



# Simulação da interação entre as galáxias M31 e M33: Implicações em formação estelar e morfologia

## Simulation of the interaction between M31 and M33 galaxies: Morphology and star formation implications

Vinicius Freire Fochesatto<sup>1</sup>, Rubens Eduardo Garcia Machado<sup>2</sup>

### RESUMO

Estudos a respeito do Grupo Local de Galáxias são importantes para expandir o conhecimento a respeito de dinâmica de galáxias e estruturas galácticas. Dentro do Grupo Local, existem duas galáxias amplamente estudadas e notáveis por seus tamanhos e morfologias, a Galáxia de Andrômeda (M31) e a Galáxia do Triângulo (M33). Através de análises de suas dinâmicas e morfologias específicas, bem como a presença de uma possível ponte de gás entre ambas, presume-se que possa haver um sistema de interação entre si, tendo inclusive já ocorrido uma passagem pericêntrica. Utilizando simulações hidrodinâmicas de  $N$ -corpos com resolução de  $10^6$  partículas, cada uma das galáxias foi modelada a partir de estudos de referência e dados observacionais. Por meio das simulações, foi possível observar implicações morfológicas nas estruturas de ambas as galáxias. O disco gasoso de M33 mostrou alterações significativas, incluindo flambagem e formação de caudas de maré. A morfologia de M31 sofreu deformações menos expressivas, o que é condizente com os dados observacionais. A taxa de formação estelar não evidenciou aumento expressivo, diferindo do esperado a partir das referências.

**PALAVRAS-CHAVE:** Astronomia; Dinâmica Galáctica; Simulações Numéricas.

### ABSTRACT

Studies regarding the Local Group of Galaxies are important for expanding our knowledge about galactic dynamics and galactic structures. Within the Local Group, there are two widely studied and notable spiral galaxies due to their sizes and morphologies, the Andromeda Galaxy (M31) and the Triangulum Galaxy (M33). Through analyses of their specific dynamics and morphologies, as well as the presence of a possible gas bridge between them, it is presumed that there might be an interactive system between the two, with a pericentric passage having possibly already occurred. Through a hydrodynamic  $N$ -body simulations with  $10^6$  particles resolution, each galaxy was modeled based on reference studies and observational data. By analysing the simulations results, morphological implications in the structures of both galaxies were observed. The gas disc of M33 showed significant changes, including warping and the formation of tidal tails. The morphology of M31 showed less pronounced deformations, which is consistent with the observational data. The star formation rate did not show a significant increase, differing from what was expected based on references

**KEYWORDS:** Astronomy; Galactic Dynamics; Numerical Simulations.

### INTRODUÇÃO

A Galáxia do Triângulo (M33) e a Galáxia de Andrômeda (M31) são duas galáxias pertencentes ao Grupo Local de galáxias. Ambas são galáxias espirais, sendo a Galáxia de Andrômeda a mais

<sup>1</sup> Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil E-mail: fochesatto@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2790958476780257.

<sup>2</sup> Docente no Departamento Acadêmico de Física. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: rubensmachado@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4539413496131441.



próxima da Terra, sendo inclusive visível a olho nu. A Galáxia do Triângulo é significativamente menor, tanto em termos de tamanho quanto em termos de massa, em relação à Galáxia de Andrômeda mas continua sendo uma das maiores do Grupo Local.

Observações e análises a respeito da morfologia de M33 indicaram a presença uma distorção de aproximadamente 8 kpc em seu disco estelar. Esta distorção possui orientação condizente com a direção relativa à posição da galáxia M31 (CORBELLI; THILKER et al., 2014), o que poderia ser explicado por um sistema interativo entre as duas galáxias. Análises observacionais também indicam a presença de pontes gasosas conectando regiões entre M31 e M33 (BRAUN; THILKER, 2003), e baseadas também em resultados simulacionais (BEKKI, 2008), sugere-se que esta ponte gasosa é condizente com um modelo de interação de proporções relevantes entre as galáxias.

Este trabalho tem como objetivo realizar a modelagem do sistema de interação, bem como avaliar as implicações da interação entre as duas galáxias em termos de formação estelar do sistema e implicações morfológicas em seus discos gasosos.

## MÉTODOS

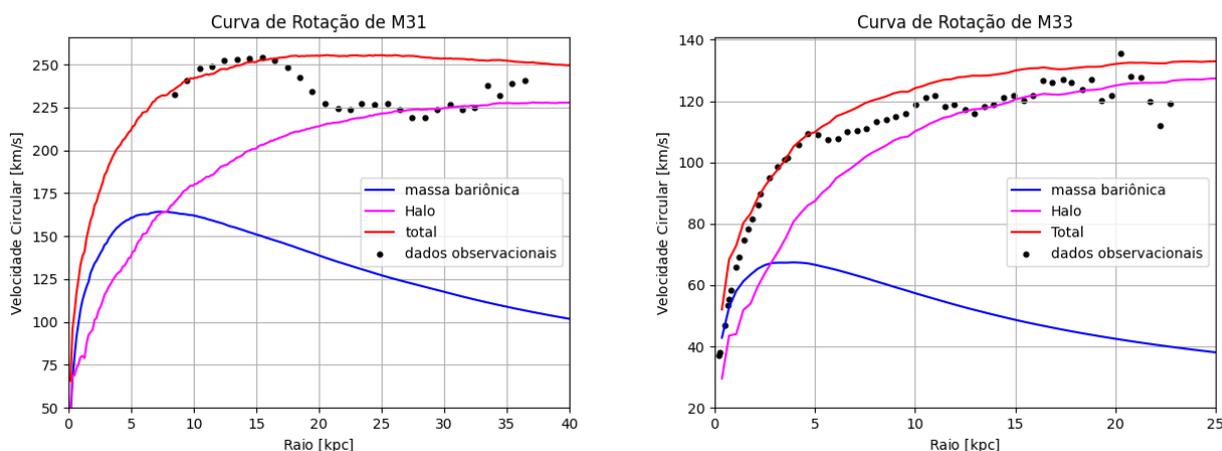
Baseado em trabalhos de dados observacionais e integrações numéricas, o sistema interativo foi modelado via simulação hidrodinâmica de  $N$ -corpos (SPRINGEL et al., 2021), com resolução de  $10^6$  partículas. O primeiro passo foi modelar cada galáxia individualmente, com base em parâmetros observacionais e resultados prévios (SEMCZUK et al., 2018; TEPPER-GARCÍA; BLAND-HAWTHORN; LI, 2020).

M31 foi modelada com uma massa de aproximadamente  $201 \times 10^{10} M_{\odot}$ . A massa de matéria escura representa  $191 \times 10^{10} M_{\odot}$  desta massa total e, da porção bariônica, 80,7% dela corresponde à massa do disco estelar, 12,05% à massa do bojo e 7,25% à massa de gás. O modelo de M33 tem massa total de aproximadamente  $52,85 \times 10^{10} M_{\odot}$ . Desta massa,  $52 \times 10^{10} M_{\odot}$  corresponde à massa do halo de matéria escura e, da porção bariônica, 58% de sua massa constitui o disco estelar, 12% constitui o bojo e 30% de gás.

A curva de rotação de ambas galáxias simuladas pode ser vista e comparada a dados observacionais (CORBELLI; LORENZONI et al., 2010; CORBELLI; THILKER et al., 2014) na figura 1. As curvas de rotação descrevem como se dá a distribuição das diferentes velocidades de rotação dos corpos ao longo de diferentes distâncias dos mesmos ao centro da galáxia. As simulações têm curvas de rotação comparáveis aos dados observacionais a respeito das galáxias, sendo um bom indício de que as dinâmicas evolutivas sejam também comparáveis.



Figura 1 – Curvas de Rotação



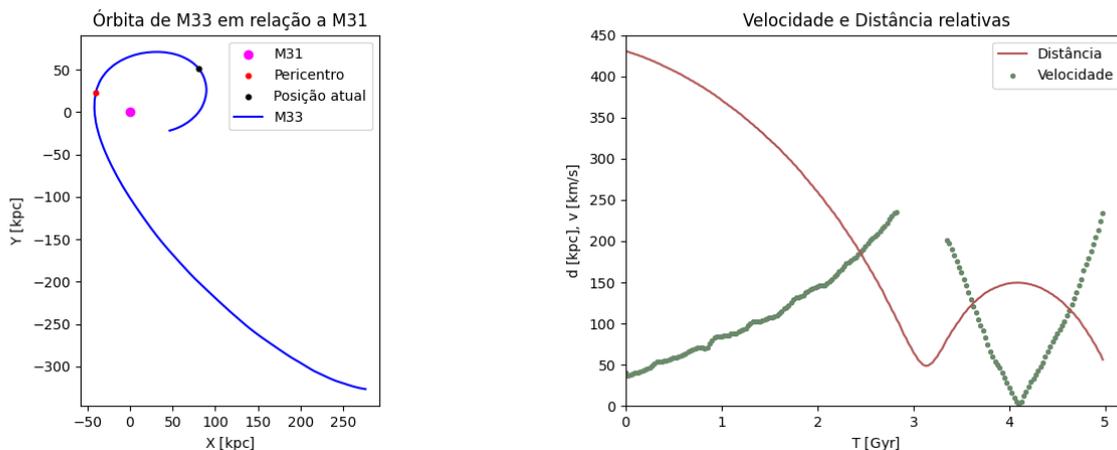
Fonte: Autor.

As condições iniciais de distância e velocidade relativas entre as galáxias foram obtidas via integração semi-analítica de órbitas a partir de parâmetros observacionais (TEPPER-GARCÍA; BLAND-HAWTHORN; LI, 2020), resultando na distância  $\vec{r}_0 = (-321, 306, -172)$  kpc e velocidade  $\vec{v}_0 = (175, -107, 116)$  km s<sup>-1</sup>, tendo M31 na origem do sistema de coordenadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados simulacionais sugerem que a primeira passagem pericêntrica aconteceu há 0.95 Gyr atrás, e a distância entre os dois centros galácticos foi de aproximadamente 48.7 kpc. A órbita que descreve a aproximação de M33 em relação a M31 pode ser vista na figura 2.

Figura 2 – Órbita



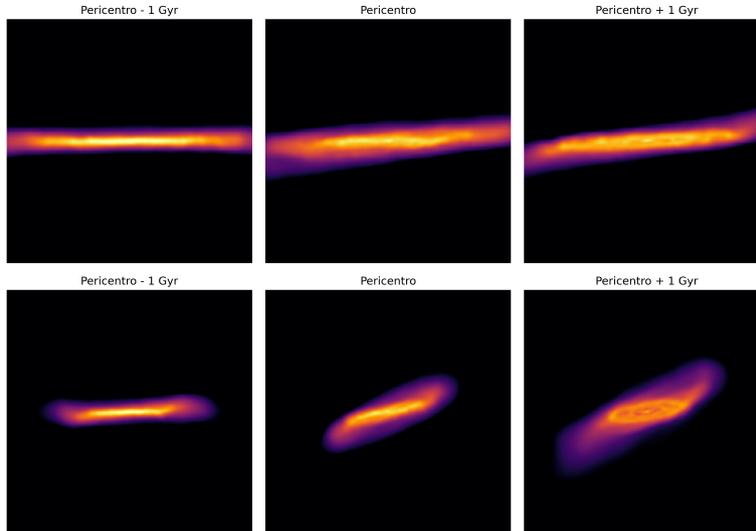
Fonte: Autor.

A respeito da morfologia do disco de gás durante a interação, podem ser vistos nas figuras 3 e 4 os discos de gás de M31, representados na parte superior dos mosaicos, tendo os discos de M33 na parte inferior, e da esquerda para a direita estão representados os momentos 1 Gyr antes, durante



e 1 Gyr depois da passagem pericêntrica.

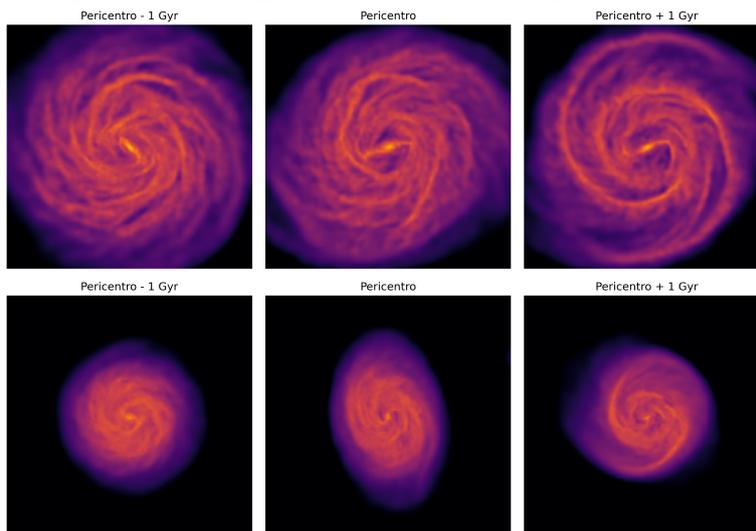
**Figura 3 – Morfologia transversal dos discos de gás ("Edge On")**



Fonte: Autor.

Na figura 3 fica visível que o disco gasoso de M31 não apresentou alterações morfológicas drásticas nos momentos destacados de interação, provavelmente por ter massa significativamente maior que M33. Já no caso da morfologia do disco gasoso de M33, pode-se perceber uma flambagem considerável, bem como aparente formação de caudas de maré, durante os períodos destacados de interação.

**Figura 4 – Morfologia frontal dos discos de gás ("Face On")**



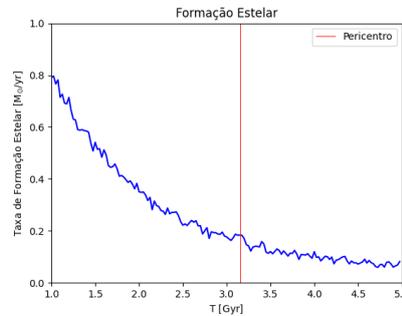
Fonte: Autor.

Já a partir da figura 4 fica visível que o disco gasoso de M31 preservou quase que totalmente seu caráter relativamente simétrico, enquanto o disco de M33 adquiriu caráter elíptico durante a passagem pericêntrica, voltando a estabelecer simetria posteriormente. Ambas galáxias simuladas já apresentavam braços espirais, tal que os braços espirais de M33 ficaram significativamente mais



acentuados depois da passagem pericêntrica, enquanto os braços espirais de M31 não aparentaram ter sua dinâmica afetada de maneira significativa.

Figura 5 – Formação Estelar



Fonte: Autor.

Apesar da interação ter afetado a morfologia das galáxias, a taxa de formação estelar não apresentou aumento significativo ao longo da evolução do sistema, como descrito na figura 5, o que difere do esperado aumento na taxa de formação estelar em certos momentos da dinâmica de interação. (SEMCZUK et al., 2018)

## CONCLUSÕES

Os dados simulacionais sugerem que as implicações morfológicas decorrentes da interação entre as duas galáxias parecem condizentes com os dados observacionais (CORBELLI; THILKER et al., 2014) por representar deformações nas estruturas de M33 em direção a M31 e, uma vez que cada galáxia simulada individualmente tem parâmetros e curva de rotação comparáveis a dados observacionais (CORBELLI; LORENZONI et al., 2010; CORBELLI; THILKER et al., 2014), tem-se indício de que a simulação utilizada para a análise deste trabalho pode replicar até certo grau as dinâmicas da presumida interação. Um estudo mais aprofundado a respeito da dinâmica e morfologia das caudas de maré decorrentes da interação pode ser muito proveitoso para refinar a hipótese de que a interação entre M31 e M33 é causa originária de suas morfologias atuais. A simulação não representou aumento na taxa de formação estelar relevante para análise, diferente de resultados prévios de referência (SEMCZUK et al., 2018), portanto, seria proveitoso também replicar a simulação com mais ênfase em parâmetros de formação estelar.

## Agradecimentos

Sinceros agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), pelo ensino, ao professor Rubens e todo o grupo de Extragaláctica pela orientação e por fim ao Clube de Astronomia da UTFPR (CAUTEC) por incentivar o estudo e fascínio pela Astronomia a mim e à comunidade.



## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

BEKKI, Kenji. Formation of a giant HI bridge between M31 and M33 from their tidal interaction.

**Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters**, Blackwell Science Ltd Oxford, UK, v. 390, n. 1, p. 124–128, 2008.

BRAUN, Robert; THILKER, David. Tidal Streams and Low Mass Companions of M31. **arXiv preprint astro-ph/0312115**, 2003.

CORBELLI, Edvige; LORENZONI, Silvio et al. A wide-field HI mosaic of Messier 31-II. The disk warp, rotation, and the dark matter halo. **Astronomy & Astrophysics**, EDP Sciences, v. 511, a89, 2010.

CORBELLI, Edvige; THILKER, David et al. Dynamical signatures of a  $\Lambda$ CDM-halo and the distribution of the baryons in M 33. **Astronomy & Astrophysics**, EDP Sciences, v. 572, a23, 2014.

SEMCZUK, Marcin et al. Tidally Induced Morphology of M33 in Hydrodynamical Simulations of Its Recent Interaction with M31. **The Astrophysical Journal**, IOP Publishing, v. 864, n. 1, p. 34, 2018.

SPRINGEL, Volker et al. Simulating cosmic structure formation with the GADGET-4 code. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford University Press, v. 506, n. 2, p. 2871–2949, 2021.

TEPPER-GARCÍA, Thor; BLAND-HAWTHORN, Joss; LI, Di. The M31/M33 tidal interaction: a hydrodynamic simulation of the extended gas distribution. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford University Press, v. 493, n. 4, p. 5636–5647, 2020.