

ANÁLISE DO PERFIL DE 6.2 μm : UMA ASSINATURA DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS NITROGENADOS EM GALÁXIAS ATIVAS?

VITOR AVELANEDA¹; CARLA M. CANELO²; DINALVA A. SALES³

¹Universidade Federal do Rio Grande - FURG – avelaneda.vitor@gmail.com

²INOV[ENTER], Universidade Federal do Rio Grande – camcanelo@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande - FURG – dsales@furg.br

1. INTRODUÇÃO

Quando estudado o Meio Interestelar (ISM) em galáxias, especialmente na faixa do Infravermelho Médio (MIR), revelam-se características notáveis. Observa-se que cerca de ~50% da luminosidade nessa região pode ter origem na emissão das Bandas Aromáticas do Infravermelho (AIBs), especialmente aquelas localizadas em comprimentos de onda de 3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3 e 12.7 μm (LI, 2004). Estas características estão vinculadas às vibrações moleculares de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAHs), que podem conter até 15 % do carbono presente no ISM (EHRENFREUND et al., 2006). Dependendo das condições físico-químicas do ambiente astrofísico onde essas moléculas estão inseridas, átomos de carbono em sua estrutura podem ser substituídos por átomos de nitrogênio, formando assim os Heterocíclicos Policíclicos Aromáticos Nitrogenados (PANHs), moléculas que desempenham um papel fundamental na formação de núcleobases presentes no RNA, TNA, GNA e PNA (EHRENFREUND et al., 2002).

Uma análise detalhada da banda em 6.2 μm é de considerável relevância no contexto astrobiológico, uma vez que essa banda exhibe características proeminentes que podem indicar a presença de PANHs nas AIBs. Essas características se manifestam por meio de variações sutis nos comprimentos de onda do pico central do perfil de emissão. Para uma investigação mais aprofundada, a classificação proposta por PEETERS et al. (2002) é uma abordagem valiosa, que categoriza as classes como A, B ou C, com base na faixa de comprimento de onda. Na classe A, o pico pode se estender até 6.23 μm , na classe B, varia entre 6.23 e 6.29 μm , e na classe C, pode ultrapassar 6.29 μm . Tais variações nos perfis de emissão podem estar relacionadas a diferentes populações ou estados de excitação das moléculas de PAH, sendo que o desvio para o azul observado na classe A é atribuído à incorporação de átomos de nitrogênio nos anéis internos das moléculas de PAH (HUDGINS; BAUSCHLICHER JR.; ALLAMANDOLA, 2005; VATS et al., 2022).

As análises baseadas nas classes de Peeters têm principalmente se concentrado em objetos galácticos. Os primeiros estudos abrangentes que aplicaram essas classes a um conjunto significativo de objetos extragalácticos foram conduzidos por CANELO et al. (2018, 2021). Essas análises envolveram um total de 155 galáxias dominadas por *Starburst* (*SB-dominated*), selecionadas a partir dos dados do projeto Spitzer/IRS ATLAS (HERNÁN-CABALLERO; HATZIMINAOGLOU, 2011, doravante ATLAS). Os resultados obtidos por CANELO et al. (2018) revelaram que 67% das galáxias foram classificadas na classe A, 31% na classe B e 2% na classe C, sugerindo uma possível predominância de moléculas de PANHs na amostra. Este estudo busca expandir a pesquisa iniciada por CANELO et al. (2018), direcionando sua atenção agora para a amostra dominada por galáxias com núcleo ativo (*AGN-dominated*) do ATLAS, composta por 279 fontes. O objetivo central é

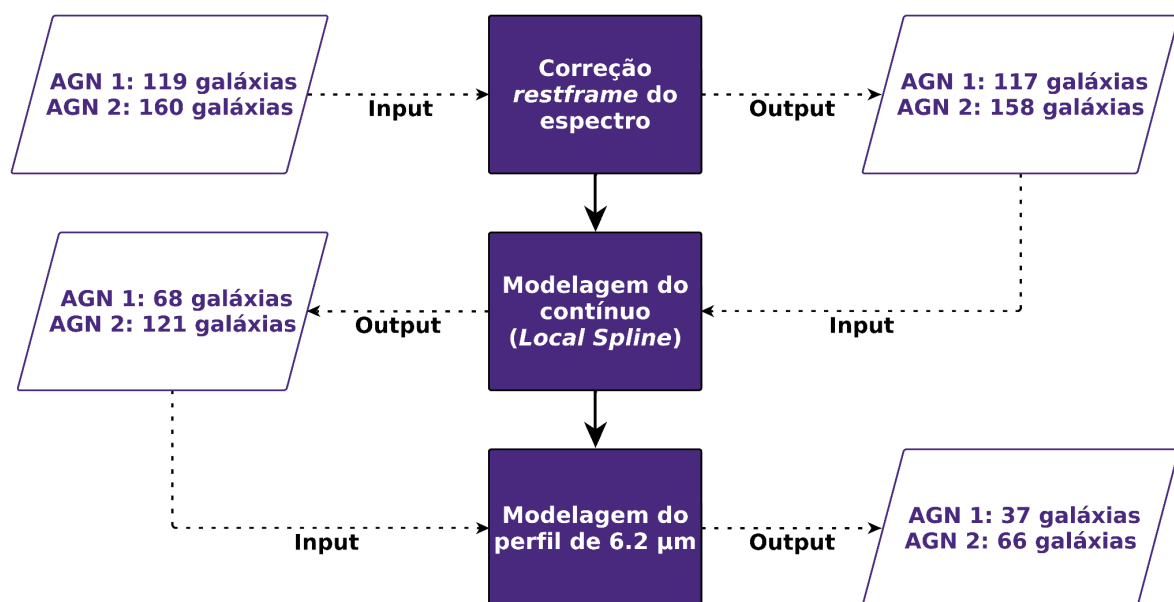
investigar pela primeira vez se a distribuição das classes de Peeters é influenciada pelo mecanismo de atividade presente nessas galáxias.

2. METODOLOGIA

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir do acervo de dados espectroscópicos ATLAS. Este repositório contém espectros provenientes de 739 fontes extragalácticas observadas pelo espectrógrafo infravermelho do Telescópio Espacial Spitzer. Nossa análise se concentrou na amostra *AGN-dominated*, que está subdividida em duas categorias: MIR_AGN1 (ou AGN 1) composta por 119 galáxias, e MIR_AGN2 (ou AGN 2) composta por 160 galáxias.

O processo de análise realizado neste trabalho segue o fluxo apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma referente a análise das amostras AGN 1 e AGN 2.



O primeiro processo necessário foi corrigir os espectros para o referencial de repouso (*restframe*). Essa correção foi realizada utilizando os valores de *redshift* fornecidos pelo ATLAS para cada objeto, que foram cuidadosamente verificados no banco de dados extragaláctico da NASA (NED - *NASA Extragalactic Database*).

Uma vez corrigidos os espectros para *restframe*, prosseguimos com a etapa de modelagem do contínuo. Diversas abordagens têm sido utilizadas na literatura para modelar o contínuo, incluindo o métodos de ajustes *spline* (CANELO et al., 2021, e referências contidas). Optamos por explorar o *local spline* que utiliza ajuste de mínimos quadrados não lineares com pontos de âncora fixados entre 5 e 15 μm , permitindo determinar valores muito próximos ao contínuo real.

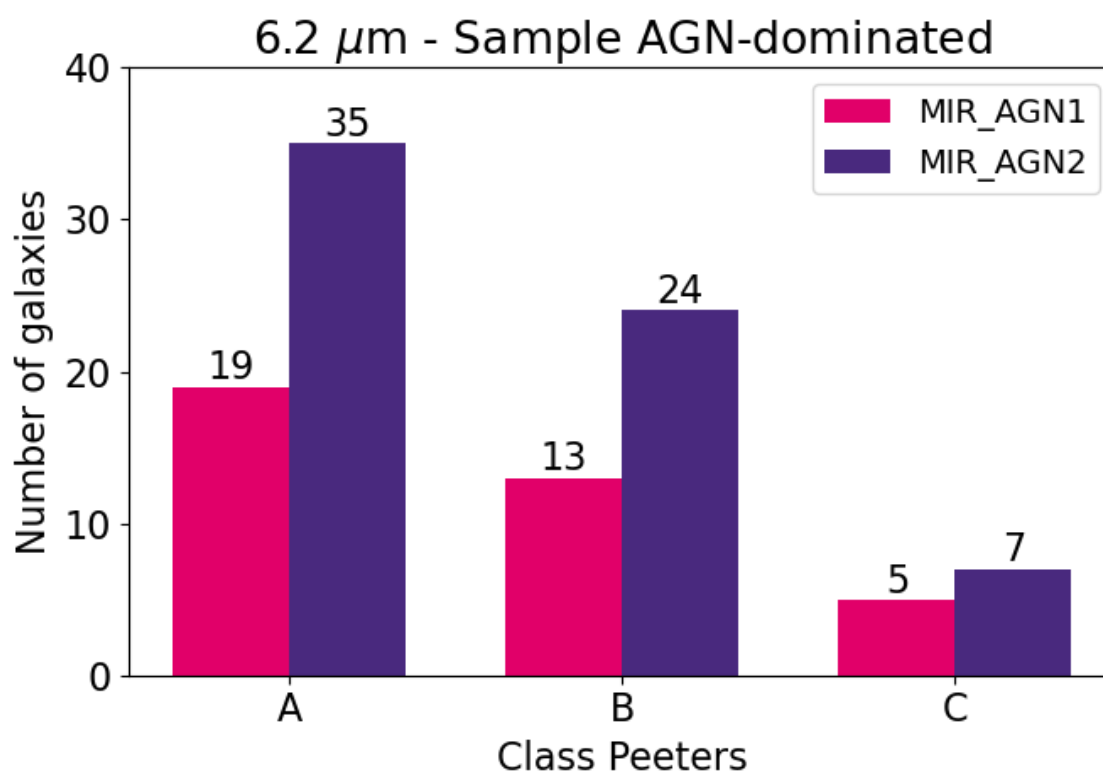
A modelagem do perfil da banda em 6.2 μm foi realizada utilizando a mesma abordagem de ajuste empregada por CANELO et al. (2018). Para isso, foram empregados algoritmos de otimização baseados em *Python*, disponíveis no submódulo *scipy.optimize.curve_fit*. Esses algoritmos permitiram a determinação dos parâmetros do perfil, incluindo o comprimento de onda central, amplitude e largura à meia-altura (FWHM) da banda, para um perfil gaussiano normalizado.

Durante cada processo, alguns objetos foram filtrados da análise devido a fatores como não ter informação espectral entre 5 e 15 μm em *restframe*, elevado ruído nos espectros, impossibilitando a adequada modelagem do contínuo, ou a ausência da emissão em 6.2 μm .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultados deste estudo, obtivemos o modelo de emissão do contínuo de 68 galáxias AGN 1 e 121 galáxias AGN 2, na região espectral entre 5 e 15 μm . Estes modelos de contínuo foram utilizados para retirar as contribuições da emissão de poeira contida nas galáxias e assim poder analisar especificamente as contribuições dos PAHs em 6.2 μm . Também obteve-se como resultado o modelo gaussiano da emissão de PAHs em 6.2 μm , para 37 galáxias AGN 1 e 66 galáxias AGN 2, ou seja, das 279 galáxias da amostra *AGN-dominated* apenas ~37% apresenta ter a banda de emissão em 6.2 μm .

Figura 2: Distribuição das classes de Peeters em 6.2 μm para amostra *AGN-dominated*.



Com relação às classes de Peeters (ver Figura 2), a distribuição para as galáxias da amostra AGN 1 foi a seguinte: classe A 19 (~52%), classe B 13 (~35%) e classe C 5 (~13%). Já para galáxias da amostra AGN 2 foi: 35 (~53%) classe A, 24 (~36%) classe B e 7 (~11%) classe C. Esses resultados são muito interessantes, pois corroboram com o que foi apresentado por CANELO et al. (2018) para amostra *SB-dominated*, mostrando uma maior abundância de perfis classe A e uma menor quantidade de perfis classe C.

4. CONCLUSÕES

Alguns estudos ainda precisam ser realizados para confirmar um cenário evolutivo das moléculas de PAHs e PANHs no meio interestelar de galáxias ativas, mas o presente trabalho traz fortes indícios da presença de PANHs devido a predominância de objetos classe A nas amostras. Pretendemos aprimorar esta análise e correlacionar os resultados obtidos com outras propriedades das galáxias, com o intuito de compreender melhor o ambiente astrofísico que estas moléculas estão inseridas, além de modelar as bandas de 7.7 e 8.6 μm para ampliar essa pesquisa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANELO, C. M. et al. Variations in the 6.2 μm emission profile in starburst-dominated galaxies: a signature of polycyclic aromatic nitrogen heterocycles (PANHs)? **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 475, n. 3, p. 3746-3763, 2018.

CANELO, C. M. et al. Profile comparison of the 6–9 μm polycyclic aromatic hydrocarbon bands in starburst-dominated galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 507, n. 4, p. 6177-6195, 2021.

EHRENFREUND, P. et al. Astrophysical and astrochemical insights into the origin of life. **Reports on progress in physics**, v. 65, n. 10, p. 1427, 2002.

EHRENFREUND, P. et al. Experimentally tracing the key steps in the origin of life: The aromatic world. **Astrobiology**, v. 6, n. 3, p. 490-520, 2006.

HERNÁN-CABALLERO, A.; HATZIMINAOGLOU, E. An atlas of mid-infrared spectra of star-forming and active galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 414, n. 1, p. 500-511, 2011.

HUDGINS, D. M.; BAUSCHLICHER JR, C. W.; ALLAMANDOLA, L. J. Variations in the peak position of the 6.2 μm interstellar emission feature: A tracer of N in the interstellar polycyclic aromatic hydrocarbon population. **The Astrophysical Journal**, v. 632, n. 1, p. 316, 2005.

LI, A. Interaction of Nanoparticles with Radiation. In: Witt, A. N.; Clayton, G. C.; Draine, B. T. (Ed.). **Astrophysics of Dust**. [S.l.: s.n.], 2004. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 309), p. 417.

PEETERS, E. et al. The rich 6 to 9 μm spectrum of interstellar PAHs. **Astronomy & Astrophysics**, v. 390, n. 3, p. 1089-1113, 2002.

VATS, A. et al. Theoretical study of infrared spectra of interstellar PAH molecules with N, NH, and NH₂ incorporation. **Publications of the Astronomical Society of Japan**, v. 74, n. 1, p. 161-174, 2022.