

## 7 | Crescimento e renovação dos organismos

### 7.1 | Síntese proteica

*Por que é que os organismos são diferentes uns dos outros?*

*Por que é que um organismo tem células diferentes em morfologia e função?*

*Como crescem os organismos?*

Há milhões de espécies diferentes na Terra e em cada espécie os organismos também não são totalmente iguais uns aos outros. Um organismo pode ter vários tecidos e, portanto, muitas células diferentes. A diversidade da vida depende da informação genética que está guardada no ácido desoxirribonucleico (DNA) de cada célula. Neste subtema estuda-se como é que o DNA guarda a informação genética de uma célula, e como é que esta informação se expressa nas proteínas que caracterizam cada indivíduo.

#### Conceitos-chave

- Estrutura da molécula de DNA
- RNA mensageiro
- RNA ribossómico
- RNA de transferência
- Síntese proteica
- Transcrição
- Tradução
- Código genético

#### Metas de Aprendizagem

Revê conceitos básicos para interpretar mecanismos de síntese de proteínas: ácidos nucleicos, estrutura de proteínas e sua função; ultraestrutura celular.

Distingue DNA de RNA, quanto à sua composição nucleotídica, estrutura e função.

Resolve exercícios simples de leitura de codogones e codões.

Relaciona os mecanismos de transcrição e tradução com a expressão da informação genética.

Prevê consequências de erros de leitura do código genético.

Explica a importância da síntese de proteínas para o crescimento e renovação das células e dos organismos.

### 1 Estrutura e função dos ácidos nucleicos

Nas células existem dois tipos de ácidos nucleicos: ácido desoxirribonucleico (DNA ou ADN) e o ácido ribonucleico (RNA ou ARN). É no DNA que está contida a informação genética responsável pelas características do organismo, nomeadamente a sua forma, tamanho e grau de complexidade. Os organismos de uma espécie têm sempre a mesma quantidade de DNA. A quantidade de RNA varia nos organismos conforme o grau de atividade metabólica das células ou a sua idade.

Existem várias diferenças entre DNA e RNA, nomeadamente ao nível da constituição química, da estrutura das moléculas e das funções que desempenham nas células.

#### 1.1 Constituição dos ácidos nucleicos

As moléculas de DNA e de RNA são polímeros de nucleótidos, ou seja, são macromoléculas formadas pela adição repetida de subunidades chamadas nucleótidos. Os nucleótidos, por sua vez, formam-se a partir de três constituintes: ácido fosfórico, pentose e base azotada **[Figura 7.1.1]**.

**Acido fosfórico** - Este grupo tem fósforo (P) na sua composição, para além de ter carbono (C), oxigénio (O) e hidrogénio (H). Este grupo dá características de ácido ao DNA e ao RNA.

**Pentose** - Este grupo é um açúcar com 5 carbonos. No DNA a pentose é a **desoxirribose** ( $C_5H_{10}O_4$ ), mas no RNA é a **ribose** ( $C_5H_{10}O_5$ ). O nome deste açúcar serve para definir o nome do ácido nucleico.

**Base azotada** - São compostos que têm azoto (N) na sua composição. Há cinco bases azotadas diferentes nos ácidos nucleicos: duas destas bases têm dois anéis: **Adenina** (A) e **Guanina** (G). As outras três bases têm um anel simples: **Timina** (T), **Citosina** (C) e **Uracilo** (U).

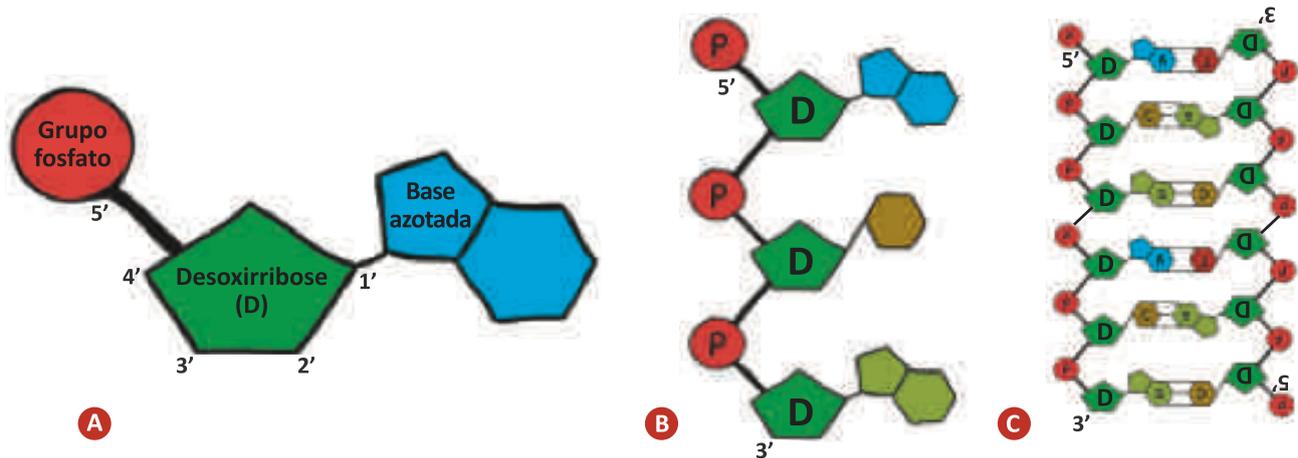
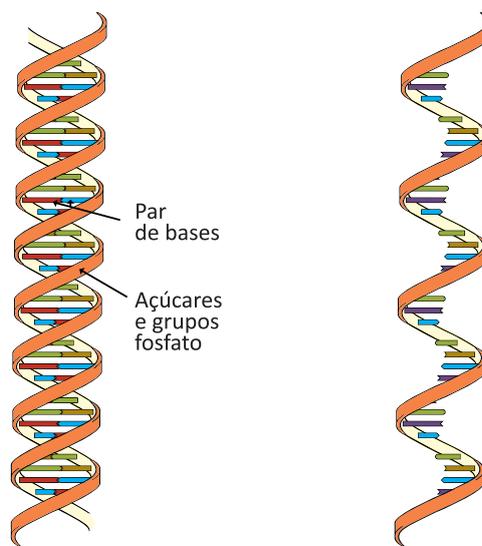
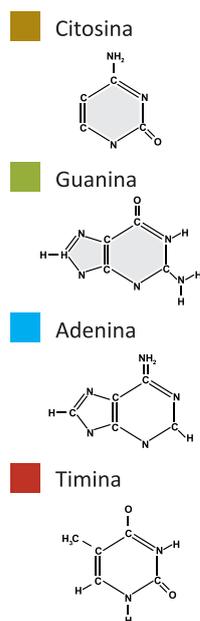


Figura 7.1.1 – (A) Constituição do nucleótido de DNA; (B) cadeia simples de nucleótidos; (c) cadeia dupla de nucleótidos

Durante a síntese de uma cadeia de nucleótidos ocorre uma reação de condensação (há libertação de água): o novo nucleótido liga o seu grupo fosfato ao carbono 3' da pentose do último nucleótido dessa cadeia [Figura 7.1.1B]. Assim, a adição de novos nucleótidos faz-se sempre no sentido 5' para 3' da cadeia.

Os nucleótidos de DNA podem ter as bases adenina, guanina, citosina e timina (A, C, G e T) enquanto os nucleótidos de RNA podem ter as bases adenina, guanina, citosina e uracilo (A, C, G e U) [Figura 7.1.2].

#### BASES AZOTADAS DO DNA



**A** Ácido desoxirribonucleico **B** Ácido ribonucleico

#### BASES AZOTADAS DO RNA

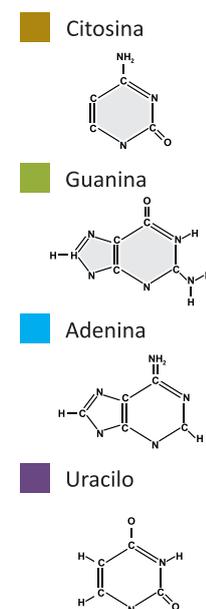


Figura 7.1.2 – Constituição básica do DNA (A) e do RNA (B)

## 1.2 Estrutura dos ácidos nucleicos

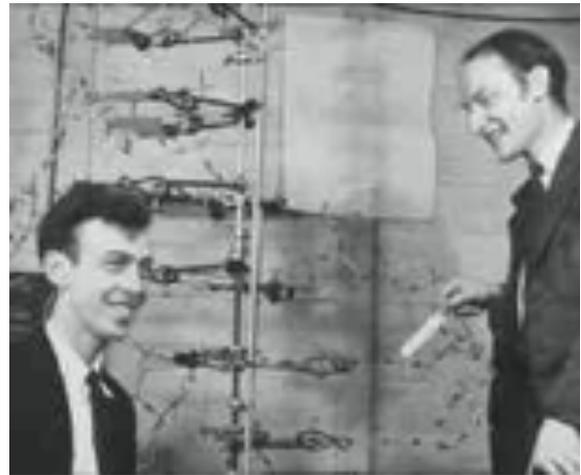
Os nucleótidos podem unir-se sequencialmente para formar cadeias polinucleotídicas simples [Figuras 7.1.1B e 7.1.2B] ou duplas [Figuras 7.1.1C e 7.1.2A].

Qualquer molécula de RNA é constituída por uma cadeia simples de nucleótidos. As cadeias de RNA podem ter várias formas, linear ou dobrada, de acordo com as funções que têm na célula [Figuras 7.1.1B e 7.1.2]. As cadeias de RNA têm tamanhos variáveis, mas são mais pequenas do que as de DNA.

A molécula de DNA é sempre constituída por uma cadeia dupla de nucleótidos, ligadas e enroladas.

Foi em 1953 que dois cientistas ingleses James Watson e Francis Crick propuseram o modelo da **dupla hélice do DNA** com as seguintes características:

- As cadeias emparelham ficando o grupo de fosfato virado para o exterior, e a base azotada (A,T,G ou C) para o interior da cadeia [Figuras 7.1.2 e 7.1.3].
- A ligação das cadeias polinucleotídicas faz-se ao nível das bases azotadas, por ligações de hidrogénio (H).
- As ligações entre as bases complementares são sempre: adenina com timina (A-T) e citosina com guanina (C-G).
- As cadeias emparelham em direções opostas: a extremidade 3' duma cadeia emparelha com a extremidade 5' da outra cadeia. Chamam-se, por isso, **cadeias antiparalelas** de DNA.



James Watson e Francis Crick

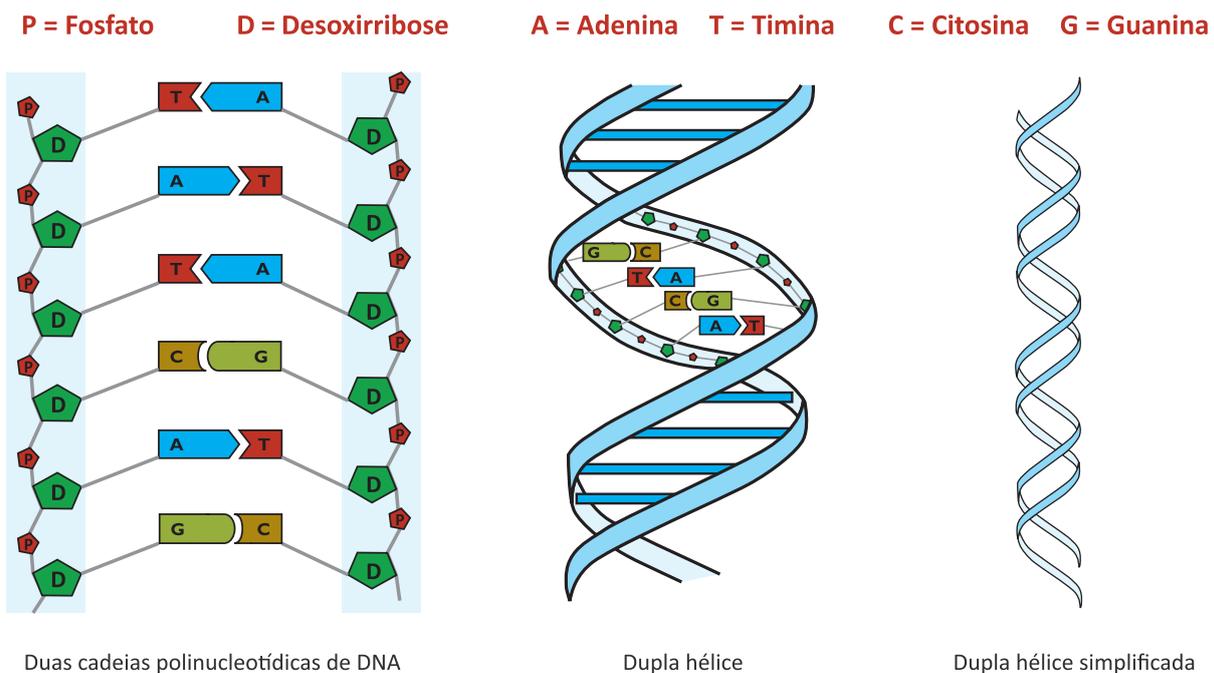


Figura 7.1.3 – Ligação das cadeias polinucleotídicas de DNA e formação da estrutura em hélice

### 1.3 Funções dos ácidos nucleicos

No século XX descobriu-se que algumas regiões da cadeia de DNA têm informação genética que vai ser usada para a síntese de proteínas. Estas regiões com informação genética chamam-se genes. Cada gene é constituído por uma sequência específica de centenas ou milhares de pares de nucleótidos.

Na grande sequência de nucleótidos de DNA que constituem um gene, só algumas zonas servem para codificar a síntese de uma proteína (essas zonas chamam-se exões), mas existem outras zonas que não codificam a síntese proteica (essas zonas chamam-se intrões).

Em resumo, o DNA contém os **genes**, ou seja a informação genética responsável pela síntese das proteínas fundamentais ao organismo. São estas proteínas que vão originar as características do organismo (ex. cor da pele e do cabelo...). Quando se forma uma nova célula, o DNA transporta a informação genética da célula original. O conjunto dos genes de um organismo chama-se **genoma**.

A polimerização dos nucleótidos do RNA faz-se com base no código genético (sequência de nucleótidos) do DNA. O RNA tem um papel intermediário entre o DNA e as proteínas, pois participa na descodificação do código genético inscrito do DNA para sintetizar proteínas. Há vários tipos de RNA [Figura. 7.1.4].

**RNA mensageiro** (RNAm) – contém uma cópia da informação que está contida nos genes e que vai ser usada para sintetizar as proteínas;

**RNA de transferência** (RNAt) – é uma molécula de RNA dobrada de forma especial; liga e transporta aminoácidos durante a síntese de proteínas no citoplasma;

**RNA ribossomal** (RNAr) – é uma molécula constituinte dos ribossomas que são estruturas pequenas envolvidas na síntese de proteínas; os ribossomas encontram-se muitas vezes ligados ao retículo endoplasmático dando-lhe o aspeto rugoso quando observado ao microscópio.

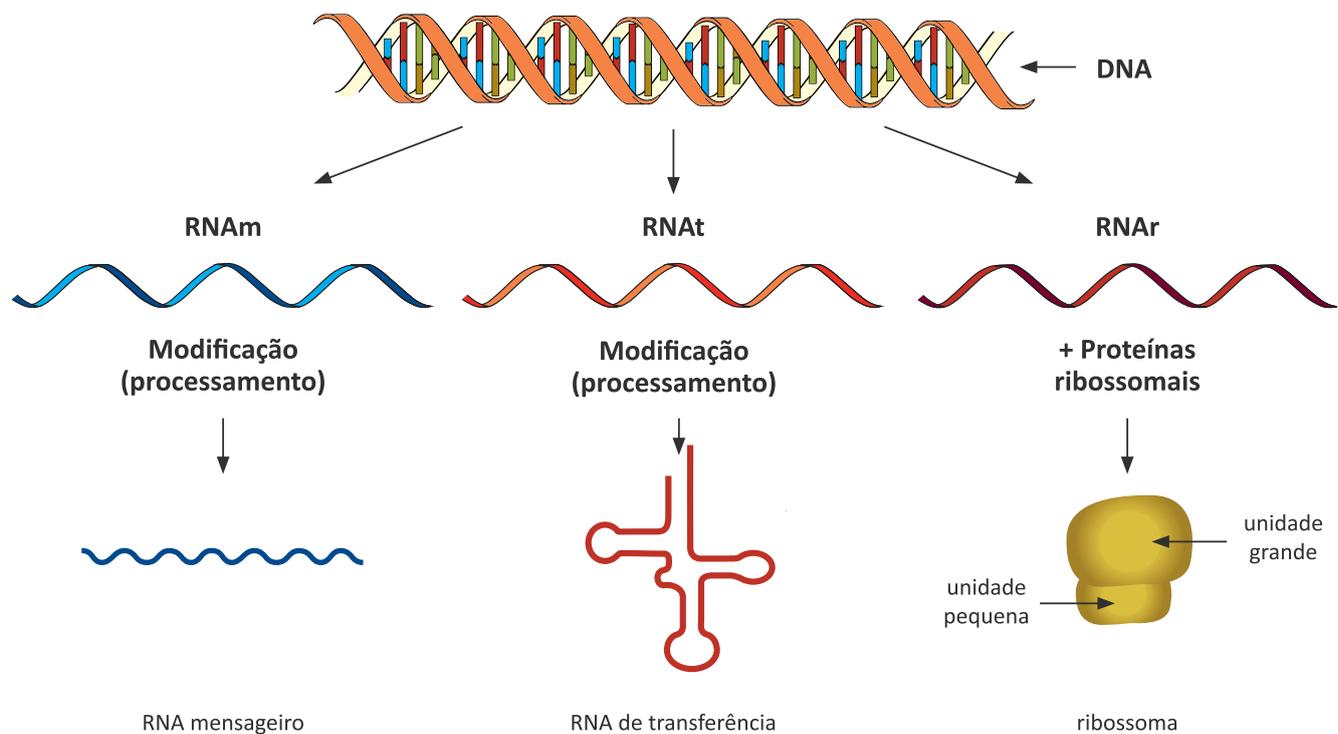


Figura 7.1.4 – Estrutura do DNA e do três tipos de RNA (RNAm, RNAt e RNAr) e do aspeto destes quando estão funcionais na célula

## Atividade Prática 7.1.1

1 - Com base nas informações fornecidas pelo texto indica:

1.1 Quais são os três componentes de um nucleótido?

1.2. Qual o significado da frase: “DNA e RNA são diferentes em termos de composição e estrutura”?

2 - Preenche o quadro seguinte, completando os espaços (linhas) de modo a comparar DNA e RNA.

	Ácido fosfórico	Pentose	Bases azotadas	Tipo de cadeia	Dimensão e forma da molécula	Quantidade média nas células dos seres da mesma espécie
DNA	Grupo fosfato	.....	Adenina ..... ..... Guanina	.....	Longa Enrolada em hélice	Constante
RNA	.....	Ribose	..... ..... ..... .....	Simples	Menor do que o DNA Forma variável (pode ser ou não dobrada)	.....

### Sabias que...

A descoberta do modelo de DNA por James Watson e Francis Crick foi muito importante e mereceu grande reconhecimento internacional.

A imagem mostra o modelo químico do DNA baseado no original construído por estes dois cientistas que hoje está exposto no museu Science Museum em Londres.

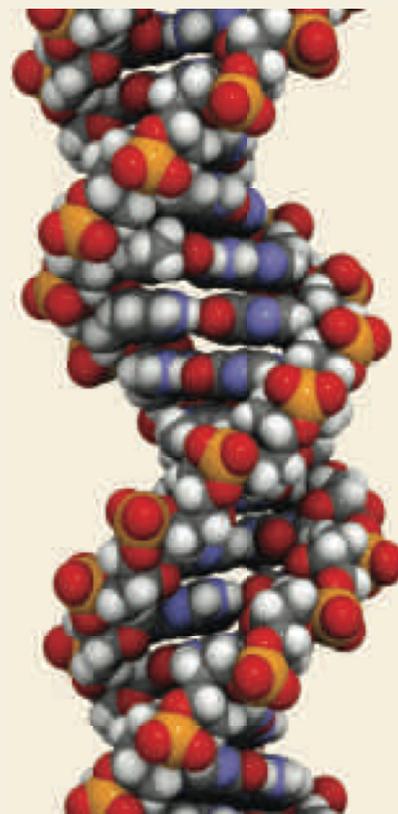
A descoberta da estrutura helicoidal do DNA deveu-se a experiências físicas (medições de cristalografia do DNA) de uma cientista física chamada Rosalind Franklin.

Para testarem a sua hipótese, eles construíram um modelo de DNA com módulos de madeira. Podes também construir o modelo de DNA, com materiais como os que Watson e Crick usaram. Podes usar, por exemplo, pedaços de madeira, papel, arame, ...

Graças a essa descoberta, os cientistas puderam compreender melhor a hereditariedade e os mecanismos da evolução.

As análises do genoma das várias espécies é muito importante para compreender a evolução das espécies. O “Projeto do Genoma” que surgiu no início deste século, permitiu conhecer melhor a composição e sequência do DNA de outras espécies próximas da espécie humana, e compreender como evoluíram ao longo do tempo.

Os cientistas também já verificaram que o genoma do ser humano é muito mais diferente do genoma do rato, ou do genoma de outras espécies do que do genoma de chimpanzé.



## 2 Síntese proteica

A descoberta destes processos moleculares só aconteceu na segunda metade do século XX.

*Como é que o DNA contido no núcleo pode determinar a síntese proteica no citoplasma?*

*Como é que apenas quatro nucleótidos permitem codificar milhares de proteínas diferentes?*

Após muitos anos de investigação científica, sabemos que para haver síntese de proteínas é preciso copiar a sequência de nucleótidos do DNA para uma molécula RNA, por um processo chamado **transcrição**. Depois a informação genética do RNA tem de ser transportada para o citoplasma onde será usada para ordenar aminoácidos e sintetizar proteínas, num processo chamado **tradução** [Figura 7.1.5].

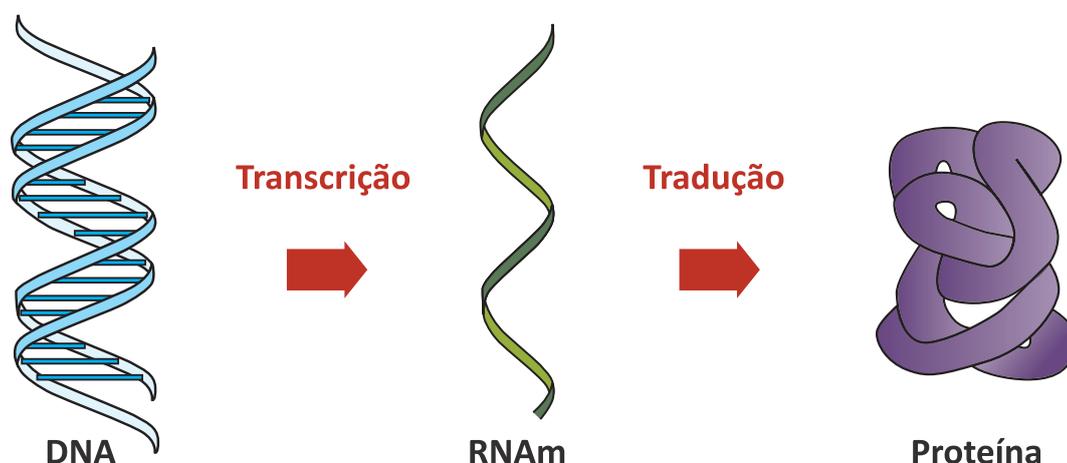


Figura 7.1.5 – Transcrição e tradução para sintetizar proteínas

A investigação científica descobriu que o código de nucleótidos (do DNA e do RNA) é sempre lido em **tripletos**, ou seja, em conjuntos de três nucleótidos. Assim, a cada tripleto de DNA corresponde um tripleto de RNA e a este um aminoácido, como se esquematiza na **Figura 7.1.6**:



Figura 7.1.6 – Conversão do código genético em aminoácidos

A descodificação do significado de todos os codões foi uma das maiores conquistas da biologia na segunda metade do século XX e chama-se **código genético** [Tabela 7.1.1].

A análise da tabela do código genético mostra que o código genético tem as seguintes características importantes.

- Cada codão codifica sempre o mesmo aminoácido.
- Um aminoácido pode ser codificado por diferentes codões que, geralmente, só diferem no último nucleótido do tripleto: por exemplo, o aminoácido glicina pode ser codificado pelos codões GGU, GGC, GGA e GGG.
- Existe um **codão de iniciação**: trata-se de AUG (a verde na Tabela 7.1.1). Trata-se de um tripleto que marca o início da síntese proteica e codifica o aminoácido metionina.

- Existem três codões que terminam a síntese proteica: UAA, UAG ou UGA (a laranja na Tabela 7.1.1). Estes tripletos chamam-se **codões de terminação** e não codificam nenhum aminoácido.
- O código genético é universal, isto é, um determinado codão tem o mesmo significado em todos os organismos.

Tabela 7.1.1 – Tabela do código genético

		SEGUNDA BASE									
		U		C		A		G			
PRIMEIRA BASE		codão	aminoácido	codão	aminoácido	codão	aminoácido	codão	aminoácido	TERCEIRA BASE	
		U	UUU	phe	UCU	ser	UAU	tyr	UGU		cys
UUC			UCC	UAC			UGC		C		
UUA	leu		UCA	UAA	fim		UGA	fim	A		
UUG			UCG	UAG	fim		UGG	trp	G		
C	CUU	leu	CCU	pro	CAU	his	CGU	arg	U		
	CUC		CCC		CAC		CGC		C		
	CUA		CCA		CAA	CGA	A				
	CUG		CCG		CAG	CGG	G				
A	AUU	ile	ACU	thr	AAU	asn	AGU	ser	U		
	AUC		ACC		AAC		AGC		C		
	AUA		ACA		AAA	AGA	A				
	AUG		início: met		ACG	AAG	lys	AGG	arg	G	
G	GUU	val	GCU	ala	GAU	asp	GGU	gly	U		
	GUC		GCC		GAC		GGC		C		
	GUA		GCA		GAA	GGA	A				
	GUG		GCG		GAG	GGG	G				

phe - fenilalanina	leu - leucina	ile - isoleucina	met - metionina	val - valina
ser - serina	pro - prolina	thr - treonina	ala - alanina	tyr - tirosina
his - histidina	gln - glutamina	asn - asparagina	lys - lisina	asp - aspartato
glu - glutamato	cys - cisteína	trp - triptofano	arg - arginina	gly - glicina

## 2.1 Transcrição

A **transcrição** ocorre no nucleoplasma (o DNA não sai do núcleo) e consiste na síntese de RNA a partir de uma das cadeias de DNA.

Durante o processo de transcrição os nucleótidos de RNA são alinhados, por complementaridade, com os nucleótidos da cadeia de DNA. Deste modo a sequência de **codogenes** de DNA vai ser transcrita para **codões** de RNA.

O processo de transcrição envolve os seguintes passos:

- A enzima **RNA polimerase** liga-se à cadeia de DNA e começa a separar as duas cadeias.
- Os nucleótidos de RNA vão-se alinhando formando codões complementares dos codogenes da cadeia de DNA. Não existindo nucleótidos de RNA com a base timina, é o nucleótido de uracilo que emparelha com o nucleótido de adenina que estiver presente no codogene [Figura7.1.7].

- A enzima **RNA polimerase** vai ligando os nucleótidos de RNA, sempre de 5' para 3'.
- A cadeia de RNA que se vai formando separa-se do DNA que logo volta a fechar e a formar e adquirir a forma de dupla hélice.

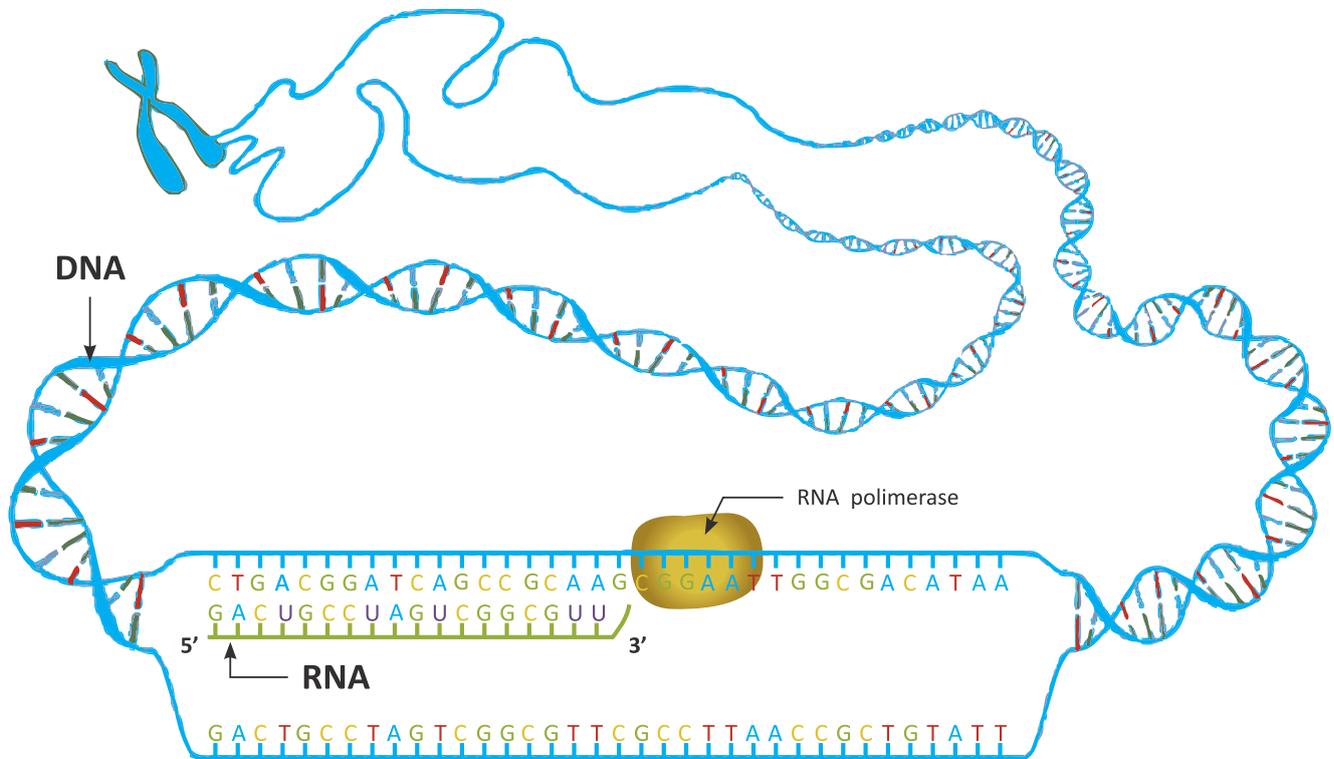


Tabela 7.1.7 – Transcrição de um fragmento de DNA para RNA

A cadeia de RNA sintetizada durante a transcrição contém a informação de um gene de DNA (intrões e exões). Através de enzimas a célula pode alterar esse RNA, retirando-lhe as zonas que não codificam de modo a torná-lo mais pequeno. Esse processo chama-se processamento do RNA e permite que a célula tenha RNAm, RNAt e RNAr adequados às suas necessidades metabólicas [Figura7.1.8].

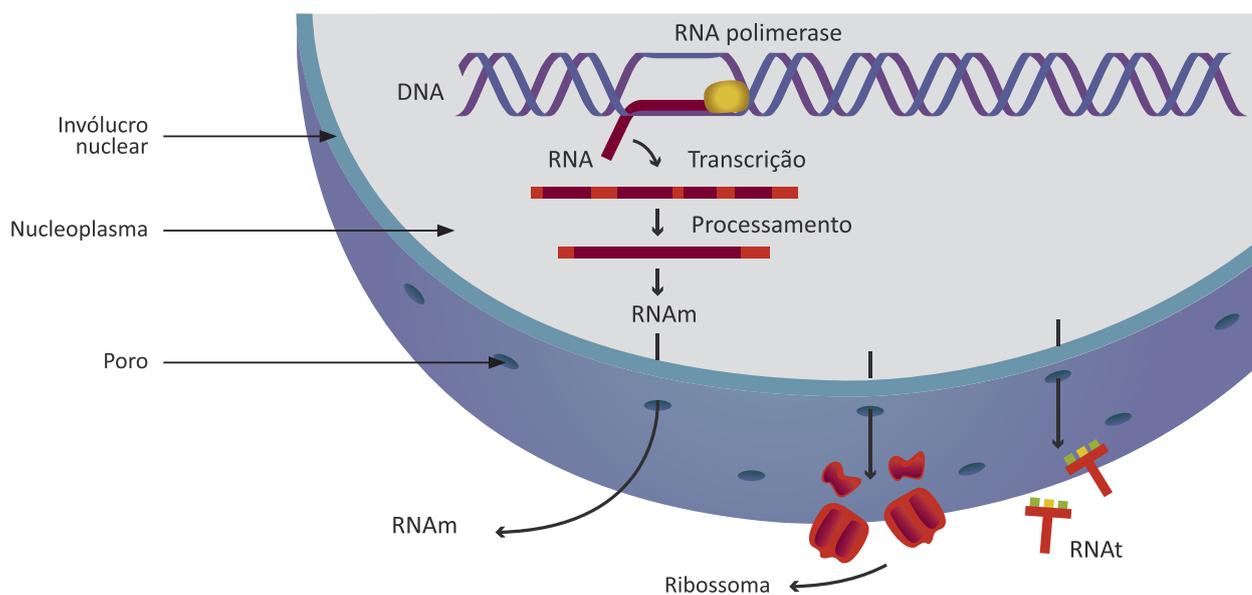


Tabela 7.1.8 – Processos de transcrição e processamento de RNA, bem como migração para o citoplasma

## 2.2 Tradução

A **tradução** ocorre no citoplasma e permite que sejam sintetizadas proteínas a partir da mensagem genética contida numa molécula de RNA mensageiro (RNAm).

Durante a tradução os codões do RNAm vão definir a sequência de aminoácidos que devem ser ligados para formar a proteína. Cada proteína tem uma sequência específica e única de aminoácidos.

Cada aminoácido é transportado por uma molécula de RNAt específica.

Cada RNAt tem um tripleto – chamado **anticodão** que é complementar de um codão de RNAm. Esta complementaridade permite ordenar corretamente os aminoácidos [Figuras 7.1.9 e 7.1.10].

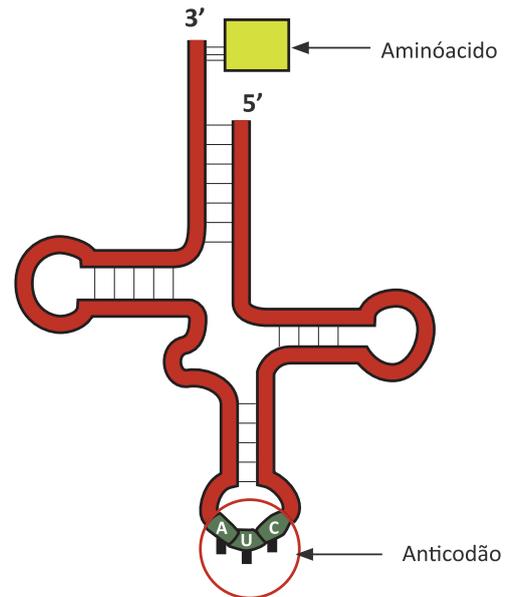


Figura 7.1.9 – Estrutura de RNAt



Figura 7.1.10 – Tradução do código genético

Na tradução são usados todos os tipos de RNA (RNAm, RNAt e RNAr) do seguinte modo:

- O ribossoma (RNAr) liga-se à extremidade 5' do RNAm na zona do codão de iniciação (AUG);
- Ao mesmo tempo dois RNAt ligam-se por complementaridade ao RNAm e ao ribossoma;
- Uma enzima faz a ligação dos aminoácidos que os dois RNAt transportam e forma-se um dipéptido.
- O ribossoma desloca-se no sentido 5'>3', ajudando a posicionar corretamente os RNAt e a garantir a ligação dos aminoácidos, o que faz crescer o polipéptido [Figura 7.1.11].
- Quando o ribossoma atinge um codão de finalização termina a síntese proteica e os componentes separam-se.

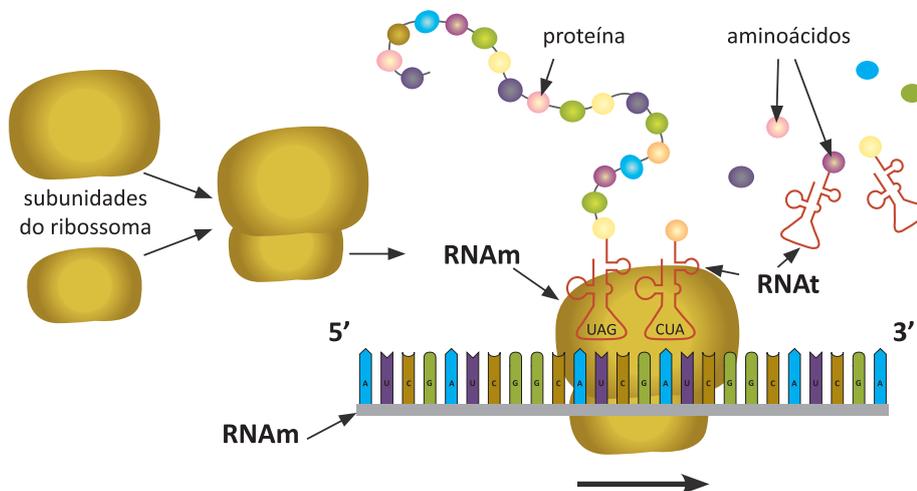


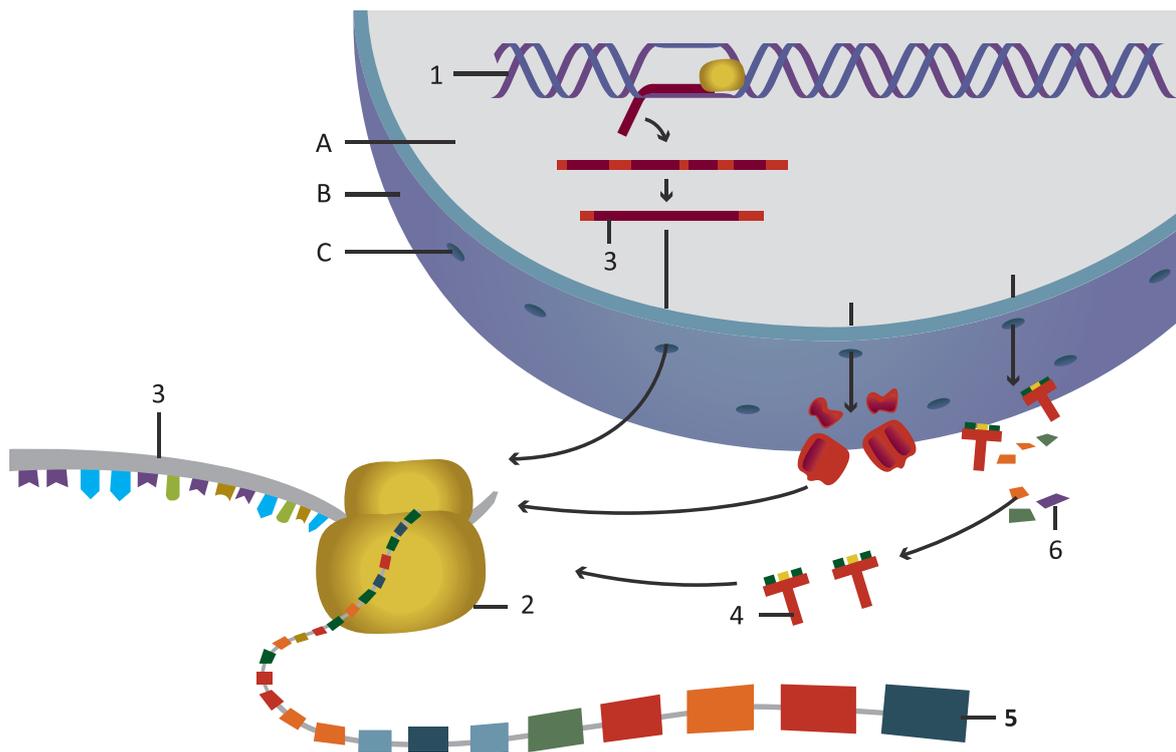
Tabela 7.1.11 – Tradução e síntese de proteína

Uma cadeia de RNAm pode ser traduzida várias vezes, e por vários ribossomas em simultâneo, o que permite formar várias moléculas de uma mesma proteína muito rapidamente.

A síntese termina quando a célula destrói, ou inativa o RNAm. Cada cadeia proteica pode ser modificada de modo a que possa adquirir a sua estrutura terciária e fique funcional (rever subtema 2.1 do 10º ano).

### Atividade Prática 7.1.2

Analisa a figura seguinte com os teus colegas e resolve as propostas de trabalho com a ajuda do texto.



- 1 - Identifica as estruturas a que correspondem as letras A, B e C e o organelo a que pertencem.
- 2 - Descreve o papel que cada um dos tipos de RNA desempenha na síntese de proteínas.
- 3 - Identifica em que local da célula ocorrem as etapas de transcrição e tradução.
- 4 - Legenda as estruturas assinaladas com os algarismos 1 a 6.
- 5 - Considera que o RNAm tem a seguinte sequência de nucleótidos: 5' AUGACUCAUCGAGGAUAA 3'.
  - 5.1 Indica quantos codões estão representados nesta sequência. Identifica os codões.
  - 5.2 Identifica quais os aminoácidos que serão ligados pelo RNAt (ver tabela 7.1.1) complementar a esta cadeia.
  - 5.3 Escreve os anticodões dos RNAt que permitem traduzir este RNAm.
  - 5.4 Escreve os codógenes que serviram de molde a este RNAm.

## Ideias-chave 7.1

- As moléculas de DNA e de RNA são polímeros (cadeias formadas pela adição repetida de outras moléculas mais pequenas) de nucleótidos.
- Os nucleótidos têm três constituintes: ácido fosfórico, grupo açúcar (pentose), e bases azotadas.
- Os nucleótidos de DNA têm a pentose desoxirribose e as bases azotadas Adenina (A) e Guanina (G), Citosina (C) e Timina (T).
- Os nucleótidos de RNA têm a pentose ribose e as bases azotadas Adenina (A) e Guanina (G), Citosina (C) e Uracilo (U).
- A ligação covalente de nucleótidos é feita entre um grupo de ácido fosfórico e a pentose.
- O DNA é formado por duas cadeias polinucleotídicas antiparelas em dupla hélice; e o RNA é formado por uma cadeia polinucleotídica simples e pode assumir várias formas linear ou globular.
- As bases azotadas ficam voltadas para o interior da dupla hélice de DNA, mantendo as cadeias unidas por pontes de hidrogénio. A ligação das bases de cadeias opostas é sempre feita do seguinte modo: A-T e C-G.
- Há três tipos de RNA: RNA mensageiro (RNAm) RNA ribossomal (RNAr) e RNA de transferência (RNAt).
- A síntese de RNA a partir de DNA, por complementaridade de nucleótidos, chama-se transcrição, e envolve a enzima RNA polimerase.
- O nucleótido com a base azotada Uracilo do RNA estabelece complementaridade com a base azotada Adenina do DNA.
- Cada sequência de 3 nucleótidos no DNA chama-se codogene e codifica uma sequência complementar de 3 nucleótidos (triplete) no RNA a que se chama codão.
- Cada RNAt tem um triplete de nucleótidos chamado anticodão que se liga por complementaridade a um codão do RNAm. Deste modo os aminoácidos são ordenados para formar a proteína.
- Os ribossomas ligam-se ao RNAm e ajudam a posicionar os RNAt corretamente e a estabelecer a ligação peptídica entre os aminoácidos. Os ribossomas deslocam-se no RNAm de 5' para 3'.
- O processo de síntese de proteínas a partir do RNAm chama-se tradução.
- O código genético é universal; cada codão só codifica um aminoácido; há um codão de iniciação (AUG) que codifica o aminoácido metionina e codões de terminação (UAA, UAG e UGA) que não codificam aminoácidos.

## Exercícios de Aplicação 7.1

1 - Analisa a tabela seguinte:

Espécie	Número de cromossomas	% de Adenina no DNA	% de Guanina no DNA
Rato ( <i>Rattus rattus</i> )	42	28,6	21,4
Homem ( <i>Homo sapiens</i> )	46	30,3	19,5

- 1.1 Refere o número de cromossomas que existem no ser humano.  
 1.2 Compara a quantidade de adenina que existe nas duas espécies.  
 1.3 Indica a percentagem (%) de timina e de citosina (%) que existe no ser humano. Justifica.

2 - Identifica as palavras (A a F) que podem completar corretamente as frases.

- 2.1 Os ácidos nucleicos são polímeros de ..... **A** ..... Cada nucleótido é constituído por um grupo fosfato, um ..... **B** ....., e ..... **C** .....
- 2.2 No DNA as duas cadeias ..... **D** ..... estão ligadas por ligações de hidrogénio entre as bases azotadas. A adenina é complementar da base ..... **E** .....
- 2.3 O RNA tem uma cadeia simples. Nos seus nucleótidos as bases azotadas são as seguintes: ..... **F** .....

3 - Considera um fragmento de DNA com os seguintes codógenes:

**TACAAATGACGACCG.**

- 3.1 Escreve a sequência de RNAm complementar desta cadeia de DNA.  
 3.2 Identifica os anticodões do RNAt que se ligarão a cada codão.  
 3.3 Consulta a tabela do código genético e indica os aminoácidos que compõem o péptido.

4 - Considera uma proteína constituída por 200 aminoácidos.

- 4.1 Indica quantos nucleótidos tem do RNAm que codificou tal proteína. Justifica o teu raciocínio.  
 4.2 Explica qual o papel do RNAm, do RNAt e do RNAr na síntese dessa proteína.

5 - Avalia se as frase seguintes são verdadeiras ou falsas relativamente às características do código genético.

- 5.1 Um mesmo codão pode codificar mais de um aminoácido.  
 5.2 Um aminoácido pode ser codificado por diferentes codões.  
 5.3 O código genético das células humanas é o mesmo das células do sândalo.

**Não escrevas neste livro.**

**i**

Completa a atividade  
no teu caderno