

# IMPACTO DA MATÉRIA ESCURA NA CURVA DE ROTAÇÃO DAS GALÁXIAS NGC 6503 E NGC 7331

WILLIAM LIMA CAIANO<sup>1</sup>; VICTOR PAULO BARROS GONCALVES<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas-RS – gowthercaiano27@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas-RS – barros@ufpel.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 30, sabemos pouco sobre a matéria escura, como se comporta e suas interações com a matéria bariônica. Por outro lado, sabemos que ela existe em função de interação gravitacional. A busca por sua descrição teve início com o trabalho de Zwicky (1933), que estudou o comportamento de aglomerados de galáxias. Verificando-se que dentro desses aglomerados as galáxias giravam em altas velocidades. Logo o conceito de matéria escura foi inserido para descrever a intensa força gravitacional que gera essas altas velocidades.

A partir de interação gravitacional, verificamos que não é possível explicar a curva de rotação de galáxias espirais considerando apenas a massa bariônica, como demonstrado nos trabalhos de Zwicky (1933) e Rubin, Jr e Thonnard (1978). Afim de obter a curva de rotação das galáxias NGC 6503 e NGC 7331 em um estudo anterior, utilizamos o trabalho de Ximenes e Aguiar (2023) como referencia. Mostramos que, mesmo considerando um modelo mais realista para a velocidade de rotação em função do raio

$$v(r) = \frac{\sqrt{GM}r}{(r^2 + R^2)^{3/4}}, \quad (1)$$

obtida a partir do potencial de Kuzmin, que considera apenas a massa visível dessas galáxias (WILLIAM; VICTOR, 2024.UFpel). Não é possível descrever os dados experimentais disponíveis em Begeman (2006).

O objetivo deste trabalho é realizar uma correção na massa usada no modelo de Kuzmin equação (1), numa tentativa de explicar os dados experimentais das curvas de rotação das galáxias NGC 6503 e NGC 7331. Nesta abordagem, vamos considerar a existência de matéria escura nos ajustes realizados.

## 2. METODOLOGIA

Iremos começar considerando que o plano galático ainda se comporta como previsto pelo modelo de Kuzmin descrito pela equação (1). Entretanto, adaptamos esse modelo considerando a seguinte relação  $M = M(r)$ , para descrever a velocidade de rotação usando

$$v(r) = \frac{\sqrt{GM(r)}r}{(r^2 + R^2)^{3/4}}, \quad (2)$$

onde  $M(r)$  é a massa da galáxia, que agora não é constante como o modelo de Kuzmin equação (1), mas uma função de posição radial, medida do centro até  $R$ , e  $G$  é a constante gravitacional. Como não sabemos a geometria da distribuição

da matéria escura sobre o plano galático, vamos considerar que sua massa está distribuída em uma esfera, e nosso plano da galáxia está no centro da esfera no ângulo polar igual a zero. Assim iremos calcular a massa teórica usando terceira lei de Kepler para a gravitação (PEREIRA; VELÁSQUEZ-TORIBIO, 2024),

$$M(r) = \frac{v'(r)^2 \cdot r}{G}, \quad (3)$$

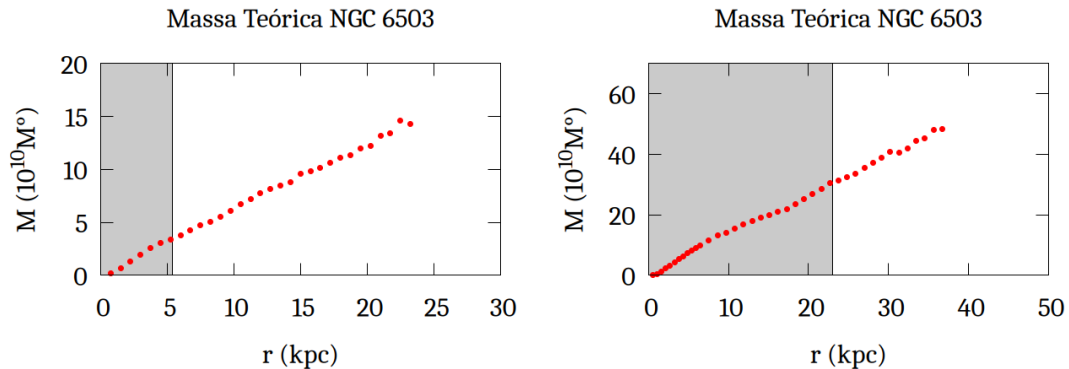
onde  $v'(r)$  é o perfil da velocidade de rotação da galáxia obtido experimentalmente. Esta massa é chamada de massa teórica porque estamos verificando o valor desta a partir da teoria da gravitação newtoniana para cada valor experimental de  $r$  e  $v'(r)$ .

Com os valores de massa obtidos a partir de equação (3), construímos um gráfico de  $M(r)$  por  $r$  das duas galáxias em estudo mostrado na Figura 1. Após a construção gráfica, vamos analisar o comportamento da massa em função do raio e propor uma função que possa descrever seu comportamento, para substituir na equação (2).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Iniciamos analisando o comportamento da massa  $M(r)$  em função da posição  $r$ , como mostrado na figura abaixo.

Figura 1: Gráficos das massas em função dos raios das galáxias NGC 6503 e NGC 7331. Os pontos em vermelho foram obtido a partir da equação (3), usando os dados experimentais de raio e velocidade das galáxias (BEGEMAN, 2006).



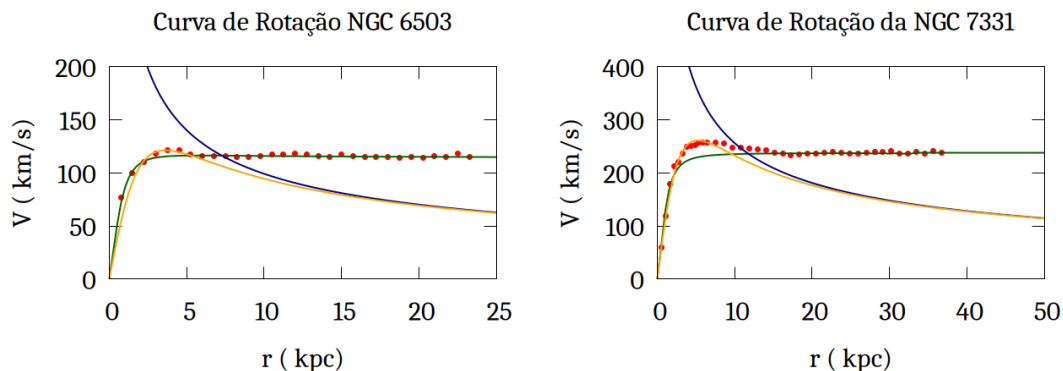
Fonte: Acervo do autor (2025).

A parte sombreada na Figura 1 representa a matéria bariônica, enquanto parte não sombreada é a matéria escura, ou seja, é a massa teórica encontrada a partir dos dados experimentais. Com base em uma análise gráfica vemos que a massa cresce linearmente. Porém, sabemos que para ser consistente com a previsão teórica a massa deveria decair com o raio na borda da galáxia. Entretanto, nosso modelo não pode descrever tal comportamento pois não temos dados experimentais nesta região. Desta forma, vamos supor um crescimento linear do tipo

$$M(r) = ar + b, \quad (4)$$

e realizar um ajuste nos nossos dados. Com o ajuste realizado, vamos substituir a equação (4) o modelo de Kuzmin equação (2), e descrever os dados experimentais das galáxias, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2: Curva de rotação de rotação das galáxias NGC 6503 e NGC 7331. A linha em amarelo é o modelo de Kuzmin obtida a partir da equação (1). A linha azul é curva Kepleriana obtida a partir da equação (3). A linha em verde é a correção linear realizada no modelo de Kuzmin obtida a partir da equação (4). Os pontos em vermelhos são os dados experimentais de velocidade e raio.



Fonte: Acervo do autor (2025).

Percebemos que nosso ajuste linear no modelo corrigido, linha em verde mostrado na Figura 2, se aproxima de uma descrição na curva de rotação das galáxias em estudo, ou seja, mesmo que seja um modelo pouco realista tivemos bons resultados.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos podemos concluir que, usando o ajuste linear no modelo de Kuzmin, conseguimos ter uma boa aproximação entre a previsão teórica e os dados experimentais. Porém, sabemos que quando  $r$  tende para o infinito o comportamento deve ser decrescente, resultado que nosso ajuste não prevê. Para uma descrição melhor dos dados experimentais, devemos estudar outros modelos mais realista.

Mesmo utilizando um modelo simples e fazendo considerações que facilitarão nossos cálculos, tivemos uma boa aproximação dos dados experimentais, logo, assumir a existência de uma massa faltante (matéria escura) é essencial para chegar a uma melhor descrição na curva de rotação dessas galáxias, o que não é possível apenas utilizando a mecânica Newtoniana.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGEMAN, K. **HI rotation curves of spiral galaxies**. Tese (Doutorado), 2006. Disponível em: <<https://research.rug.nl/en/publications/hi-rotation-curves-of-spiral-galaxies>>.

PEREIRA, C.; VELÁSQUEZ-TORIBIO, A. A terceira lei de kepler em diferente escalas: de luas até galáxias. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 46, p. e20230329, 2024. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/QTvss3J7XSVTTHT6snCpCcz/?lang=pt>>.

RUBIN, V. C.; JR, W. K. F.; THONNARD, N. Extended rotation curves of high-luminosity spiral galaxies. iv-systematic dynamical properties, sa through sc. **Astrophysical Journal, Part 2-Letters to the Editor**, vol. 225, Nov. 1, 1978, p. L107-L111., v. 225, p. L107–L111, 1978. Disponível em: <<https://adsabs.harvard.edu/full/1978ApJ...225L.107R>>.

WILLIAM, C.; VICTOR, G. Matéria escura e seu impacto na curva de rotação das galáxias espirais. **XXXIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 10, Pelotas-RS, 2024.UFpel. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/cic/anais/anais-2024/>>.

XIMENES, S. J. C.; AGUIAR, C. E. Matéria escura no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 45, p. e20220334, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/rksjxKN6jLcTLnPgzr7G6gr/?format=html&lang=pt>>.

ZWICKY, F. Die rotverschiebung von extragalaktischen nebeln. **Helvetica Physica Acta**, Vol. 6, p. 110-127, v. 6, p. 110–127, 1933. Disponível em: <<https://adsabs.harvard.edu/full/1933AcHPh...6..110Z/0000119.000.html>>.