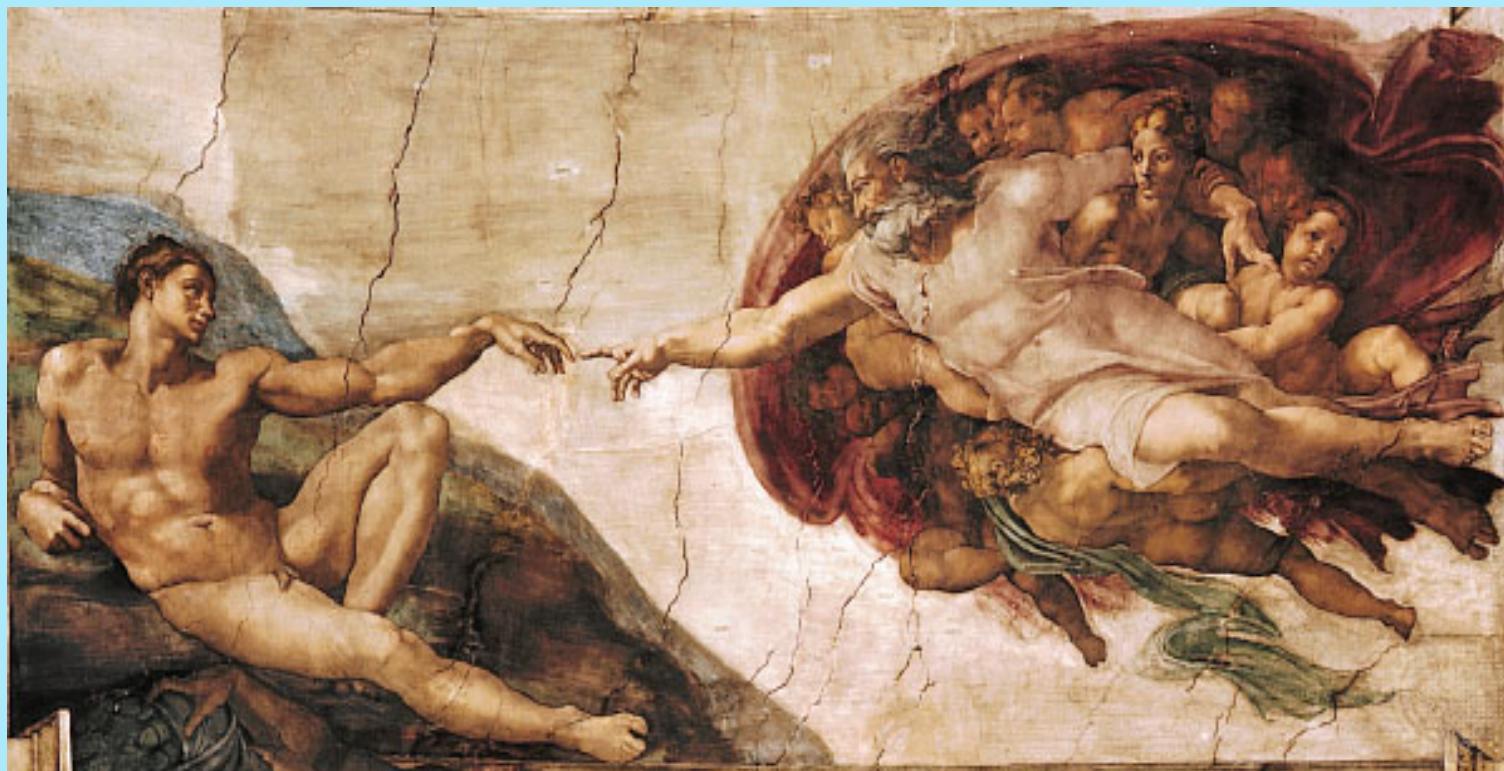


# Origem da vida



Sergio Russo Matioli – IB - USP

# Afresco da Capela Sixtina



Autor: Michelangelo (1475-1564), que decorou com afrescos 1.000 m<sup>2</sup> do interior da capela, que teve participação de outros artistas. Trabalhou nela entre 1508 e 1512.



Vista interna



Parede



“It is often said that all the conditions for the first production of a living organism are present, which could ever have been present. But if (and Oh! what a big if!) we could conceive in some warm little pond, with all sorts of ammonia and phosphoric salts, light, heat, electricity, etc., present, that a protein compound was chemically formed ready to undergo still more complex changes, at the present day such matter would be instantly devoured or absorbed, which would not have been the case before living creatures were formed.”

**Carta de C. R. Darwin para Joseph Hooker (1871)**

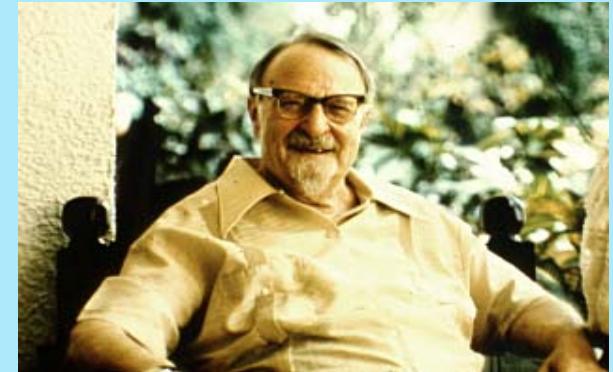
“Diz-se frequentemente que todas as condições para a primeira produção de um organismo vivo estão presentes, que poderiam mesmo ter estado sempre presentes. Mas se (e oh! que se grande se) nós pudéssemos conceber em algum laguinho morno, com todos os tipos de amônia e sais fosfóricos, luz, calor, eletricidade etc. presentes, que um complexo de proteínas foi formado quimicamente pronto para sofrer mudanças ainda mais complexas, na época atual tal material poderia ser instantaneamente devorado ou absorvido, o que não era o caso antes das criaturas vivas se formarem.”

**Carta de C. R. Darwin para Joseph Hooker (1871)**

# A sopa primordial de Haldane e Oparin



JBS Haldane

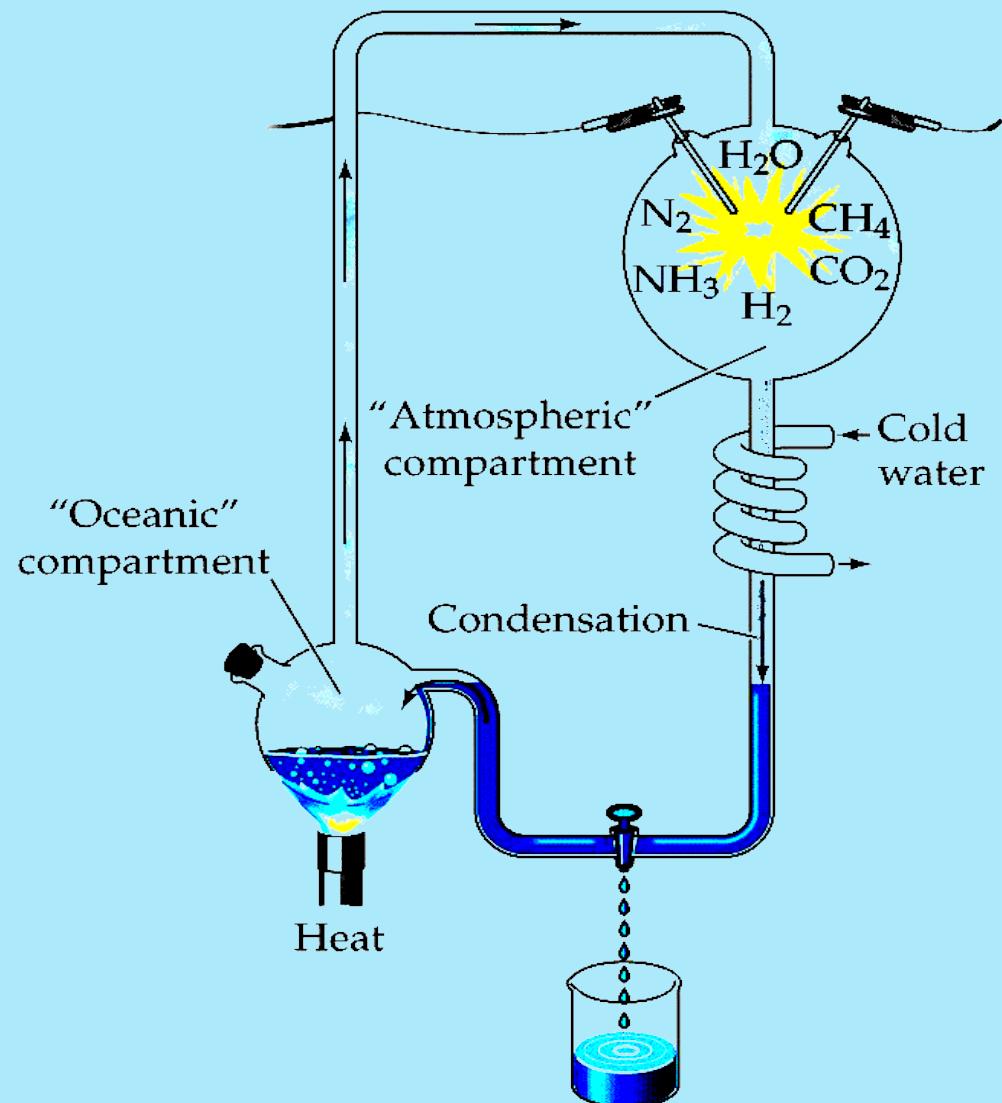
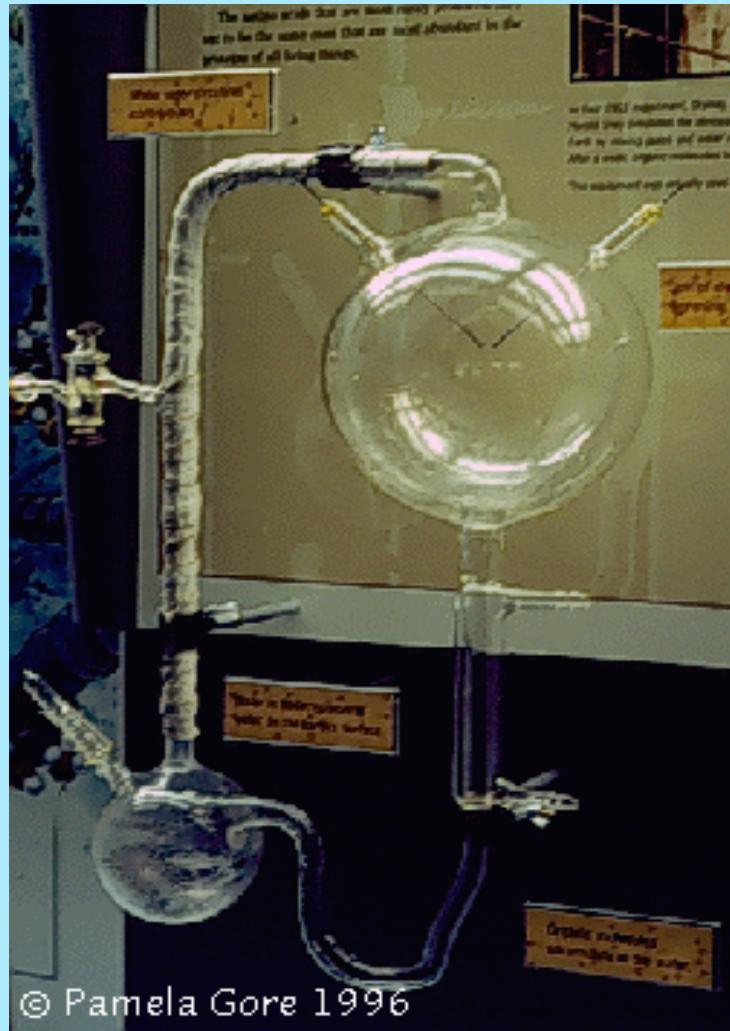


A. Oparin

Principais pontos:

- Atmosfera redutora
- Energia de descargas elétricas  
(década de 1920)

# Experimento de Miller-Urey (1953)



# Resultados

$\text{NH}_3, \text{CH}_4, \text{H}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{CO}$



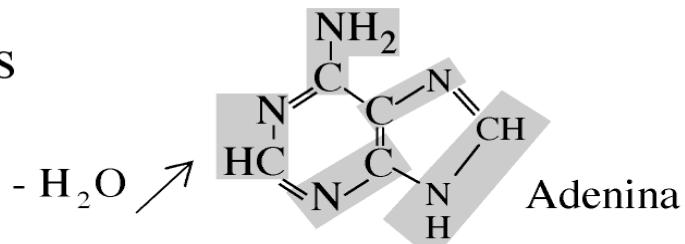
**Aparelho de Urey-Miller**



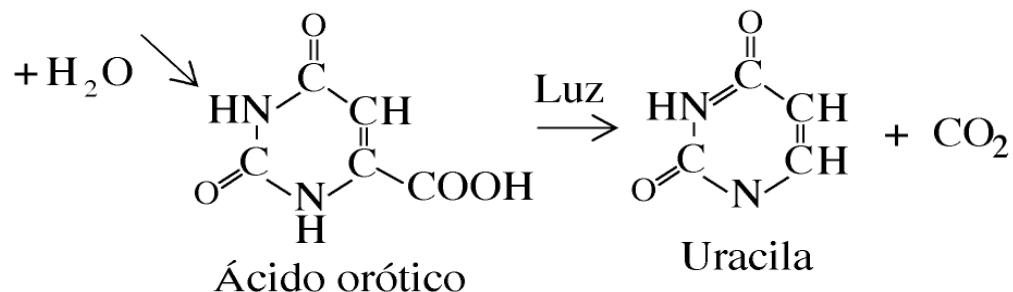
**Aminoácidos (glicina, alanina, aspartato, valina, leucina), nitratos, formaldeído, cianeto, entre outros.**

# Síntese abiótica de ácidos nucléicos

Bases nitrogenadas

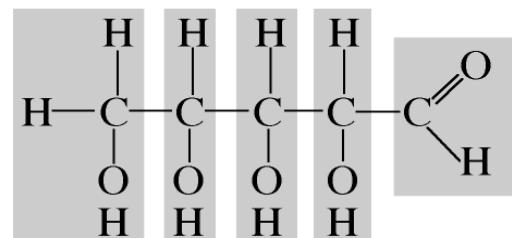


$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N} \longrightarrow$  Oligômeros de HCN

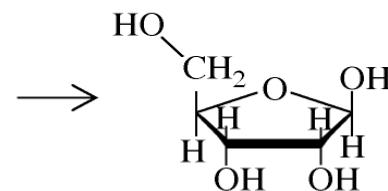


Açúcares

Formaldeído



Ribose (forma linear)



Ribose  
(forma furanose)

# Síntese de Trifosfato de adenosina (ATP)

A adenina é a base nitrogenada mais abundante em experimentos de síntese abiótica

Possível na presença de pirita (sulfeto de ferro, mineral comum na crosta)

# Síntese de lipídeos

Importantes para a compartmentalização

Síntese abiótica de ácidos graxos e glicerol

Síntese de ácidos graxos de cadeia longa lineares não está clara em condições abióticas

# Problemas na teoria da sopa primordial

Os oceanos diluiriam muito os compostos, resultando em reações muito lentas.

Certas sínteses ocorrem melhor em temperaturas elevadas, outras em temperaturas baixas.

Atmosfera primitiva não era necessariamente muito redutora.

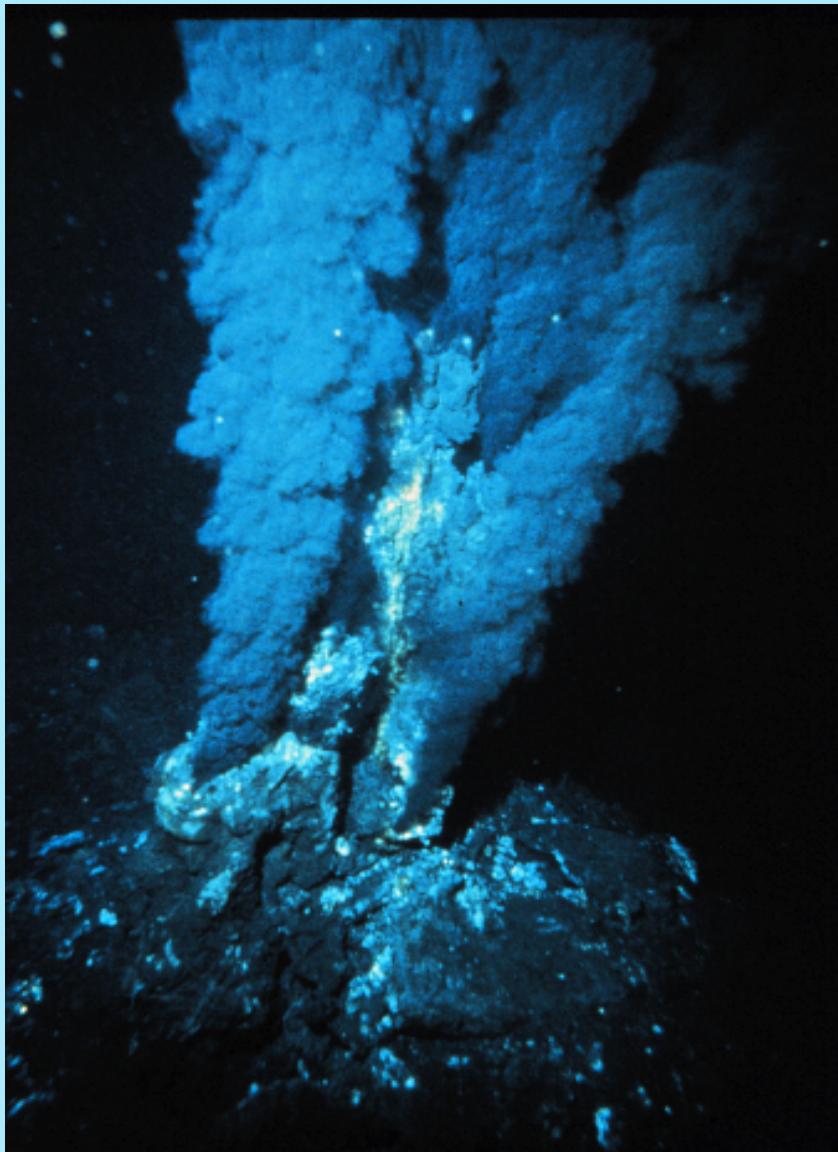
# Hipóteses alternativas

Síntese abiótica em fontes térmicas oceânicas de grande profundidade.

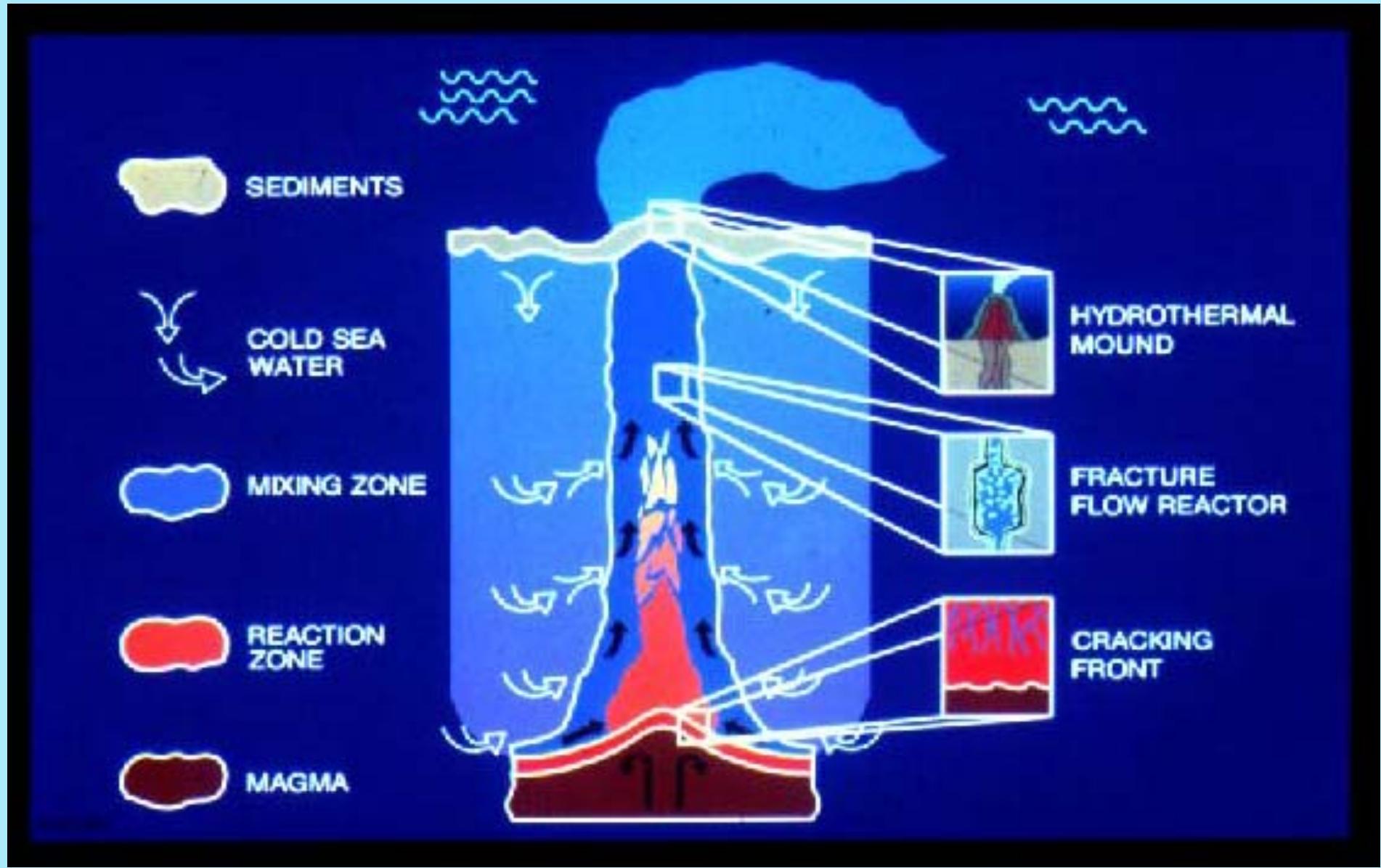
Síntese abiótica em substratos minerais.

Síntese abióticas em partículas suspensas na atmosfera.

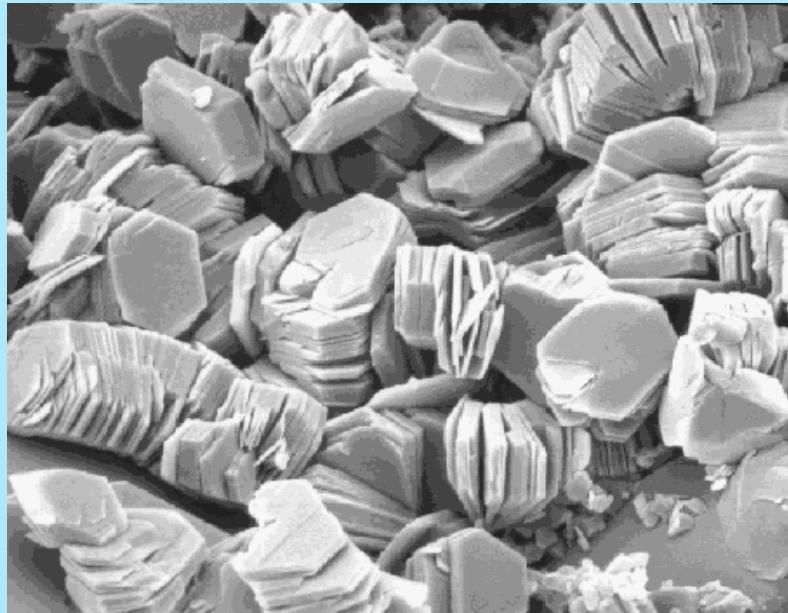
# Fontes hidrotérmicas



# Fontes hidrotérmicas

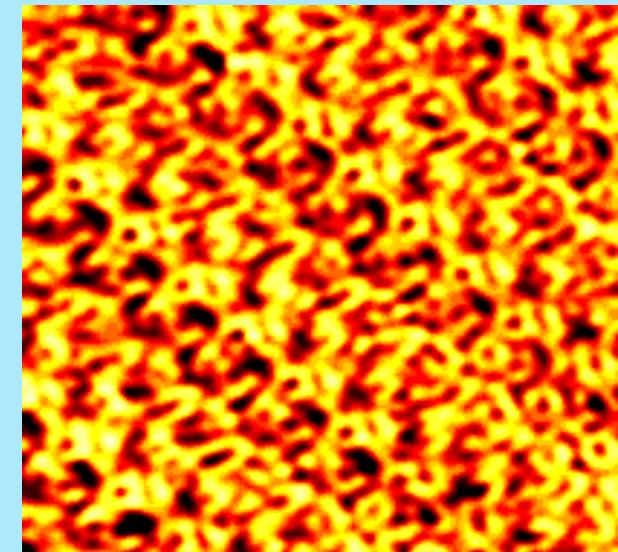


# Substratos minerais



Cristais de caolinita

Adenina monocamada  
adsorvida a grafite



# Origem da Terra:

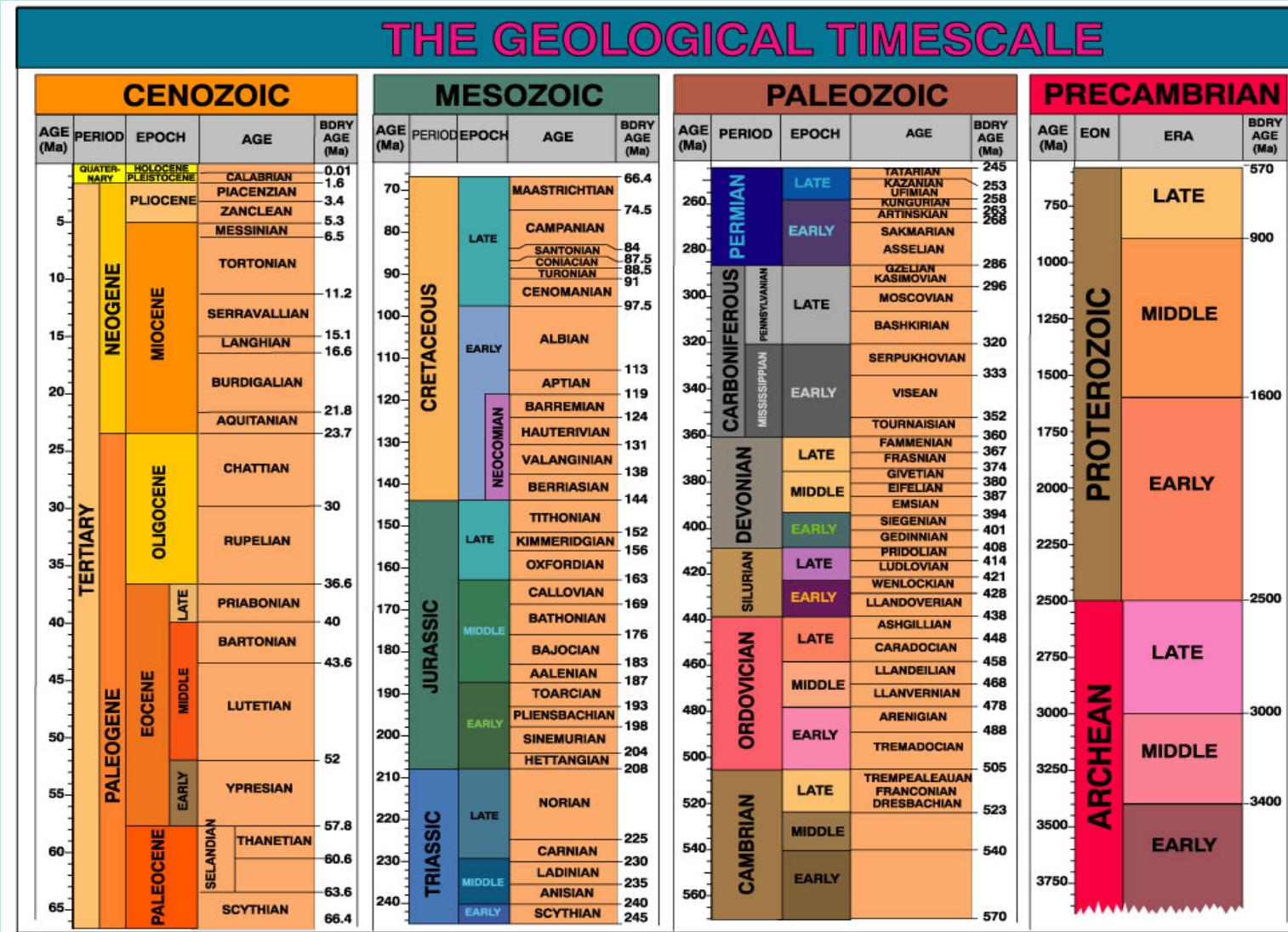
## 4,65 bilhões de anos atrás



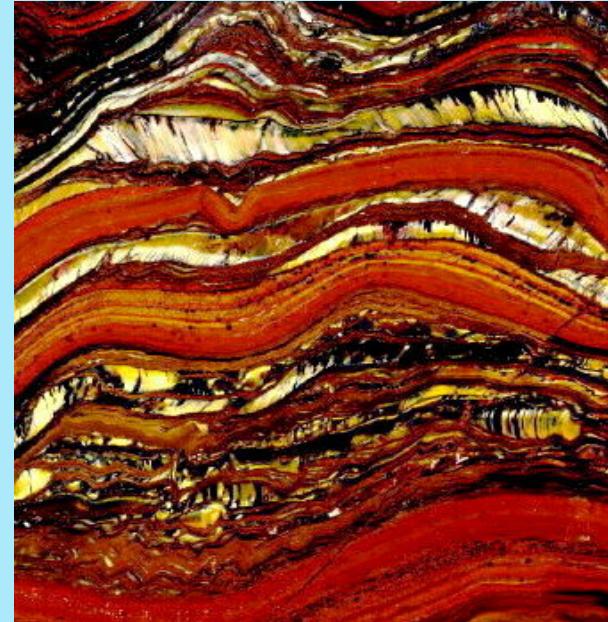
# **Após a origem...**

**Depois do seu aparecimento, a  
Terra permaneceu +- 0,5 bilhões  
de anos inóspita para a vida**

# O Tempo geológico



# Estromatólitos fósseis

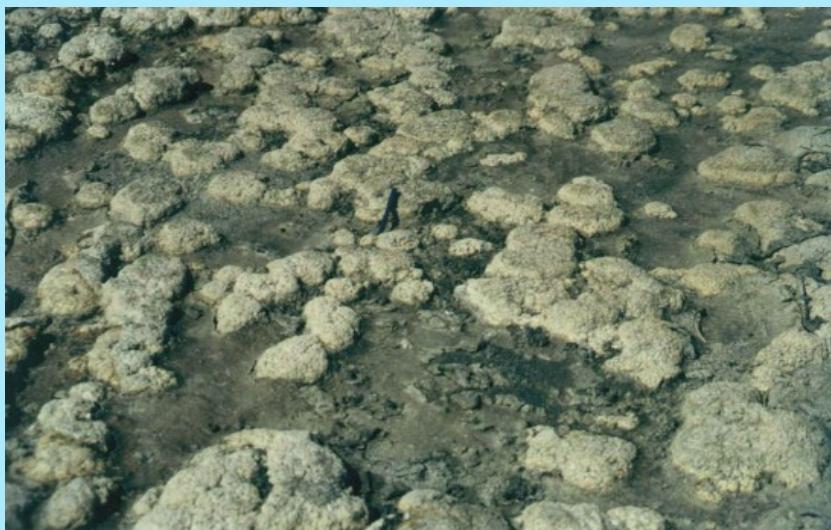
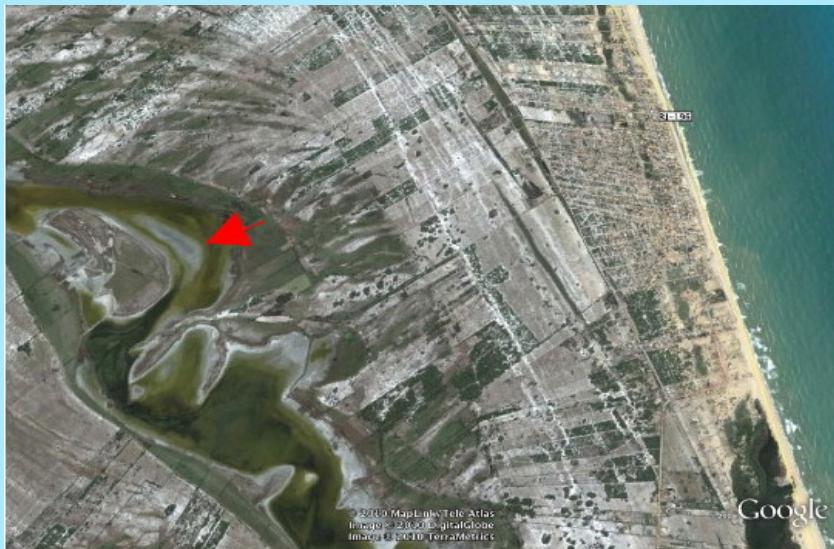


~ 3,5 bilhões de anos atrás

# Estromatólitos atuais

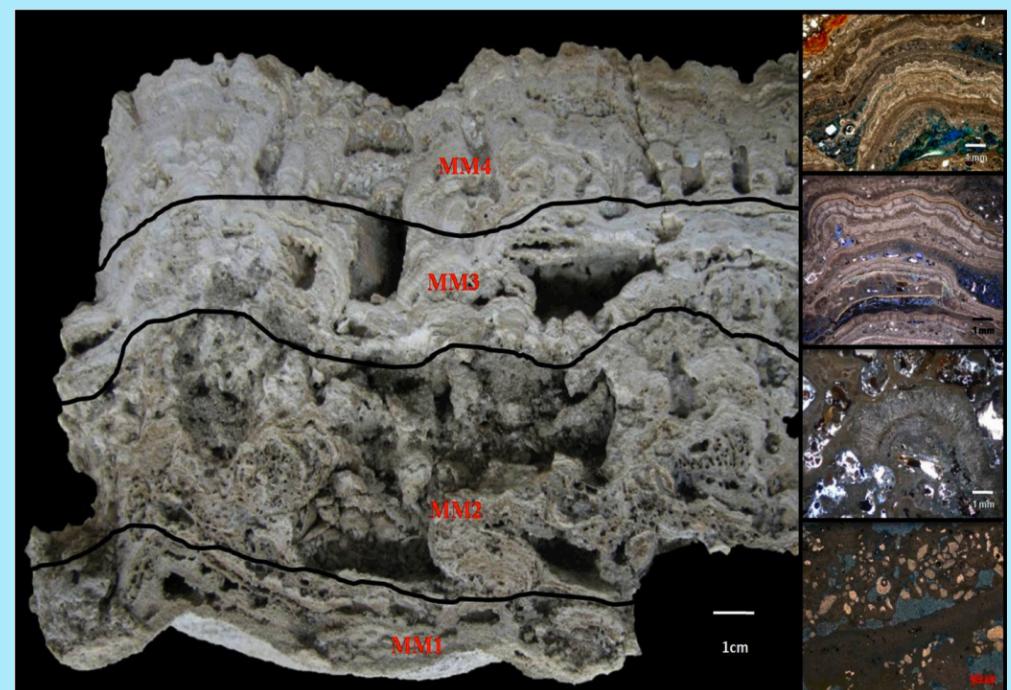


# Estromatólitos atuais



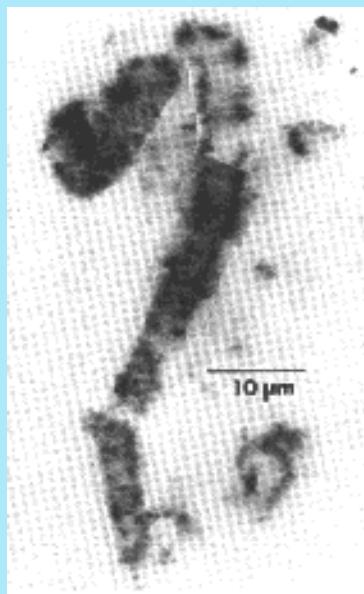
## Lagoa Salgada (Campos, RJ)

Figura abaixo: Iespa et al. (2012) Evolução paleoambiental da lagoa salgada utilizando microbialitos .com ênfase em microfácies carbonáticas. Geociências, 31(3):371-380.



# Bactérias fósseis em estromatólitos

## Bactérias fósseis (divisão)



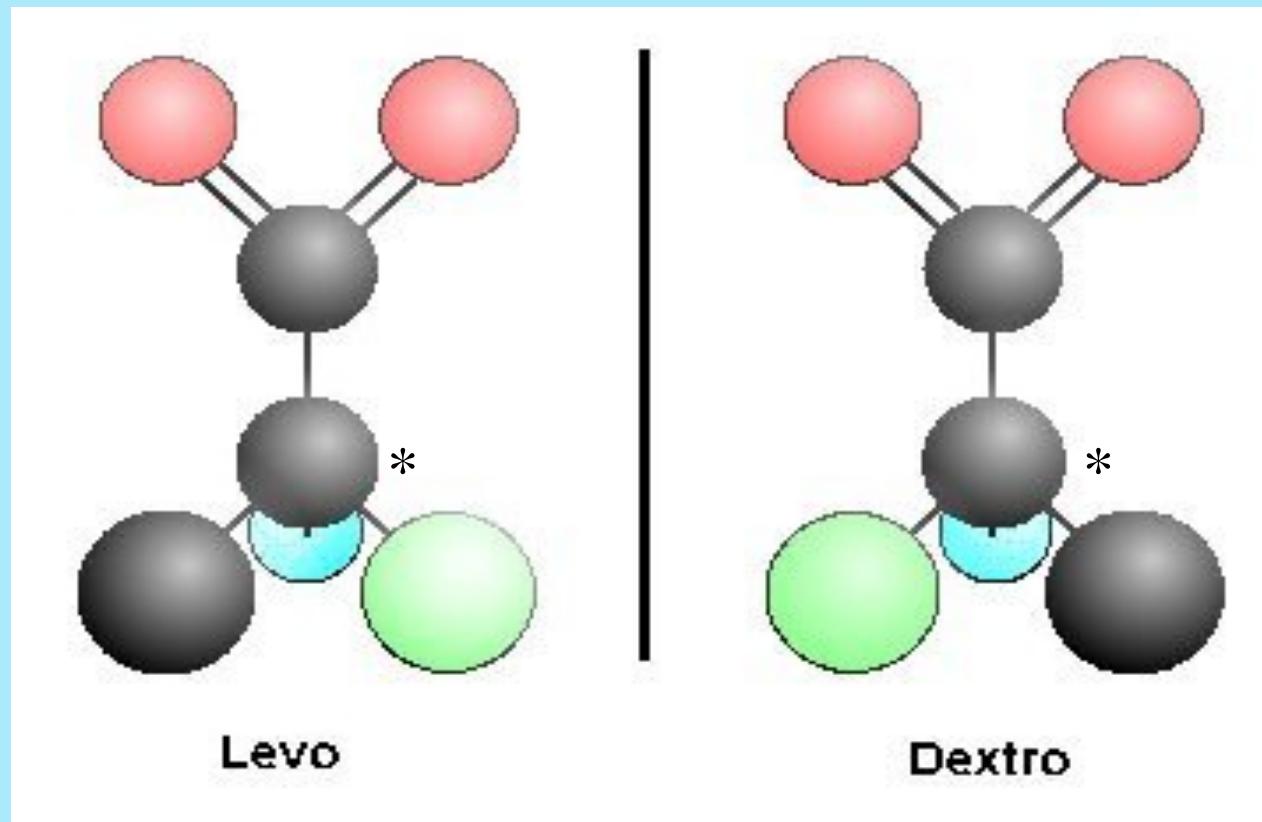
Bactérias fósseis  
filamentosas

## Alguns problemas teóricos:

O tempo (~200 ma) poderia ser insuficiente para o surgimento da vida

Síntese em condições prebióticas produz misturas racêmicas (isômeros D + L)

# Quiralidade da química do carbono



\* Carbono assimétrico

# A origem da homoquiralidade

- Homopolímeros quando sintetizados a partir de misturas racêmicas são homoquirais (somente D ou somente L).
- Cristais formados a partir de misturas racêmicas chegam a ser 100% homoquirais.

# A origem da homoquiralidade

- Os isômeros ópticos sublimam diferencialmente.
- Os isômeros ópticos são adsorvidos diferencialmente em certos minerais.

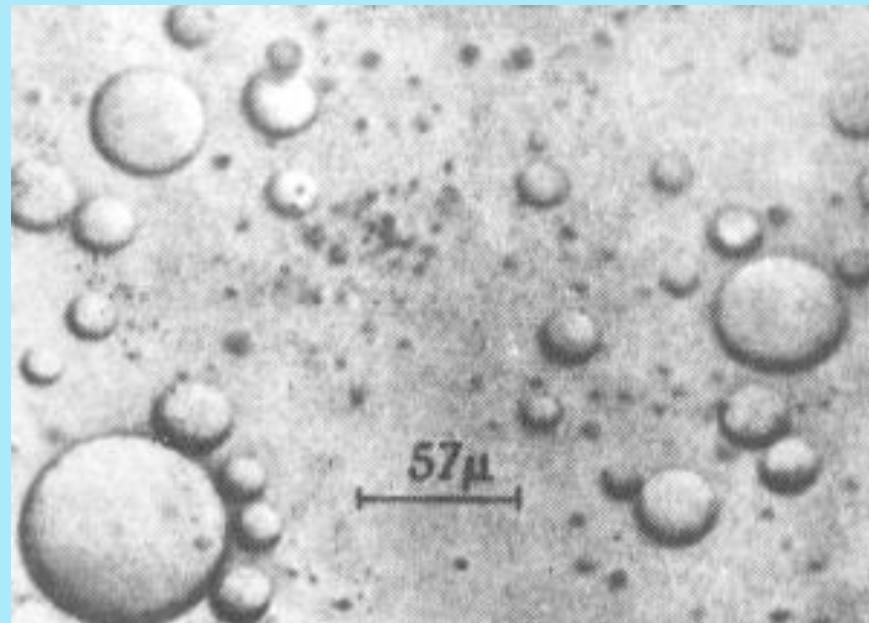
## Panspermia cósmica:

Meteoritos com conteúdo muito semelhante ao do resultado do experimento de Urey-Miller.  
Meio interplanetário hostil.

Panspermia dirigida = semeadura intencional.  
Assunto recorrente da ficção científica.

Muda o problema de lugar.

# Origem de células



**Coacervados ou proteinóides**

# O mundo do RNA



## O problema:

A química da vida é baseada nas macromoléculas DNA, RNA e proteínas. Quem teria aparecido antes?

Visão antiga de divisão de tarefas:

**DNA** -> armazenamento de informação

**RNA** -> transferência de informação

**Proteínas** -> funcionais

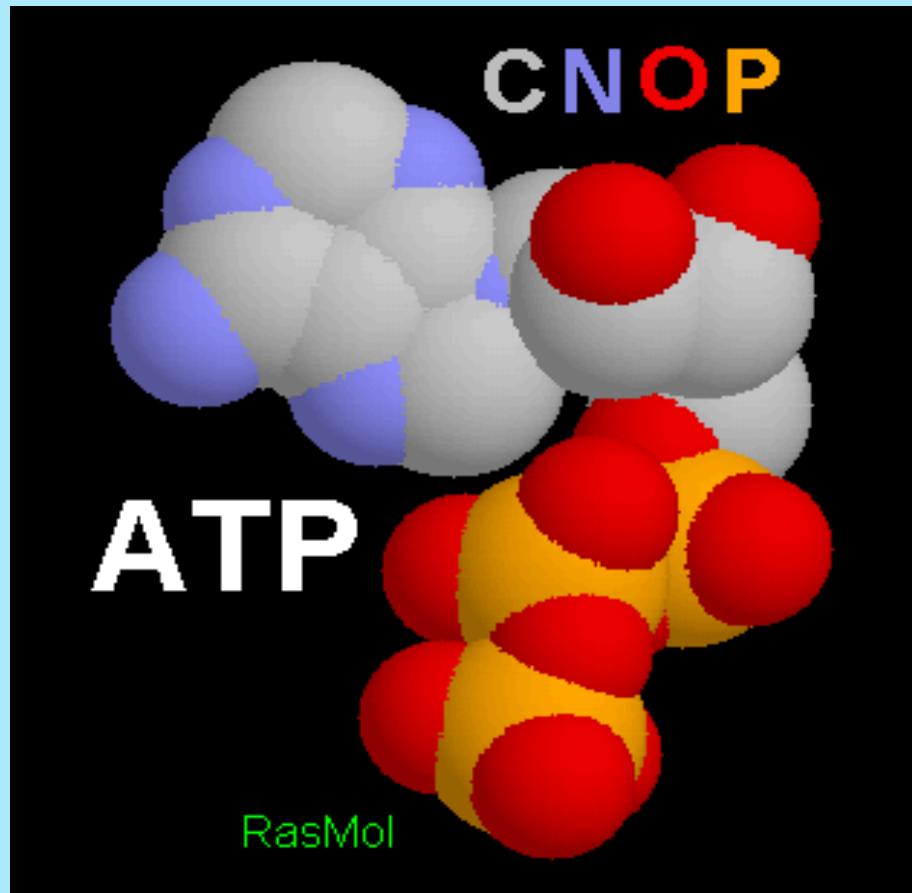
## **Orgel, Crick e Woese (1960s)**

Propuseram independentemente que o RNA poderia ter sido a primeira molécula informational

## **Cech (1980s)**

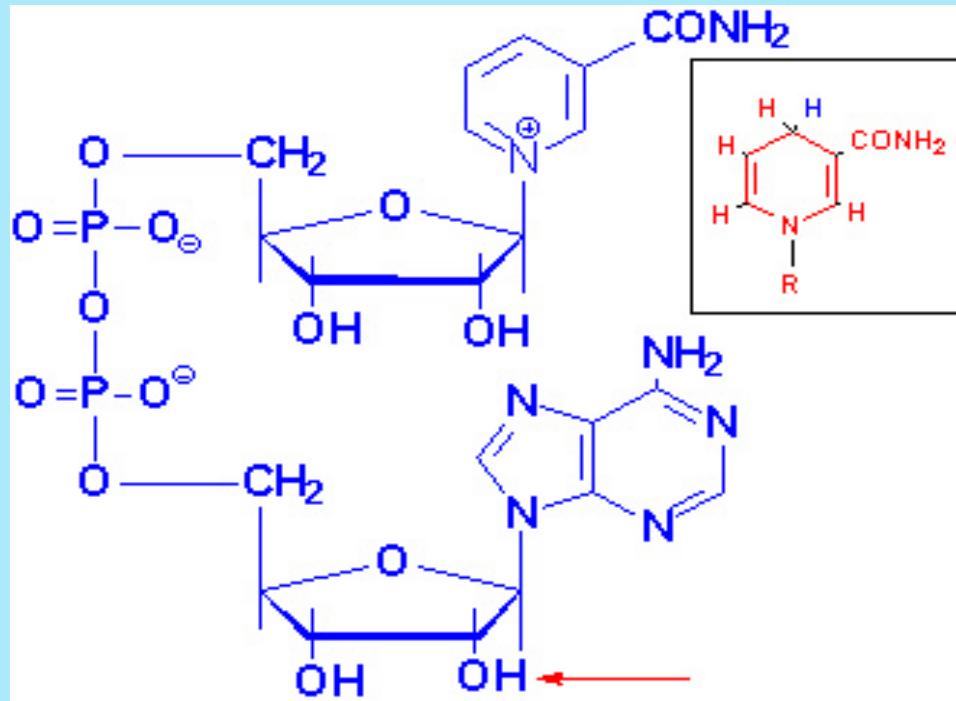
Descobriu o papel funcional do RNA nas ribozimas (RNAs catalíticos).

# Evidências para o mundo de RNA



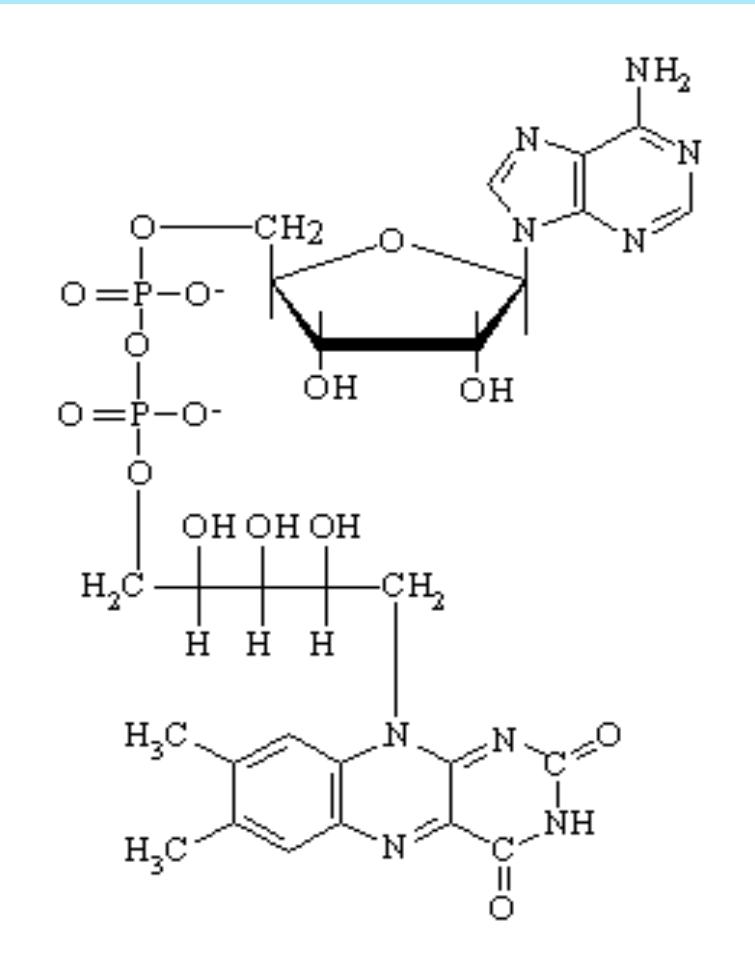
O ATP é um  
ribonucleotídeo

# Evidências para o mundo de RNA



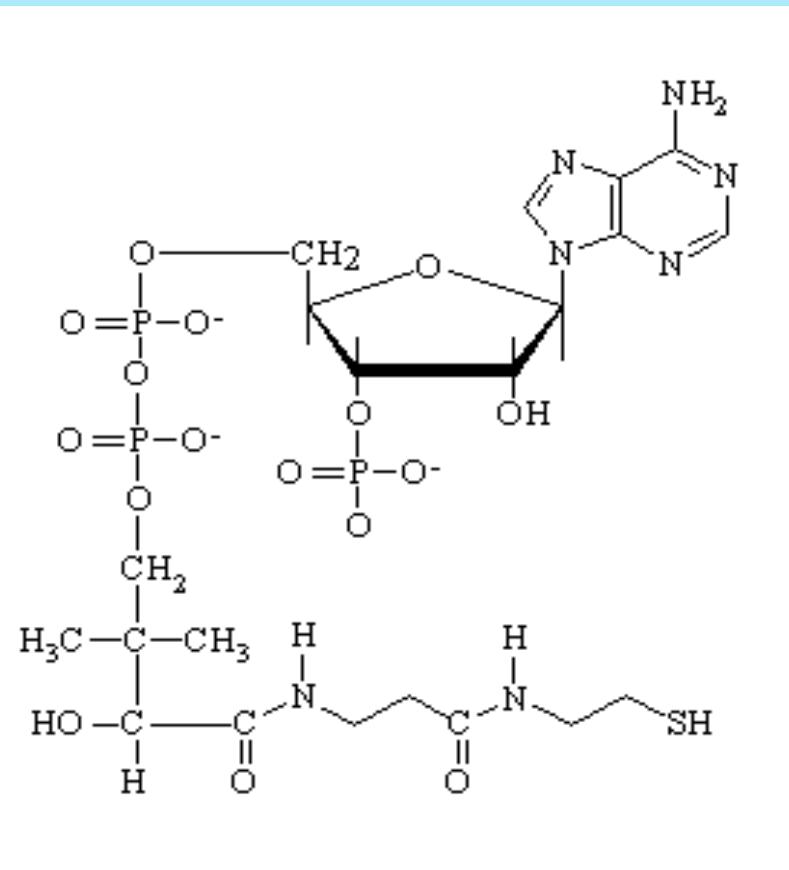
O NAD tem, como parte da cadeia, um ribonucleotídeo

# Evidências para o mundo de RNA



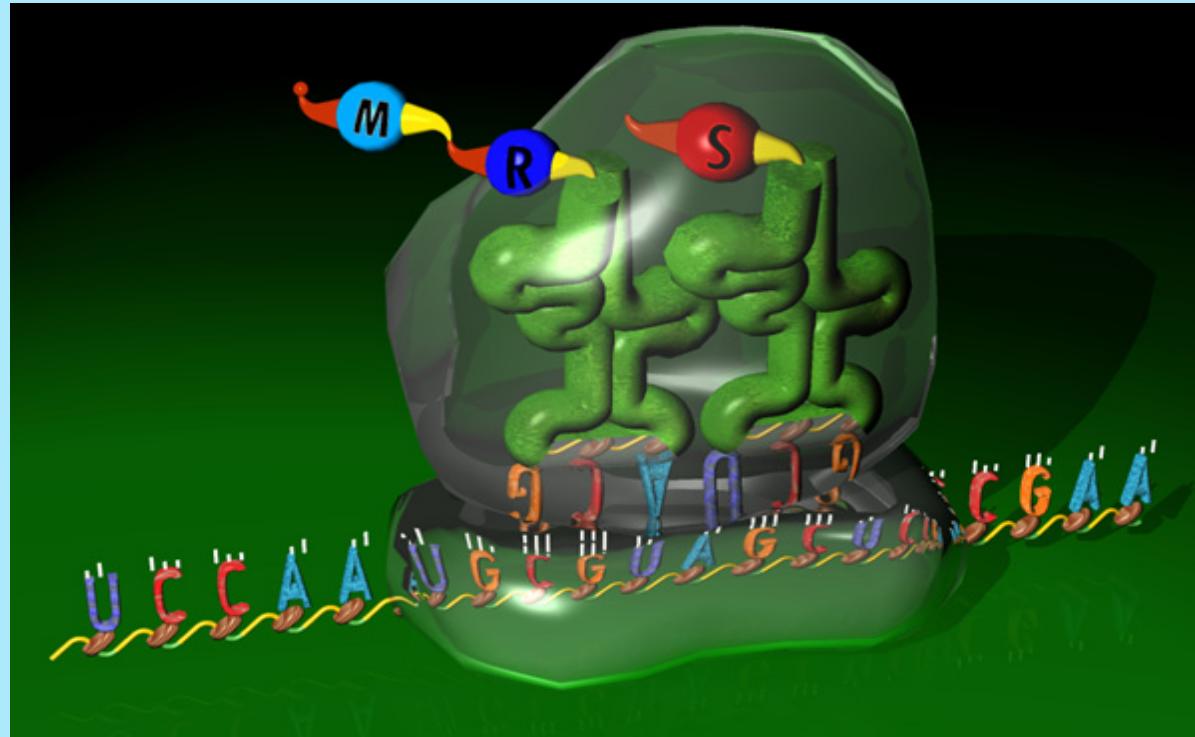
O FAD tem, como parte da cadeia, um ribonucleotídeo

# Evidências para o mundo de RNA



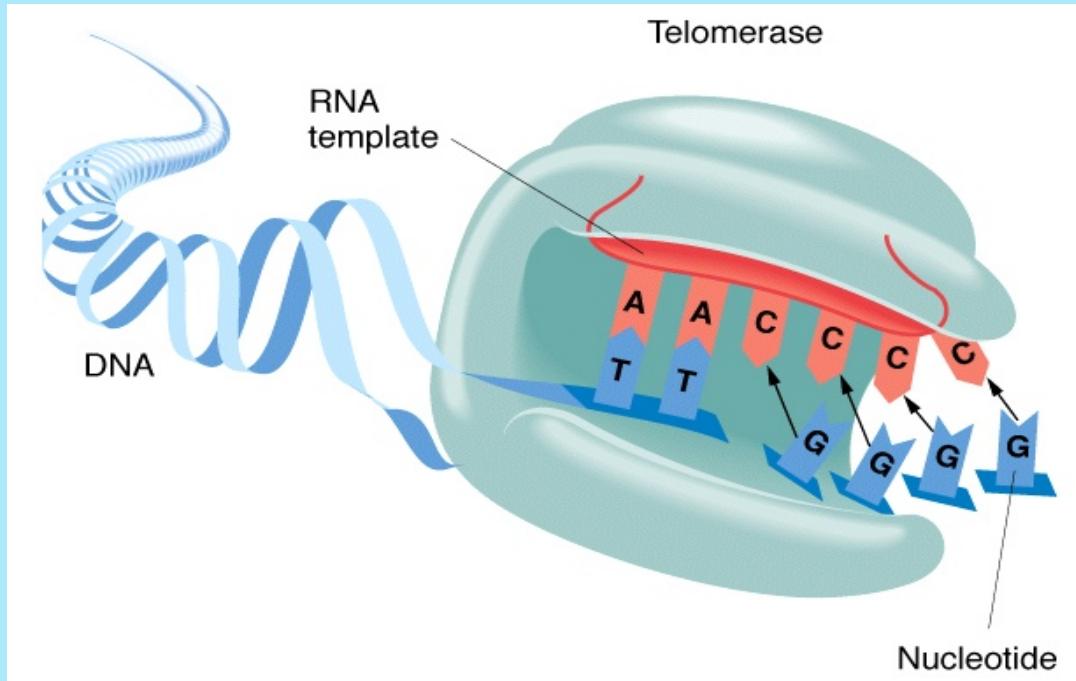
A coenzima A tem,  
como parte da cadeia,  
um ribonucleotídeo

# Evidências para o mundo de RNA



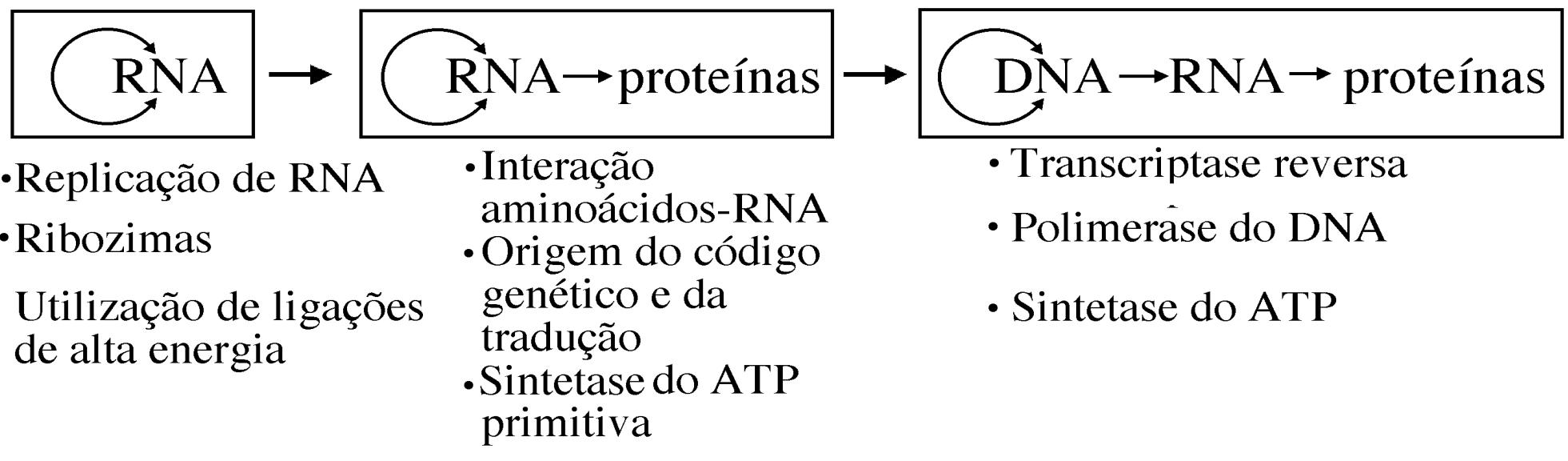
O sítio ativo do ribossomo constitui-se de RNA

# Evidências para o mundo de RNA



A telomerase é uma transcriptase reversa que usa RNA como molde

# Transição do mundo de RNA para o mundo de DNA



## Código genético

1ª posição	2ª posição								3ª posição
	U		C		A		G		
U	UUU	Phe(F)	UCU	Ser(S)	UAU	Tyr(Y)	UGU	Cys(C)	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA	Leu(L)	UCA		UAA	TERM	UGA	TERM	A
	UUG		UCG		UAG		UGG	Trp(W)	G
C	CUU	Leu(L)	CCU	Pro(P)	CAU	His(H)	CGU	Arg(R)	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		C
	CUA		CCA		CAA	Gln(Q)	CGA		A
	CUG		CCG		CAG		CGG		G
A	AUU	Ile(I)	ACU	Thr(T)	AAU	Asn(N)	AGU	Ser(S)	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA		AAA	Lys(K)	AGA	Arg(R)	A
	AUG	Met(M)	ACG		AAG		AGG		G
G	GUU	Val(V)	GCU	Ala(A)	GAU	Asp(D)	GGU	Gly(G)	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		C
	GUA		GCA		GAA	Glu(E)	GGA		A
	GUG		GCG		GAG		GGG		G

**A simplified doublet genetic code produced from the modern genetic code as described in the text.**

		first position	second position			
		G	C	A	U	
	G	Gly	Ala	Asp/Glu	Val	
	G	Gly	Ala	Asp/Glu	Val	
$\alpha$ -ketoglutarate	C					
						?
	A					
pyruvate	U				Tyr/stop	
					?	
					?	

Copley S D et al. PNAS 2005;102:4442-4447

# Origem do código genético

1. O Código genético universal é “otimizado” em relação às mutações.
  2. Trincas de nucleotídeos têm diferentes afinidades químicas com relação aos aminoácidos.
- 
1. Hipótese da seleção e “congelamento”.
  2. Hipótese da especificidade aumentada gradativamente.