

# Astrobiologia: A vida no contexto cósmico

Ciência no Parque

Parque Vicentina Aranha - 14/03/2019

Carlos Alexandre Wuensche

INPE - Divisão de Astrofísica





# Um Universo Biofílico

Um Universo favorável à vida – que podemos chamar de **biofílico** – tem que ser especial em diversos aspectos. Os pré-requisitos para qualquer forma de vida (estrelas com vida longa, uma tabela periódica, desvio do equilíbrio termodinâmico, química complexa, etc.) são extremamente sensíveis às leis físicas e não poderiam ter aparecido, a partir de um “Big Bang”, cuja receita fosse minimamente diferente da que conhecemos.

**Sir Martin Rees**

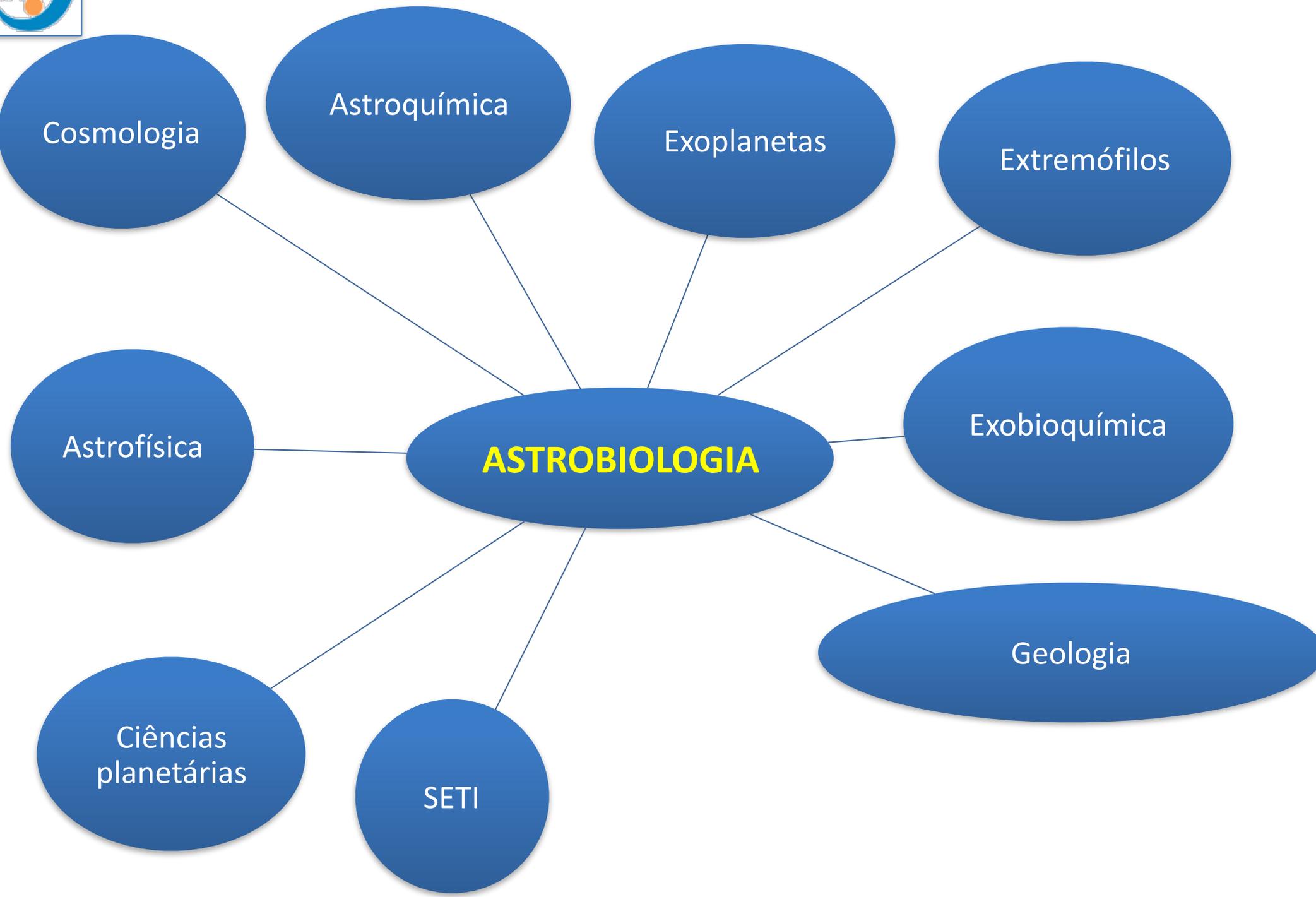


# O que é Astrobiologia?

- A consideração da vida no universo em outras partes além da Terra (Laurence Lafleur 1941)
- The study of the living universe (NASA Astrobiology Institute [NAI] 1995)
- O estudo multidisciplinar da origem, evolução, distribuição e destino da vida no Universo
- Atualmente, **a astrobiologia incluiu o estudo da vida na Terra**



**Multi e transdisciplinar por natureza!**







# Questões fundamentais

- ☑ Como a vida se originou e evoluiu? Ela é um “imperativo cósmico” ou simplesmente um evento ao acaso?
- ☑ Existe vida em outras partes do Universo? Ou ela é formada e se desenvolve a partir de processos físico-químicos locais?
- ☑ Qual será o futuro da vida na Terra e além da Terra? Existem condições realistas, no Sistema Solar e fora dele, para a origem e evolução da vida da forma como a conhecemos?



# O que é vida?

- ☑ Não existe ainda uma definição formal...
- ☑ Alguns pontos chave (definição operacional)
  - ✓ A matéria viva **evita** o equilíbrio termodinâmico
  - ✓ A matéria viva **depende** de entropia negativa (ou energia livre)
  - ✓ A matéria viva **mantém seu estado organizado**, aumentando a entropia da vizinhança
  - ✓ A matéria viva **possui memória e capacidade de replicação**



# O que é vida?

- ☑ Não existe ainda uma definição formal...
- ☑ Alguns pontos chave (definição operacional)
  - ✓ A matéria viva **evita** o equilíbrio termodinâmico
  - ✓ A matéria viva **depende** de entropia negativa (ou energia livre)
  - ✓ A matéria viva **mantém seu estado organizado**, aumentando a entropia da vizinhança
  - ✓ A matéria viva **possui memória e capacidade de replicação**

**Sistema de Sistemas que transforma desordem em ordem!**



# O que é vida?

- ☑ Não existe ainda uma definição formal...
- ☑ Alguns pontos chave (definição operacional)
  - ✓ A matéria viva **evita** o equilíbrio termodinâmico
  - ✓ A matéria viva **depende** de entropia negativa (ou energia livre)
  - ✓ A matéria viva **mantém seu estado organizado**, aumentando a entropia da vizinhança
  - ✓ A matéria viva **possui memória e capacidade de replicação**

Sistema de Sistemas que transforma desordem em ordem!

Primeira proposta de formalismo físico-químico: Erwin Schroedinger (1944), no livro "O que é vida: o aspecto físico da célula viva"



# Como definir vida? Sistemas de GRANDE complexidade!!!

- ❑ **Definição operacional: Vida é um sistema químico auto-sustentado capaz, no sentido Darwiniano, de evoluir (Joyce 1994).**
- ❑ Necessidade de elementos químicos, energia, compartimentalização, informação e metabolismo
- ❑ **Sistema mais simples:** parede + membrana + química diferente do ambiente em torno do sistema



# Como definir vida? Sistemas de GRANDE complexidade!!!



Definição: Vida é um sistema químico complexo, no sentido Darwiniano, de grande complexidade (Wuensche, 2019).

Elementos químicos, energia,

informação e metabolismo

limitado por uma parede + membrana + química

organizada em torno do sistema



# Como definir vida? Sistemas de GRANDE complexidade!!!



e em torno do sistema



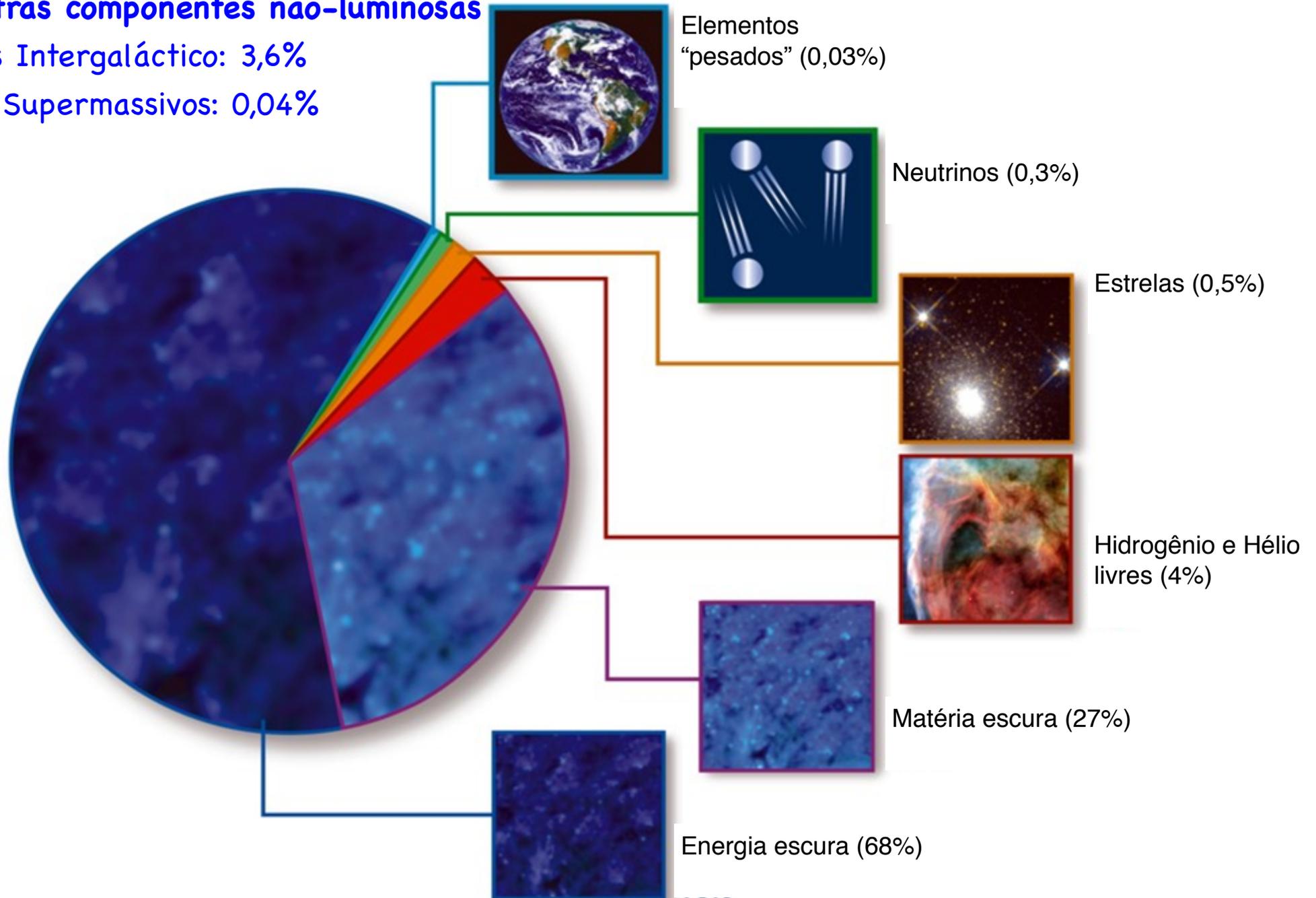
# COSMOLOGIA E ASTROFÍSICA

# COMPOSIÇÃO DO UNIVERSO

## Outras componentes não-luminosas

Gás Intergaláctico: 3,6%

BN Supermassivos: 0,04%

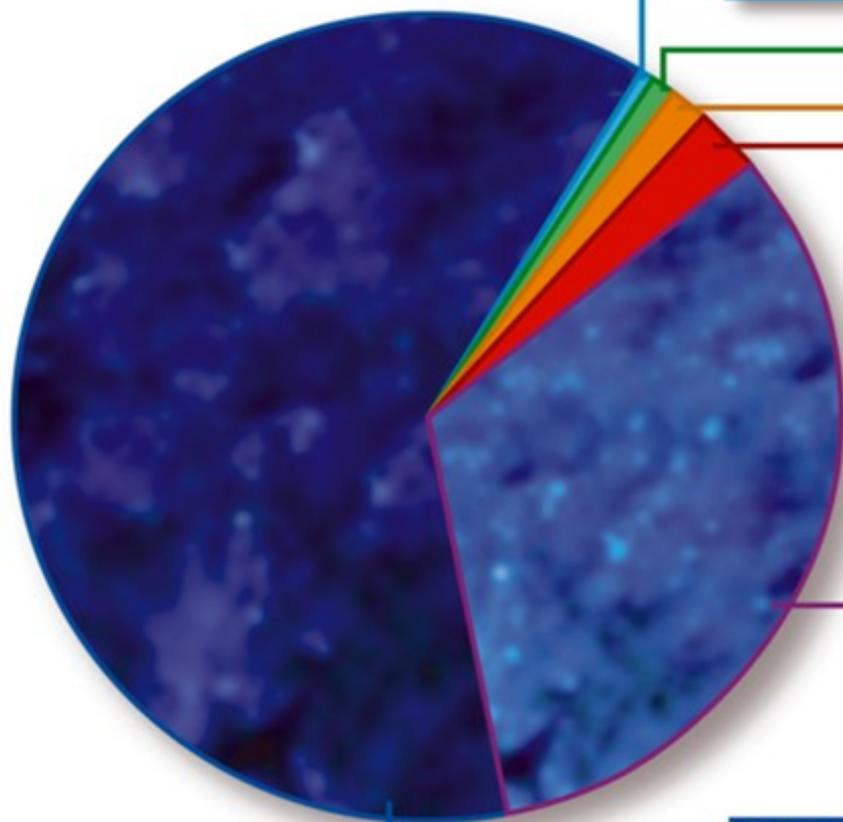


# COMPOSIÇÃO DO UNIVERSO

## Outras componentes não-luminosas

Gás Intergaláctico: 3,6%

BN Supermassivos: 0,04%



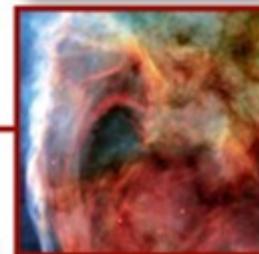
Elementos  
"pesados" (0,03%)



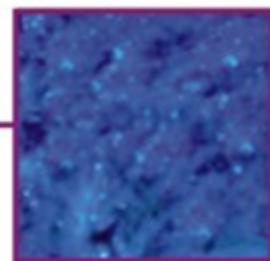
Neutrinos (0,3%)



Estrelas (0,5%)



Hidrogênio e Hélio  
livres (4%)



Matéria escura (27%)



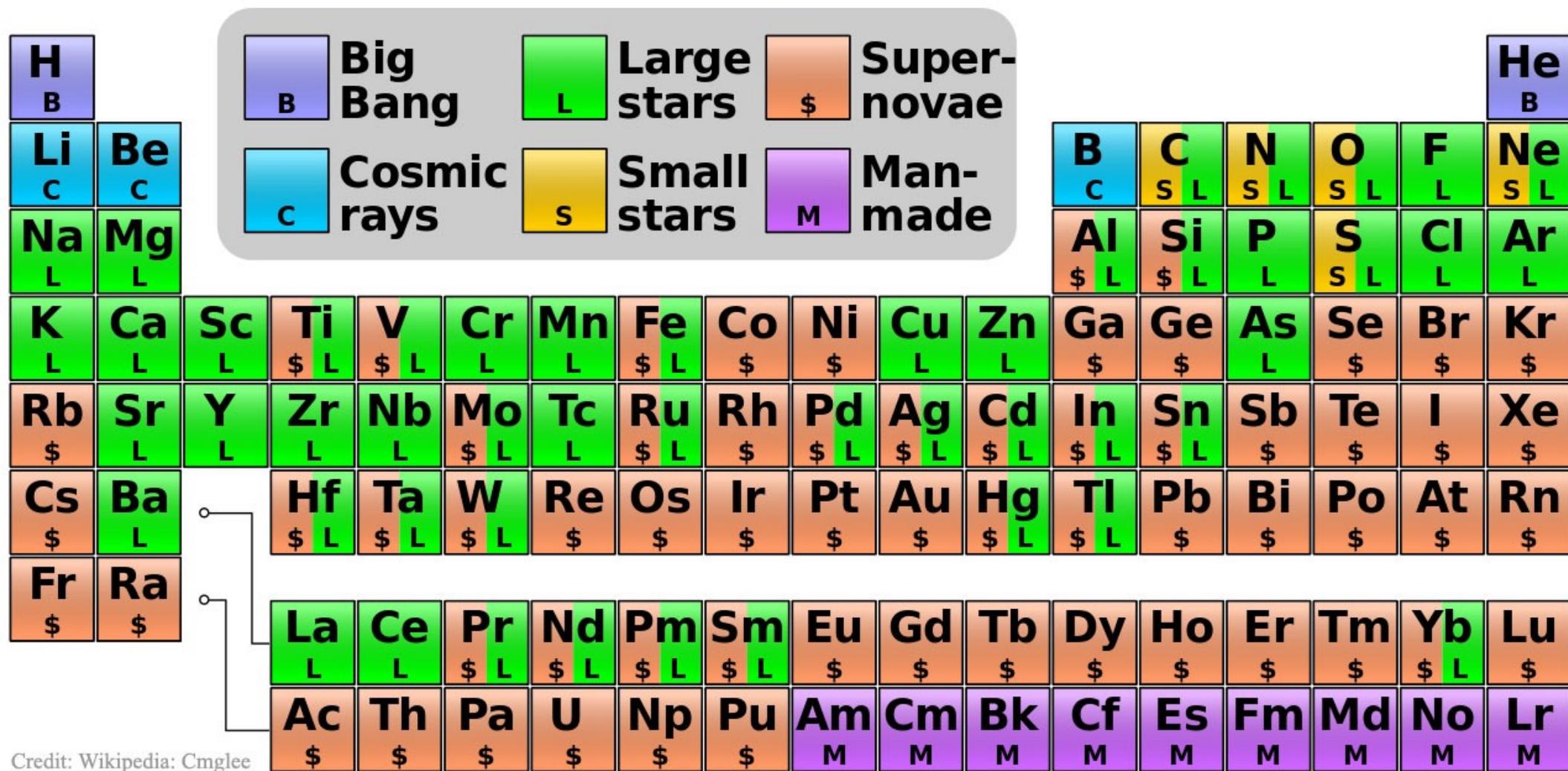
Energia escura (68%)

Constituintes da  
vida vêm destes  
componentes





# A origem da Tabela Periódica



Credit: Wikipedia: Cmglee



# A TABELA PERIÓDICA DOS ASTRÔNOMOS

H

(Ben McCall)

He

□ □ □ □  
C N O Ne

□  
Mg

· · ·  
Si S Ar

□  
Fe

Courtesy Ben Mc Call



# A química do meio interestelar

Table 1: As 151 moléculas detectadas no espaço, em ordem crescente de massa

Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa
H <sub>2</sub>	2	NO	30	HCCO <sup>+</sup>	45	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	59
H <sub>3</sub> <sup>+</sup>	3	CF <sup>+</sup>	31	NH <sub>2</sub> CHO	45	HNCS	59
CH	13	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31	PN	45	C <sub>5</sub>	60
CH <sup>+</sup>	13	H <sub>3</sub> CO <sup>+</sup>	31	AlF	46	CH <sub>2</sub> OHCHO	60
CH <sub>2</sub>	14	HNO	31	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	CH <sub>3</sub> COOH	60
CH <sub>3</sub>	15	CH <sub>3</sub> OH	32	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	46	HCOOCH <sub>3</sub>	60
NH	15	SiH <sub>4</sub>	32	H <sub>2</sub> CS	46	OCS	60
CH <sub>4</sub>	16	HS	33	HCOOH	46	SiS	60
NH <sub>2</sub>	16	HS <sup>+</sup>	33	NS	46	C <sub>5</sub> H	61
NH <sub>3</sub>	17	H <sub>2</sub> S	34	CH <sub>3</sub> SH	48	AlCl	62
OH	17	H <sub>2</sub> S <sup>+</sup>	34	SO	48	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	62
OH <sup>+</sup>	17	C <sub>3</sub>	36	SO <sup>+</sup>	48	HC <sub>4</sub> N	63
H <sub>2</sub> O	18	HCl	36	C <sub>4</sub> H	49	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	64
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	18	c-C <sub>3</sub> H	37	C <sub>4</sub> H <sup>-</sup>	49	S <sub>2</sub>	64
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18	l-C <sub>3</sub> H	37	NaCN	49	SiC <sub>3</sub>	64
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	19	c-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	38	C <sub>3</sub> N	50	SO <sub>2</sub>	64
HF	20	H <sub>2</sub> CCC	38	H <sub>2</sub> CCCC	50	CH <sub>2</sub> CCHCN	65
C <sub>2</sub>	24	HCCN	39	HCCOCH	50	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	65
C <sub>2</sub> H	25	C <sub>2</sub> O	40	MgCN	50	C <sub>3</sub> S	68
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26	CH <sub>2</sub> CN	40	MgNC	50	FeO	72
CN	26	CH <sub>3</sub> CCH	40	HC <sub>3</sub> N	51	C <sub>6</sub> H	73
CN <sup>+</sup>	26	SiC	40	HCCNC	51	C <sub>6</sub> H <sup>-</sup>	73
HCN	27	CH <sub>3</sub> CN	41	HNCCC	51	C <sub>5</sub> N	74
HNC	27	CH <sub>3</sub> NC	41	c-SiC <sub>2</sub>	52	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	74
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	H <sub>2</sub> CCO	42	C <sub>3</sub> O	52	HCCCCCCH	74
CO	28	NH <sub>2</sub> CN	42	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> N <sup>+</sup>	52	HC <sub>3</sub> N	75
CO <sup>+</sup>	28	SiN	42	AlNC	53	KCl	75
H <sub>2</sub> CN	28	CP	43	CH <sub>2</sub> CHCN	53	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	75
HCNH <sup>+</sup>	28	HNCO	43	c-H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> O	54	SiC <sub>2</sub>	76
N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	28	HNCO <sup>-</sup>	43	HC <sub>2</sub> CHO	54	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78
CH <sub>2</sub> NH	29	c-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44	SiCN	54	C <sub>7</sub> H	85
HCO	29	CH <sub>3</sub> CHO	44	SiNC	54	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H	88
HCO <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub>	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	55	C <sub>2</sub> H	97
HN <sub>2</sub> <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	44	C <sub>2</sub> S	56	C <sub>8</sub> H <sup>-</sup>	97
HOC <sup>+</sup>	29	CS	44	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	56	HC <sub>7</sub> N	99
SiH	29	N <sub>2</sub> O	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	58	HC <sub>9</sub> N	123
CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	SiO	44	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	58	HC <sub>11</sub> N	147
H <sub>2</sub> CO	30	HCS <sup>+</sup>	45	NaCl	58		

Formamida

Ácido acético

Etanol

Glicina

Benzeno



# A química do meio interestelar

Table 1: As 151 moléculas detectadas no espaço, em ordem crescente de massa

Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa
H <sub>2</sub>	2	NO	30	HCCO <sup>+</sup>	45	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	59
H <sub>3</sub> <sup>+</sup>	3	CF <sup>+</sup>	31	NH <sub>2</sub> CHO	45	HNCS	59
CH	13	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31	PN	45	C <sub>5</sub>	60
CH <sup>+</sup>	13	H <sub>3</sub> CO <sup>+</sup>	31	AlF	46	CH <sub>2</sub> OHCHO	60
CH <sub>2</sub>	14	HNO	31	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	CH <sub>3</sub> COOH	60
CH <sub>3</sub>	15	CH <sub>3</sub> OH	32	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	46	HCOOCH <sub>3</sub>	60
NH	15	SiH <sub>4</sub>	32	H <sub>2</sub> CS	46	OCS	60
CH <sub>4</sub>	16	HS	33	HCOOH	46	SiS	60
NH <sub>2</sub>	16	HS <sup>+</sup>	33	NS	46	C <sub>5</sub> H	61
NH <sub>3</sub>	17	H <sub>2</sub> S	34	CH <sub>3</sub> SH	48	AlCl	62
OH	17	H <sub>2</sub> S <sup>+</sup>	34	SO	48	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	62
OH <sup>+</sup>	17	C <sub>3</sub>	36	SO <sup>+</sup>	48	HC <sub>4</sub> N	63
H <sub>2</sub> O	18	HCl	36	C <sub>4</sub> H	49	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	64
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	18	c-C <sub>3</sub> H	37	C <sub>4</sub> H <sup>-</sup>	49	S <sub>2</sub>	64
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18	l-C <sub>3</sub> H	37	NaCN	49	SiC <sub>3</sub>	64
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	19	c-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	38	C <sub>3</sub> N	50	SO <sub>2</sub>	64
HF	20	H <sub>2</sub> CCC	38	H <sub>2</sub> CCCC	50	CH <sub>2</sub> CCHCN	65
C <sub>2</sub>	24	HCCN	39	HCCOCH	50	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	65
C <sub>2</sub> H	25	C <sub>2</sub> O	40	MgCN	50	C <sub>3</sub> S	68
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26	CH <sub>2</sub> CN	40	MgNC	50	FeO	72
CN	26	CH <sub>3</sub> OCH	40	HC <sub>3</sub> N	51	C <sub>6</sub> H	73
CN <sup>+</sup>	26	SiC	40	HCCNC	51	C <sub>6</sub> H <sup>-</sup>	73
HCN	27	CH <sub>3</sub> CN	41	HNCCC	51	C <sub>5</sub> N	74
HNC	27	CH <sub>3</sub> NC	41	c-SiC <sub>2</sub>	52	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	74
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	H <sub>2</sub> CCO	42	C <sub>3</sub> O	52	HCCCCCCH	74
CO	28	NH <sub>2</sub> CN	42	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> N <sup>+</sup>	52	HC <sub>3</sub> N	75
CO <sup>+</sup>	28	SiN	42	AlNC	53	KCl	75
H <sub>2</sub> CN	28	CP	43	CH <sub>2</sub> CHCN	53	NH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	75
HCNH <sup>+</sup>	28	HNCO	43	c-H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> O	54	SiC <sub>2</sub>	76
N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	28	HNCO <sup>-</sup>	43	HC <sub>2</sub> CHO	54	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78
CH <sub>2</sub> NH	29	c-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44	SiCN	54	C <sub>7</sub> H	85
HCO	29	CH <sub>3</sub> CHO	44	SiNC	54	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H	88
HCO <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub>	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	55	C <sub>2</sub> H	97
HN <sub>2</sub> <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	44	C <sub>2</sub> S	56	C <sub>6</sub> H <sup>-</sup>	97
HOC <sup>+</sup>	29	CS	44	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	56	HC <sub>7</sub> N	99
SiH	29	N <sub>2</sub> O	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	58	HC <sub>9</sub> N	123
CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	SiO	44	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	58	HC <sub>11</sub> N	147
H <sub>2</sub> CO	30	HCS <sup>+</sup>	45	NaCl	58		

Formamida

Ácido acético

Etanol

- 200 moléculas no meio interestelar
- 56 moléculas de origem extragaláctica
- quase 800 espécies!
- bioquímica extragaláctica: toda a química orgânica presente

Glicina

Benzeno



# A química do meio interestelar

Table 1: As 151 moléculas detectadas no espaço, em ordem crescente de massa

Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa
H <sub>2</sub>	2	NO	30	HCCO <sup>+</sup>	45	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	59
H <sub>3</sub> <sup>+</sup>	3	CF <sup>+</sup>	31	NH <sub>2</sub> CHO	45	HNCS	59
CH	13	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31	PN	45	C <sub>5</sub>	60
CH <sup>+</sup>	13	H <sub>3</sub> CO <sup>+</sup>	31	AlF	46	CH <sub>2</sub> OHCHO	60
CH <sub>2</sub>	14	HNO	31	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	CH <sub>3</sub> COOH	60
CH <sub>3</sub>	15	CH <sub>3</sub> OH	32	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	46	HCOOCH <sub>3</sub>	60
NH	15	SiH <sub>4</sub>	32	H <sub>2</sub> CS	46	OCS	60
CH <sub>4</sub>	16	HS	33	HCOOH	46	SiS	60
NH <sub>2</sub>	16	HS <sup>+</sup>	33	NS	46	C <sub>5</sub> H	61
NH <sub>3</sub>	17	H <sub>2</sub> S	34	CH <sub>3</sub> SH	48	AlCl	62
OH	17	H <sub>2</sub> S <sup>+</sup>	34	SO	48	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	62
OH <sup>+</sup>	17	C <sub>3</sub>	36	SO <sup>+</sup>	48	HC <sub>4</sub> N	63
H <sub>2</sub> O	18	HCl	36	C <sub>4</sub> H	49	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	64
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	18	c-C <sub>3</sub> H	37	C <sub>4</sub> H <sup>-</sup>	49	S <sub>2</sub>	64
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18	l-C <sub>3</sub> H	37	NaCN	49	SiC <sub>3</sub>	64
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	19	c-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	38	C <sub>3</sub> N	50	SO <sub>2</sub>	64
HF	20	H <sub>2</sub> CCC	38	H <sub>2</sub> CCCC	50	CH <sub>2</sub> CCHCN	65
C <sub>2</sub>	24	HCCN	39	HCCOCH	50	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	65
C <sub>2</sub> H	25	C <sub>2</sub> O	40	MgCN	50	C <sub>3</sub> S	68
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26	CH <sub>2</sub> CN	40	MgNC	50	FeO	72
CN	26	CH <sub>3</sub> OCH	40	HC <sub>3</sub> N	51	C <sub>6</sub> H	73
CN <sup>+</sup>	26	SiC	40	HCCNC	51	C <sub>6</sub> H <sup>-</sup>	73
HCN	27	CH <sub>3</sub> CN	41	HNCCC	51	C <sub>5</sub> N	74
HNC	27	CH <sub>3</sub> NC	41	c-SiC <sub>2</sub>	52	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	74
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	H <sub>2</sub> CCO	42	C <sub>3</sub> O	52	HCCCCCCH	74
CO	28	NH <sub>2</sub> CN	42	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> N <sup>+</sup>	52	HC <sub>3</sub> N	75
CO <sup>+</sup>	28	SiN	42	AlNC	53	KCl	75
H <sub>2</sub> CN	28	CP	43	CH <sub>2</sub> CHCN	53	NH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	75
HCNH <sup>+</sup>	28	HNCO	43	c-H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> O	54	SiC <sub>2</sub>	76
N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	28	HNCO <sup>-</sup>	43	HC <sub>2</sub> CHO	54	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78
CH <sub>2</sub> NH	29	c-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44	SiCN	54	C <sub>7</sub> H	85
HCO	29	CH <sub>3</sub> CHO	44	SiNC	54	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H	88
HCO <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub>	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	55	C <sub>2</sub> H	97
HN <sub>2</sub> <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	44	C <sub>2</sub> S	56	C <sub>8</sub> H <sup>-</sup>	97
HOC <sup>+</sup>	29	CS	44	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	56	HC <sub>7</sub> N	99
SiH	29	N <sub>2</sub> O	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	58	HC <sub>9</sub> N	123
CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	SiO	44	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	58	HC <sub>11</sub> N	147
H <sub>2</sub> CO	30	HCS <sup>+</sup>	45	NaCl	58		

Formamida

Ácido acético

Etanol

- 200 moléculas no meio interestelar
- 56 moléculas de origem extragaláctica
- quase 800 espécies!
- bioquímica extragaláctica: toda a química orgânica presente

Glicina

Benzeno

- Ácidos
- álcoois
- cetonas
- éteres
- ésteres
- aldeídos

açúcares



# A química do meio interestelar

Table 1: As 151 moléculas detectadas no espaço, em ordem crescente de massa

Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa	Espécie	Massa
H <sub>2</sub>	2	NO	30	HCCO <sup>+</sup>	45	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	59
H <sub>3</sub> <sup>+</sup>	3	CF <sup>+</sup>	31	NH <sub>2</sub> CHO	45	HNCS	59
CH	13	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31	PN	45	C <sub>5</sub>	60
CH <sup>+</sup>	13	H <sub>3</sub> CO <sup>+</sup>	31	AlF	46	CH <sub>2</sub> OHCHO	60
CH <sub>2</sub>	14	HNO	31	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	CH <sub>3</sub> COOH	60
CH <sub>3</sub>	15	CH <sub>3</sub> OH	32	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	46	HCOOCH <sub>3</sub>	60
NH	15	SiH <sub>4</sub>	32	H <sub>2</sub> CS	46	OCS	60
CH <sub>4</sub>	16	HS	33	HCOOH	46	SiS	60
NH <sub>2</sub>	16	HS <sup>+</sup>	33	NS	46	C <sub>5</sub> H	61
NH <sub>3</sub>	17	H <sub>2</sub> S	34	CH <sub>3</sub> SH	48	AlCl	62
OH	17	H <sub>2</sub> S <sup>+</sup>	34	SO	48	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	62
OH <sup>+</sup>	17	C <sub>3</sub>	36	SO <sup>+</sup>	48	HC <sub>4</sub> N	63
H <sub>2</sub> O	18	HCl	36	C <sub>4</sub> H	49	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	64
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	18	c-C <sub>3</sub> H	37	C <sub>4</sub> H <sup>-</sup>	49	S <sub>2</sub>	64
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18	l-C <sub>3</sub> H	37	NaCN	49	SiC <sub>3</sub>	64
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	19	c-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	38	C <sub>3</sub> N	50	SO <sub>2</sub>	64
HF	20	H <sub>5</sub> CCC	38	H <sub>5</sub> CCCC	50	CH <sub>5</sub> CCHCN	65
C <sub>2</sub>							65
C <sub>2</sub> H							68
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>							72
CN							73
CN <sup>+</sup>							73
HCN							74
HNC	27	CH <sub>3</sub> NC	41	c-SiC <sub>2</sub>	52	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	74
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	H <sub>2</sub> CCO	42	C <sub>3</sub> O	52	HCCCCCCH	74
CO	28	NH <sub>2</sub> CN	42	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> N <sup>+</sup>	52	HC <sub>3</sub> N	75
CO <sup>+</sup>	28	SiN	42	AlNC	53	KCl	75
H <sub>2</sub> CN	28	CP	43	CH <sub>2</sub> CHCN	53	NH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	75
HCNH <sup>+</sup>	28	HNCO	43	c-H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> O	54	SiC <sub>2</sub>	76
N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	28	HNCO <sup>-</sup>	43	HC <sub>2</sub> CHO	54	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78
CH <sub>2</sub> NH	29	c-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44	SiCN	54	C <sub>7</sub> H	85
HCO	29	CH <sub>3</sub> CHO	44	SiNC	54	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H	88
HCO <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub>	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	55	C <sub>2</sub> H	97
HN <sub>2</sub> <sup>+</sup>	29	CO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	44	C <sub>2</sub> S	56	C <sub>8</sub> H <sup>-</sup>	97
HOC <sup>+</sup>	29	CS	44	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	56	HC <sub>7</sub> N	99
SiH	29	N <sub>2</sub> O	44	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	58	HC <sub>9</sub> N	123
CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	SiO	44	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	58	HC <sub>11</sub> N	147
H <sub>2</sub> CO	30	HCS <sup>+</sup>	45	NaCl	58		

Álcool + açúcar + gelo + água + ... = ???

Formamida

Ácido acético

Etanol

- 200 moléculas no meio interestelar
- 56 moléculas de origem extragaláctica
- quase 800 espécies!
- bioquímica extragaláctica: toda a química orgânica presente

Glicina

Benzeno

- Ácidos
- álcoois
- cetonas
- éteres
- ésteres
- aldeídos

açúcares



# O princípio do LEGO®



# O princípio do LEGO®

“Tijolos químicos” da vida

- ✓ Hidrogênio (H)
- ✓ Carbono (C)
- ✓ Nitrogênio (N)
- ✓ Oxigênio (O)
- ✓ Enxofre (S)
- ✓ Ferro (Fe)
- ✓ Magnésio (Mg)
- ✓ Fósforo (P)



# O princípio do LEGO®

“Tijolos químicos” da vida

- ✓ Hidrogênio (H)
- ✓ Carbono (C)
- ✓ Nitrogênio (N)
- ✓ Oxigênio (O)
- ✓ Enxofre (S)
- ✓ Ferro (Fe)
- ✓ Magnésio (Mg)
- ✓ Fósforo (P)

Assentados no sentido do aumento de complexidade!

- ✓ 20 aminoácidos  $\Rightarrow$  todas as proteínas
- ✓ 4 nucleobases  $\Rightarrow$  todo o DNA
- ✓ precursores do acetato (isopentenil-pirofosfato)  $\Rightarrow$  lipídios  $\Rightarrow$  Classe importante na formação de membranas



# A complexidade química da vida

“Tijolos químicos da vida”

- ✓ Hidrogênio (H)
- ✓ Carbono (C)
- ✓ Nitrogênio (N)
- ✓ Oxigênio (O)
- ✓ Enxofre (S)
- ✓ Ferro (Fe)
- ✓ Magnésio (Mg)
- ✓ Fósforo (P)

Assentados no sentido do aumento de complexidade!

- ✓ 20 aminoácidos  $\Rightarrow$  todas as proteínas
- ✓ 4 nucleobases  $\Rightarrow$  todo o DNA
- ✓ precursores do acetato (isopentenil-pirofosfato)  $\Rightarrow$  lipídios  $\Rightarrow$  Classe importante na formação de membranas





# A evolução molecular da vida

- ☑ As condições astrofísicas e cosmológicas sugerem que a **bioquímica necessária** para o aparecimento de sistemas vivos está **disponível** (embora com pouca abundância, comparada com os dias de hoje) **desde cerca de 30 milhões de anos após o Big Bang**.
- ☑ A Terra **possui**, desde sua condensação e momentos iniciais, **a química necessária para a formação de compostos orgânicos mais complexos** (4 ou mais moléculas contendo pelo menos um átomo de C)
- ☑ A Terra ofereceu, nas primeiras centenas de milhões de anos, as **condições energéticas, a interface sólido-líquido e o reservatório químico necessários para que reações químicas com baixa probabilidade de reação ocorressem**



# CHONs – a ditadura do C?

- ☑ CHONs – Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio
- ☑ Abundantes no Universo => **A VIDA COMO A CONHECEMOS!!!!**
- ☑ **C é extremamente versátil quimicamente (comparado, p. ex., com o Si)**
  - ✓ Capacidade de realizar ligações covalentes com 1, 2 e 3 valências
  - ✓ Não é dissolvido ou reage com ácidos ou água
  - ✓ Capaz de formar cadeias MUITO longas (nenhum outro elemento é capaz de formar tantas ligações tão fortes)



# Vida como **NÃO** a conhecemos

- ☑ Tópico importantíssimo na definição de novas missões para busca de vida extraterrestre
- ☑ Condições **MUITO** diferentes das CNTP:
  - ✓ Altas temperaturas/baixas temperaturas
  - ✓ Altas pressões/baixas (zero) pressões
  - ✓ Acidez/basicidade/salinidade
  - ✓ Altos níveis de radiação
  - ✓ Outros fatores hostis!!!!



# Vida como **NÃO** a conhecemos

- ☑ Tópico importantíssimo na definição de novas missões para busca de vida extraterrestre
- ☑ Condições **MUITO** diferentes das CNTP:
  - ✓ Altas temperaturas/baixas temperaturas
  - ✓ Altas pressões/baixas (zero) pressões
  - ✓ Acidez/basicidade/salinidade
  - ✓ Altos níveis de radiação
  - ✓ Outros fatores hostis!!!!

**Variedades de CHONs?**



# Vida como **NÃO** a conhecemos

- ☑ Tópico importantíssimo na definição de novas missões para busca de vida extraterrestre
- ☑ Condições **MUITO** diferentes das CNTP:
  - ✓ Altas temperaturas/baixas temperaturas
  - ✓ Altas pressões/baixas (zero) pressões
  - ✓ Acidez/basicidade/salinidade
  - ✓ Altos níveis de radiação
  - ✓ Outros fatores hostis!!!!

**Variedades de CHONs?**

**E se não forem CHONs?**



# O que buscar? Onde buscar?

- ☑ **O mecanismo de transição** de sistemas não-vivos => vivos a partir de processos físico-químicos **ainda é desconhecido.**
- ☑ A transição não-vivo => vivo pode ser consequência das condições químicas criadas após o surgimento das primeiras estrelas e **das condições de habitabilidade produzidas durante a formação das estrelas.**
- ☑ **Diferentes condições de habitabilidade** derivadas da formação da estrela podem, eventualmente, dar origem a **formas de vida distintas** da que conhecemos.



# HABITABILIDADE

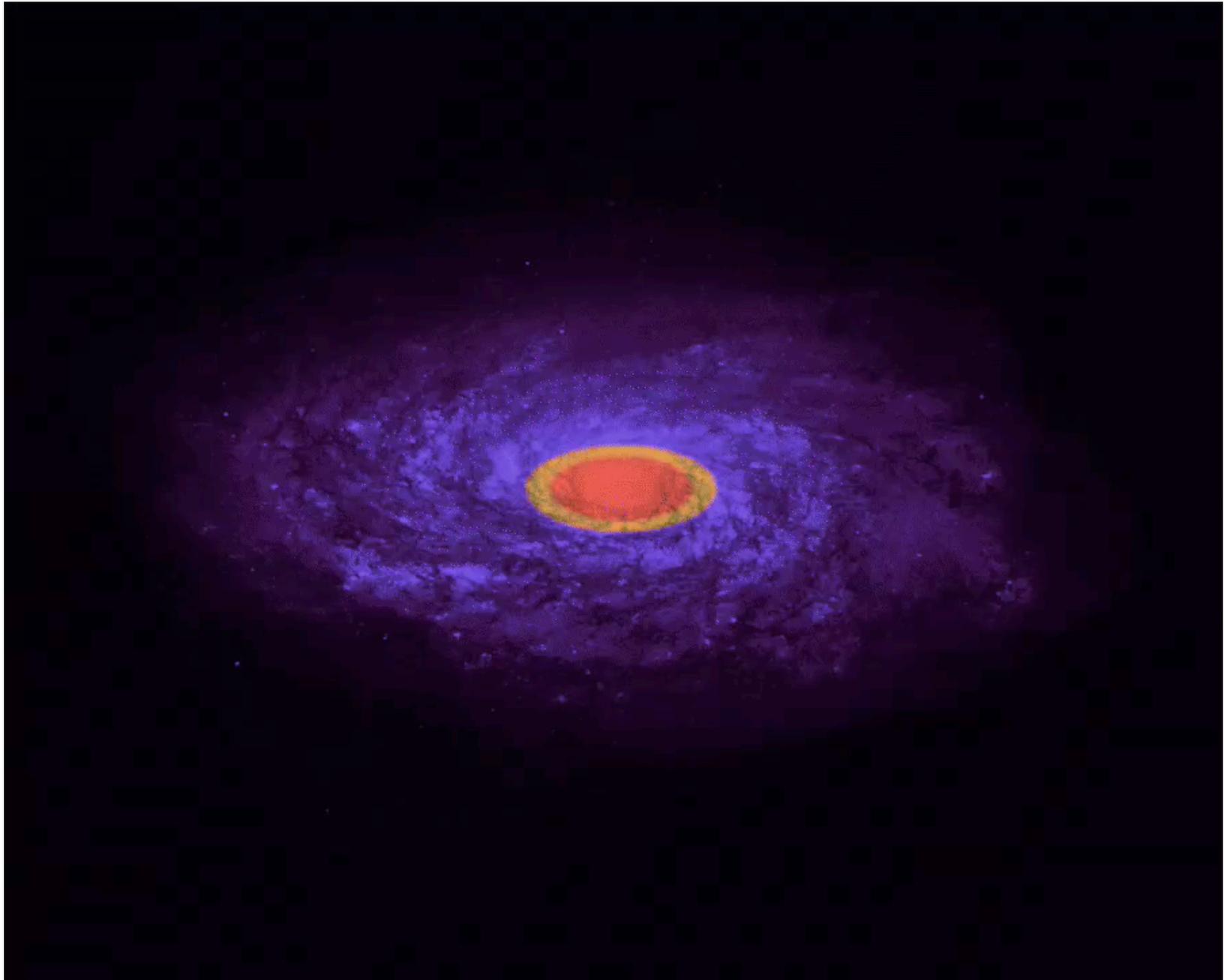


# Principais aspectos para Habitabilidade Estelar e Planetária

- ☉ Necessidade de água líquida na superfície
  - ☐ Vida superficial → sensoriamento remoto
- ☉ Mudanças no ecossistema terrestre numa escala de tempo de  $3,8 \times 10^9$  anos não foram letais
- ☉ “Feedback” de gases auxiliaram a regulação do clima em longas escalas de tempo.
- ☉ Aumento do Oxigênio → complexidade

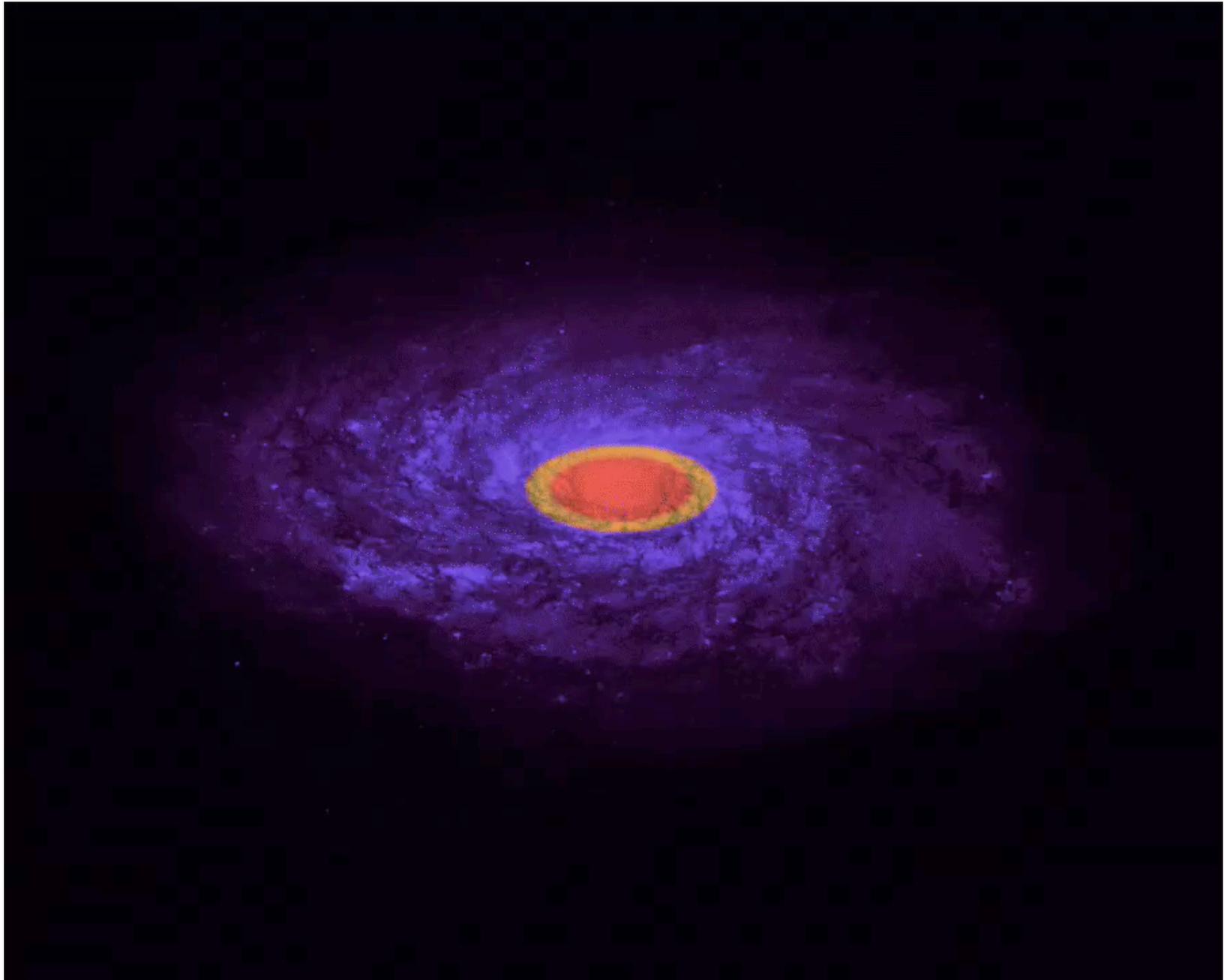


# Zona Habitável Galáctica





# Zona Habitável Galáctica





# Zona habitável estelar



**Principal requisito: água no estado  
líquido!!!**

Carlos Alexandre Wuensche (INPE, 2019)



# Zona habitável estelar



**Principal requisito: água no estado  
líquido!!!**

Carlos Alexandre Wuensche (INPE, 2019)



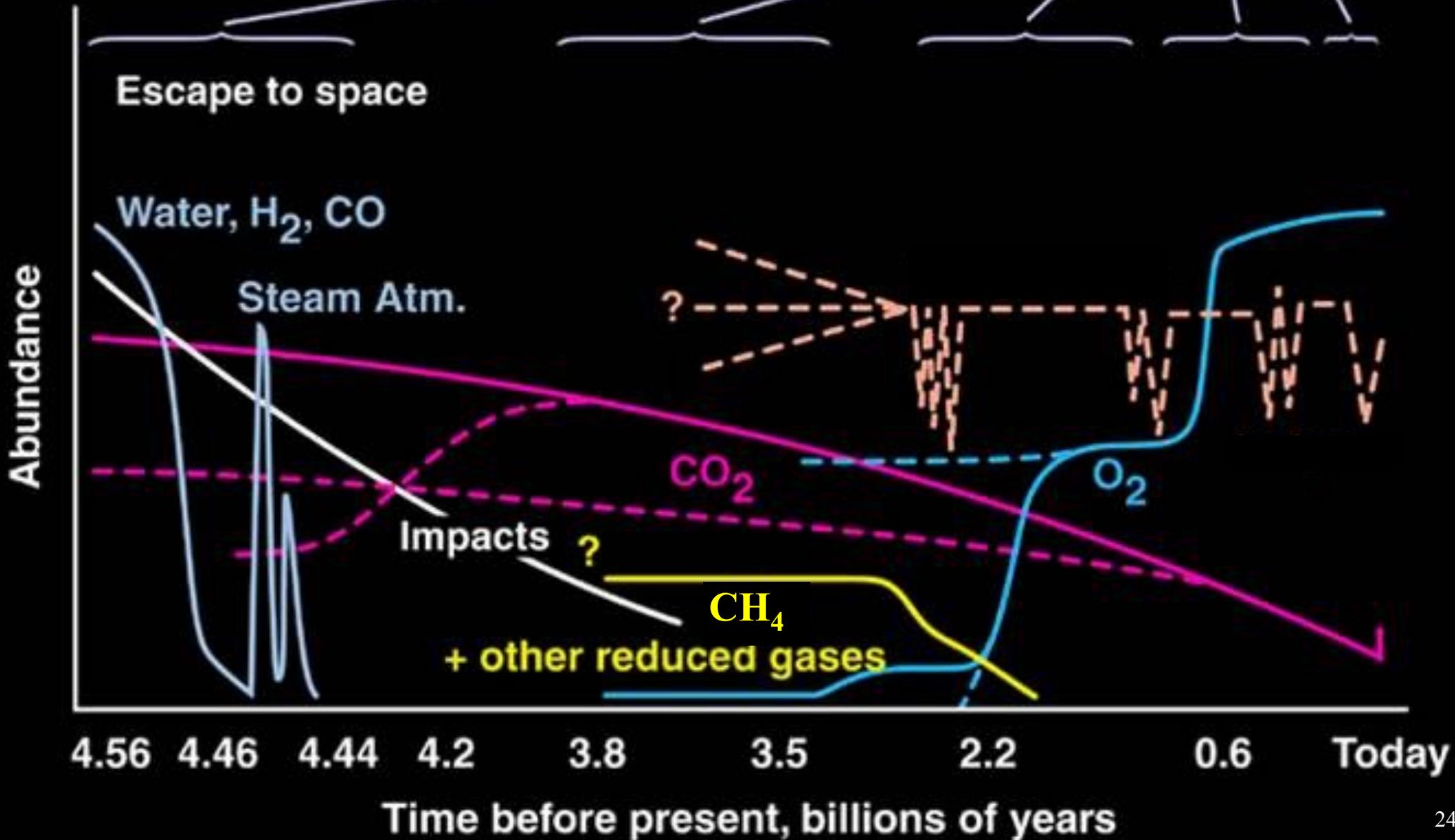
# Zona habitável estelar



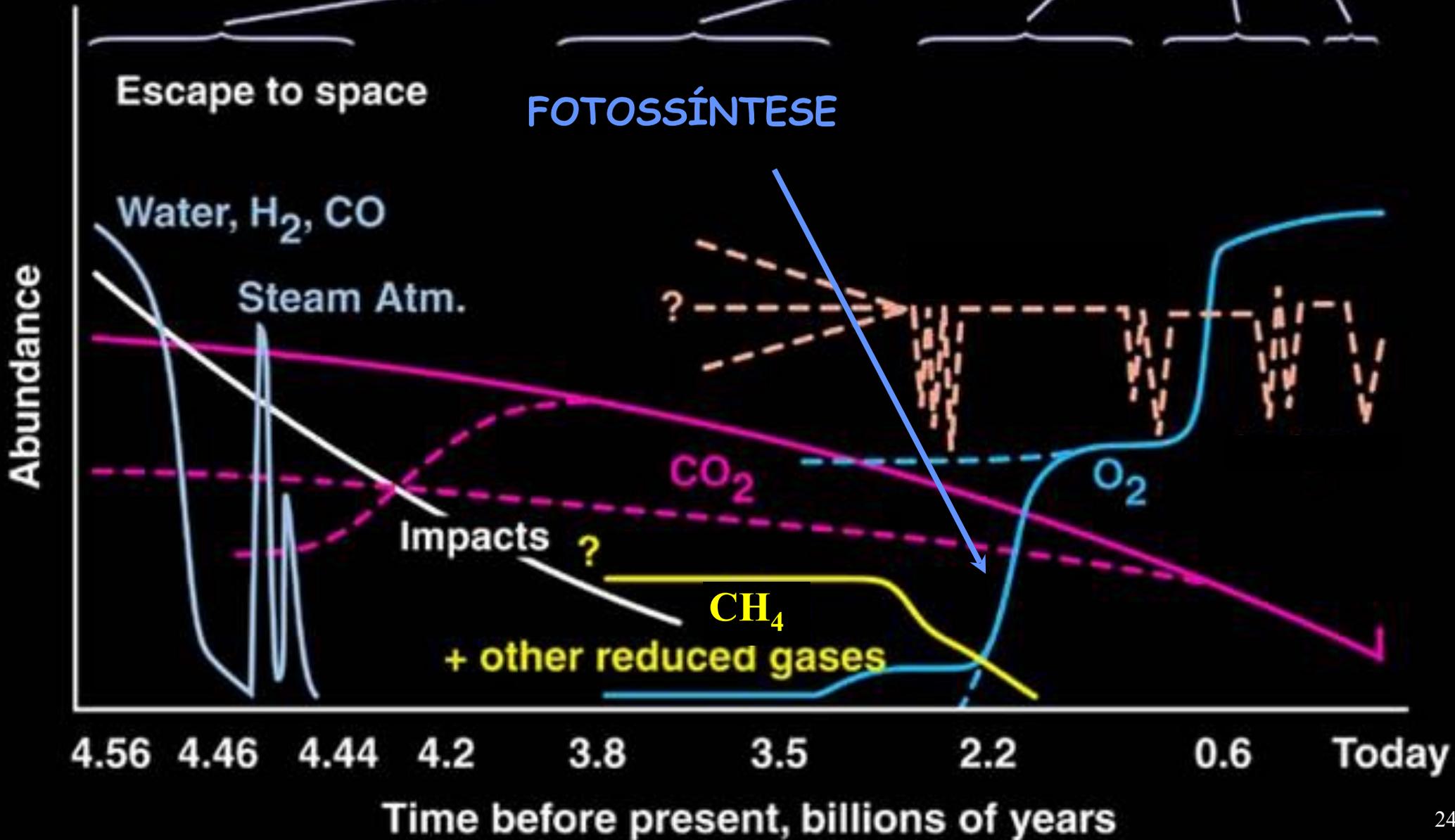
**Principal requisito: água no estado  
líquido!!!**

Carlos Alexandre Wuensche (INPE, 2019)

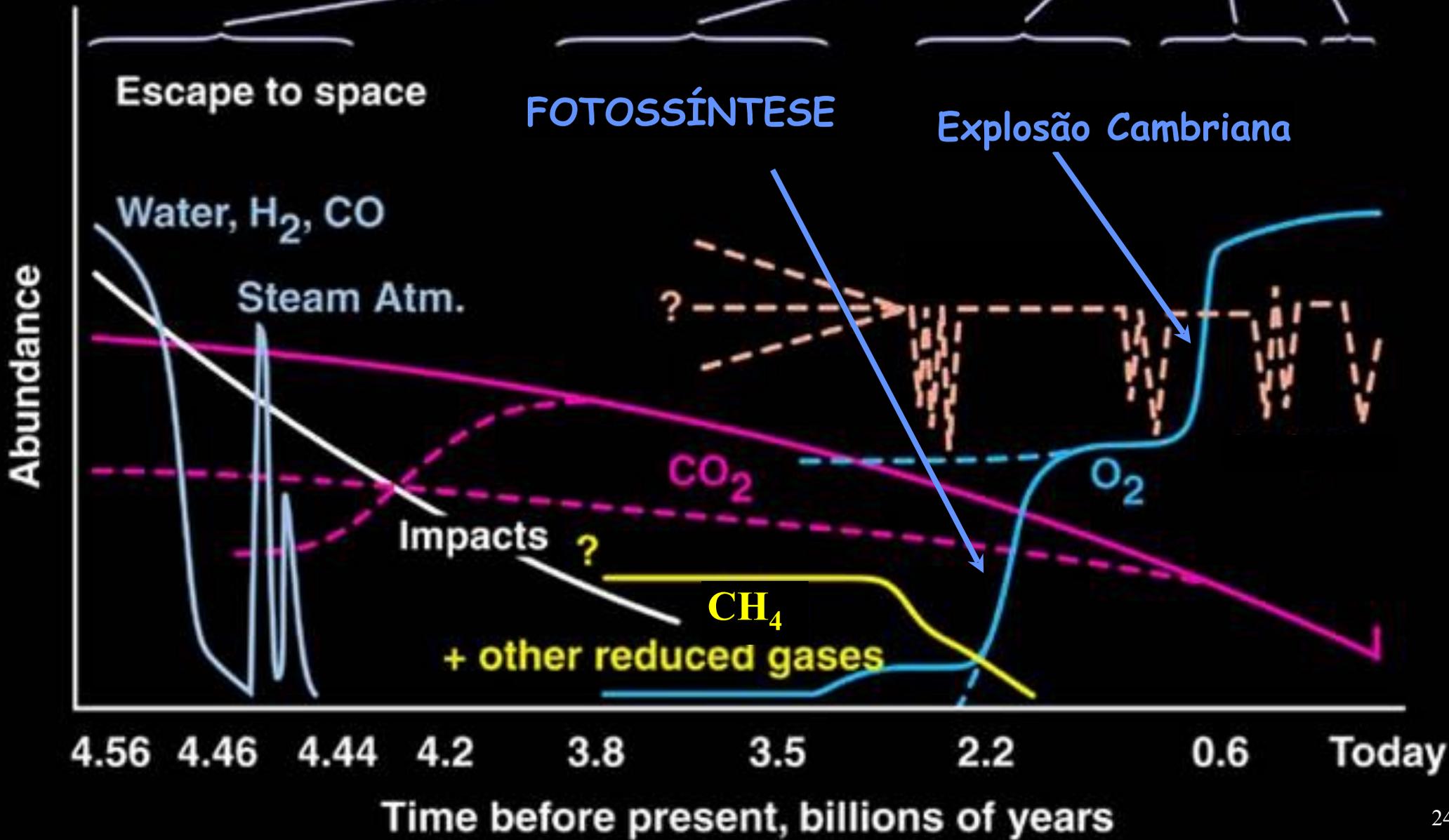
# Earth's Atmosphere Through Time



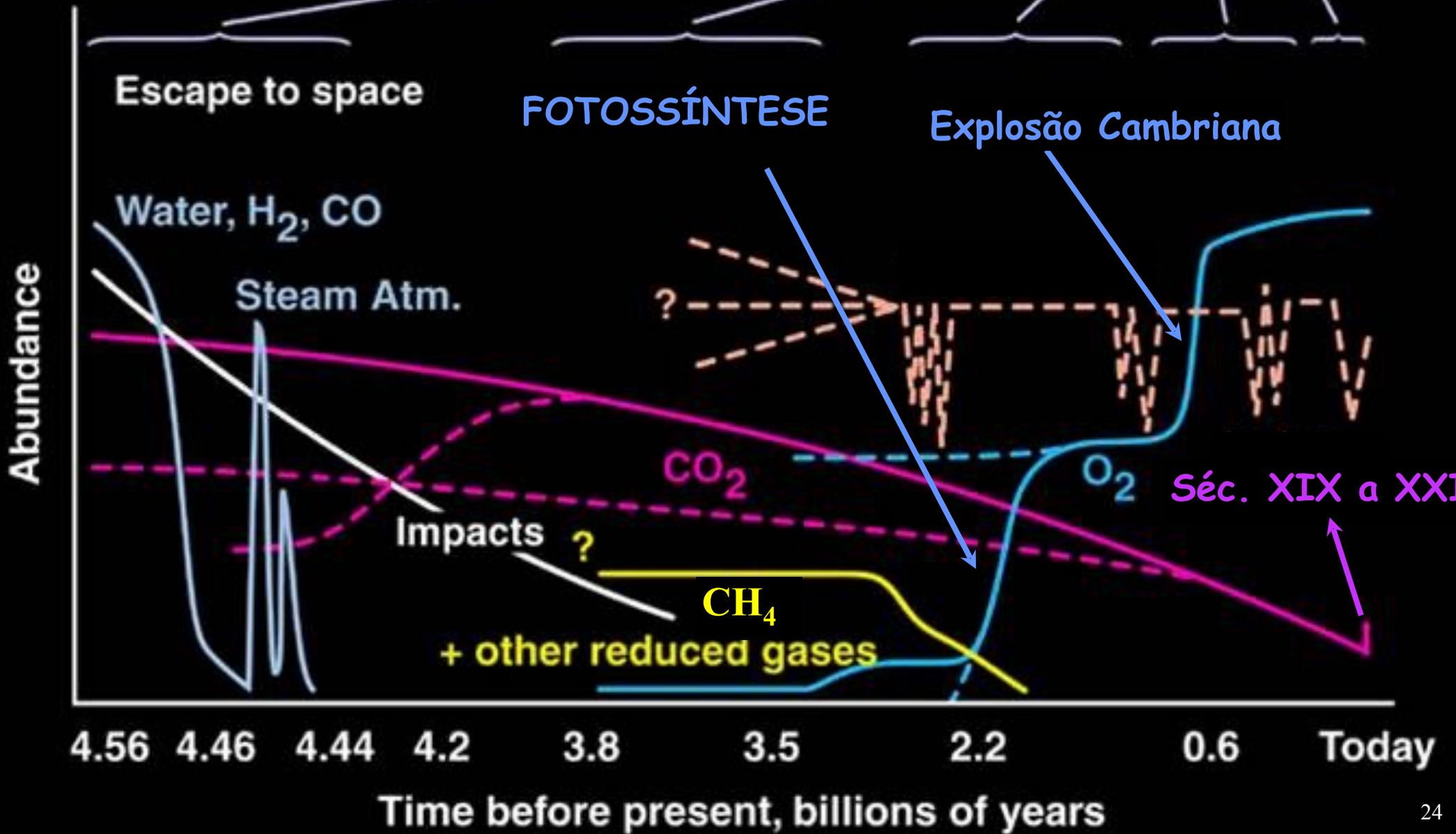
# Earth's Atmosphere Through Time



# Earth's Atmosphere Through Time



# Earth's Atmosphere Through Time





# Condições de habitabilidade

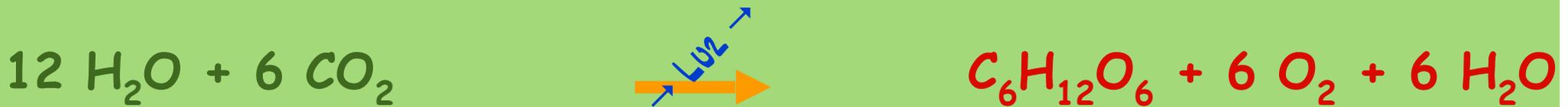
## (a **NOSSA** receita)

- ✓ **Água** na superfície por, pelo menos, um bilhão de anos
- ✓ **Intenso bombardeamento por meteoritos** no início da formação da Terra (primeiros 700 milhões de anos)
- ✓ **Resistência a catástrofes** por  $\sim$  1 bilhão de anos
- ✓ **Intensa atividade geológica**
- ✓ **Existência de campo magnético**
- ✓ **Estabilidade climática por longos períodos** (dezenas a centenas de milhões de anos)
- ✓ **DISPONIBILIDADE DE OXIGÊNIO** - Essencial para o **aumento da complexidade biológica**



# Condições de habitabilidade (a **NOSSA** receita)

- ✓ **Água** na superfície por, pelo menos, um bilhão de anos
- ✓ **Intenso bombardeamento por meteoritos** no início da formação da Terra (primeiros 700 milhões de anos)
- ✓ **Resistência a catástrofes** por ~ 1 bilhão de anos



MUITO MAIS EFICIENTE QUE TODAS AS OUTRAS!

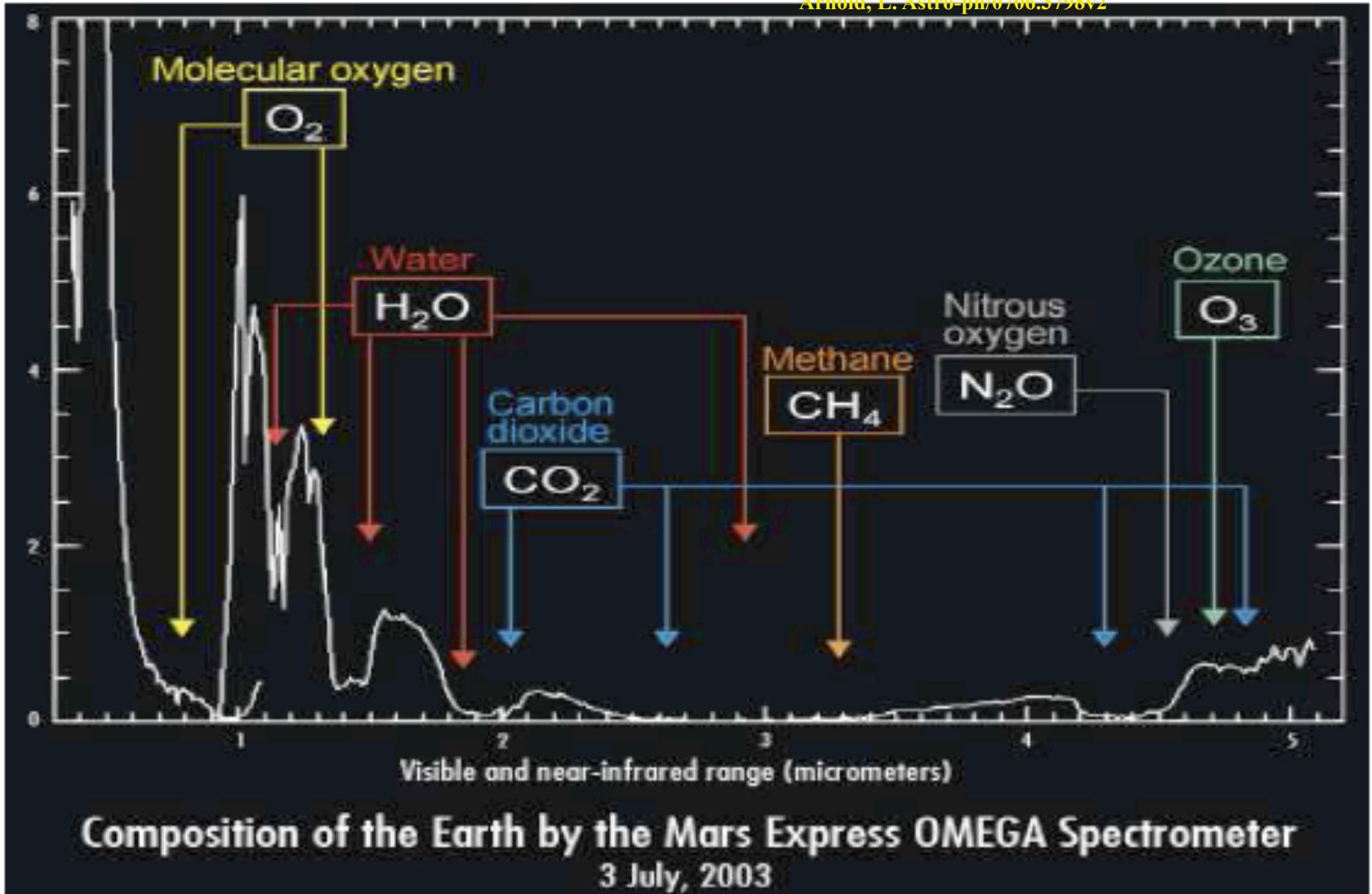
- ✓ **DISPONIBILIDADE DE OXIGÊNIO** - Essencial para o aumento da complexidade biológica



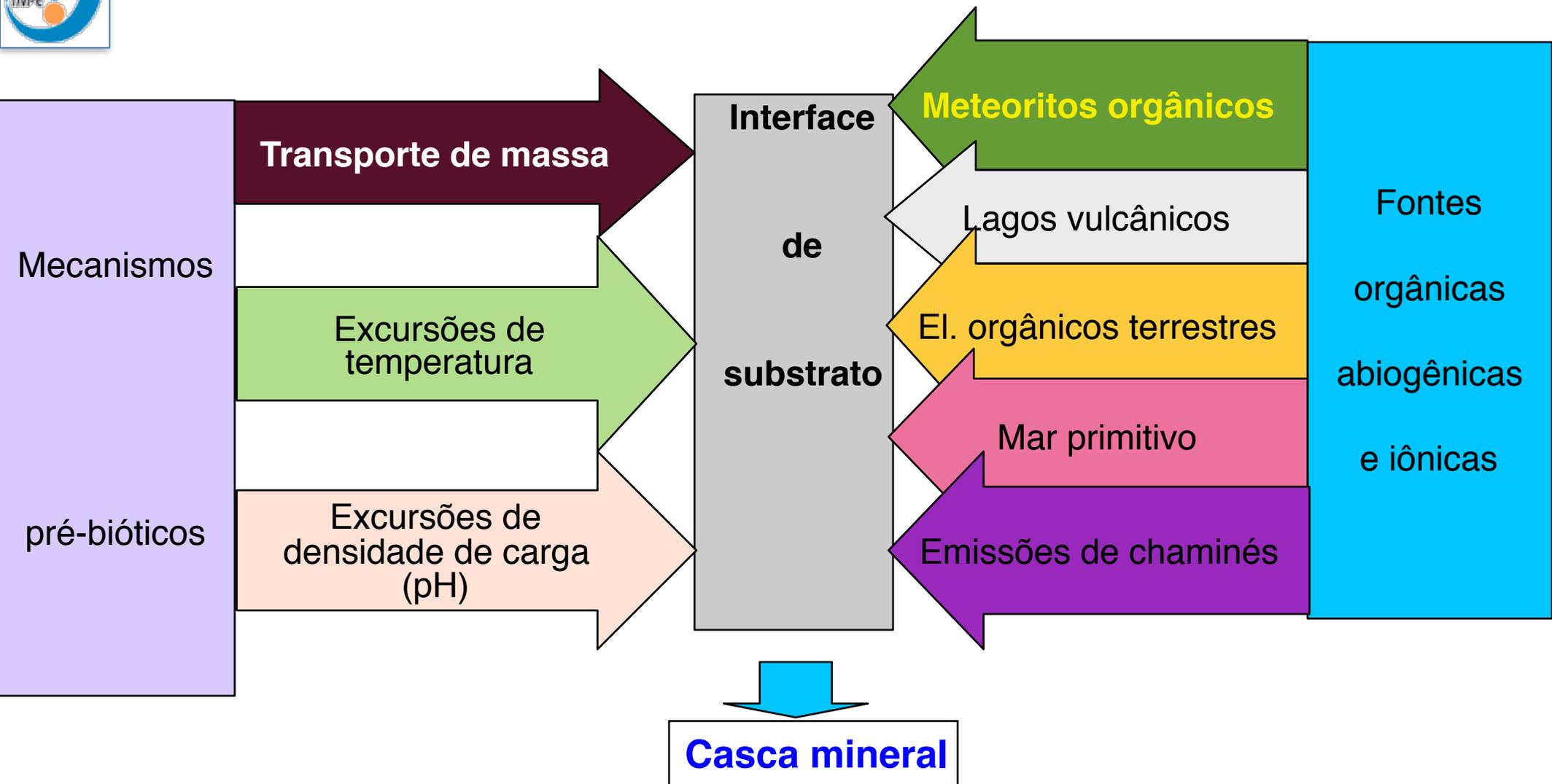
# A Terra vista de longe...

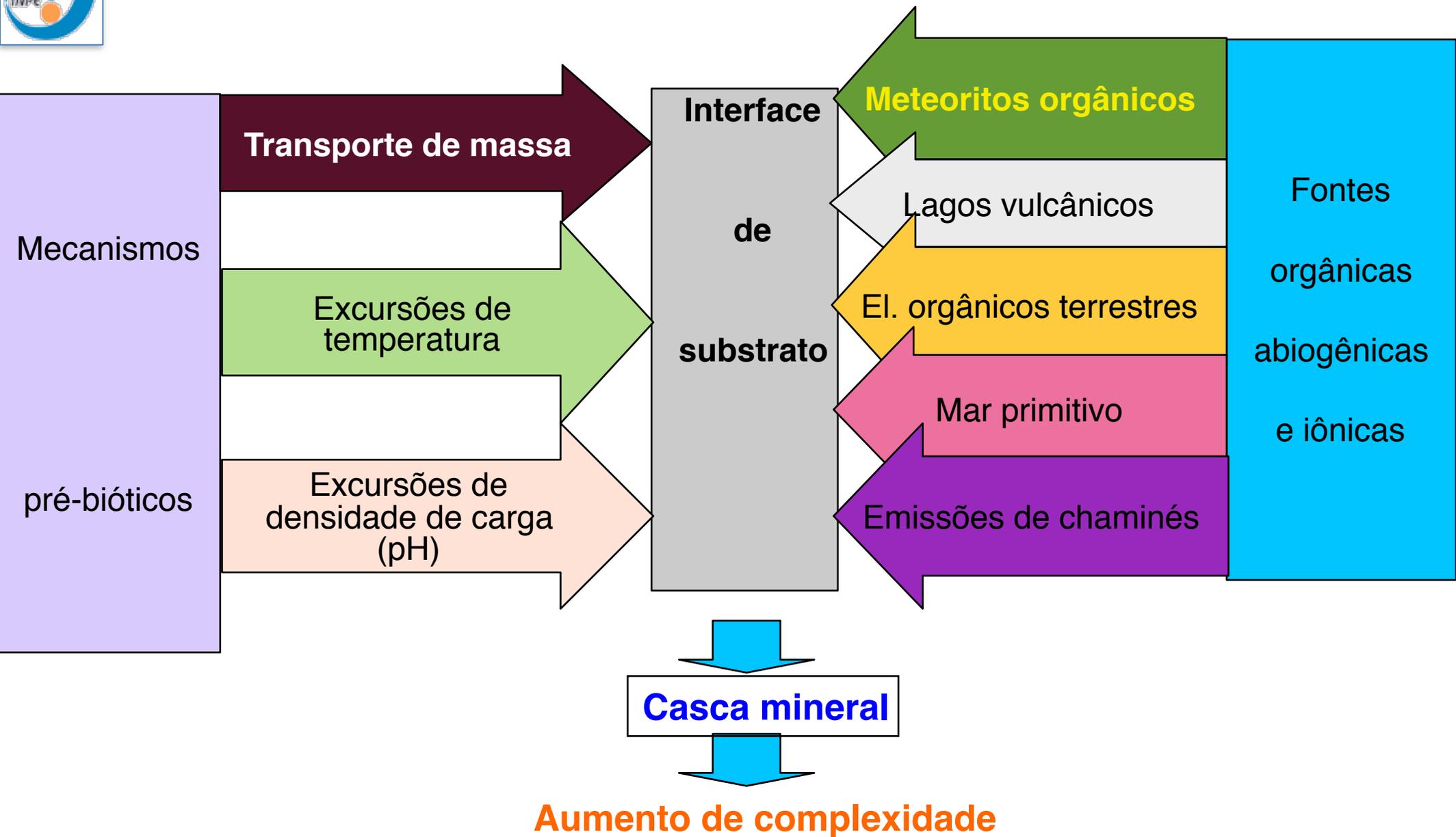
Carlos Alexandre Wuensche (INPE, 2019)

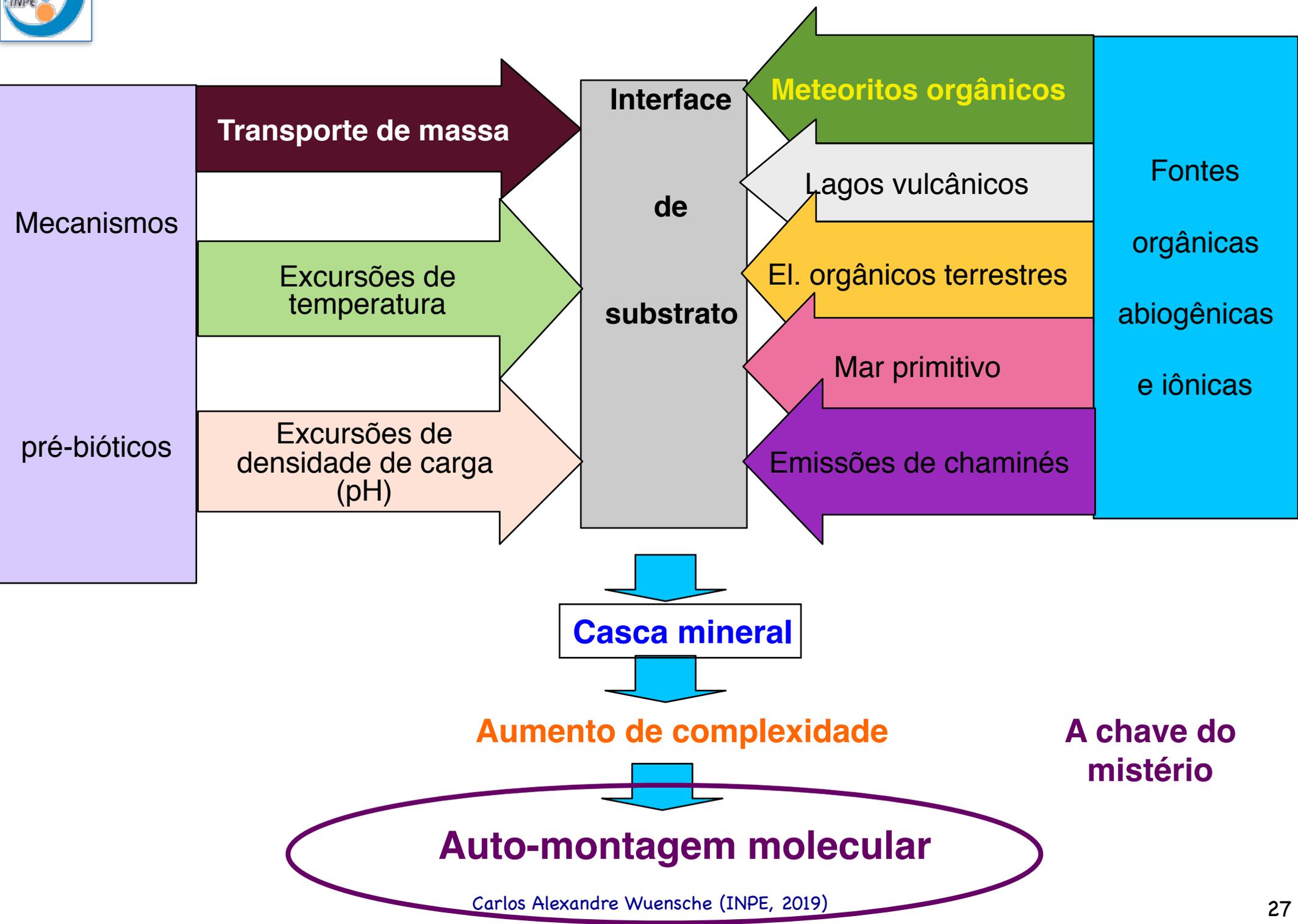
Arnold, L. Astro-ph/0706.3798v2

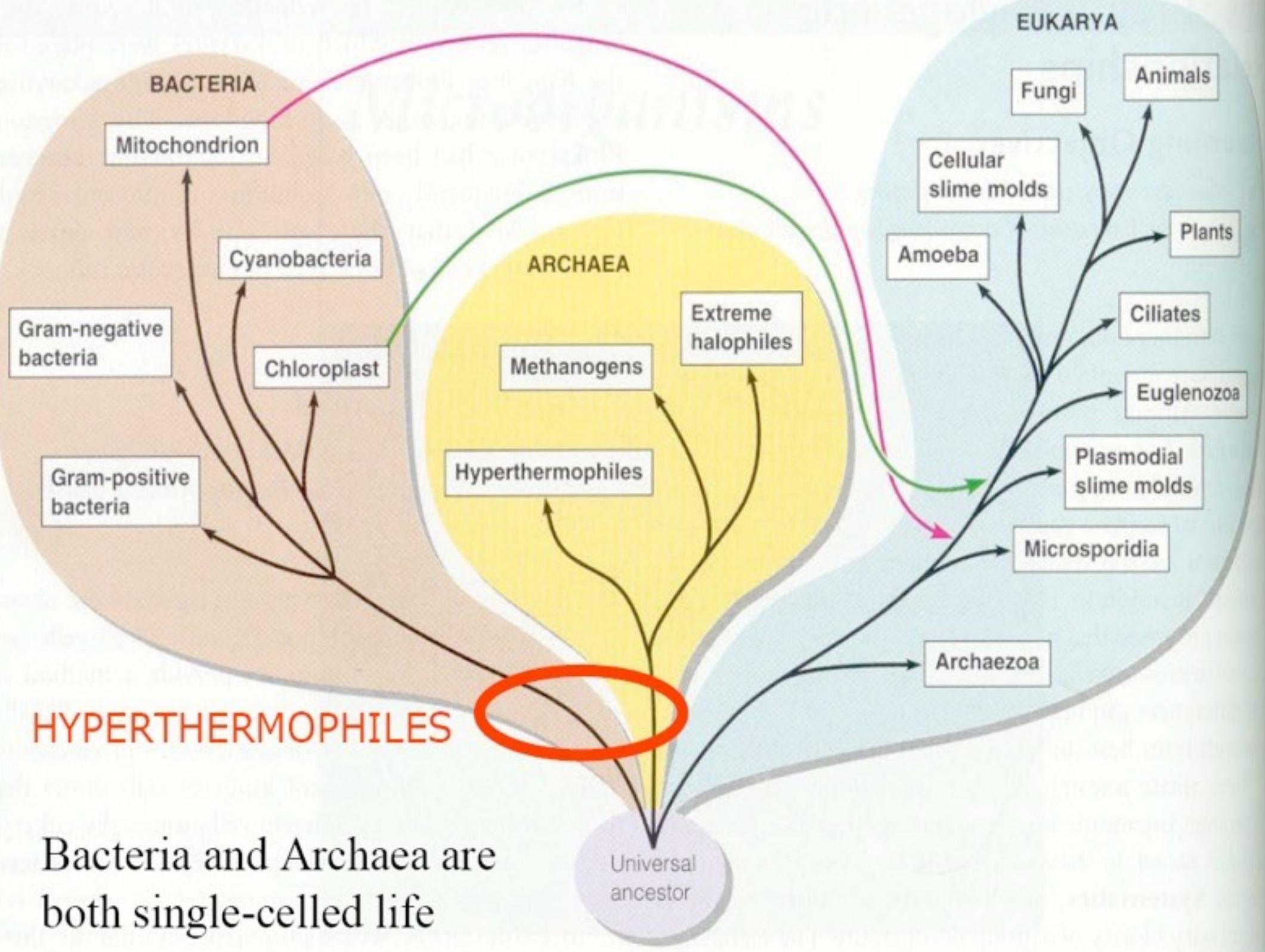


EXTREMÓFILOS OU... A  
VIDA PODE SER BEM  
MAIS RESISTENTE DO  
QUE IMAGINAMOS

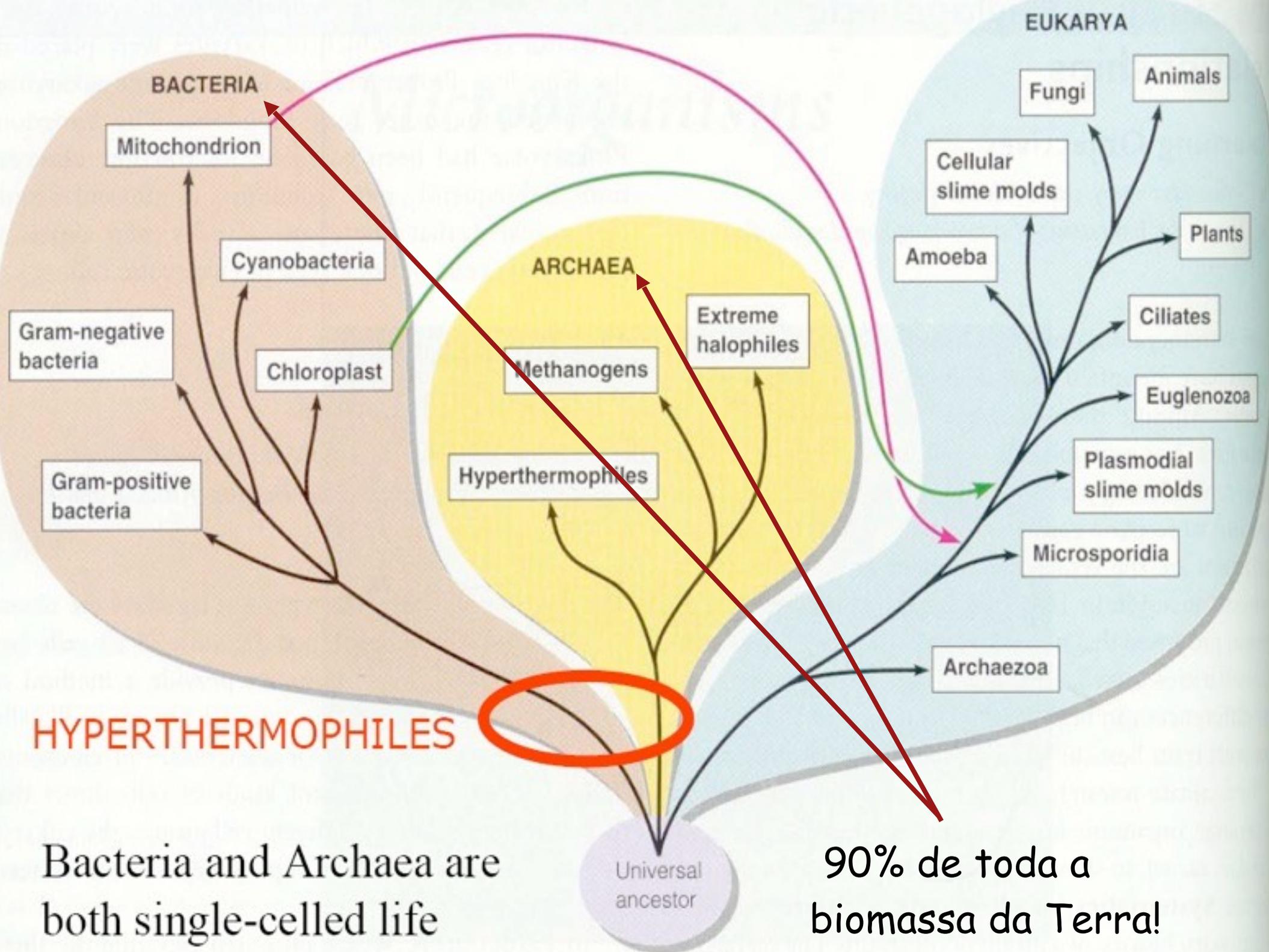


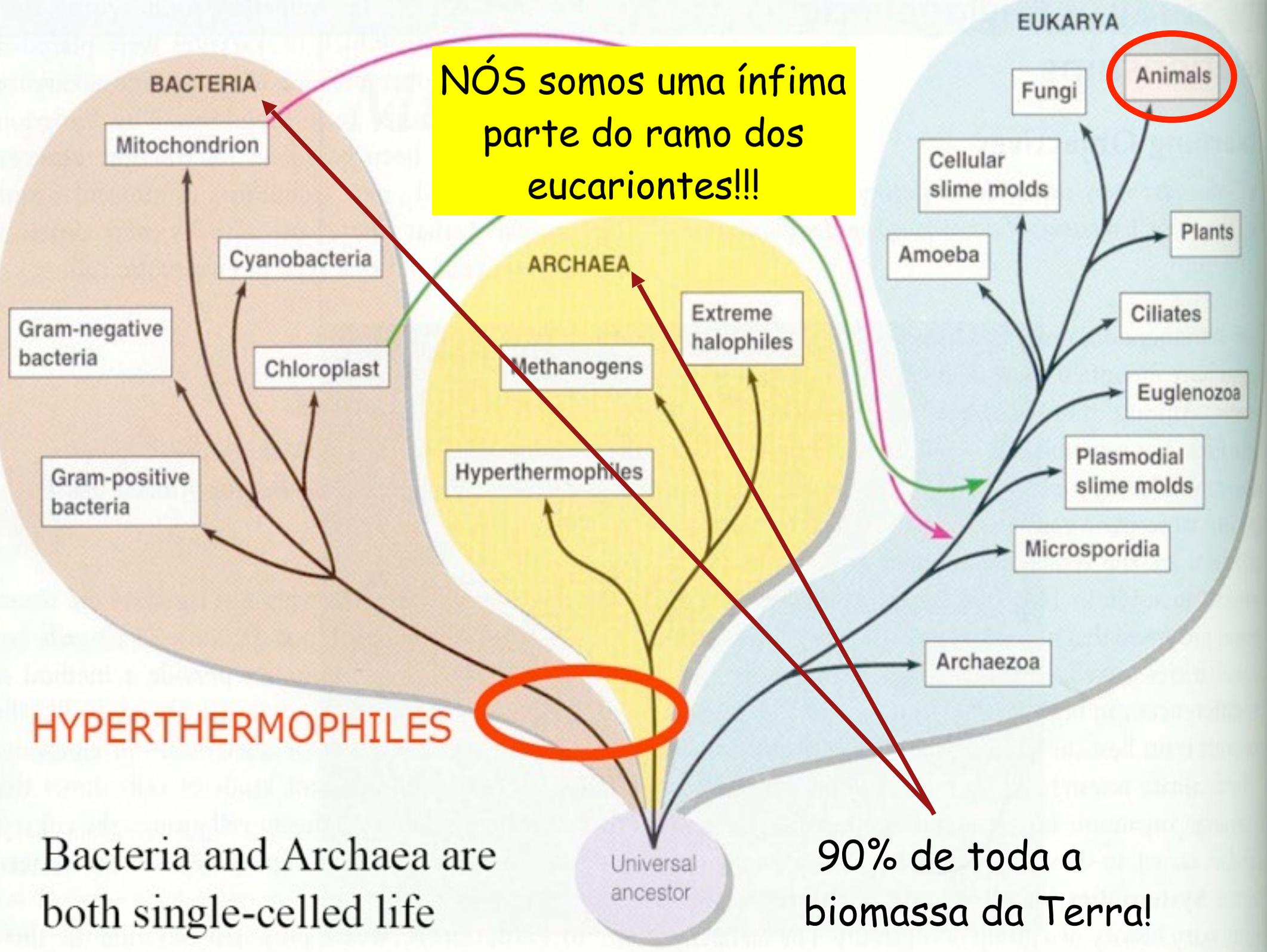






Bacteria and Archaea are both single-celled life



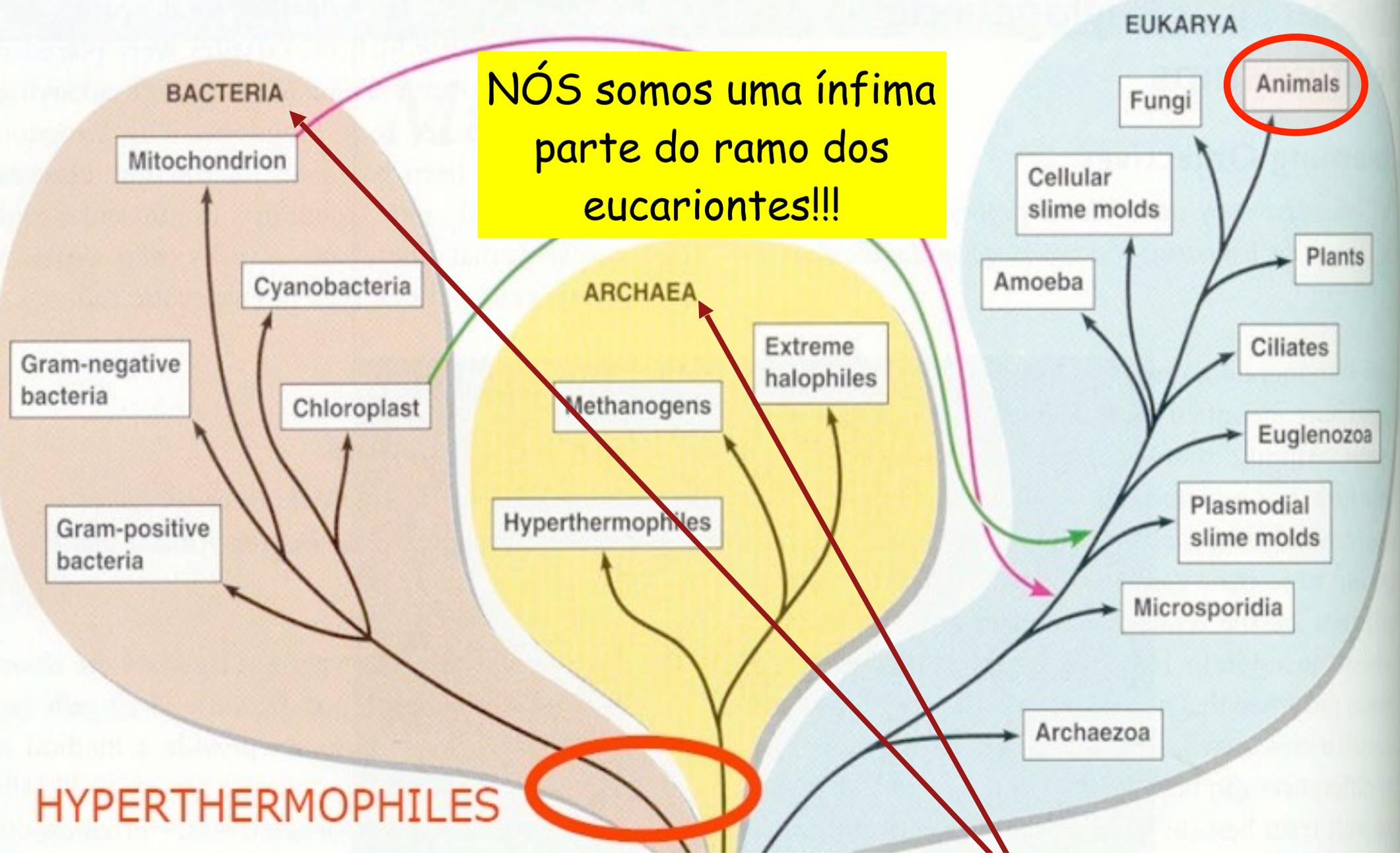


NÓS somos uma ínfima parte do ramo dos eucariontes!!!

HYPERTHERMOPHILES

Bacteria and Archaea are both single-celled life

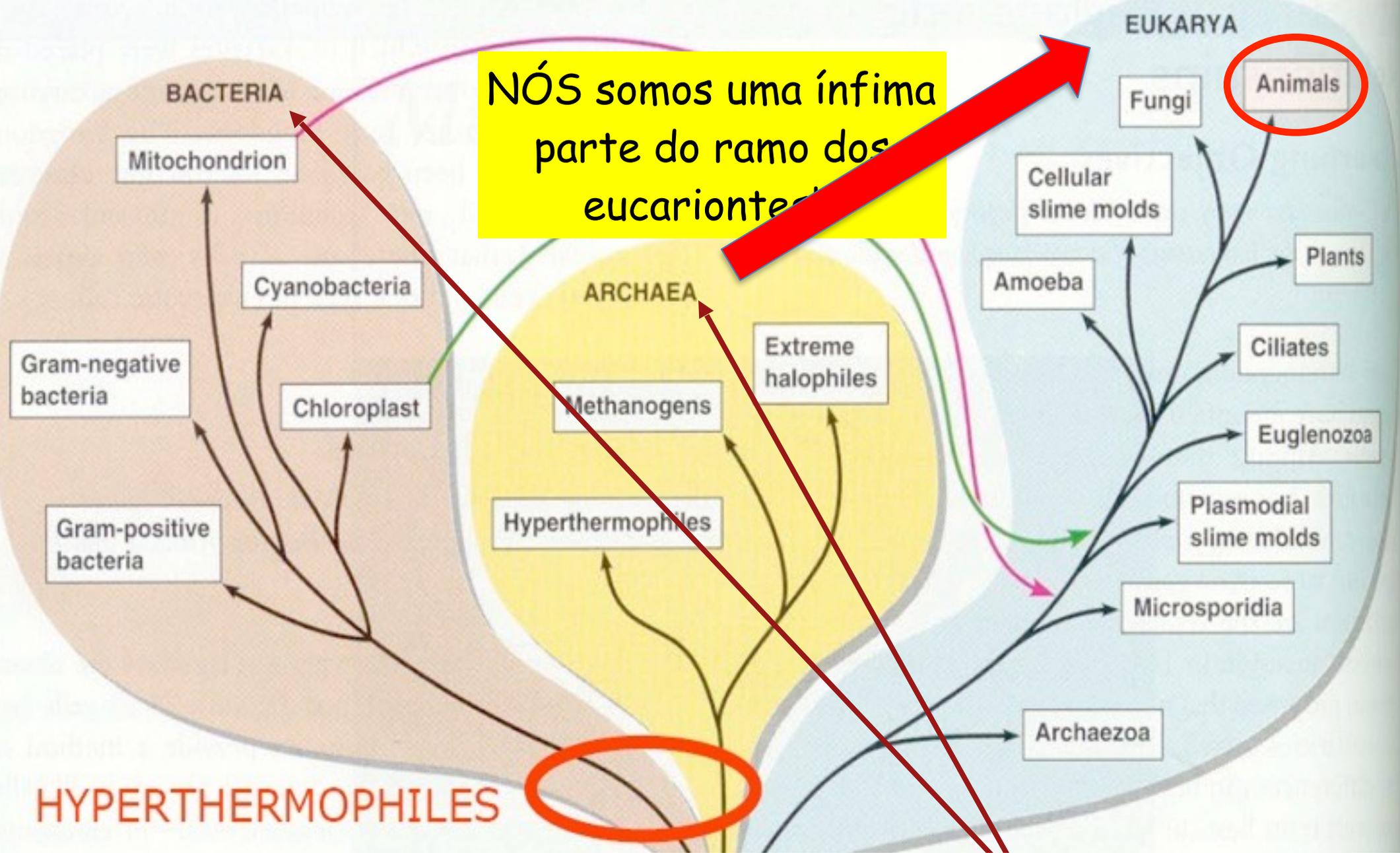
90% de toda a biomassa da Terra!



<http://www.nytimes.com/2015/05/07/science/under-the-sea-a-missing-link-in-the-evolution-of-complex-cells.html>

Bacteria and Archaea are both single-celled life

90% de toda a biomassa da Terra!

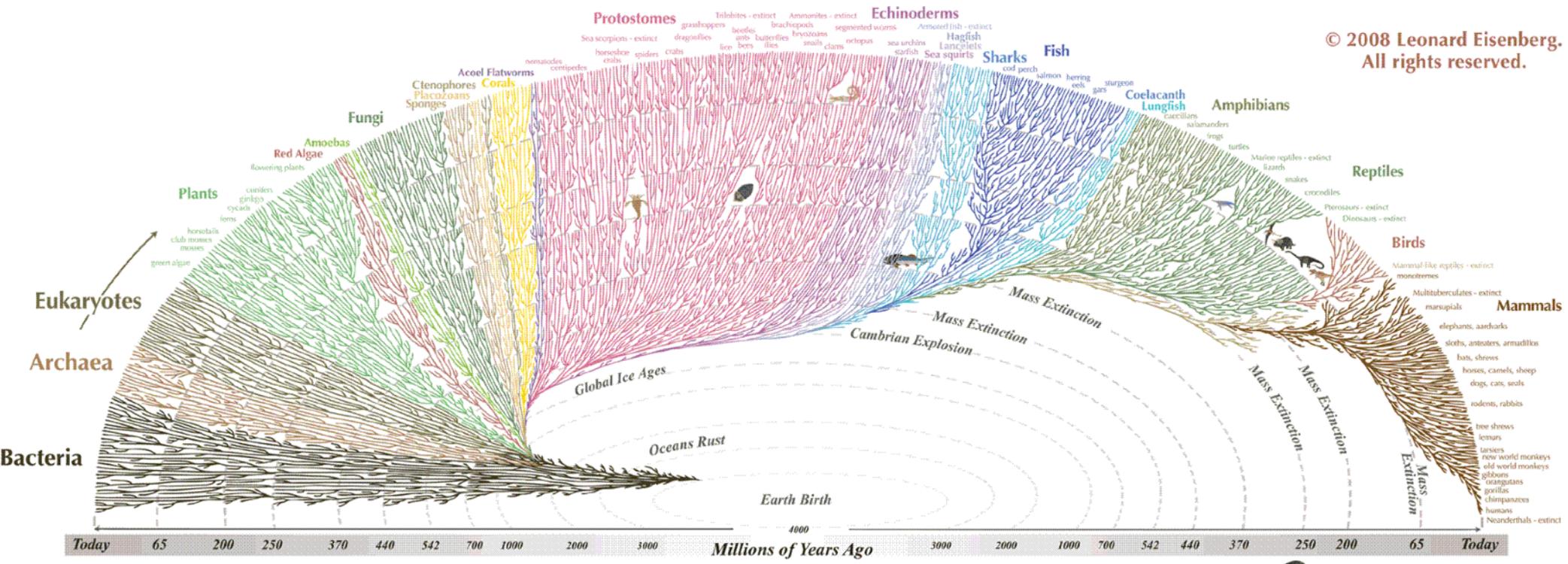


<http://www.nytimes.com/2015/05/07/science/under-the-sea-a-missing-link-in-the-evolution-of-complex-cells.html>

Bacteria and Archaea are both single-celled life

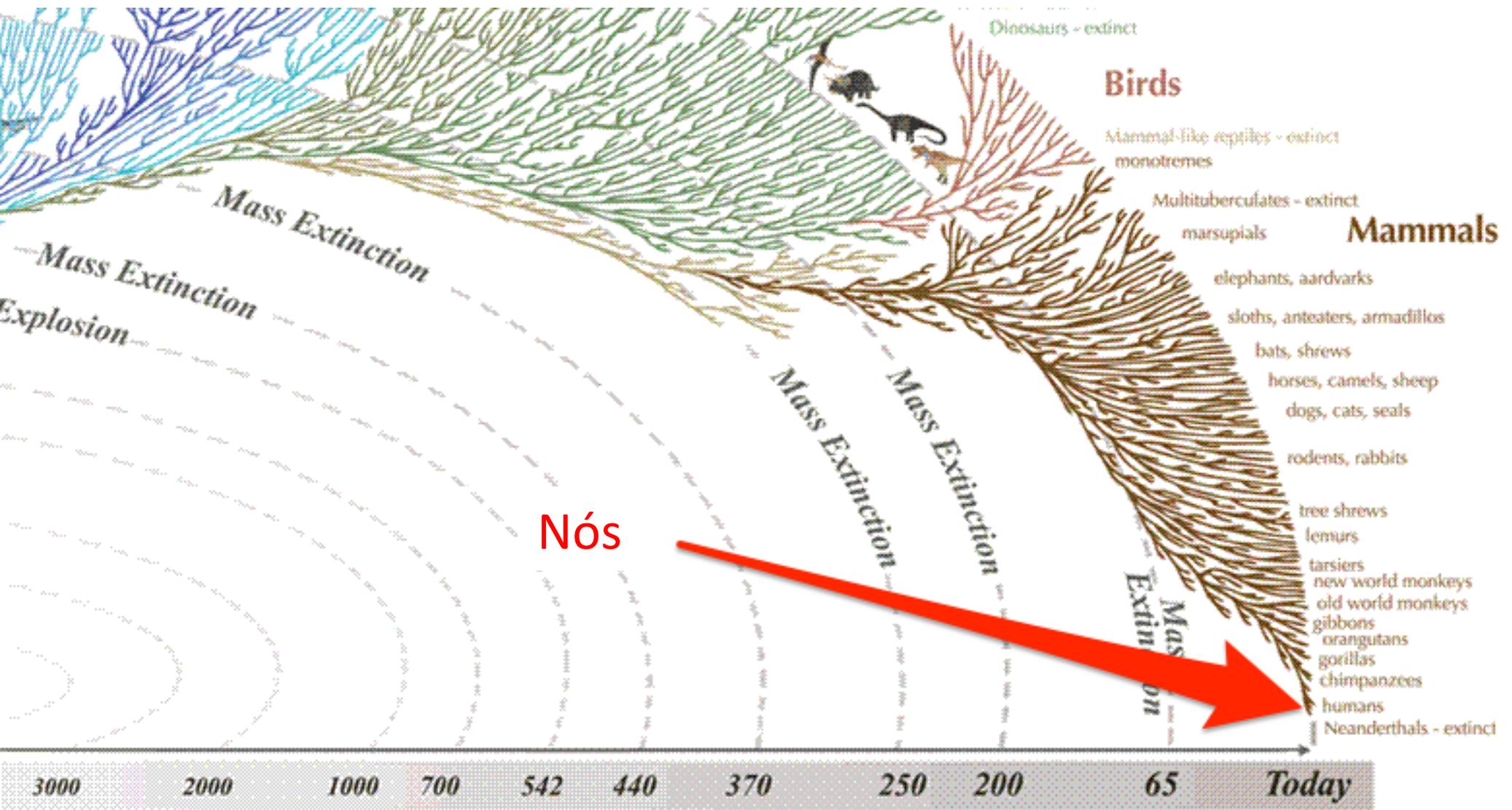
90% de toda a biomassa da Terra!

© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved.



All the major and many of the minor living branches of life are shown on this diagram, but only a few of those that have gone extinct are shown. Example: Dinosaurs - extinct

© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved. [evogenea.com](http://evogenea.com)



Nós

ose that have gone extinct are shown. Example: **Dinosaurs - extinct**



© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved.  
evogeneao.com



# Microorganismos extremófilos

- Temos mais células de micróbios (cerca de **1 trilhão na pele**, **10 bilhões na boca** e **100 trilhões no trato intestinal**) do que células humanas (10 trilhões) no nosso próprio corpo!!!
- A primeira forma de vida na Terra foi um micróbio, e foi a única existente durante os 3 primeiros bilhões de anos
- Há mais vida “dentro do solo” do que na superfície da Terra
- Micróbios podem viver em condições REALMENTE extremas.
- Candidatos **mais prováveis** a E.T!!!



# Microorganismos extremófilos

- Temos mais células de micróbios (cerca de **1 trilhão na pele**, **10 bilhões na boca** e **100 trilhões no trato intestinal**) do que células humanas (10 trilhões) no nosso próprio corpo!!!
- A primeira forma de vida na Terra foi um micróbio, e foi a única existente durante os 3 primeiros bilhões de anos
- Há mais vida "dentro do solo" do que na superfície da Terra
- Micróbios podem viver em condições REALMENTE extremas.
- Candidatos **mais prováveis** a E.T!!!



# O SISTEMA SOLAR



# Nosso Sistema Solar..

- ☑ Vários locais no nosso Sistema Solar podem ter sido, ou ainda ser, favoráveis à vida.
  - ✓ Marte?
  - ✓ Europa?
  - ✓ Titã?
  - ✓ Encelado?
  - ✓ Ganimedes (Júpiter)?
  - ✓ Outras Luas de Júpiter e Saturno?





# Nosso Sistema Solar..

- ☑ Vários locais no nosso Sistema Solar podem ter sido, ou ainda ser, favoráveis à vida.

- ✓ Marte?

- ✓ Europa?

- ✓ Titã?

- ✓ Encelado?

- ✓ Ganimedes (Júpiter)?

- ✓ Outras Luas de Júpiter e Saturno?

## E paramos por ai...

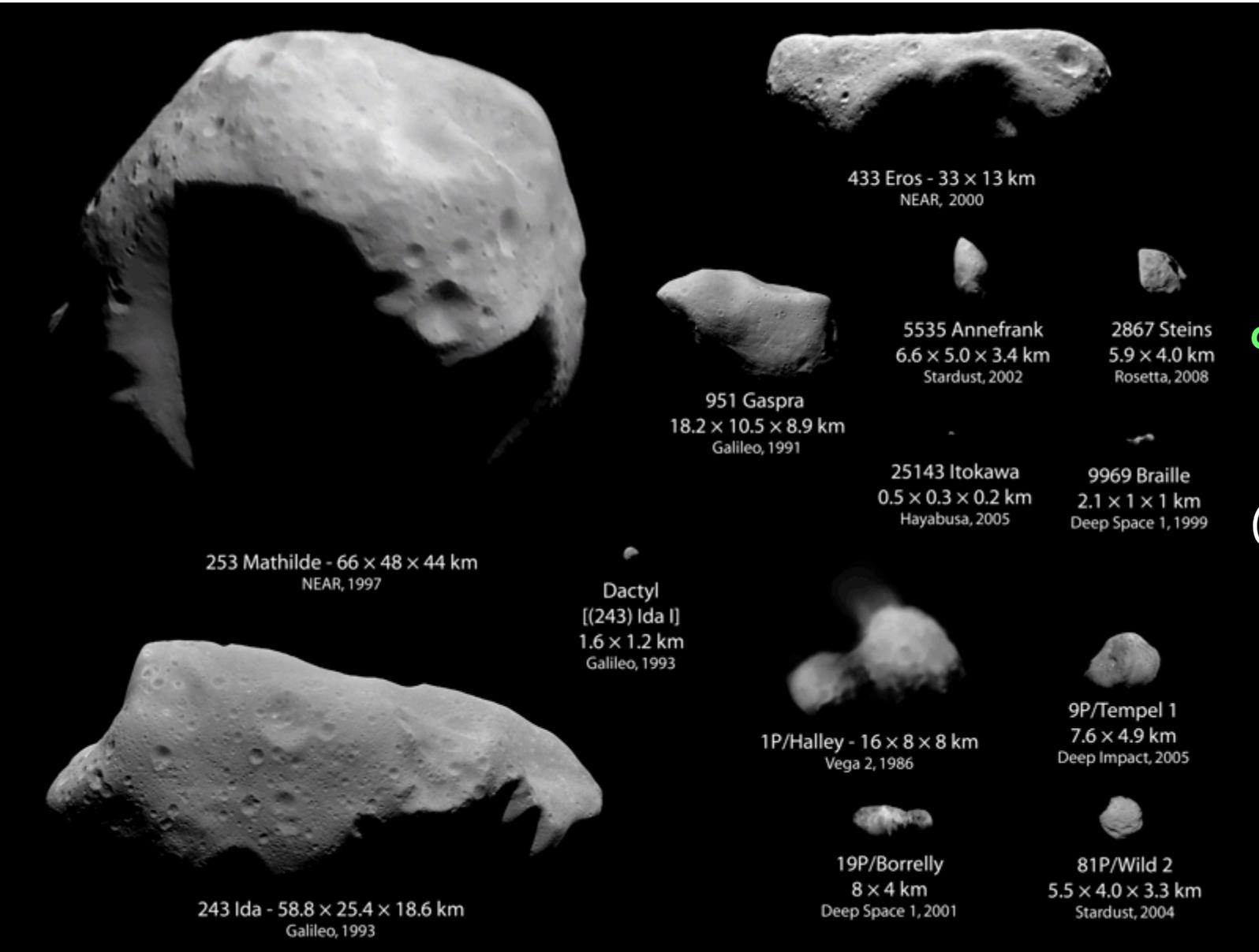
- ☑ A viagem até estrela mais próxima, Alfa Centauri, situada a 4,5 anos-luz (42,5 trilhões de km), levaria cerca de 173,5 mil anos para ser percorrida no ônibus espacial, a uma velocidade de 28000 km/h
- ☑ A sonda Juno é o objeto mais veloz produzido pelo homem e se move a 264.000 km/h





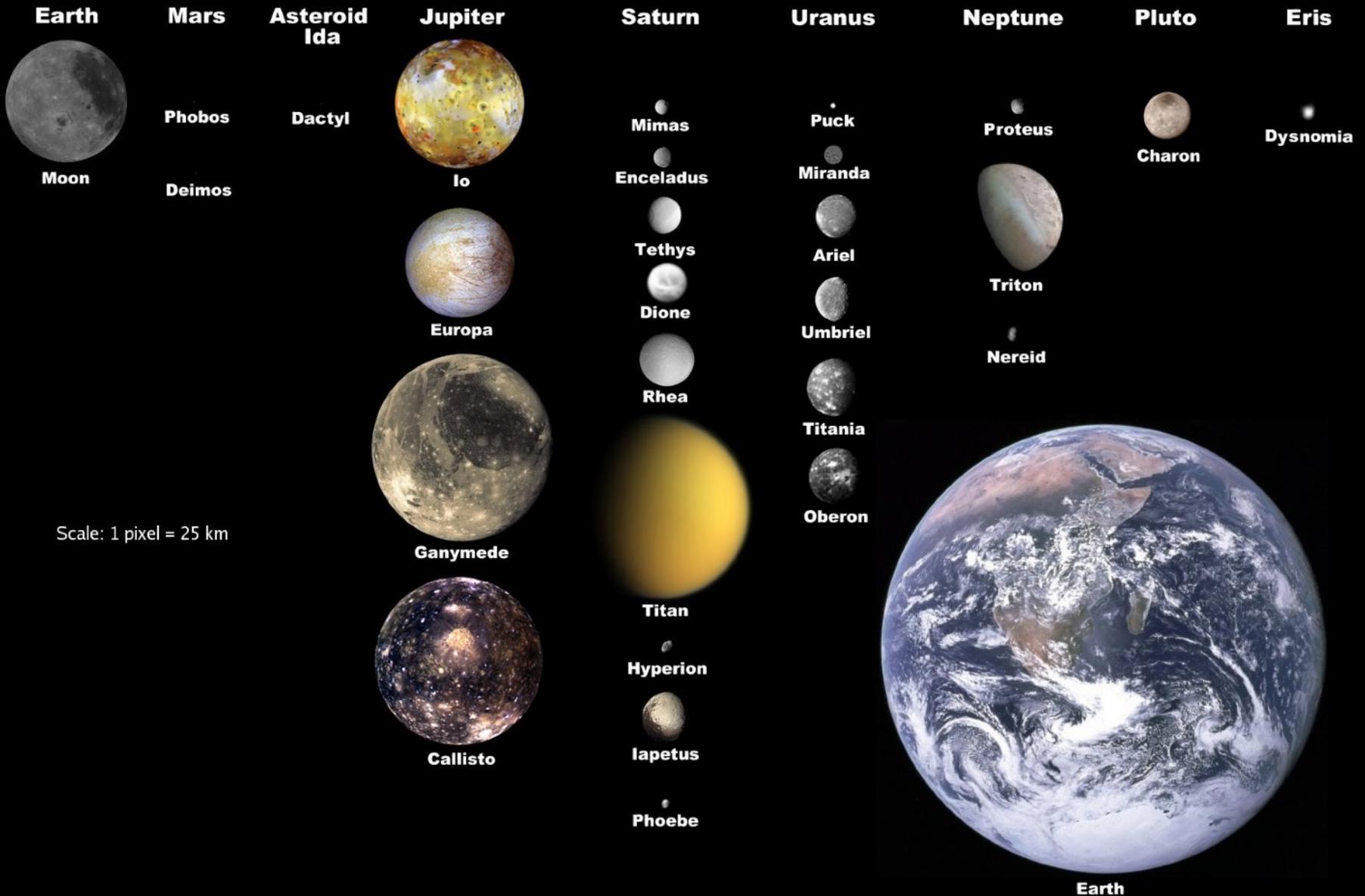
# Cometas e asteróides

(killerasteroids.org)



Importantes para  
Formação **deposição**  
**de orgânicos e H<sub>2</sub>O**  
e aniquilação  
**(extinção em massa**  
da vida na Terra

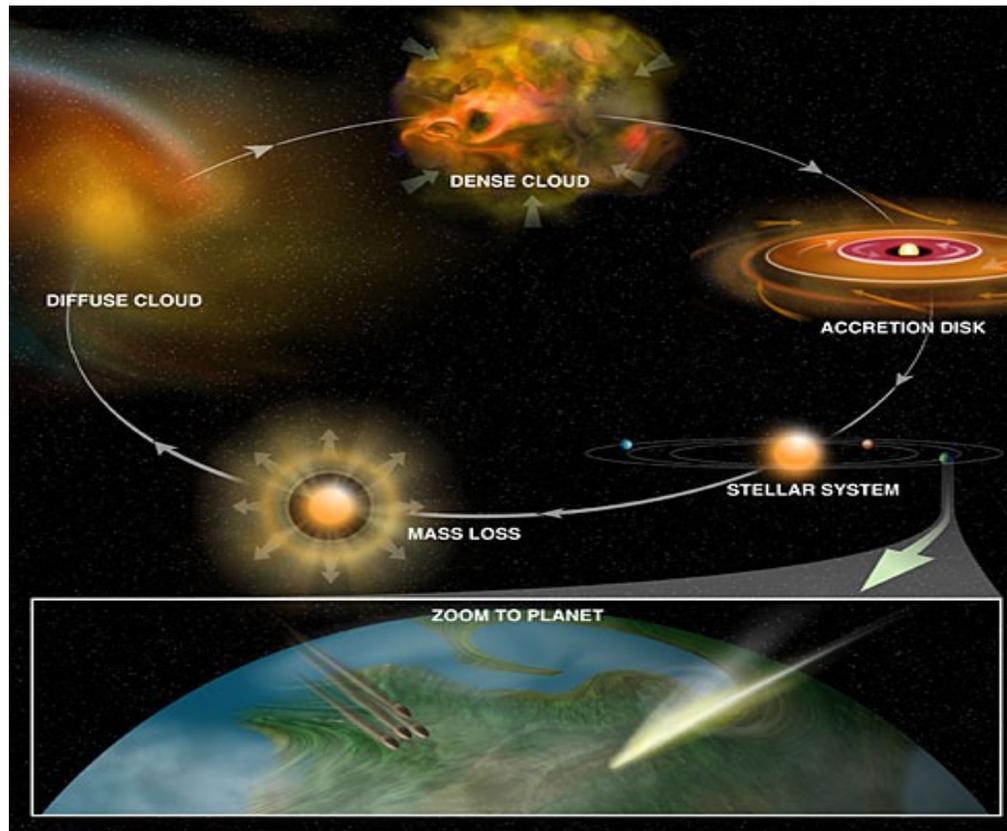
# Luas selecionadas do Sistema Solar (Terra em escala)



# Maiores objetos transnetunianos conhecidos

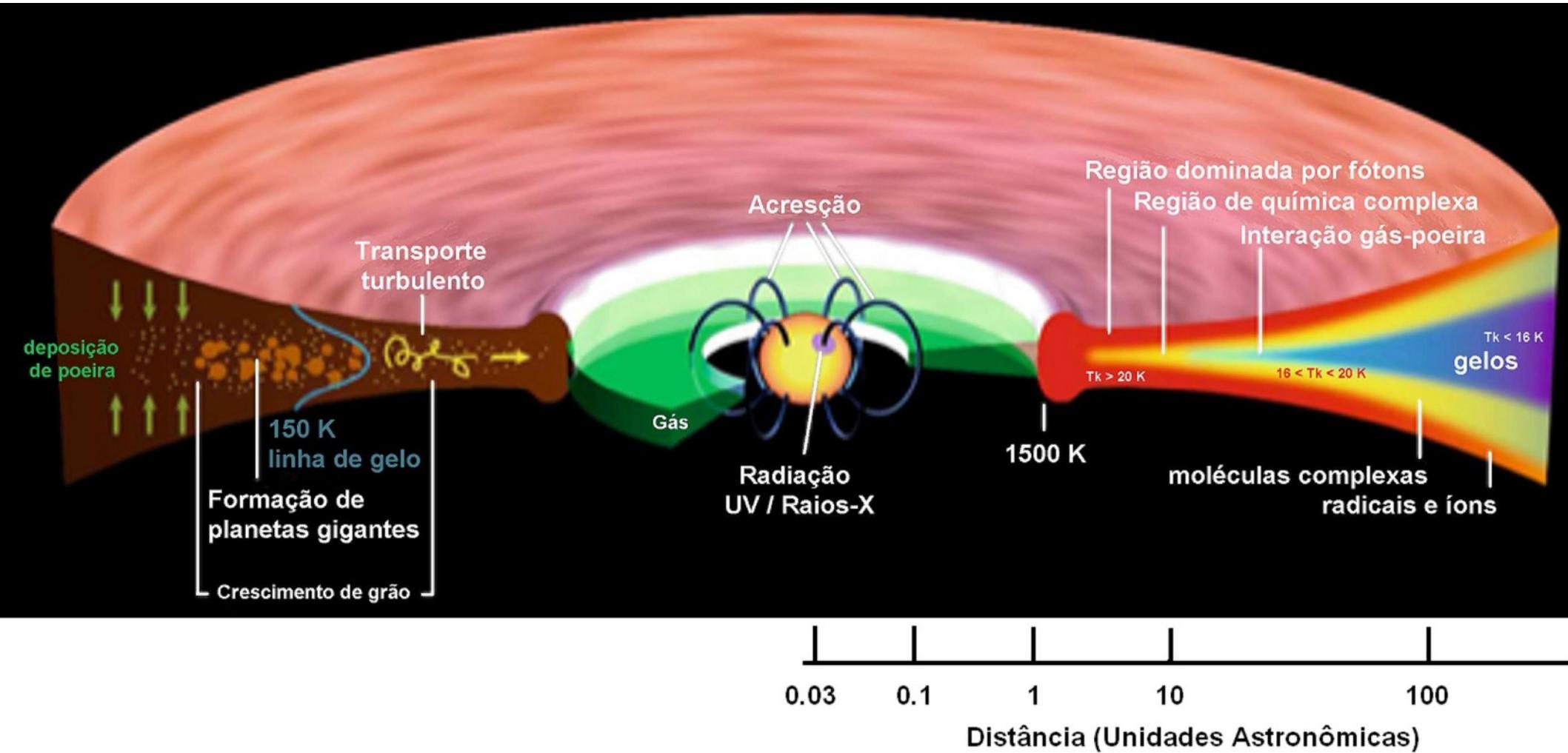


# Sistemas planetários: álbuns de família



Formação estelar é um processo físico essencial no esquema da “**Ecologia Galáctica**” e parte do ciclo permanente de nascimento e morte estelares.

# Um disco protoplanetário típico





# OUTROS SISTEMAS SOLARES



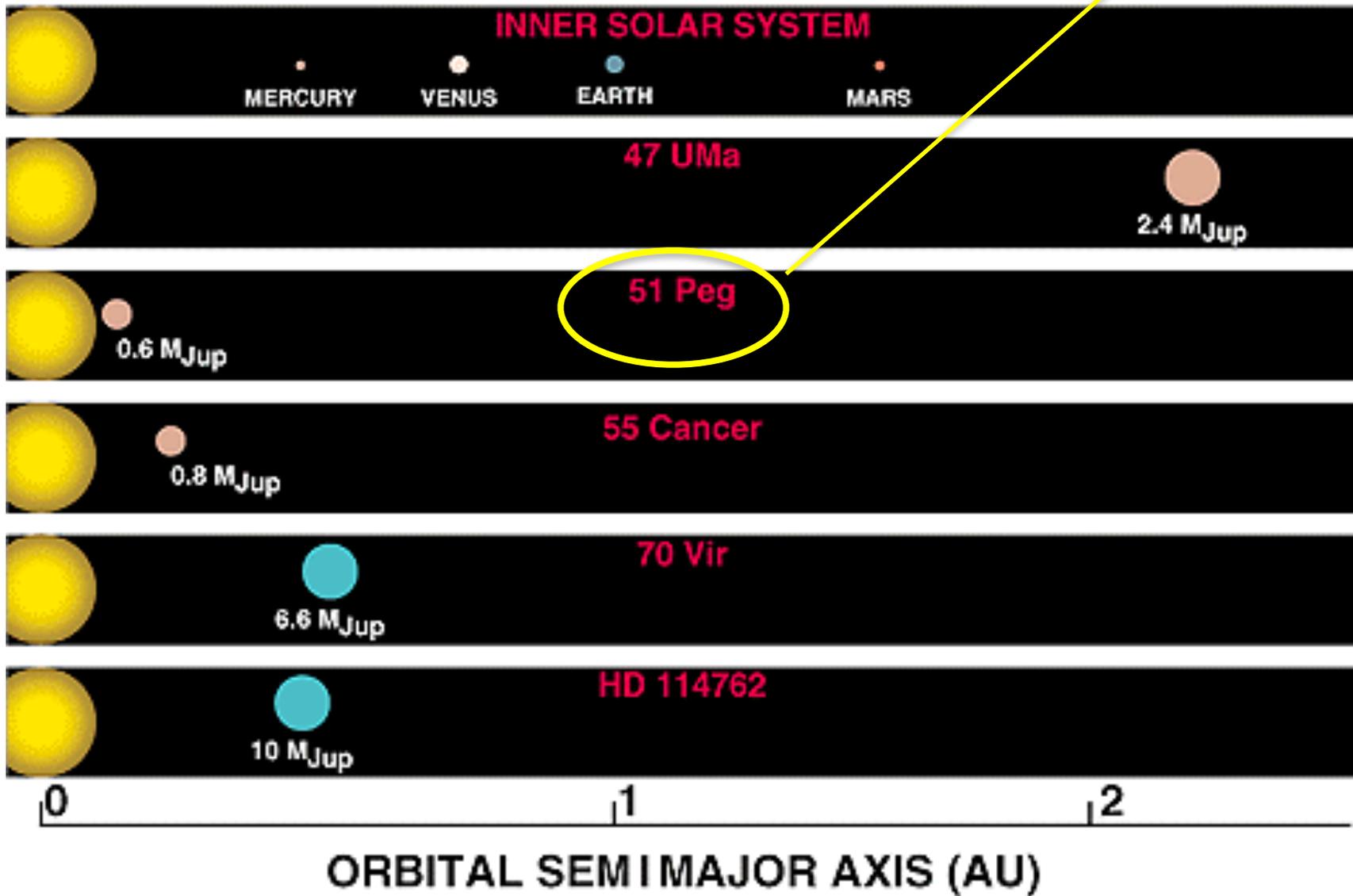
# Planetas fora do Sistema Solar

- ☑ detecção direta difícil (devido ao contraste da radiação emitida)
- ☑ detecção indireta:
  - ✓ variação da velocidade radial de uma estrela (ambos giram em torno do centro de massa do sistema)
  - ✓ trânsito de planeta na frente de estrelas (eclipse, órbitas praticamente perpendiculares ao plano do céu )
  - ✓ lente gravitacional (variação no brilho de objetos “atrás” de sistemas planetários, devido à gravidade)



# 1995 - 1997

Primeiro exoplaneta  
a ser detectado



Fonte: [http://cannon.sfsu.edu/~gmarcy/planetsearch/multi\\_panel.jpg](http://cannon.sfsu.edu/~gmarcy/planetsearch/multi_panel.jpg)



**Em 25/07/2006**

**185 planetas confirmados**

**151 sistemas planetários**

**19 sistemas com múltiplos planetas**

**Em 30/09/2010**

**492 planetas confirmados**

**388 sistemas planetários**

**45 sistemas com múltiplos planetas**

**Em 15/11/2014**

**1849 planetas confirmados**

**1160 sistemas planetários**

**471 sistemas com múltiplos planetas**



**Em 25/07/2006**

**185 planetas confirmados**

**151 sistemas planetários**

**19 sistemas com múltiplos planetas**

**Em 30/09/2010**

**492 planetas confirmados**

**388 sistemas planetários**

**45 sistemas com múltiplos planetas**

**Em 15/11/2014**

**1849 planetas confirmados**

**1160 sistemas planetários**

**471 sistemas com múltiplos planetas**

**Em 08/12/2016**

**•3545 planetas confirmados**

**•2660 sistemas planetários**

**•597 sistemas com múltiplos planetas**



**Em 25/07/2006**

185 planetas confirmados  
151 sistemas planetários  
19 sistemas com múltiplos planetas

**Em 30/09/2010**

492 planetas confirmados  
388 sistemas planetários  
45 sistemas com múltiplos planetas

**Em 15/11/2014**

1849 planetas confirmados  
1160 sistemas planetários  
471 sistemas com múltiplos planetas

**Em 08/12/2016**

- 3545 planetas confirmados
- 2660 sistemas planetários
- 597 sistemas com múltiplos planetas

**Em 14/03/2019**

**4005** planetas confirmados  
**2992** sistemas planetários  
**653** sistemas com múltiplos planetas



**Em 25/07/2006**

185 planetas confirmados  
151 sistemas planetários  
19 sistemas com múltiplos planetas

**Em 30/09/2010**

492 planetas confirmados  
388 sistemas planetários  
45 sistemas com múltiplos planetas

**Em 15/11/2014**

1849 planetas confirmados  
1160 sistemas planetários  
471 sistemas com múltiplos planetas

**Em 08/12/2016**

- 3545 planetas confirmados
- 2660 sistemas planetários
- 597 sistemas com múltiplos planetas

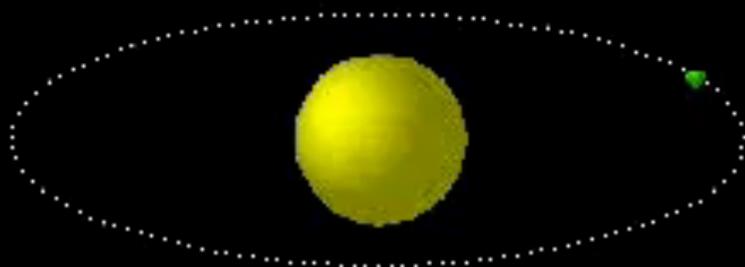
**Em 14/03/2019**

**4005** planetas confirmados  
**2992** sistemas planetários  
**653** sistemas com múltiplos planetas

**2408 dias do pouso da Curiosity**

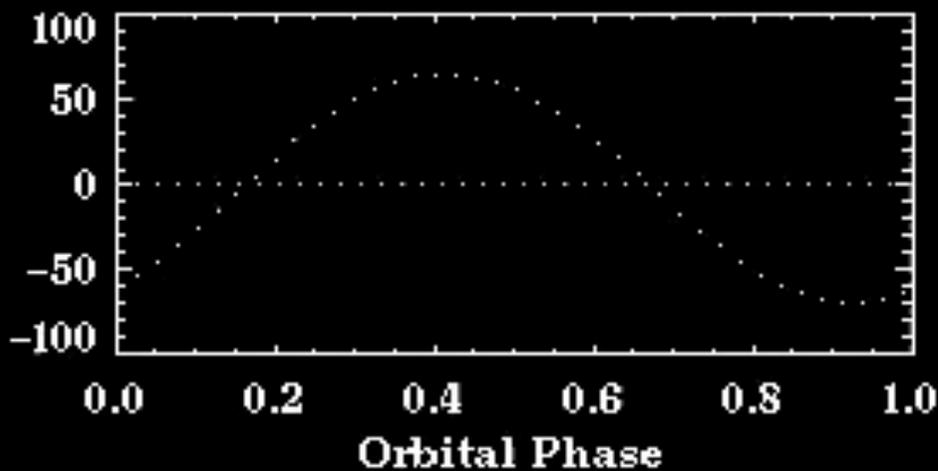
**9922 dias desde a descoberta do primeiro exoplaneta**

**Circular Orbit: rho CrB**



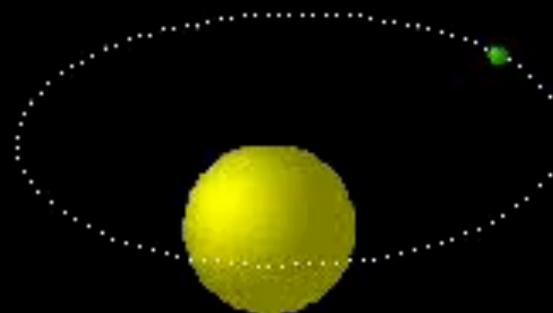
$K = 67.4 \text{ m/s}$        $e = 0.03$   
 $\omega = 210.0 \text{ deg.}$        $\sin(i) = 0.3 (*)$

**Radial Velocity Curve  
of the Star [m/s]**



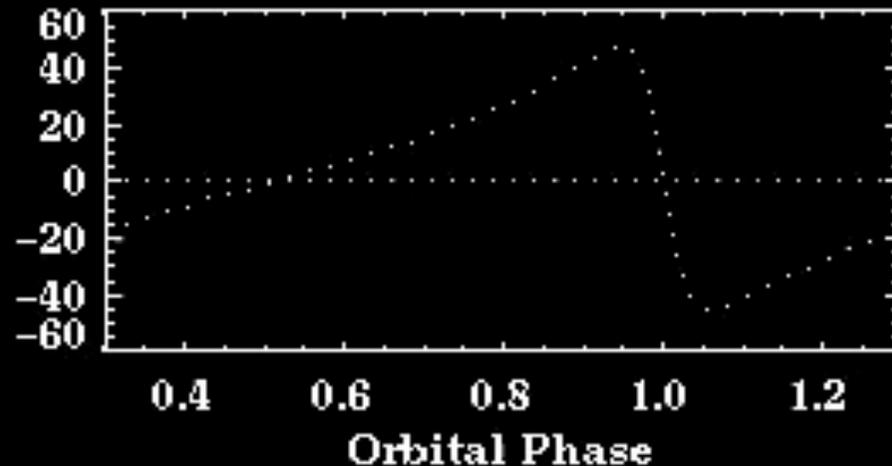
S.G. Korzennik (CfA, © 1997)

**Highly Eccentric Orbit: 16 Cyg B**



$K = 46.6 \text{ m/s}$        $e = 0.67$   
 $\omega = 86.8 \text{ deg.}$        $\sin(i) = 0.3 (*)$

**Radial Velocity Curve  
of the Star [m/s]**



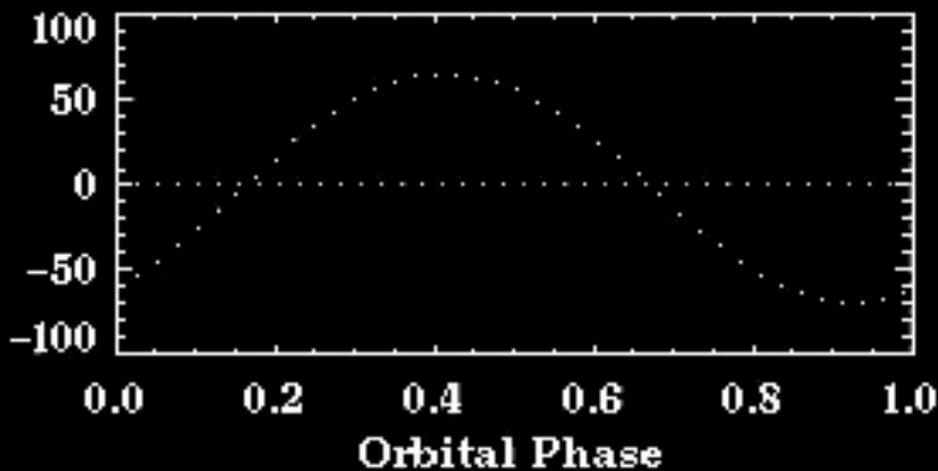
S.G. Korzennik (CfA, © 1997)

**Circular Orbit: rho CrB**



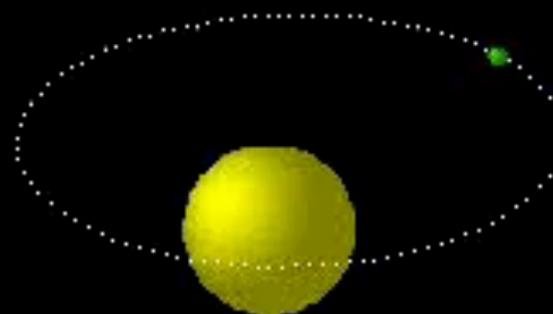
$K = 67.4 \text{ m/s}$        $e = 0.03$   
 $\omega = 210.0 \text{ deg.}$        $\sin(i) = 0.3 (*)$

**Radial Velocity Curve  
of the Star [m/s]**



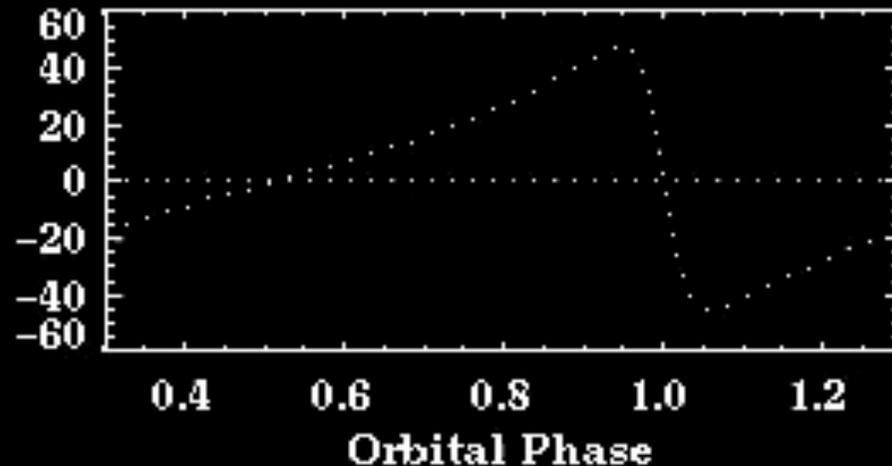
S.G. Korzennik (CfA, © 1997)

**Highly Eccentric Orbit: 16 Cyg B**



$K = 46.6 \text{ m/s}$        $e = 0.67$   
 $\omega = 86.8 \text{ deg.}$        $\sin(i) = 0.3 (*)$

**Radial Velocity Curve  
of the Star [m/s]**



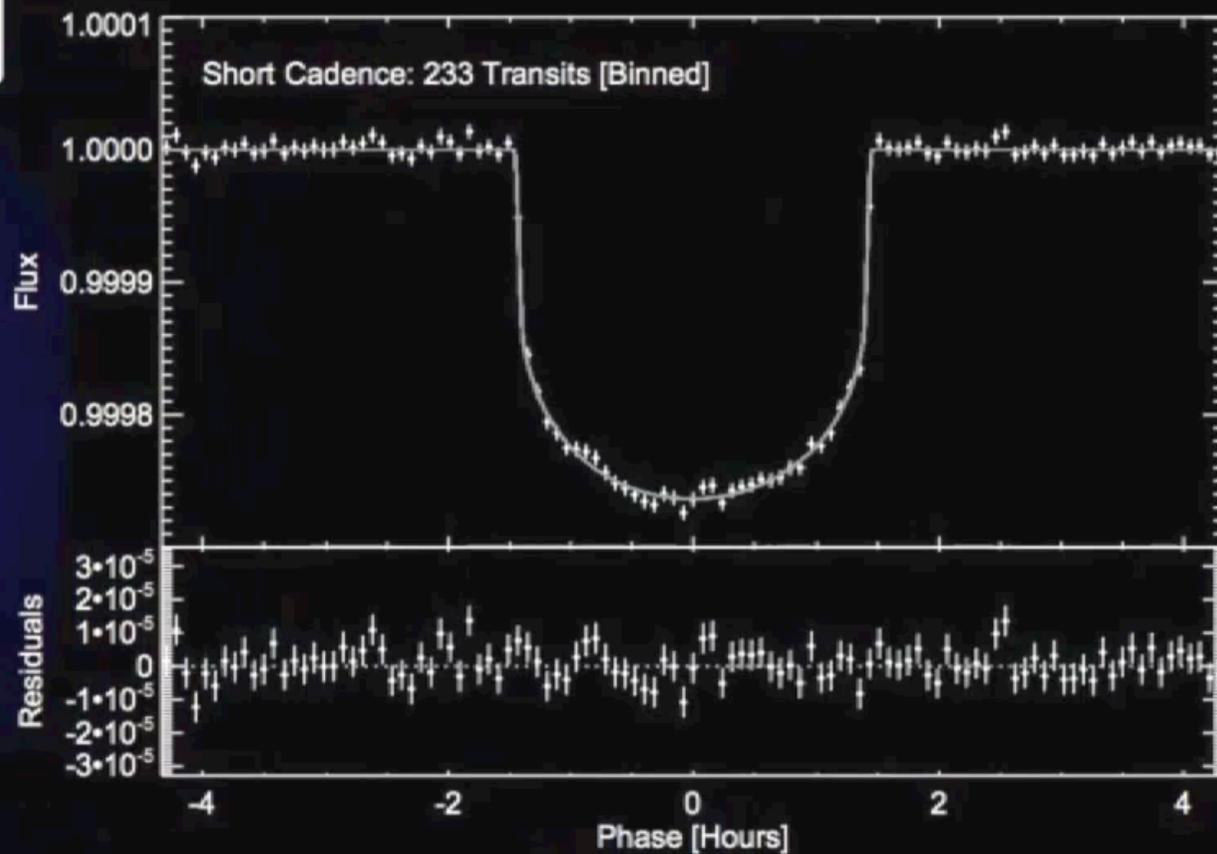
S.G. Korzennik (CfA, © 1997)



science @ NASA



Artist concept

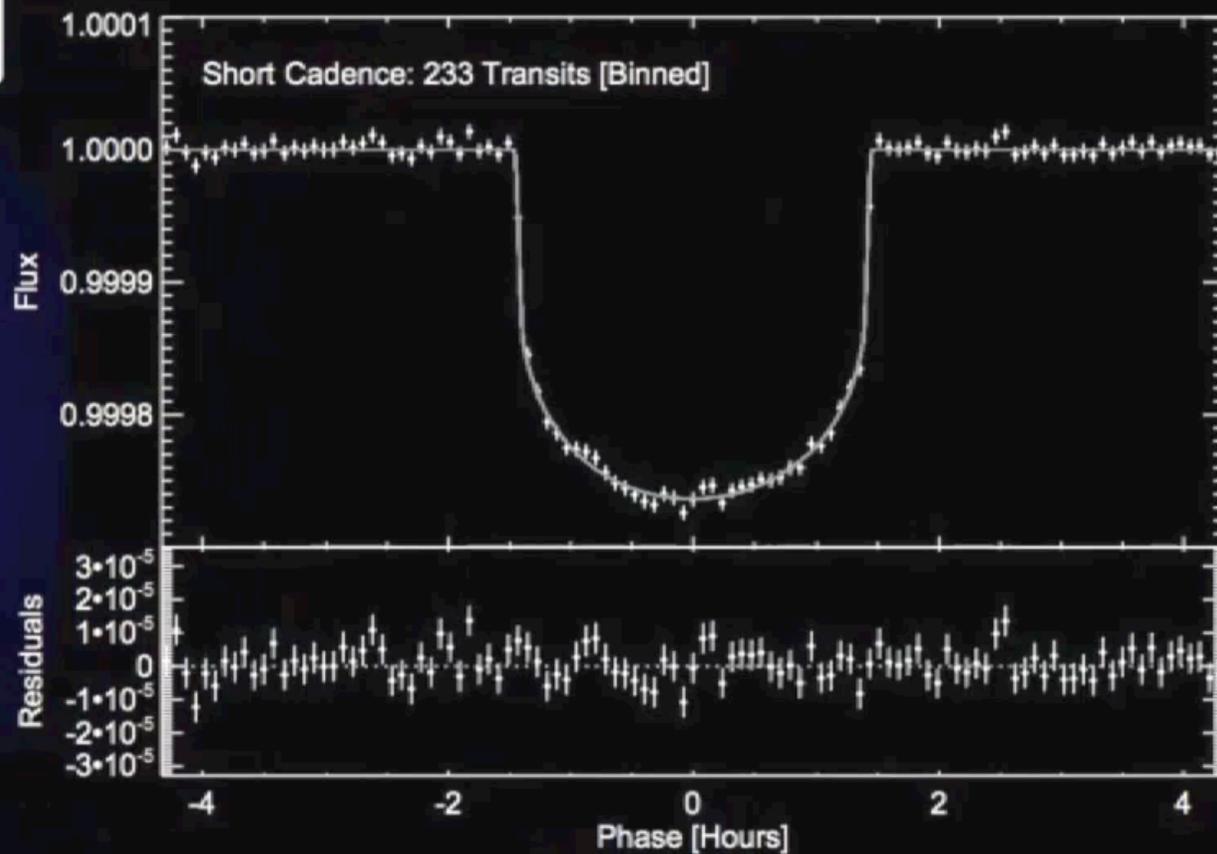




science @ NASA



Artist concept

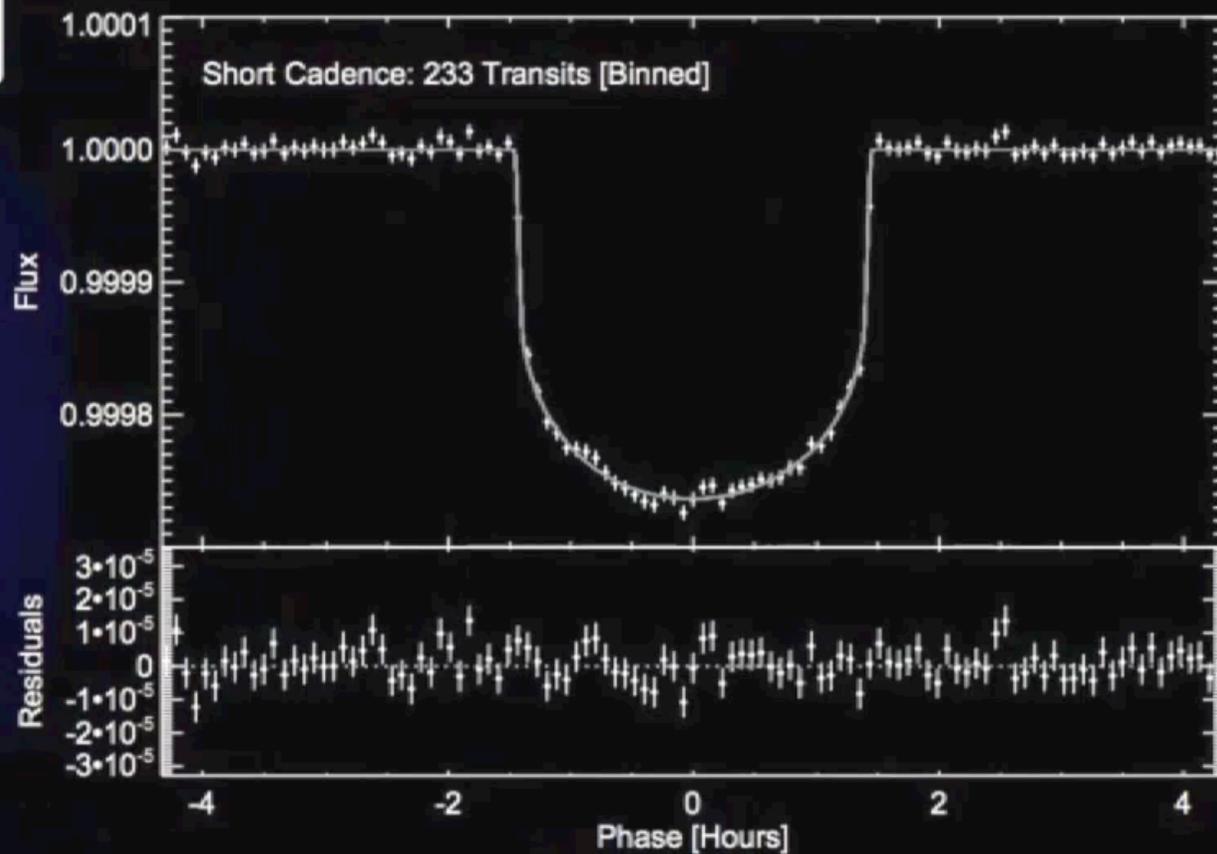




science @ NASA

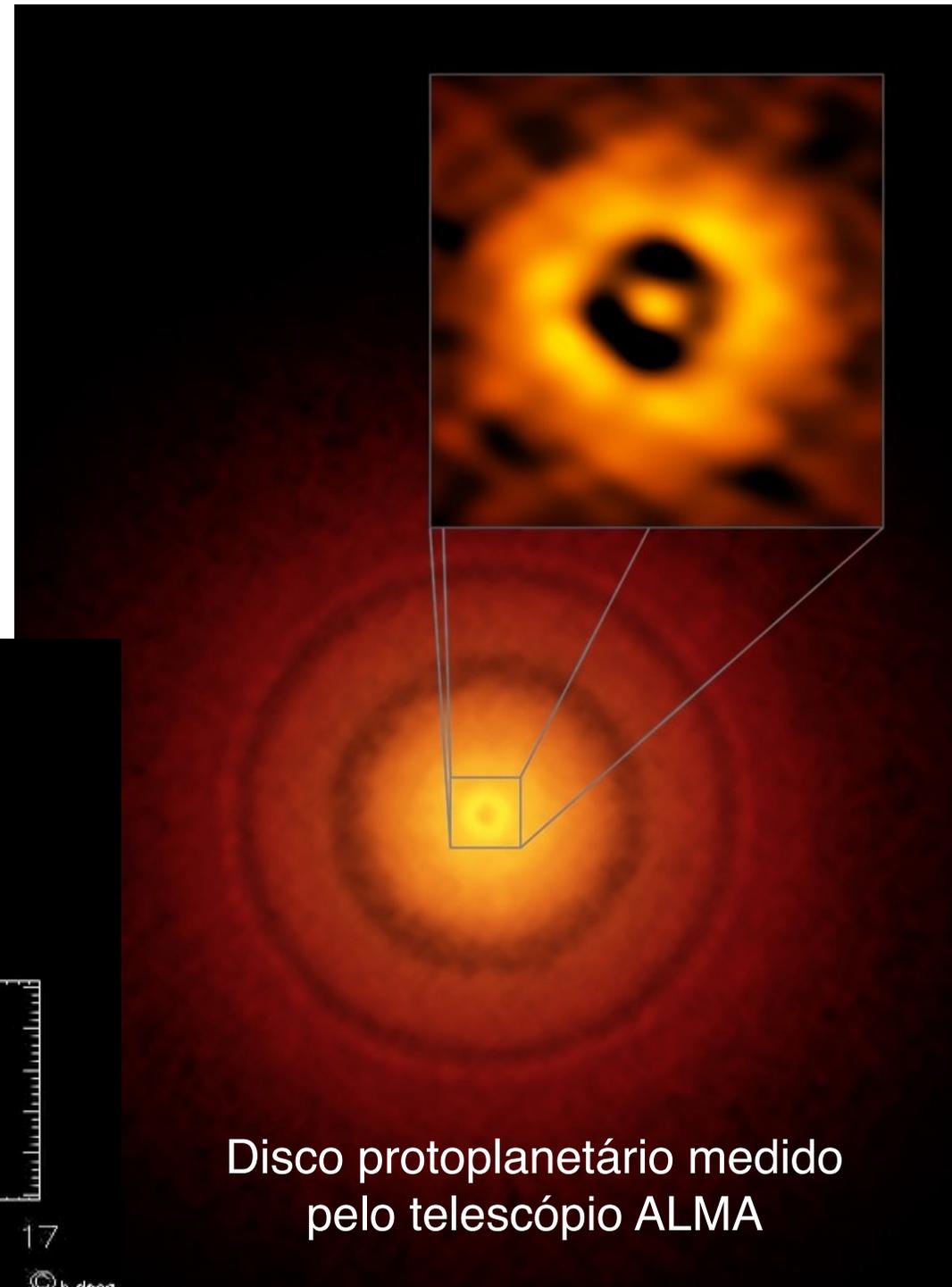
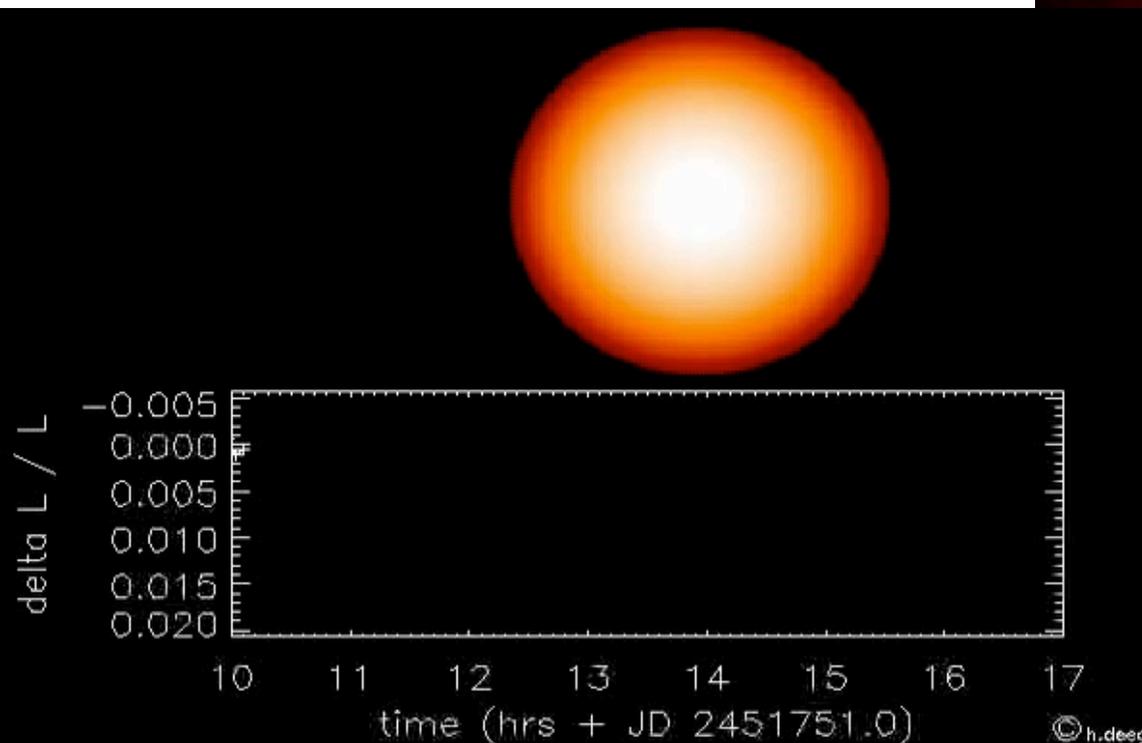


Artist concept



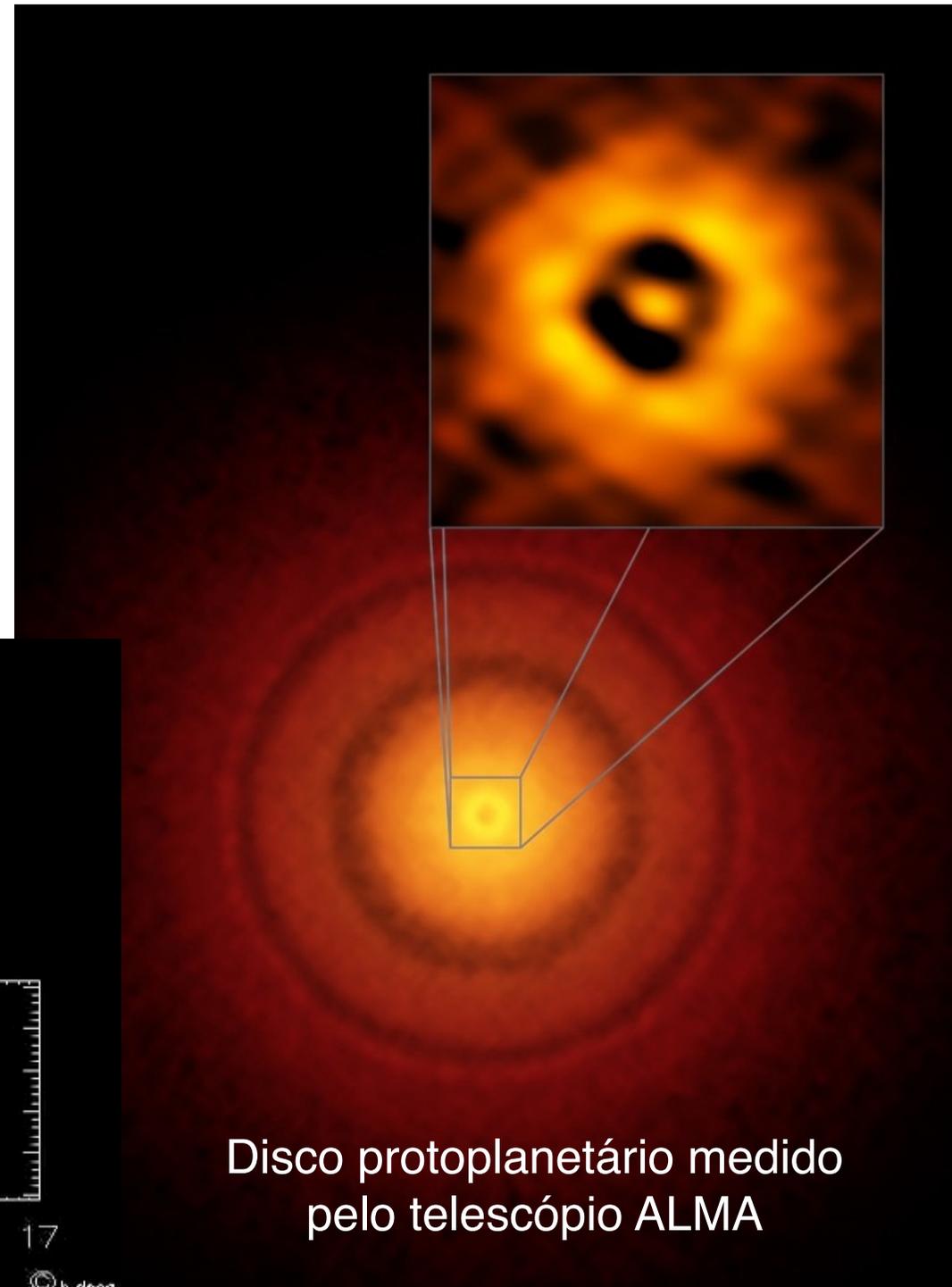
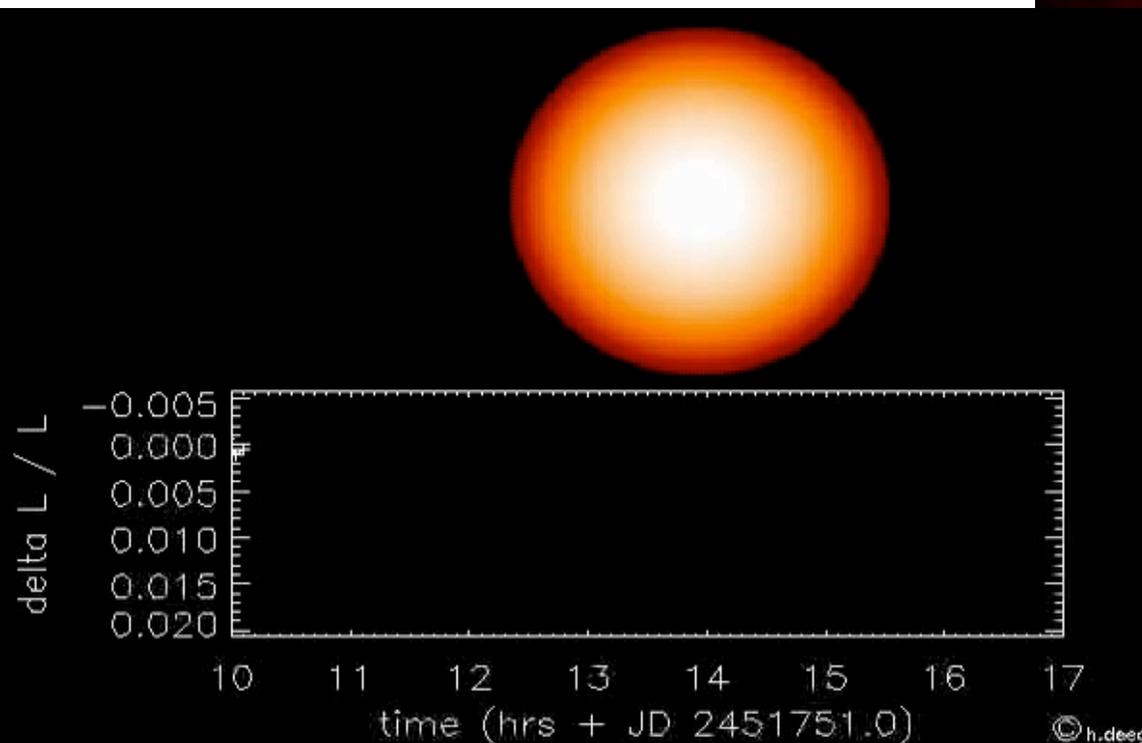
# O futuro, hoje!!!

- ☑ Medidas de trânsitos planetários

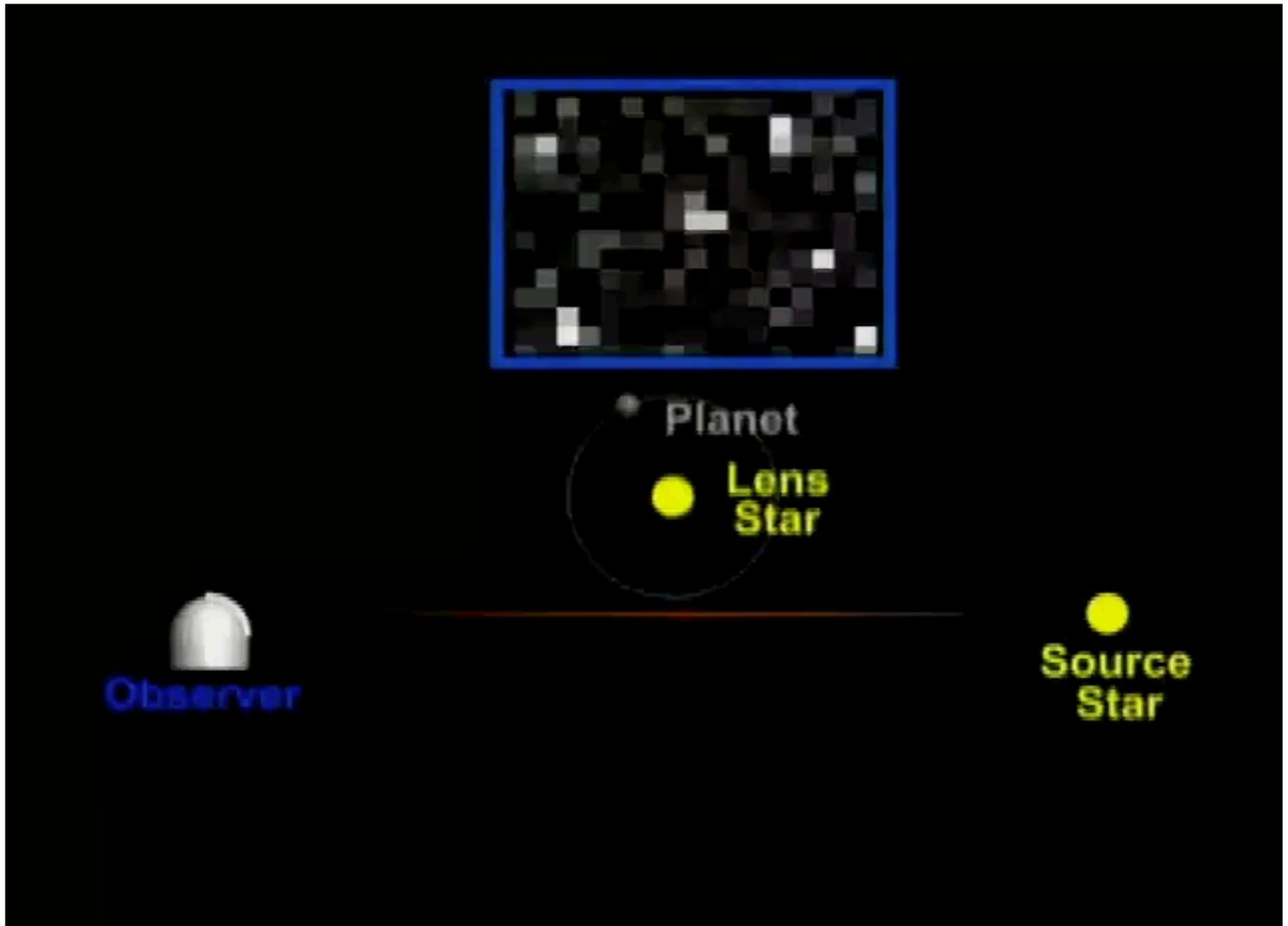


# O futuro, hoje!!!

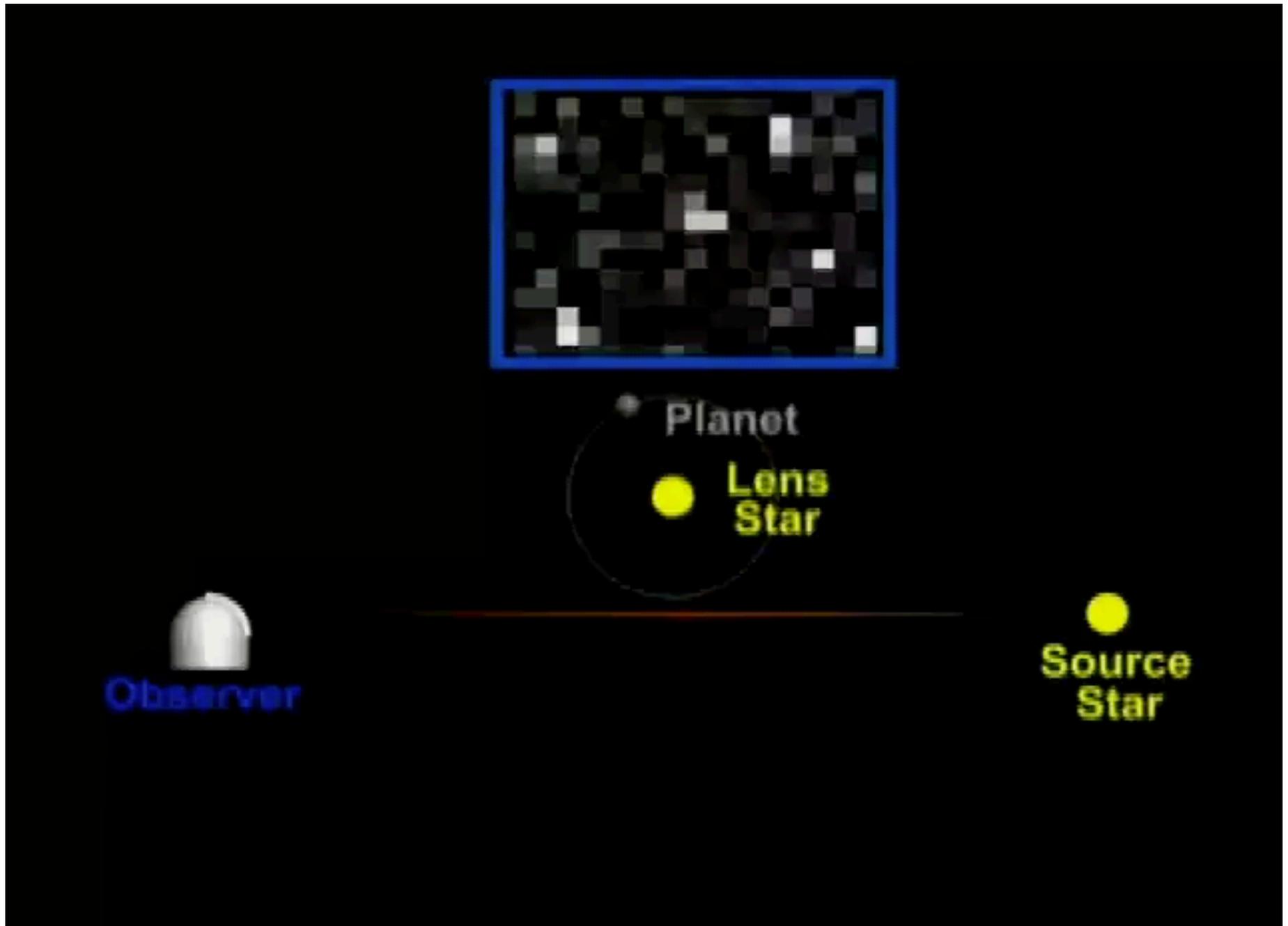
- ☑ Medidas de trânsitos planetários



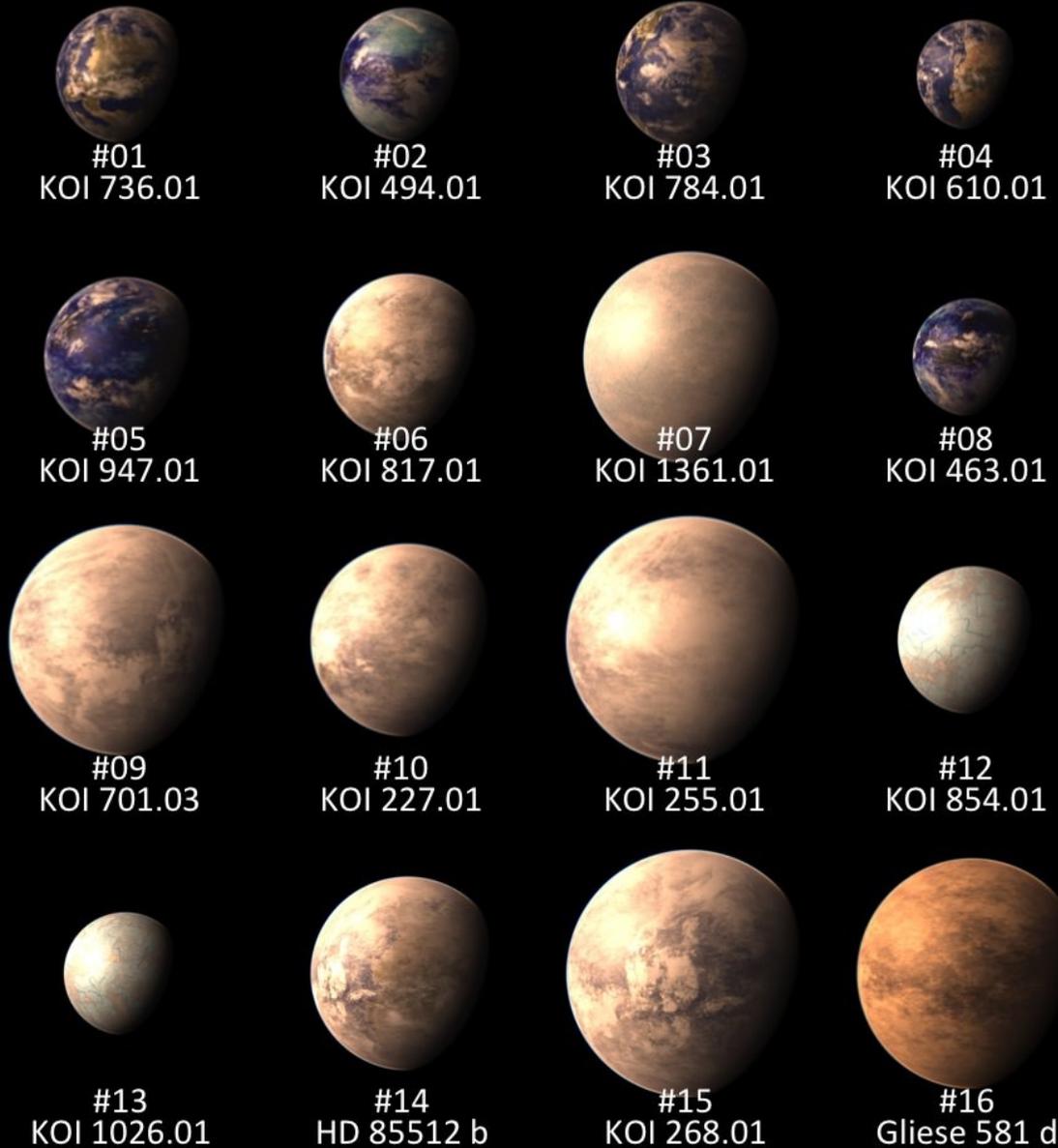
# Microlentes gravitacionais



# Microlentes gravitacionais



# Potenciais mundos habitados "no Universo"



Scientists are starting to identify potential habitable exoplanets in over 2,000 exoplanets that have been detected so far. Here is the current working list of 16 potential habitable exoplanets candidates ranked by similarity to Earth, from best to worst. All are to scale and can be compared to Earth, Venus, Mars, and Mercury below.

## Solar System Terrestrial Planets

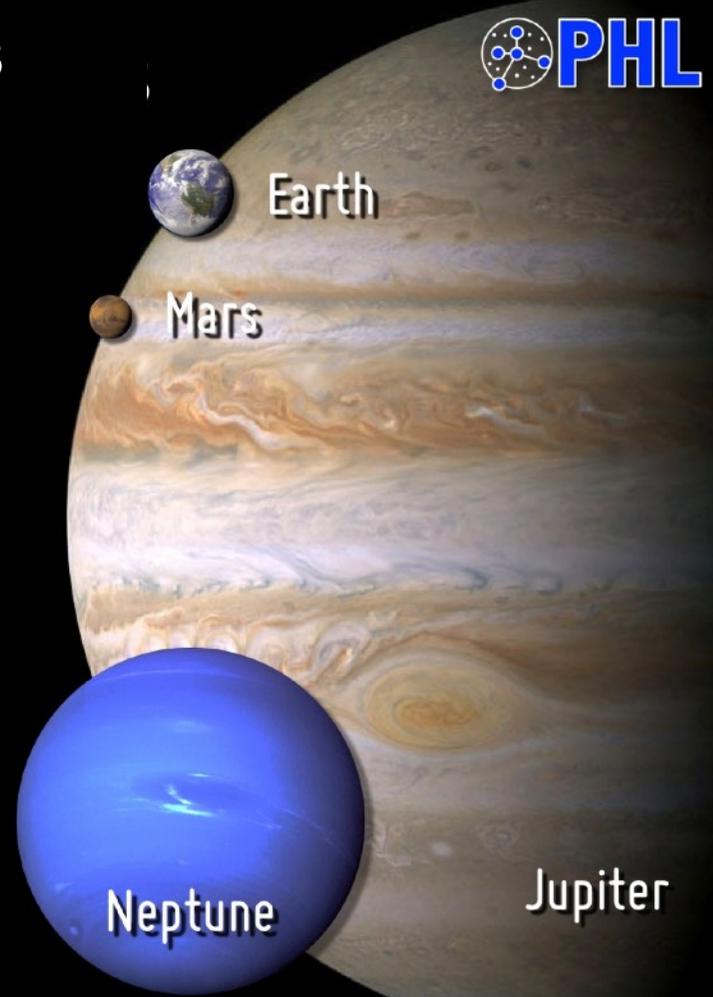
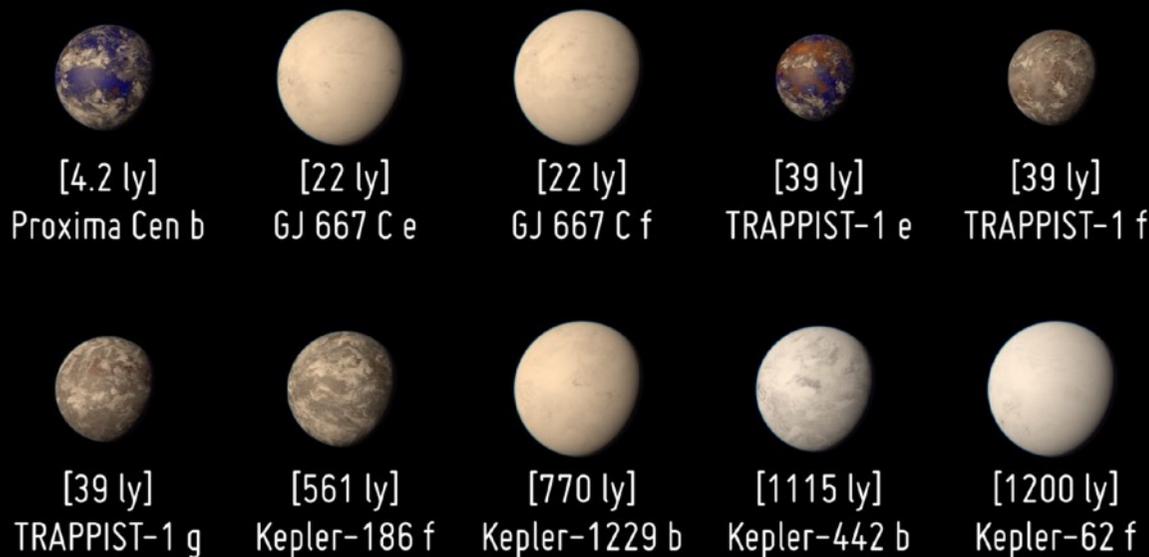


Updated: Dec 5, 2011

CREDIT: The Habitable Exoplanets Catalog, Planetary Habitability Laboratory @ UPR Arcibo (phl.upr.edu)

# Planetas potencialmente habitáveis

Organizados por distância à Terra (anos luz)



Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth is between brackets.

CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) Feb 1, 2019



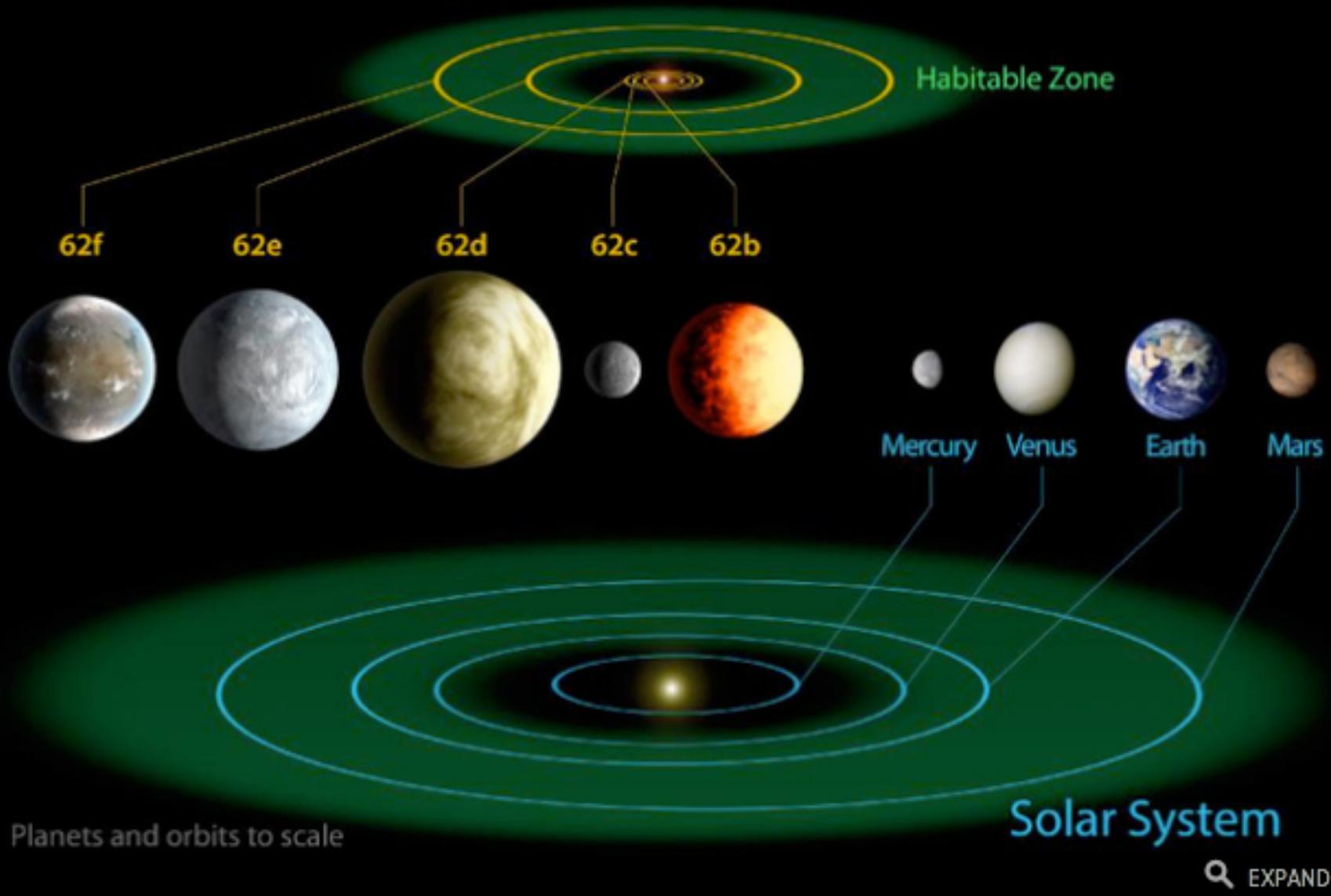
# O Zoológico de exoplanetas



# O Zoológico de exoplanetas

## Kepler-62 System

Borucki et al. Science, 340, 6132, pp. 587-590 (3 May 2013)





# Missões para busca e estudo de exoplanetas

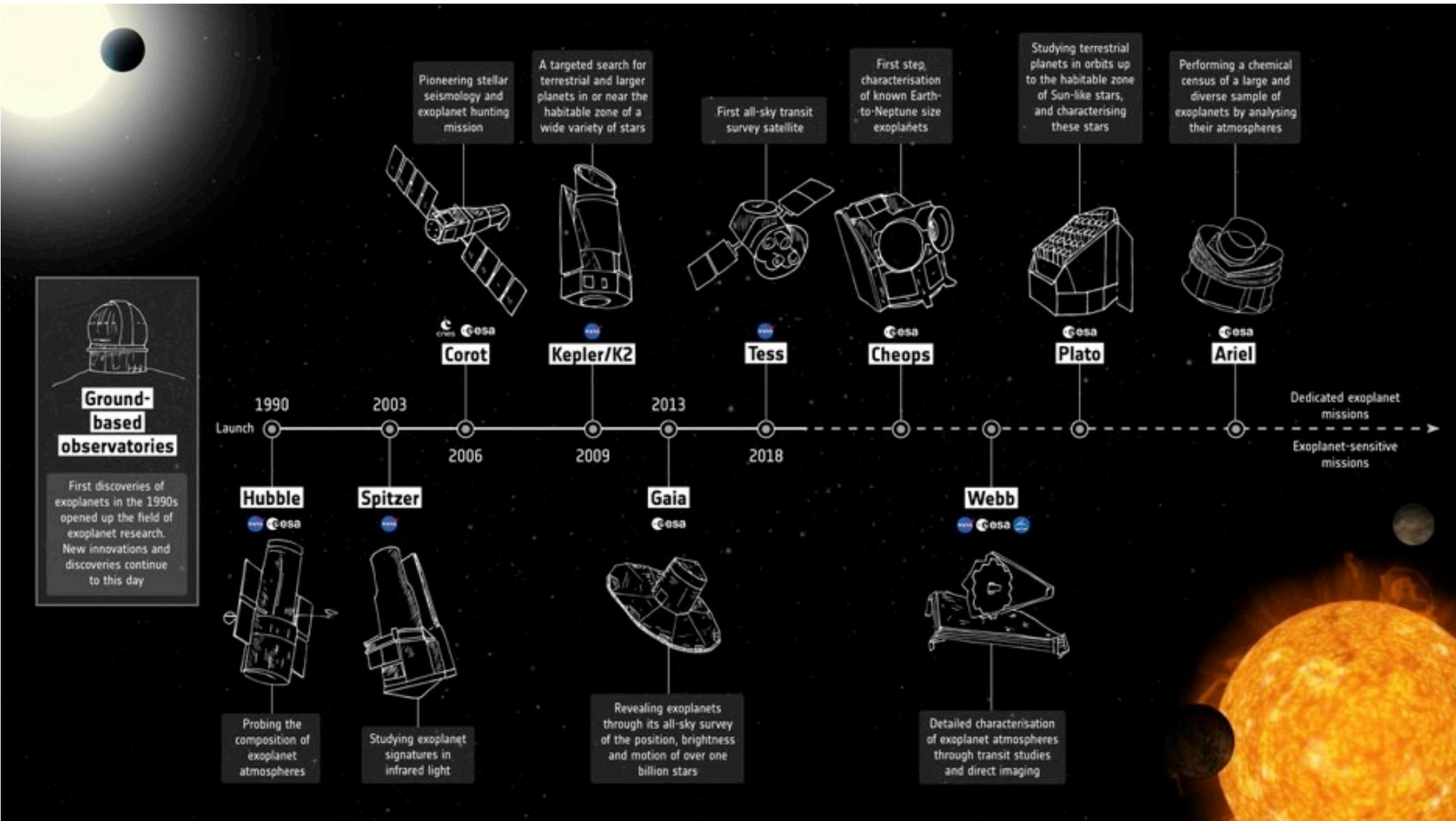
## Espaço

- ☑ CoRoT (2006–2012)
- ☑ **Kepler (2009–2018)**
- ☑ Gaia (desde 2013)
- ☑ TESS (desde 2018)
- ☑ CHEOPS (2019)
- ☑ PLATO (2026)

## Solo

- ☑ APF (desde 2013)
- ☑ HATNet (desde 2001)
- ☑ HARPS (desde 2003)
- ☑ NGTS (desde 2015)
- ☑ PlanetQuest (desde 2002)
- ☑ SuperWASP (since 2002)

# O Futuro...



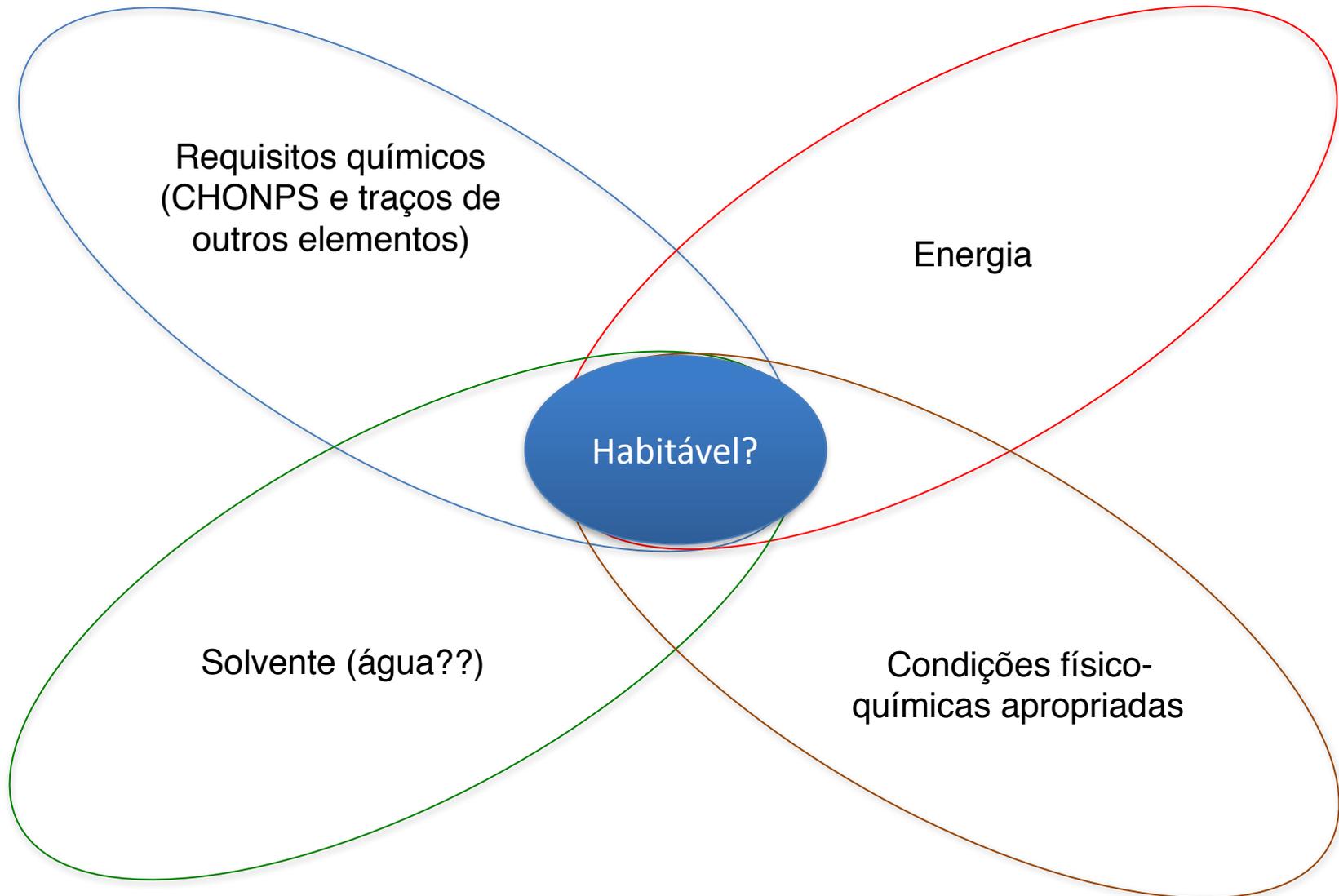


# Alguns pontos para reflexão...

- ☑ Habitabilidade deve ser pensada do ponto de vista da **Galáxia**, da **estrela hospedeira** e do **tipo de planeta** que orbita essa estrela
- ☑ Região habitável **não garante** planetas habitados!!!!
- ☑ Quais as características que possibilitam o **surgimento da vida em um planeta rochoso?**
- ☑ Condições **geofísicas, geológicas e planetárias** também foram essenciais para habitabilidade na Terra.
- ☑ **Não se aborda (AINDA) a questão da evolução da vida.**



# Resumo dos ingredientes para habitabilidade instantânea





# O que conhecemos hoje???

- ☑ Os elementos e condições básicas para a formação da vida como a conhecemos estão espalhados pelo Universo.
- ☑ Foram encontrados até hoje milhares de planetas extra-solares, e vários de tamanho semelhantes à Terra, sendo o primeiro planeta terrestre descoberto em 2005.
- ☑ A busca de sinais extraterrestres inteligentes ainda não apresentou, depois de mais de 40 anos, nenhum resultado positivo confirmado (NÃO DISCUTIDO AQUI – RESULTADO DOS PROJETOS SETI)

**A possibilidade de existência de algo não quer dizer que esse algo exista!!!!**



# Algumas informações...

- ☑ Esse material foi adaptado das aulas da disciplina do programa de pós-graduação em astrofísica do INPE ministrada em nível de mestrado/doutorado desde 2016

## Fundamentos de Astrobiologia

- ☑ Um livro de divulgação sobre astrobiologia foi editado por uma equipe da Universidade de São Paulo e pode ser baixado gratuitamente em formato eletrônico do site

<http://tikinet.kinghost.net>

- ☑ Se quiserem mais informações, é só me escrever

[ca.wuensche@inpe.br](mailto:ca.wuensche@inpe.br)





The background of the slide is a large, circular map of the Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuations. The map shows a complex pattern of temperature variations across the sky, with colors ranging from blue (cooler) to red (warmer). The fluctuations are most prominent in the lower-frequency, large-scale structure.

OBRIGADO!