

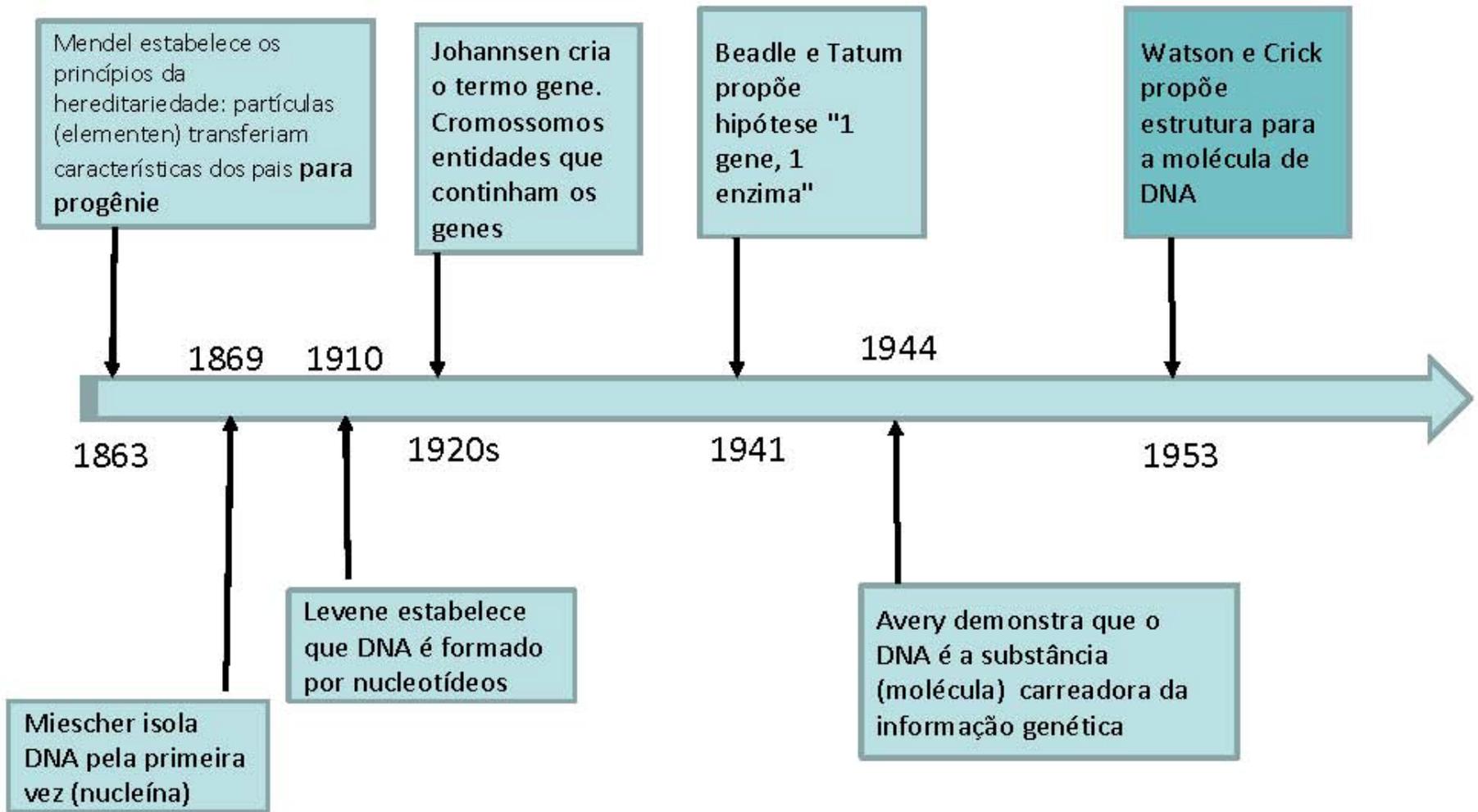
QBQ1354 - Biologia Molecular
2023

Estrutura e Função dos ácidos nucleicos

Roteiro

- Composição química dos ácidos nucleicos – bases, nucleotídeos, nucleosídeos (nomenclatura)
- Estrutura do DNA: a dupla-hélice “padrão” e estruturas alternativas
- Interações químicas que estabilizam a dupla-hélice, desnaturação, renaturação
- Organização do DNA dentro da célula – cromatina
- Propriedades químicas e estrutura de RNAs

Eventos importantes na história do DNA



Uma das descobertas mais importantes do século 20!

No. 4356 April 25, 1953

NATURE

737

equipment, and to Dr. G. E. R. Deacon and the captain and officers of R.R.S. *Discovery II* for their part in making the observations.

¹Young, F. B., Gerrard, H., and Jevons, W., *Phil. Mag.*, **40**, 149 (1920).

²Longuet-Higgins, M. S., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc., Geophys. Supp.*, **6**, 285 (1949).

³Von ARX, W. S., *Woods Hole Papers in Phys. Oceanog. Meteor.*, **11** (3) (1950).

⁴Ekman, V. W., *Arkiv. Mat. Astron. Fysik. (Stockholm)*, **2** (11) (1905).

MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey¹. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three intertwined chains, with the phosphates near the fibre axis, and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons: (1) We believe that the material which gives the X-ray diagrams is the salt, not the free acid. Without the acidic hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphates near the axis will repel each other. (2) Some of the van der Waals distances appear to be too small.

is a residue on each chain every 3.4 Å. in the z-direction. We have assumed an angle of 36° between adjacent residues in the same chain, so that the structure repeats after 10 residues on each chain, that is, after 34 Å. The distance of a phosphorus atom from the fibre axis is 10 Å. As the phosphates are on the outside, cations have easy access to them.

The structure is an open one, and its water content is rather high. At lower water contents we would expect the bases to tilt so that the structure could become more compact.

The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. The planes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical z-co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position 1 to pyrimidine position 1; purine position 6 to pyrimidine position 6.

If it is assumed that the bases only occur in the structure in the most plausible tautomeric forms (that is, with the keto rather than the enol configurations) it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are: adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

In other words, if an adenine forms one member of a pair, on either chain, then on these assumptions the other member must be thymine; similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain does not appear to be restricted in any



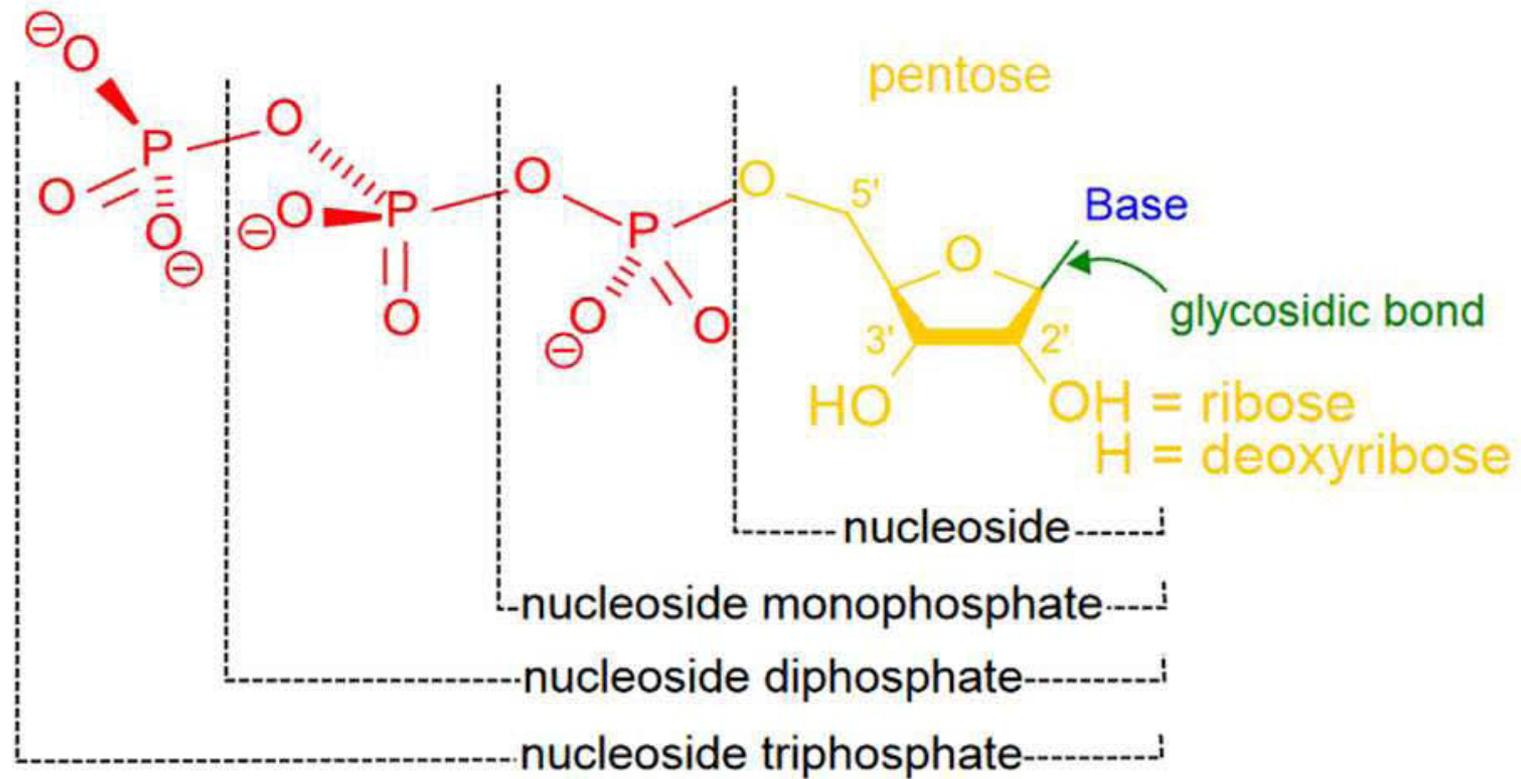
This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis

Por que? Qual a importância de se conhecer a estrutura da molécula de DNA?

It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.

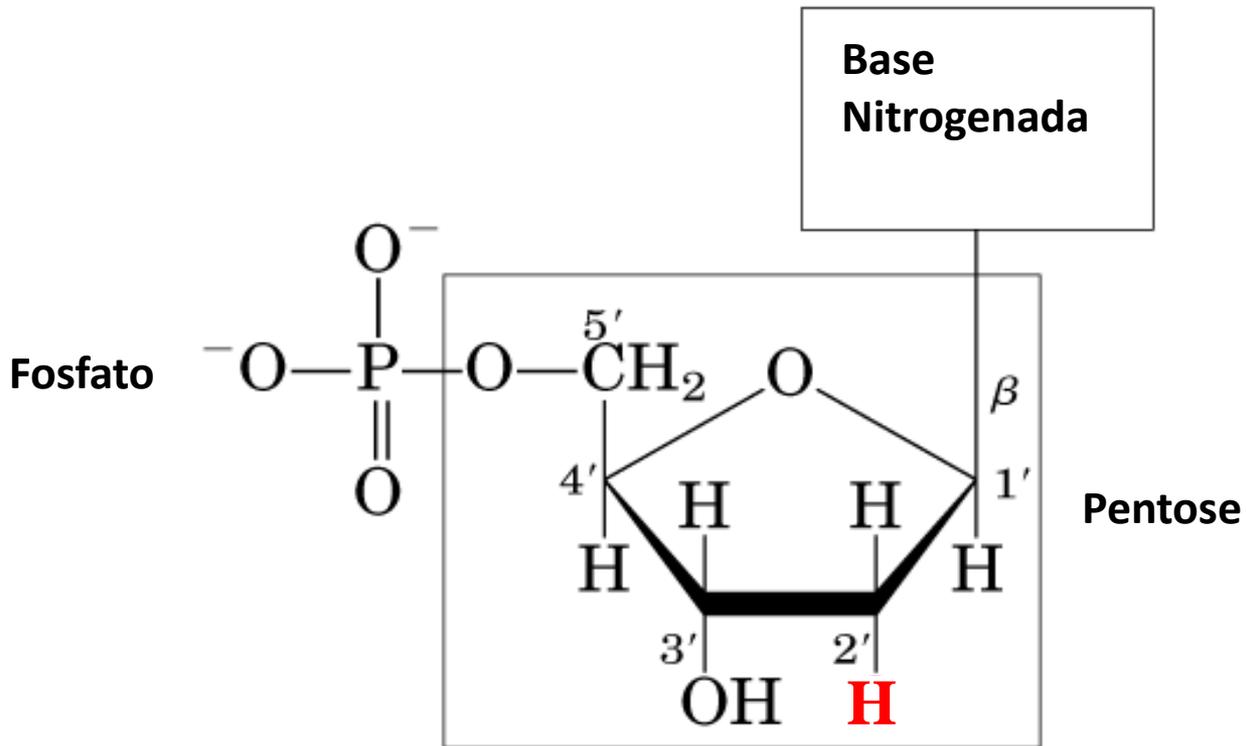
Química e nomenclatura de ácidos nucleicos

Ácidos nucléicos são formados por nucleotídeos



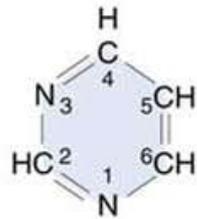
Nucleotídeos

blocos estruturais dos ácidos nucleicos

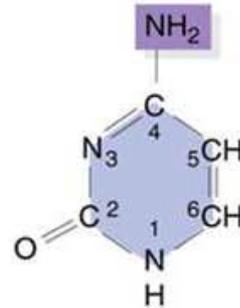


C2' { **H** → desoxiribose → Ác. desoxiribonucleicos (DNAs)
OH → ribose → Ác. ribonucleicos (RNAs)

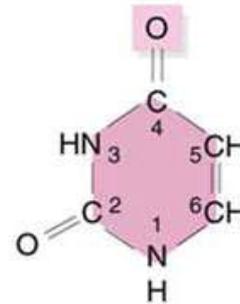
As bases comuns dos ácidos nucleicos



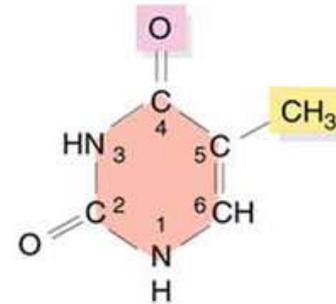
Pyrimidine



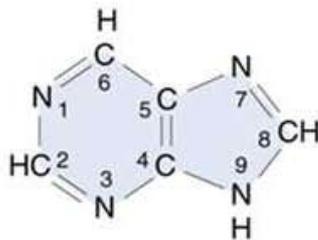
Cytosine (C)



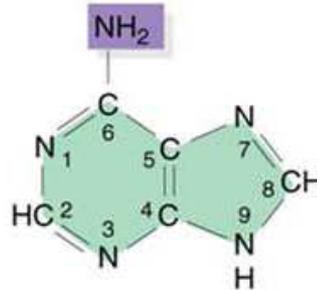
Uracil (U)
(found in RNA)



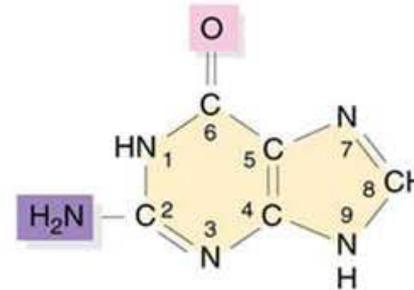
Thymine (T)
(found in DNA)



Purine

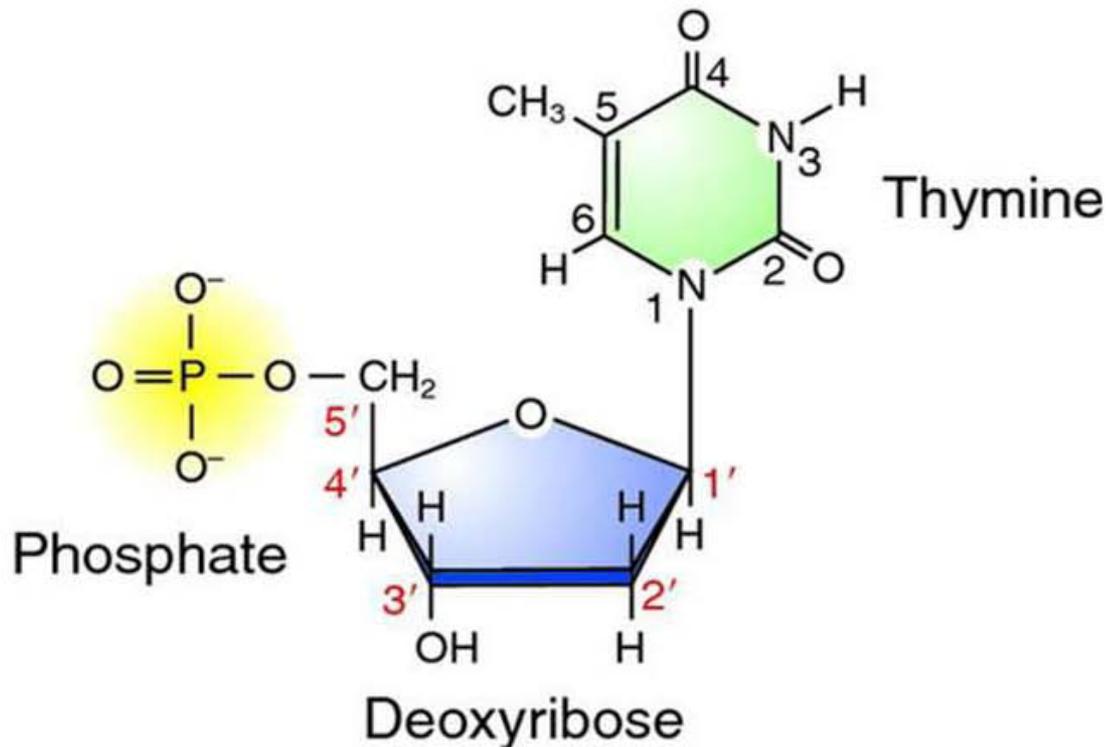


Adenine (A)



Guanine (G)

Numeração dos nucleotídeos



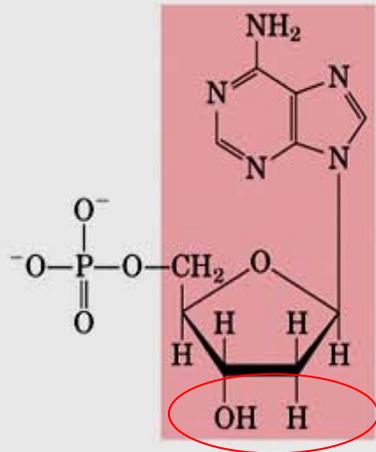
O uso do índice (') serve para diferenciar os átomos da base e da pentose. 5', 3', 2' se referem aos carbonos da pentose.

Nucleotide and Nucleic Acid Nomenclature

| Base | → | Nucleoside* | → | Nucleotide* | Nucleic acid |
|--------------------|---|--------------------------------|---|------------------------------------|--------------|
| Purines | | + ribose | | + fosfato | |
| Adenine | | Adenosine | | Adenylate | RNA |
| | | Deoxyadenosine | | Deoxyadenylate | DNA |
| Guanine | | Guanosine | | Guanylate | RNA |
| | | Deoxyguanosine | | Deoxyguanylate | DNA |
| Pyrimidines | | | | | |
| Cytosine | | Cytidine | | Cytidylate | RNA |
| | | Deoxycytidine | | Deoxycytidylate | DNA |
| Thymine | | Thymidine or deoxythymidine | | Thymidylate or deoxythymidylate | DNA |
| Uracil | | Uridine | | Uridylate | RNA |

**Nucleoside* and *nucleotide* are generic terms that include both ribo- and deoxyribo- forms. Note that here ribonucleosides and ribonucleotides are designated simply as nucleosides and nucleotides (e.g., riboadenosine as adenosine), and deoxyribonucleosides and deoxyribonucleotides as deoxynucleosides and deoxynucleotides (e.g., deoxyriboadenosine as deoxyadenosine). Both forms of naming are acceptable, but the shortened names are more commonly used. Thymine is an exception; the name ribothymidine is used to describe its unusual occurrence in RNA.

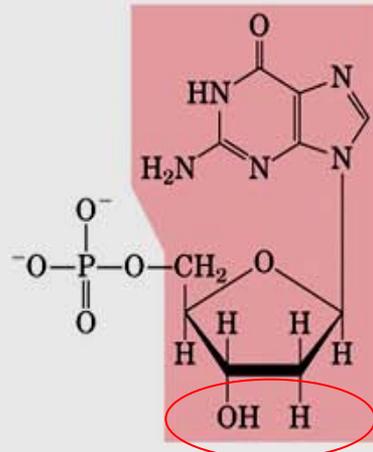
Desoxirribonucleotídeos (DNA)



Nucleotide: Deoxyadenylate
(deoxyadenosine
5'-monophosphate)

Symbols: A, dA, dAMP

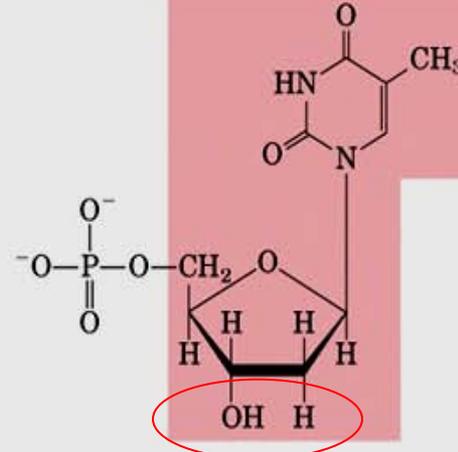
Nucleoside: Deoxyadenosine



Nucleotide: Deoxyguanylate
(deoxyguanosine
5'-monophosphate)

Symbols: G, dG, dGMP

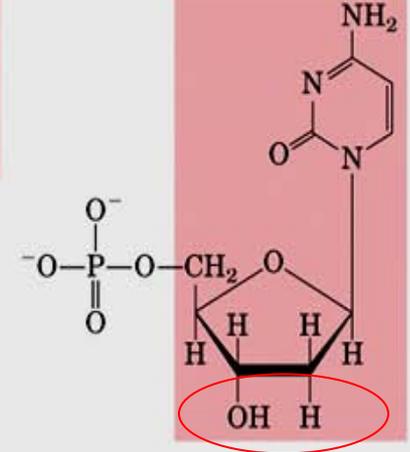
Nucleoside: Deoxyguanosine



Nucleotide: Deoxythymidylate
(deoxythymidine
5'-monophosphate)

Symbols: T, dT, dTMP

Nucleoside: Deoxythymidine



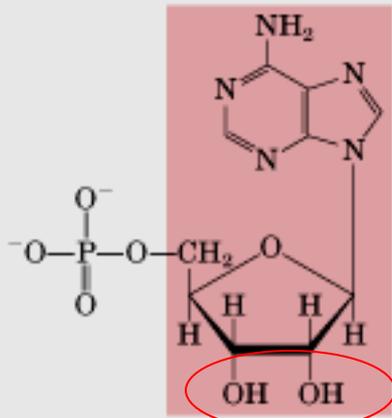
Nucleotide: Deoxycytidylate
(deoxycytidine
5'-monophosphate)

Symbols: C, dC, dCMP

Nucleoside: Deoxycytidine

(a) Deoxyribonucleotides

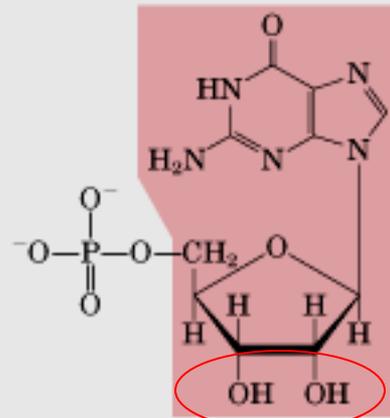
Ribonucleotídeos (RNA)



Nucleotide: Adenylate (adenosine 5'-monophosphate)

Symbols: A, AMP

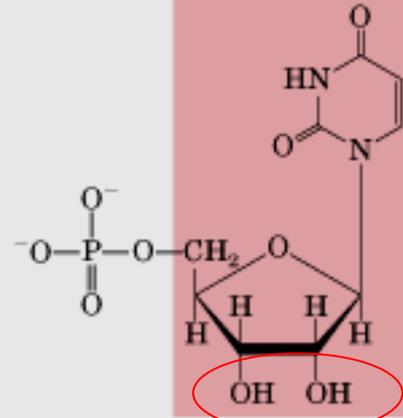
Nucleoside: Adenosine



Nucleotide: Guanylate (guanosine 5'-monophosphate)

Symbols: G, GMP

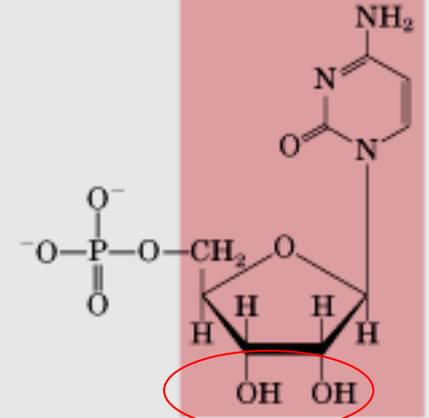
Nucleoside: Guanosine



Nucleotide: Uridylate (uridine 5'-monophosphate)

Symbols: U, UMP

Nucleoside: Uridine



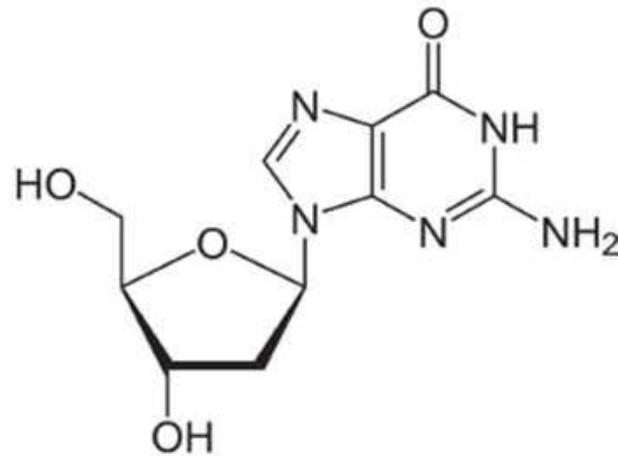
Nucleotide: Cytidylate (cytidine 5'-monophosphate)

Symbols: C, CMP

Nucleoside: Cytidine

(b) Ribonucleotides

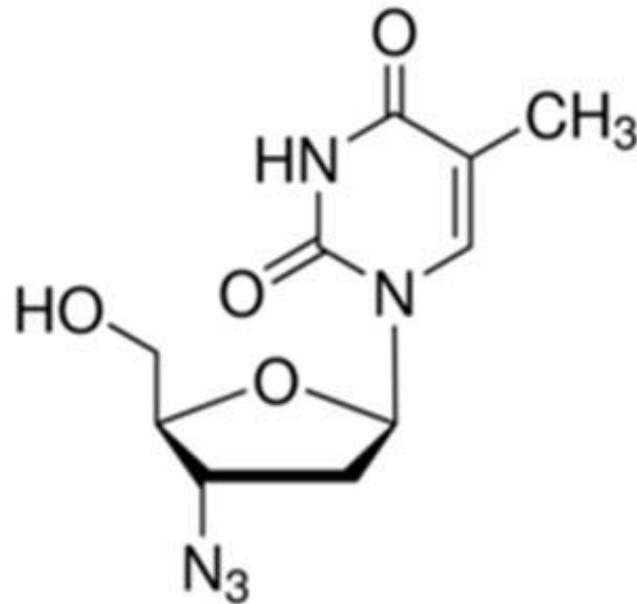
O que é essa molécula?



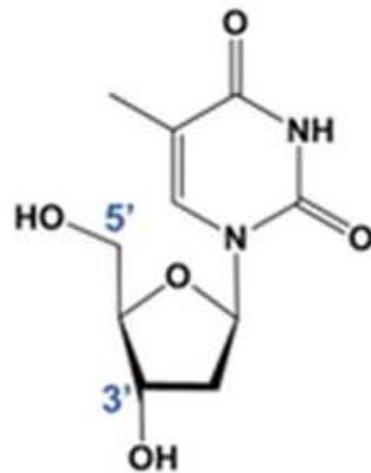
- a) Base
- b) Ribonucleosídeo
- c) Desoxiribonucleosídeo
- d) Ribonucleotídeo
- e) Desoxiribonucleotídeo

Mais um teste... Dessa vez com uma molécula de grande importância médica:

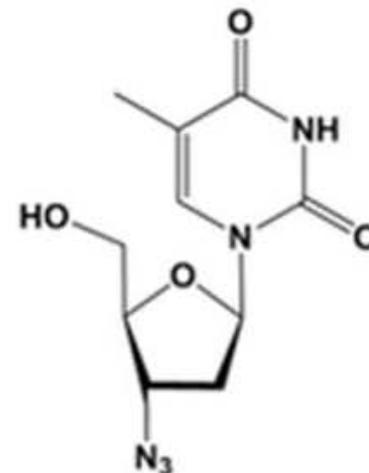
AZT



O AZT é um “análogo de nucleosídeo”



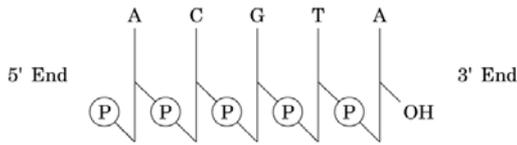
Thymidine



Azidothymidine (AZT)
Zidovudine

Análogos de nucleosídeo são uma família importante de fármacos com ação antiviral

Níveis de organização dos ácidos nucleicos

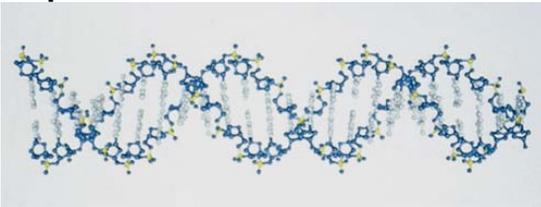


Estrutura Primária

- Estrutura covalente do DNA/RNA
- Sequência de nucleotídeos



Dupla-hélice de DNA

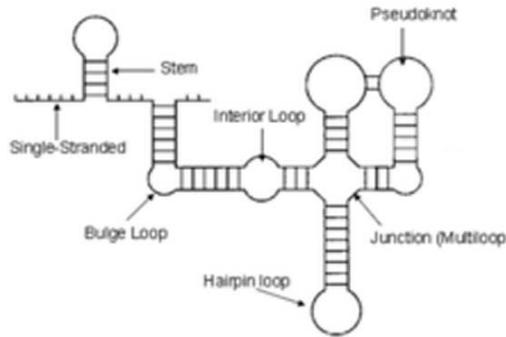


Estrutura Secundária

- Estruturas regulares locais do DNA (dupla-hélice) e RNA (grampos, voltas, laços)

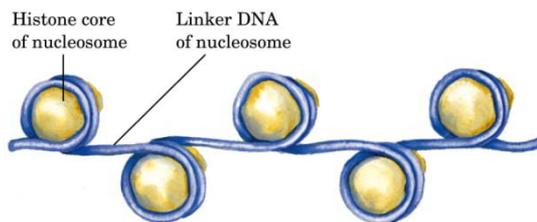


Estruturas secundárias de RNA



Estrutura Terciária

- Arranjo tri-dimensional das moléculas de DNA e RNA



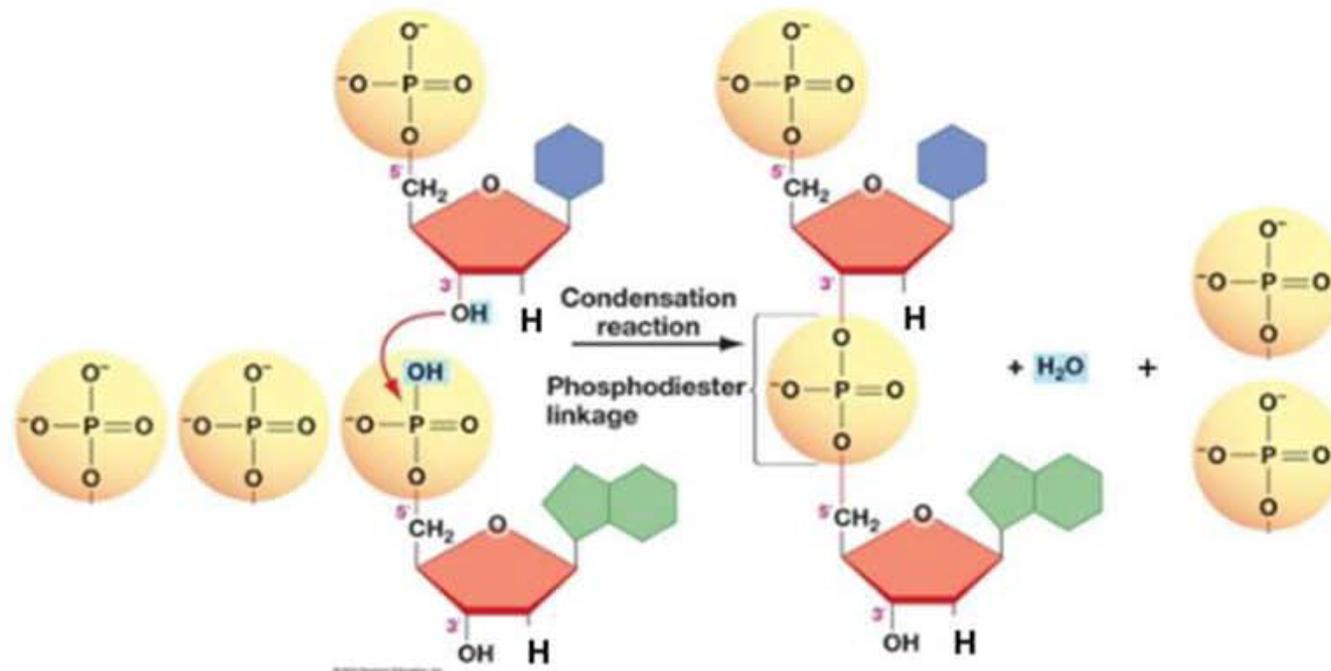
Estrutura Quaternária

Complexos formados a partir da interação de DNA e RNA com proteínas ou outras macromoléculas.

Ex.

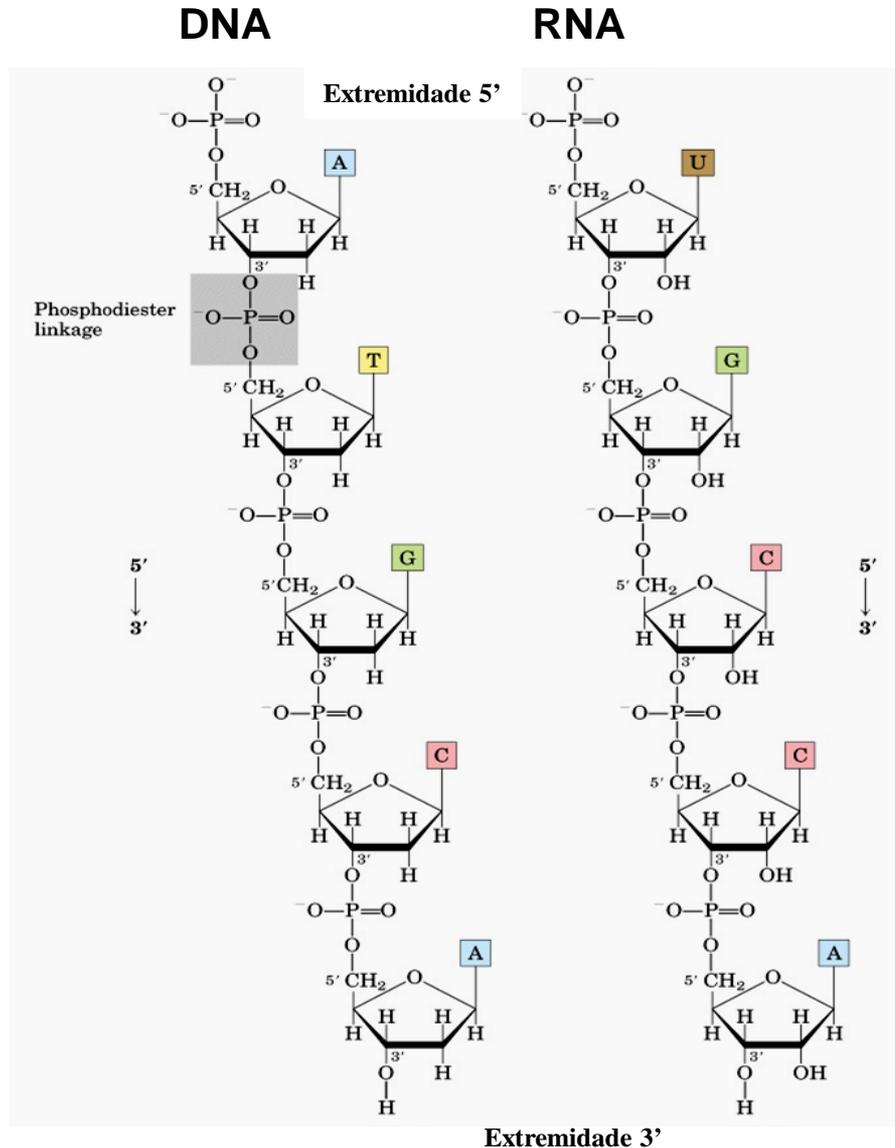
- DNA na cromatina (eucariotos) e nucleóide (procaríotos)
- RNAs nos ribossomos

Ácidos nucleicos são polímeros de nucleotídeos formados por uma reação de condensação

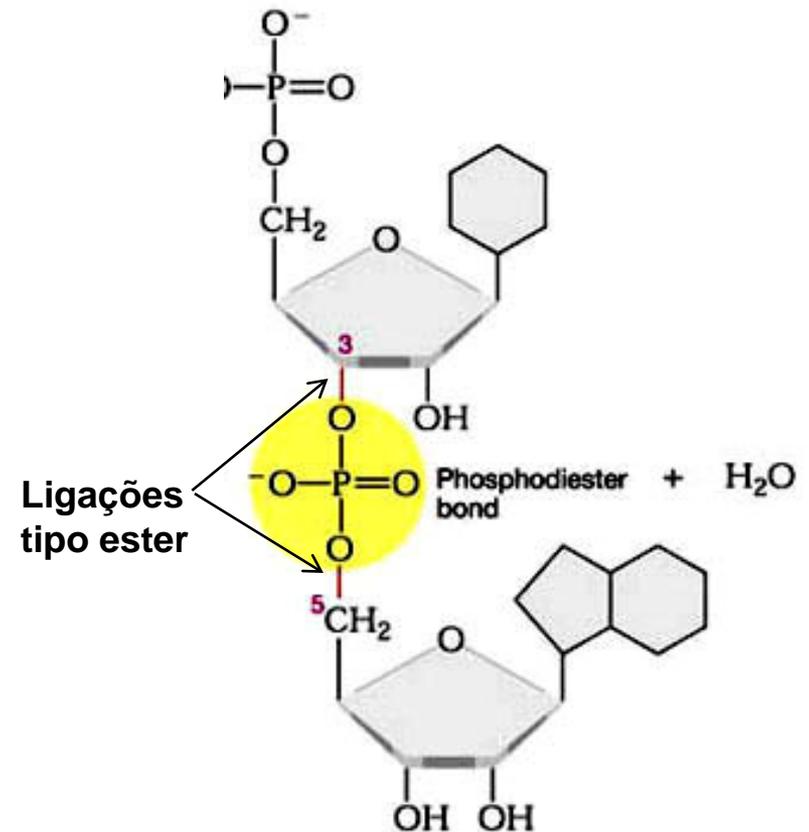


Ligação fosfodiéster!
ácido + álcool = éster

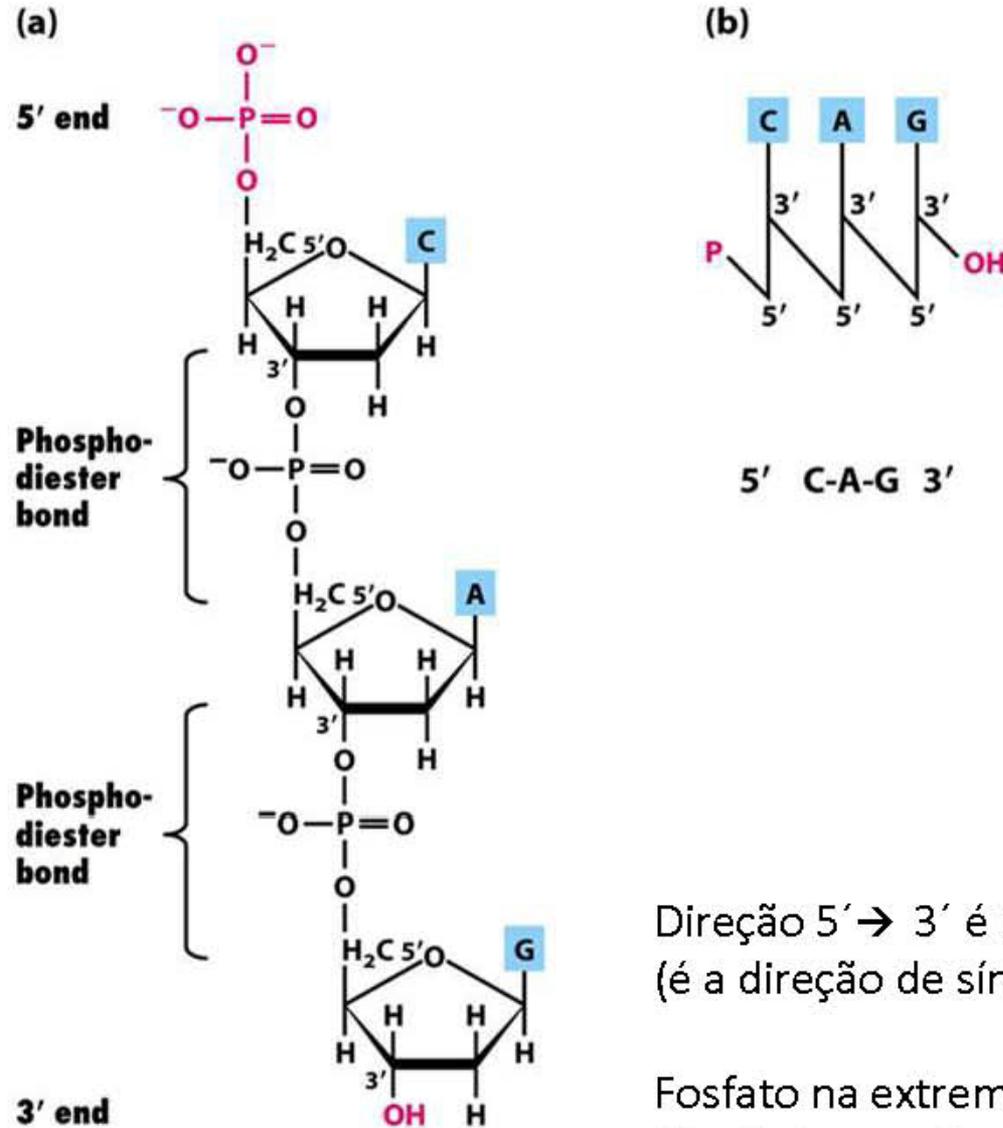
Ácidos nucleicos são polímeros lineares de nucleotídeos unidos por ligações covalentes do tipo fosfodiéster



A composição e ordem dos nucleotídeos define a **estrutura primária** da molécula de DNA/RNA



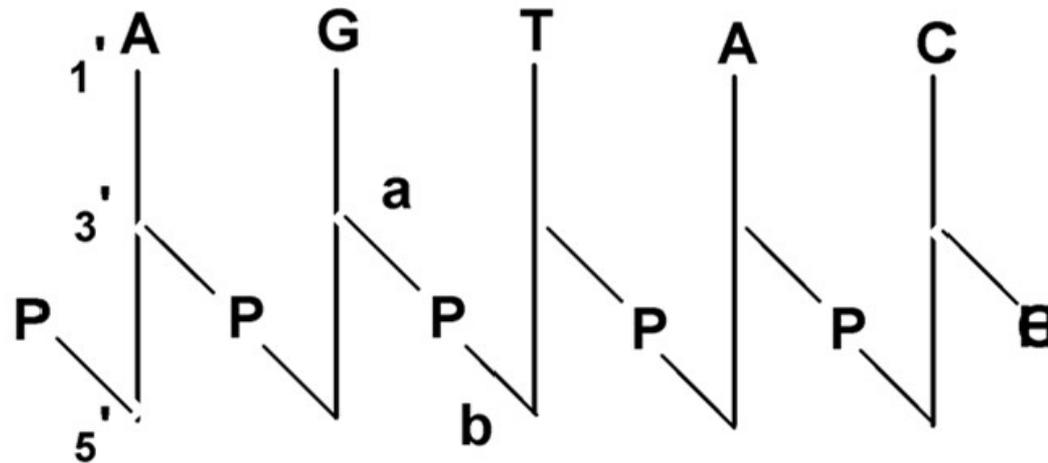
Notações para moléculas de DNA



Direção 5' → 3' é uma convenção !
(é a direção de síntese nas células)

Fosfato na extremidade 5' e OH na 3' refletem a situação mais comum

Notação abrevviada de Fischer



- Bases em cima.
- A linha vertical representa o açúcar, numerado de cima para baixo.
- A extremidade 5' (P) fica do lado esquerdo e a 3' (OH) no lado direito.
- A linha diagonal é a ligação fosfodiéster.
- *a* e *b* são pontos de clivagem por nucleases.

Útil pois permite distinguir as diferentes ligações presentes na molécula, sem ter que desenhar a estrutura

Estrutura do DNA: a dupla-hélice “padrão”

Desvendando a estrutura do DNA

Erwin Chargaff (1950)



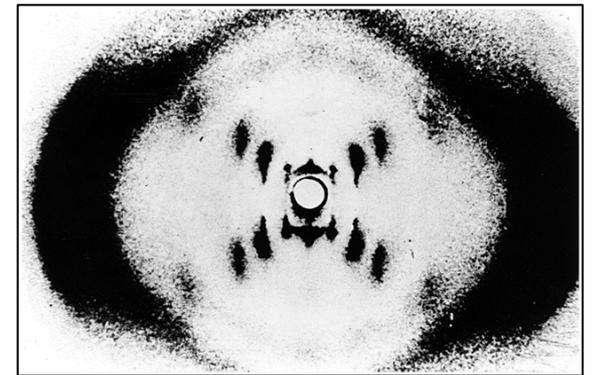
As quantidades relativas de A, T, G e C são características de cada organismo, não variando entre diferentes tecidos ou em diferentes condições fisiológicas. “Regras de Chargaff”: em qualquer DNA celular, a quantidade de resíduos **A=T** e **G=C**.

R. Franklin e M. Wilkins (1953)



Determinação da estrutura tridimensional do DNA utilizando difração de raio-X.

Moléculas de DNA assumem **estrutura helicoidal**, com 2 periodicidades (3,4 Å e 34 Å) ao longo do eixo do hélice.



34 Å

J. Watson e F. Crick (1953)



Modêlo Watson-Crick para a estrutura do DNA

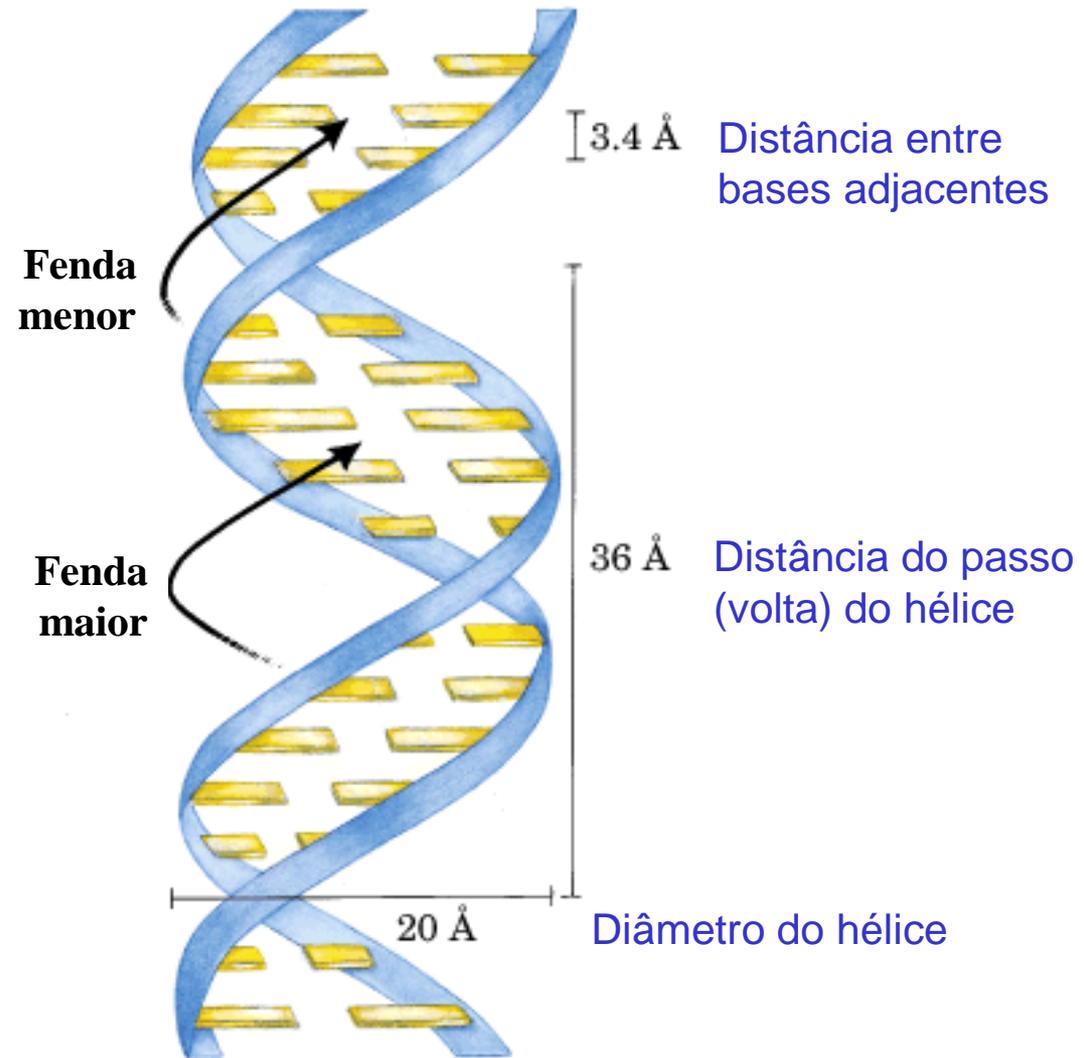
Modêlo tri-dimensional para a estrutura do DNA:

Duas cadeias de DNA

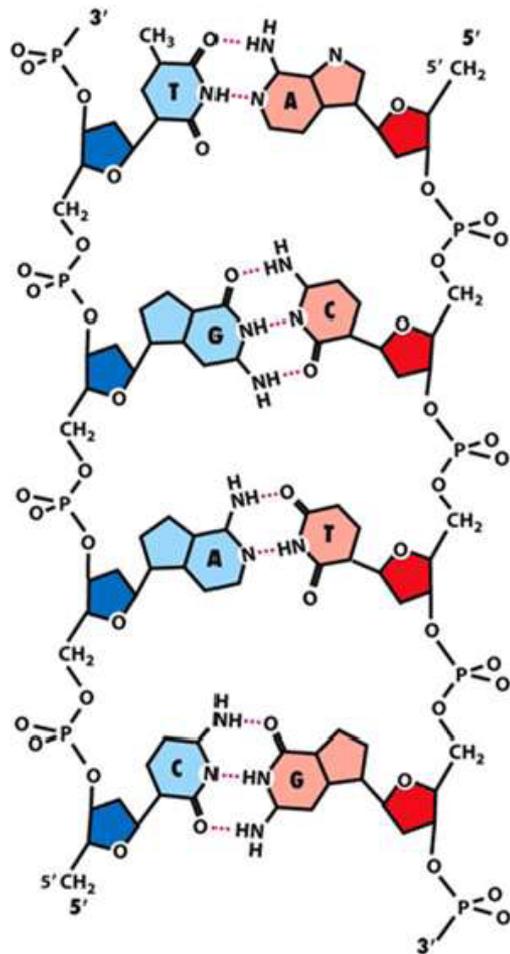
complementares, anti-paralelas, formam uma

dupla-hélice com rotação no sentido anti-horário (“right-handed”).

A dupla hélice do DNA tem um padrão regular e define a **estrutura secundária** da molécula.

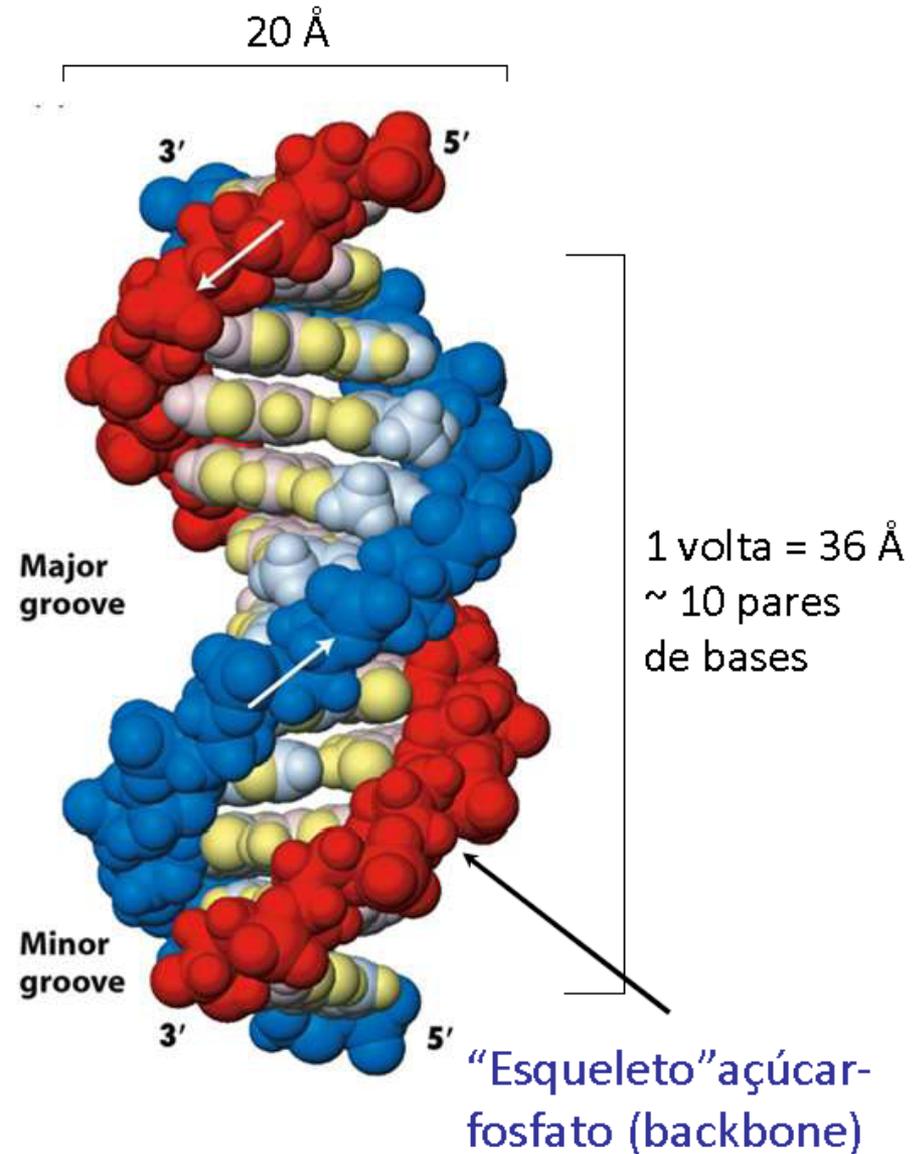


DNA é uma dupla hélice formada por cadeias antiparalelas



Polaridades opostas !

Estrutura "padrão" é DNA na forma B



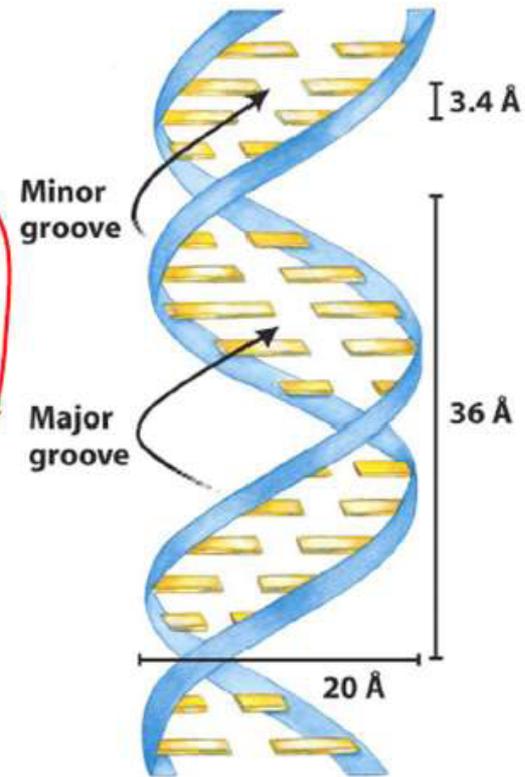
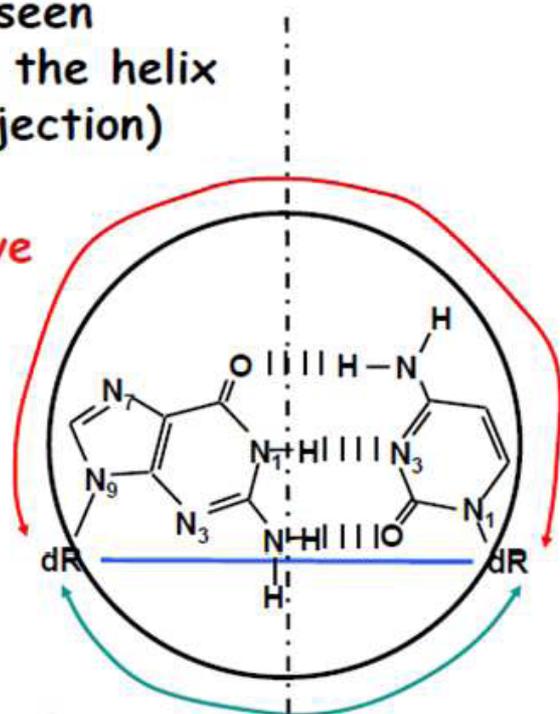
Sulcos são diferentes porque as bases se projetam em ângulo do esqueleto açúcar-fosfato

Base pairs seen from above the helix (helical projection)

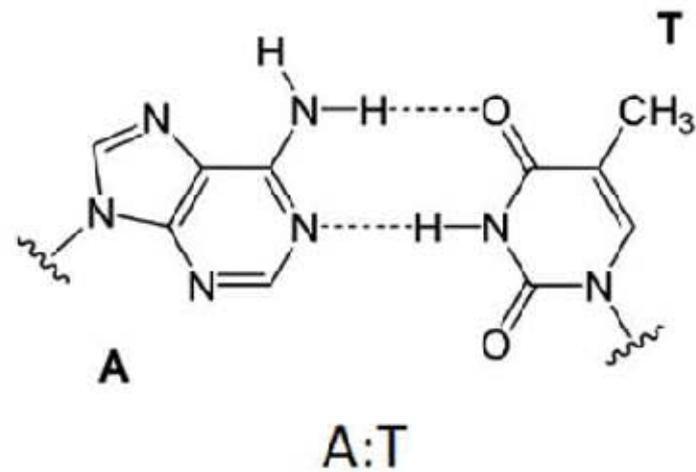
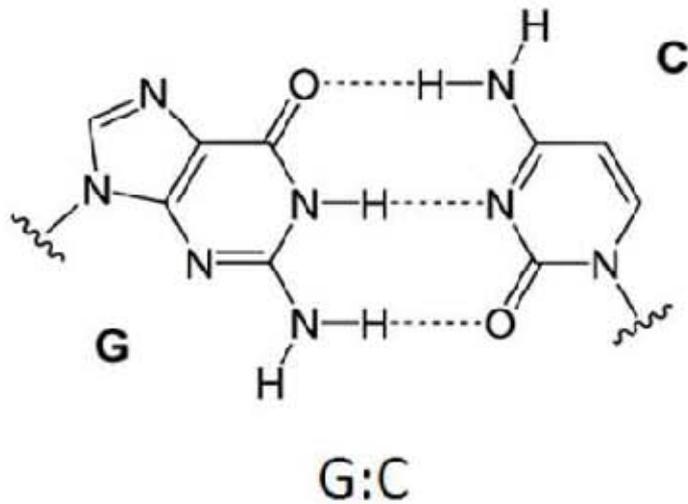
Major Groove $>180^\circ$

Minor Groove $<180^\circ$

Pseudo Dyad Axis



Pares de bases canônicos

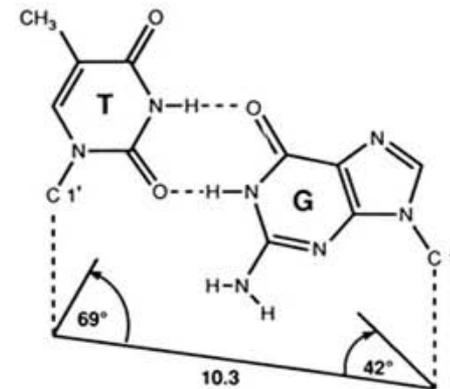
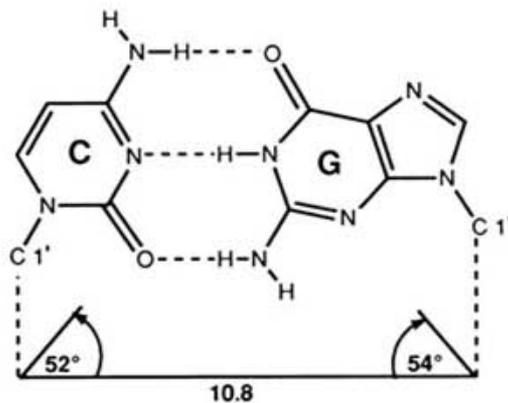
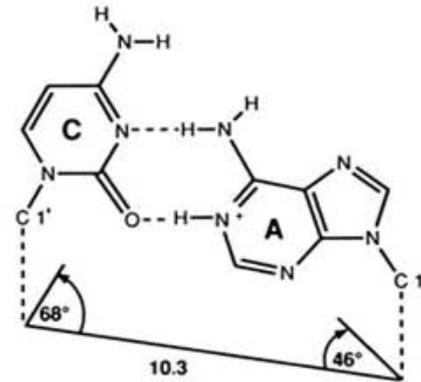
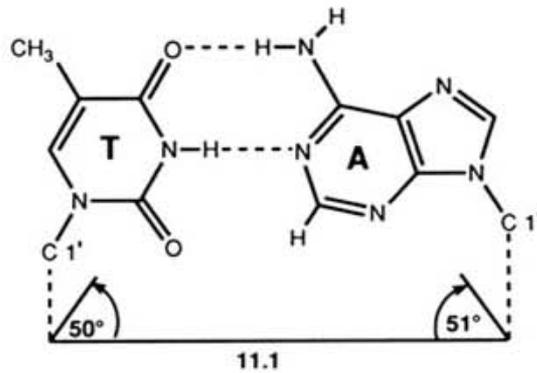


Pareamento de "Watson e Crick"

Por que o pareamento no DNA ocorre apenas entre A:T e G:C?

- a) A estrutura das bases não permite a formação de pontes de hidrogênio entre outros pares
- b) Formação de pontes é possível entre pares não canônicos mas isso desestabilizaria a dupla hélice
- c) Outros pares são possíveis, mas apenas entre purinas e pirimidinas

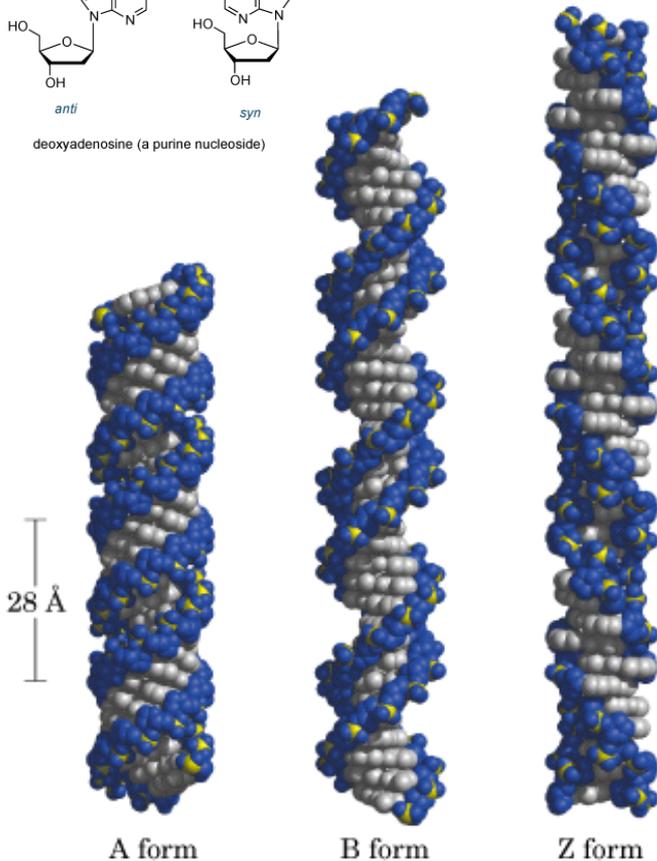
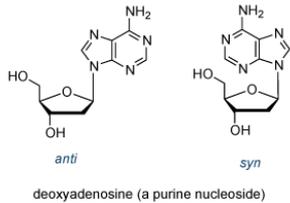
Pares de bases canônicos tem geometria essencialmente idêntica



Dupla hélice é relativamente regular e simétrica, geometria é basicamente independente da sequência de bases

A dupla-hélice de DNA pode existir em diferentes formas tri-dimensionais

Diferentes conformações das desoxiriboses, rotações entre as ligações que compõe a cadeia de fosfodesoxiribose, rotação ao longo da ligação glicosídica C1'-N.

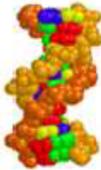


| | A form | B form | Z form |
|------------------------------------|--------------|--------------|--|
| Helical sense | Right handed | Right handed | Left handed |
| Diameter | ~26 Å | ~20 Å | ~18 Å |
| Base pairs per helical turn | 11 | 10.5 | 12 |
| Helix rise per base pair | 2.6 Å | 3.4 Å | 3.7 Å |
| Base tilt normal to the helix axis | 20° | 6° | 7° |
| Sugar pucker conformation | C-3' endo | C-2' endo | C-2' endo for pyrimidines; C-3' endo for purines |
| Glycosyl bond conformation | Anti | Anti | Anti for pyrimidines; syn for purines |

Forma B: Estrutura **mais estável** para uma dupla-hélice de DNA com sequência aleatória nas condições fisiológicas. prevista no modelo de Watson-Crick

Forma A: forma-se em condições de baixa umidade (<75%). Presente em esporos bacterianos. Forma mais compacta. resistente a radiação ultravioleta

Forma Z: sentido do hélice para a esquerda. presente em **regiões discretas** do genoma de eucariotos/procariotos. Possível papel na regulação da expressão gênica.



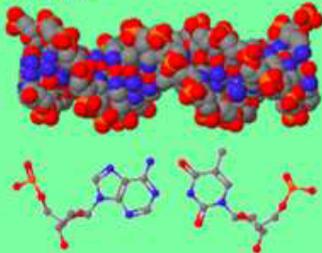
DNA Structure made with Jmol



An Interactive Animated Nonlinear Tutorial by [Eric Martz](#)
Adapted to J(S)mol by [Angel Herráez](#)

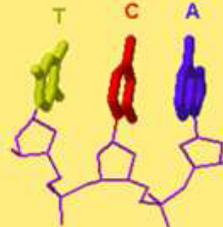
Part of the [Biomodel](#) website by Angel Herráez, Univ. de Alcalá (Spain)

A. Double helix by element: base pairs, hydrogen bonding



B. The Code

mRNA: AGU => Ser



[Explanation of codons and anticodons](#)

C. Strands and helical backbone



D. Ends, Antiparallelism



◆ Disponible también [en español](#) ◆ Também disponível [em português](#) ◆ Disponible aussi [en français](#) ◆ Auch verfügbar [auf Deutsch](#) ◆ Disponibil i [în limba română](#) ◆ Anche disponibile [in italiano](#) ◆ Również dostępne w języku [polskim](#) ◆ [Türkçe](#) çevirisi mevcuttur ◆ 进入 [中文版](#) ◆ [မြန်မာစာမျက်နှာ](#) ◆ Επίσης διαθέσιμο [στα Ελληνικά](#) ◆ [עברית](#) גם זמין ◆ Finns också [på svenska](#) ◆ Tersedia [dalam Bahasa Indonesia](#) ◆

Mirrored in the USA at [Eric Martz's site](#).



This tutorial is designed to **complement** Biology or Biochemistry and Molecular Biology books, so it is not by itself a complete introduction to DNA structure.

1. This [version 4.7](#) works in any modern browser.

Autodetection suggests your system is **a computer with Java not installed or disabled**.

Therefore, by default the **non-Java JSmol modality** will be used.
You may force the modality you wish by clicking either button below.

I have Java installed
and I want to use it.



I do not have Java or
I prefer not to use it.



Whenever possible, the use of the swifter Java modality is recommended, particularly with Internet Explorer.

2. This tutorial is designed to complement an introduction to DNA, by providing tools for a self-directed exploration. It does not tell a story (but does offer [questions for students](#) and a [lesson plan for teachers](#)). As a preamble to the tutorial below, or for a story that introduces DNA structure with interactive molecular graphics, we recommend

- [DNA Structure in Biomodel-3](#) (basic level, adequate for secondary school).
- [DNA Structure in Biomodel-1](#) (advanced level).
- [Exploring DNA Structure](#) by Andrew Carter (Jmol version by Frieda Reichsman).
- [Other DNA links](#).

Outros tutoriais de estrutura do DNA com visualização 3D dignos de nota:

Why is DNA a helix?

https://www.liverpool.ac.uk/sbs/DNA_Topology/HelixL.htm

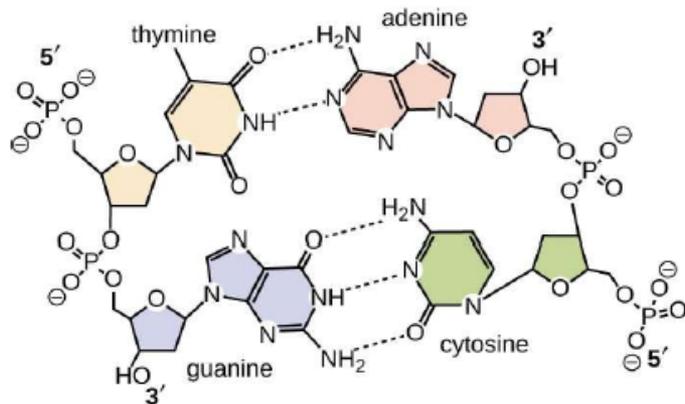
The structure of DNA (estruturas alternativas, quizzes)

<https://biomodel.uah.es/en/model1/dna/contents.htm>

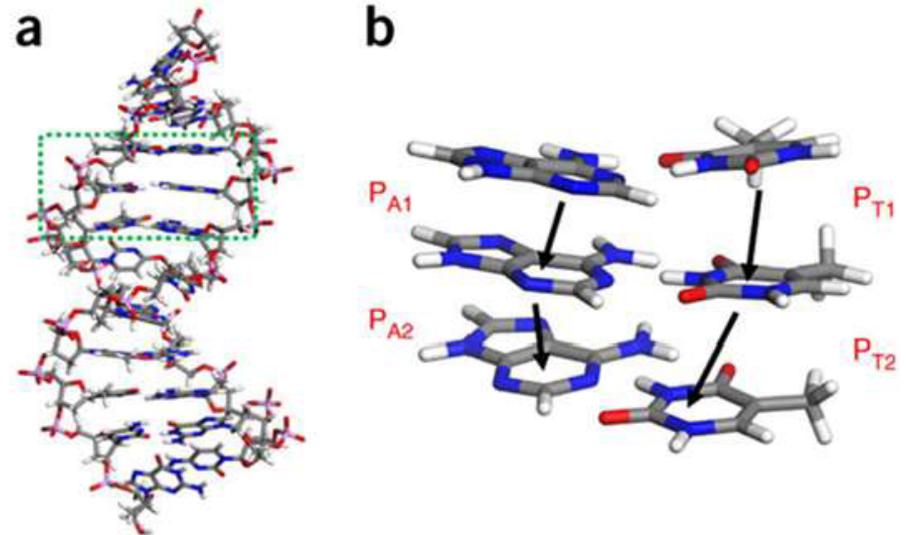
Forças que estabilizam a dupla-hélice,
desnaturação, renaturação

Existem dois tipos de interações químicas que estabilizam a dupla hélice

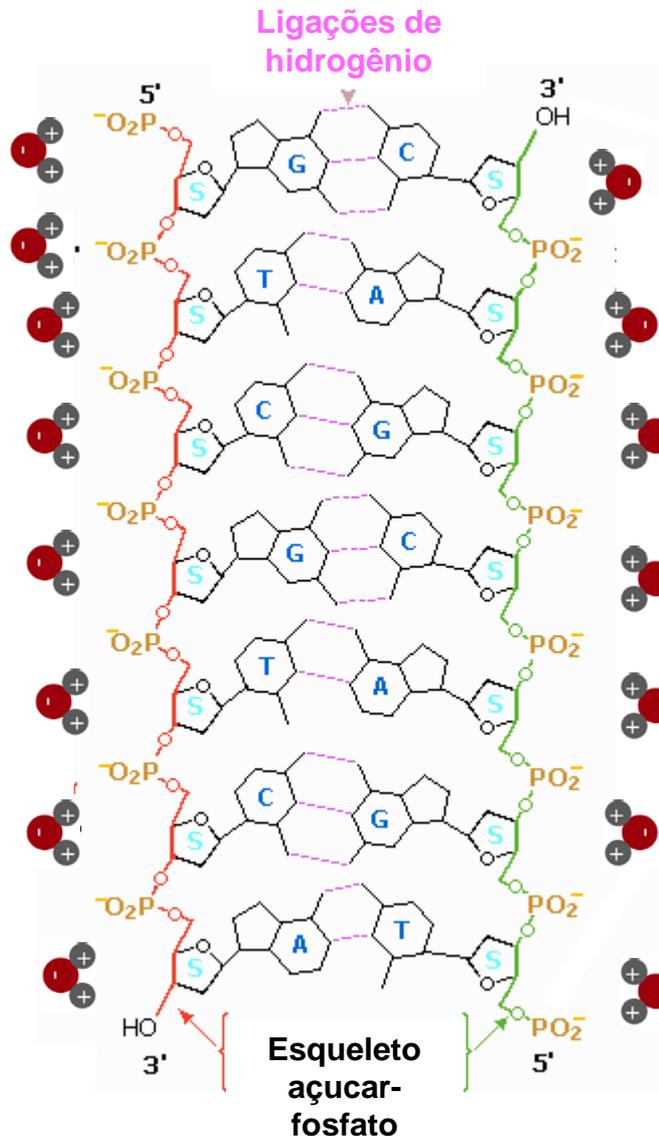
(1) Ligações de hidrogênio



(2) Interações de empilhamento (π stacking)

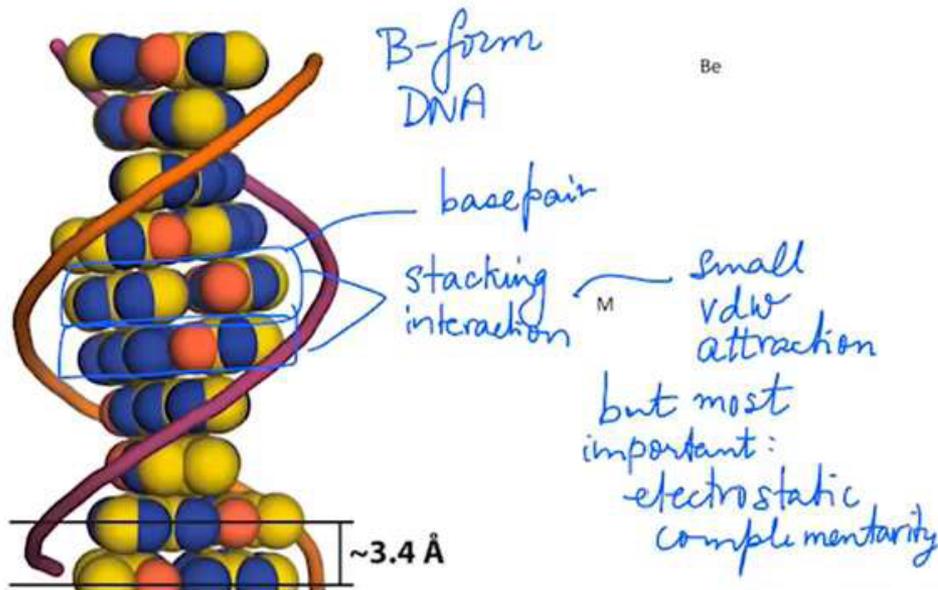


Repulsão entre cargas negativas nos grupos fosfato é afetada pela presença de cátions na solução e efeito dipolo da água

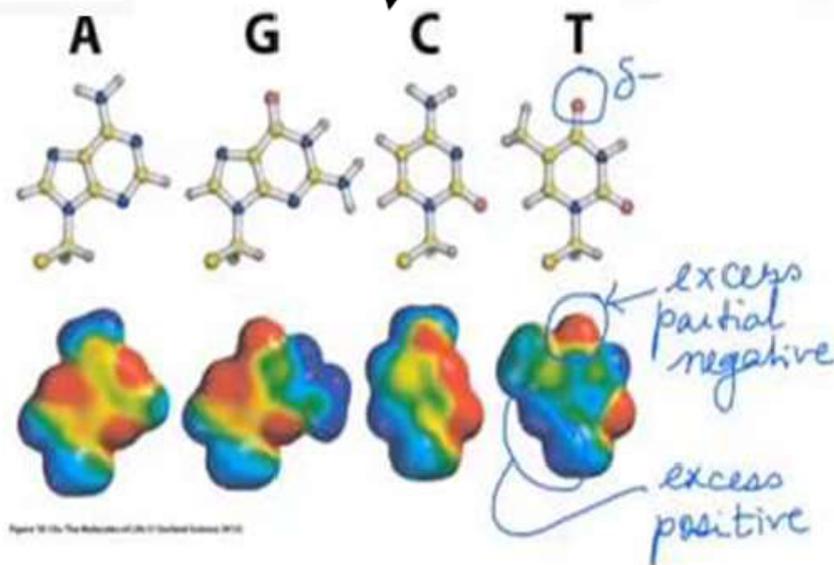


Interações de empilhamento

Figure 1.24 The Molecules of Life (© Garland Science 2013)



Distribuição eletrônica nos anéis das bases, estimada por cálculos de química quântica



Distância de 3,4 Å entre pares de base é estabelecida pelo limite das forças de Van der Waals

Figure 10.10 The Molecules of Life (© Garland Science 2013)

Contribuição energética das interações de empilhamento é mais importante do que a das ligações de hidrogênio

Ligações de hidrogênio das bases podem ser feitas tanto entre bases como com H₂O

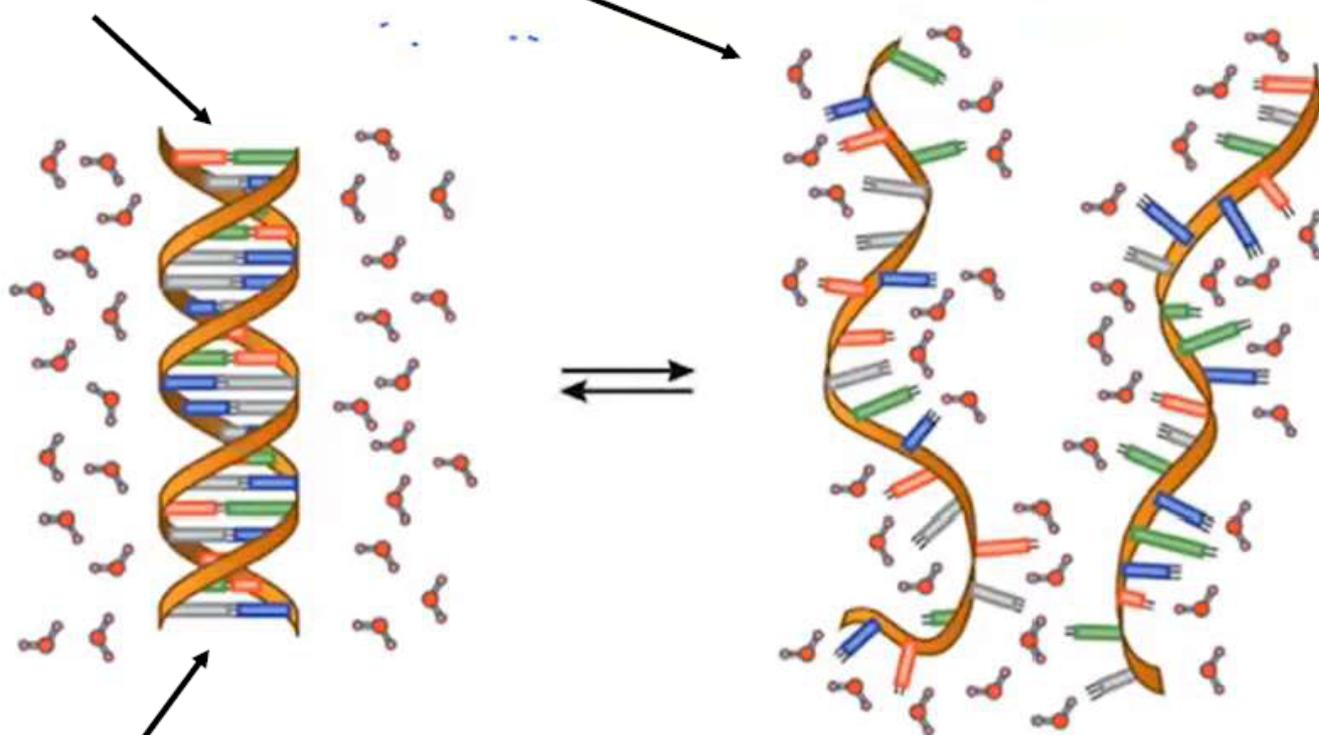
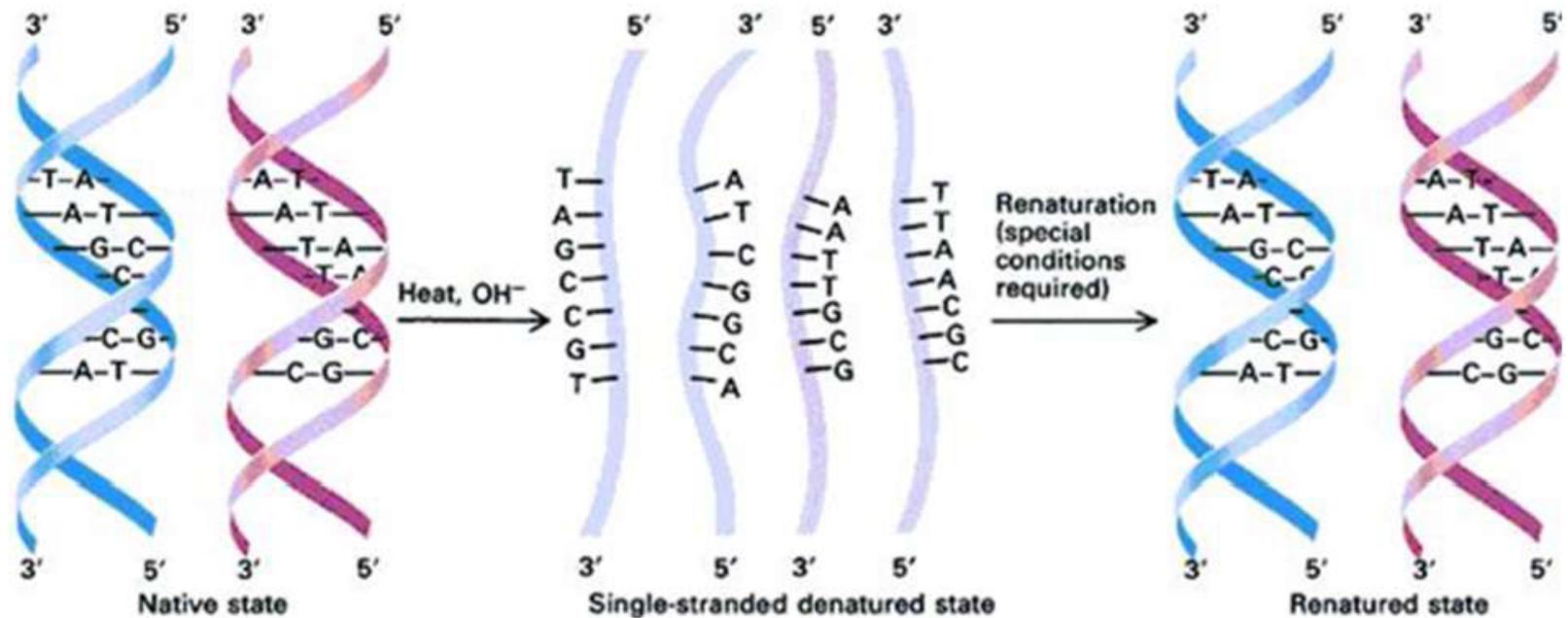


Figure 19.7 The Molecules of Life (© Garland Science 2013)

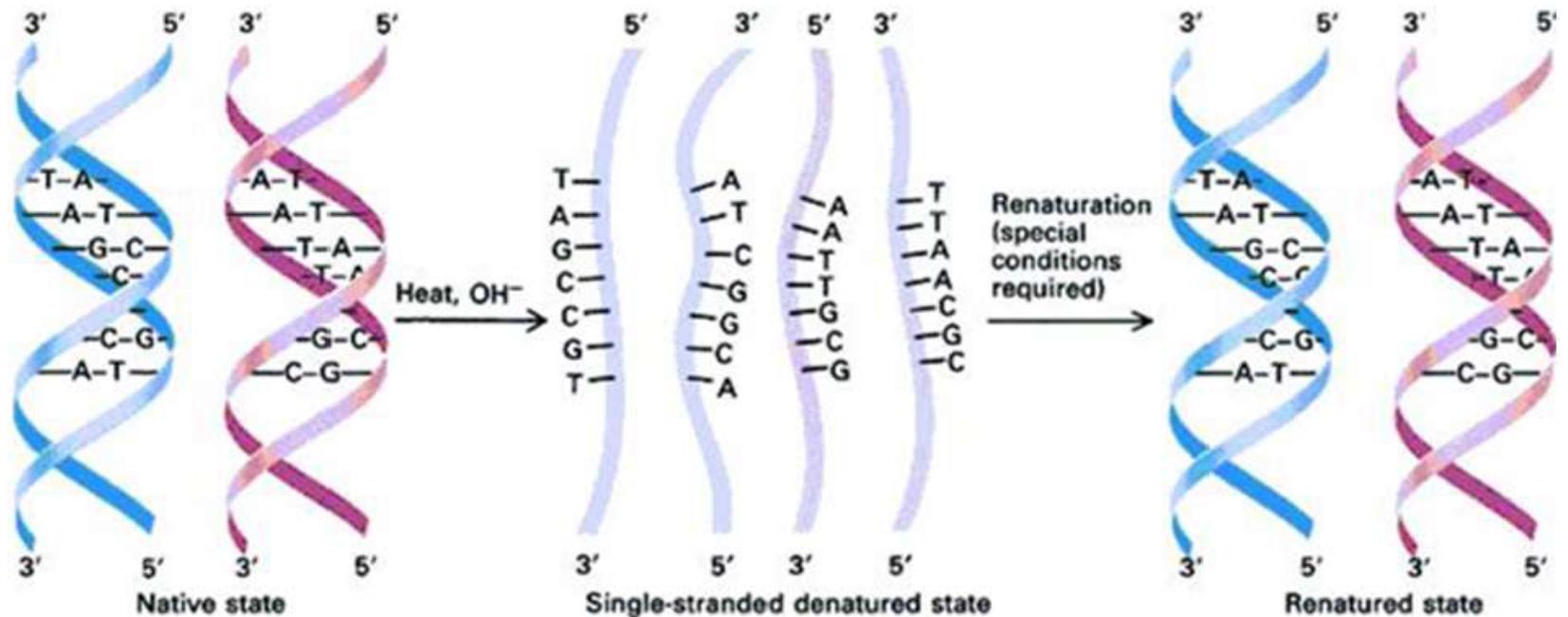
Interações de empilhamento só são formadas na dupla-hélice!

Ligações de hidrogênio são fundamentais para determinar a especificidade da interação entre fitas de DNA



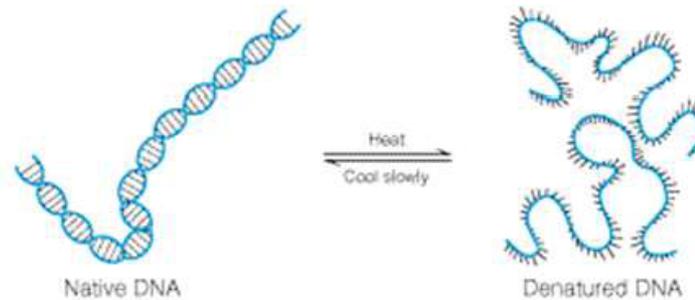
Duplas-fitas de DNA podem ser desnaturadas pela quebra de suas interações não-covalentes e posteriormente renaturadas. A renaturação só ocorre entre fitas complementares, pois só elas conseguem formar corretamente as ligações de H entre pares de bases. Uma fita "encontra" a complementar no meio de várias outras não relacionadas. Base da técnica de "hibridização"

Desnaturação e renaturação do DNA também foram aplicadas para estudar os fatores que determinam a estabilidade da dupla-hélice

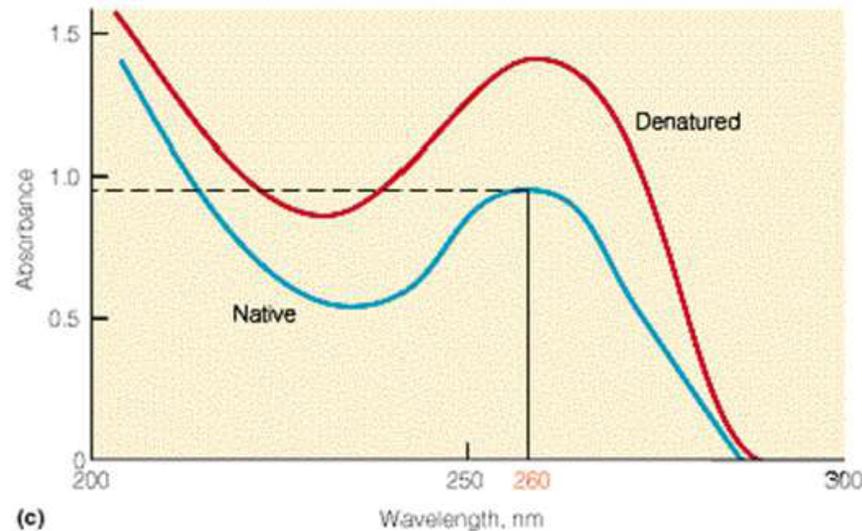


Temperatura, pH, força iônica, presença de solventes orgânicos, etc. Afetam estabilidade pois afetam ligações H e de empilhamento

Como visualizar o processo de desnaturação e renaturação do DNA?



(a)

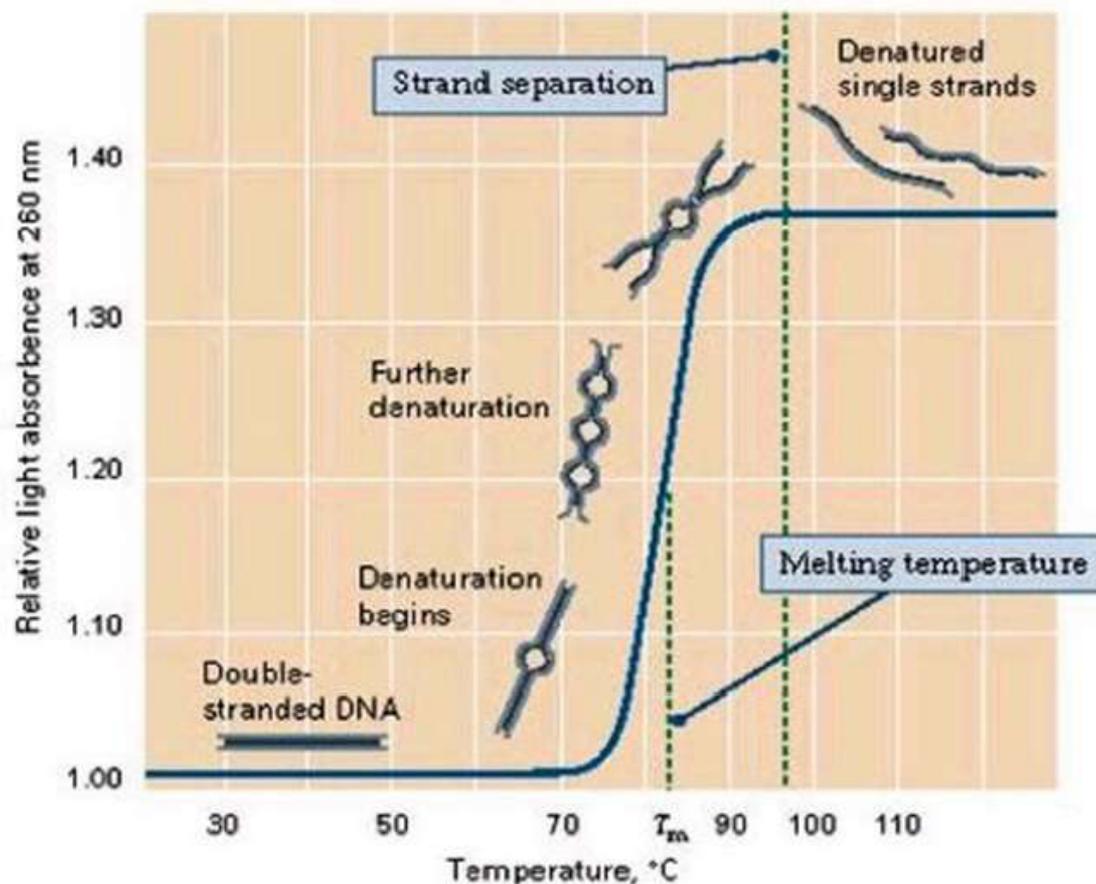


(c)

DNA desnaturado absorve mais luz UV

“Efeito hiper-crômico”

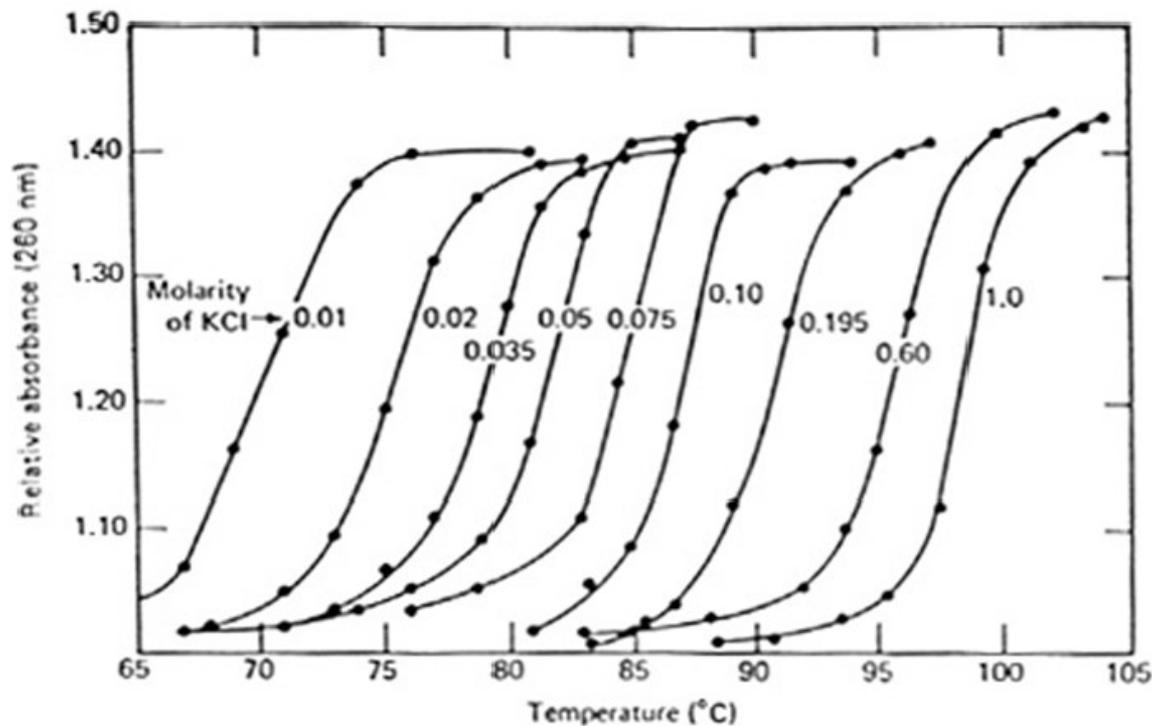
Desnaturação pode ser monitorada por espectrofotometria



Desnaturação é um processo cooperativo!

T_m ou temperatura de desnaturação mede a estabilidade de um duplex.

A estabilidade (T_m) de uma molécula de DNA é influenciada por condições físico químicas

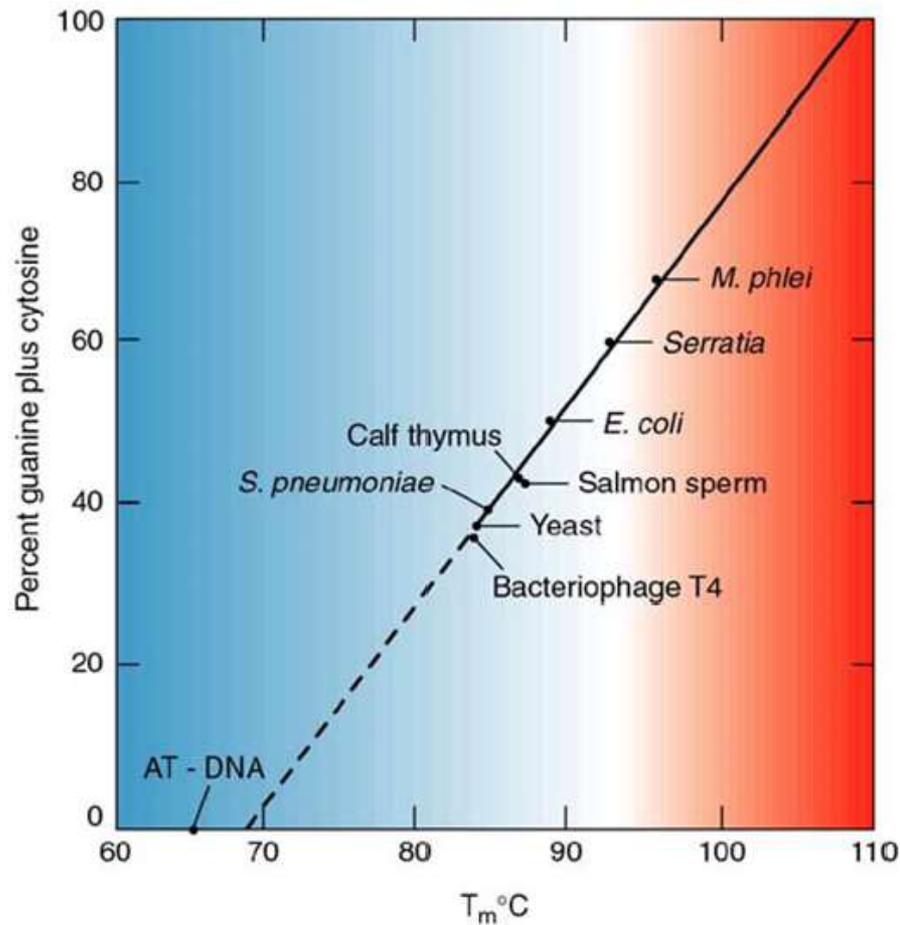


mesmo DNA, diferentes [KCl]

Como a força iônica afeta estabilidade?

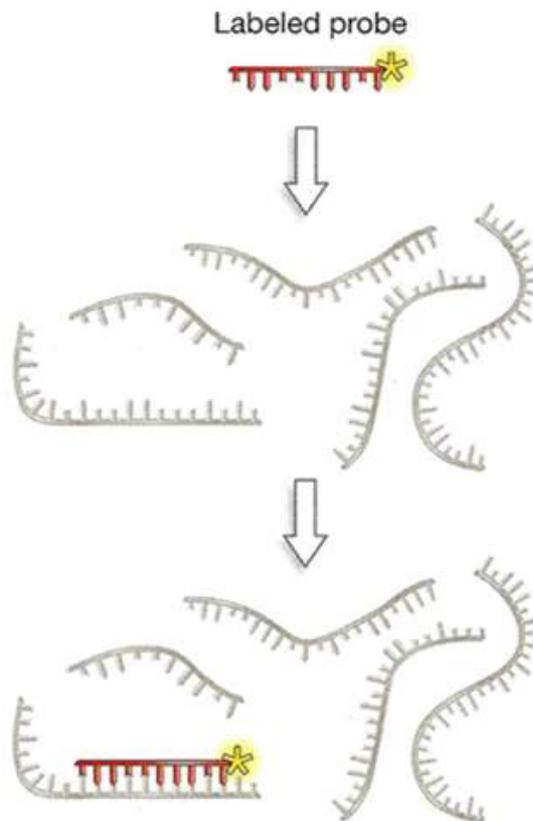
Explicação ?

Moléculas de DNA com composição (sequência) diferente tem estabilidade (T_m) diferente

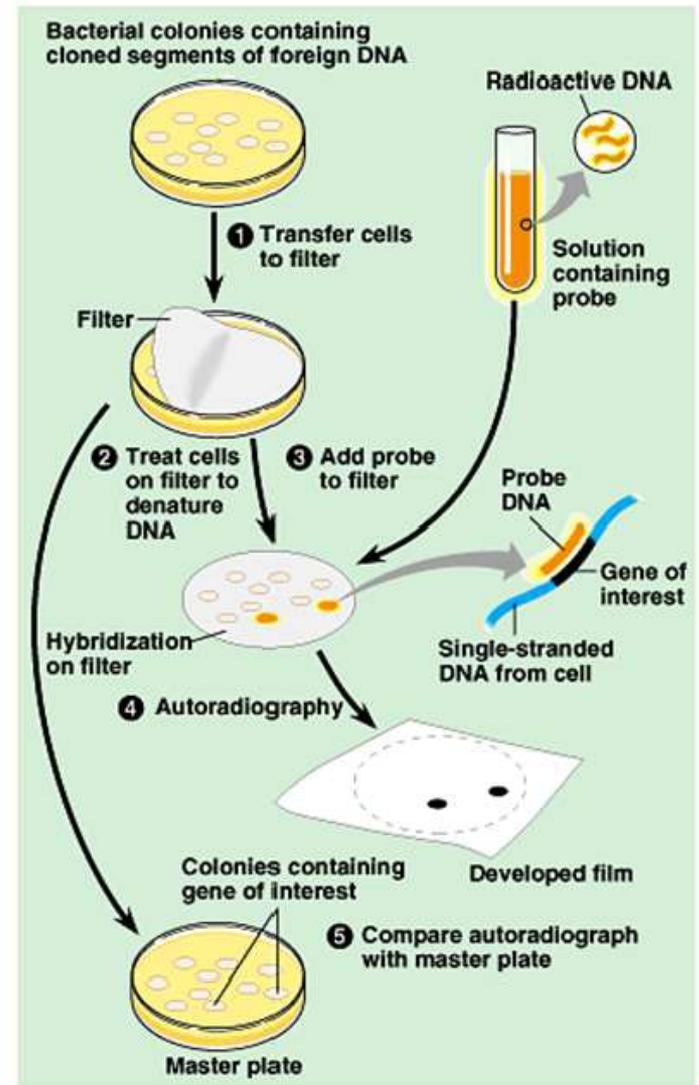


Por que T_m aumenta com aumento do percentual G+C?

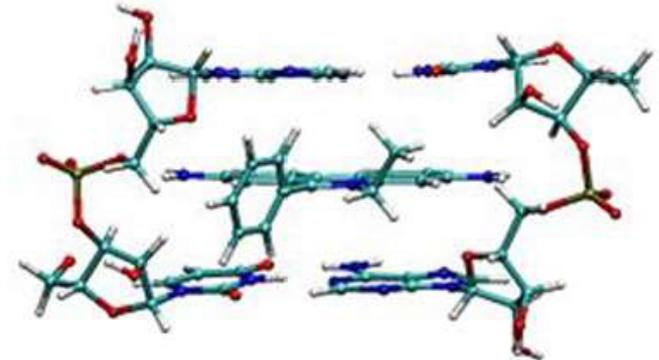
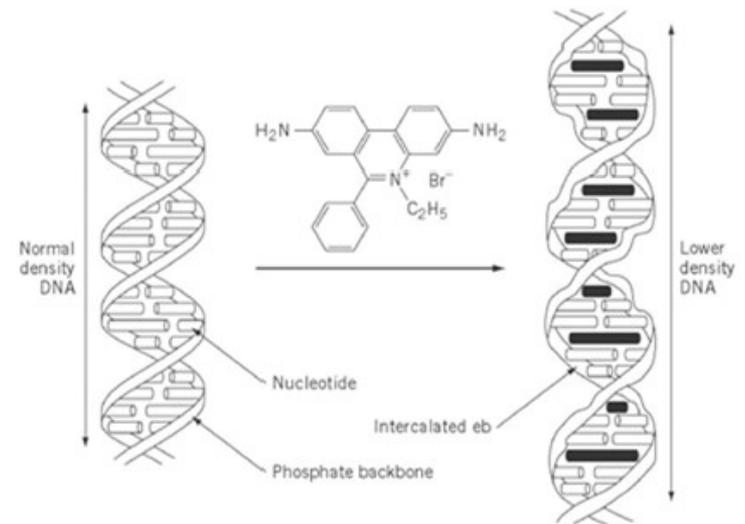
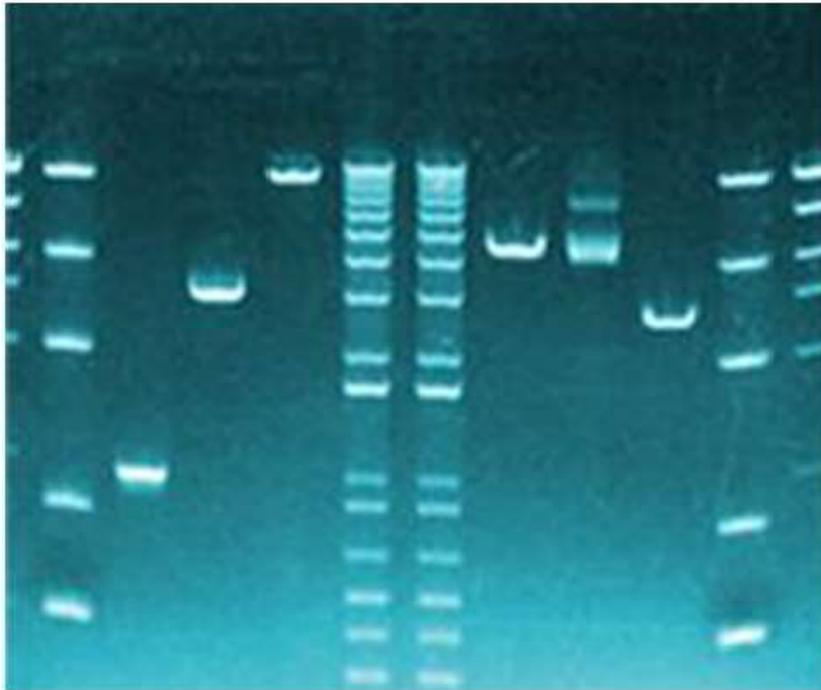
Renaturação espontânea de moléculas de DNA complementares é a base de técnicas centrais da biologia molecular



DNA marcado – sonda ou “probe”
Hibridização!



Eletroforese para separar moléculas de DNA



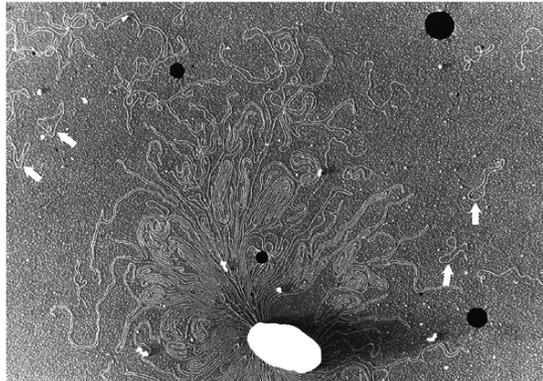
Corantes em geral são moléculas que se intercalam no DNA.
Brometo de Etídeo

Estrutura terciária/quaternária do DNA nas células

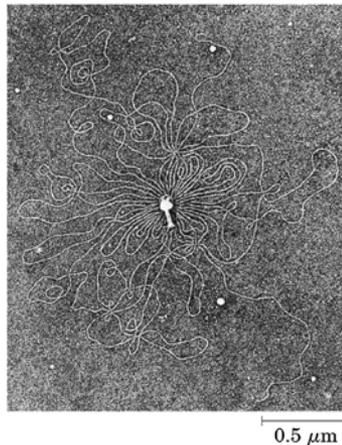
Cada molécula de DNA dupla-fita está organizada em **cromossomos**

bactérias e vírus:
cromossomo único

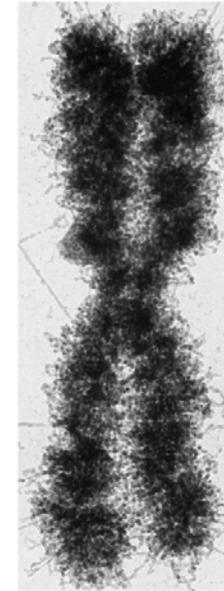
E.coli



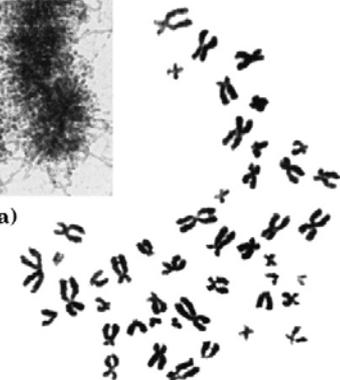
Bacteriofago T2



células eucarióticas:
vários cromossomos



(a)



(b)

46 cromossomos de uma
célula somática humana

Compactação do DNA cromossomal – “DNA Supercoiling”

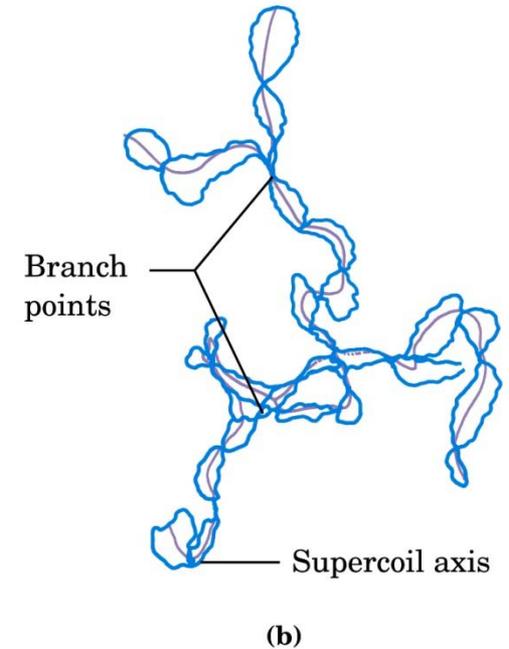
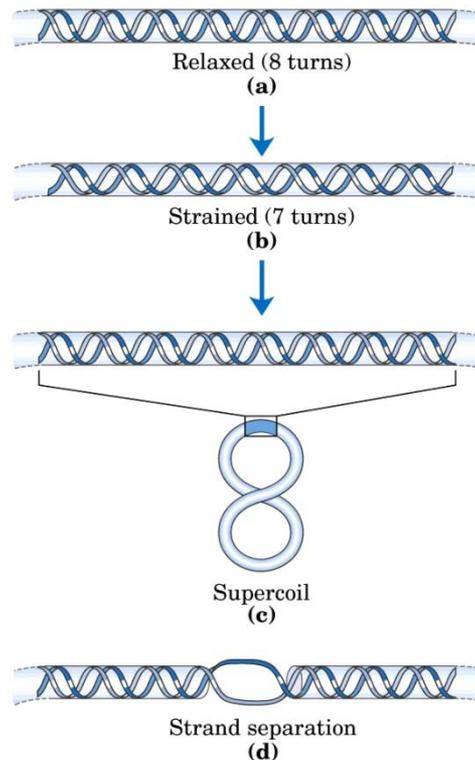
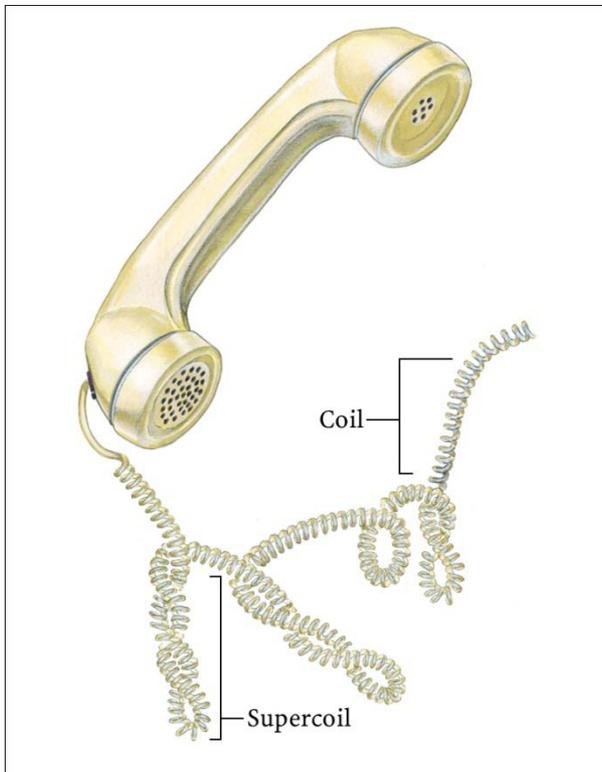
Cromossomo bacteriano: 4.6 milhões de pares de base
1.7 mm de comprimento

Tamanho de uma célula bacteriana: $2\mu\text{m}$ (850 vezes menor)

Cromossomos humanos: ~ 3 bilhões de pares de base
2 m de comprimento

Tamanho de uma célula humana: $5\text{-}100\mu\text{m}$ (400.000 a 20.000 vezes menor)

Distância entre bases adjacentes:
 $3,4 \text{ \AA}$

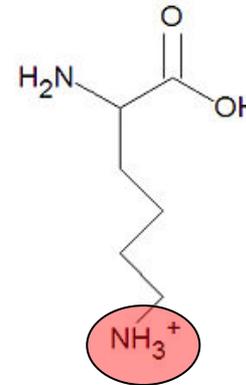


Nas células eucarióticas, o DNA cromossomal está associado a proteínas básicas na **cromatina**, formando **nucleosomos**

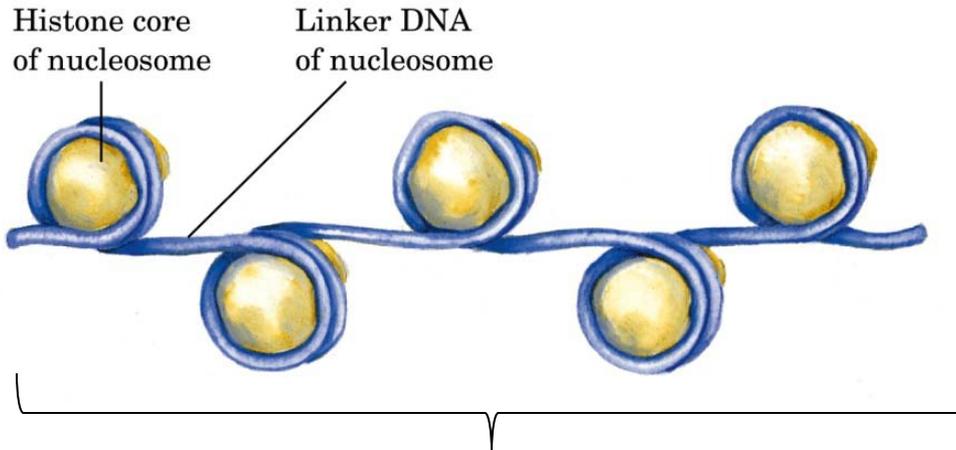
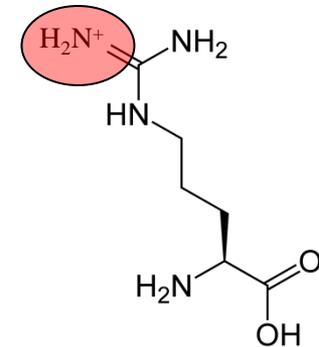
Types and Properties of Histones

| Histone | Molecular weight | Number of amino acid residues | Content of basic amino acids (% of total) | |
|---------|------------------|-------------------------------|---|------|
| | | | Lys | Arg |
| H1* | 21,130 | 223 | 29.5 | 1.3 |
| H2A* | 13,960 | 129 | 10.9 | 9.3 |
| H2B* | 13,774 | 125 | 16.0 | 6.4 |
| H3 | 15,273 | 135 | 9.6 | 13.3 |
| H4 | 11,236 | 102 | 10.8 | 13.7 |

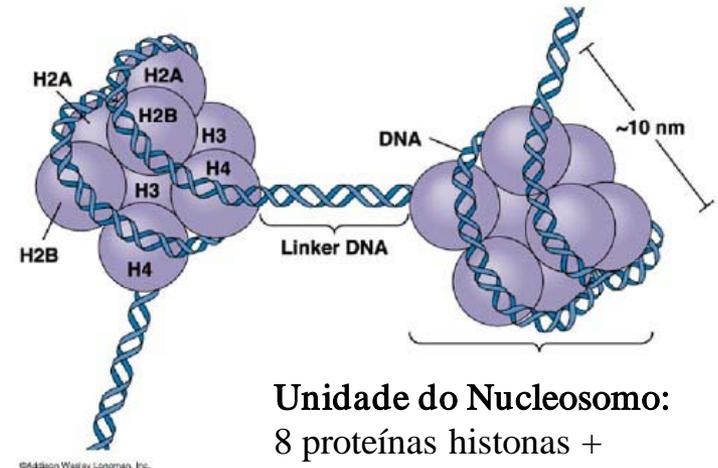
Lisina



Arginina

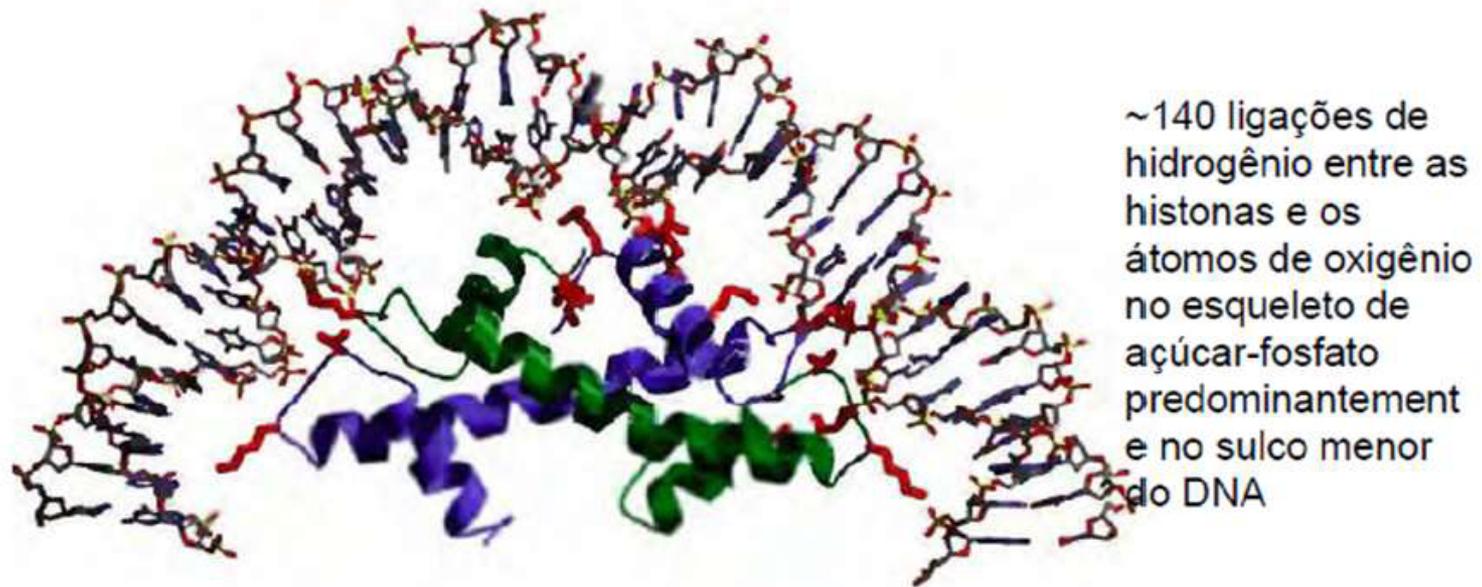


Cromatina : DNA + proteínas associadas



Unidade do Nucleosomo:
8 proteínas histonas +
146 pares de nucleotídeos

Interação entre histonas e DNA independente da sequência

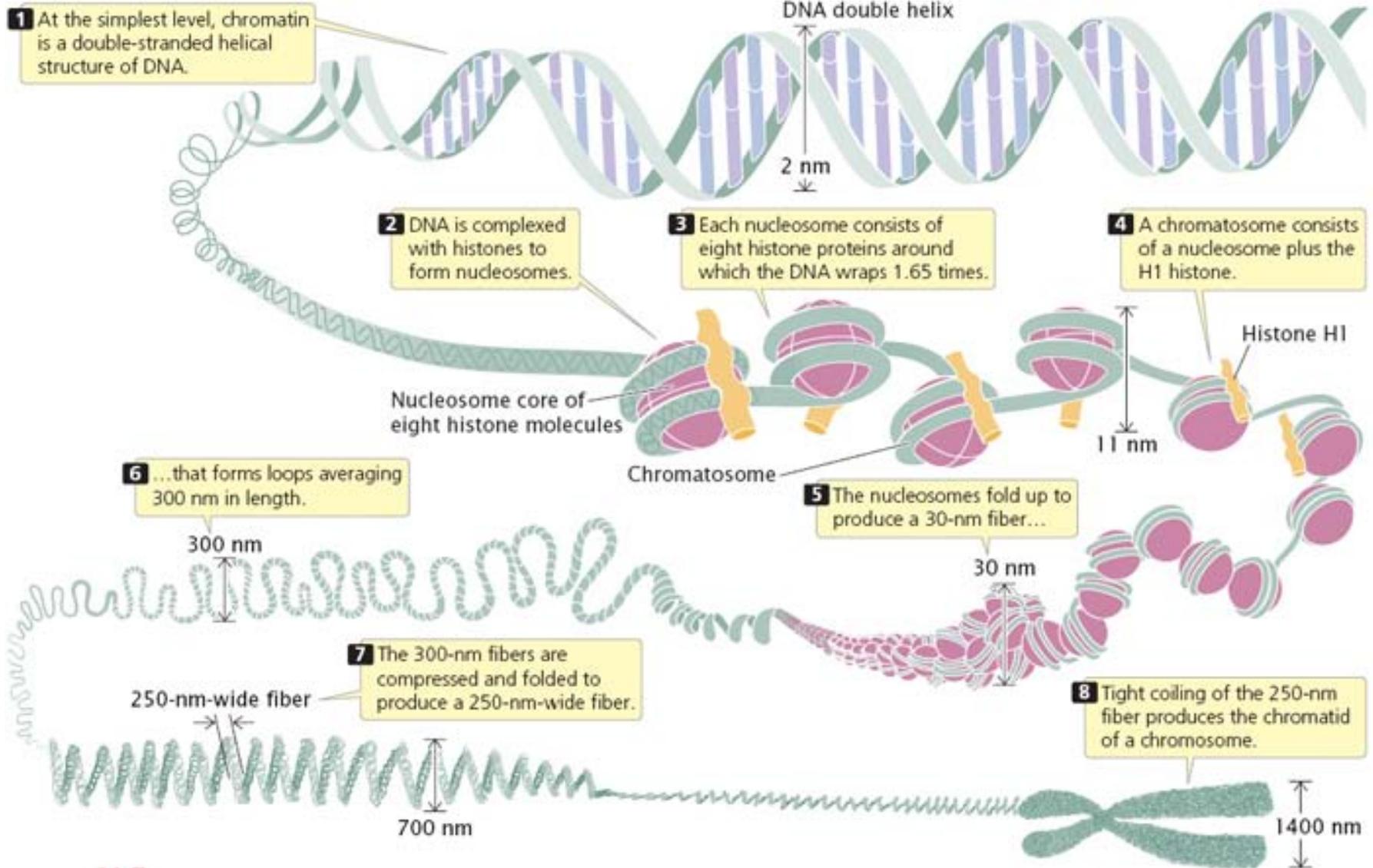


© 2011 Jones and Bartlett Publishers, LLC (www.jbpub.com)

Faz sentido que proteínas estruturais se liguem ao DNA de maneira independente de sua sequência.

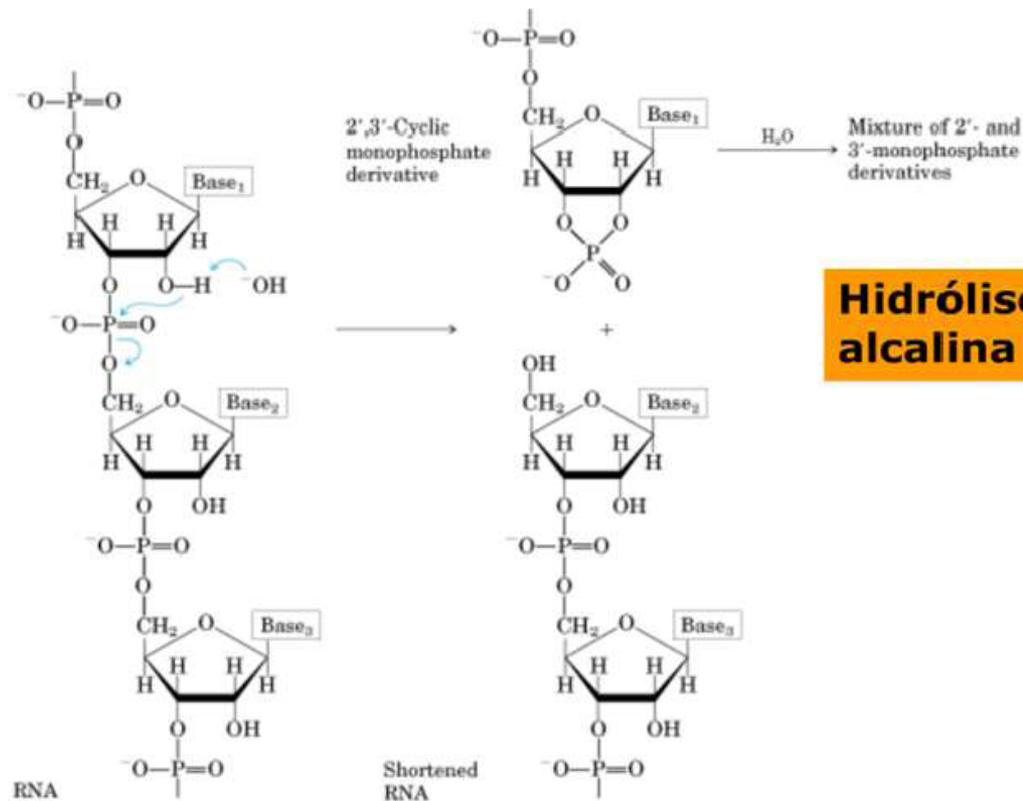
Proteínas regulatórias frequentemente reconhecem sequências específicas no DNA.

Níveis superiores de organização da cromatina



Química e estrutura de RNAs

Presença de ribose ao invés de desoxiribose faz com que RNA seja quimicamente mais instável que DNA



Além da instabilidade química, dentro da célula, alguns RNAs (mRNAs em geral) são instáveis porque são destruídos por nucleases

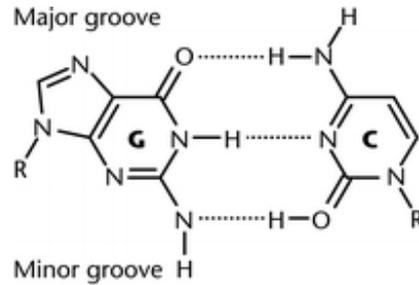
Estrutura e função de RNAs

Diferentes classes e funções nas células

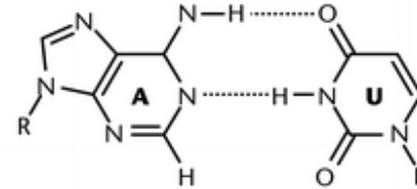
- RNAs mensageiros (mRNAs): **informacional**
- RNAs ribossomais (rRNAs): **estrutural e catalítica**
- RNAs transportadores (tRNAs): **translacional**
- Pequenos RNAs nucleares (snRNAs, snoRNAs): **estrutural e catalítica**
- RNAs não codificadores (miRNAs, lincRNAs): **regulatórios**

Pareamentos de bases encontrados em RNAs

Mais frequentes



Watson-Crick G · C

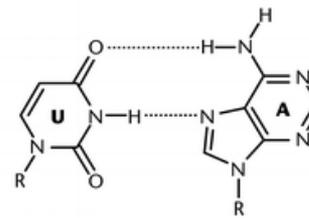


Watson-Crick A · U

Menos frequentes

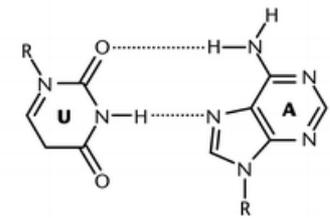
- Regiões de transição entre diferentes estruturas secundárias do RNA
- pareamento entre diferentes moléculas de RNA

G · U wobble

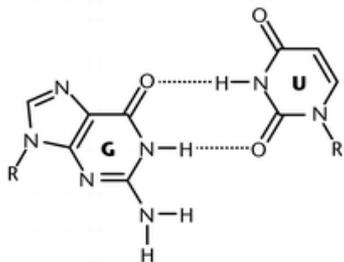


Hoogsteen U · A

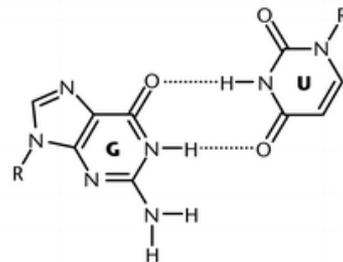
Reverse G · U wobble



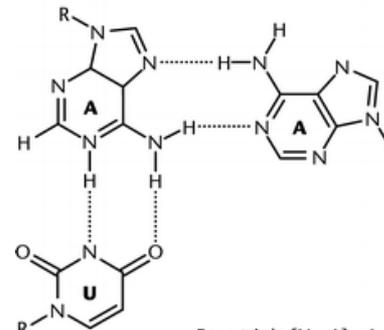
Reverse Hoogsteen U · A



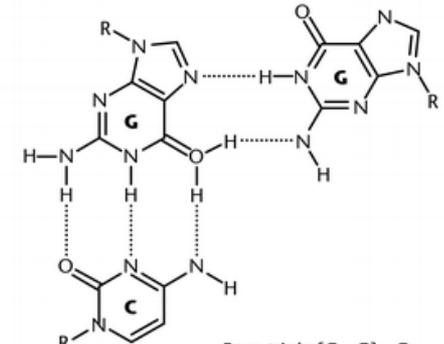
G · U wobble



Reverse G · U wobble



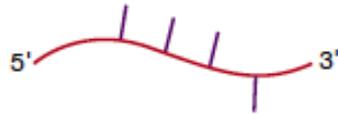
Base triple [U · A] · A



Base triple [C · G] · G

Tipos de regiões fita simples e fita dupla em estruturas secundárias de RNAs

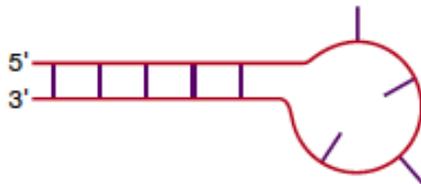
A. RNA fita simples



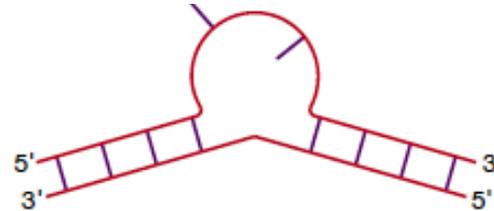
B. Helice de RNA dupla fita



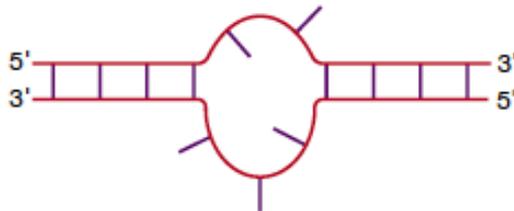
C. Grampo e volta



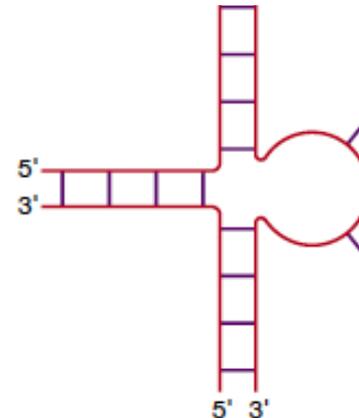
D. Volta protuberante



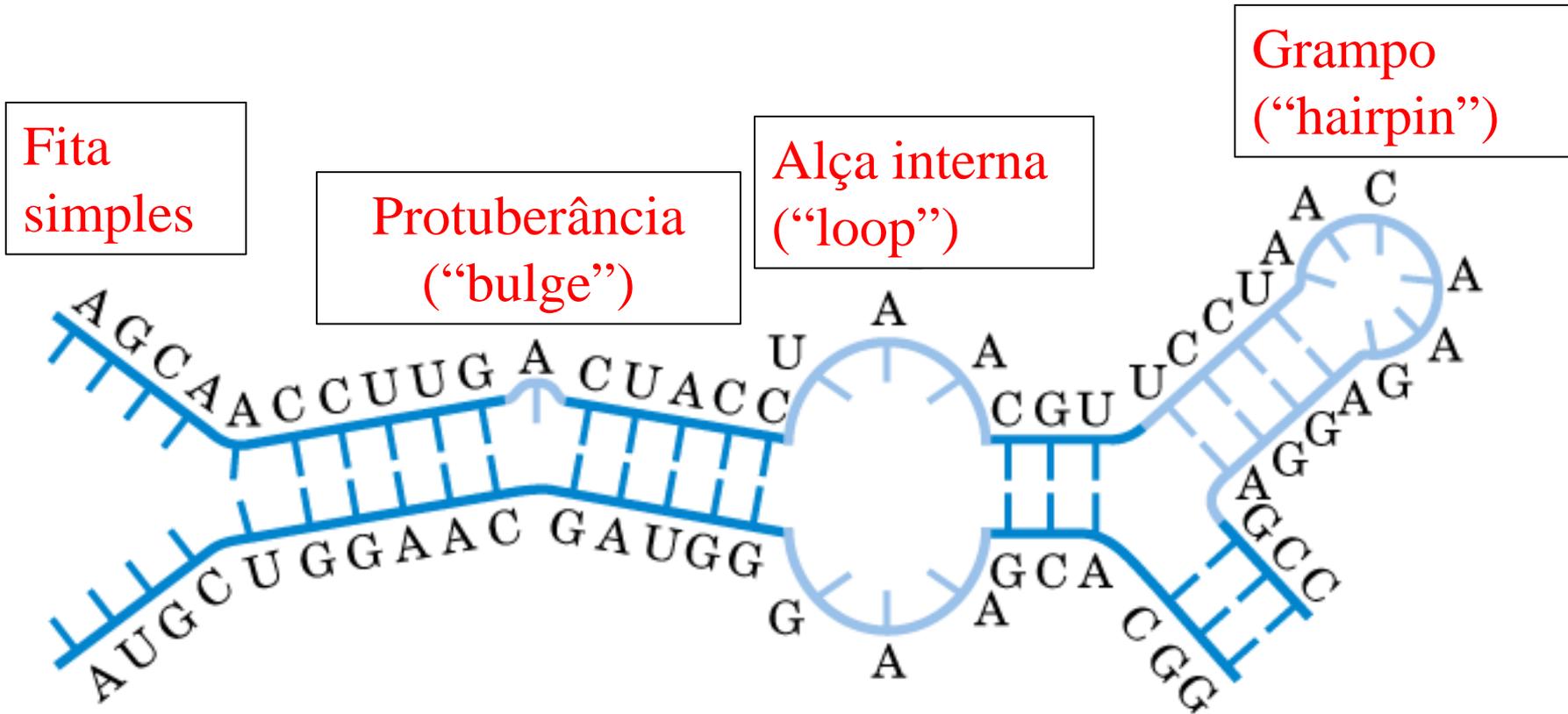
E. Volta interna



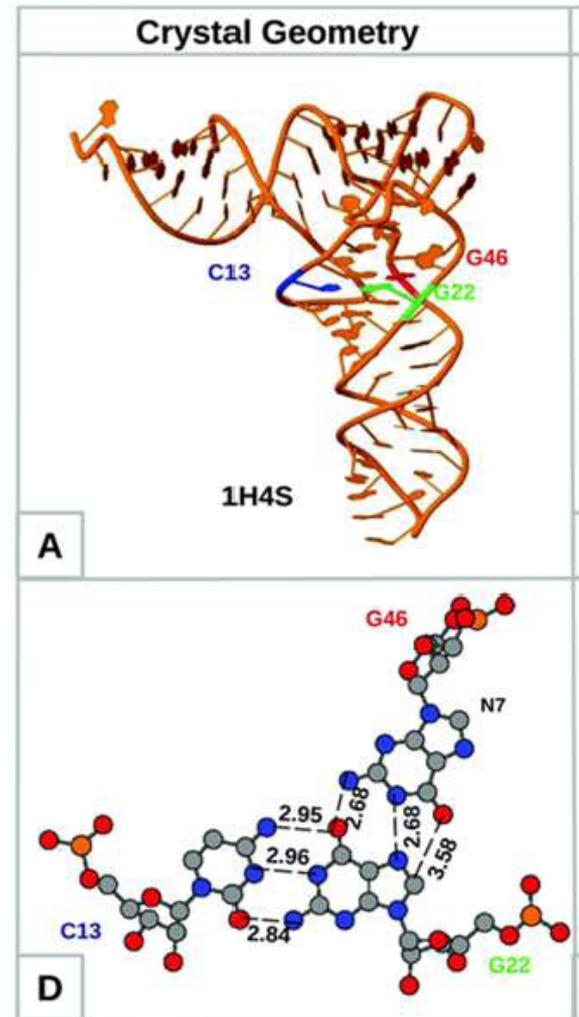
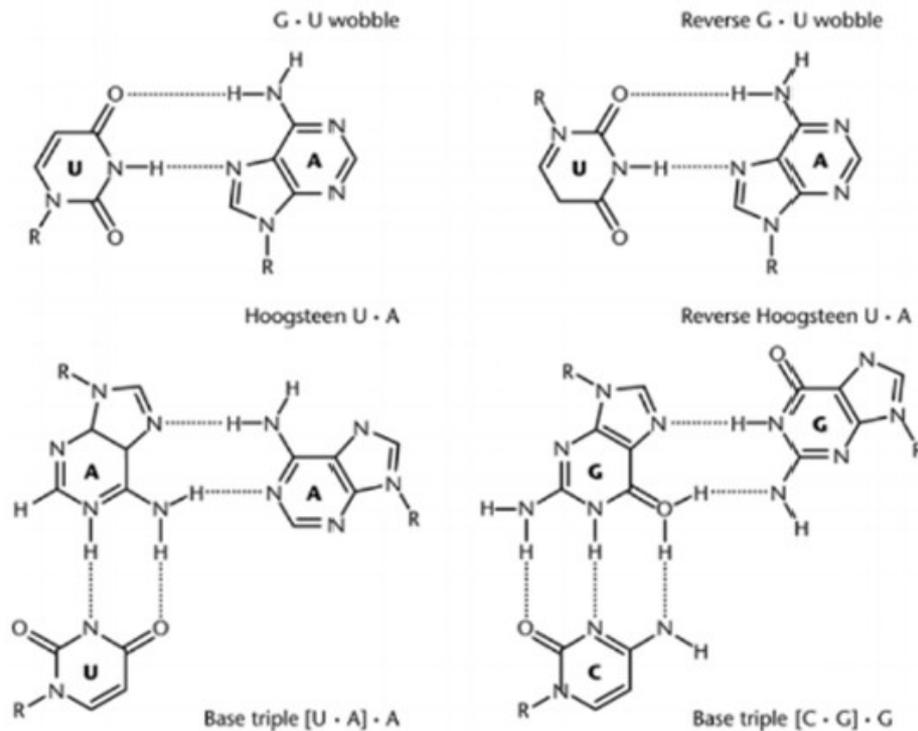
F. Junções ou voltas múltiplas



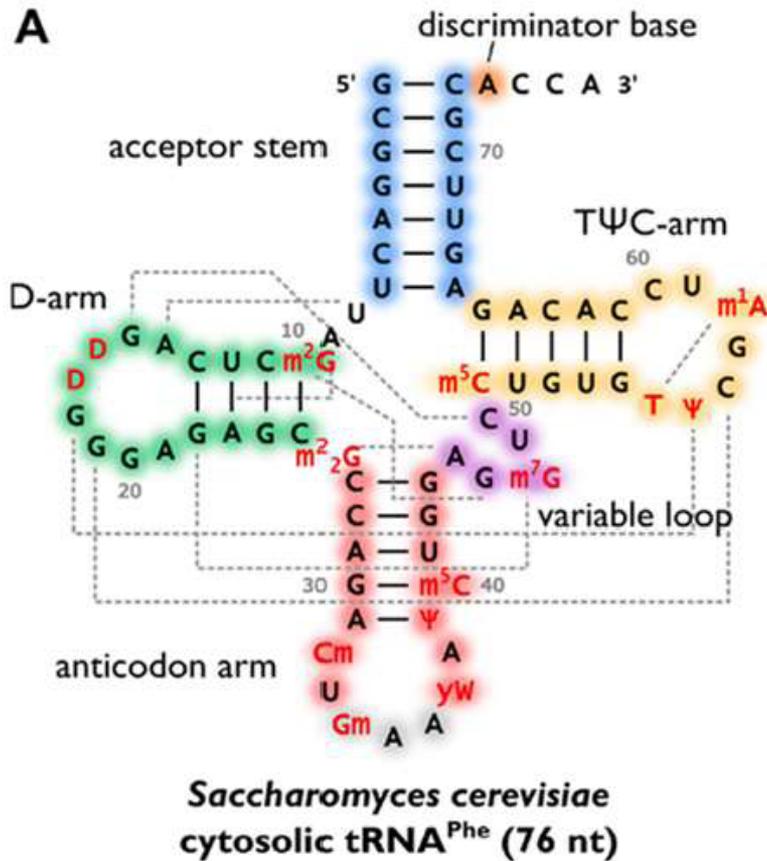
Estruturas secundárias comumente encontradas em RNAs



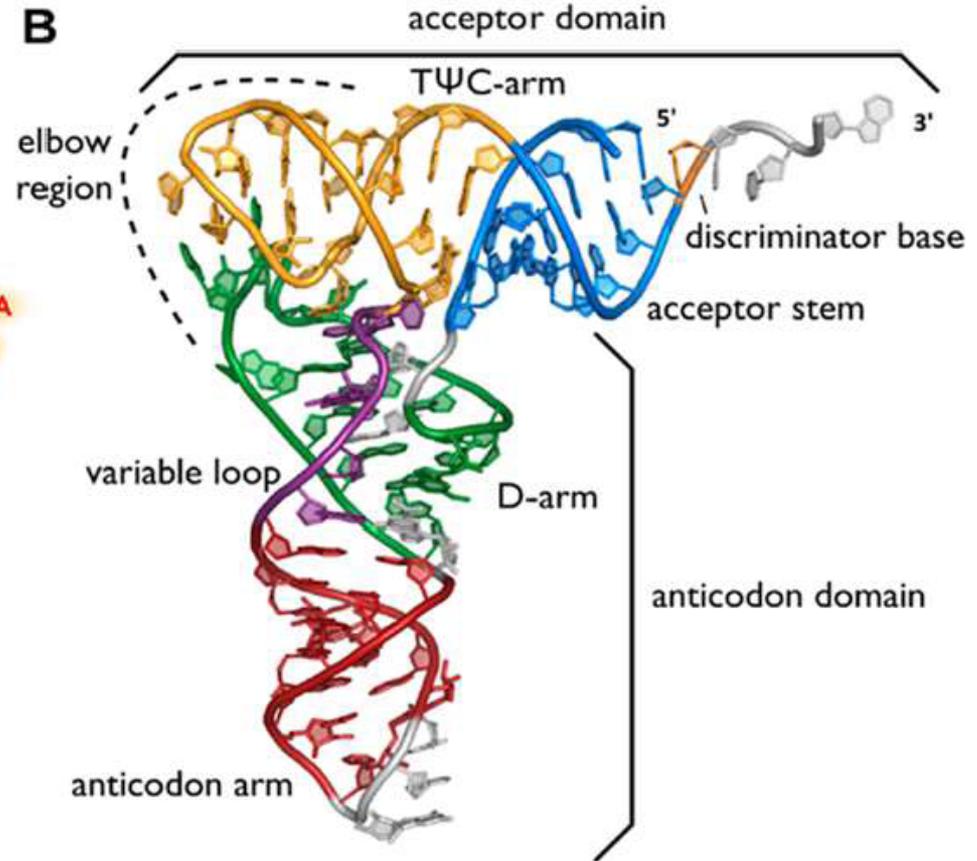
A formação de estruturas tridimensionais envolve pares de base não-canônicos



RNAs transportadores são exemplo de RNAs com estrutura elaborada

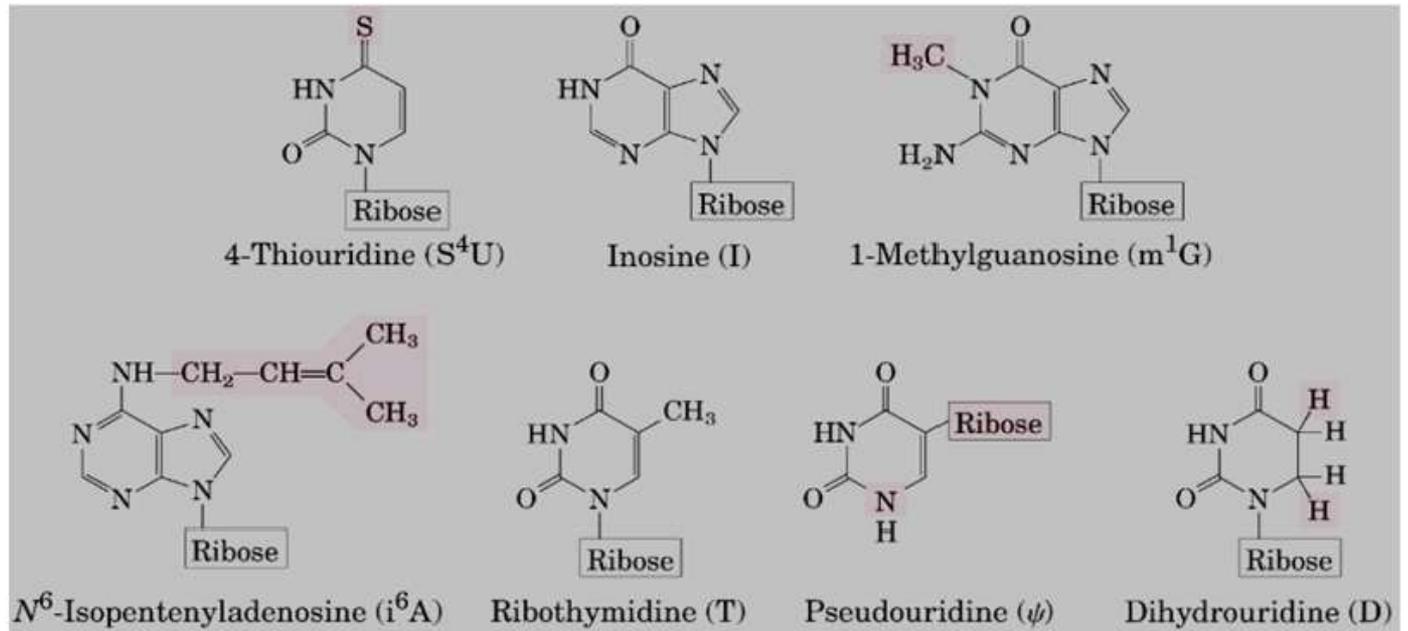
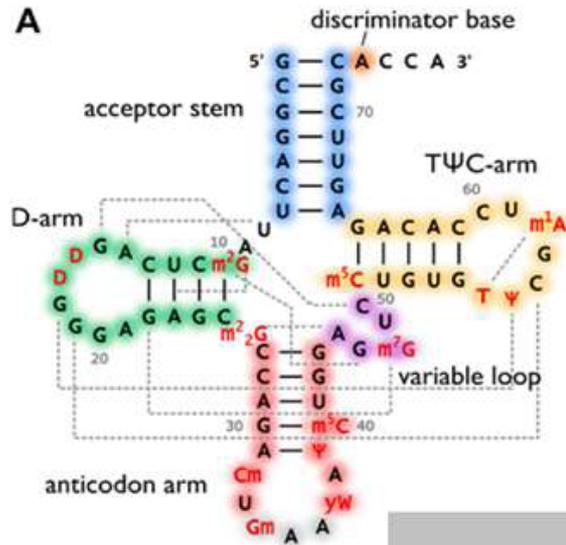


secundária

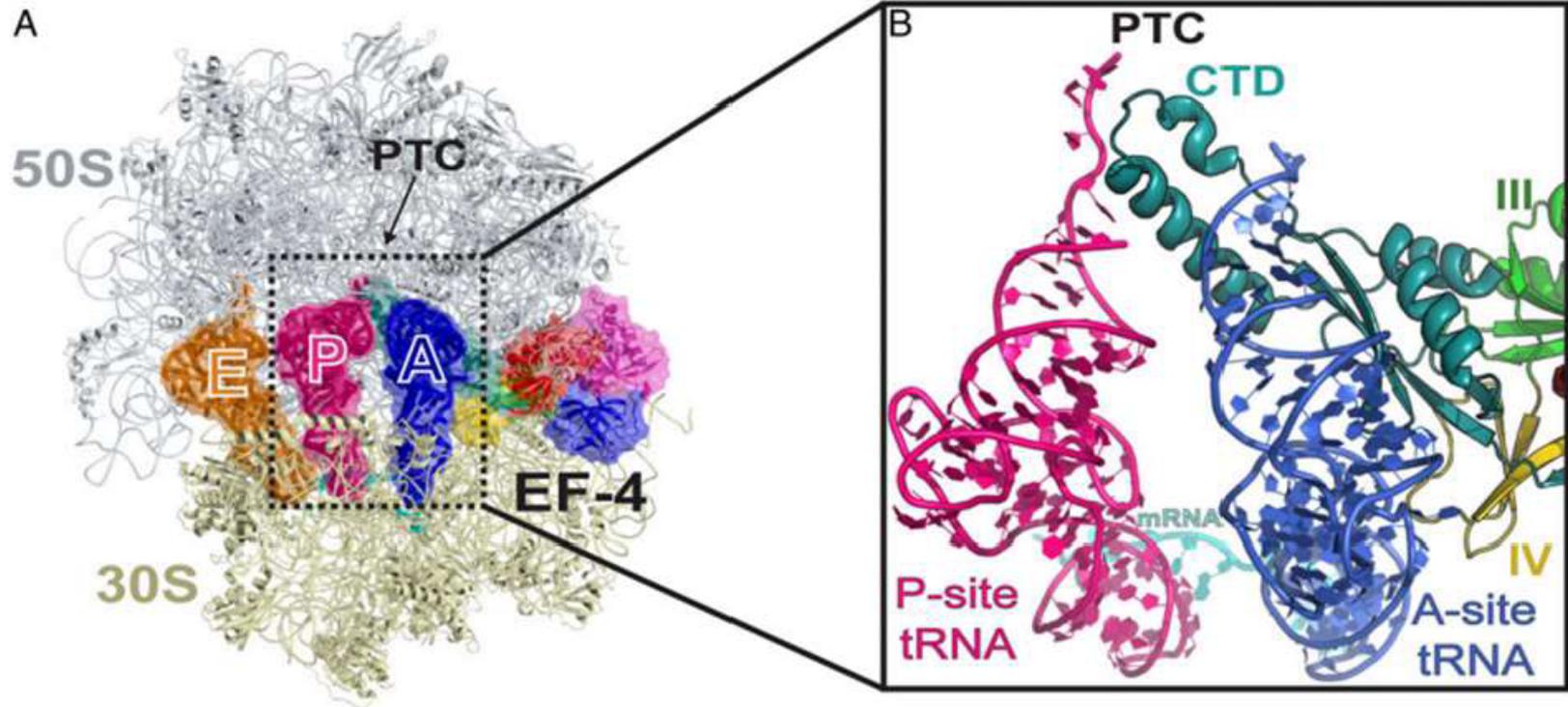


terciária

tRNAs possuem bases modificadas



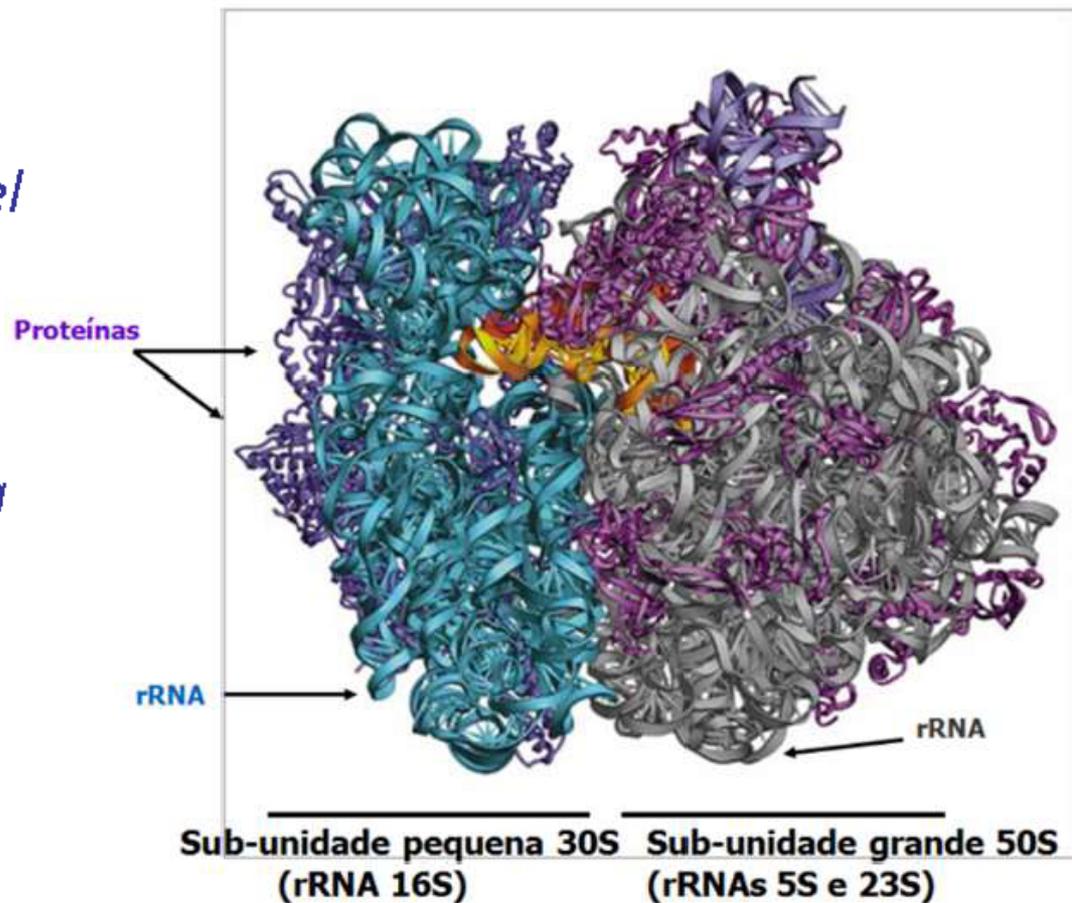
Estrutura tridimensional dos tRNAs é fundamental para que eles se encaixem corretamente no ribossomo



O próprio ribossomo tem sua forma determinada pelos RNAs que o compõe

Ribossomos: complexos ribucleoproteicos formados por RNAs ribossomais e mais de 50 proteínas

RNA ribossomal também tem um papel crucial na função catalítica do ribossomo. É a parte de RNA que catalisa a formação da ligação peptídica. RNAs podem agir como enzimas - ribozimas

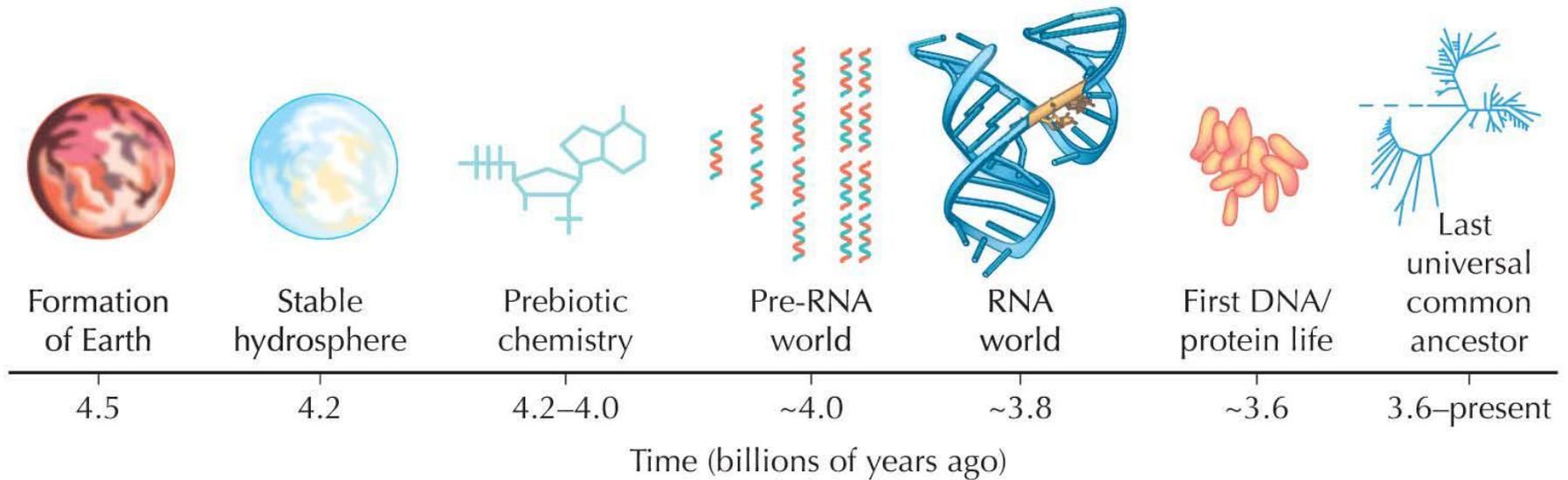


Plasticidade e complexidade estrutural do RNA permitiu o surgimento de **RNAs catalíticos**

- Também chamados **ribozimas**
- Moléculas de RNA que assumem estruturas terciárias definidas
- Capazes de catalisar reações químicas
- Sítio ativo constituído exclusivamente de RNA
- Exemplos de ribosimas:
 - **23S rRNA peptidil transferase** (**síntese da ligação peptídica nos ribossomos**)
 - **RNase P** (**clivagem da extremidade 5' de RNAs transportadores** durante a biogênese)
 - **Introns do grupo I e II** (**auto-excisão por clivagem** de regiões não-codificadoras (introns) em RNA mensageiros eucarióticos)

Mundo de RNA:

Teoria onde a vida na Terra evoluiu a partir de moléculas de RNA capazes de autoreplicação



4.4, modified from Joyce G.F., *Nature* **418**: 214–221, © 2002 Macmillan, www.nature.com