

## INVESTIGAÇÃO DA BANDA AROMÁTICA DE 3.3 $\mu$ m EM NGC 7469

EMANUEL ROCHA-RUIZ<sup>1</sup>; DOUGLAS A. SILVA<sup>2</sup>; VITOR N. AVELANEDA<sup>3</sup>;  
DINALVA A. SALES<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal do Rio Grande – rochaemanuel7@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande – dougla.as@furg.br*

<sup>3</sup>*Universidade Federal do Rio Grande – avelaneda.vitor@gmail.com*

<sup>4</sup>*Universidade Federal do Rio Grande – dsales@furg.br*

### 1. INTRODUÇÃO

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) representam uma classe fundamental de moléculas orgânicas no meio interestelar (ISM), cujas assinaturas espectrais características no infravermelho (3.3–17  $\mu$ m) servem como poderosas sondas para diagnóstico das condições físicas e químicas em diversos ambientes astrofísicos (SALES, 2012). Particularmente, a emissão em 3.3  $\mu$ m, correspondente ao modo de estiramento vibracional C-H ( $\nu = 1 \rightarrow 0$ ,  $\lambda = 3.289 \mu$ m) em PAHs neutros, apresenta-se como um marcador sensível de populações de pequenos grãos carbonáceos ( $\leq 50$  átomos de C) em estados de baixa ionização (SCHUTTE et al., 1993).

A análise sistemática de sua intensidade relativa e perfil espectral permite extrair informações quantitativas sobre parâmetros ambientais críticos, incluindo o campo de radiação UV local, a metalicidade do meio e a abundância de espécies nitrogenadas (e.g., PANHs) (CANELO et al., 2018), consolidando seu papel central em estudos de evolução química galáctica e processos pré-bióticos. Apesar de seu potencial, a banda de 3.3  $\mu$ m permanece subexplorada em comparação com outras bandas de PAHs (6.2–17  $\mu$ m), devido a limitações observacionais intrínsecas: (i) absorção atmosférica terrestre na faixa do infravermelho próximo (NIR), e (ii) falta de cobertura espectral em missões espaciais anteriores (e.g., Spitzer/IRS,  $\lambda \geq 5 \mu$ m).

O advento do James Webb Space Telescope (JWST) supera essas barreiras, oferecendo resolução espectral ( $R \sim 3000$ ) e espacial ( $\theta \sim 0.1''$ ) sem precedentes na janela 1–5  $\mu$ m (RIGBY, 2022). Essa capacidade revolucionária permite, pela primeira vez, mapear sistematicamente as propriedades dos PAHs em escalas de dezenas de parsecs e em ambientes extremos, como núcleos ativos de galáxias (AGNs) e regiões de starburst. Neste trabalho, propomos um ajuste para a banda de 3.3  $\mu$ m dos PAHs, com o objetivo de entender como as propriedades físicas do ISM, como densidade de radiação UV, a presença de AGNs. O ajuste dessa banda é particularmente interessante pois ela não apenas fornece informações sobre os menores grãos de poeira, mas também pode ser usada como um indicador de taxa de formação estelar (SRF) em galáxias distantes, onde outras bandas de PAHs podem estar fora do alcance observational (LAI et al., 2023).

## 2. METODOLOGIA

Neste estudo foram utilizados dados espectroscópicos da galáxia Seyfert NGC 7469 obtidos com o instrumento NIRSpec/IFU do Telescópio Espacial James Webb (JWST). Os cubos de dados, acessados através do Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST), já estavam previamente reduzidos e calibrados pelo *pipeline* oficial do observatório, permitindo a análise direta das propriedades espetrais.

A técnica de espectroscopia de campo integral possibilitou a extração simultânea de informação espacial e espectral em escala de 0,1"/pixel, cobrindo a região do núcleo ativo e o anel circumnuclear de formação estelar. A faixa de interesse concentrou-se no intervalo próximo de 3,3  $\mu$ m, onde ocorre a emissão característica dos PAHs. A análise quantitativa da banda de PAH em 3,3  $\mu$ m foi integralmente realizada com o pacote IFSCube (RUSCHEL-DUTRA et al., 2021), ferramenta usada para realizar análise de dados de espectroscopia de campo integral (IFU).

O princípio de funcionamento do IFSCube reside no ajuste de modelos matemáticos a cada espectro individual (spaxel) do cubo de dados, um processo que o permite o ajuste de linhas de emissão presentes no espectro usando perfis Gaussianos ou Gaus-hermitianos. É possível usar múltiplas curvas gaussianas no intuito de melhorar o ajuste o máximo possível. O modelo matemático utilizado para descrever os perfis das linhas espetrais tem como base a função gaussiana, expressa pela equação 1.

$$G(\lambda) = A \exp \left( -\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (1)$$

Onde A representa a amplitude da linha,  $\lambda_0$  é a posição central da linha, e  $\sigma$  é o desvio padrão, que determina sua largura. Neste trabalho, o perfil adotado foi modelado por uma soma de funções Gaussianas

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o resultado do ajuste espectral na região da banda de 3,3  $\mu$ m dos PAHs. O primeiro passo do procedimento consistiu no ajuste do contínuo espectral por meio de uma função polinomial de baixo grau, com o objetivo de modelar a contribuição da emissão térmica subjacente. Após a subtração do contínuo, as feições espetrais residuais foram decompostas utilizando um total de seis funções gaussianas: duas associadas à linha de recombinação Pfö, duas à transição molecular H<sub>2</sub> S(5), e duas representando a banda larga dos PAHs. O uso de múltiplas gaussianas por componente visa capturar assimetrias, alargamentos e possíveis variações na forma das linhas. O modelo total (linha verde) apresenta excelente concordância com o espetro observado (linha azul), com resíduos (painel inferior) compatíveis com o nível de ruído estatístico. Essa abordagem possibilita uma estimativa precisa dos fluxos

individuais, mesmo em regiões espectrais com significativa sobreposição de linhas.

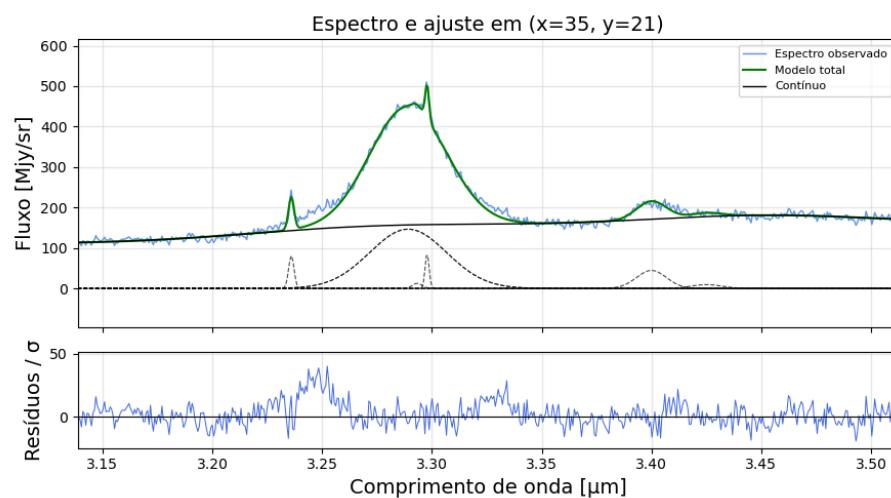


Figura 1: Ajuste espectral da banda de  $3.3 \mu\text{m}$  de PAH junto das linhas de  $\text{H}_2 \text{S}(5)$  e  $\text{Pf}^0$  realizados no pixel  $(35, 21)$ , obtido a partir dos ajustes realizados no cubo espectral NIRSpec/JWST. O modelo total ajustado (linha verde) e o contínuo térmico subjacente (linha preta). As componentes individuais estão representadas por curvas pontilhadas.

A Figura 2 apresenta o mapa de fluxo da emissão associada à banda de  $3.3 \mu\text{m}$  dos PAHs na galáxia NGC 7469.

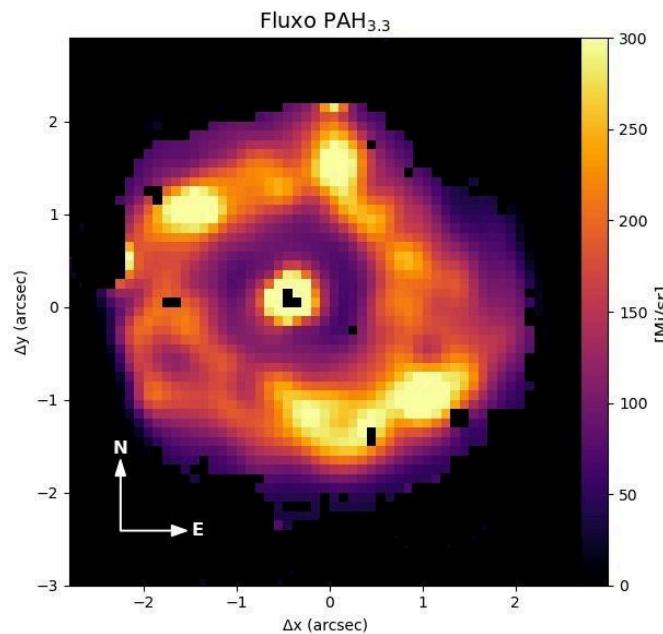


Figura 2: Mapa de fluxo da banda de PAH em  $3.3 \mu\text{m}$  da galáxia NGC 7469 obtido a partir dos ajustes realizados no cubo espectral NIRSpec/JWST. A imagem mostra a distribuição espacial do fluxo dos PAHs em  $3.3 \mu\text{m}$  em unidades de MJy/sr.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresentamos uma análise detalhada da banda de emissão de 3.3  $\mu\text{m}$  de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAHs) na galáxia Seyfert NGC 7469, utilizando dados de espectroscopia de campo integral obtidos com o instrumento NIRSpec do Telescópio Espacial James Webb. A metodologia, centrada no ajuste de perfis espectrais com o pacote IFSCube, permitiu decompor com sucesso o espectro, isolando a emissão da banda de PAH de outras feições espectrais, como as linhas de recombinação Pfδ e as transições moleculares de H<sub>2</sub>.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANELO, C. M.; TIELENS, A. G. G. M.; PEETERS, E. Nitrogen in PAHs: the infrared spectra of protonated quinoline and isoquinoline. *Astronomy & Astrophysics*, Les Ulis, v.617, p.A44-A44, 2018.

LAI, T.; ARMUS, L.; INAMI, H.; U et al. GOALS-JWST: PAH and [Ne II] Properties of Luminous Infrared Galaxies. *The Astrophysical Journal Letters*, Chicago, v.957, n.2, p.L22-L22, 2023.

RUSCHEL-DUTRA, D.; GOMES, J. M.; et al. IFSCube: A package for analysing integral field spectroscopy data. *Astronomy & Computing*, Amsterdam, v.37, p.100511-100511, 2021.

SCHUTTE, W. A.; TIELENS, A. G. G. M.; ALLAMANDOLA, L. J. The structure of circum-stellar carbon dust. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v.415, p.397-414, 1993.

SALES, D. A. Propriedades físicas do meio interestelar. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RIGBY, J.; ALMENDROS-ABELLA, F.; et al. The science performance of JWST from commissioning. In: SPIE ASTRONOMICAL TELESCOPES + INSTRUMENTATION, 2022, Montreal. *Proceedings...* Bellingham: SPIE, 2022. v.12180, p.12180B-12180B.