

# J-PAS: o consórcio astronômico hispano-brasileiro

Cassio Pigozzo

Universidade Federal da Bahia

J-PAS, Javalambre - Physics of the Accelerated Universe Astrophysical Survey

## Resumo

Uma nova geração de telescópios está prestes a elevar nosso conhecimento astrofísico e cosmológico a outro patamar, e neste contexto se insere a colaboração J-PAS. Este artigo apresenta as características desta colaboração, com particular foco nos equipamentos que compõem o Observatório Astrofísico de Javalambre e nas suas peculiaridades. Os objetivos e alguns projetos-chave, envolvendo dezenas de instituições de diferentes nacionalidades, são brevemente apresentados. Apesar de inicialmente concebido como observatório dedicado à observação de oscilações acústicas bariônicas e estudos de propriedades da energia escura, a astronomia se beneficiará dos futuros catálogos de dados do J-PAS em diversas escalas.

## Abstract

A new generation of telescopes is about to take our astrophysical and cosmological knowledge to another level, and that is where J-PAS collaboration is found. This article presents the characteristics of this collaboration, with particular focus on the equipment that makes up the Javalambre Astrophysical Observatory and its peculiarities. The objectives and some key projects, involving dozens of institutions of different nationalities, are briefly presented. Although initially conceived as an observatory dedicated to baryon acoustic oscillations observations and studies of dark energy properties, Astronomy will benefit from future J-PAS data catalogs at many scales.

**Palavras-chave:** J-PAS, energia escura, BAO, *redshift* fotométrico

**Keywords:** J-PAS, dark energy, BAO, photometric redshift

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v3n1.37135](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v3n1.37135)

## 1 Introdução

O *Javalambre - Physics of the Accelerated Universe Astrophysical Survey*, J-PAS, é um projeto inovador de mapeamento fotométrico 3D de estruturas em larga escala, se estendendo por mais de 8.000 graus quadrados do céu do hemisfério Norte [1]. Trata-se de uma grande colaboração internacional coordenada pelo Brasil e pela Espanha, contando com mais de duzentos pesquisadores envolvidos. Há diversos projetos de pesquisa vinculados, varrendo áreas da cosmologia, astrofísica extragaláctica e astrofísica galáctica, além do estudo de objetos de nossa galáxia e, mais localmente, do sistema solar.

Esses projetos aguardam os dados que serão obtidos com o telescópio principal do J-PAS, de nome *Javalambre Survey Telescope* (JST/T250), Figura 1, projetado especificamente para esta colaboração. O JST/T250 possui 2,55 metros de diâmetro e montagem Cassegrain, e está insta-



**Figura 1:** Telescópio principal do J-PAS, o JST/T250. Crédito da imagem: J-PAS.

lado a cerca de 2.000 metros de altitude, no Pico do Abutre, na Serra de Javalambre, Teruel - Espanha, compondo o Observatório Astrofísico de Javalambre (OAJ) – Figura 2. O J-PAS pertence ao conjunto de telescópios terrestres do chamado

*Estágio IV* de experimentos de energia escura.

Além da abertura de 2,55 metros, que permite a varredura de grande área do céu simultaneamente, outras características são muito importantes para garantir que o equipamento atinja o potencial desejado: a escolha do sistema de filtros e de câmeras que serão acoplados ao telescópio. E nestes quesitos o J-PAS tem dois grandes diferenciais.

O primeiro deles é um sistema de 56 filtros de banda estreita na região do espectro visível, além de 3 outros de banda larga, o que permitirá a obtenção de espectros fotométricos de baixa resolução. A Figura 3 ilustra as curvas de transmitância desses filtros.

O segundo é a JPCam, Figura 4, uma câmara mosaico de 14 CCDs, cada uma com 9,2 x 9,2 kpixels, somando mais de 1,2 milhões de pixels, capaz de fotografar simultaneamente uma área de 4,5 graus quadrados, o equivalente no plano do céu à área de aproximadamente 36 luas cheias. O projeto da JPCam foi de responsabilidade do Brasil, e ela já se encontra instalada no foco Cassegrain do telescópio JST/T250.

Neste artigo iremos apresentar em mais detalhes as características do projeto J-PAS, justificando porque há a expectativa de que ele seja um dos principais levantamentos de dados astrofísicos e cosmológicos desta década.

## 2 A luz das galáxias

O universo ao nosso redor é um imenso laboratório para os diversos campos da astronomia. Diferentemente dos laboratórios aqui na Terra, não temos controle sobre os eventos observados, nem podemos garantir sua reprodução. Tampouco podemos mudar parâmetros do “experimento” ao nosso sabor. Nos resta, com tecnologia adequada para a observação, extrair o máximo de informação dos dados a que temos acesso.

### 2.1 O fluxo

Os dados para estudos astronômicos são, em sua maioria, de origem eletromagnética, que podemos chamar simplesmente de *luz*. Uma importante informação da luz é bastante intuitiva: a medida do *fluxo*, ou intensidade, da radiação que incide em nossos detectores. Observando o céu noturno, percebemos que estrelas podem parecer

mais ou menos brilhantes, e essas diferenças podem ser devidas principalmente a dois fatores: a distância,  $r$ , que cada estrela está de nós, e de uma propriedade intrínseca da estrela, sua luminosidade,  $L$ .

A luminosidade é basicamente a medida da potência da fonte luminosa, ou seja, a razão entre a quantidade de energia emitida pelo intervalo de tempo de emissão. Se considerarmos que essa energia é transportada por frentes de onda esféricas e isotrópicas, temos que o fluxo médio, a uma certa distância  $r$  da fonte será

$$f = \frac{L}{4\pi r^2}. \quad (1)$$

Medindo o fluxo na observação, e conhecendo a distância que a fonte está através de algum método independente, como por exemplo via paralaxe estelar, podemos determinar a propriedade intrínseca da luminosidade daquele objeto. Por sua vez, caso tenhamos como identificar que outro objeto é da mesma classe do exemplo anterior, admitimos que esse tipo de objeto é uma *vela-padrão*, ou seja, de luminosidade conhecida. Assim, mesmo que ele tenha um brilho aparente bem fraco, e que seja impossível determinar sua distância por paralaxe estelar, podemos, medindo o fluxo e conhecendo sua luminosidade, determinar sua distância.

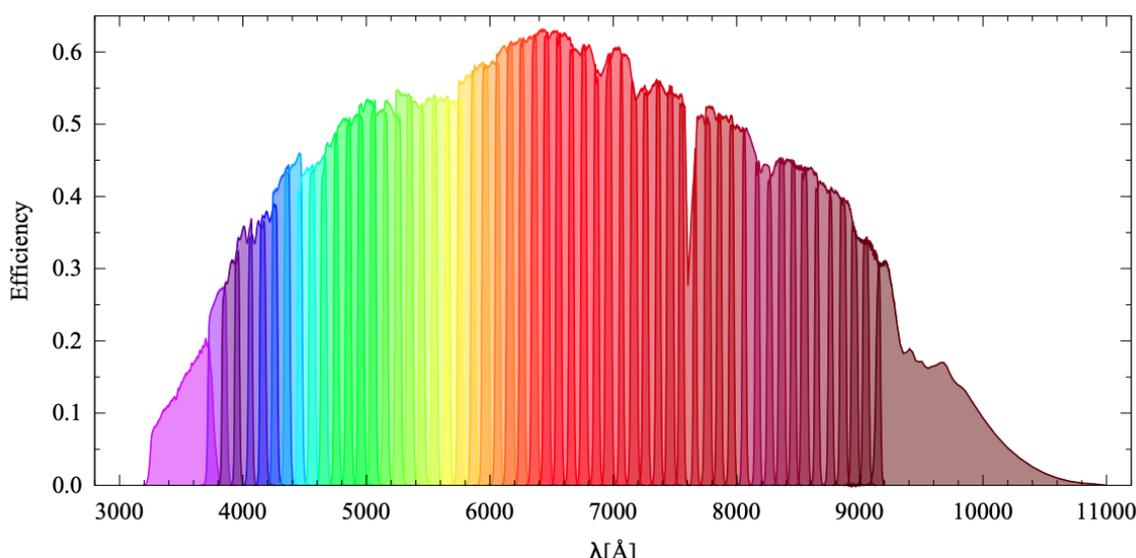
Este é um exemplo simples do que é conhecido como a *escada cósmica*. Há diversos métodos de determinação de distância, mas cada método tem seus limites de aplicabilidade devido à barreira da acurácia da medida, ou por não haver objetos com as características que determinado método exige a qualquer distância. Mas podemos sempre ancorar/calibrar um método para determinar distâncias maiores em outro adequado para determinar distâncias de objetos relativamente mais próximos.

Sabemos que a luz apresenta não apenas propriedades de fenômenos ondulatórios, como também características de partícula. Na Física de Partículas, a partícula da luz é chamada de fóton, o pacote mínimo de energia de luz, de maneira que podemos expressar o fluxo luminoso pela contagem do número de fótons que incidem no detector. Quanto maior a área do detector, mais fótons serão coletados.

O uso de placas fotográficas e posterior desenvolvimento de câmeras, em particular as modernas câmeras com dispositivo de carga acoplada



**Figura 2:** Observatório Astrofísico de Javalambre. Crédito da imagem: J-PAS.



**Figura 3:** Sistema de filtros do telescópio JST/T250 [2]. São 56 filtros de banda estreita, com larguras de  $145\text{\AA}$ , dispostos a cada  $100\text{\AA}$  na região do espectro visível. Conta também com 3 filtros de banda larga. Mais detalhes sobre esses filtros e os do J-PLUS podem ser encontrados no [repositório de filtros do Observatório Virtual Espanhol \(SVO\)](#).

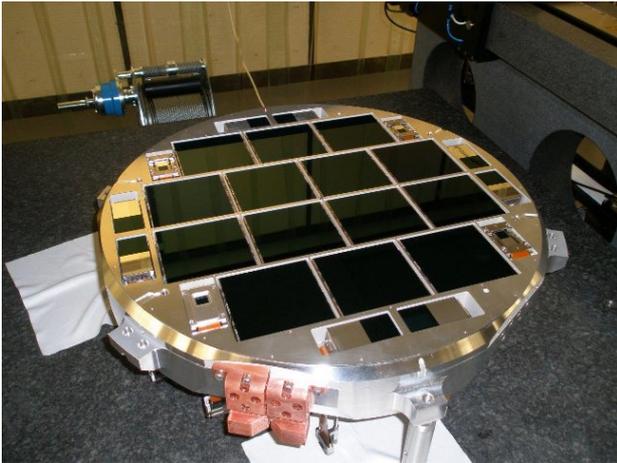
(em inglês, CCD), ampliou bastante a capacidade de observação de objetos distantes, não só com aumento da área de coleta, mas permitindo ampliar o tempo de integração da luz, bem como a chamada *eficiência quântica*, que é a medida do percentual de fótons incidente que é transformada em informação.

O olho humano é um instrumento fantástico, mas com grandes limitações para a astronomia, por ter baixo tempo de integração (exposição curta), de 0,015 s (cones) a 0,1 s (bastonetes), e baixa eficiência quântica, aproximadamente 3% (cone) a 10% (bastonetes). Isso quer dizer que 90% a 97% dos fotos incidentes nos nossos olhos, mesmo que na região do visível, não contribuem para a formação de imagem no cérebro. A JP-Cam, por sua vez, pode atingir eficiência quântica

de até 93%, e, com o armazenamento de dados digital, podemos somar o tempo de observação que for necessário para obter mais informações de um objeto muito distante, indetectável a olho nu.

## 2.2 O espectro

Outra propriedade extremamente importante da luz é seu *espectro*. Partindo dos famosos experimentos de Isaac Newton, fazendo a luz do Sol incidir sobre um prisma e estudando sua decomposição nas cores do arco-íris, pode-se associar velocidades de propagação (o que implica em índices de refração) distintas para as diferentes cores (frequências) da luz percorrendo o material do prisma. Aqui podemos fazer um salto para o século XX, apontando que o valor daquele pacote mínimo de energia do fóton é proporcional à



**Figura 4:** Foto da JPCam antes de ser acoplada ao telescópio. Conjunto de 14 câmeras CDD, compondo a maior câmera para fins astronômicos, projetada e fabricada especificamente para o J-PAS. Crédito da imagem: J-PAS.

frequência associada,  $\nu$ , ou seja,

$$E = h\nu, \quad (2)$$

onde  $h = 6,62607004 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$  é a constante de Planck [3]. Assim, a contagem de fótons que chegam no detector, de área de coleta  $A_D$ , pode ser classificada em termos da frequência de cada fóton, e assim podemos reescrever o fluxo medido como

$$f = \frac{\Delta E / \Delta t}{A_D} = \frac{\sum_i h\nu_i / \Delta t}{A_D}. \quad (3)$$

Em 1802, William Wollaston construiu um espectrômetro mais avançado e acoplado a uma lente para focalizar a luz do Sol, percebendo que, diferente do que se considerava até então, a luz não se espalhava uniformemente em todas as cores. Detectou-se pela primeira vez bandas escuras (linhas de absorção) no espectro solar, que foram erroneamente relacionadas com fronteiras naturais entre as cores. Uma análise mais cuidadosa feita pelo físico alemão Joseph Fraunhofer encontrou cerca de 600 linhas escuras (cores faltantes), o que descartava a hipótese da fronteira.

Podemos citar também os estudos do espectro de emissão de gases de diferentes elementos químicos ou moléculas, em laboratório. Os espectros obtidos eram notadamente descontínuos, visualizados como linhas ou estreitas bandas espectrais, e as posições dessas linhas, ou seja, as frequências associadas, dependiam da natureza química daquele gás. O físico dinamarquês Niels Bôhr (1885-1962) propôs um modelo atômico

que complementava o modelo de Rutherford, vinculando a diferença nos espectros dos elementos químicos com os diferentes níveis de energia que os elétrons podem ocupar na estrutura de átomos de diferente natureza. Assim, dava-se início à consolidação dos espectros como “impressões digitais” dos elementos químicos, qualidade de extrema importância para a astronomia.

Admitindo-se que os fenômenos físicos no Sol, em outras estrelas e em outras galáxias respeitam as mesmas leis da Mecânica Quântica e da Física de Partículas que conhecemos aqui na Terra, podem-se extrair informações sobre a composição química do ambiente de origem daquela luz observada, apenas fazendo-se o estudo de seu espectro. A partir de um espectro de boa qualidade, é possível encontrar as linhas de emissão e absorção típicas dos elementos químicos e moléculas, e assim estimar a composição química da fonte emissora.

Foi observado que os espectros de algumas estrelas não coincidiam exatamente com os espectros dos elementos químicos conhecidos. Mas com um desvio sistemático das linhas para comprimentos de onda maiores ou menores, podia-se obter uma equivalência com espectros catalogados em laboratório. Assim, ainda sob a hipótese de que as leis físicas são universais, pode-se justificar o deslocamento do espectro através do efeito Doppler. Tomando o comprimento de onda de determinada linha espectral, medida em laboratório, ou seja, no referencial de repouso da fonte,  $\lambda_r$ , e o comprimento de onda associado à linha espectral da luz proveniente de uma estrela distante,  $\lambda$ , o desvio para o vermelho, ou *redshift*, é definido como

$$z \equiv \frac{\lambda - \lambda_r}{\lambda_r}, \quad (4)$$

ou seja, o desvio percentual do comprimento de onda. Se o espectro de uma fonte apresenta um valor positivo de  $z$ , conferimos uma velocidade de afastamento, e para  $z < 0$ , *blueshift*, aproximação. Então, a partir do espectro, obtemos não apenas informação sobre a composição química da fonte, mas também dados sobre seu estado de movimento em relação a nós. Esses dados permitem acessar uma grande riqueza de informações sobre os objetos, como velocidade, massa, diâmetro e temperatura. Pode-se afirmar que a espectroscopia aplicada a observações astronômicas fundou a astrofísica.

Ainda antes da publicação por Einstein da primeira aplicação da sua teoria da relatividade geral para descrever o universo, em 1917 [4], o astrônomo Vesto Melvin Slipher havia começado o árduo trabalho de medir espectros de objetos difusos, à época conhecidos como nebulosas espirais, posteriormente identificadas como galáxias. Em 1912, Slipher descobriu que as linhas espectrais da *nebulosa* de Andrômeda apresentavam grande deslocamento para o azul ( $z \approx -0,001$ ), indicando uma velocidade de aproximação do sistema solar da ordem de 300 km/s. Nos anos seguintes ele continuou estas observações, obtendo o desvio do espectro de 41 galáxias, e, diferentemente de Andrômeda, a maioria apresentava deslocamento para maiores comprimentos de onda, ou seja, a maioria estaria se afastando de nós. O maior desvio para o vermelho obtido dentre estas galáxias foi de  $z \approx 0,006$ .

### 2.3 O universo dinâmico

Ao mostrar que as equações de campo da relatividade geral poderiam descrever o universo em larga escala, Albert Einstein postulou um universo estático, mesmo que para isso ele tivesse que incluir artificialmente uma constante cosmológica em suas equações para obter soluções estáticas. Apenas em 1922 o matemático e cosmólogo russo Aleksander Aleksandrovich Friedmann mostra, pela primeira vez, a possibilidade teórica de um universo em expansão [5]. Nesse trabalho e no seguinte, publicado em 1924 [6], ele obteve as soluções das equações de Einstein para um universo homogêneo e isotrópico, com as três curvaturas espaciais possíveis, que vão servir de base para construção de toda a cosmologia moderna.

Os trabalhos de Friedmann eram extremamente matemáticos, não fazendo conexão de seus resultados com as medidas de Slipher, apesar dessas medidas, indicando que os objetos mais distantes estavam se afastando de nós, serem compatíveis com os modelos de universo descritos. Não podemos deixar de citar também os importantes trabalhos do físico, astrônomo e cosmólogo belga Georges-Henri Édouard Lemaître, e dos astrônomos norte-americanos Edwin Powell Hubble e seu colaborador (e espectroscopista) Milton Lasell Humason, medindo os desvios para o vermelho das galáxias e derivando a famosa Lei de Hubble-Lemaître.

A métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-

Walker, usando coordenadas esféricas, pode ser escrita como

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 \left( \frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\Omega^2 \right), \quad (5)$$

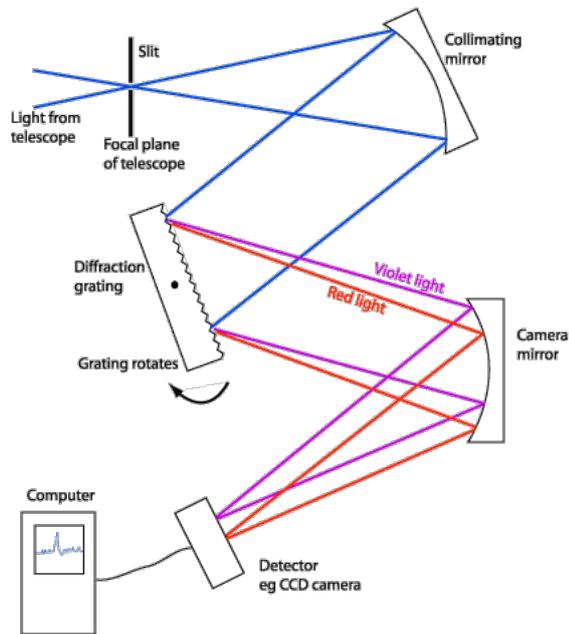
onde  $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$  e  $k = +1, 0$ , ou  $-1$ , referentes às três possíveis geometrias do universo nos modelos de Friedmann. Desprezados os movimentos peculiares das galáxias, movimentos estes devidos a interações gravitacionais locais, estas galáxias ocupariam posições “fixas”, descritas por coordenadas comóveis  $(r, \theta, \phi)$ , e a dinâmica do universo fica descrita pelo fator de escala,  $a(t)$ . O aumento do fator de escala com o tempo implica na dilatação do espaço, e uma onda se propagando no espaço em expansão tem seu comprimento de onda “esticado”. Essa conexão entre o desvio para o vermelho da luz observada e o valor do fator de escala do universo quando essa luz foi emitida é dada por

$$\frac{a(t)}{a_0} = \frac{1}{1 + z}, \quad (6)$$

sendo  $a_0$  o valor atual do fator de escala [7]. Esta equação é extremamente importante por fazer a conexão entre um observável, medido a partir do espectro da radiação detectada, com uma função que se propõe a descrever teoricamente o universo em que vivemos. E podemos interpretar que, quanto maior for o *redshift* da luz observada, maior foi o tempo que essa onda viajou até atingir nossos detectores; ou seja, mais distante estava a fonte quando emitiu esse sinal, e mais do passado é essa informação.

As velocidades peculiares citadas anteriormente são da ordem de  $10^2$  km/s, como vimos no caso da galáxia de Andrômeda. Para que as velocidades peculiares tivessem no máximo a ordem de grandeza dos erros das medidas, foram necessários *redshifts* da ordem de  $10^{-2}$  ou superiores, associados a velocidades de recessão  $> 10^3$  km/s, o que implicava em obter informações de objetos distantes, na escala cosmológica, onde o fluxo de Hubble passa a ser relevante.

Todo este contexto foi descrito para enfatizar a importância das medidas de espectro e seu desvio na construção de nosso conhecimento atual da astrofísica e da cosmologia, e em que direção os novos experimentos precisam apontar para que tenhamos mais dados, e dados mais precisos, para que possamos atacar questões ainda em aberto.



**Figura 5:** Representação esquemática do funcionamento de um espectrógrafo acoplado a um telescópio. A luz proveniente de uma fonte astronômica atravessa uma fenda, seus feixes são colimados, e a separação das frequências se dá por uma rede de difração. Os fótons de diferentes frequências são coletados em posições diferentes da câmera CCD, e essas informações são registradas no computador, onde o espectro é configurado. Imagem adaptada de [8].

Mas os espectros de alta resolução não são baratos.

Na Figura 5 apresentamos um exemplo do esquema de funcionamento de um espectrógrafo de fenda acoplado a um telescópio. No lugar de um prisma, temos uma rede de difração como agente dispersor da luz. Pela fenda do topo da figura, atravessa a luz proveniente de um objeto pontual, como uma estrela, ou mapeia-se partes de uma galáxia. Além do custo para construção e manutenção do equipamento, há o tempo de observação necessário para aquisição de um espectro de qualidade. Nas últimas décadas um considerável avanço foi alcançado com as tecnologias de espectroscopia multifibra, onde numa mesma área de observação diversas fontes têm fibras óticas associadas, para obtenção de informação e construção de espectros de objetos distintos simultaneamente. Esta tecnologia é aplicada, por exemplo, nos Sloan Digital Sky Surveys (SDSS), e alguns exemplos de espectros obtidos nessa colaboração estão apresentados em cinza da Figura 6.

## 2.4 Redshifts fotométricos

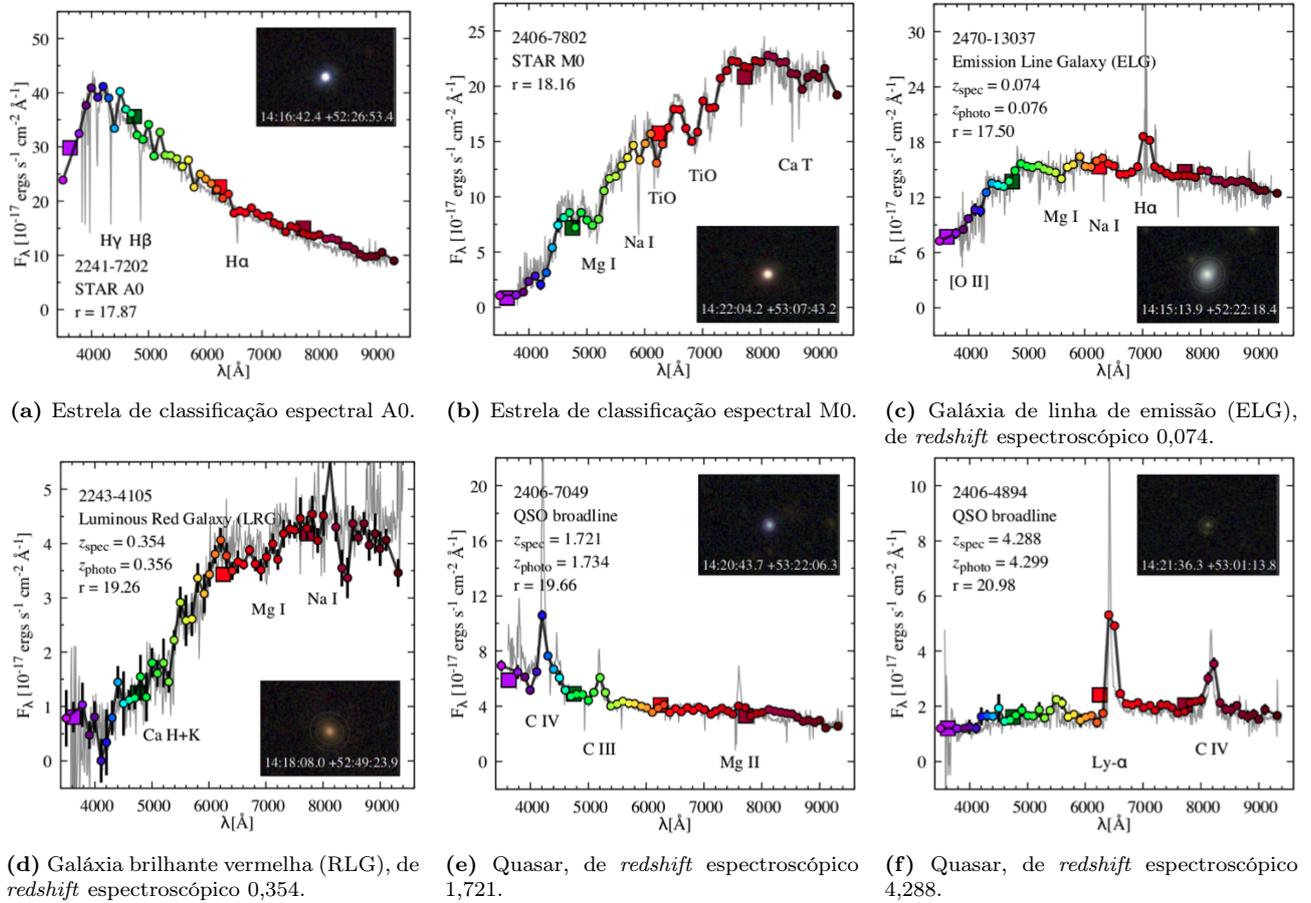
Aqui entra o grande diferencial da metodologia aplicada no J-PAS: uma alternativa para obtenção do espectro e do desvio para o vermelho de uma quantidade muito grande de fontes, simultaneamente, ao coletar dados de uma área grande do céu. Essa é a aposta do inovador sistema de filtros de banda estreita, ilustrados na Figura 3. Ao invés de investir em um espectrógrafo caro, que exige um alto custo em tempo para construção de um catálogo grande, poderemos construir espectros a partir da fotometria, ou seja, da contagem de fótons que atravessam filtros estreitos, em torno de frequências específicas.

Os desvios do espectro obtidos a partir de fotometria são chamados de *redshifts* fotométricos (*photo-z*), em contraste com os tradicionais *redshifts* espectroscópicos. Notadamente, a resolução do espectro fotométrico é inferior ao espectroscópico, mas a derivação do *redshift* pode ser calibrada a partir de valores espectroscópicos e, com técnicas modernas de aprendizado de máquina, se ter sucesso na medida do *photo-z*. Estima-se que a combinação de equipamentos de aquisição de dados e de técnicas de processamento dos mesmos permita um erro na medida do *redshift* fotométrico da ordem de

$$\sigma_z(z) = 0.003(1+z). \quad (7)$$

A utilização de 59 filtros exigiu a definição de uma logística de troca desses filtros ao longo da observação de determinada área do céu, implicando no desenvolvimento de uma mecânica específica de funcionamento para os equipamentos do J-PAS. Antes da instalação da JPCam, foi feito um levantamento preliminar com o telescópio, para testar o potencial do conjunto JST/T250 + filtros, mas com uma câmera provisória, a JPAS-Pathfinder. Observando apenas 1 grau quadrado do céu, foram coletadas informações de 64.000 fontes, que compõem o catálogo *miniJPAS* [2].

A acurácia da medida do *redshift* fotométrico foi testada comparando-se os valores obtidos com mais de 5 mil galáxias com seus *redshifts* espectroscópicos, que já haviam sido medidos com o SDSS. Alguns exemplos estão apresentados nos painéis (c) e (d) da Figura 6. Para um conjunto de 17.500 galáxias com *photo-z* derivado, estima-se que cerca de 4 mil apresentem erro no *redshift* inferior a 0,003 [9].



**Figura 6:** Exemplos de espectros fotométricos obtidos com miniJPAS (pontos coloridos) de objetos cujos espectros já são conhecidos (em cinza) no levantamento do SDSS [2]. As classificações dos objetos estão apresentadas nas legendas de cada gráfico.

Esses resultados preliminares são bastante animadores, e espera-se que o volume dos catálogos cresça em pelo menos mil vezes, quando o J-PAS atingir todo seu potencial, mapeando os objetos ao longo de 8.500 graus quadrados. Ao final, estima-se a medida de *redshifts*, com a acurácia dada pela equação (7), de  $10^8$  galáxias do tipo LRG e ELG, além de milhões de quasares, varrendo um volume efetivo de  $\sim 14 \text{ Gpc}^3$ , até *redshifts* de  $\sim 1,3$ .

### 3 O Observatório Astrofísico de Javalambre

O parque de observação que compõe o OAJ está situado na Serra de Javalambre, na cidade de Teruel - Espanha. O terreno foi cedido pelo governo espanhol ao *Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón* (CEFCA), responsável pela construção da infraestrutura de prédios e telescópios, projetados especificamente para a

colaboração J-PAS. A concepção do projeto do J-PAS data do ano de 2010. O ambiente é propício devido a sua baixa umidade e sua altitude de 1.957 m, com excelentes índices de observação astronômica, incluindo mais de 53% de noites com céu limpo ao longo do ano, e impressionante escuridão [10].

O OAJ conta com dois telescópios: um de 80 cm de diâmetro, chamado *Javalambre Auxiliary Survey Telescope* (JAST/T80), e o principal, com 2,55 metros de diâmetro, o JST/T250. O JAST/T80 opera com um sistema de filtros mais simples, totalizando 12, dentre os quais alguns são em comum com o JST/T250. Sua câmera, também mais simples, é a T80Cam. Esse conjunto de equipamentos faz estudos do universo local, principalmente objetos dentro de nossa galáxia, compondo o *Javalambre Photometric Local Universe Survey*, ou J-PLUS [11].

O telescópio principal, o JST/T250, é capaz de fotografar, simultaneamente, uma área de 4,5 graus quadrados. Nele está instalado o inovador

sistema de 56 filtros de banda estreita, e em junho de 2020 foi instalada a JPCam. O design desta câmera marca um grande avanço da física e da engenharia brasileira, tendo como protagonista o Observatório Nacional do Rio de Janeiro, com participação importante da Universidade de São Paulo. Foram investidos cerca de 9 milhões de euros, oriundos tanto do Ministério da Ciência e Tecnologia, através da FINEP, como das Fundações de Amparo à Ciência dos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo. A JPCam possui mais de 1,2 milhões de pixels distribuídos em um mosaico de 14 detetores (ver Figura 4), que trabalham em condições de alto vácuo a 110<sup>o</sup> Celsius abaixo de zero. Para visualizar uma de suas imagens em escala real, seria necessário reunir mais de 500 monitores full HD.

Na noite de 29 de junho, logo após o acoplamento da JPCam ao JST/T250, foi feita a primeira luz técnica do sistema telescópio + câmera, ou seja, pela primeira vez ele foi apontado para um objeto do céu, com objetivo de testar se o sistema estava operando de acordo com o projetado. Apesar de não estar calibrado para produzir sua melhor qualidade de imagem, foi possível obter uma fotografia impressionante da galáxia de Andrômeda (M31), Figura 7. Desde então, o projeto se encontra em sua fase final de testes e aprimoramentos, para então dar início à coleta de dados e construção de seus catálogos.

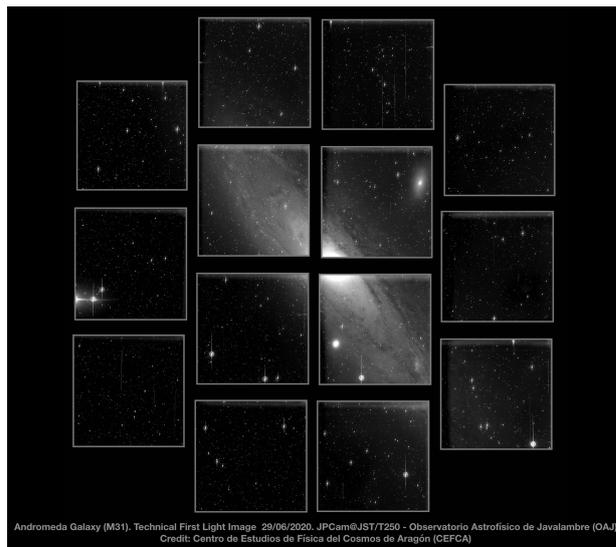
O imenso volume de dados a ser obtido por noite de observação pelo J-PAS exige um avançado sistema de transferência, armazenamento e indexação de dados. A infraestrutura do projeto é completada com o Centro de Dados do CEFCA, a UPAD (*Unit for Processing and Data Archiving*), contando com capacidade de 6,1 PB de armazenamento, 3,3 TB de RAM e 406 núcleos, características necessárias para armazenar, processar e analisar as imagens.<sup>1</sup>

#### 4 Projetos de pesquisa

O J-PAS foi concebido como um projeto dedicado à cosmologia, com particular interesse na

<sup>1</sup>Links para mais informações:

- J-PAS: [j-pas.org](http://j-pas.org)
- J-PLUS: [www.j-plus.es](http://www.j-plus.es)
- OAJ: [oajweb.cefca.es](http://oajweb.cefca.es)



**Figura 7:** Imagem da galáxia M31 obtida com a primeira luz técnica do conjunto JST/T250+JPCam. Crédito da imagem: J-PAS.

medida de oscilações acústicas bariônicas (BAO) a partir do mapeamento 3D das estruturas em larga escala [12]. A existência de uma escala com incremento de densidade tem origem física nas oscilações do fluido fótons-bárions que preenchia todo o universo quando ele tinha idade inferior a 380 mil anos. Nesse período o universo era muito quente, denso e opaco, uma vez que os fótons não conseguiam viajar livremente.

A medida do BAO é tridimensional, podendo ser decomposta em BAO angular, bi-dimensional, e BAO radial, ao longo da linha de visada. Este último será o que o J-PAS medirá. Devido à qualidade dos dados, efeitos de lentes gravitacionais fracas também poderão ser medidos, constituindo mais um observável interessante para a cosmologia. O volume e a qualidade dos dados a serem adquiridos colocam essa colaboração em uma posição competitiva entre outras colaborações de mesma geração, como DESI [13, 14] e Euclid [15], que também estão prestes a iniciar seus levantamentos.

Será possível mapear e estudar aglomerados de galáxias, que são as maiores estruturas colapsadas do universo, com centenas ou milhares de galáxias. Um nicho único do J-PAS, o qual foi previsto e demonstrado pelo miniJPAS, foi a detecção de aglomerados de galáxias de baixas massas, i.e., grupos de galáxias, de 10 a 100 vezes menos massivos que aglomerados de galáxias a *redshifts* altos. A caracterização desses sistemas permitirá testes cosmológicos com figura de mérito tão alto

como através dos BAOs.

Outros projetos de pesquisa dentro do J-PAS investigam os impactos, por exemplo, de futuras observações de supernovas e quasares. Os diferentes observáveis permitirão aprofundar nosso conhecimento sobre as propriedades da energia escura, responsável pela atual aceleração da expansão do universo, no contexto do modelo padrão da cosmologia. Há também propostas de modelos alternativos, seja no cenário de gravidade modificada ou de interação no setor escuro, ou mesmo na busca por novas espécies de neutrinos, além de sinais de anisotropias e inhomogeneidades no universo em larga escala.

Observar grandes áreas do céu, podendo analisar o desvio do espectro de diversas fontes em uma só imagem, faz com que os dados da colaboração J-PAS não se restrinjam apenas à cosmologia. Vai ser possível, por exemplo, realizar o estudo de evolução de galáxias, medindo parâmetros como temperaturas e massas estelares, distribuição de idades das estrelas e suas metalicidades, extinção por poeira e emissão por gás interestelar. Em escalas menores de distância, ainda poderão ser obtidos parâmetros de objetos ainda menores, como asteroides.

O projeto é binacional, coordenado pelo Observatório Nacional do Rio de Janeiro (ON) e pela Universidade de São Paulo (USP), do lado brasileiro, e pelos Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA) e Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA), do lado espanhol. Conta com o credenciamento de diversas instituições do Brasil e da Espanha, além de outros países como China, Estados Unidos, Índia, Reino Unido, França, Itália, México, Suíça, Finlândia, Estônia, Etiópia, Alemanha, Venezuela, Polônia, Taiwan e Chile, totalizando mais de 250 pesquisadores envolvidos.

### Agradecimentos

Agradeço a Saulo Carneiro e a Renato Dupke pela revisão cuidadosa do texto, com importantes sugestões e contribuições.

### Sobre o autor

Cassio Pigozzo ([cpigozzo@ufba.br](mailto:cpigozzo@ufba.br)) é professor do Departamento de Física Geral da Universidade

Federal da Bahia (UFBA). Pesquisa na área da cosmologia, com particular interesse em métodos estatísticos aplicados aos testes de modelos cosmológicos. Publicou trabalhos restringindo modelos de interação no setor escuro com dados de supernovas do tipo Ia, oscilações acústicas bariônicas e radiação cósmica de fundo, dentre outros. É membro da colaboração J-PAS, integrando o grupo de trabalho científico de Teoria e Física Fundamental.

### Referências

- [1] N. Benitez et al., *J-PAS: The Javalambre-Physics of the Accelerated Universe Astrophysical Survey* (2014). [ArXiv:1403.5237](#).
- [2] S. Bonoli et al., *The miniJPAS survey: A preview of the Universe in 56 colors*, *Astronomy & Astrophysics* **653**, A31 (2021).
- [3] D. Griffiths, *Introduction to Quantum Mechanics* (Prentice Hall, New Jersey, 1995).
- [4] A. Einstein, *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*, *Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften* **142** (1917).
- [5] A. Friedman, *Über die Krümmung des Raumes*, *Zeitschrift für Physik* **10**(1), 377 (1922).
- [6] A. Friedmann, *Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes*, *Zeitschrift für Physik* **21**(1), 326 (1924).
- [7] S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: principles and applications of the general theory of relativity* (John Wiley & Sons, New York, 1972).
- [8] J. B. Kaler, *Stars and their Spectra: An Introduction to the Spectral Sequence* (Cambridge Univ. Press, New York, 1997).
- [9] A. Hernán-Caballero et al., *The miniJPAS survey: Photometric redshift catalogue*, *Astronomy & Astrophysics* **654**, A101 (2021).

- [10] M. Moles et al., *Site testing of the Sierra de Javalambre: First Results*, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **122**(889), 363–372 (2010).
- [11] A. J. Cenarro et al., *J-PLUS: The Javalambre Photometric Local Universe Survey*, *Astronomy & Astrophysics* **622**, A176 (2019).
- [12] N. Benítez et al., *Measuring baryon acoustic oscillations along the line of sight with photometric redshifts: The Pau Survey*, *The Astrophysical Journal* **691**(1), 241–260 (2009).
- [13] A. Aghamousa et al., *The DESI Experiment Part I: Science, Targeting, and Survey Design* (2016). [ArXiv:1611.00036](#).
- [14] A. Aghamousa et al., *The DESI Experiment Part II: Instrument Design* (2016). [ArXiv:1611.00037](#).
- [15] A. Refregier et al., *Euclid Imaging Consortium Science Book* (2010). [ArXiv:1001.0061](#).