

## Introdução:

Sabemos que nuvens de gás (com até milhares de vezes a massa do sol) se contraem para a formação de estrelas. De uma única nuvem são geradas muitas estrelas, portanto há algumas características comuns entre tais objetos, que em geral também mantem-se gravitacionalmente ligados (pelo menos nos primeiros momentos de suas vidas). À esses conjuntos de estrelas ligadas gravitacionalmente damos o nome de aglomerados estelares. Acredita-se que praticamente todas as estrelas no universo nasceram de aglomerados. Fica então evidente a importância do entendimento deste tipo de objetos.

Muitas evidências levaram a conclusão de que os aglomerados não são objetos estáticos e eternos. Hoje sabemos que eles sofrem efeitos dinâmicos que levam a perda gradual de massa que culmina com a dissolução do aglomerado. Sabemos que o campo “homogêneo” de estrelas que vemos no céu é o resultado da dissolução destes objetos. Neste trabalho estudamos a dinâmica de dissolução dos aglomerados e suas consequências.

## Objetivo:

Estudar a evolução de aglomerados de estrelas na vizinhança solar. Avaliar as dependências da taxa de formação de clusters (CFR) e determinar uma estimativa para a taxa de formação de estrelas (SFR).

## Procedimentos:

Escrevemos um software simples capaz de resolver as equações diferenciais (vai Runge-Kutta de 4ª ordem) que descrevem os fenômenos responsáveis pela dissolução de aglomerados (abertos) estelares. Os fenômenos incluídos foram: choque com braços espirais e nuvens moleculares, efeito de maré, evaporação, ejeção e evolução estelar. As equações diferenciais que descrevem os fenômenos são:

$$\begin{cases} m = M/M_i \\ [M_i] = M_\odot \\ t_4 = 6.910^9 \text{ yr} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{M}(t) = -M(t)\dot{q}_{ev}; \\ \log[q_{ev}(t)] = (\log t - a)^b + c; \\ \begin{cases} a = 1.0 \\ b = 0.255 \\ c = 1.805 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

$$\dot{M}_T(t) = -\frac{(M/10^4)^{0.38}}{t_4/10^4} \quad (3)$$

$$\dot{M}_{sp}(t) = -0.5 \left(\frac{M}{10^4}\right)^{0.3} \quad (4)$$

$$\dot{m}_{GMC}(t) = -5.0 \times 10^{-4} \left(\frac{10^4}{M_i}\right)^{0.7} m^{0.3} \quad (5)$$

$$\dot{M}(t)_{EVAP} = -\frac{(m)\ln(\gamma N)(GM)^{1/2}}{13.8R_{HM}^{3/2}} \quad (6)$$

$$\dot{m}_{ej}(t) = -\frac{3}{2} \times 10^{-5} \langle m \rangle \left[\frac{10^4}{M_i} \frac{m}{R_{HM}^3}\right]^{1/2} \quad (7)$$

Onde  $t_4$  é o tempo que um aglomerado de dez mil massas solares leva para perder 99% de soma massa horiginal.

Que são referentes à evolução, efeito de maré, choques com braços espirais, choque com nuvens moleculares, evaporação e ejeção, respectivamente.

Encontramos, matematicamente, a relação entre a distribuição de idade de aglomerados a taxa de formação de aglomerados (CFR) a massa limite ( $M_{lim}$ ) e a massa máxima ( $M_{max}$ ).

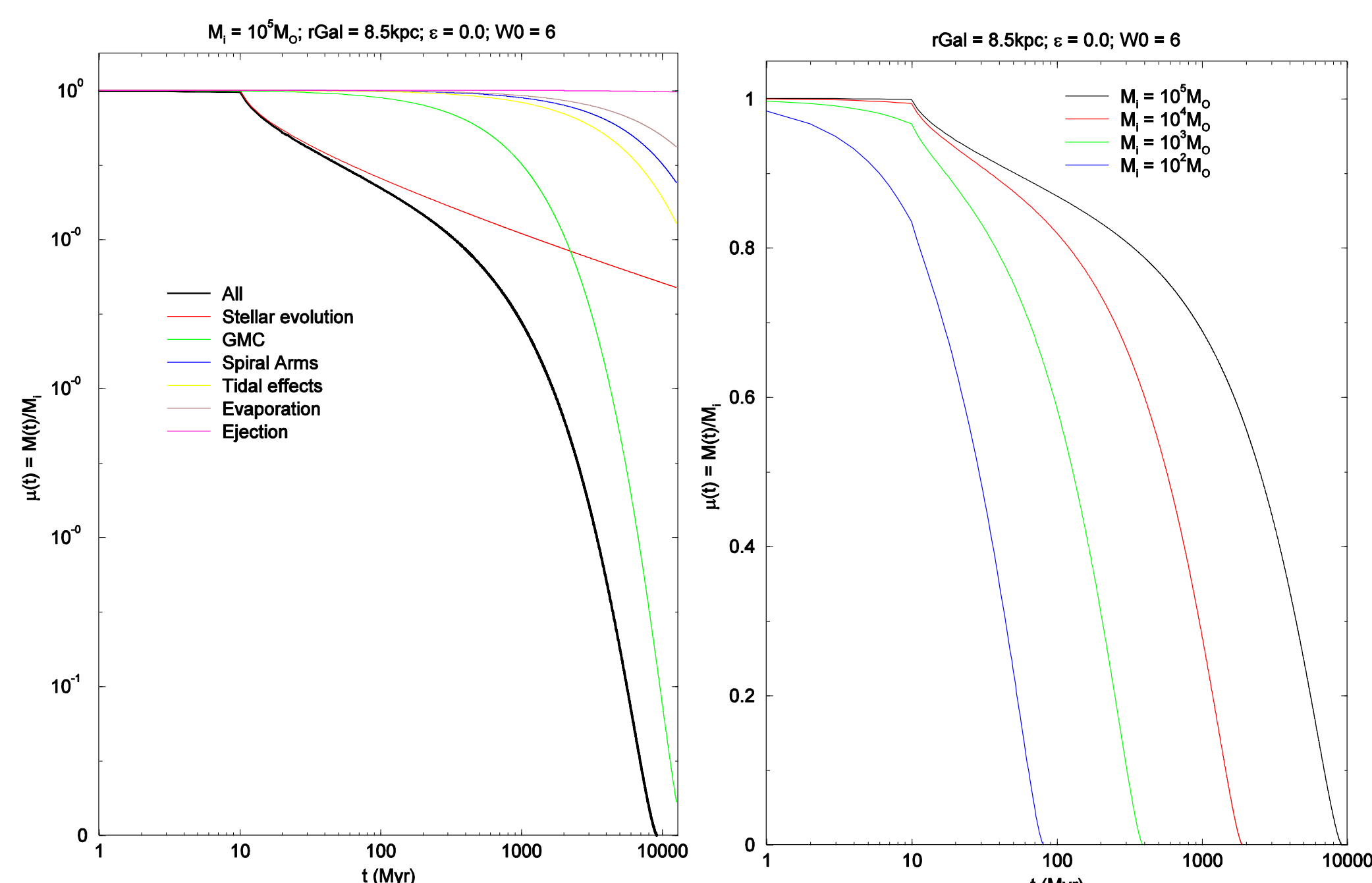
- $M_{min}$  é a massa mínima que um aglomerado pode ter para que seja possível observá-lo.
- $M_{lim}$  é a massa inicial mínima que um aglomerado deve ter para ser observável a um tempo  $t$ .
- $M_{max}$  é a massa máxima que um aglomerado poderia ter.

E também relacionamos a taxa de formação estelar à estas quantidades.

$$\phi_{obs}(t) = CFR(t) \left[ \frac{\left(\frac{M_{min}}{M_{lim}}\right) - \left(\frac{M_{min}}{M_{max}}\right)}{1 - \left(\frac{M_{min}}{M_{max}}\right)} \right] \quad (8)$$

$$SFR(t) = \frac{CFR(t)M_{min}}{1 - \left(\frac{M_{min}}{M_{max}}\right)} \quad (9)$$

Resolvendo as equações diferenciais mostradas acima obtemos uma descrição da evolução da massa nos aglomerados. Nas figuras 1 e 2 vemos os resultados.



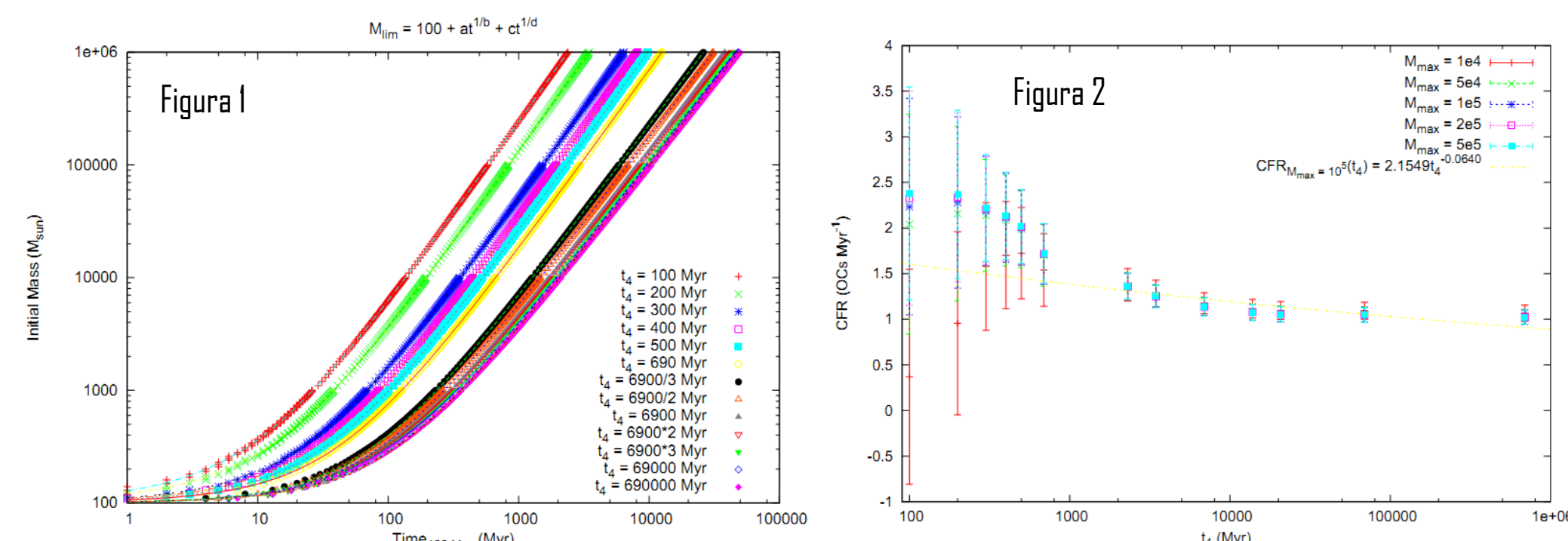
Fizemos uma série de simulações para vários valores de  $t_4$ . Das quais obtivemos uma relação para  $M_{lim}$ .

$$M_{lim}(t) = 100 + at^{1/b} + ct^{1/d}, \quad [M_{lim}] = M_\odot, \quad [t] = \text{Myr}$$

$t_4$	a	b	c	d
100	$2.80 \pm 1.076 \times 10^{-2}$	$0.6085 \pm 16.05 \times 10^{-5}$	$25.809 \pm 1.912$	$1.35264 \pm 0.03213$
200	$1.564 \pm 4.596 \times 10^{-3}$	$0.6100 \pm 11.83 \times 10^{-5}$	$19.445 \pm 1.145$	$1.34969 \pm 0.02344$
300	$0.6210 \pm 1.216 \times 10^{-3}$	$0.61370 \pm 7.40 \times 10^{-5}$	$10.861 \pm 0.397$	$1.29124 \pm 0.01198$
400	$0.4437 \pm 6.997 \times 10^{-4}$	$0.61613 \pm 5.86 \times 10^{-5}$	$9.1673 \pm 0.271$	$1.29120 \pm 0.00928$
500	$0.3467 \pm 1.983 \times 10^{-4}$	$0.61807 \pm 2.07 \times 10^{-5}$	$7.2732 \pm 0.077$	$1.25632 \pm 0.00303$
690	$0.2540 \pm 3.048 \times 10^{-4}$	$0.66350 \pm 4.30 \times 10^{-5}$	$2.5243 \pm 0.118$	$1.24030 \pm 0.00553$
2300	$0.1223 \pm 2.141 \times 10^{-4}$	$0.63961 \pm 6.05 \times 10^{-5}$	$2.5836 \pm 0.062$	$1.16623 \pm 0.00541$
3450	$0.1104 \pm 2.302 \times 10^{-4}$	$0.64624 \pm 7.21 \times 10^{-5}$	$2.1909 \pm 0.060$	$1.16008 \pm 0.00610$
6900	$0.1030 \pm 2.096 \times 10^{-4}$	$0.65636 \pm 7.12 \times 10^{-5}$	$1.9227 \pm 0.087$	$1.17457 \pm 0.00817$
13800	$0.1021 \pm 2.084 \times 10^{-4}$	$0.66366 \pm 7.23 \times 10^{-5}$	$1.8759 \pm 0.060$	$1.20045 \pm 0.00735$
20700	$0.1026 \pm 1.983 \times 10^{-4}$	$0.66663 \pm 6.90 \times 10^{-5}$	$1.8902 \pm 0.063$	$1.21616 \pm 0.00770$
69000	$0.1054 \pm 1.594 \times 10^{-4}$	$0.67176 \pm 5.55 \times 10^{-5}$	$2.5644 \pm 0.087$	$1.31507 \pm 0.00883$
690000	$0.1054 \pm 1.561 \times 10^{-4}$	$0.67347 \pm 5.42 \times 10^{-5}$	$2.1966 \pm 0.071$	$1.28709 \pm 0.00811$

O problema é que cada aglomerado deve ter um  $t_4$  específico pois  $t_4$  é uma constante que além depende do campo de maré da galáxia também depende da excentricidade da órbita do aglomerado. Por isso não podemos definir apenas um  $t_4$ . Porém estimamos que, na vizinhança solar, os aglomerados tenham  $t_4 \approx 6900$ .

Tomamos os dados do catálogo WEBDA para o círculo solar (distância máxima de 1 Kpc do Sol) e ajustamos a função distribuição de idades. Onde a taxa de formação de aglomerados (CFR) entrou como parâmetro e arbitramos valores de massa máxima. Verificamos que para a massa máxima não influencia de maneira significativa na CFR. E também verificamos que a CFR é pouco sensível a variações de  $t_4$  admissível no círculo solar. ( $t_4 = [2300:690000]$ ).



$t_4$	CFR ( $10^4 M_\odot$ )	CFR ( $5 \times 10^4 M_\odot$ )	CFR ( $1 \times 10^5 M_\odot$ )	CFR ( $2 \times 10^5 M_\odot$ )	CFR ( $5 \times 10^5 M_\odot$ )
100	$0.370 \pm 1.178$	$2.042 \pm 1.205$	$2.235 \pm 1.185$	$2.326 \pm 1.174$	$2.379 \pm 1.166$
200	$0.956 \pm 1.004$	$2.157 \pm 0.958$	$2.280 \pm 0.939$	$2.337 \pm 0.928$	$2.370 \pm 0.922$
300	$1.578 \pm 0.699$	$2.140 \pm 0.611$	$2.187 \pm 0.596$	$2.209 \pm 0.589$	$2.221 \pm 0.584$
400	$1.703 \pm 0.587$	$2.083 \pm 0.500$	$2.112 \pm 0.487$	$2.125 \pm 0.481$	$2.132 \pm 0.477$
500	$1.724 \pm 0.501$	$1.987 \pm 0.421$	$2.005 \pm 0.411$	$2.013 \pm 0.405$	$2.017 \pm 0.402$
690	$1.539 \pm 0.398$	$1.703 \pm 0.340$	$1.714 \pm 0.332$	$1.720 \pm 0.328$	$1.722 \pm 0.326$
2300	$1.378 \pm 0.177$	$1.363 \pm 0.149$	$1.359 \pm 0.146$	$1.357 \pm 0.144$	$1.355 \pm 0.143$
3450	$1.283 \pm 0.145$	$1.258 \pm 0.124$	$1.253 \pm 0.121$	$1.251 \pm 0.120$	$1.249 \pm 0.119$
6900	$1.175 \pm 0.115$	$1.144 \pm 0.100$	$1.167 \pm 0.100$	$1.136 \pm 0.098$	$1.134 \pm 0.097$
13800	$1.117 \pm 0.101$	$1.083 \pm 0.089$	$1.078 \pm 0.088$	$1.076 \pm 0.087$	$1.074 \pm 0.087$
20700	$1.096 \pm 0.096$	$1.062 \pm 0.086$	$1.056 \pm 0.084$	$1.054 \pm 0.084$	$1.052 \pm 0.083$
69000	$1.094 \pm 0.091$	$1.056 \pm 0.082$	$1.050 \pm 0.080$	$1.048 \pm 0.080$	$1.046 \pm 0.080$
690000	$1.066 \pm 0.088$	$1.030 \pm 0.080$	$1.024 \pm 0.078$	$1.022 \pm 0.078$	$1.020 \pm 0.077$

Artifícios matemáticos e aproximações foram usados para tentar estabelecer uma massa inicial máxima ( $M_{max}$ ) para os aglomerados. Porém não obtivemos nenhum ajuste possível.

## Resultados:

Uma vez obtida a CFR para o círculo solar podemos estabelecer uma taxa de formação de estrelas para esta região. Entretanto vemos que qualquer ajuste da função distribuição de idades com CFR constante não representam bem as regiões de idades menores que 9 Myr e entre (200 – 600) Myr.

C. Bonatto e E. Bica (Constraining the star formation rate in the Solar neighbourhood with star clusters) estabeleceram a função distribuição de idades (ADF) de uma população “sintética” de aglomerados sob efeito dos processos descritos na introdução e comparou com a ADF real para o círculo solar e obteve o melhor ajuste para uma SFR não constante. Os resultados são mostrados abaixo.

