

Prof. Dr. Sergio Pilling

Aluno: Alexandre Bergantini de Souza

Evelyn Cristine. F. M. Martins

Víctor de Souza Bonfim

Aula 8 - Zona de Habitabilidade: Estelar, Planetária e Galáctica

1. Introdução

Nesta aula discutiremos o conceito de Zona de Habitabilidade, tanto em termos de estrelas, planetas quanto em termos de galáxias. A importância deste estudo reside no fato de que é mais provável que a vida, na forma como a conhecemos, se desenvolva em regiões que satisfaçam condições específicas em torno de estrelas (devido à temperatura, órbita, etc), planetas (em luas que sofrem forças de maré) e em torno de galáxias (de acordo com a metalicidade, o eixo de rotação, etc).

Zona de Habitabilidade é o termo científico para uma região de um sistema estelar, planetário ou galáctico que reúne as condições físico-químicas necessárias para o desenvolvimento da vida.

1.1. O que é vida?

A vida como a conhecemos apresenta certas características básicas que servem de base para o que devemos procurar ao estudarmos a possibilidade de sua existência fora do planeta Terra.

Tais características são:

- Organização em células;
- Metabolismo: transformações químicas à custa de energia;
- Crescimento: transformação de materiais do meio para componentes do corpo;
- Reprodução: cópias do organismo mediante transferência genética;
- Mutação: mudanças das características individuais;
- Evolução: Reprodução da mutação, capacidade de adaptação.

1.2. Equação de Drake

Foi proposta por Frank Drake em 1961 com o objetivo de estimar o número de civilizações extraterrestres na nossa Galáxia com as quais poderíamos estabelecer comunicação.

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L \quad [1]$$

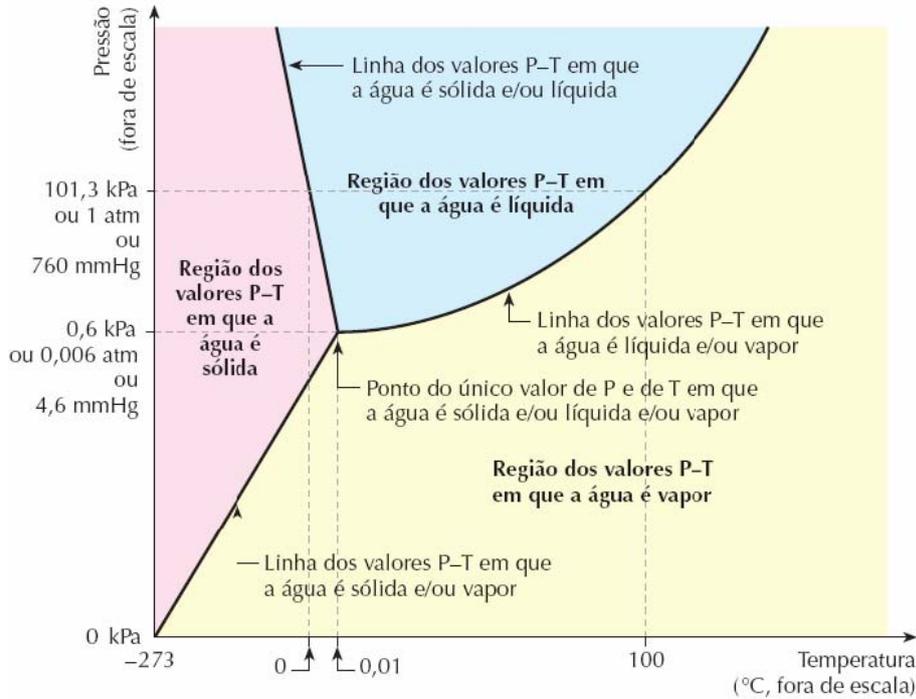
Onde:

- N - é o número de civilizações extraterrestres em nossa galáxia com as quais poderíamos ter chances de estabelecer comunicação.
- R^* é a taxa de formação de estrelas em nossa galáxia
- f_p é a fração de tais estrelas que possuem planetas em órbita
- n_e é o número médio de planetas que potencialmente permitem o desenvolvimento de vida por estrela que tem planetas
- f_l é a fração dos planetas com potencial para vida que realmente desenvolvem vida

- f_i é a fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente
- f_c é a fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente e que têm o desejo e os meios necessários para estabelecer comunicação
- L é o tempo esperado de vida de tal civilização

Apesar da tentativa, a equação de Drake sofre muitas críticas devido a inexatidão dos parâmetros utilizados.

1.3. O que é necessário ao desenvolvimento da vida?



Para que se estabeleça a possibilidade de desenvolvimento de vida fora da Terra, três condições iniciais devem ser satisfeitas:

- O objeto não pode ser muito quente ou muito frio, deve ter temperatura adequada pra conter água líquida.
- O objeto deve ter alguma fonte que forneça energia (luz estelar, calor interno ou energia química), para manter o metabolismo o dos seres vivos.
- O objeto deve ser estável a ponto de durar bilhões de anos, permitindo que a vida surja e se desenvolva.

Figura 1: Diagrama de fases da água à altas pressões. Fonte: http://www.moderna.com.br/mnlem2009me/auimica/canto/volumes/ndfs/a2_2.pdf

Resumindo, Zona de Habitabilidade (ZH) é a resposta para a pergunta: onde procurar vida no Universo? Na figura 2 temos um diagrama que mostra a zona habitável no Sistema solar e em outras estrelas de massa variando de 0,5 a 2 massas solares.

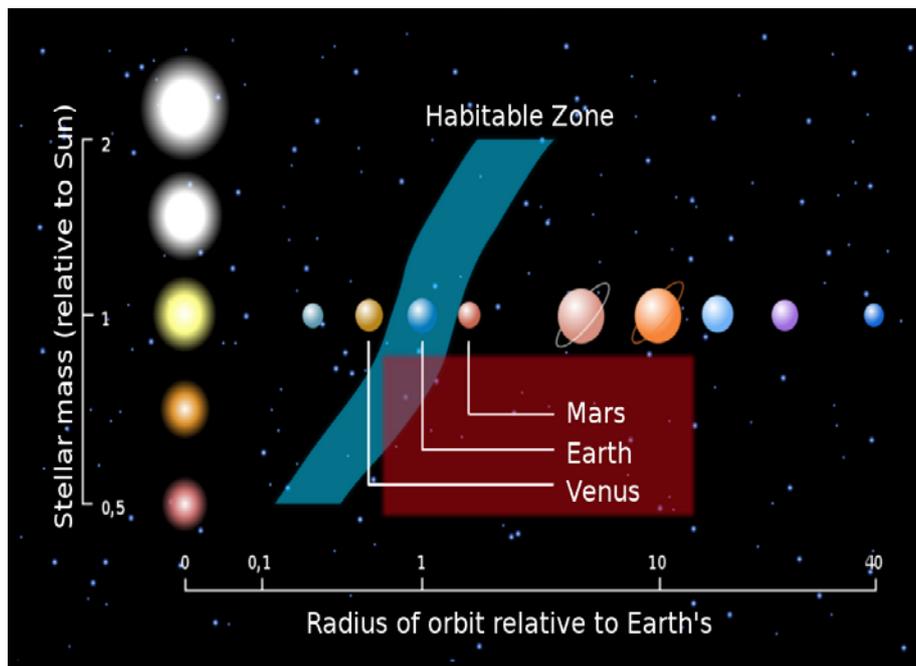


Figura 2: Zona de Habitabilidade do Sistema Solar Fonte: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/vida_ET/vet.htm

2. Exoplanetas Potencialmente habitáveis

Até hoje já foram descobertos, aproximadamente 640 exoplanetas em diferentes estrelas. O estudo desses planetas inclui a estimativa de sua massa, órbita, período orbital e outros critérios também relacionados à estrela. Conforme vimos anteriormente, é possível, através das características da estrelas, estabelecer sua zona de habitabilidade e inferir se esses planetas estão localizados nessas regiões.

A figura abaixo mostra os exoplanetas que pertencem às zonas de habitabilidade de suas estrelas e que possuem maior similaridade com a Terra. São os planetas com maior potencial de desenvolvimento de vida conhecidos até hoje.

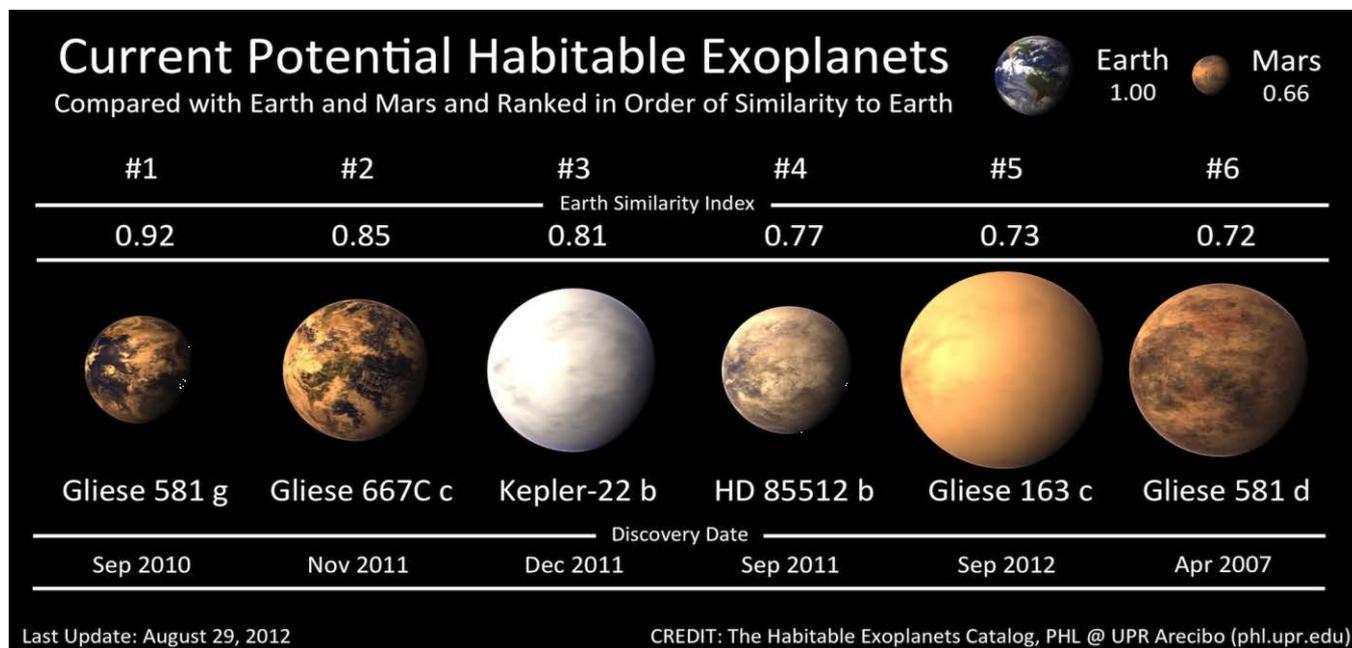


Figura 3: Exoplanetas que pertencem às zonas de habitabilidade de suas estrelas e que possuem maior similaridade com a Terra, comparados também com as dimensões de Marte. Fonte: <http://phl.upr.edu/press-releases/fivepotentialhabitableexoplanetsnow>

O planeta conhecido como Gliese 581 g, é o planeta já descoberto com maior similaridade com a Terra. Ele está localizado no sistema planetário da estrela Gliese 581, uma anã vermelha de tipo espectral M3V que está localizada na constelação de Libra a aproximadamente 20,3 anos-luz da Terra.

Além de Gliese 581 g, outros dois planetas do sistema estão na zona de habitabilidade da estrela e também estão sendo estudados, conforme mostra a Figura 4.

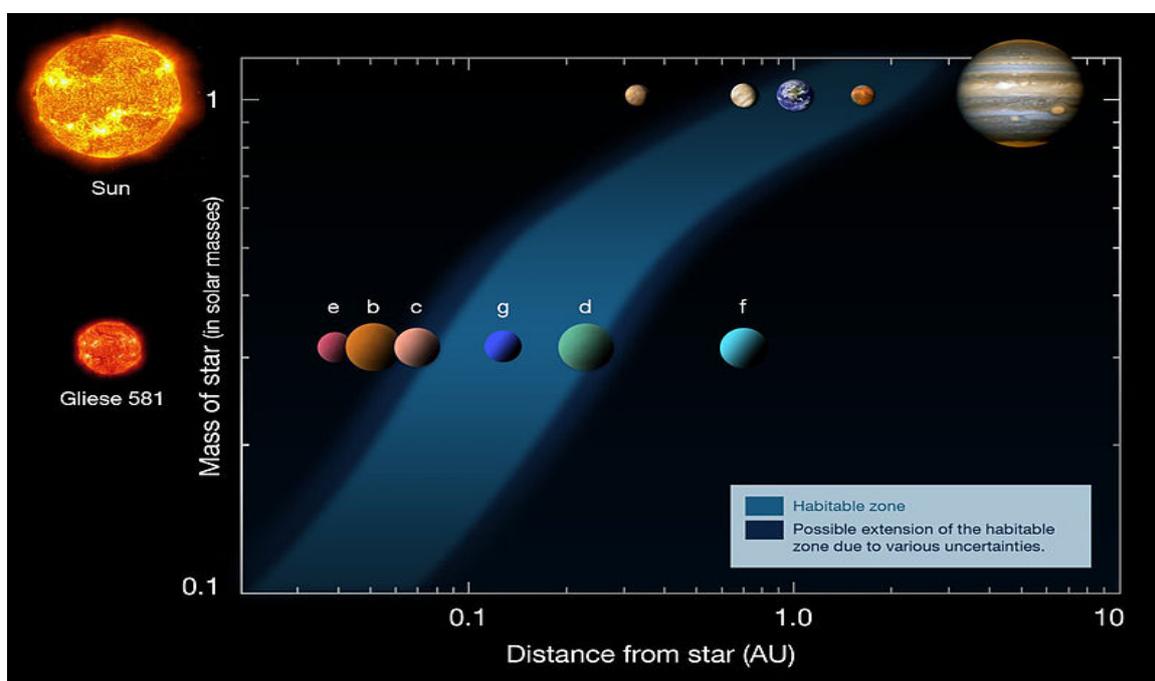


Figura 4: Representação do Sistema Gliese 581 e sua zona de habitabilidade, comparada à zona de habitabilidade do Sistema Solar. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Gliese_581_d

3. Zona de Habitabilidade no Sistema Solar

3.1 – Zona de Habitabilidade dos Planetas

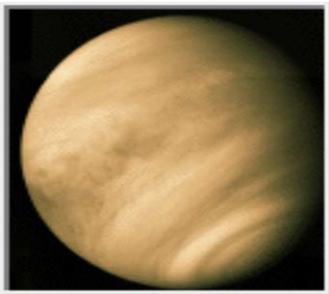
No Sistema Solar a Zona Habitável para os planetas se estende por uma faixa que começa quase na órbita de Vênus, e termina quase na órbita de Marte, sendo que a órbita da Terra está numa posição praticamente central dentro desta zona. Com exceção da Terra, os outros planetas do Sistema Solar não apresentam condições para o desenvolvimento da vida, principalmente por não apresentarem temperatura em que a água se apresente no estado líquido. A seguir estudamos o clima dos planetas telúricos do Sistema Solar:

* Mercúrio



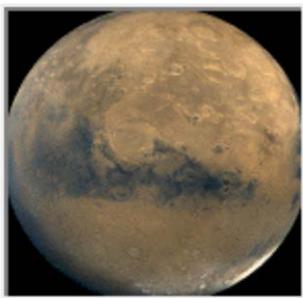
- Muito quente devido à proximidade com o Sol.
- Baixo campo Magnético
- Falta de atmosfera

* Vênus



- Água em forma de Vapor devido ao intenso efeito estufa
- Muito calor + vapor d'água -> efeito estufa → temperatura aumenta -> CO₂ das rochas vai para a atmosfera -> efeito estufa se intensifica -> temperatura aumenta -> mais CO₂ na atmosfera...

* Marte



- Pode ter tido água líquida sobre sua superfície em passado recente, mas foi resfriado devido ao efeito estufa inverso.
- Efeito estufa inverso: vapor de água + pouco calor -> vapor de água se liquidifica -> CO₂ da atmosfera se combina com água e se concentra nas rochas -> temperatura baixa -> mais CO₂ sai da atmosfera -> menos efeito estufa -> temperatura baixa.

* Terra



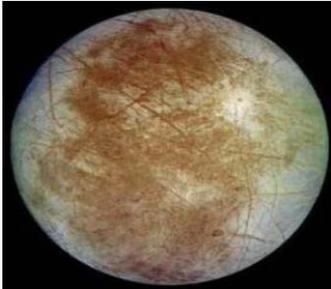
- Localizada na zona de Habitabilidade, possui condições e temperatura adequada para água líquida em grande parte de sua superfície.
- Calor moderado + vapor d'água -> água se liquidifica -> CO₂ da atmosfera se combina com água e se concentra nas rochas -> temperatura baixa -> menos efeito estufa -> menos chuva -> aumenta concentração de CO₂ na atmosfera → temperatura sobe -> água se liquidifica -> ...

3.2 Zona de Habitabilidade Planetária

Além dos planetas, as Luas também podem satisfazer as condições necessárias para o desenvolvimento da vida.

Planetas gigantes mesmo que estejam fora da Zona de Habitabilidade estelar podem conter luas com condições de formação de água em estado líquido como consequência de outras fontes de calor, tal como as luas aquecidas por forças de maré provocadas pela atração gravitacional gerada pelo planeta gigante.

- **Europa (Satélite de Júpiter)**



- Superfície coberta de gelo (60 km de espessura) evidências de água líquida abaixo da superfície;
- Fonte de aquecimento: forças de maré produzidas por Júpiter;
- Possibilidade de vida nas profundidades do planeta, a exemplo dos hipertermófilos que vivem nos abismos oceânicos da Terra (ambientes extremos).

- **Titã (Satélite de Saturno)**



- Atmosfera espessa de moléculas de nitrogênio e CH₄
- Evidências de lagos de metano/etano ou água/amônia;
- Não houve detecção de água.

- **Io (Satélite de Júpiter)**



- Condições de vida do tipo extremófilo nos vulcões ativos, contudo não há presença de água.

- **Encélado (Satélite de Saturno)**



- Gêiser de partículas de gelo e vapor d'água
- Pequena, fria e escura lua de Saturno

Diagrama de uma zona de habitabilidade Planetária

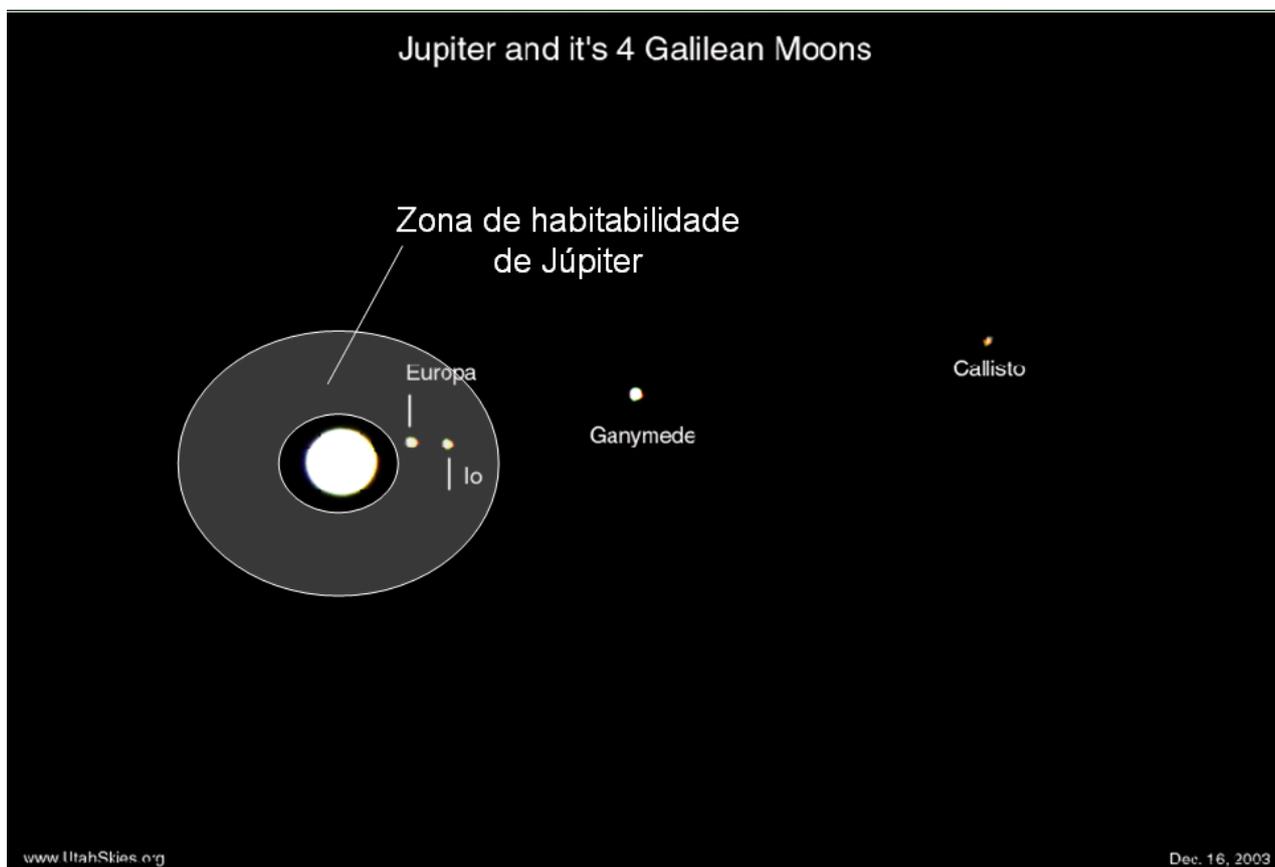


Figura 5: Diagrama de uma zona de habitabilidade Planetária para o caso de Júpiter (sobreposto a uma fotografia)

4. Parâmetros Estelares para caracterização da zona de habitabilidade

Para facilitar a determinação da existência de zonas de habitabilidade de uma estrela (ZHE) devemos observar alguns aspectos, como:

- **Idade**

Com relação à idade da estrela, alguns critérios são mais propícios para o surgimento/ manutenção da vida.

- A estrela deve estar na Sequência Principal, pois estrelas pós Sequência Principal têm pouco tempo de vida.
- A estrela não pode ser muito jovem, pois ainda não terá havido tempo para a vida se desenvolver, além do fato de que sistemas jovens estão sujeitos ao constante bombardeio de resíduos do processo de formação do sistema planetário, o que frustra o desenvolvimento de qualquer vida insipiente.
- Sistemas jovens têm atividade cromosférica violenta.

- **Massa Estelar**

A estrela não pode ser nem muito massiva nem muito pouco massiva. Segundo RIFFEL [1], o ideal é que a estrela tenha de 0,3 a 1,5 vezes a massa do Sol. Isto ocorre porque estrelas muito massivas existem por pouco tempo, e emitem muita radiação ultravioleta.

Estrelas pouco massivas (menos de $0,3 M_{\text{Sol}}$) existem por muito tempo, mas têm suas zonas de habitabilidade muito estreitas. Além disso, nessas estrelas a órbita dos planetas ocorre muito perto da estrela, e forças de maré levam a rotação sincronizada do planeta. Ainda, estrelas pouco massivas têm intensa atividade cromosférica com grandes elevações de temperatura e emissão de partículas energéticas nocivas à vida.

Um esquema da duração e extensão da ZHE estelar de acordo com a massa da estrela pode ser visto na figura 3 a seguir:

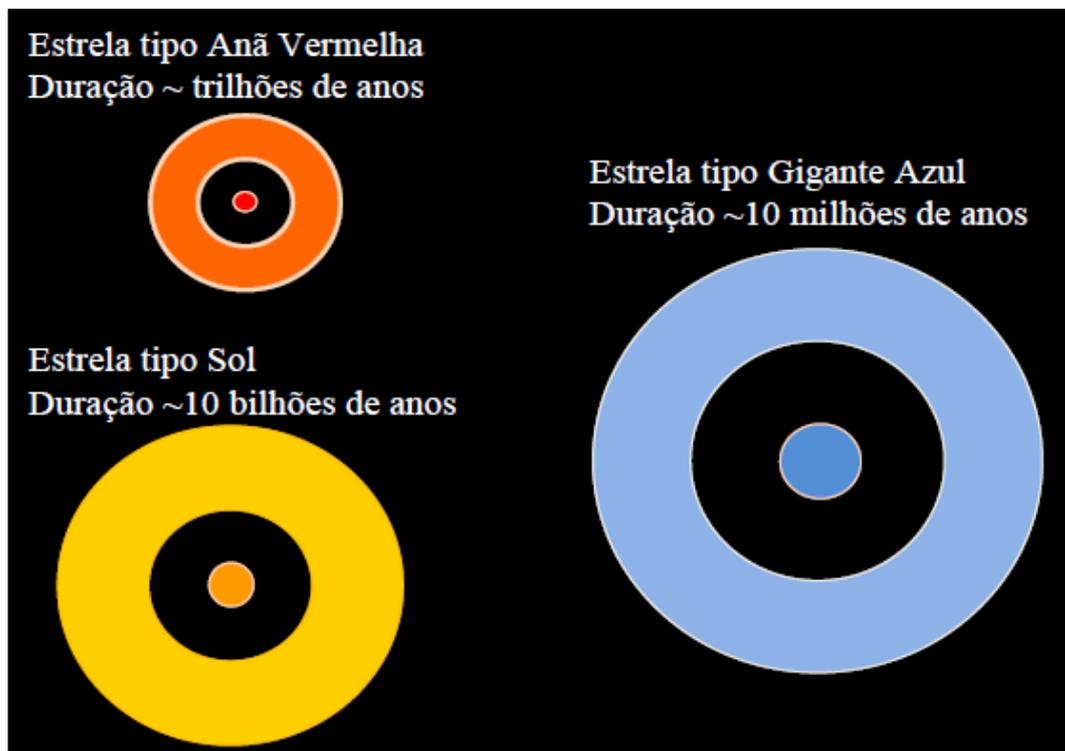


Figura 6: Duração e extensão da ZHE de acordo com a massa da estrela.

• Dinâmica Orbital:

A estrela deve permitir que seus planetas tenham órbitas estáveis, neste sentido, estrelas solitárias são as mais “adequadas”, pois é mais fácil de se parametrizar a ZHE.

Com relação a estrelas duplas, torna-se possível a existência de uma ZHE basicamente em dois casos:

- 1) As estrelas duplas estão muito próximas uma da outra, de forma que a zona de habitabilidade seja comum;
- 2) As estrelas duplas estão muito distantes uma da outra, de forma que cada uma tenha sua própria zona de habitabilidade não afetada pela outra.

Segundo DAMINELLI [3], sistemas com mais de uma companheira são mais improváveis.

No endereço eletrônico http://phet.colorado.edu/sims/my-solar-system/my-solar-system_en.html é possível criar simulações de sistemas planetários com até quatro estrelas para entender o efeito da massa das mesmas na órbita de planetas e satélites.

• Abundância Química

A abundância química está relacionada à metalicidade. Que é a proporção da matéria constituída de elementos químicos diferentes de hidrogênio e Hélio.

A metalicidade é um indicador da idade do objeto, sendo que as estrelas mais antigas têm metalicidades menores do que as estrelas mais jovens, como o nosso Sol.

As populações de estrelas são categorizadas como I, II e III, e cada grupo tem conteúdo de metal decrescente e idade crescente.

Assim, as primeiras estrelas no universo (baixo teor metálico) são da população III, foram estrelas de alta massa que através da nucleossíntese produziram os primeiros 26 elementos até o ferro e explodiram em supernovas distribuindo esses elementos pelo universo.

Novas gerações de estrelas, conhecida como população II, com baixa metalicidade nasceu com base nesses materiais. Após completarem seus ciclos, elas retornavam o material ao meio interestelar e por meio de

nebulosas planetárias e supernovas, assim, novas gerações de estrelas com alta metalicidade chamada população I são formadas.

Na Via Láctea, a metalicidade é maior no centro galáctico e decresce à medida que se caminha para fora

Outro aspecto importante relacionado à metalicidade além da idade estelar, está no fato de que quanto maior a metalicidade de uma estrela, maior a probabilidade de formação de sistemas planetários com planetas terrosos ou telúricos, planetas esses, com maiores chances de habitarem as zonas de habitabilidade.

○ Cálculo

A metalicidade do Sol é de aproximadamente 1,8% em massa. Para outras estrelas, a metalicidade é frequentemente

expressada como "[Fe/H]", que representa o logaritmo da razão entre a abundância de ferro da estrela e a do Sol (o

ferro não é o elemento pesado mais abundante, mas é um dos mais fáceis de medir com dados espectrais no espectro

visível). A fórmula para o logaritmo é a seguinte:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \left(\frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\text{estrela}} - \log_{10} \left(\frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\text{Sol}} \quad [2]$$

onde são o número de átomos de ferro e hidrogênio por unidade de volume, respectivamente.

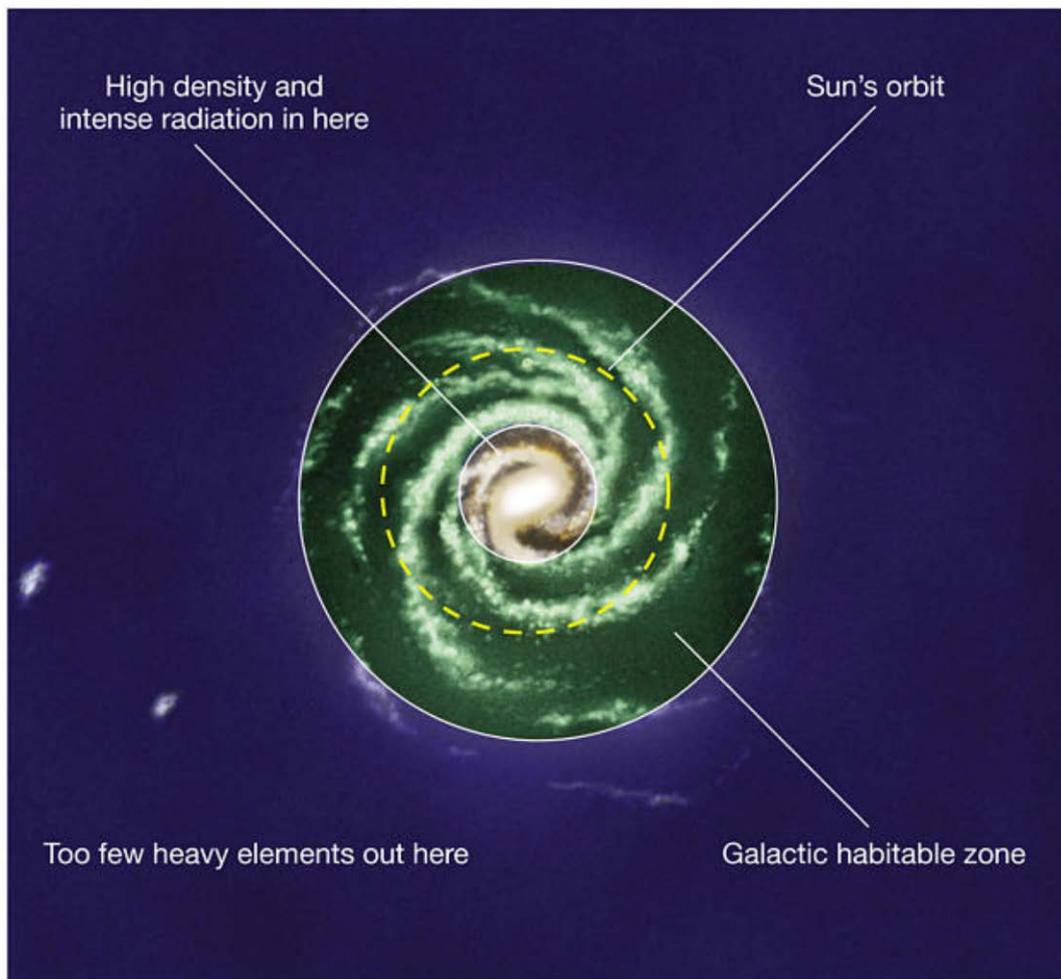
5. Zona de Habitabilidade Galáctica

Para abrigar a vida, um sistema planetário deve se situar numa região específica em torno do centro da galáxia, a fim de evitar fatores que seriam nocivos ao desenvolvimento da vida como a conhecemos, numa analogia à ZH estelar. Os principais fatores a serem analisados são:

- O sistema planetário deve estar suficientemente próximo do centro da galáxia a fim de garantir que estejam presentes em sua constituição uma quantidade suficiente de elementos pesados, ou seja, a ZH galáctica depende da metalicidade da galáxia em questão;
- É importante que o sistema planetário esteja no eixo de co-rotação da galáxia, de forma que a sua órbita em relação ao centro da galáxia seja estável, o que, numa galáxia espiral, garante que este sistema não cruze os braços espirais frequentemente;
- O sistema deverá estar situado suficientemente longe do centro galáctico para evitar problemas tais como a instabilidade orbital devido à maior concentração de corpos celestes no centro galáctico e o excesso de radiação eletromagnética e de emissão de partículas devido a altas taxas de formação de estrelas (starburst galaxies).

Segundo RIFFEL^[1], apenas 10% das estrelas da Via Láctea vivem na zona habitável galáctica, o que se traduz, para galáxias similares à nossa, em algo entre 7 kpc e 9 kpc do centro da galáxia, sendo que o Sol orbita a 8kpc do centro.

Na figura 4 temos uma representação gráfica da ZH para a nossa Galáxia:



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Figura 7: Zona Habitável da Via-Láctea. Fonte: <http://bit.ly/cYiPD6>

Sendo assim, a ZH estelar está vinculada à ZH galáctica. Contudo, gigantes gasosos (planetas de alta massa), podem criar zonas habitáveis em torno de si, dado condições para que um eventual satélite natural possa conter água líquida. Ainda, conforme mencionado anteriormente, a ZH dos planetas gigantes gasosos em relação aos seus satélites pode ou não estar condicionada a ZHE, como podemos ver na figura 8:

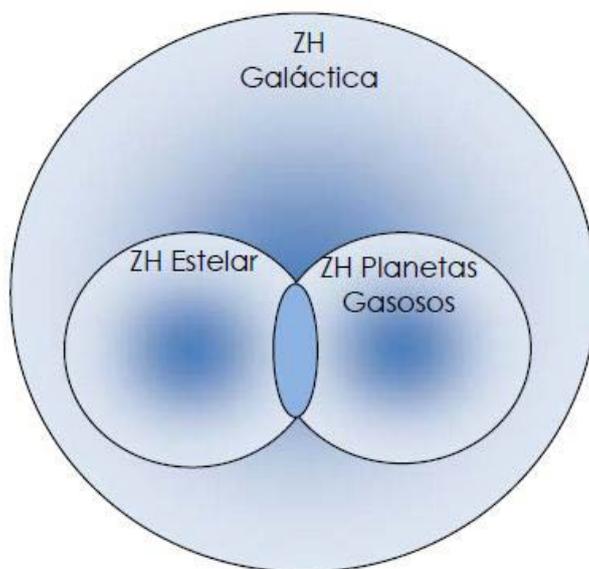


Figura 8: Ilustração esquemática (em diagrama de conjuntos) de Zona de Habitabilidade Galáctica, Estelar e Planetária, para a vida como conhecemos.

6. Zona de Habitabilidade Extrema

O termo extremófilo designa organismos que proliferam em ambientes extremos, inóspitos, e letais à maior parte dos seres vivos. No planeta Terra, temos extremófilos em ambientes como as regiões polares, fontes hidrotermais, nascentes ácidas ou alcalinas, lagos com níveis de salinidade muito elevados, regiões abissais frias ou zonas abrangidas por radiações com níveis elevados. Cogita-se que tais seres também possam viver, de maneira análoga à da Terra, em regiões consideradas inóspitas do Universo. Tal conceito estende a ZH a um patamar mais amplo, abarcando regiões consideradas não tão promissoras num primeiro momento. Tal raciocínio é abordado na figura 6 a seguir.

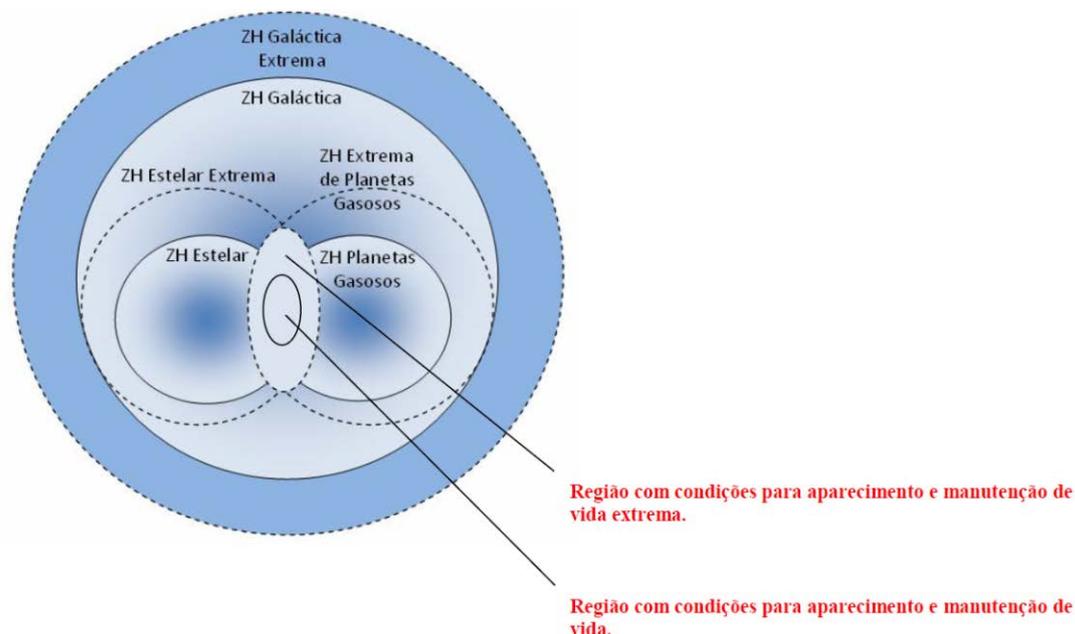


Figura 9: Ilustração esquemática de Zona de Habitabilidade Extrema.

7. Conclusão

Podemos perceber com esta aula que a Zona de Habitabilidade nos traz diretamente informações necessárias na busca de ambientes outros que a Terra para o desenvolvimento de vida como aqui, ou mesmo visando pontos favoráveis para uma possível migração planetária ou comunicação alienígena.

8. Referências

- Rogemar A. Riffel's Home Page, disponível em <<http://w3.ufsm.br/rogemar>>
- ESO - eso0722b - The Earth-like Planet Gliese 581 c, disponível em <<http://www.eso.org/public/images/eso0722b>>
- Augusto Daminieli, disponível em <www.astro.iag.usp.br/~daminieli>
- Stars and Habitable Planets, disponível em <<http://www.solstation.com/habitable.htm>>
- ESO, disponível em <<http://www.eso.org>>
- Gliese 581 - Wikipedia, disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Gliese_581>
- ESO - eso0722 - Astronomers Find First Earth-like Planet in Habitable Zone, disponível em <<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2007/phot-22-07.html>>
- Scientific American – Disponível em <<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=gliese-581g-tops-list-of-5-potentially-habitable-exoplanets>>
- Exoplanetas - Wikipédia, disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Exoplaneta>>
- Metalicidade - Wikipédia, disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Metalicidade>>
- Exoplanets Disponível em <<http://exoplanets.org/>>
- Five Potential Habitable Exoplanets Now – Disponível em <<http://phl.upr.edu/press-releases/fivepotentialhabitableexoplanetsnow>>