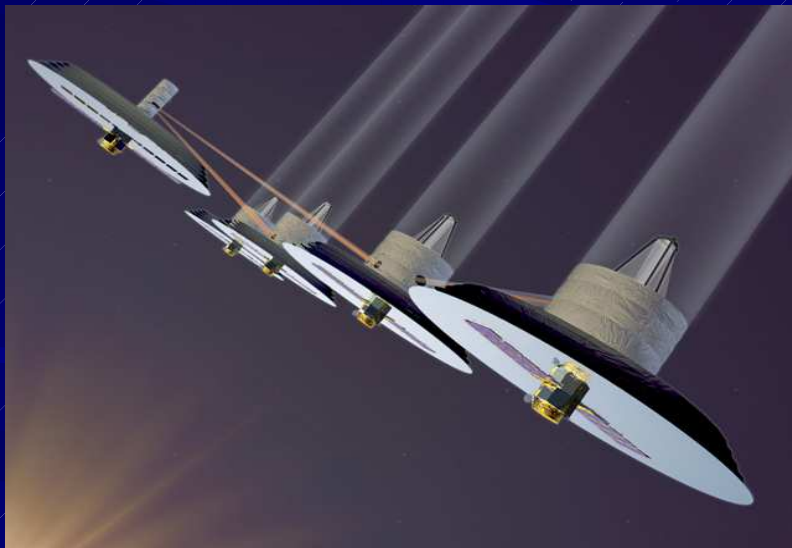


# The catalogue of astrobiologically interesting stars within 15 parsecs of the Sun

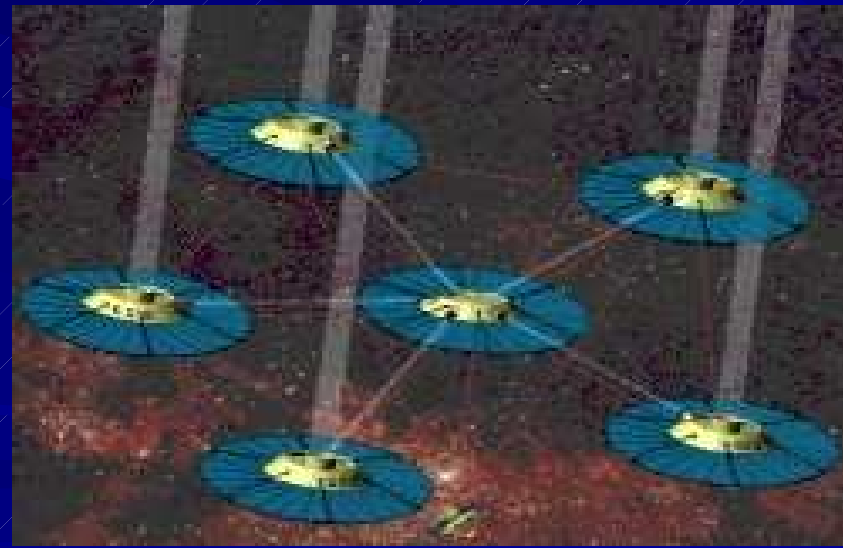


UFRJ

**Gustavo Porto de Mello, Eduardo del Peloso, Luan Ghezzi**  
(Obs. do Valongo/UFRJ)



Terrestrial Planet Finder (NASA)



Darwin (ESA)

# Motivação Científica

1

**OBJETIVO:** Produzir uma lista otimizada de estrelas com potencial astrobiológico para as futuras missões interferométricas:

**Terrestrial Planet Finder (NASA) e Darwin (ESA)**

## **CONTEXTO ATUAL:**

**Novos vínculos sobre o conceito de *Zona Habitável* em Astrobiologia:**

Kasting et al. 1993, Franck et al. 2000, Gonzalez et al. 2001, Lineweaver et al. 2004

zona habitável, estabilidade climática, bioprodutividade, escalas de tempo, evolução química e galáctica, estabilidade de longo prazo

## **ABORDAGENS RECENTES:**

***Habitability catalogue:*** Turnbull & Tarter 2003

***Nearby Biostar catalogue:*** Porto de Mello et al 2003, 2004 ( $d < 15$  pc)

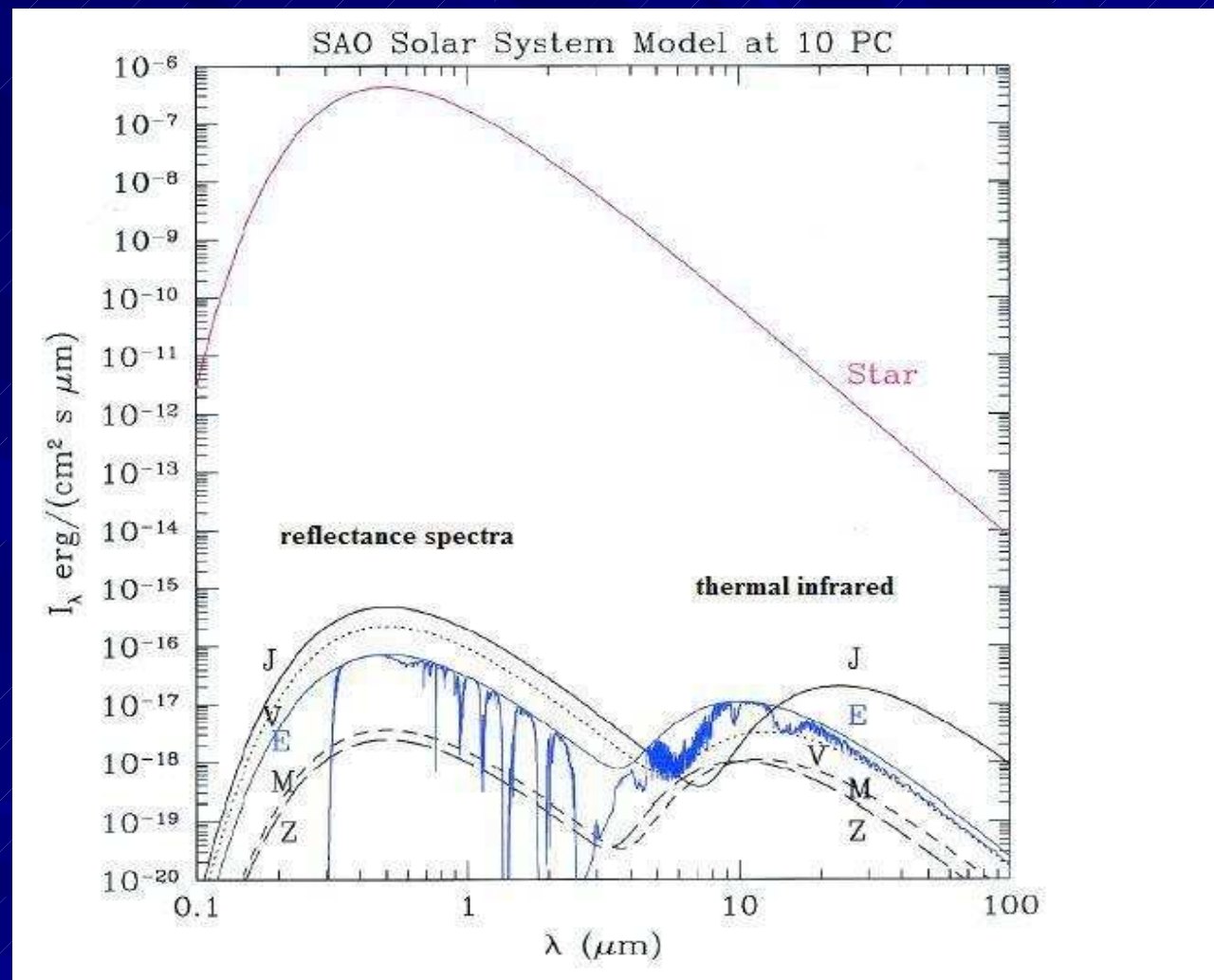
# Detecção Remota de Vida

2

Contraste estrela/planeta no infravermelho térmico

Des Marais et al 2002

Segura et al 2003



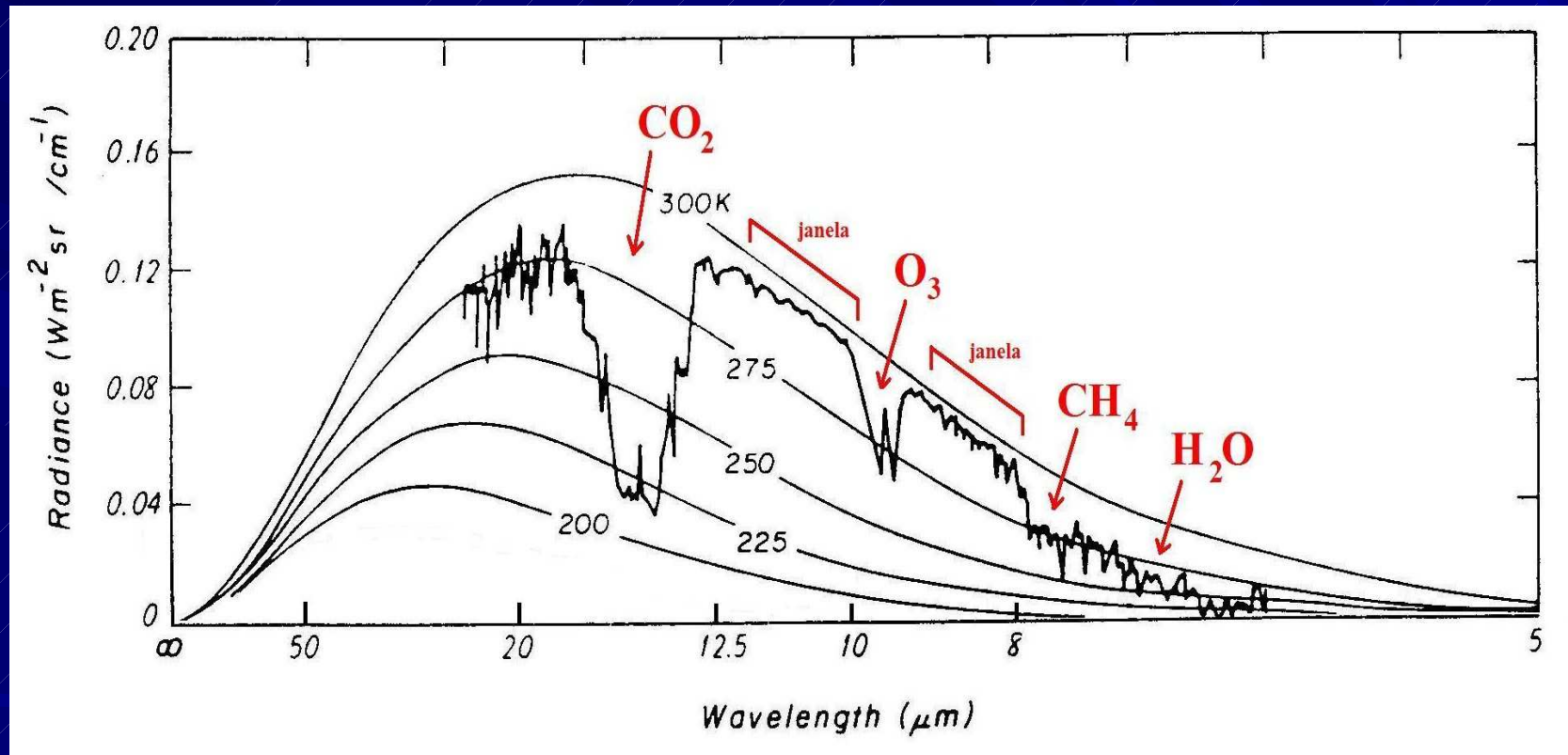
# Detecção Remota de Vida

2

Contraste estrela/planeta no infravermelho térmico

Des Marais et al 2002

Segura et al 2003



**A CHAVE:  
DETECÇÃO SIMULTÂNEA**

**$\text{O}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$**

$\text{CO}_2$  15  $\mu\text{m}$ ,  $\text{O}_3$  9.6  $\mu\text{m}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ : 6.3  $\mu\text{m}$ ,  $\text{CH}_4$  7.7  $\mu\text{m}$

Janela de 8-12  $\mu\text{m}$ : temperatura superficial

# O Conceito de Zona Habitável

3

Kasting et al 1993, Franck et al 2000

## Premissas planetárias e estelares:

H<sub>2</sub>O superficial por ~ Gano, atividade geológica, atmosfera CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-N<sub>2</sub>  
campo magnético, estabilidade climática, idades estelares > 3 Gano,  
resistência a catástrofes por ~ Gano,

O<sub>3</sub> observável no Proterozóico ~ 2 Gano atrás (Segura et al 2003)

CH<sub>4</sub> observável apenas a 10<sup>-1</sup> PAL de O<sub>2</sub> (Proterozóico)

**Eventos de oxigenação (Blair-Hedges et al 2004): ~ 2.3 e 3.0 Gano de idade**

## Modelos Climáticos:

J. Kasting et al (Univ. Penn.) e S. Franck et al (Potsdam Climate Research)

**Estabilidade climática** por retroalimentação (*feedback*) negativa:

pCO<sub>2</sub> ↘ se T ↗ (efeito estufa: ciclo carbonato-silicato)

## Efeitos desestabilizadores:

pH<sub>2</sub>O ↗ se T ↗ e albedo ↗ se T ↘



# O Conceito de Zona Habitável

Equação de Arrhenius :  $(1-a) S_{\text{eff}} = 4\sigma T_b^4$

Temperatura superficial:  $T_s = T_b + \Delta T$

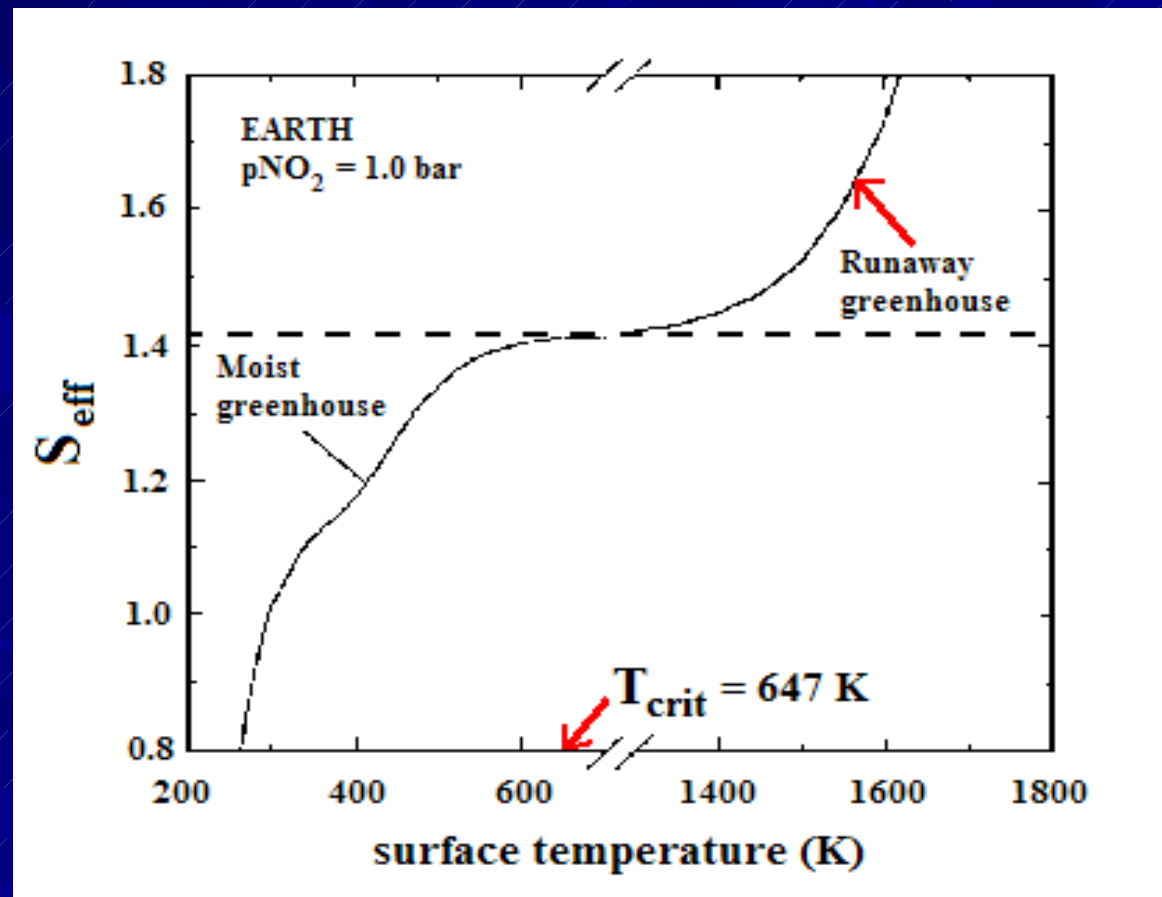
## LIMITE INTERNO

Perda de água

$S_{\text{eff}} = 1,10$

Estufa descontrolada

$S_{\text{eff}} = 1,41$



# O Conceito de Zona Habitável

Equação de Arrhenius :  $(1-a) S_{\text{eff}} = 4\sigma T_b^4$

Temperatura superficial:  $T_s = T_b + \Delta T$

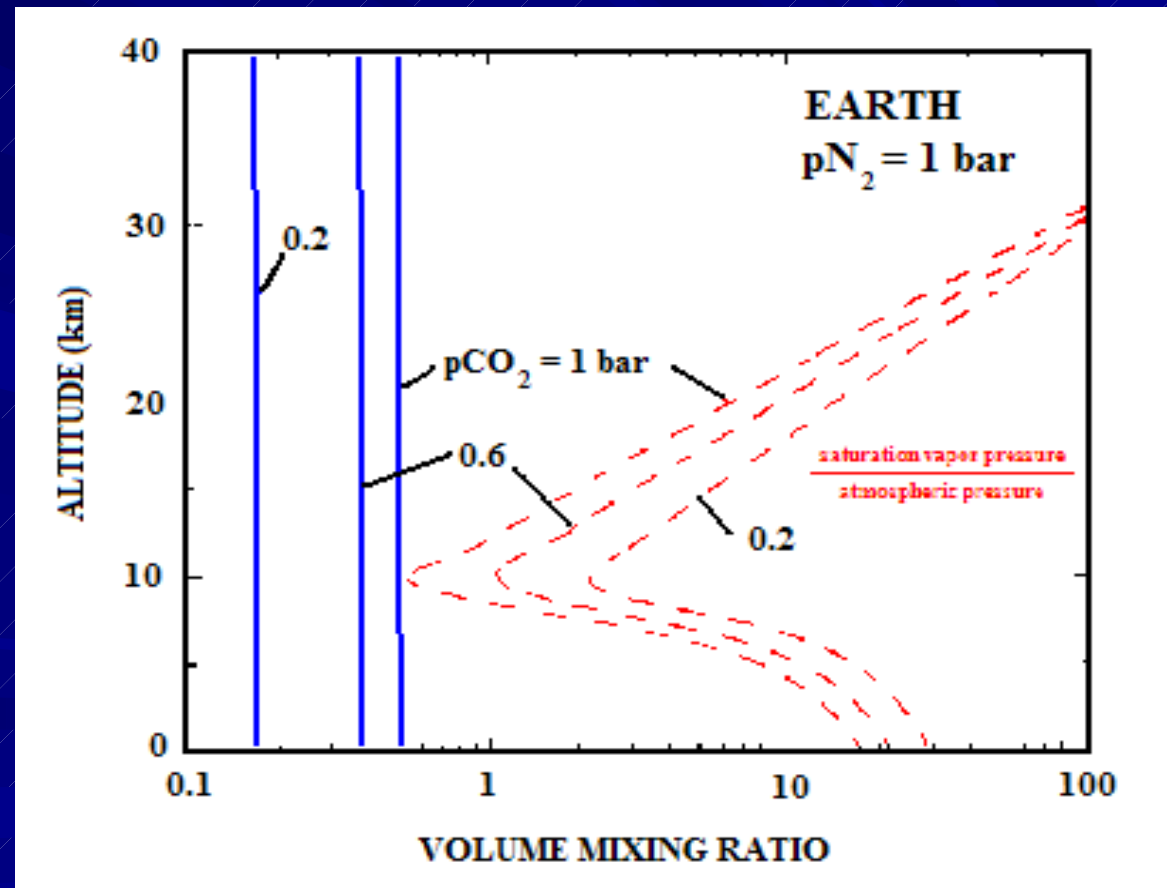
## LIMITE EXTERNO

Primeira condensação

$S_{\text{eff}} = 0,53$

Efeito estufa máximo

$S_{\text{eff}} = 0,36$

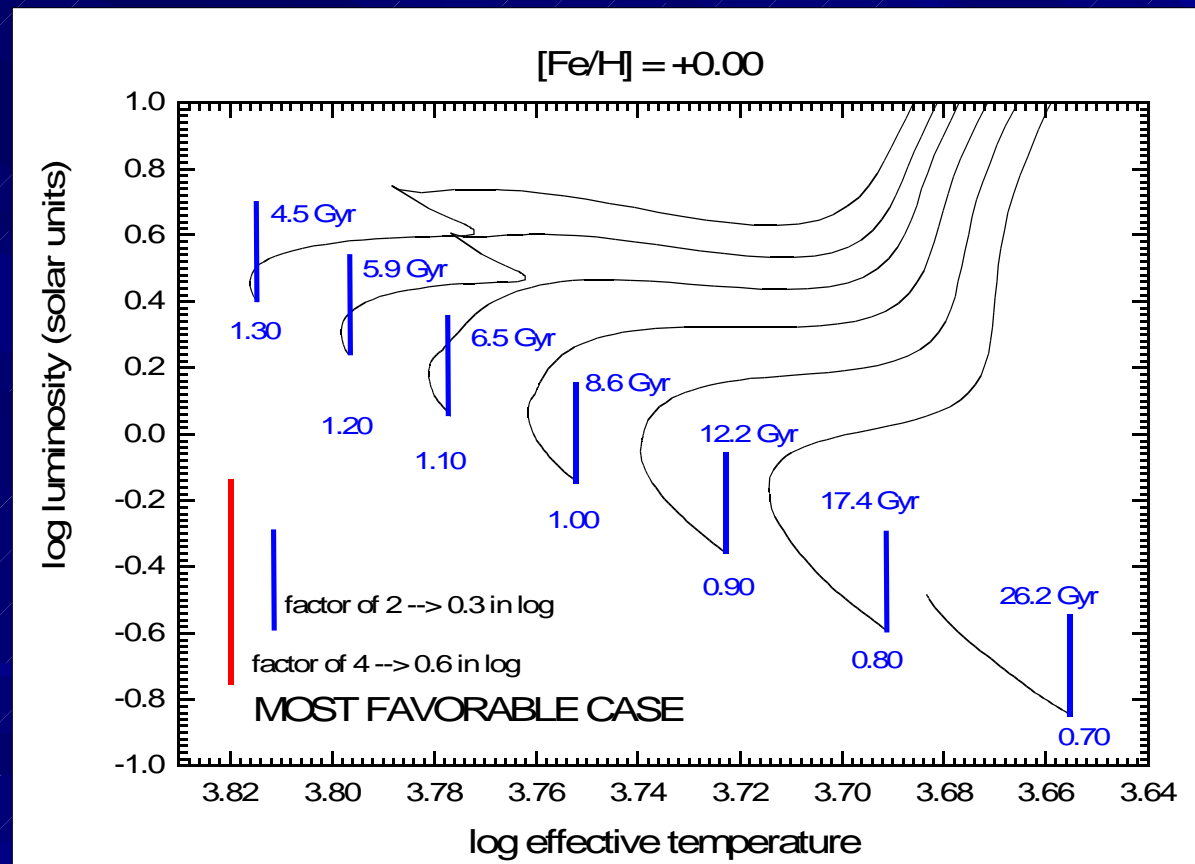


# O Conceito de Zona Habitável

**Premissa:** vida na sequência principal > tempo de oxigenação da atmosfera

**Limite superior de massa:** estrelas de tipo F9V-F7V

**Limite inferior de massa:** estrelas de tipo K2V-K3V





# Massas Estelares

## Tidal Lock Radius

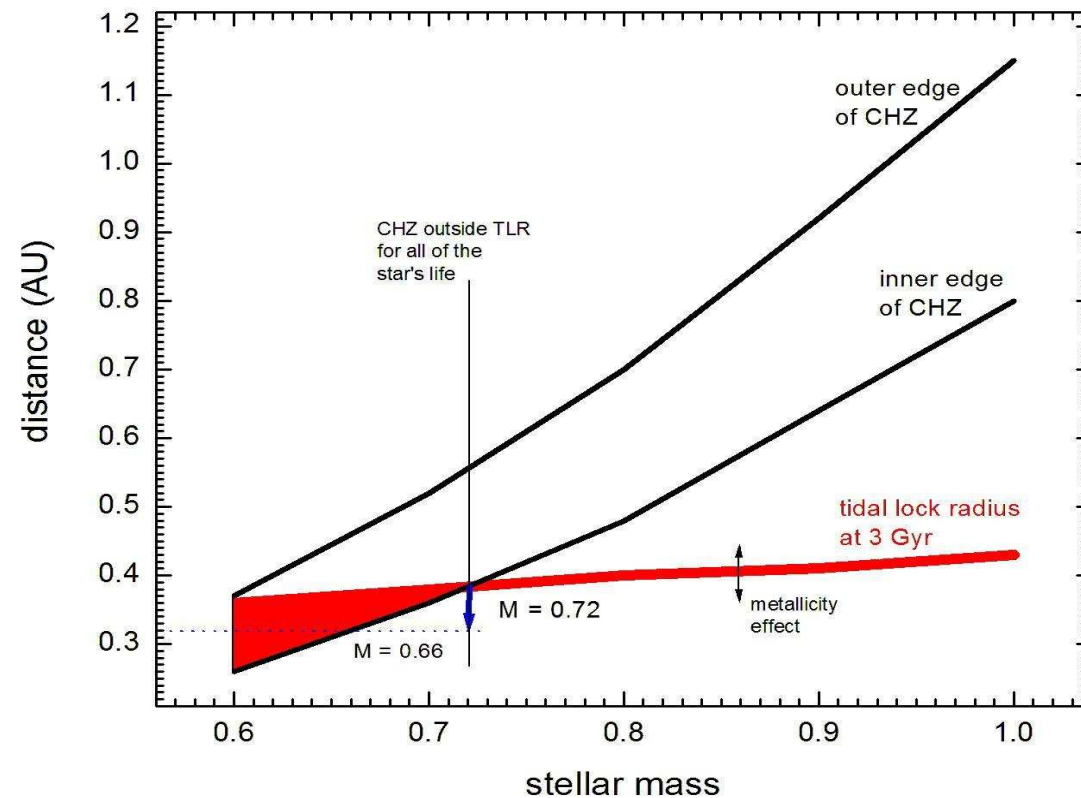
$$r_{tl} = 0.027 \left( \frac{P_0 t}{Q} \right)^{1/6} M^{1/3}$$

### Questões:

Ressonâncias orbitais

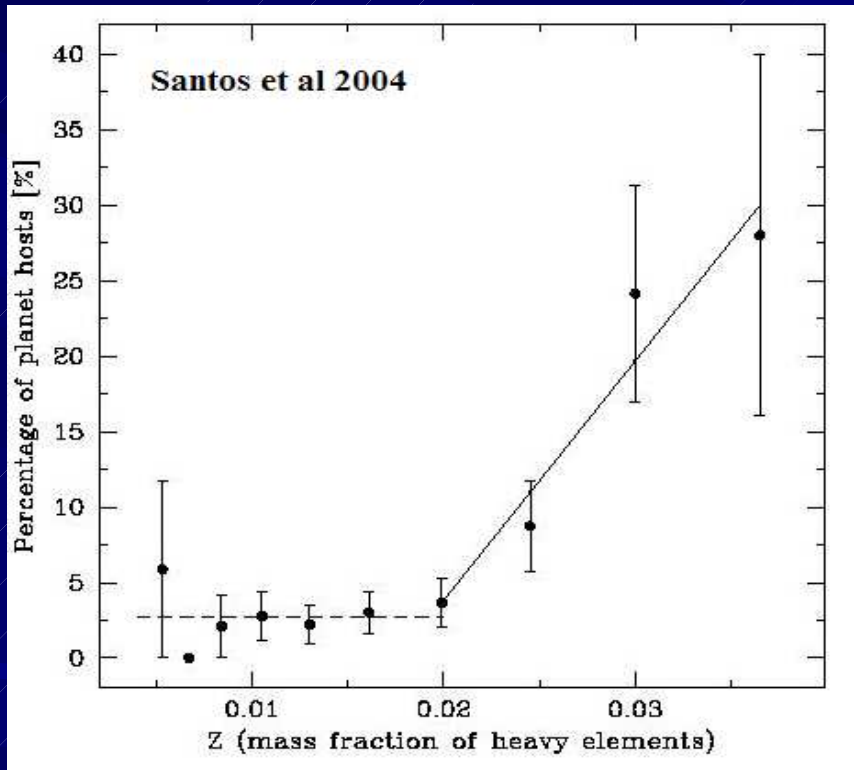
Momento magnético

Fase inicial de perda de massa e fluxo XUV

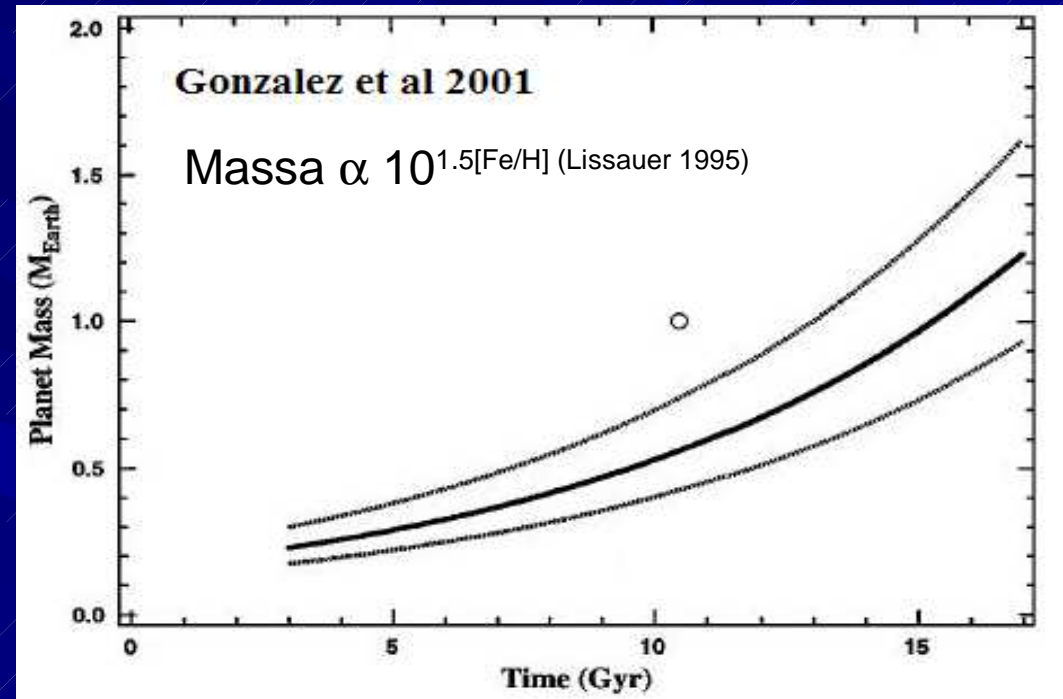


# Metalicidade Estelar

Forte relação entre metalicidade e presença de planetas gigantes

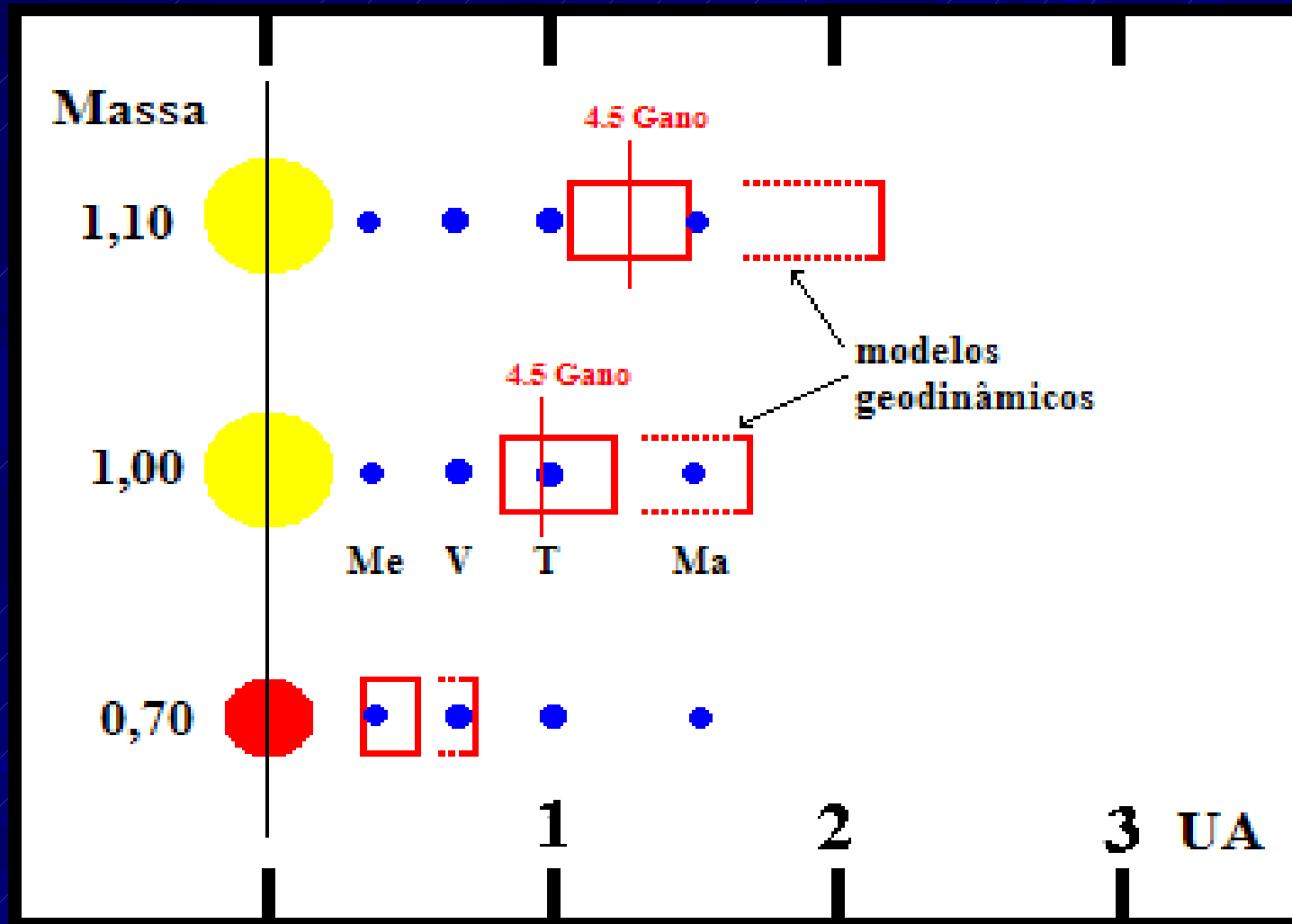


Composição planetária:



Aquecimento radiogênico  
 Razão [Si/Fe] e [Mg/Fe]  
 Razão litosfera/núcleo  
 Convecção no núcleo (magnetismo)

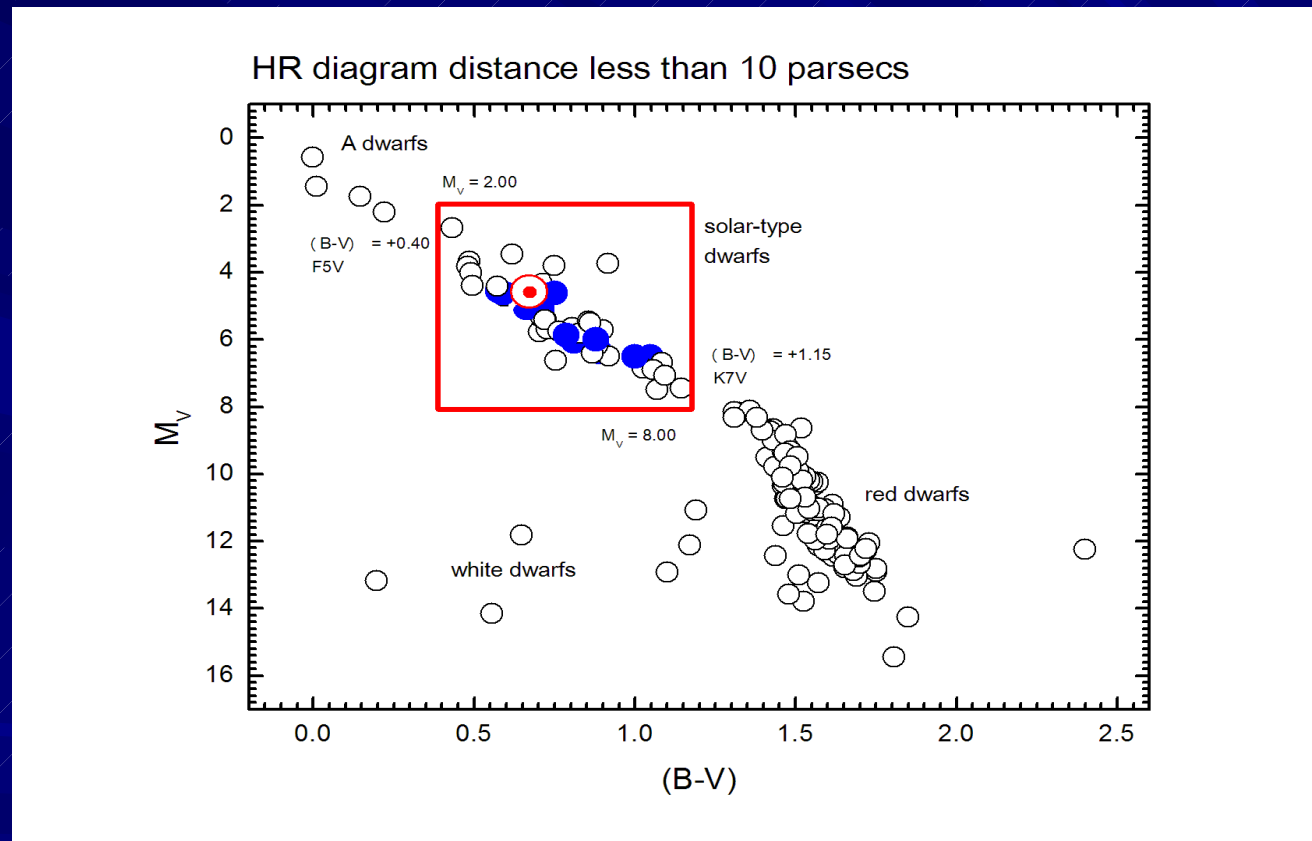
# ZCH e Escalas de Tempo



## Candidatas: seleção em (B-V) e $M_V$

Diagrama HR **Hipparcos** para  $d < 10$  pc: 50 estrelas (27%)

Metalicidade, temperatura, luminosidade, multiplicidade, idade isocronal, atividade magnética, raios-X, EUV, etc...

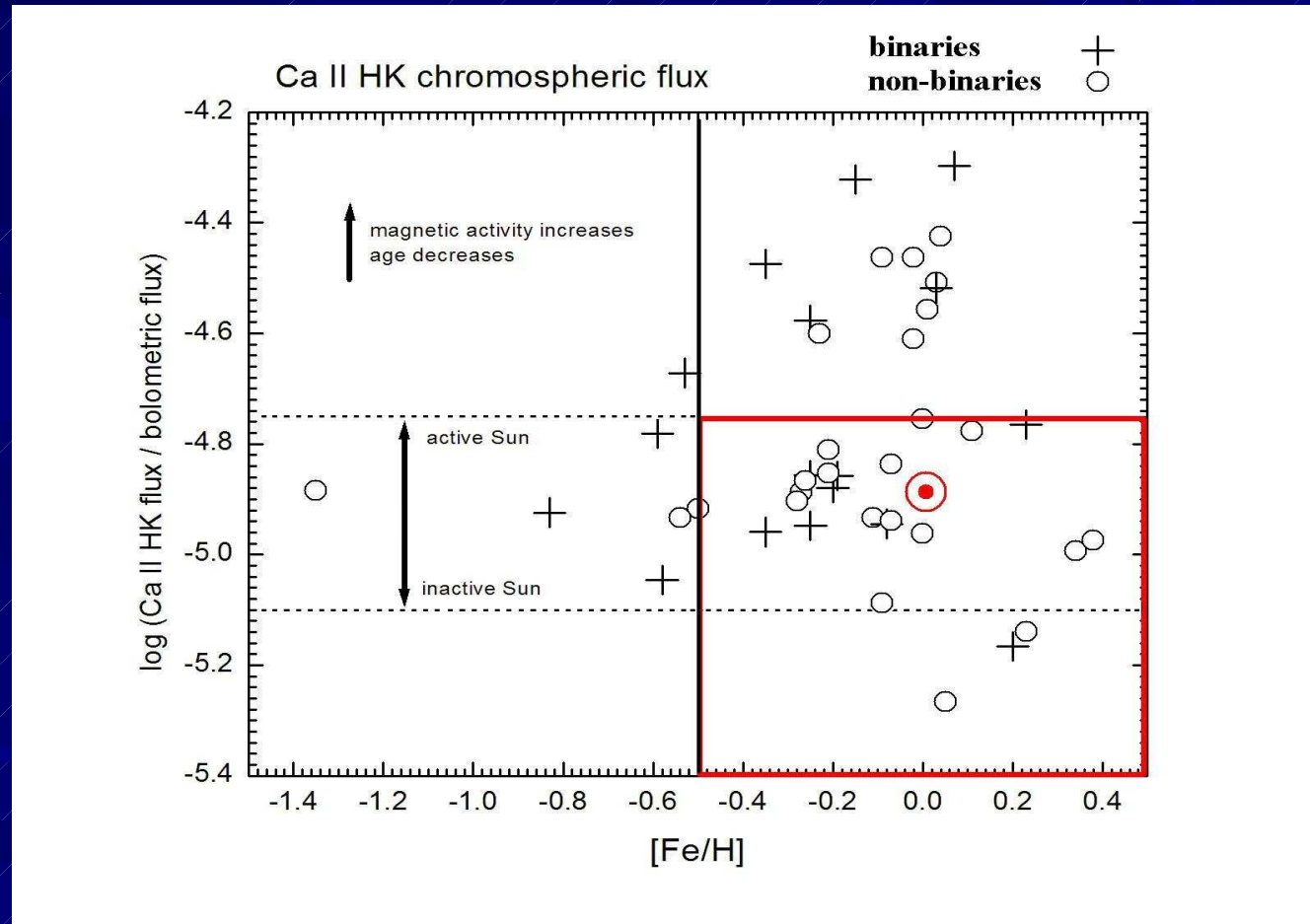


**34% da amostra de 50 estrelas é binária ou múltipla**  
**8% é eliminada apenas por ser binária/múltipla**

## Candidatas: idade e metalicidade

Eliminamos estrelas com  $[Fe/H] < -0.50$  (30% da solar)

Eliminamos estrelas com indicadores cromosféricos sugerindo  $< 1$  Gano de idade



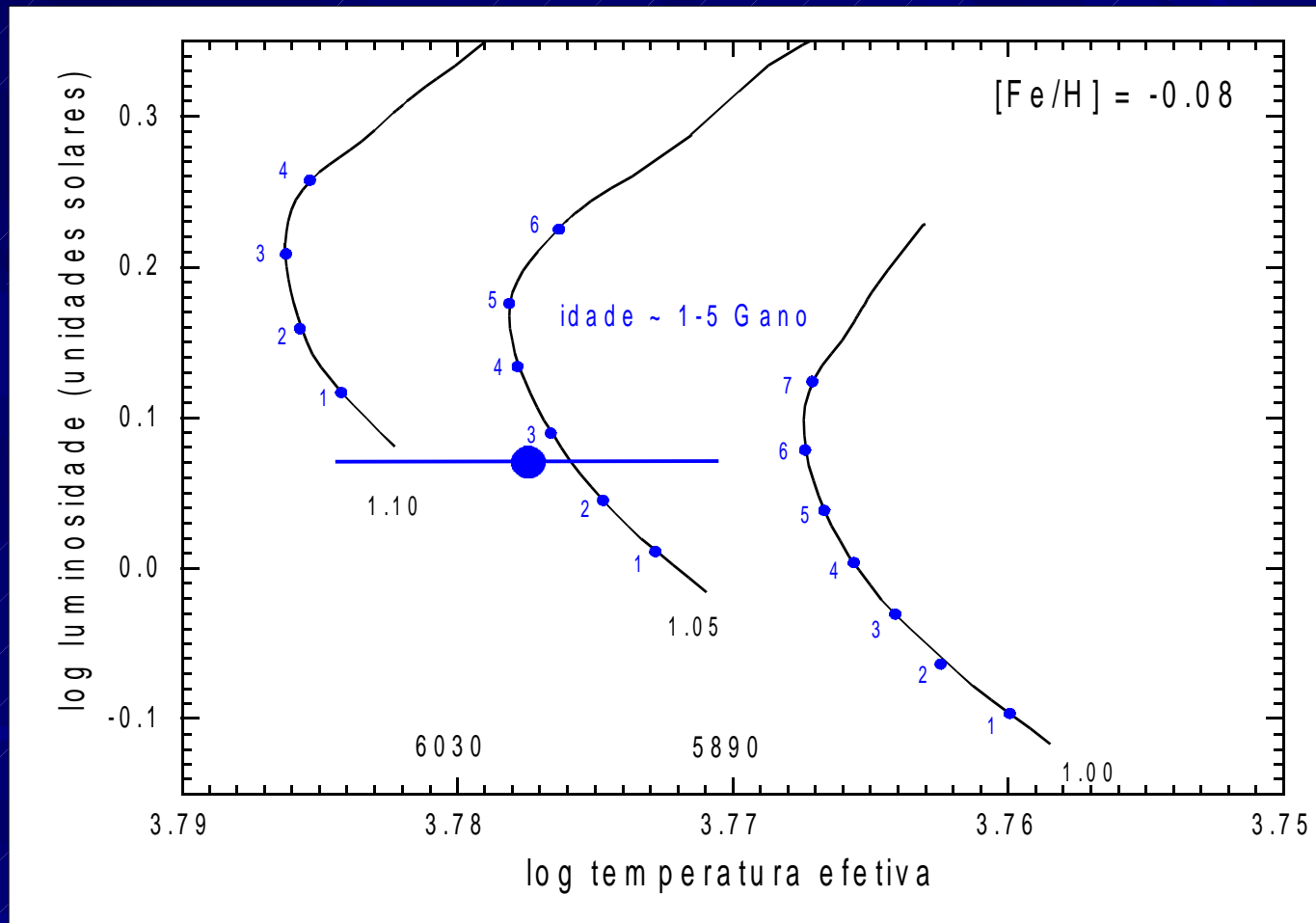
Porto de Mello & Lyra 2004: atividade cromosférica em  $H\alpha$

# Candidatas: idades isocronais

Modelos de Yi et al 2003

HR77 Zeta Tucanae

distância 8,6 pc

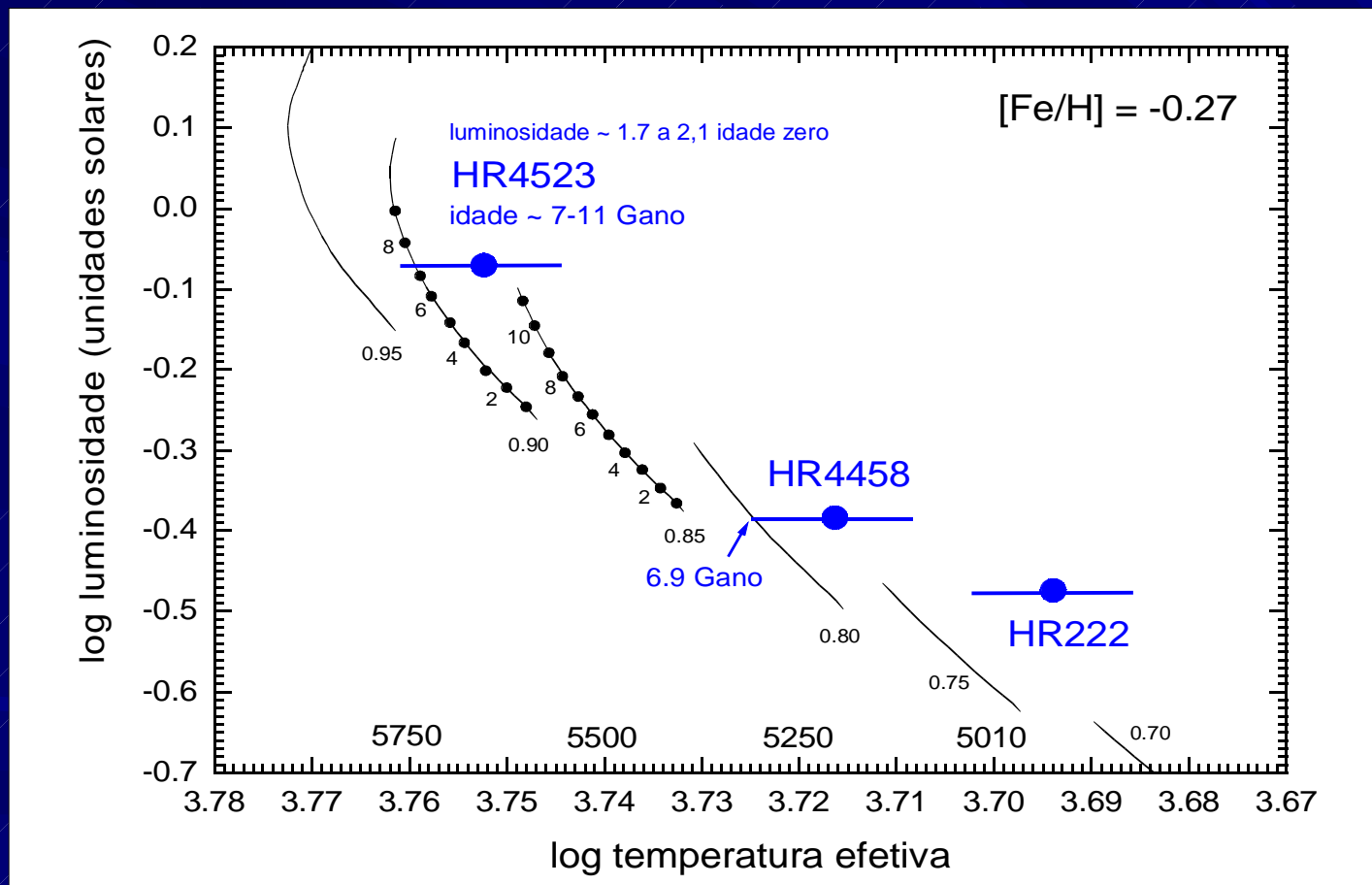




# Candidatas: idades isocronais

HR222, 4458 e 4523

distâncias 7,5 / 9,5 / 9,2 pc

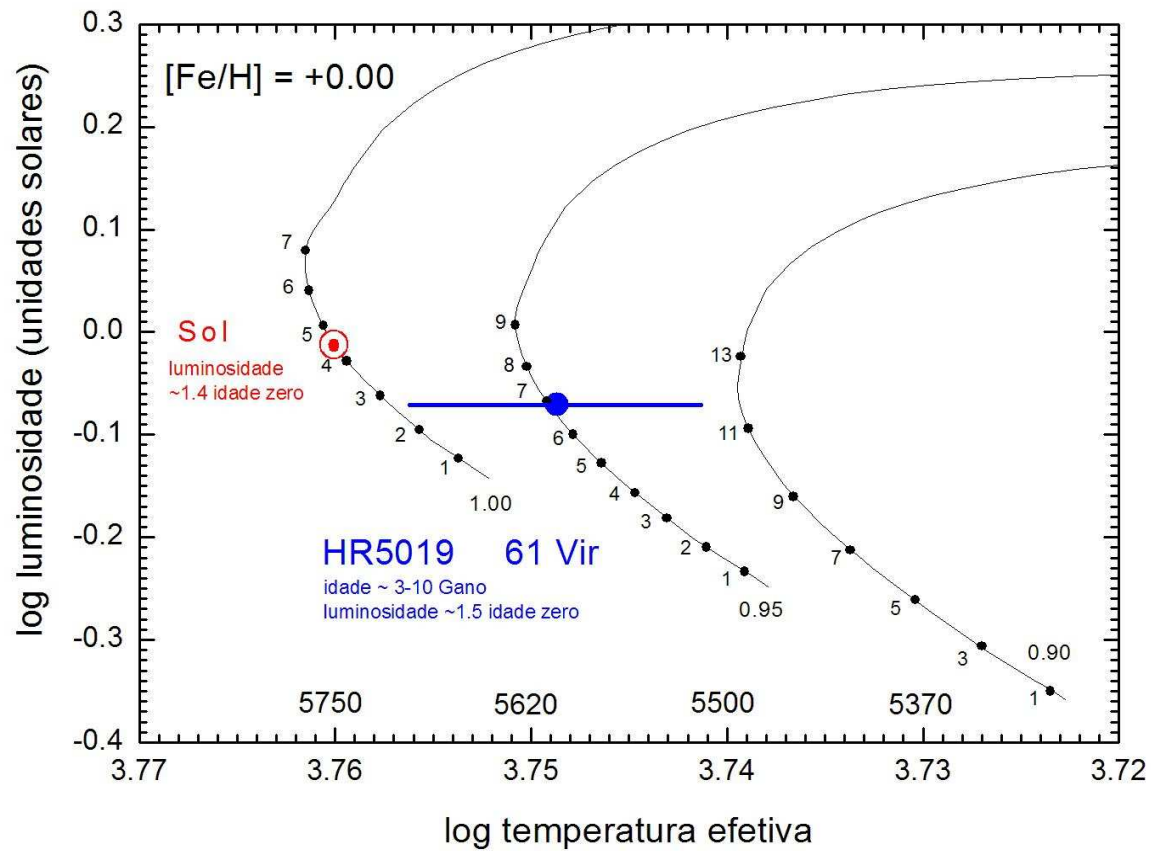


# Candidatas: idades isocronais

HR5019

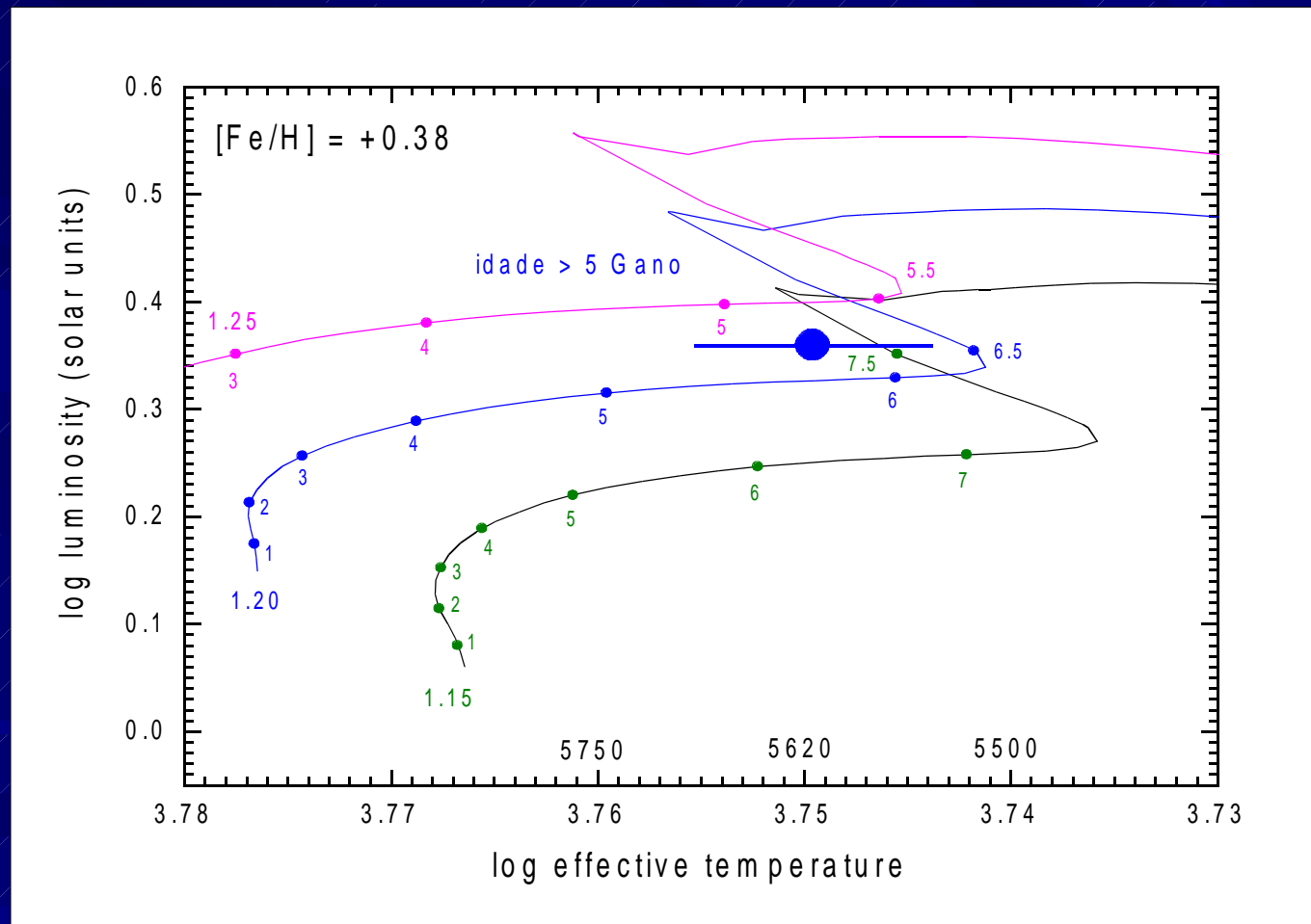
61 Vir

distância 8,5 pc



# Candidatas: idades isocronais

HR7665 Delta Pavonis distância 5,8 pc



# As “bioestrelas” até 10 parsecs

HD	Nome	massa	idade	[Fe/H]	órbita.	Nível	d(pc)
1581	ζ Tuc	~	~	~	✓	★ ★ ★	8,6
4628		^	?	^	~	★	7,5
10476	107 Psc	^	?	^	✓		7,5
32147		^	~	✓	✓	★	8,8
100623		^	✓	^	✓		9,5
102365		^	✓	^	✓		9,2
109358	β CVn	✓	~	^	~	★ ★	8,4
115617	61 Vir	~	~	~	✓	★ ★ ★	8,5
185144	σ Dra	^	✓	^	✓		5,8
190248	δ Pav	✓	~	✓	~	★ ★	6,1
192310		^	✓	~	✓	★	8,8
219134		^	?	~	✓	★	6,5

Obs: 18 bioestrelas entre 10 pc e 15 pc: a gêmea solar (Porto de Mello & da Silva 1997) e Alfa Mensae são ★ ★ ★ ★ . Temos 4 (★ ★ ★) e 4 (★ ★)

# Conclusões & Perspectivas

## SOAR

Espectrógrafo Goodman:  $R \sim 15.000$ , cobertura UV  $\rightarrow$  IR

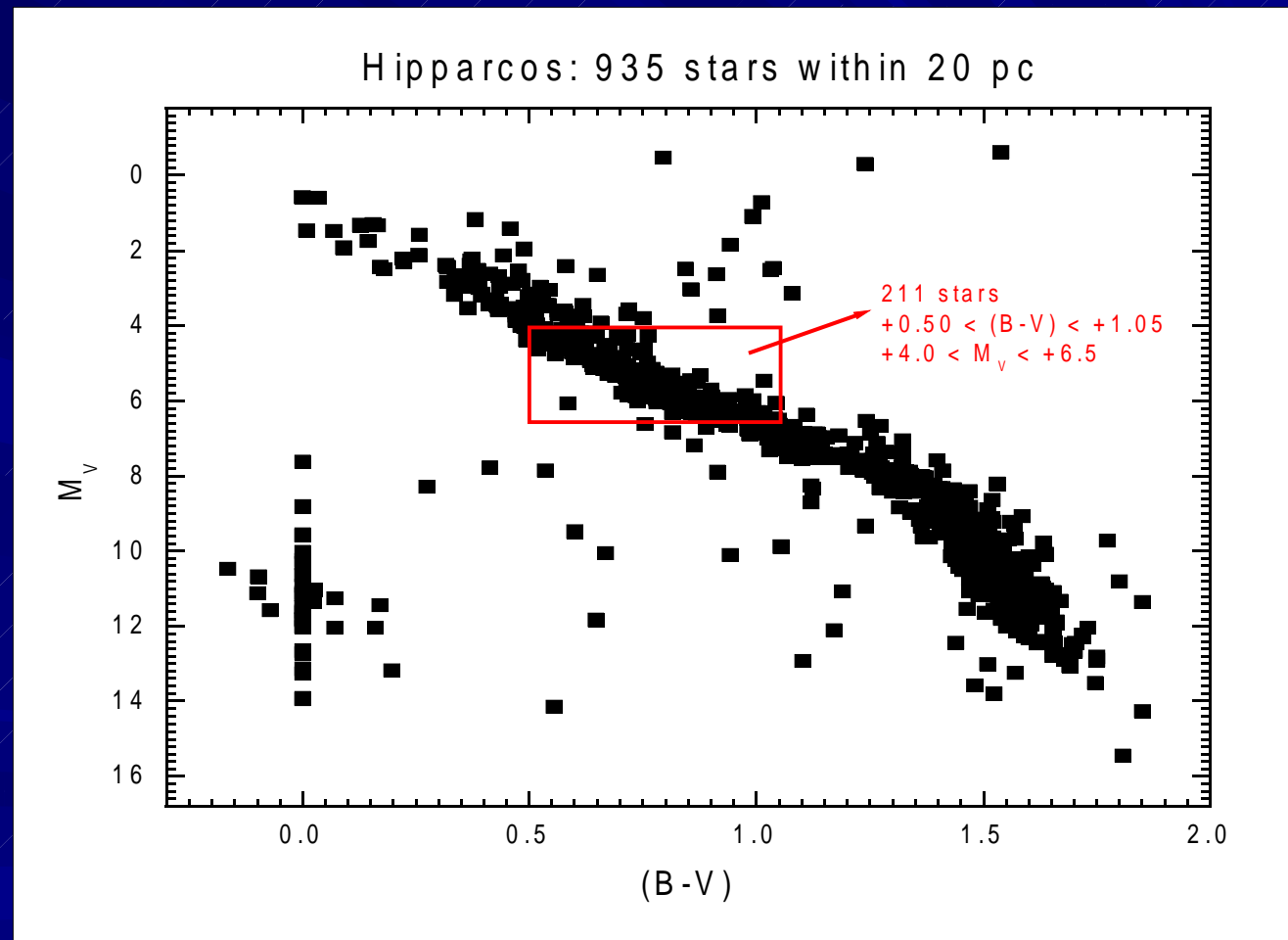
**7% das estrelas da vizinhança são interessantes**

**Completeza:**

$d < 10$  pc  
[Fe/H]: 100%  
atividade: 100%

$10 \text{ pc} < d < 15$  pc  
[Fe/H]: 71%  
atividade: 90%

$d < 20$  pc  
[Fe/H]: 47%



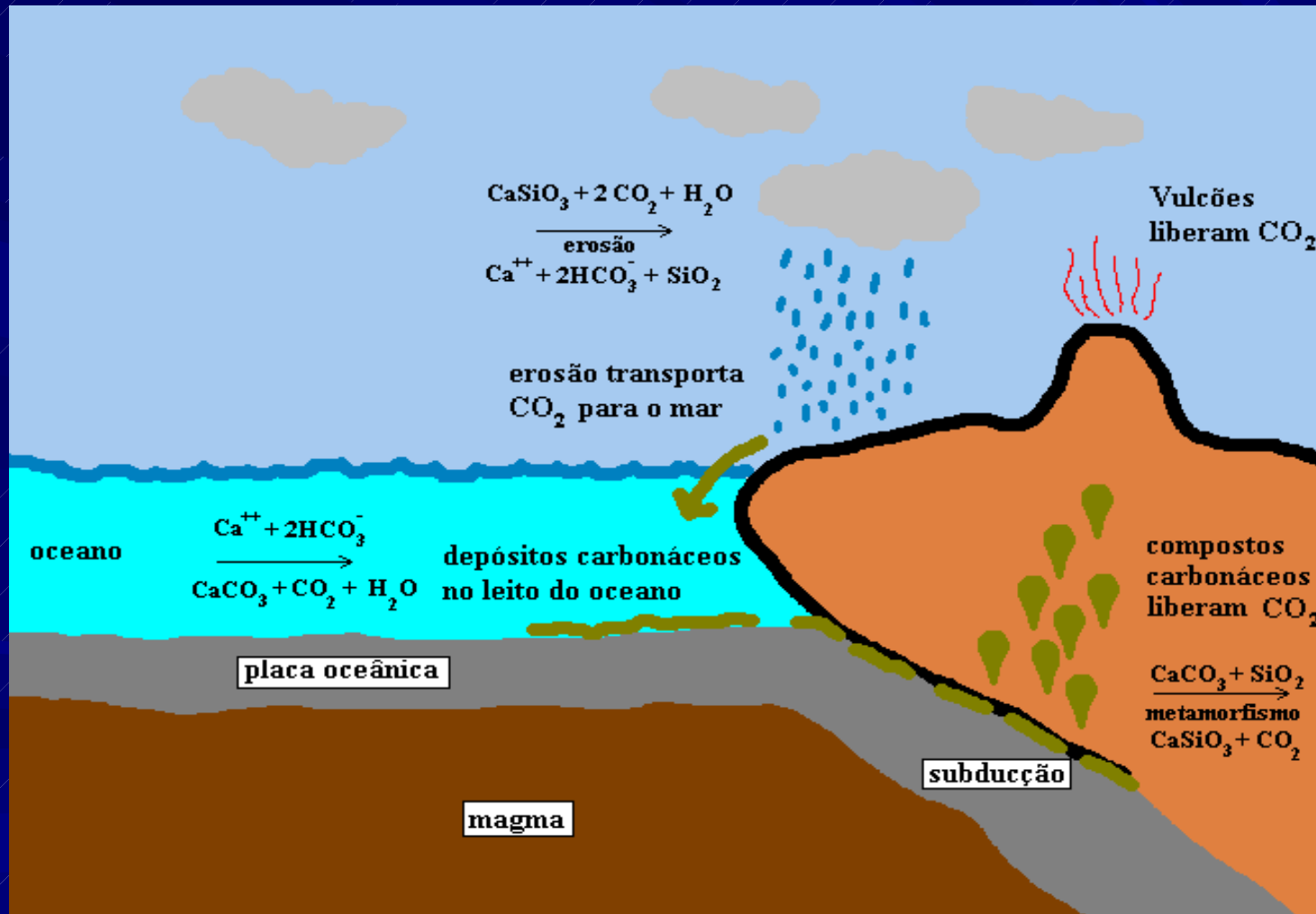
OBRIGADO



# O Conceito de Zona Habitável

Ciclo carbonato-silicato: atua em escalas ~ 10<sup>6</sup> anos

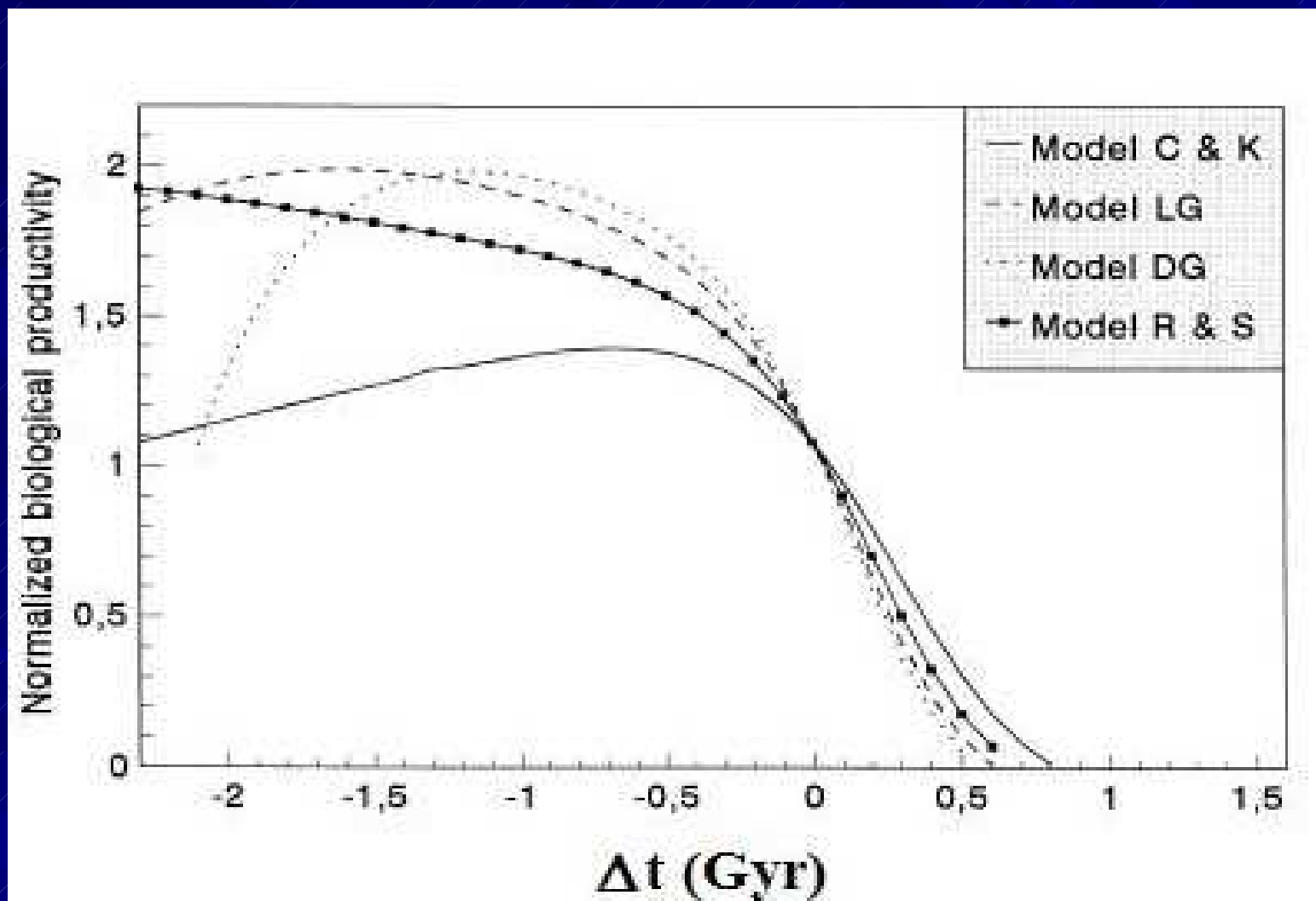
Pode remover todo o carbono: oceanos + atmosfera em ~ 400 Mano



# O Conceito de Zona Habitável

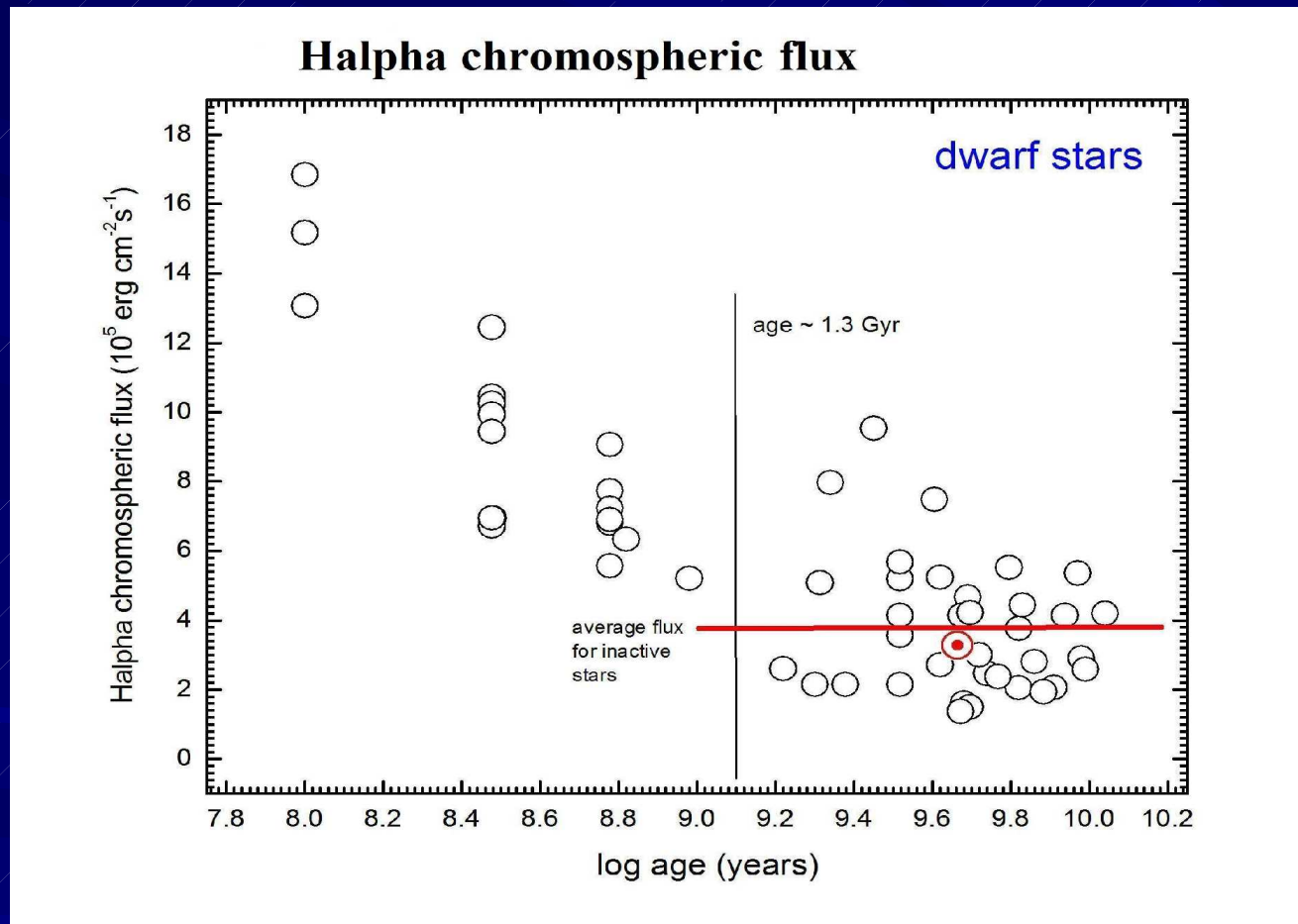
## Bioprodutividade

Franck et al 1999,2000



# Candidatas: idade e metalicidade

## Porto de Mello & Lyra 2004: atividade cromosférica



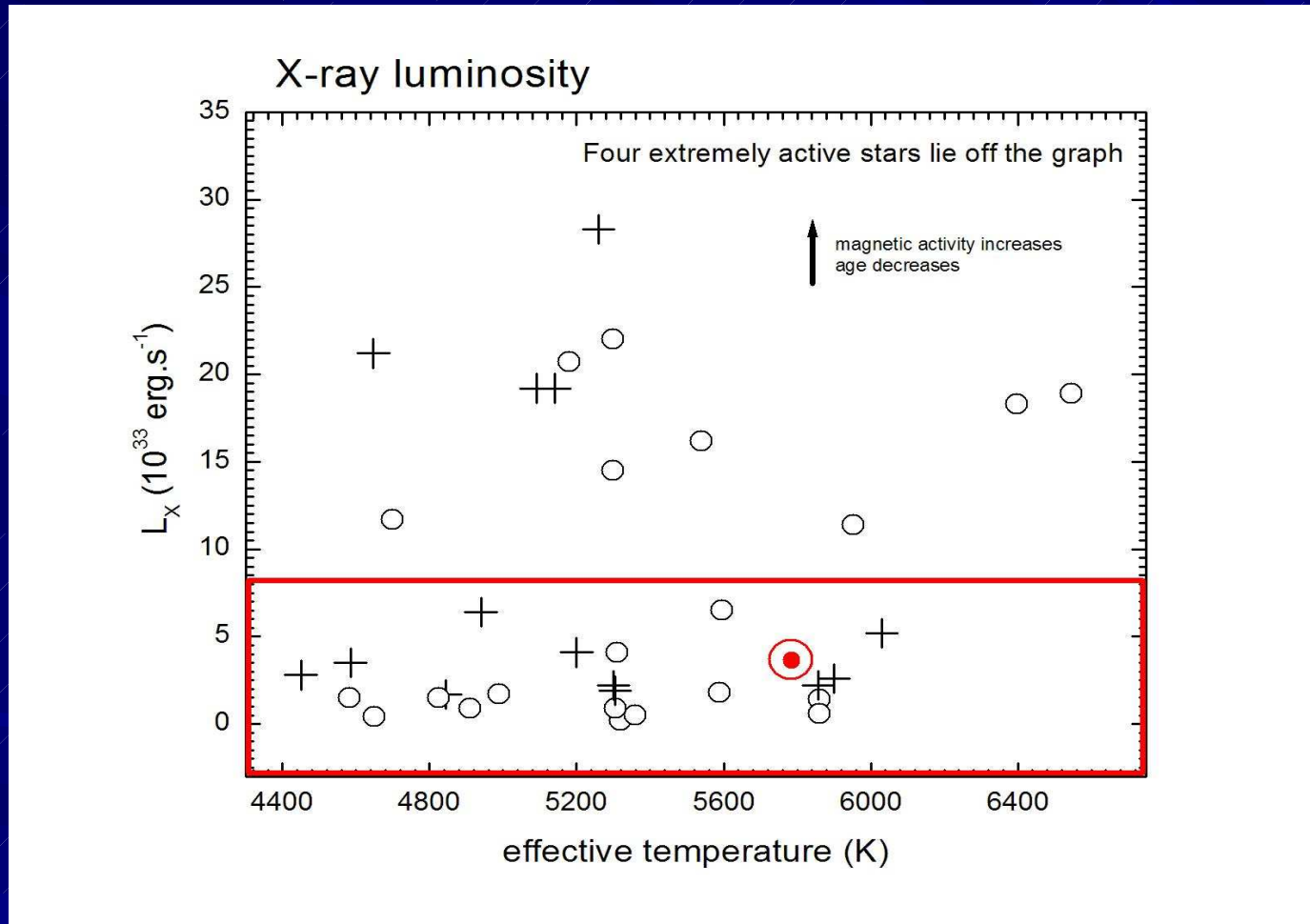
Forte queda  
exponencial  
em ~1 Gano

Período inicial  
de bombardeio  
~ 0.5 a 1.0 Gano  
(Hartmann 2004)

**Mesmo**  
**comportamento:**  
Ca II HK  
Raios-X  
Perda de massa

# Candidatas: idade e metalicidade

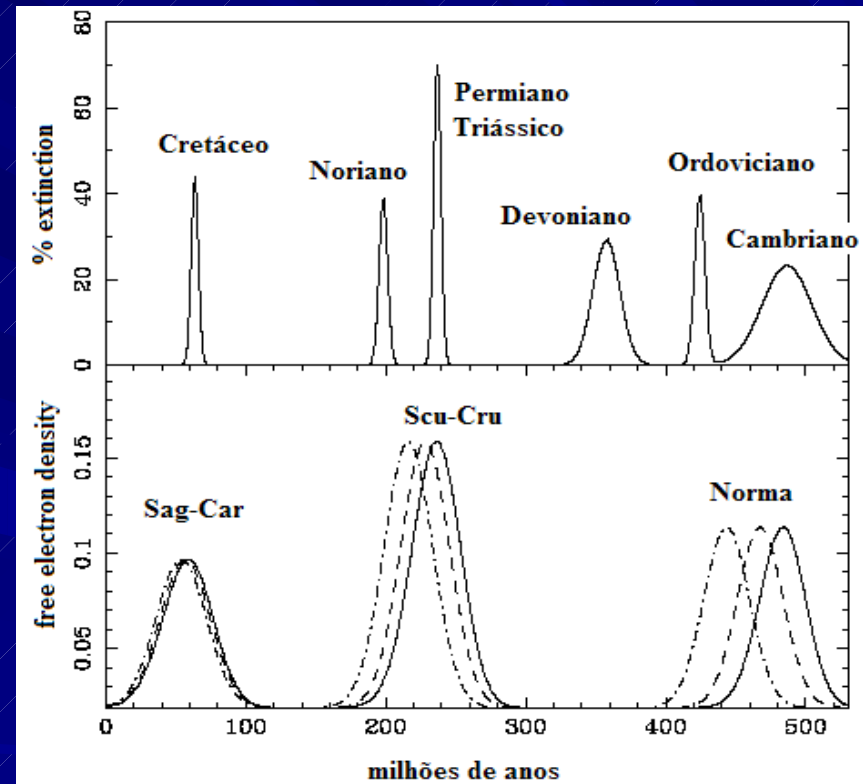
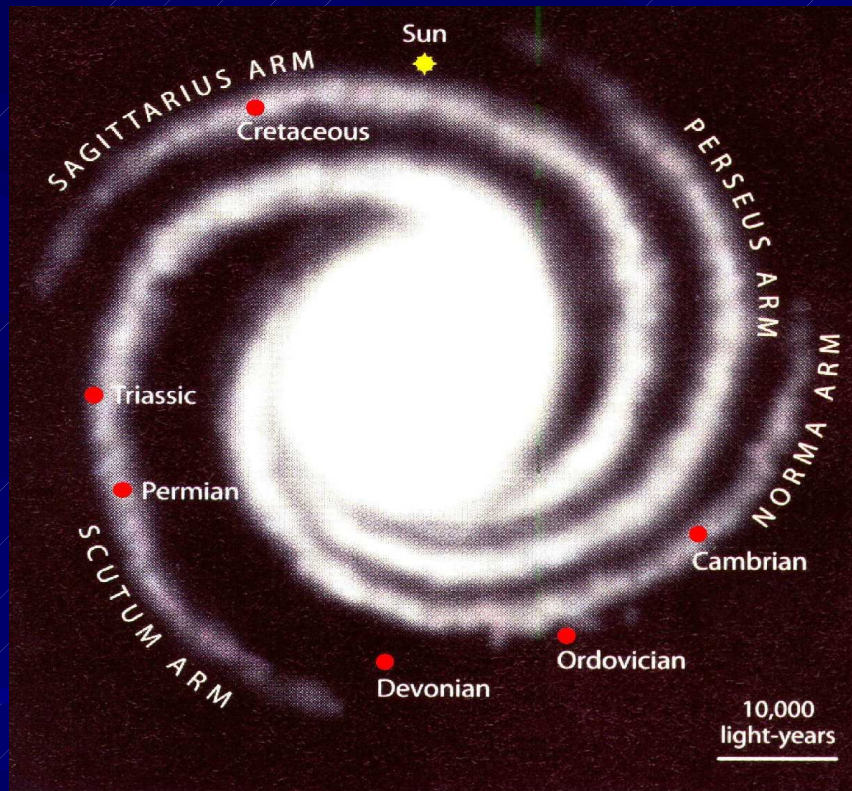
Eliminamos estrelas com indicadores cromosféricos sugerindo ~ 1 Gano de idade



# Órbitas Galácticas

Balázs 1988, Lépine et al 2001: co-rotação na posição do Sol

Leitch & Vasisht 1998: extinções



**Riscos:** Supernovas, explosões de raios-X, nuvens moleculares gigantes (Gehrels et al. 2003, Elis & Schramm 1993)



# Candidatas: órbitas galácticas

12 estrelas sobrevivem a todos os critérios: *nenhuma possui planeta*

