se faz hoje em Portugal. Talvez mais importante ainda, o ESO deu às equipas nacionais a possibilidade de participar e liderar o desenvolvimento de novos instrumentos, capazes de responder às grandes questões científicas do momento (o ESPRESSO é aqui um dos casos mais paradigmáticos). Tal envolvimento garante a necessária liderança científica e de elevada qualidade em temas de vanguarda da ciência mundial.

É neste contexto, e aproveitando o sucesso do ESPRESSO, que a equipa portuguesa tem agora em vista a construção de um "super-ESPRESSO" (chamado de "HIRES") para o que será, daqui a 10 anos, o maior telescópio do mundo: o Extremely Large Telescope (ELT), com um espelho principal de 39 metros de diâmetro, que o ESO está a construir. O HIRES vai permitir dar um passo de gigante, permitindo também estudar a atmosfera de exoplanetas e medir a sua composição química. Essa análise pode conter a informação necessária para dizer se um outro mundo, a orbitar uma estrela distante, pode ter condições para a existência de vida. Espera-se assim que a visão e a liderança que nos permitiu, no século XVI, encontrar novos mundos no nosso planeta nos ajude agora a encontrar novos mundos no Universo, e quem sabe, um dia, descobrir que a orbitar uma outra estrela pequena e normal existe um pequeno ponto azul onde alguém se esteja a perguntar: será que existe algum planeta em torno do Sol?

In 2020, the year in which this book was produced, we also celebrated the 20 years of Portugal's accession to the ESO. This historic moment for national science has enabled portuguese astrophysicists to access the best telescopes in the world, involving them in an international scientific environment of great competitiveness and rigour. This opportunity has positively shaped the whole development of today's astrophysics in Portugal. Perhaps even more important, ESO gave the Portuguese teams the opportunity to lead the development of new instruments, capable of answering the great scientific questions of the moment (ESPRESSO being a paradigm case). Such involvement ensures the highest quality scientific leadership on cutting-edge issues in world science.

It is in this context, and building on the success of ESPRESSO, that the portuguese team is now aiming to build a "super-ESPRESSO" (called "HIRES") for what will be, in 10 years from now, the largest telescope in the world: the Extremely Large Telescope (ELT), with a main mirror 39 metres in diameter, that ESO is building. HIRES will allow us to take a giant step, also allowing us to study the atmosphere of exoplanets and measure their chemical composition. This analysis may contain the necessary information to tell if another world, orbiting a distant star, may have conditions for life. We hope that the vision and leadership that allowed us, in the sixteenth century, to find new worlds in our planet will now help us to find new worlds in the Universe, and maybe, one day, discover that orbiting another small and normal star there is a small blue dot where someone is wondering: is there a planet around the Sun?

Durante uma das missões do Coudé Train do ESPRESSO, a equipa aproveitou para visitar a montanha Armazones onde será instalado o Extremely Large Telescope do ESO e o próximo grande espectrógrafo. Ao fundo é possível ver a montanha Paranal e o VLT com os seus quatro grandes telescópios. Na foto, da esquerda para a direita, Gerardo Ávila (ESO), Manuel Abreu (IA), Alexandre Cabral (IA), Denis Mégevand (OBSGE) e Pedro Santos (IA).
[Foto: Alexandre Cabral, 10-10-2015]

During one of the missions of ESPRESSO's Coudé Train, the team took the opportunity to visit the mountain Armazones where the ESO's Extremely Large Telescope and the next big spectrograph will be installed. In the background you can see the Paranal Mountain and the VLT with its four large telescopes. In the photo, from left to right, Gerardo Ávila (ESO), Manuel Abreu (IA), Alexandre Cabral (IA), Denis Mégevand (OBSGE) and Pedro Santos (IA).
[Photo: Alexandre Cabral, 10-10-2015]

ESPRESSO é o "Echelle SPectrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations" instalado no laboratório de Coudé combinado do Very Large Telescope do Observatório Europeu do Sul (ESO/VLT). É um espectrógrafo tipo "échelle" de alta resolução, ultra-estável e alimentado por fibra, construído para medir velocidades radiais com elevada precisão num longo período de tempo. O principal objetivo científico é detetar e caracterizar gémeos da terra na zona habitável em estrelas do tipo solar.

O instrumento foi construído pelo Observatoire de Genève e Universität Bern (Suíça), pelo Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço da Universidade do Porto e Universidade de Lisboa (Portugal), pelo Istituto Nazionale di Astrofisica em Milão e Trieste (Itália), pelo Instituto de Astrofísica de Canarias (Espanha) e pelo European Southern Observatory.

ESPRESSO is the Echelle SPectrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations installed at the combined Coudé laboratory of the European Southern Observatory / Very Large Telescope (ESO/VLT). It is an ultra-stable fibre-fed échelle high-resolution spectrograph built to measure precise radial velocities on a long timespan with the main scientific aim of detecting and characterising Earth twins in the habitable zone of solar-like stars.

The instrument was built by Observatoire de Genève and Universität Bern (Switzerland), by Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço da Universidade do Porto e Universidade de Lisboa *(Portugal), by Istituto Nazionale di Astrofisica in Milan and Trieste (Italy), by Instituto de Astrofísica de Canarias (Spain) and by European Southern Observatory.*

ISBN 978-972-98162-2-2