



EVOLUÇÃO QUÍMICA CÓSMICA

e a relação da metalicidade
com fenômenos astrofísicos

Lia Camargo Corazza

Dr. Oswaldo D. Miranda

Dr. Carlos A. Wuensche

**Workshop DAS INPE
8 e 9 de maio de 2018**

O que é evolução química?

A evolução química é a área que estuda o processo de evolução de produção dos elementos químicos.

É por causa dos elementos químicos que vemos estrelas, galáxias e planetas. Ou seja, os metais são essenciais para a formação de qualquer coisa no Universo.

Os metais se formam em estrelas. Precisamos saber características de formação estelar, dos processos nucleares, dos processos no final da vida das estrelas, etc... Conseguimos estimar bem a evolução química... da galáxia! (principalmente por causa das observações)

O que é evolução química?

A evolução química é a área que estuda o processo de evolução de produção dos elementos químicos.

É por causa dos elementos químicos que vemos estrelas, galáxias e planetas. Ou seja, os metais são essenciais para a formação de qualquer coisa no Universo.

Os metais se formam em estrelas. Precisamos saber características de formação estelar, dos processos nucleares, dos processos no final da vida das estrelas, etc... Conseguimos estimar bem a evolução química... da galáxia! (principalmente por causa das observações)

Então como juntamos isso com Cosmologia? Como os metais aparecem e evoluem ao longo da história do Universo?

O que é evolução química?

A evolução química é a área que estuda o processo de evolução de produção dos elementos químicos.

É por causa dos elementos químicos que vemos estrelas, galáxias e planetas. Ou seja, os metais são essenciais para a formação de qualquer coisa no Universo.

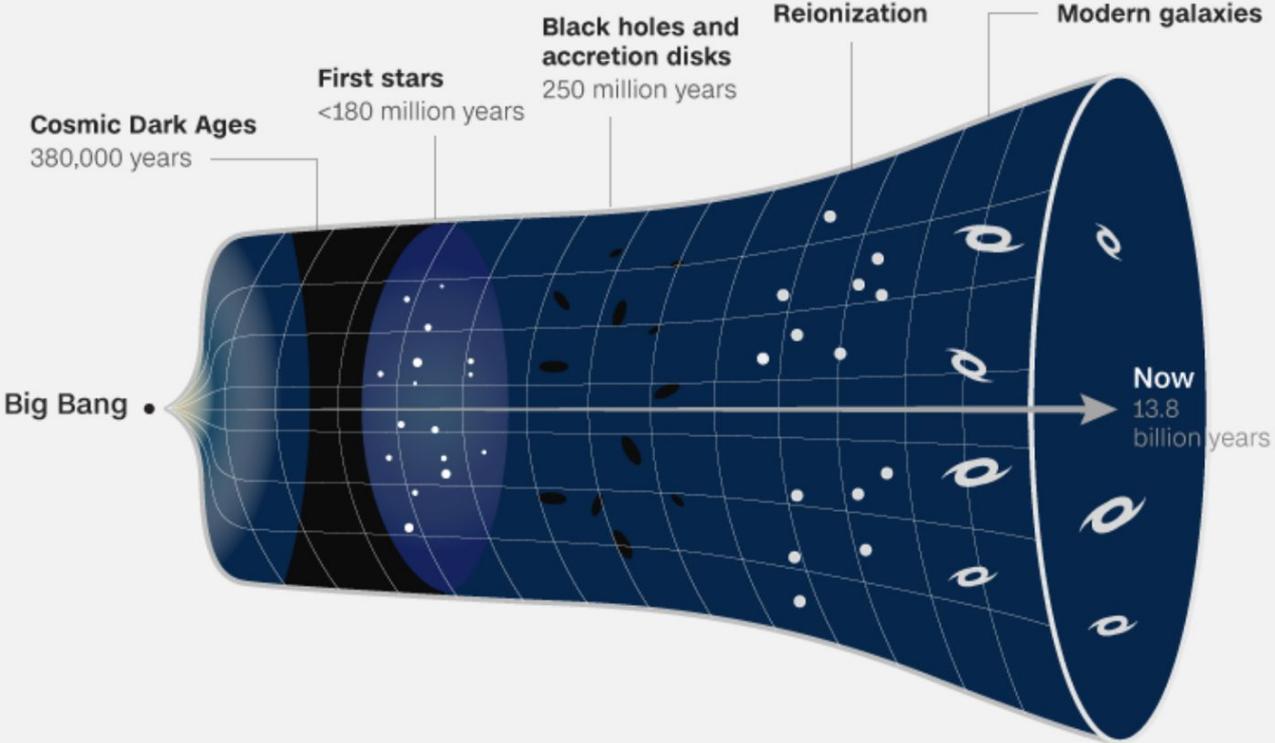
Os metais se formam em estrelas. Precisamos saber características de formação estelar, dos processos nucleares, dos processos no final da vida das estrelas, etc... Conseguimos estimar bem a evolução química... da galáxia! (principalmente por causa das observações)

Então como juntamos isso com Cosmologia? Como os metais aparecem e evoluem ao longo da história do Universo?

Para isso, precisamos entender como se forma a primeira estrela do Universo.

Um pouco de Cosmologia

From the Big Bang until today



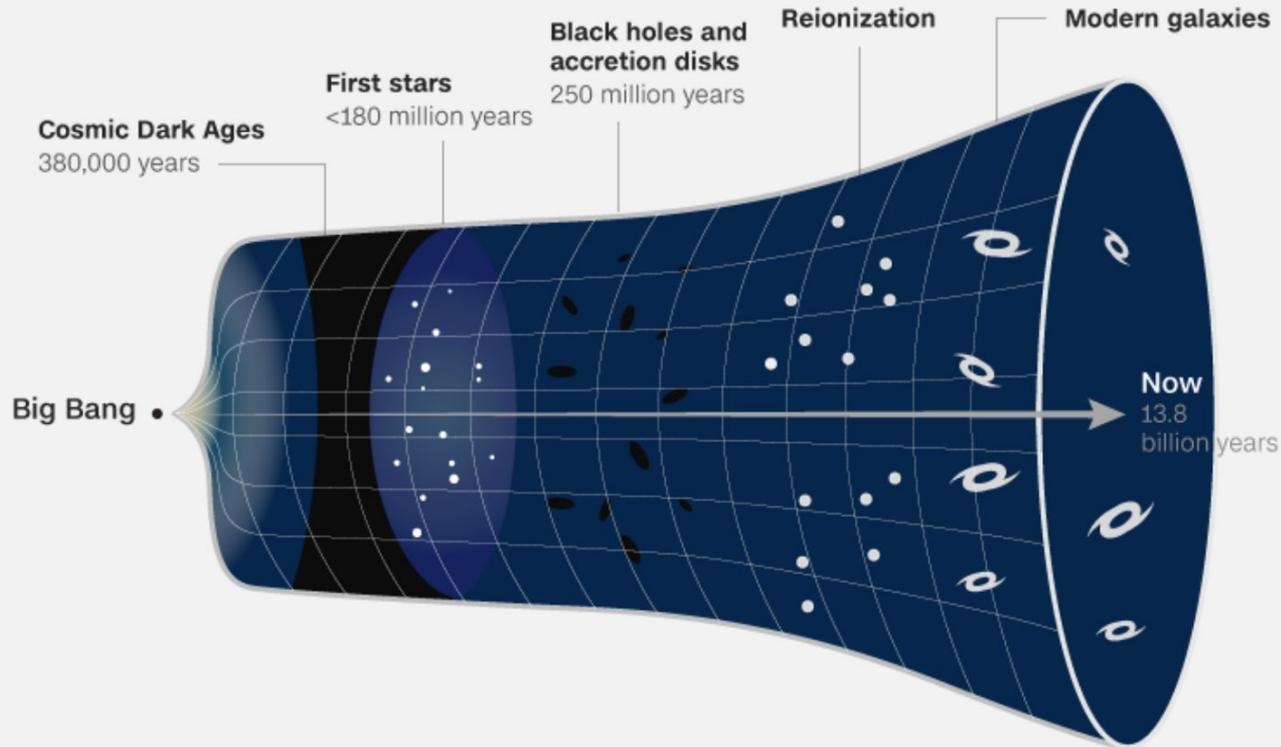
Source: National Science Foundation

Um pouco de Cosmologia

Nucleossíntese do BB

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Me	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo	
Lantanídeos	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
Actínídeos	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

From the Big Bang until today



Source: National Science Foundation

Um pouco de Cosmologia

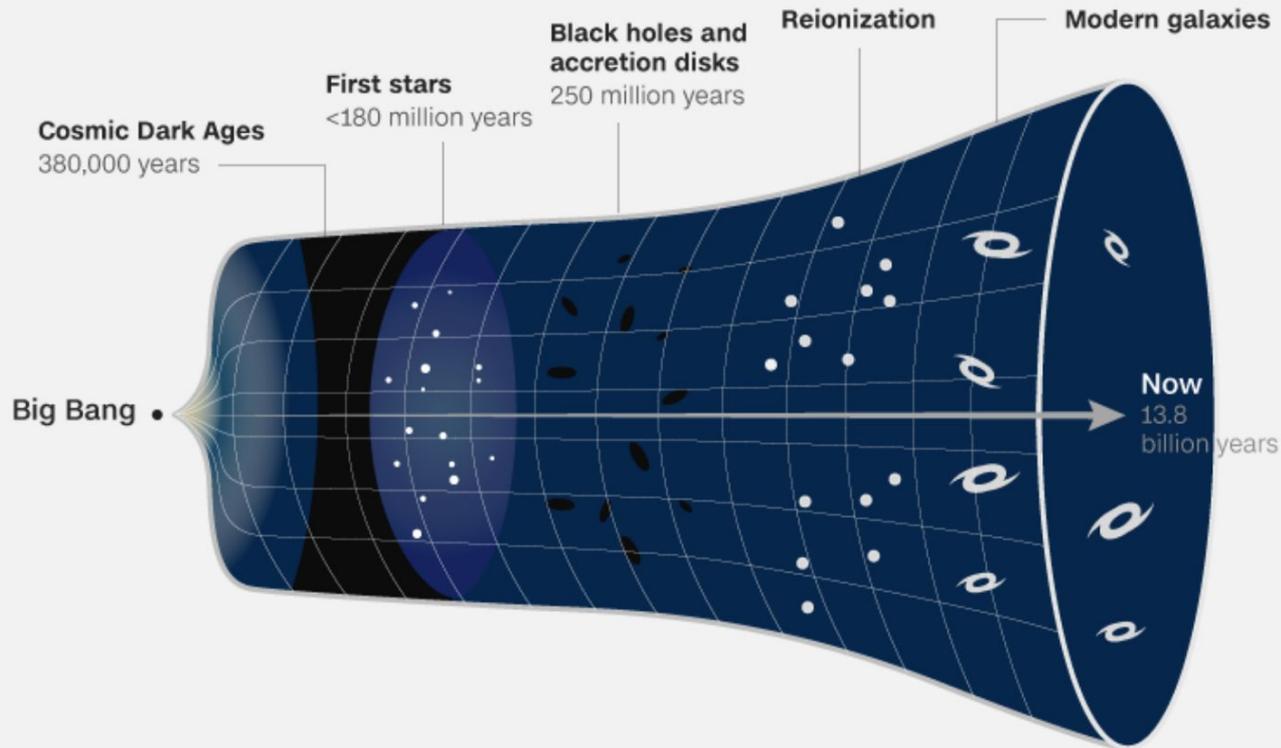
Nucleossíntese do BB

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo	
Lantanídeos		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
Actinídeos		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Qual o processo necessário para a formação das primeiras estrelas?

- Distribuição homogênea de matéria (DM)
- Surgem flutuações
- Crescem via IG
- Halos de DM (pot. grav.)
- Acretam bárions (H e He)
- Primeiras estrelas!
- O processo continua (CSFR)

From the Big Bang until today



Source: National Science Foundation

E a evolução química?

Primeiras estrelas: Pop III

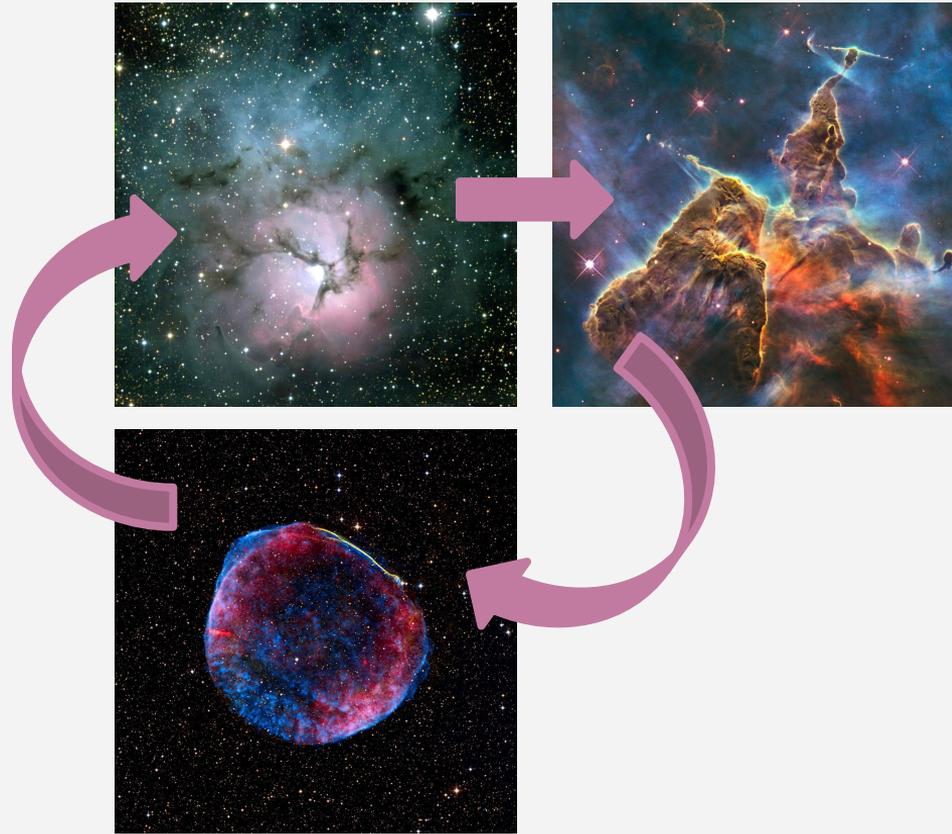
MUITO massivas (até 1000 M_{sun}):
esfriamento ineficiente

Vida MUITO rápida (poucos Myr)

Alta produção de elementos químicos (★ de 140 M_{sun} produz 40 M_{sun} de Oxigênio)

PISNe muito violentas e sem remanescentes - injetam tudo no meio

Rapidamente enriquecem o meio até atingir uma Z_{cr} e darem lugar às Pop II ($\sim 10^{-6} Z_{\text{sun}}$)



E a evolução química?

Primeiras estrelas: Pop III

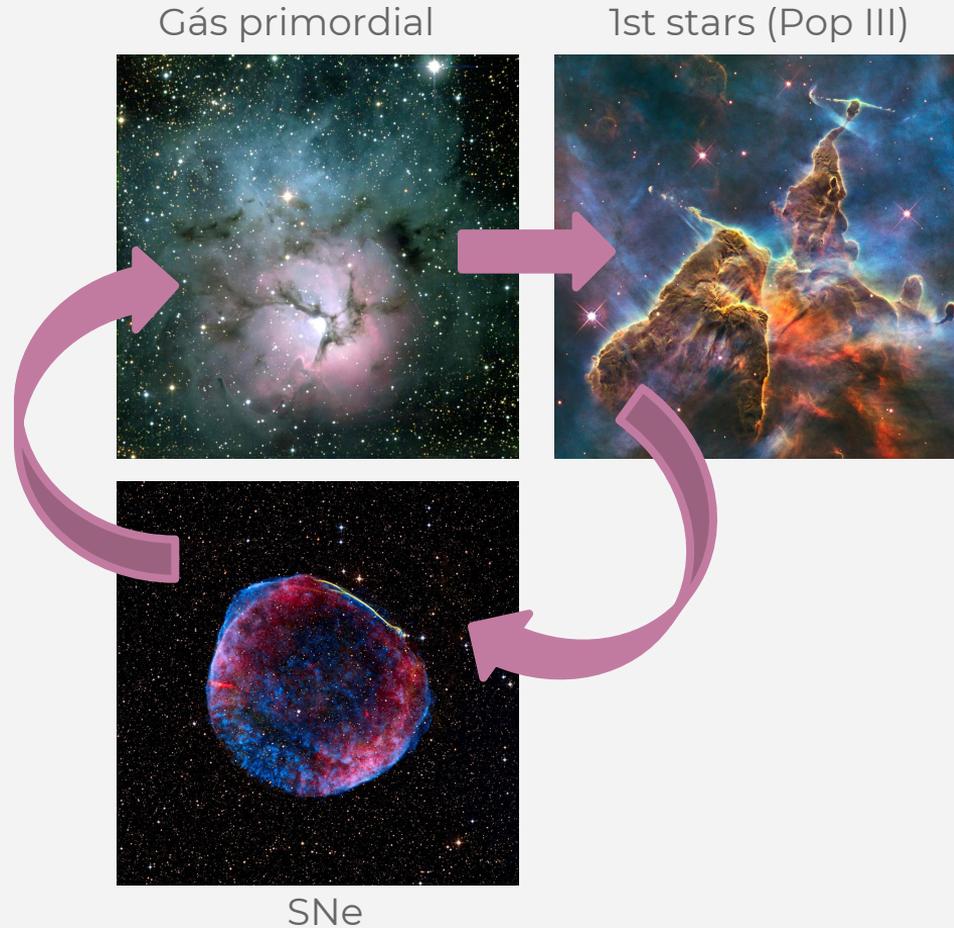
MUITO massivas (até 1000 M_{sun}):
esfriamento ineficiente

Vida MUITO rápida (poucos Myr)

Alta produção de elementos químicos (★ de 140 M_{sun} produz 40 M_{sun} de Oxigênio)

PISNe muito violentas e sem remanescentes - injetam tudo no meio

Rapidamente enriquecem o meio até atingir uma Z_{cr} e darem lugar às Pop II ($\sim 10^{-6} Z_{\text{sun}}$)



E a evolução química?

Primeiras estrelas: Pop III

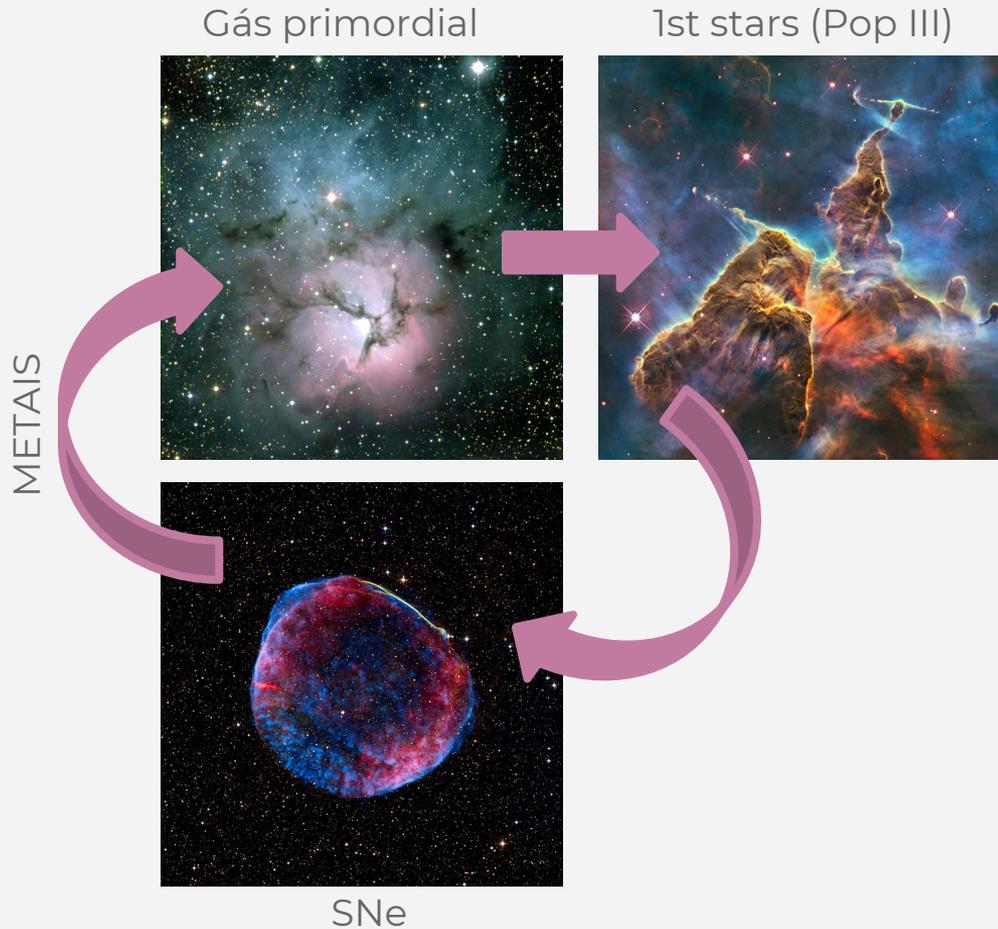
MUITO massivas (até 1000 M_{sun}):
esfriamento ineficiente

Vida MUITO rápida (poucos Myr)

Alta produção de elementos químicos (★ de 140 M_{sun} produz 40 M_{sun} de Oxigênio)

PISNe muito violentas e sem remanescentes - injetam tudo no meio

Rapidamente enriquecem o meio até atingir uma Z_{cr} e darem lugar às Pop II ($\sim 10^{-6} Z_{\text{sun}}$)



E a evolução química?

Primeiras estrelas: Pop III

MUITO massivas (até 1000 M_{sun}):
esfriamento ineficiente

Vida MUITO rápida (poucos Myr)

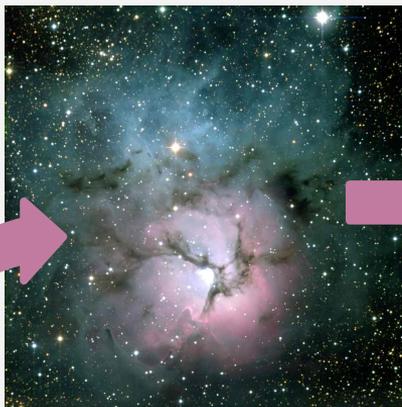
Alta produção de elementos químicos (★ de 140 M_{sun} produz 40 M_{sun} de Oxigênio)

PISNe muito violentas e sem remanescentes - injetam tudo no meio

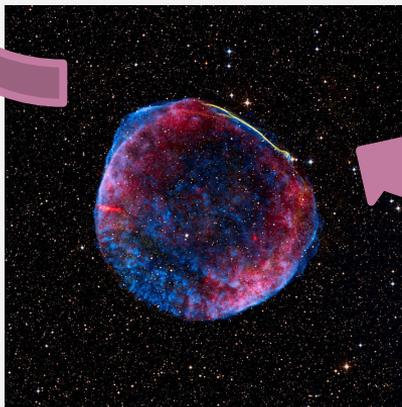
Rapidamente enriquecem o meio até atingir uma Z_{cr} e darem lugar às Pop II ($\sim 10^{-6} Z_{\text{sun}}$)

METAIS

Gás enriquecido



Pop II



SNe



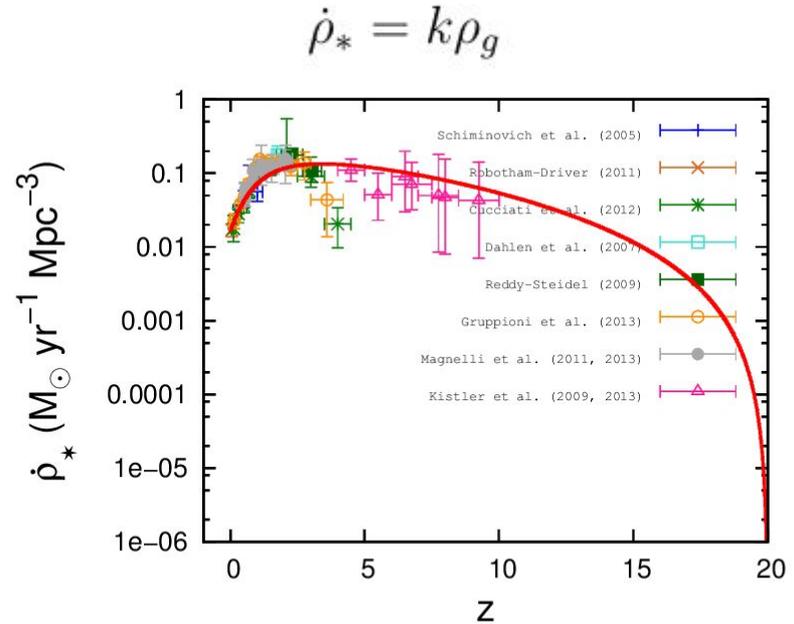
Montando o modelo

Então sabemos a CSFR.

Sabemos a produção química de cada estrela dependendo da massa e metalicidade.

À medida que a metalicidade cresce, estrelas mais metálicas vão aparecendo.

Podemos calcular a evolução de produção dos elementos químicos no Universo a partir do momento em que as primeiras estrelas começam a morrer ($z=20$)

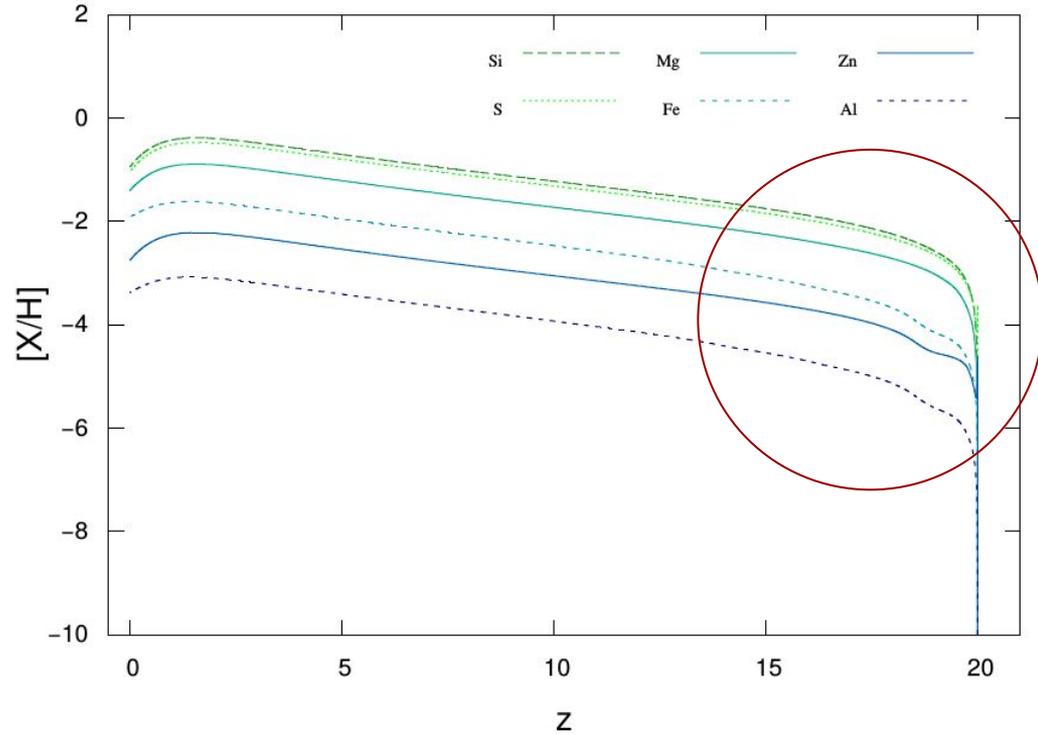


+

$$y_i(t) = \int_{m(t)}^{m_U} [(m - m_R)Z_i(t - \tau_m) + P_{Zm}] \Psi(t - \tau_m) \varphi(m) dm - Z_i \Psi(t)$$

E o que descobrimos?

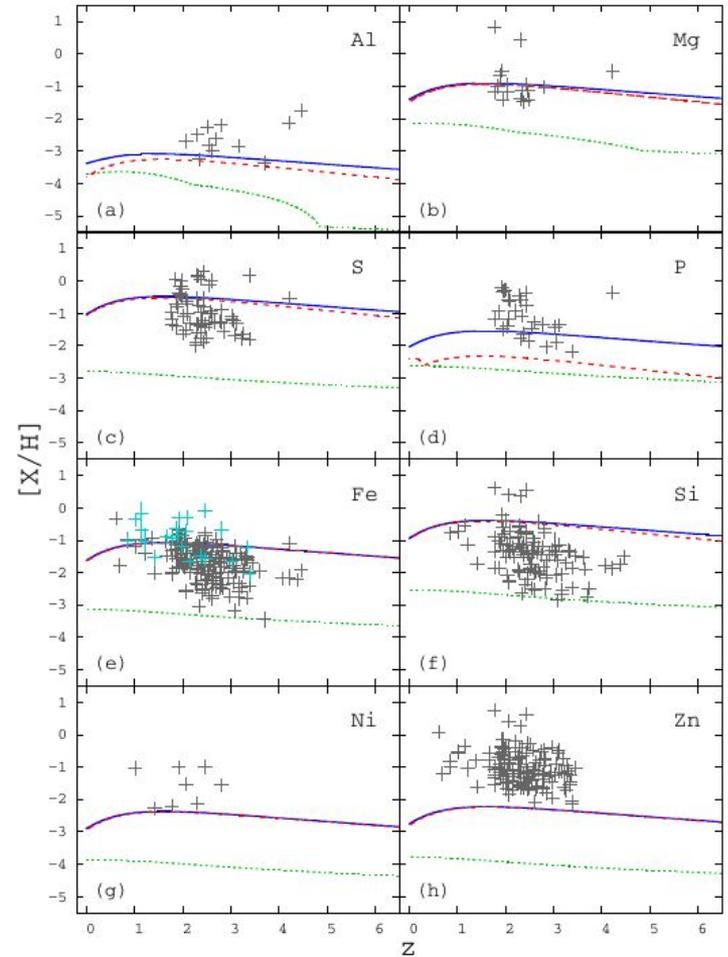
Que o enriquecimento químico é MUITO rápido (da ordem de Myr) até começar o aparecimento de Pop II.



E o que descobrimos?

Apesar de nunca observadas (ainda), as Pop III são essenciais para reproduzir abundâncias químicas na faixa observável, favorecendo sua existência.

As evidências são muitas e é um assunto atual e com muito potencial de discussão.



E o que descobrimos?

Apesar de nunca observadas (ainda), as Pop III são essenciais para reproduzir abundâncias químicas na faixa observável, favorecendo sua existência.

As evidências são muitas e é um assunto atual e com muito potencial de discussão.

The evolution of cosmic chemical abundances: the roles of Pop III and Pop II stars

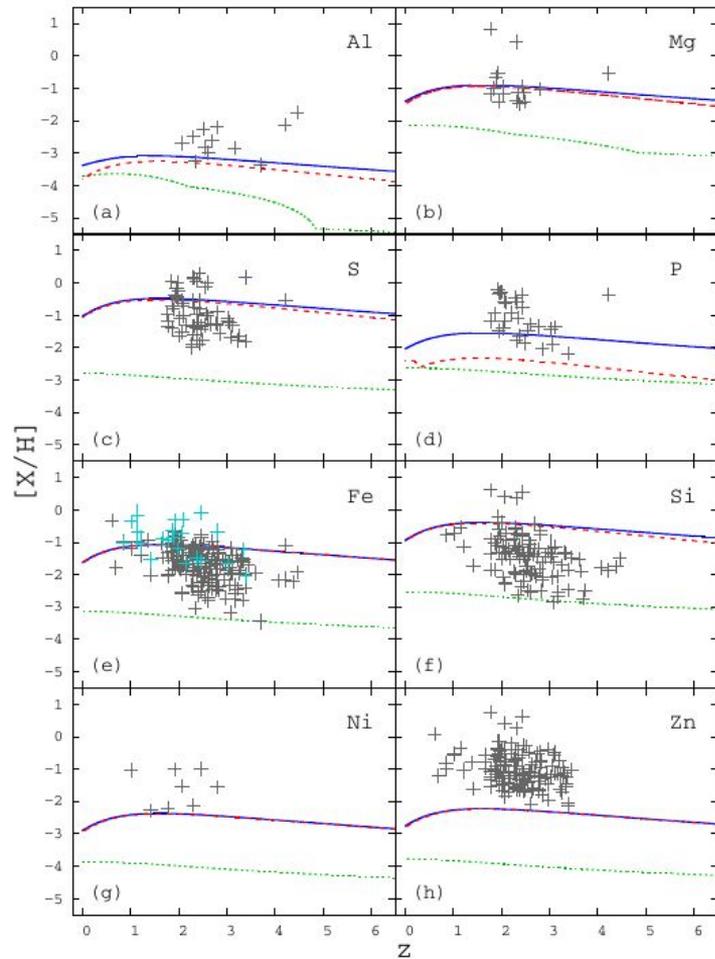
Lia C. Corazza,^{*} Oswaldo D. Miranda, and Carlos A. Wuensche

Astrophysics Division, National Institute for Space Research, São José dos Campos, Brazil

Accepted XXX. Received YYY; in original form ZZZ.

ABSTRACT

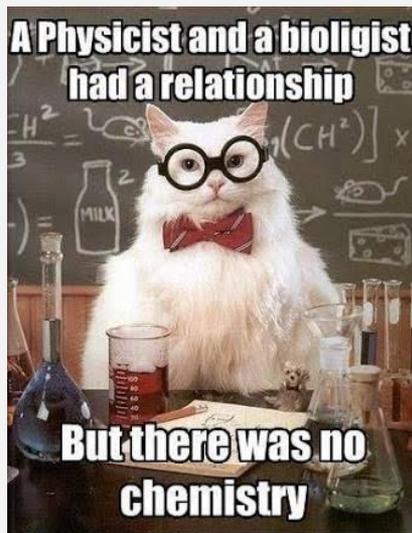
We developed a cosmological semi-analytical model to better understand the roles of Pop II and Pop III stars in the evolution of cosmic abundances. We aim to understand if Pop II alone could provide the amount of metals necessary to represent chemical abundances during the evolution of the universe. Our starting point is calculating the Cosmic Star Formation Rate using a model developed by [1] and coupling these values with chemical evolution equations to provide cosmic abundances for 11 metals (Oxygen, Iron, Zinc, Nickel, Silicon, Magnesium, Aluminum, Carbon, Nitrogen, Phosphorus and Sulphur) since the formation of Pop III stars



Outros interesses:

Astrobiologia
Astroquímica
Divulgação científica
Filosofia

...



Habitabilidade Cósmica e a Possibilidade de Existência de Vida em Outros Locais do Universo

Cosmic Habitability and the Possibility of Life Existence in other Places of the Universe

Frederico Vieira¹, Dinelsa Machaieie^{1,2}, Karin Fornazier¹, Lia Corazza¹, Manuel Castro¹, José Williams Vilas-Boas¹, José Roberto Cecatto¹, Carlos Alexandre Wuensche¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil.

²Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique.

Este artigo aborda alguns aspectos relacionados ao conceito de vida como a conhecemos e explora a relação entre a evolução química do Universo e a produção dos elementos básicos da química prébiótica. Baseando-se no Modelo Cosmológico Padrão, são descritas as condições cosmológicas que levaram ao surgimento desses elementos e são mostradas evidências de que o Universo, em seus estágios primordiais, dispunha de elementos capazes de produzir substâncias orgânicas. É feita uma breve abordagem de como a química em ambientes astrofísicos leva à formação de compostos que fazem parte da cadeia de reações que conduz à formação dos

The connection between the first stars and the dynamics of molecular clouds

Lia Corazza, Dinelsa Machaieie

Abstract

In this letter we review the chemical evolution of the Universe (in cosmological terms), since the formation of the first chemical elements until the present dynamics of the molecular clouds. We will discuss here what could have been lead to the complexity which is now observed, e.g. in

Are Pop III stars important for the chemical evolution of the universe?

Corazza, L. C.¹, Miranda, O. D.¹, Wuensche, C. A.¹

¹ Astrophysics Division, National Institute for Space Research. São José dos Campos, Brasil.

Abstract

Despite intense efforts to observe Pop III stars, they have not yet been observed. But how valuable are them for the chemical evolution of the universe? Are Pop II stars alone capable of reproducing chemical abundances in the universe? In order to investigate this question, we de-

A Astronomia no Brasil

Assim como em outras civilizações, no Brasil os povos indígenas começaram a usar a Astronomia como forma de sobrevivência. Mesmo antes da chegada dos portugueses, em 1500, eles já relacionavam o movimento do Sol e das estrelas e as fases da Lua com mudanças climáticas e o comportamento das plantas e animais, ferramenta muito útil para o desenvolvimento da agricultura, caça, controle de pragas e compreensão das variações das marés. A Lua também era usada para marcar o tempo. Eles determinavam a passagem de um mês quando a mesma fase da Lua voltava a aparecer. Além disso, utilizavam as estrelas como forma de orientação geográfica. Não possuíam nenhum tipo de tecnologia avançada e sua principal ferramenta astronômica era mesmo a observação do céu, porém, algumas tribos utilizavam pedras alinhadas com os pontos cardeais e direções dos solstícios, one os permitia contar o tempo e prever as mudanças climáticas

Chemical Evolution and the formation of Planets on the primordial Universe

Corazza, L. C.¹, Miranda, O. D.¹, Wuensche, C. A.¹

¹ Astrophysics Division, National Institute for Space Research. São José dos Campos, Brasil.

Abstract

We present a discussion about the relation between planet formation on the primordial universe and the cosmic chemical evolution. We developed a semi-analytical model that provides the evolution for 11 chemical elements since Pop III stars ($Z = 0$) started to die until the formation of Pop II stars with metallicity $Z = 2 \cdot 10^{-2} Z_{\odot}$. Results indicate that C, N and O could play a very important role on the formation of planets. By

O que fazemos com isso?

aka projetos em andamento

Contribuição da formação de planetas na evolução química no Universo.

Função de esfriamento do gás dependente da espécie e redshift.

Investigação das moléculas primordiais.

O que fazemos com isso?

aka projetos em andamento

Contribuição da formação de planetas na evolução química no Universo.

Função de esfriamento do gás dependente da espécie e redshift.

Investigação das moléculas primordiais.

O que mais dá pra fazer com isso?

aka ideias para novos projetos

Contribuição da formação de VIDA na evolução química no Universo.

Contribuição de SNe Ia e HNe na evolução química no Universo.

Evolução química de moléculas ao longo da história do Universo.

Evolução química de isótopos e íons ao longo da história do Universo.



THE END

lia.corazza@gmail.com

7256

Sala 39