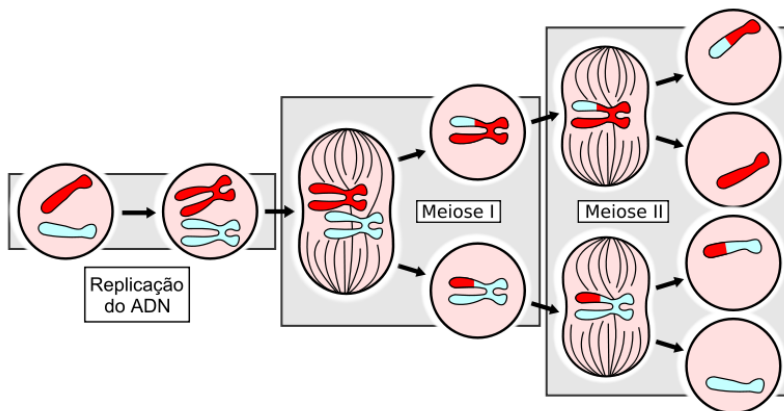


# MEIOSE E GAMETOGENESE

## Aula teórica 11

LGN0114 – Biologia Celular



Maria Carolina Quecine  
Departamento de Genética  
mquecine@usp.br

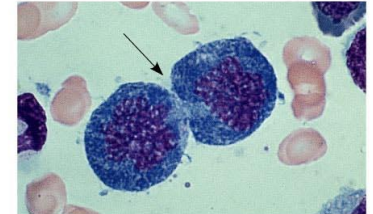
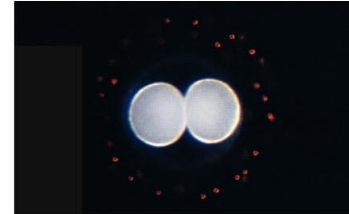
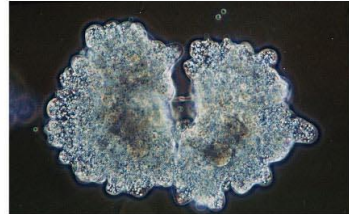
PRA  
LEMBRAR!

:) :) :)

# TIPOS DE DIVISÃO CELULAR

## ✓ PROCARIOTOS:

- Fissão binária.



(a)

(b)

(c)

Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

## ✓ EUCARIOTOS:

### ✓ MITOSE:

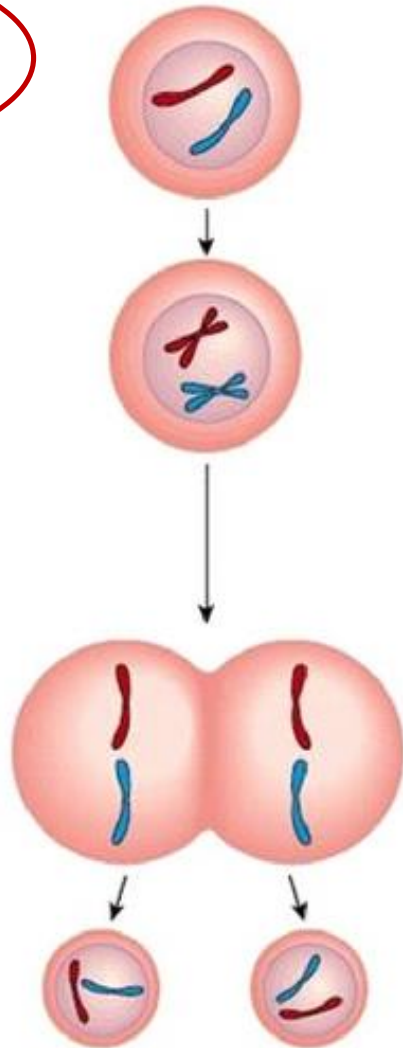
- Crescimento, desenvolvimento e reparo;
- Reprodução assexuada (gera duas células idênticas);
- Ocorre nas células somáticas.

### ✓ MEIOSE:

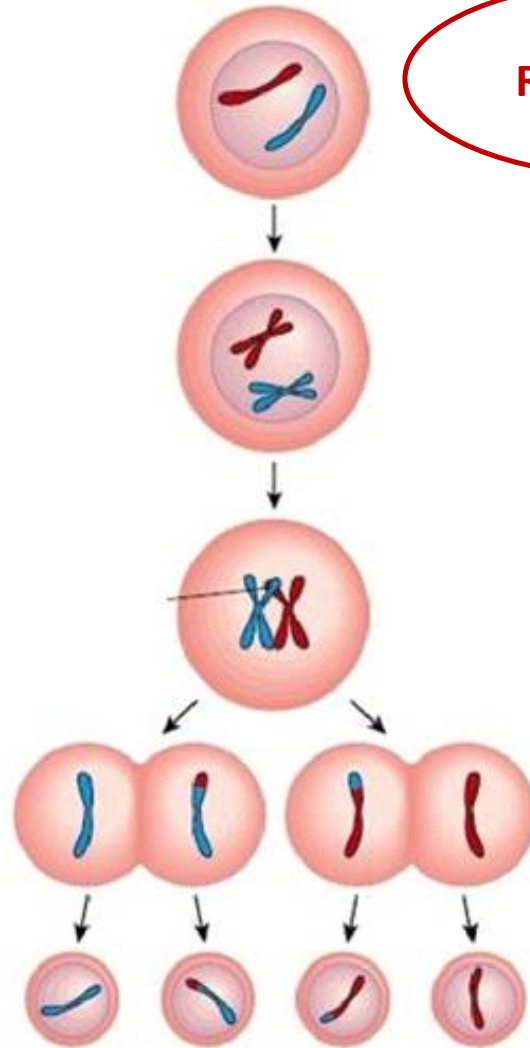
- Reprodução sexuada;
- Ocorre em células reprodutivas;
- Origina gametas.

# Mitose x Meiose

Equacional



Reducional



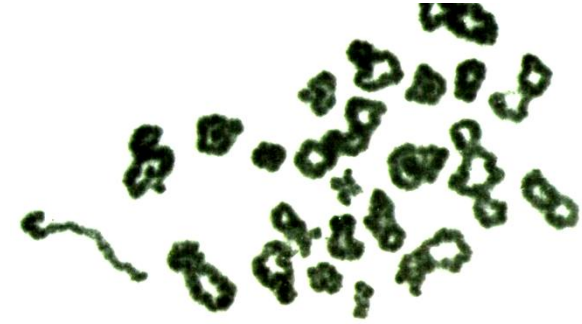
# PARA QUE SERVE A MEIOSE?



# MEIOSE

## Divisão Reducional

Ex: 23 cromossomos por gameta – espécie humana



- ❖ Embaralhamento dos genes;
  - ❖ *Crossing-over*;
  - ❖ Segregação independente dos cromossomos.
- **Mecanismo**
    - ❖ Cada homólogo (ex. “cromossomo 7”) se replica para dar origem à duas cromátides irmãs;
    - ❖ Par de homólogos (ex. cromossomo materno 7 e cromossomo paterno 7);
    - ❖ Troca de material genético entre **cromátides não irmãs**: *crossing-over*, recombinação;
    - ❖ Quiasmas (citologicamente visíveis) são as manifestações físicas do *crossing-over*.

# VANTAGENS EVOLUTIVAS...

- Reprodução assexuada

- Fácil, rápida, efetiva;
- Útil em um ambiente estável;
- Falta diversidade na progênie.



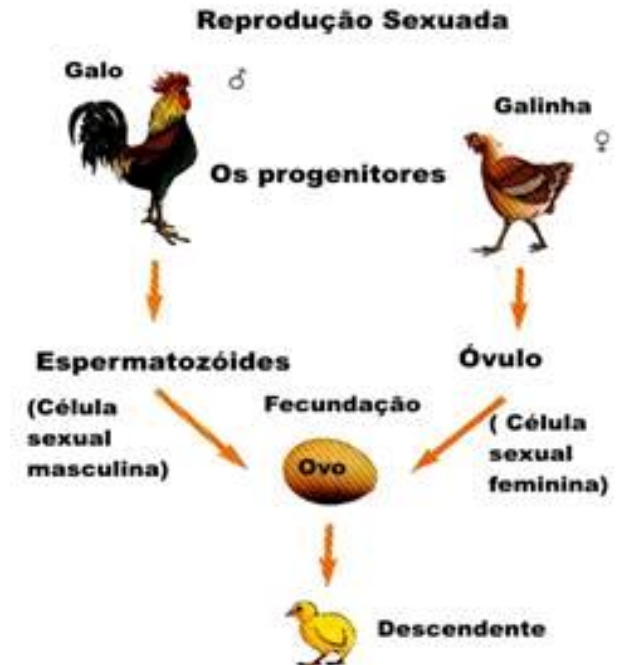
- Reprodução sexuada

- Promove **variabilidade genética**, permitindo a recombinação genética;
- Útil num ambiente dinâmico.

# REPRODUÇÃO SEXUADA

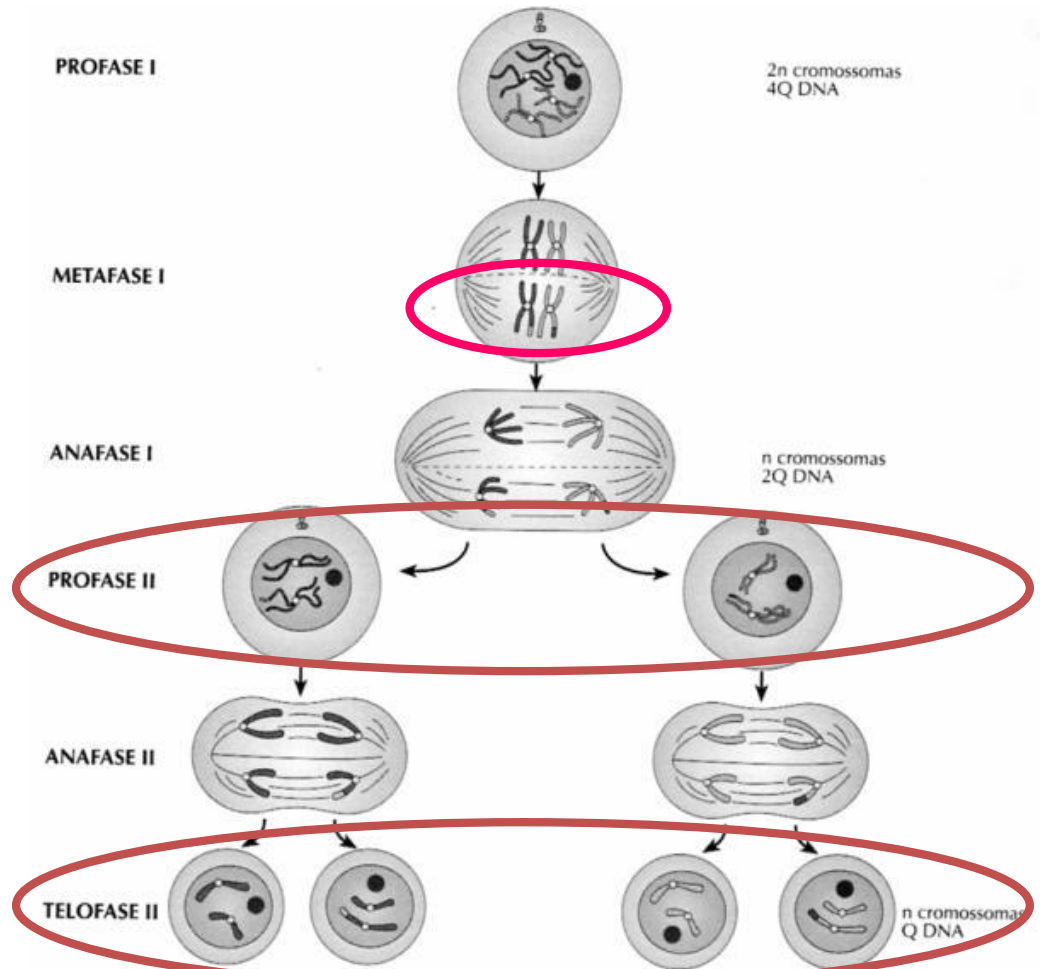
Quatro características básicas:

- Produção de células haplóides por **meiose**;
- União destas células para formação de um novo organismo diplóide;
- Indivíduos produzidos através de reprodução sexuada herdam cromossomos dos dois parentais;
- Geração de indivíduos geneticamente diferentes dos progenitores – **SEMPRE!!!**





# MEIOSE



Duas divisões nucleares

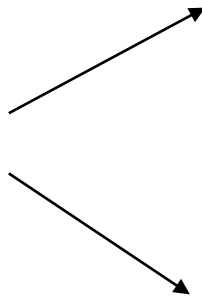


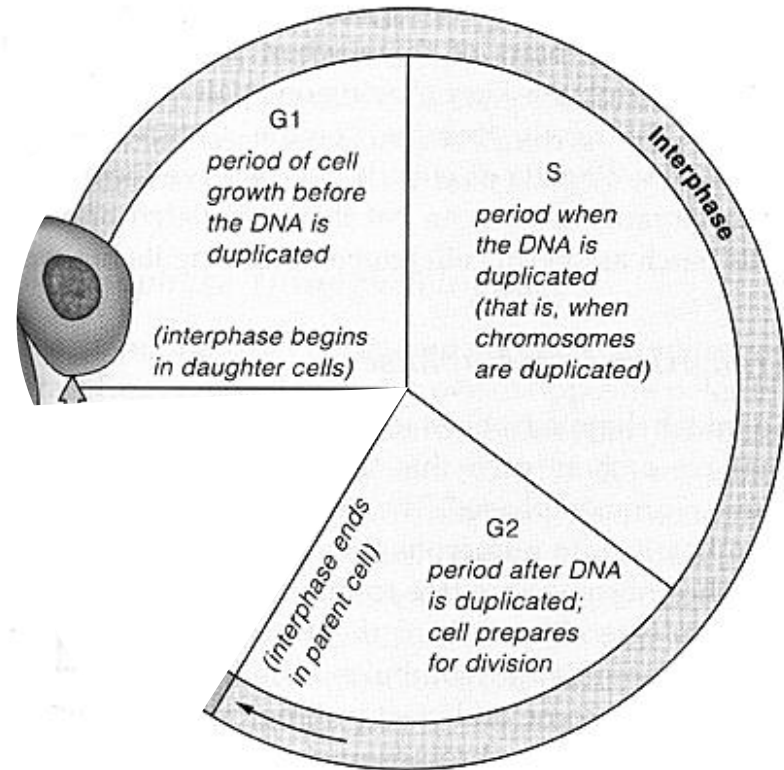
Figura - 1. Esquema do mecanismo da meiose

# MEIOSE

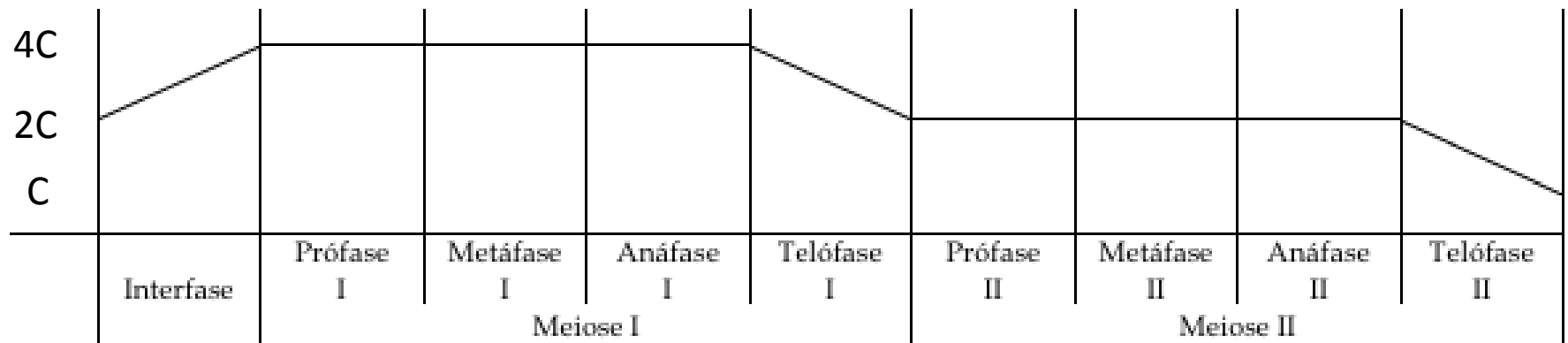
Também se inicia após a  
Interfase

- Fase G1
- Fase S
- Fase G2

Ocorre somente em  
algumas células em  
particular!

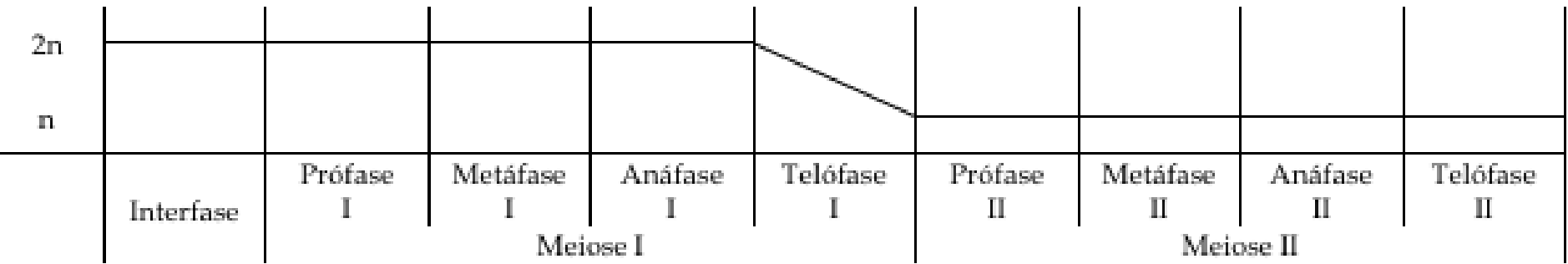


# QUANTIDADE DE DNA



**Cromossomos não se replicam novamente antes da segunda divisão meiótica.**

# NÚMERO DE CROMOSSOMOS





## FASES DA MEIOSE

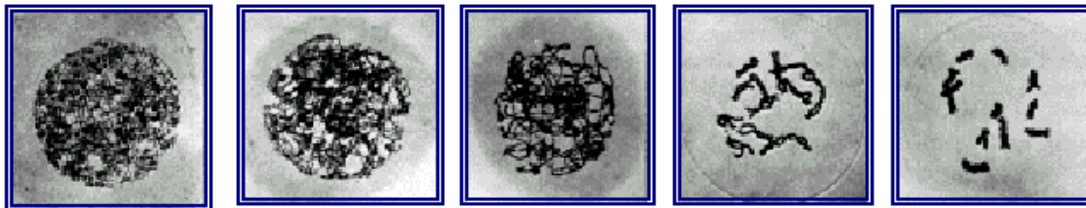
*Lilium regale*

(Snustad & Simmons, 2001)

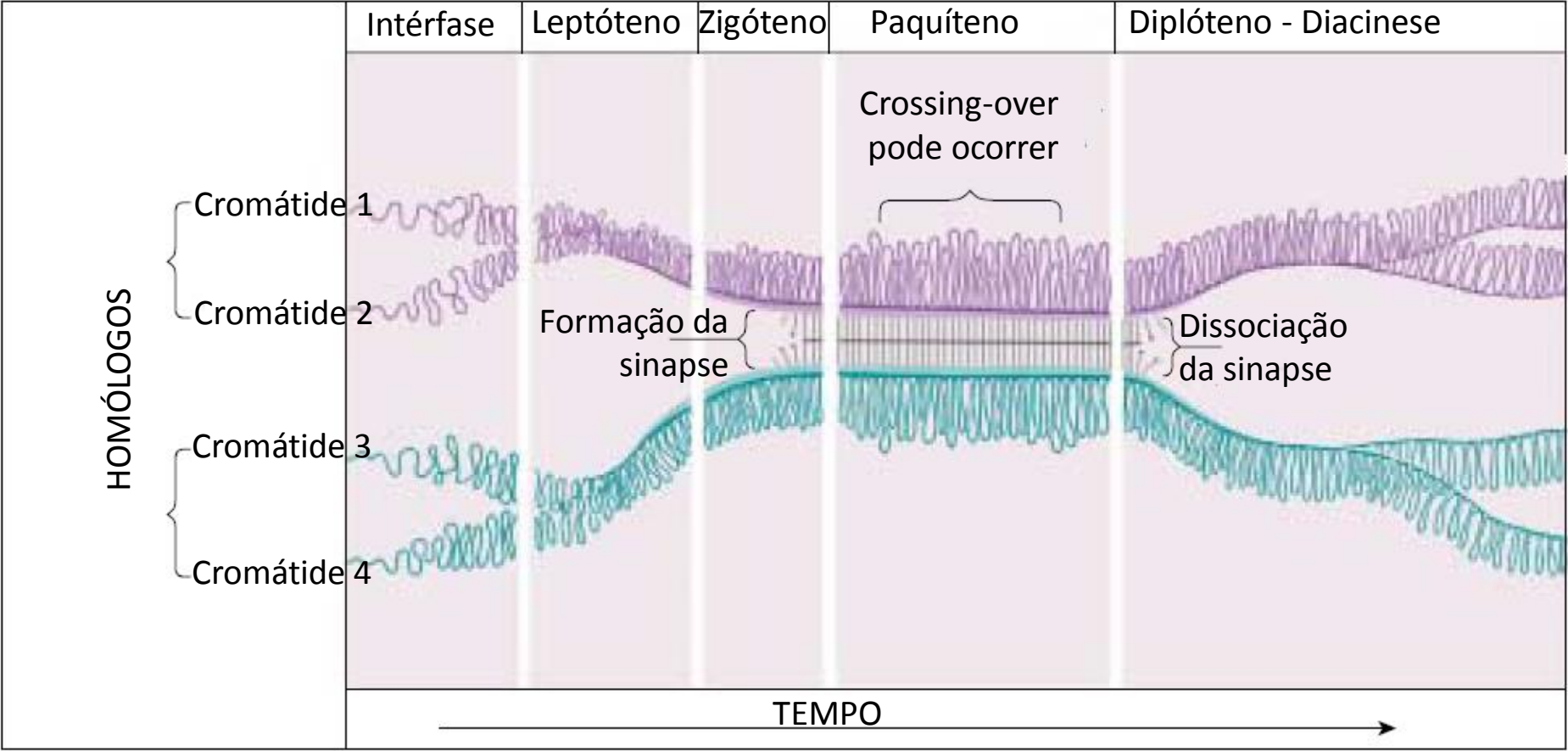
# MEIOSE I

## PROFASE I

- ❑ **Leptóteno** – início da condensação dos cromossomos;
- ❑ **Zigóteno** – início do pareamento dos cromossomos homólogos (**sinapse**), formação do complexo sinaptonêmico;
- ❑ **Paquíteno** – inicia-se o **crossing-over** (troca de informação genética entre as cromátides não irmãs);
- ❑ **Diplóteno** – permuta ou recombinação genética; cromossomos homólogos começam a repelir-se, permanecendo unidos por **quiasmas**;
- ❑ **Diacinese** - condensação total dos cromossomas, terminalização dos quiasmas, desagregação da membrana nuclear e dos nucléolos.



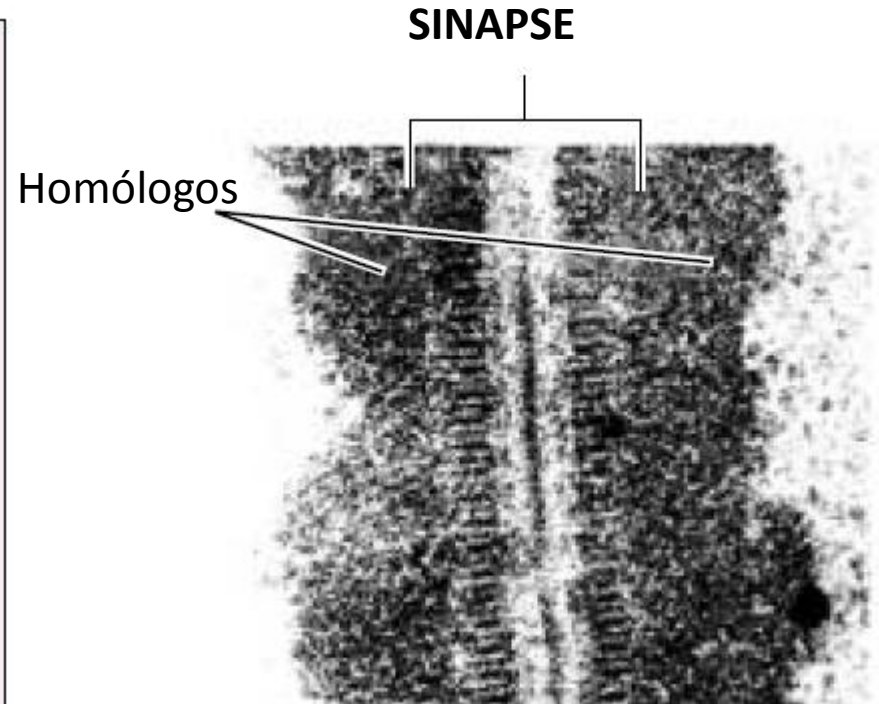
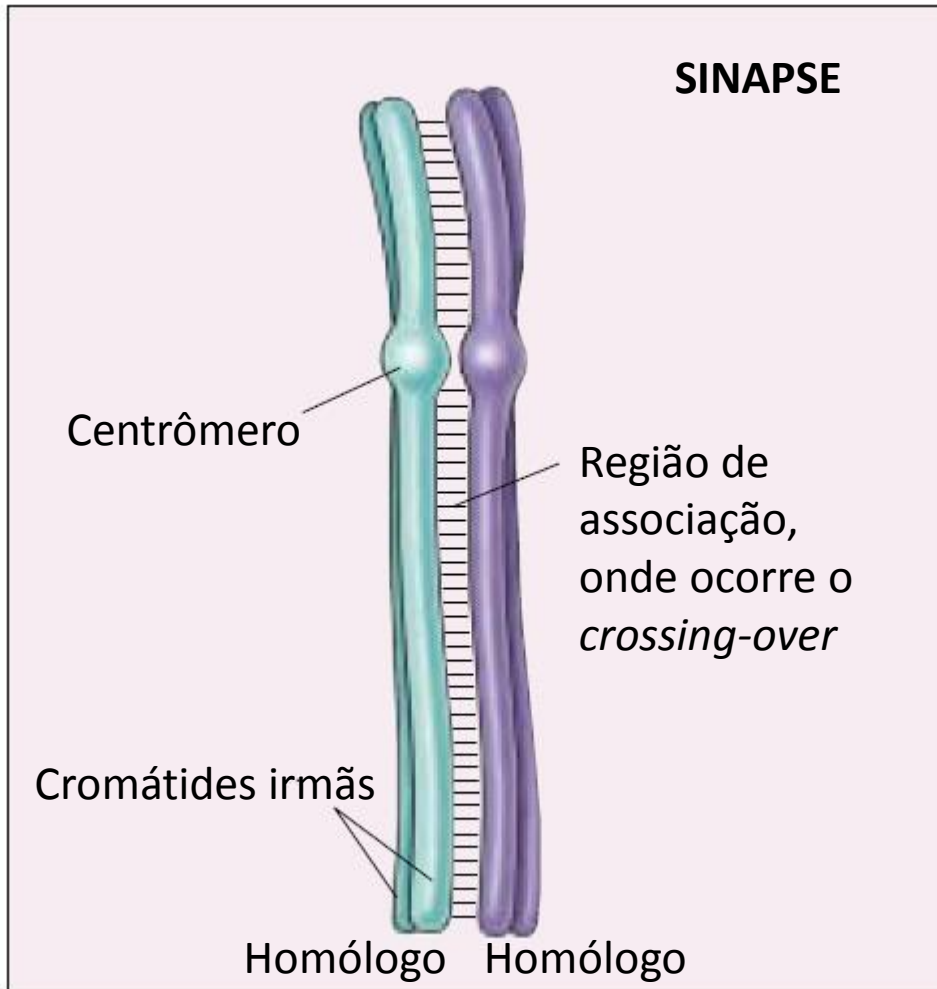
# PROFASE I





# SINAPSE

- Acontece no início da **primeira divisão nuclear**;
- Pareamento entre **cromossomos homólogos** = processo denominado **sinapse**.



**Estrutura do complexo sinaptonêmico do ascomiceto *Neotiella rutilans*.**

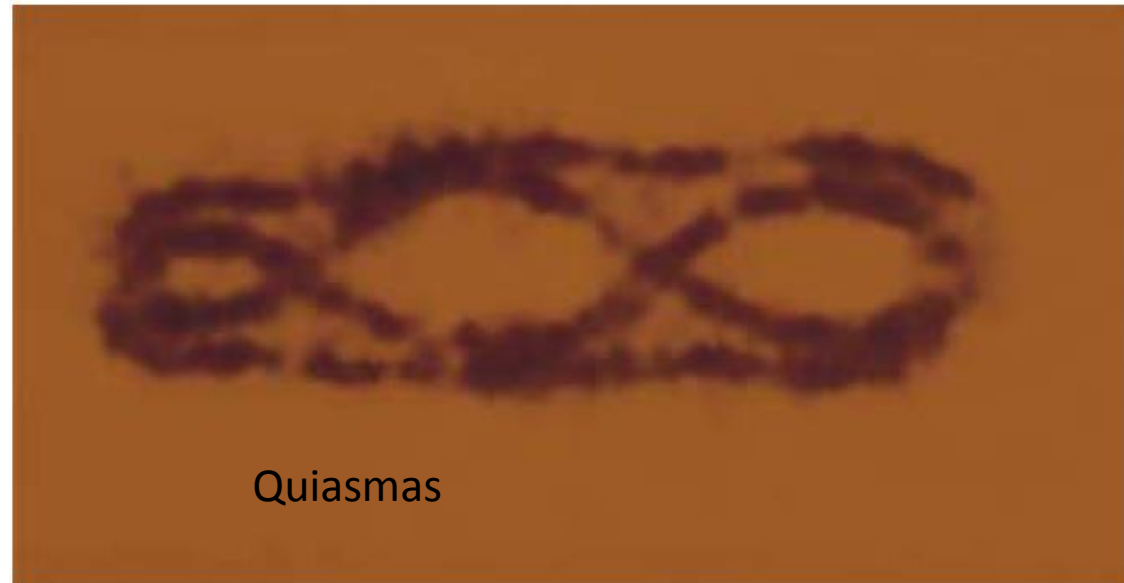
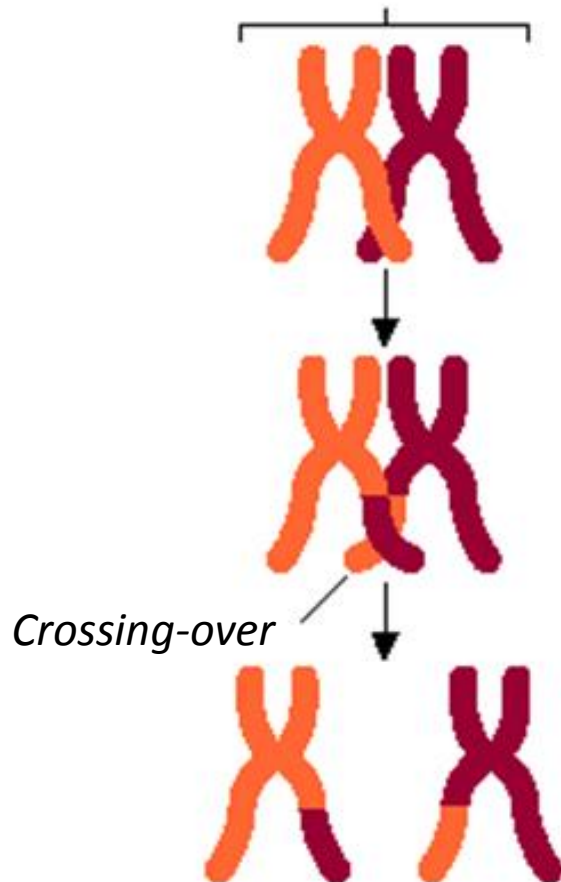


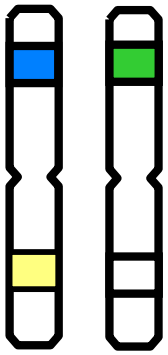
# RECOMBINAÇÃO HOMÓLOGA

Troca de material genético entre os cromossomos homólogos → *crossing-over* (ocorre na primeira divisão nuclear).

## Recombinação homóloga

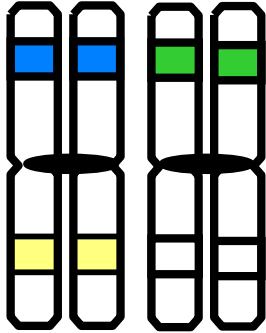
Pareamento dos cromossomos homólogos





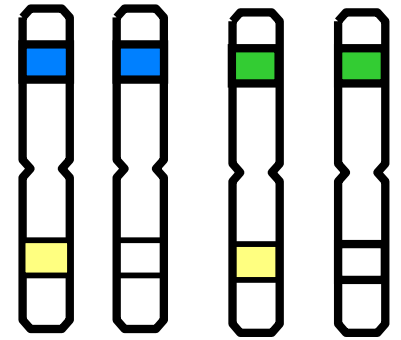
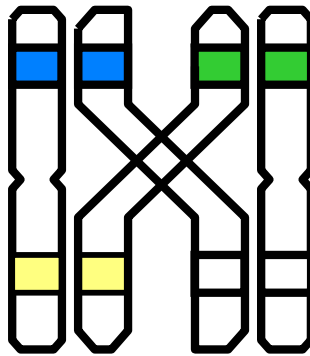
Cada homólogo (ex. "cromossomo 7") se replica para dar origem à duas cromátides irmãs

## EMBARALHAMENTO DOS GENES POR *CROSSING-OVER*

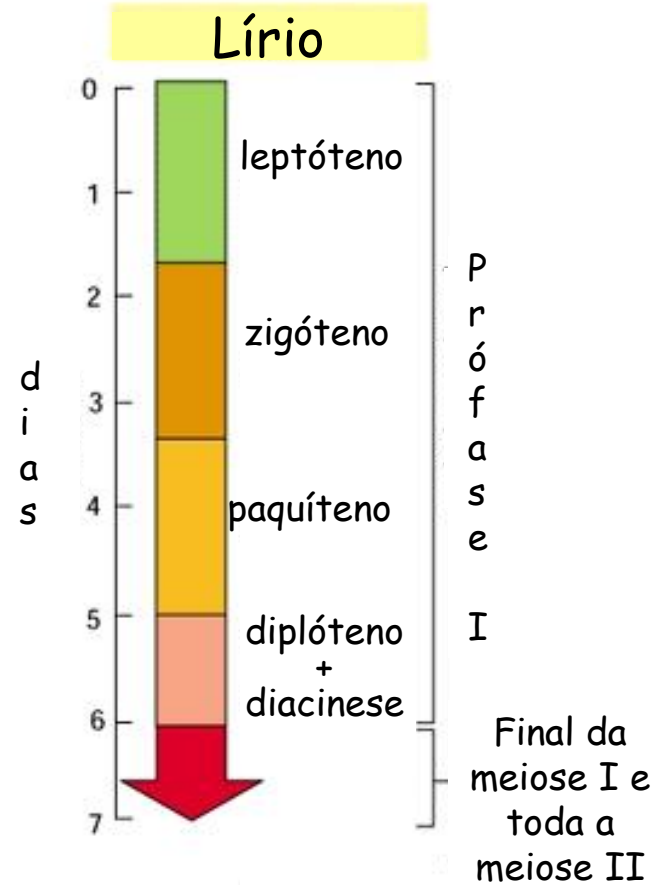
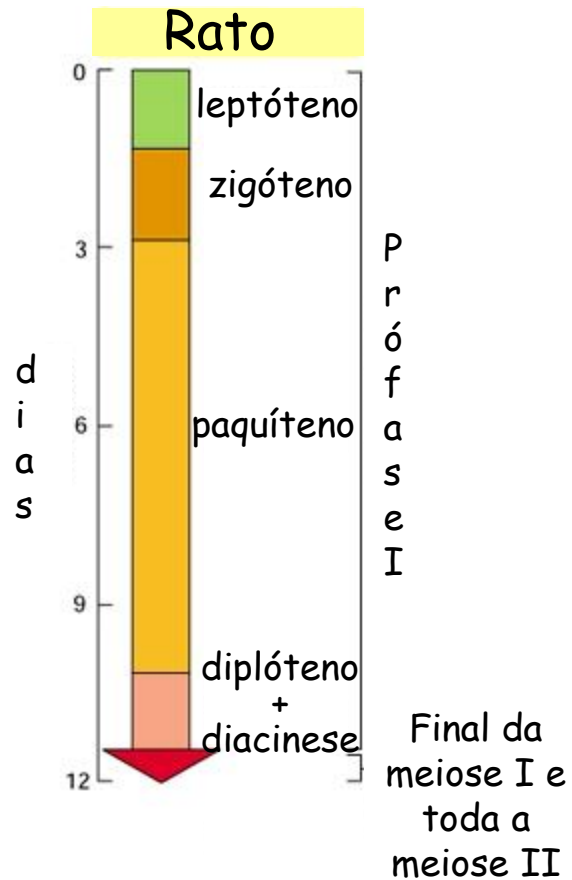


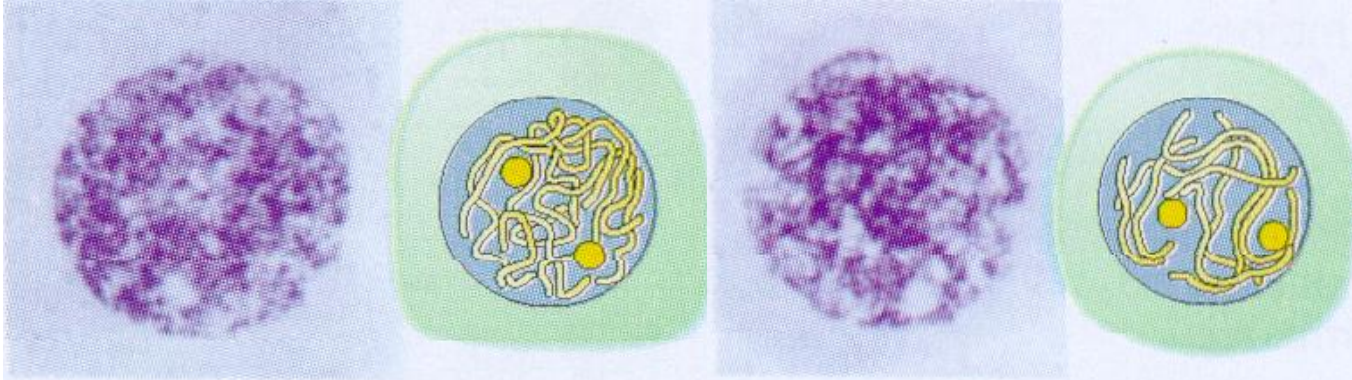
Par de homólogos (ex. Cromossomo materno 7 e cromossomo paterno 7)

*crossing-over*,  
recombinação



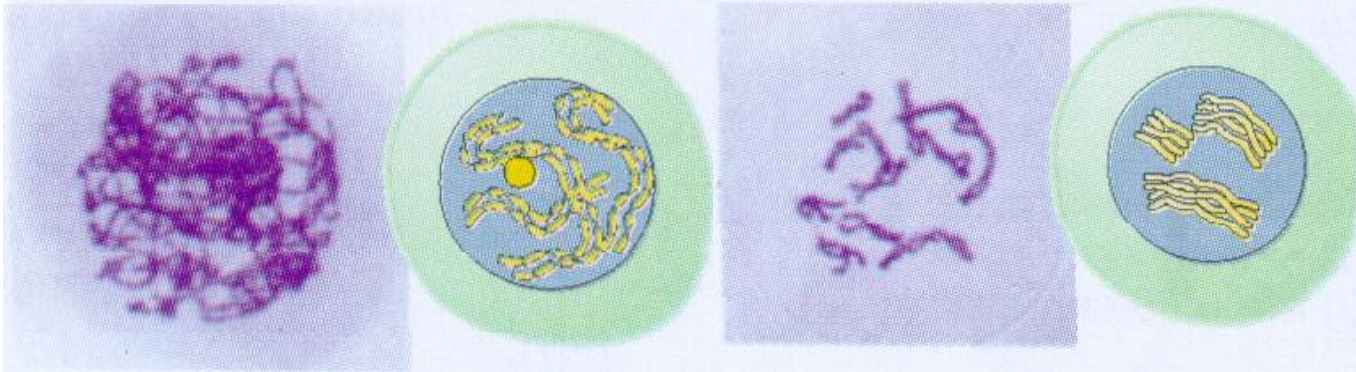
# PROFASE I





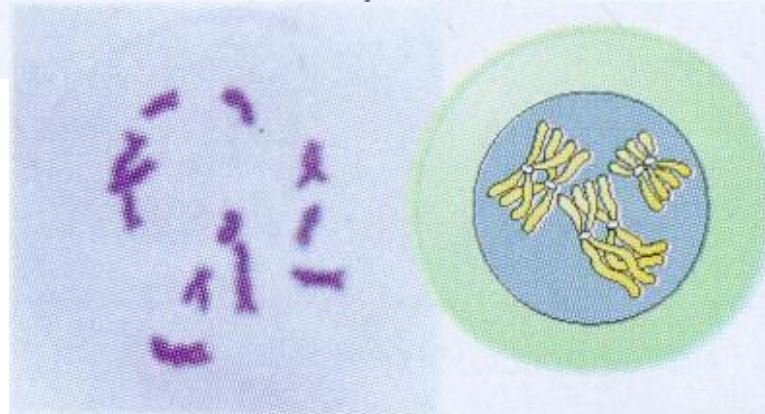
Leptóteno

Zigóteno



Paquíteno

Diplóteno

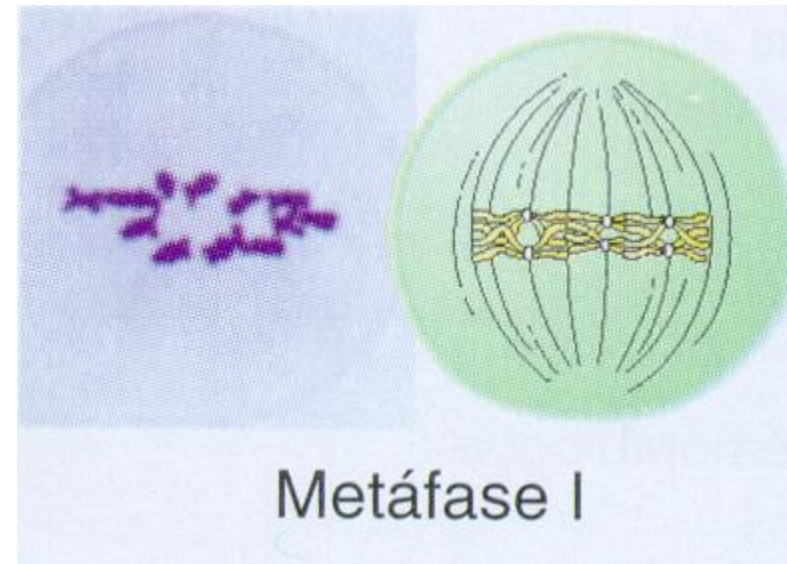
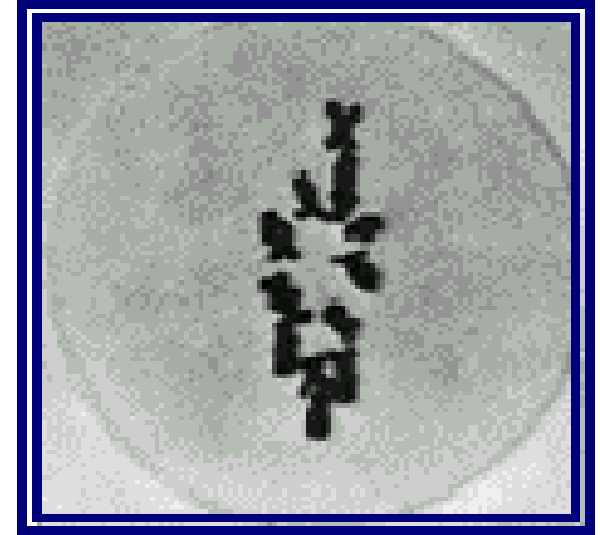


Diacinese

## PROFASE I

# METÁFASE I

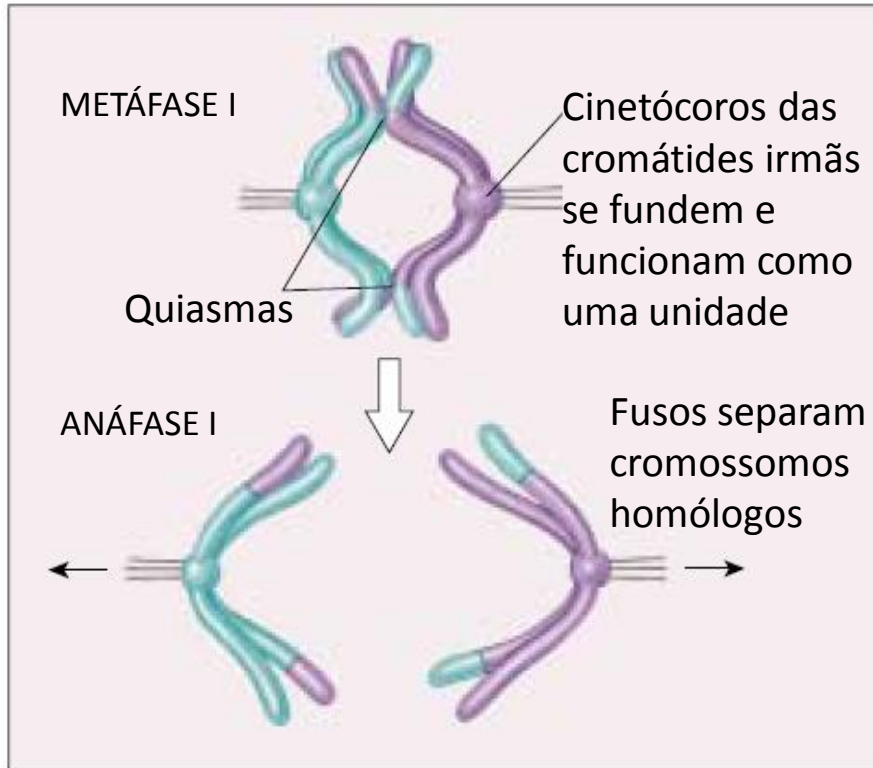
- As 2 cromátides irmãs comportam-se como uma unidade;
- Cinetócoros das cromátides irmãs se fundem;
- Alinhamento dos cromossomos no equador da célula na placa equatorial.





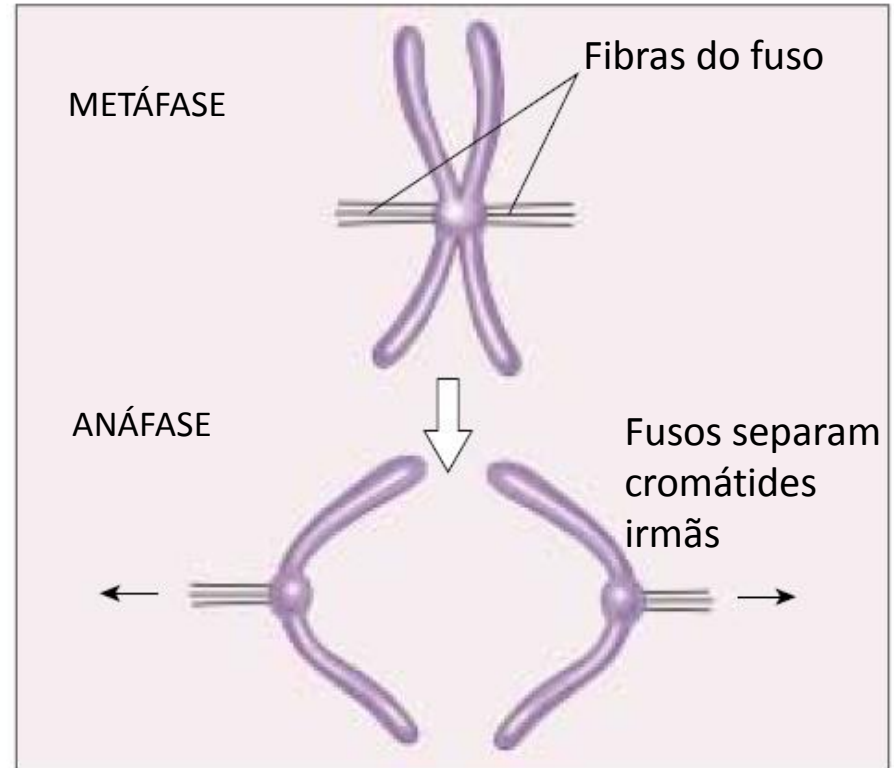
# ANÁLISE COMPARATIVA

## MEIOSE I



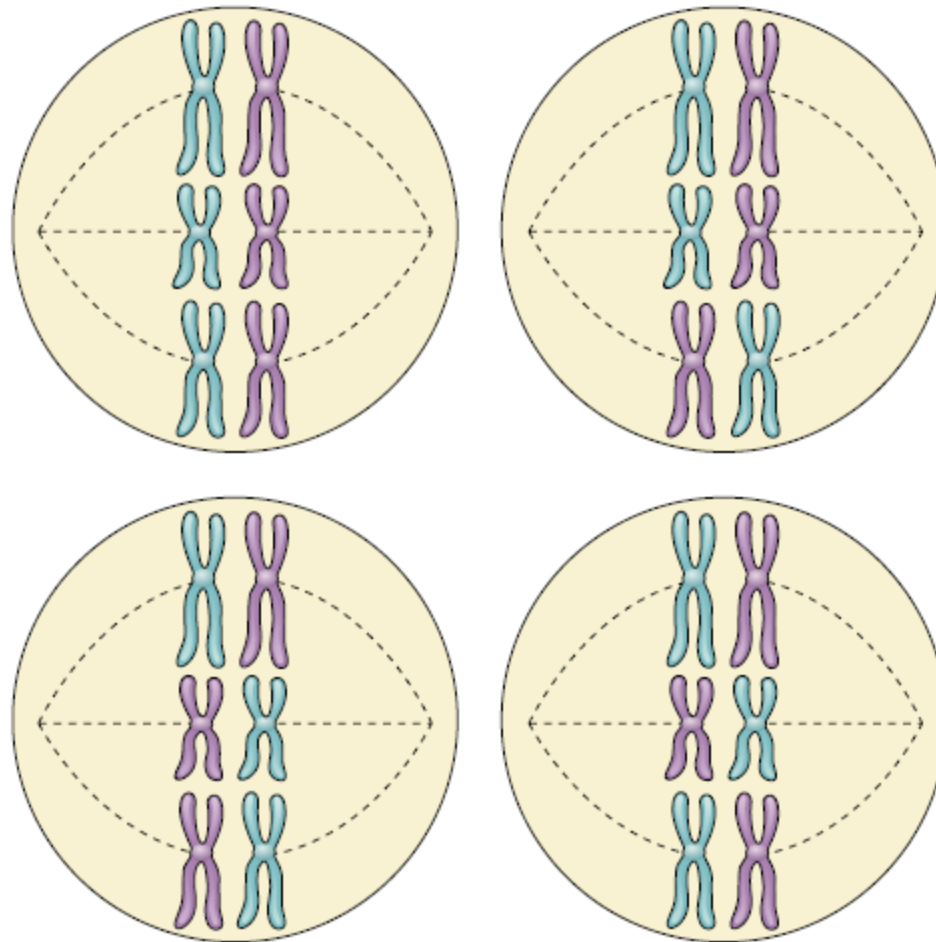
**Segregação cromossômica!!**

## MITOSE



**Segregação cromatídica!!**

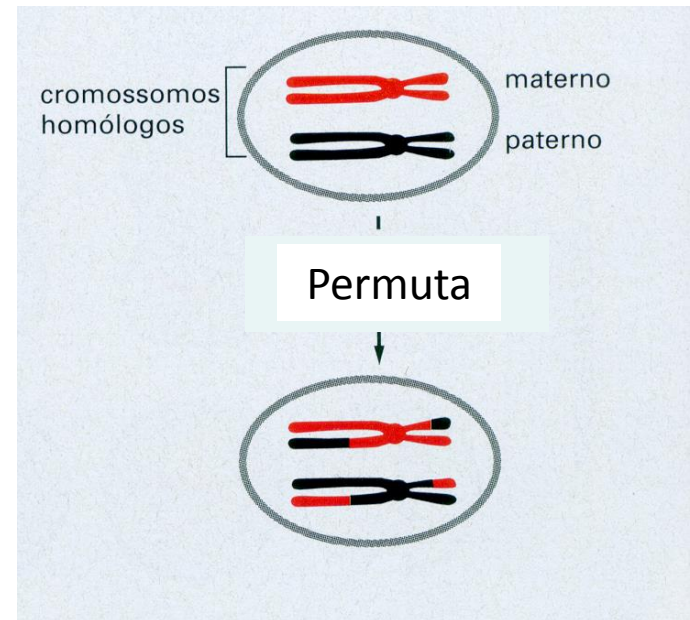
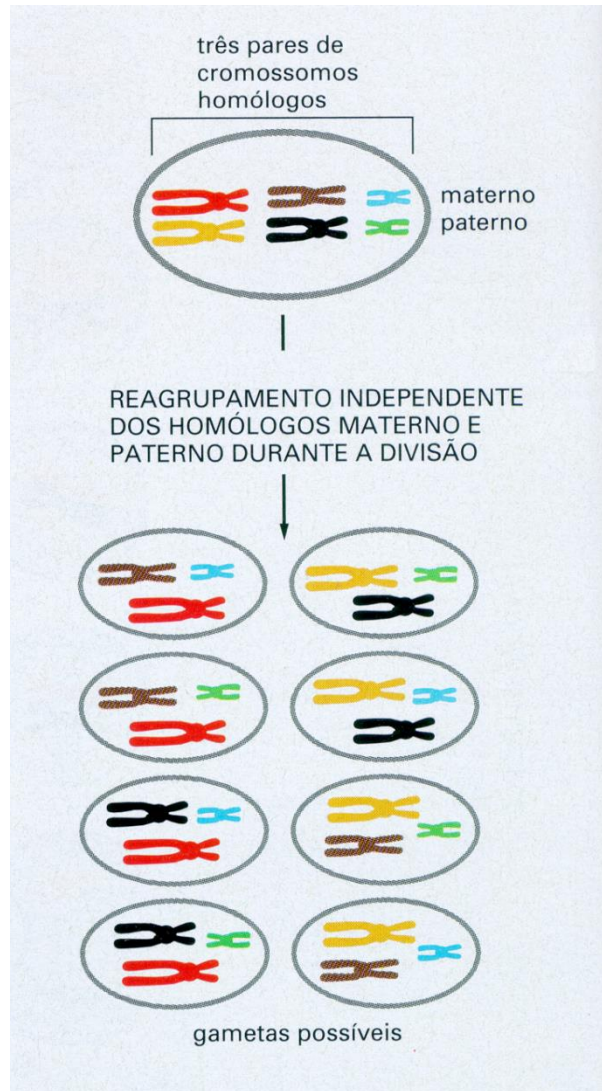
# DISTRIBUIÇÃO RANDÔMICA DOS CROMOSSOMOS HOMÓLOGOS NA PLACA EQUATORIAL



$$2^n$$

$2^n$  = nº de combinações possíveis, sendo  $n$  = nº haplóide de cromossomos

# SEGREGAÇÃO CROMOSSÔMICA



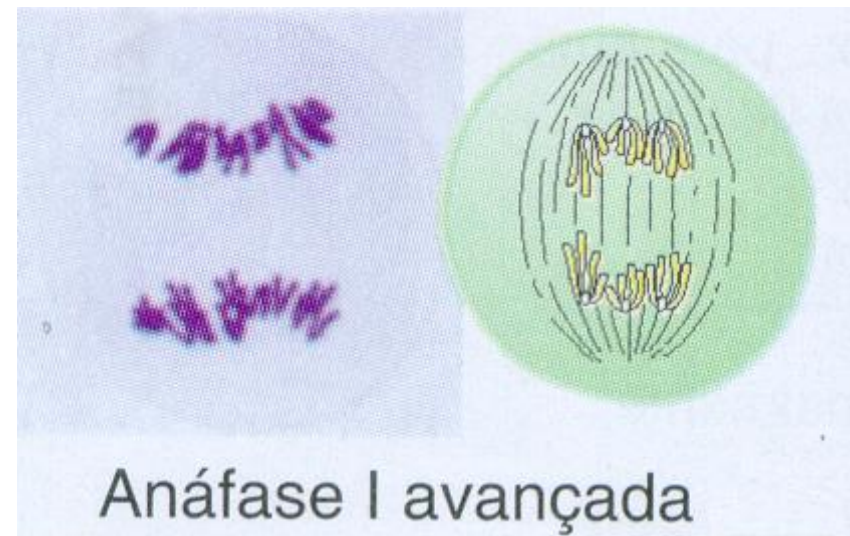
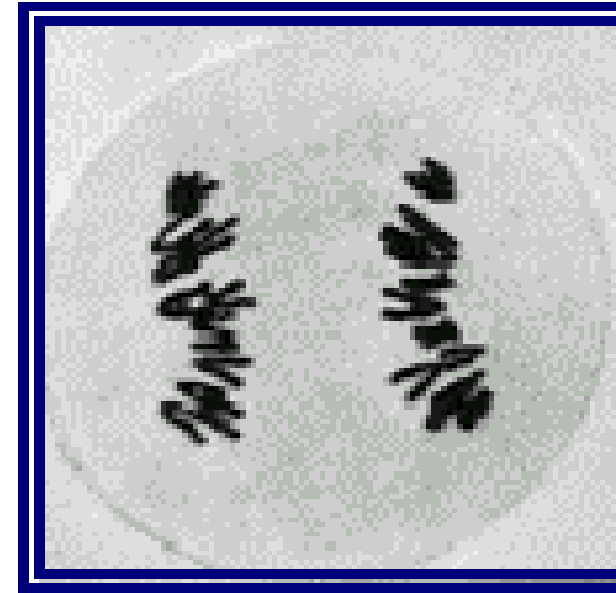
$2^n$

Aumenta ainda mais a variabilidade!!!



# ANÁFASE I

- Migração de **cada cromossomo homólogo**, com as suas duas cromátides unidas pelo centrômero, para os pólos opostos da célula;
- Não há divisão dos centrômeros;
- Ocasionalmente podem ocorrer fenômenos de não disjunção cromossômica (Ex. Síndrome de Down nos humanos -Trissomia 21).



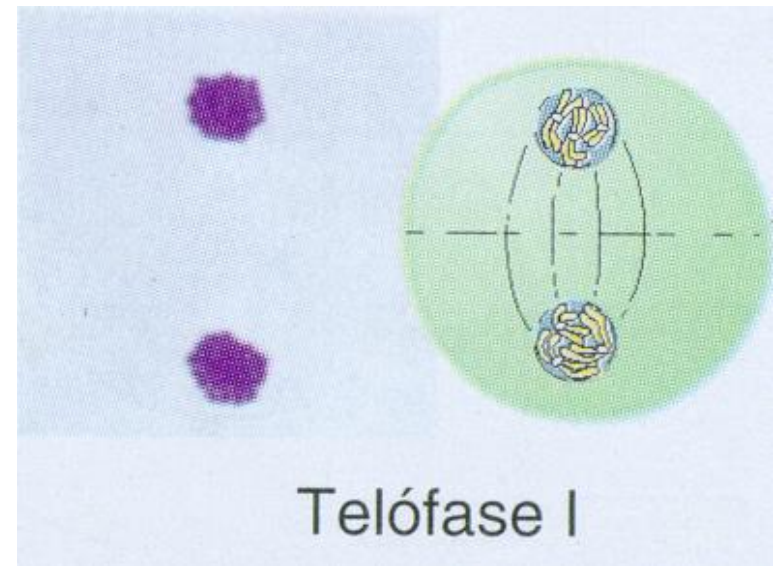
# TELÓFASE I

- Chegada dos cromossomos homólogos aos pólos opostos.



# CITOCINESE

- Divisão do citoplasma



# CONTRIBUIÇÕES DA MEIOSE I

- Há contribuição para a **variabilidade genética** das células filhas entre si e em relação à célula mãe - devido ao **crossing-over** e à separação ao acaso dos cromossomos homólogos;
- Devido à **distribuição ao acaso** dos cromossomos homólogos, cada indivíduo pode produzir **2<sup>n</sup> gametas** geneticamente **diferentes**, com **n = n<sup>o</sup>** haplóide de cromossomos:

Humanos (n = 23)

$$2^{23} = 8.388.608$$

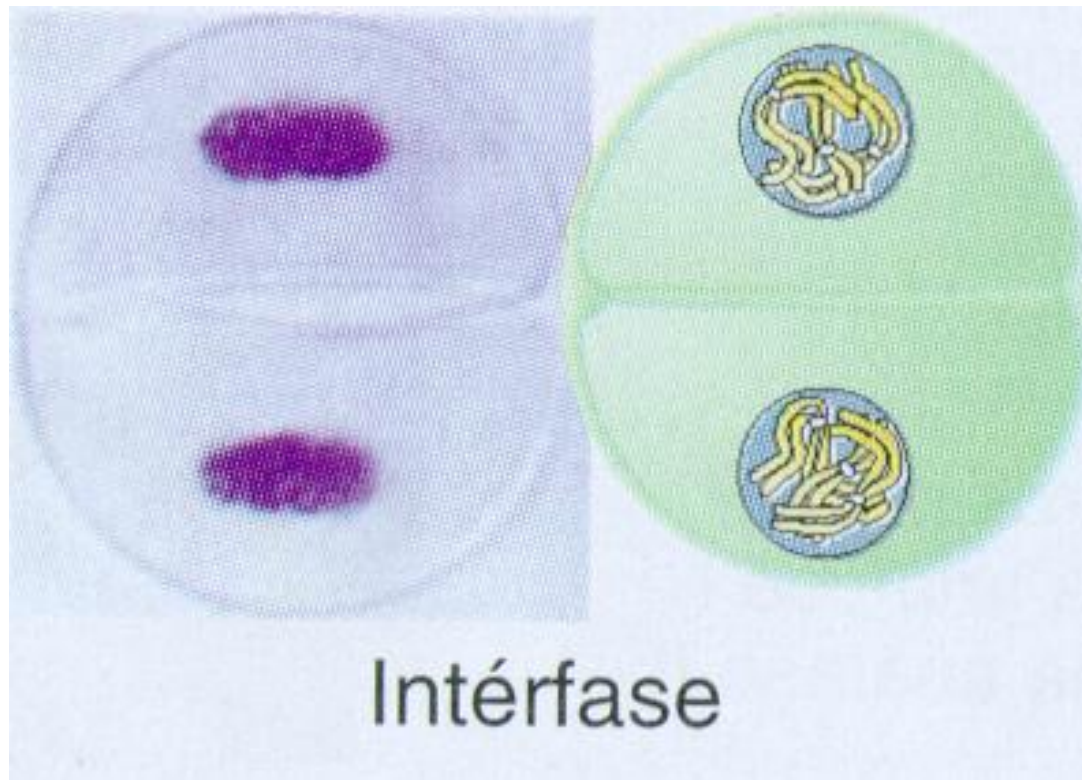
Lírio (n = 12)

$$2^{12} = 4.096$$

Milho (n = 4)

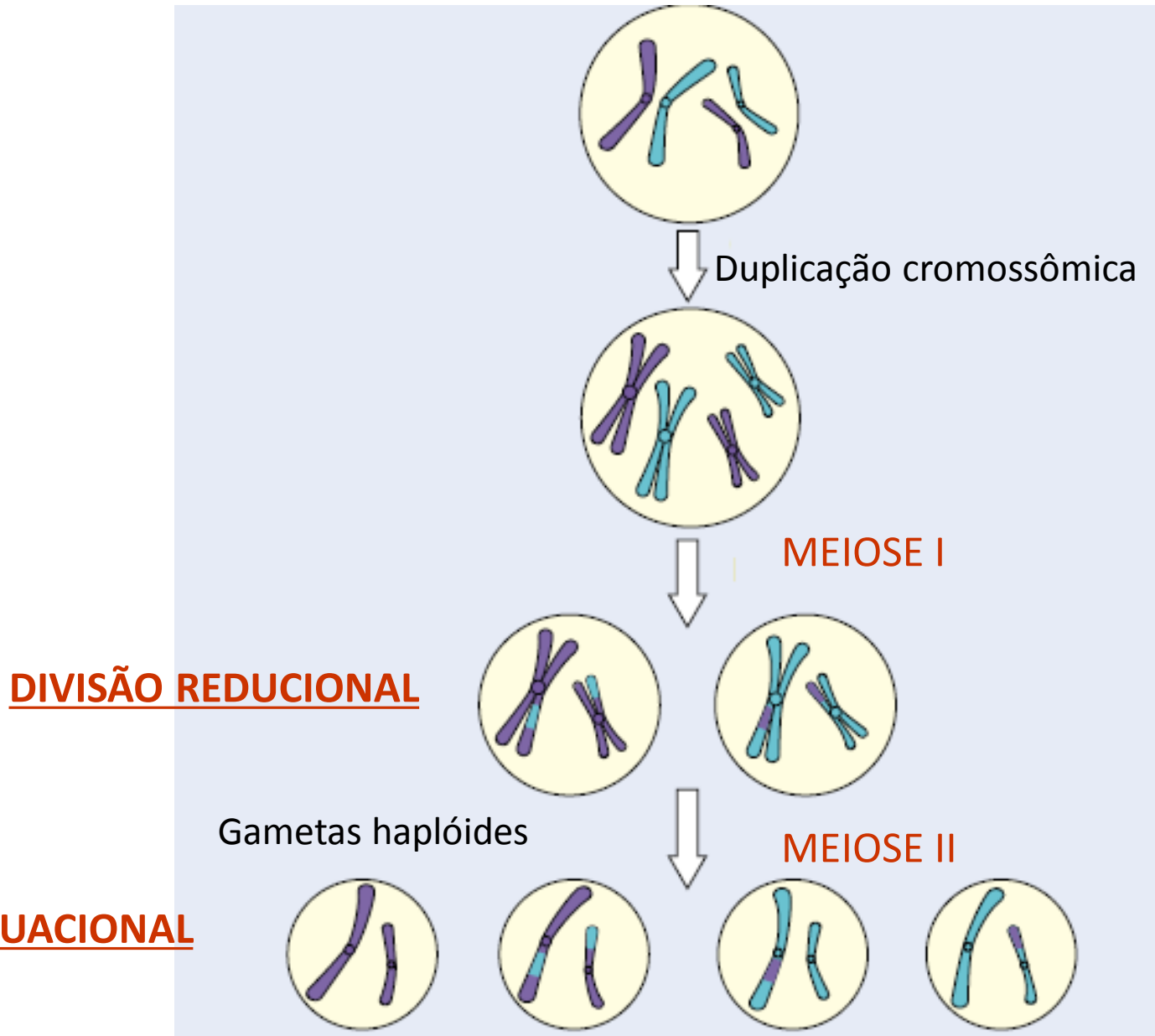
$$2^4 = 16$$





**Cromossomos não se replicam novamente antes da segunda divisão meiótica.**

# VISÃO GERAL



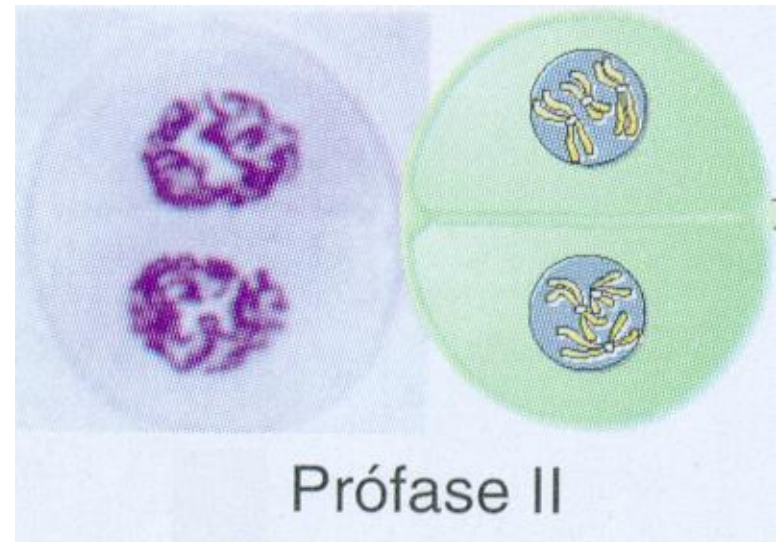
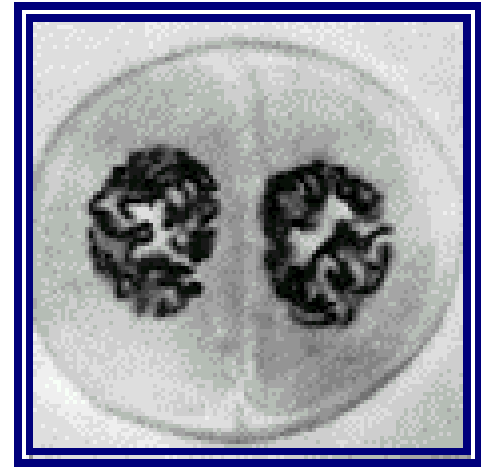
DIVISÃO REDUCIONAL

Gametas haplóides

DIVISÃO EQUACIONAL

# PRÓFASE II

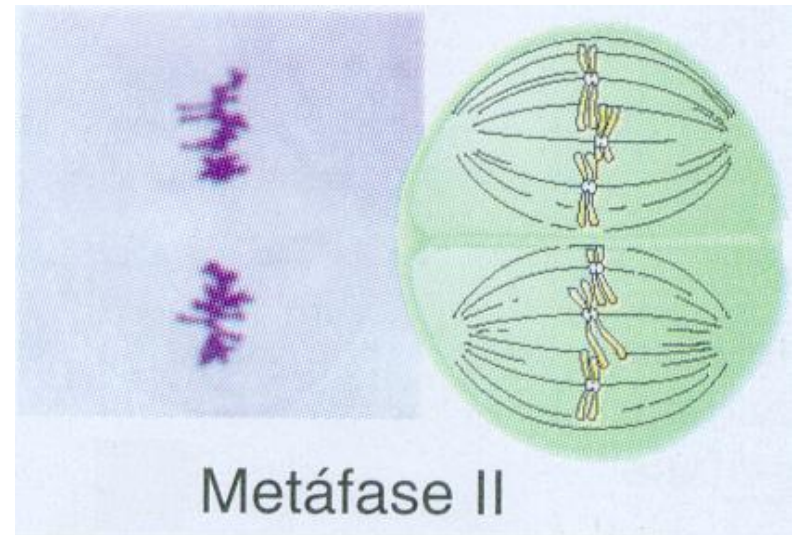
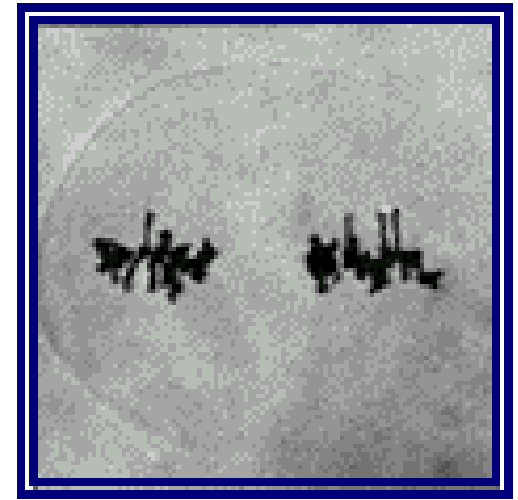
- Fase muito curta;
- Os cromossomos ainda estão constituídos por duas cromátides;
- Formação das fibras do fuso;
- Carioteca e nucléolo desaparecem novamente.



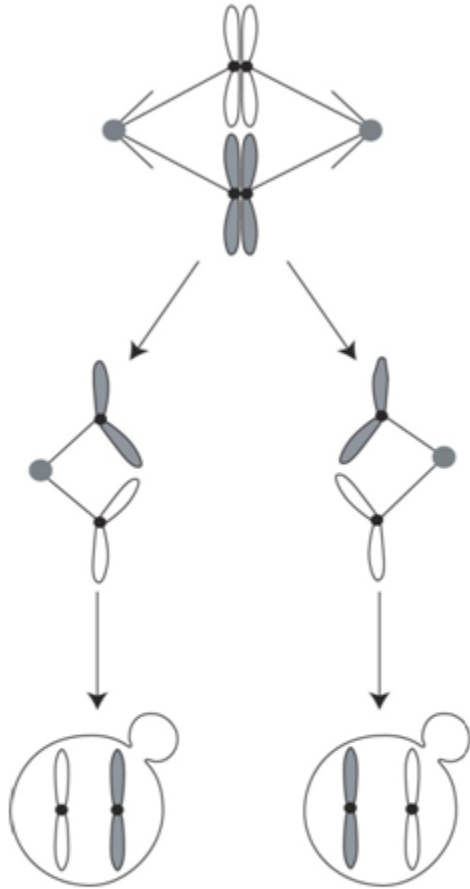


# METÁFASE II

- Alinhamento dos cromossomos na placa equatorial da célula;
- Ocorre **duplicação dos centrômeros** para a posterior **separação das cromátides irmãs** na fase seguinte.



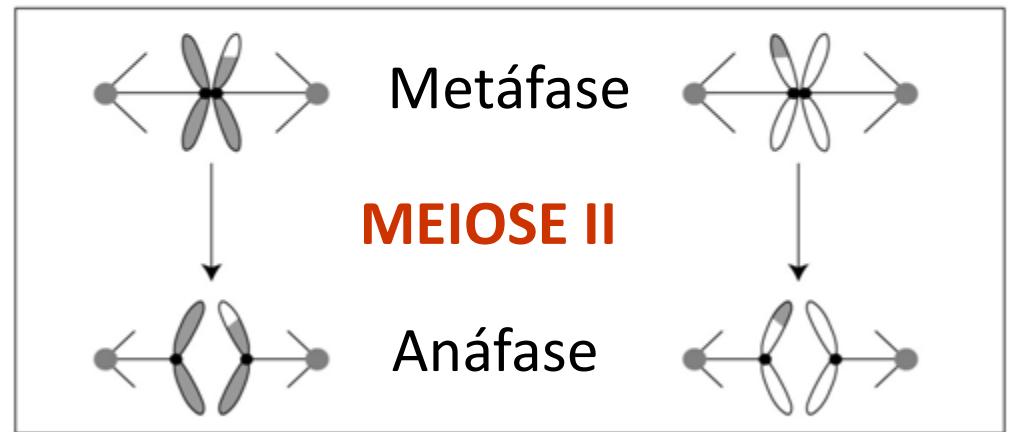
# MITOSE



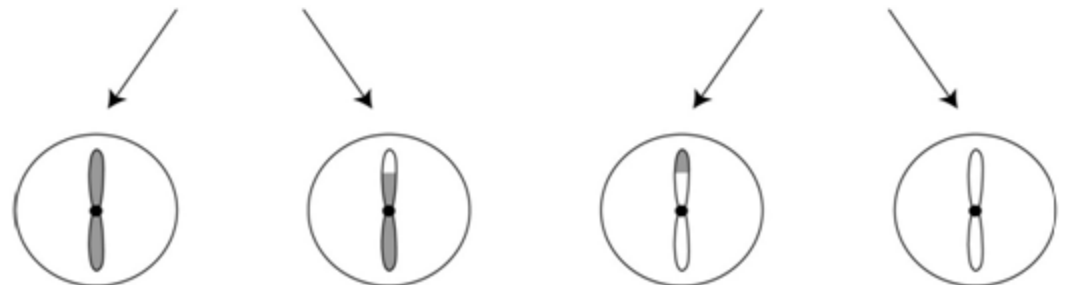
# MEIOSE

Metáfase **MEIOSE I**

Anáfase



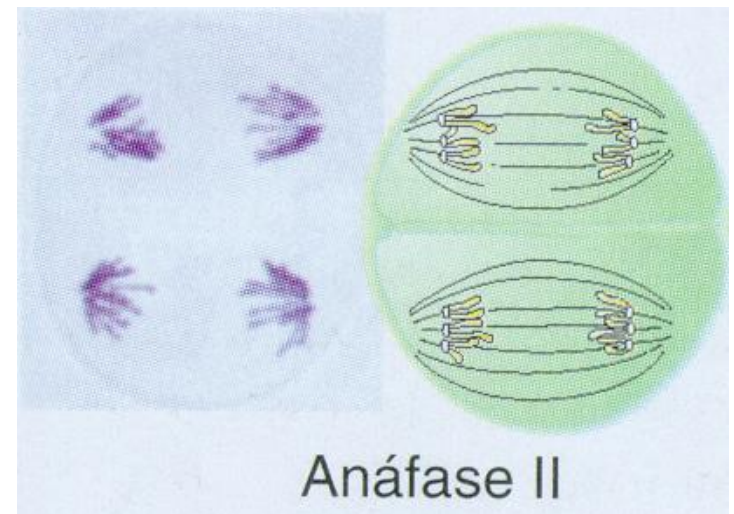
# ANÁLISE COMPARATIVA





# ANÁFASE II

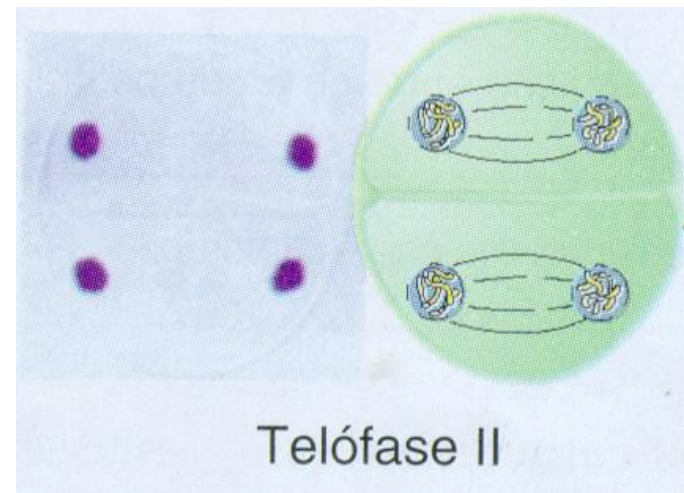
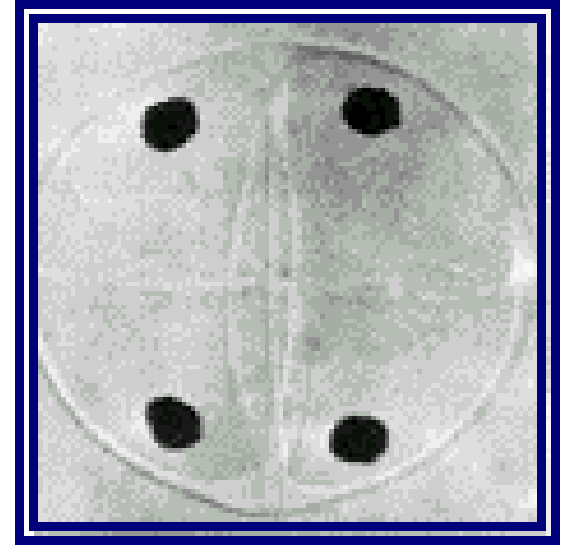
- Divisão do centrômero;
- As **cromátides irmãs** migram para os pólos opostos da célula.

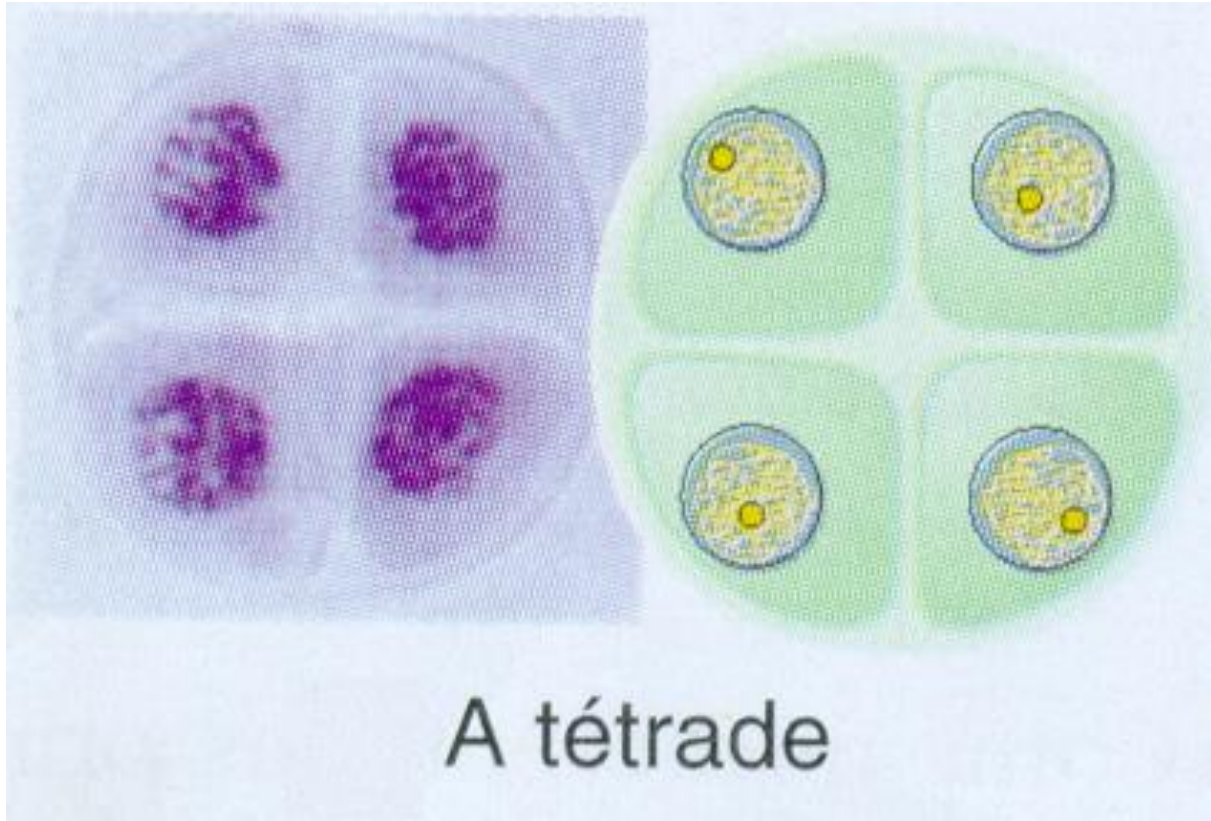


(Griffiths et al., 2001)

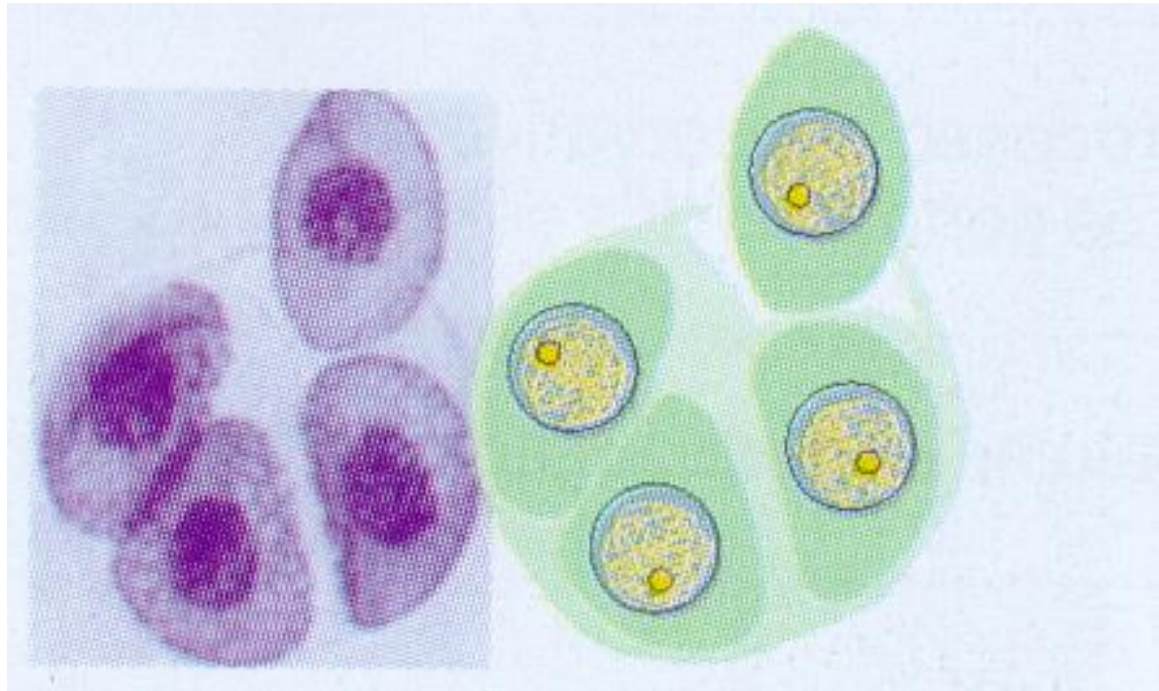
# TELÓFASE II

- Ao chegar aos pólos da célula, cada grupo de cromossomos é envolvido pela membrana nuclear;
- Reorganização do nucléolo;
- A cromatina se descondensa e o fuso desaparece.





# GRÃOS DE PÓLEN

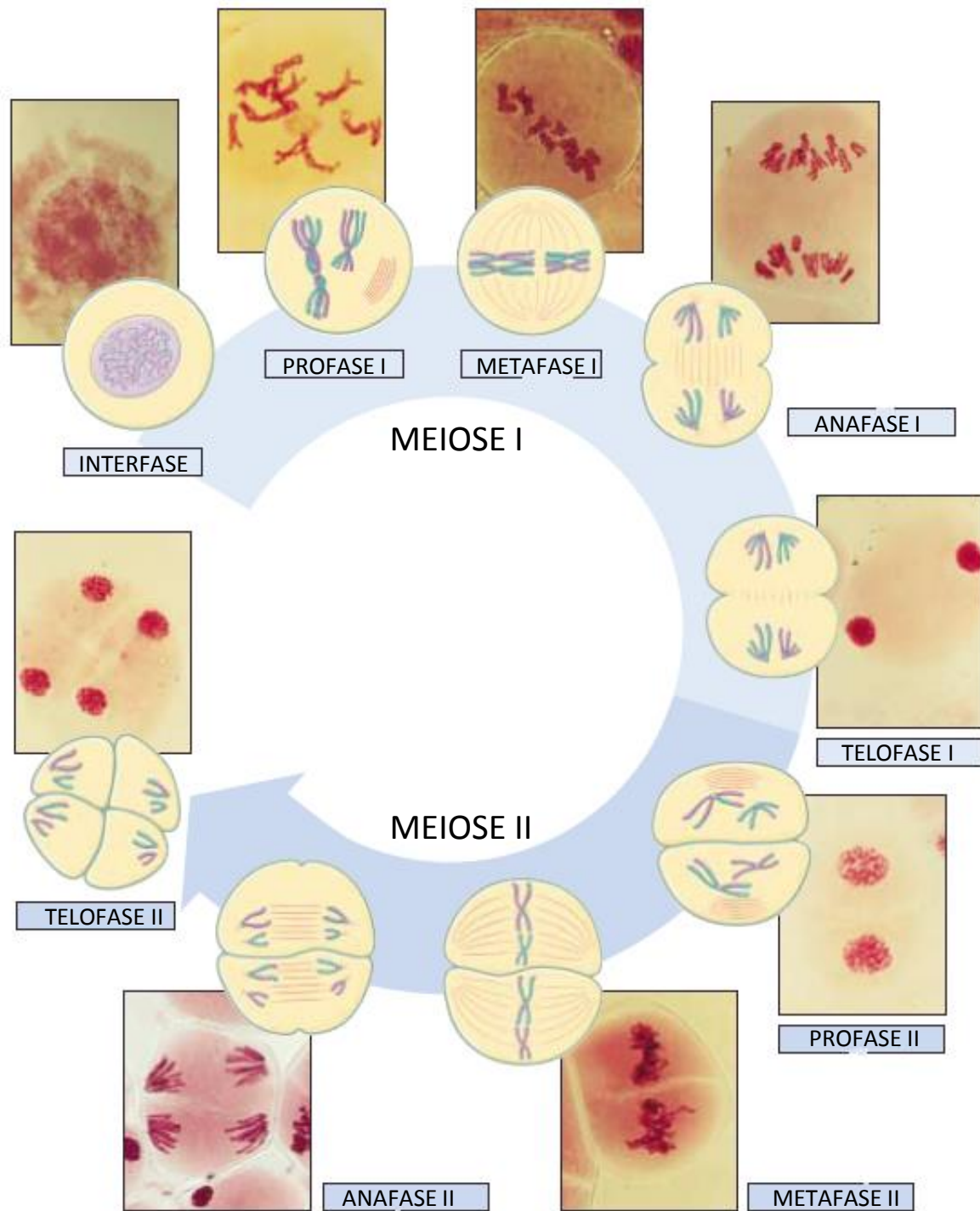


(Griffiths et al., 2001)

# PORTANTO, A MEIOSE APRESENTA 3 CARACTERÍSTICAS ÚNICAS:

- 1) Sinapse;
- 2) Recombinação homóloga;
- 3) Divisão reducional.

Segunda meiose é similar a uma mitose normal, entretanto devido ao *crossing-over* da meiose I, as cromátides irmãs na meiose II não são idênticas.





**A meiose é uma etapa vital para a produção de gametas!**

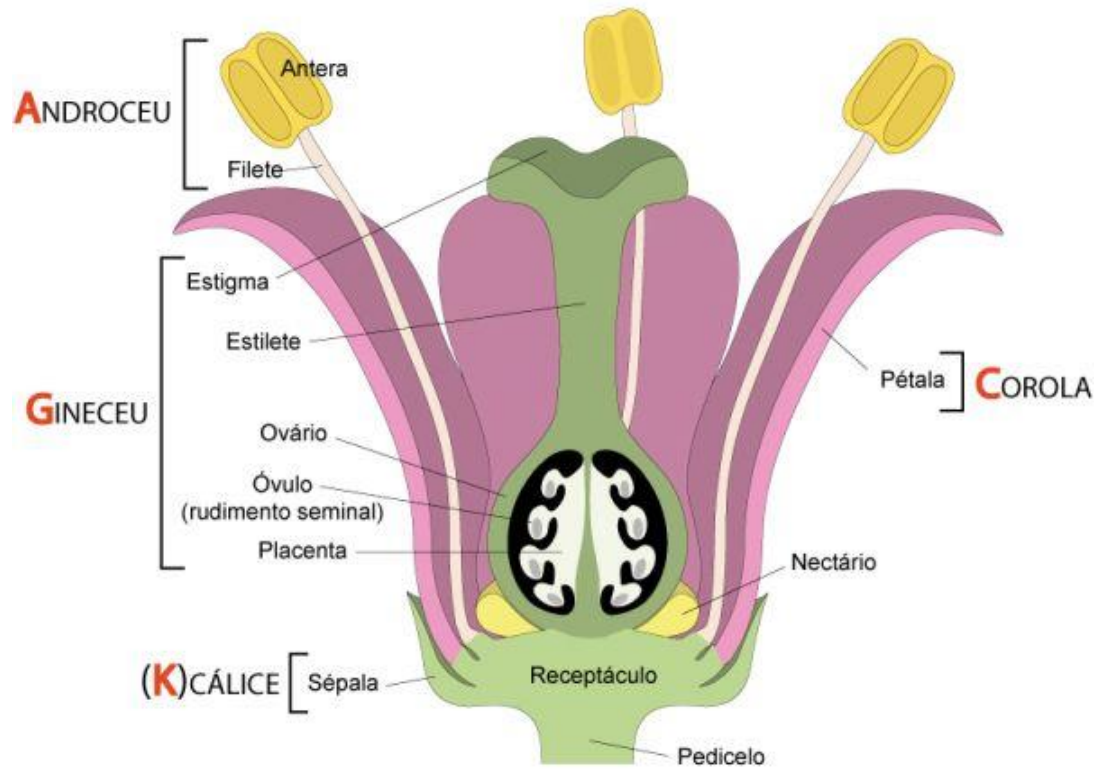
**Mas o que a gametogênese?**



# GAMETOGÊNESE EM PLANTAS

Órgãos de reprodução em plantas superiores:

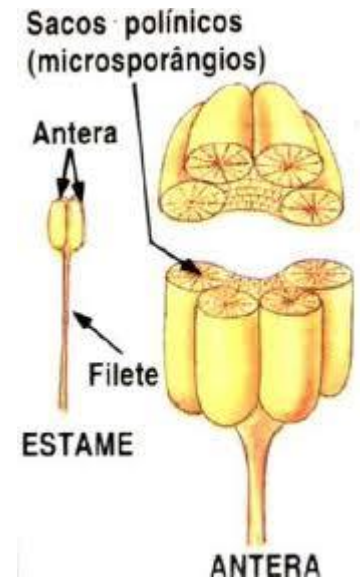
- ❑ **Anteras** (masculinos) – produzem micrósporos.
- ❑ **Ovários ou pistilo** (femininos) – produzem megásporos.



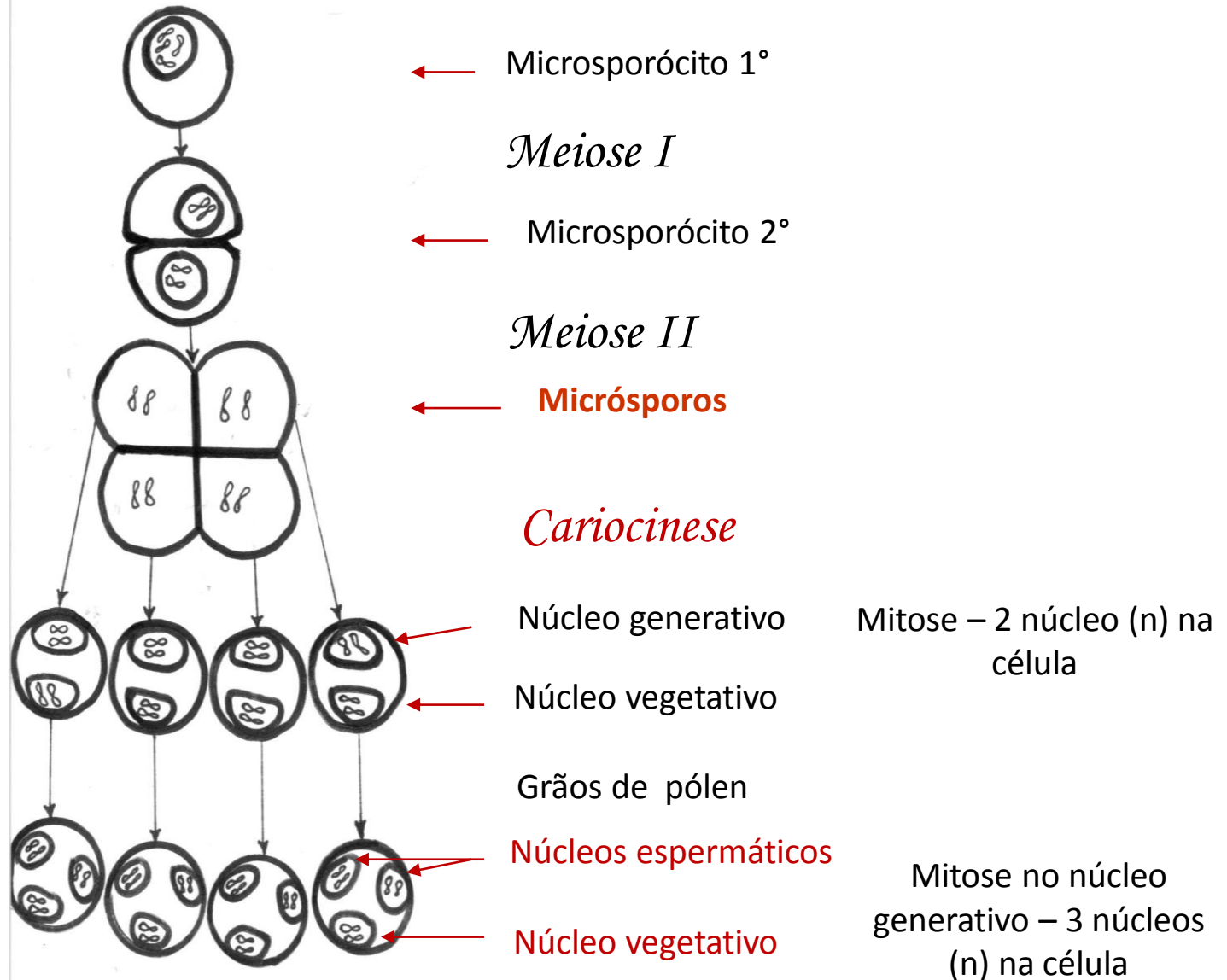


# MICROSPOROGENESE

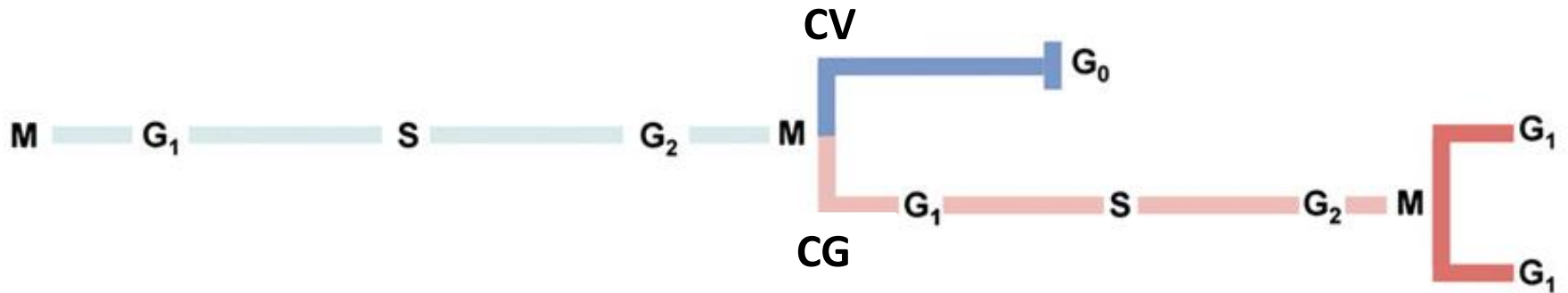
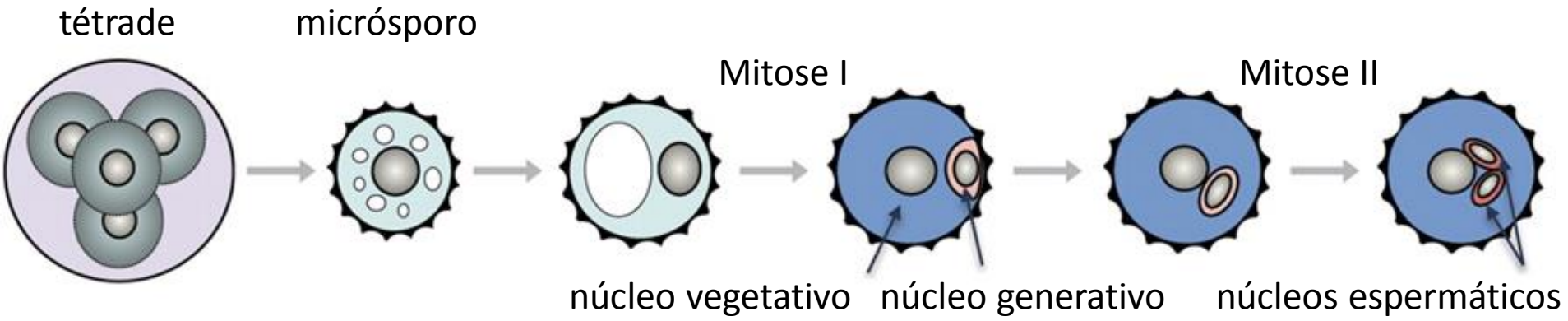
- É a **gametogênese masculina** em vegetais superiores;
- Ocorre nos **sacos polínicos** das anteras das flores masculinas;
- Um microsporócito (ou célula mãe do grão de pólen) origina por **meiose** quatro micrósporos funcionais.
- Estes não são os gametas finais; ainda sofrem **divisão mitótica** para gerar o grão de pólen com dois núcleos: o **vegetativo** e o **generativo**. O núcleo **generativo** sofre **nova mitose**, gerando dois **núcleos espermáticos**.



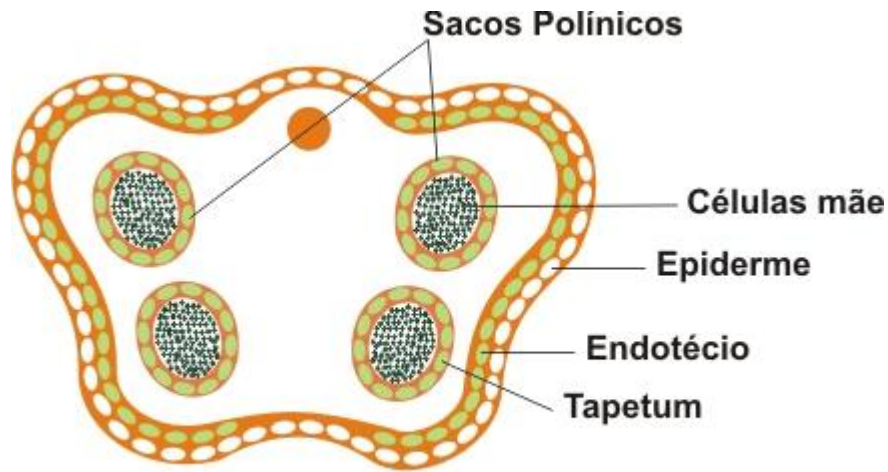
# MICROSPOROGENÊSE



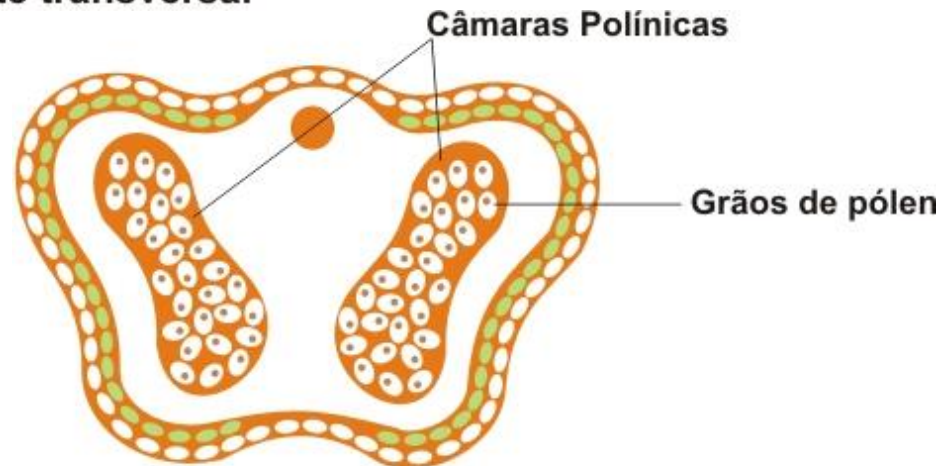
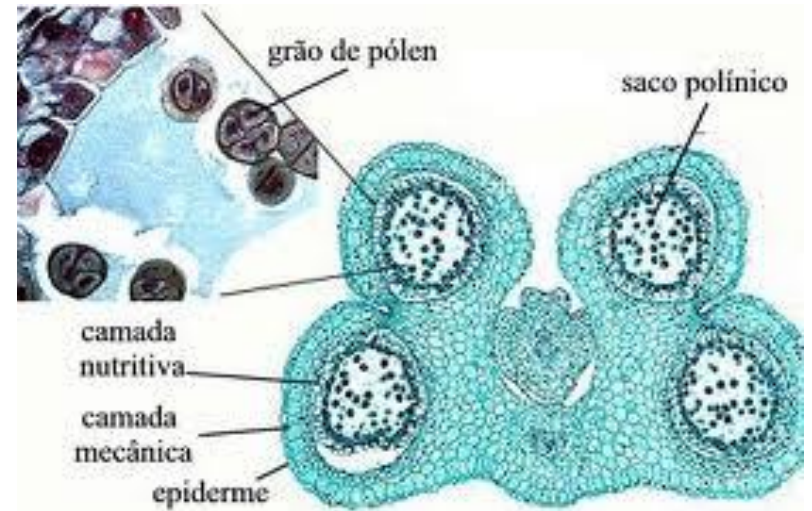
# MICROGAMETOGÊNESE



# CORTE TRANSVERSAL DA ANTERA

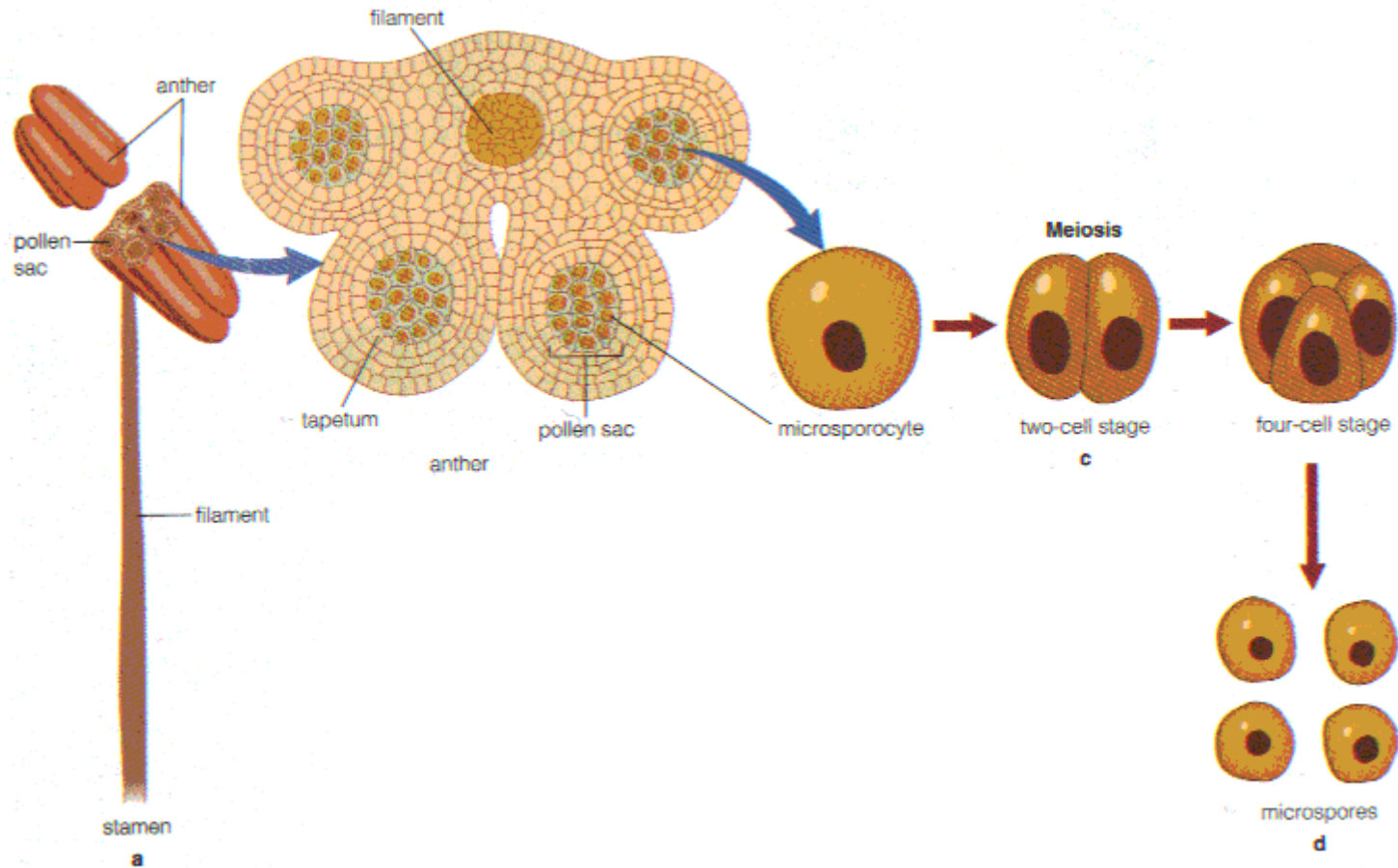


Antera jovem - Corte transversal

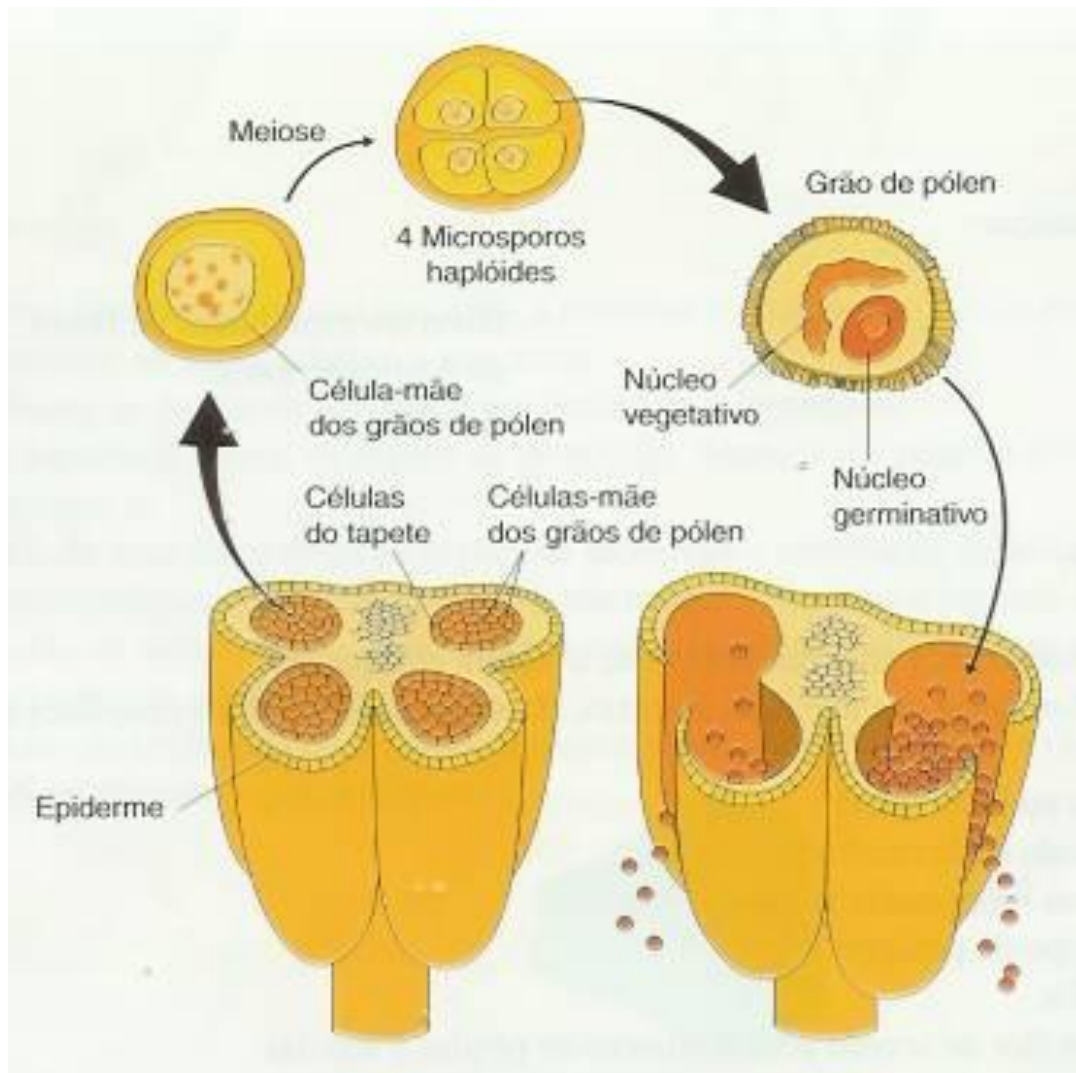


Antera madura - Corte transversal

# CORTE TRANSVERSAL DA ANTERA

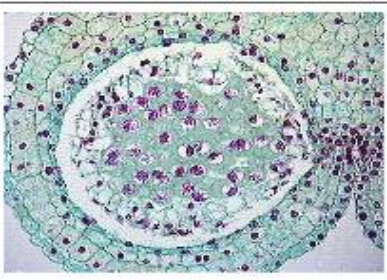


# CORTE TRANSVERSAL DA ANTERA

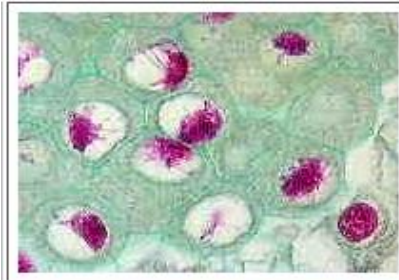




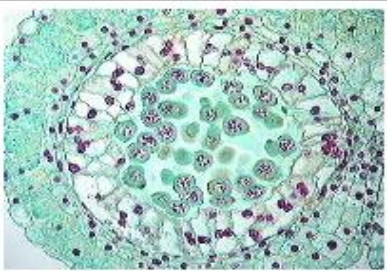
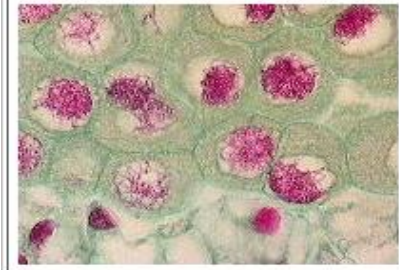
**Formação do polén em *Lilium***



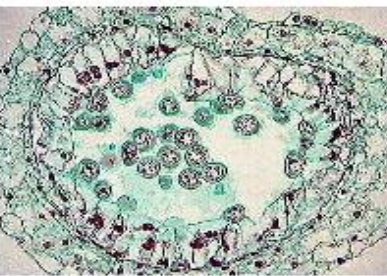
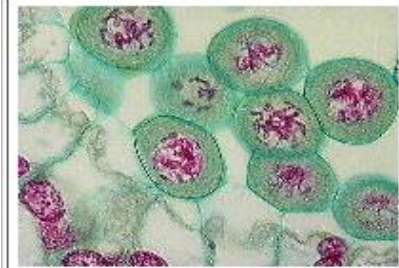
**Microsporócito na Prófase I (Início)**



**Microsporócito na Prófase I (Meio)**



**Microsporócito na Prófase I (Final)**



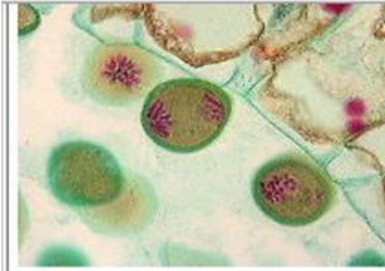
**Diacinese**



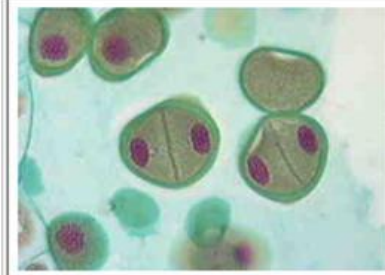
**Metáfase I**



# Formação do polén em *Lilium*



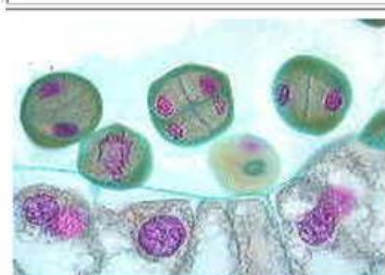
Anáfase I



Telófase I



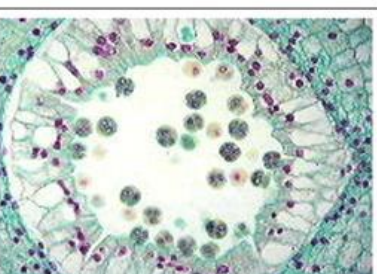
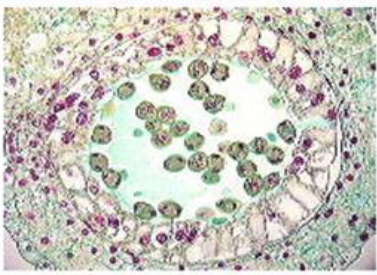
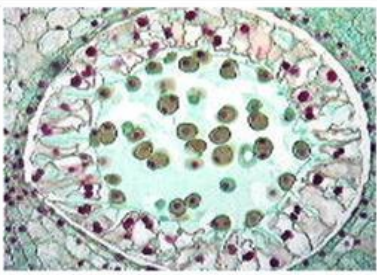
Metáfase II



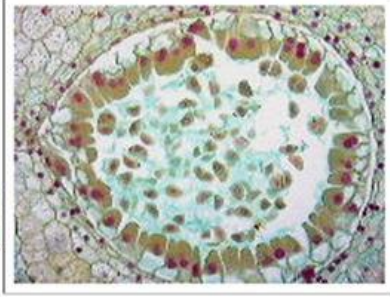
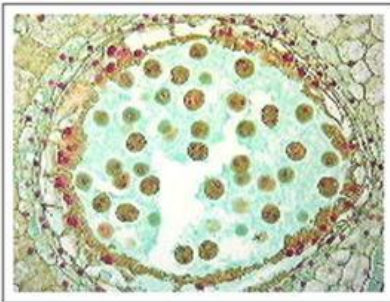
Telófase II



Tétrade

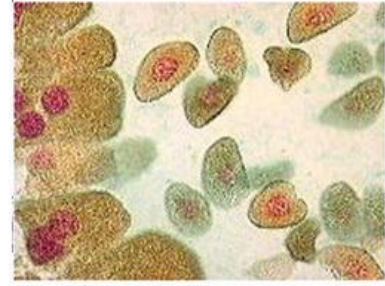


# Formação do polén em *Lilium*



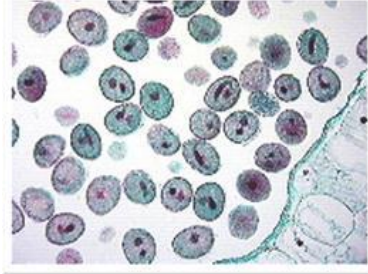
Tétrade

Liberação dos micrósporos

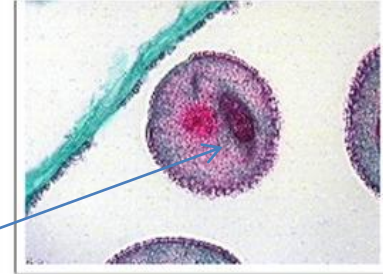




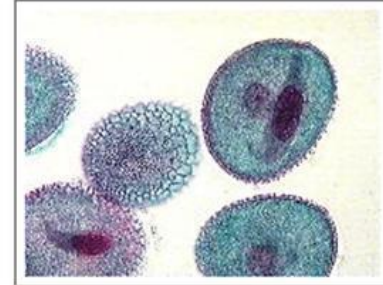
# Microgametogênese em *Lilium*



**“Pólen trinucleado”**



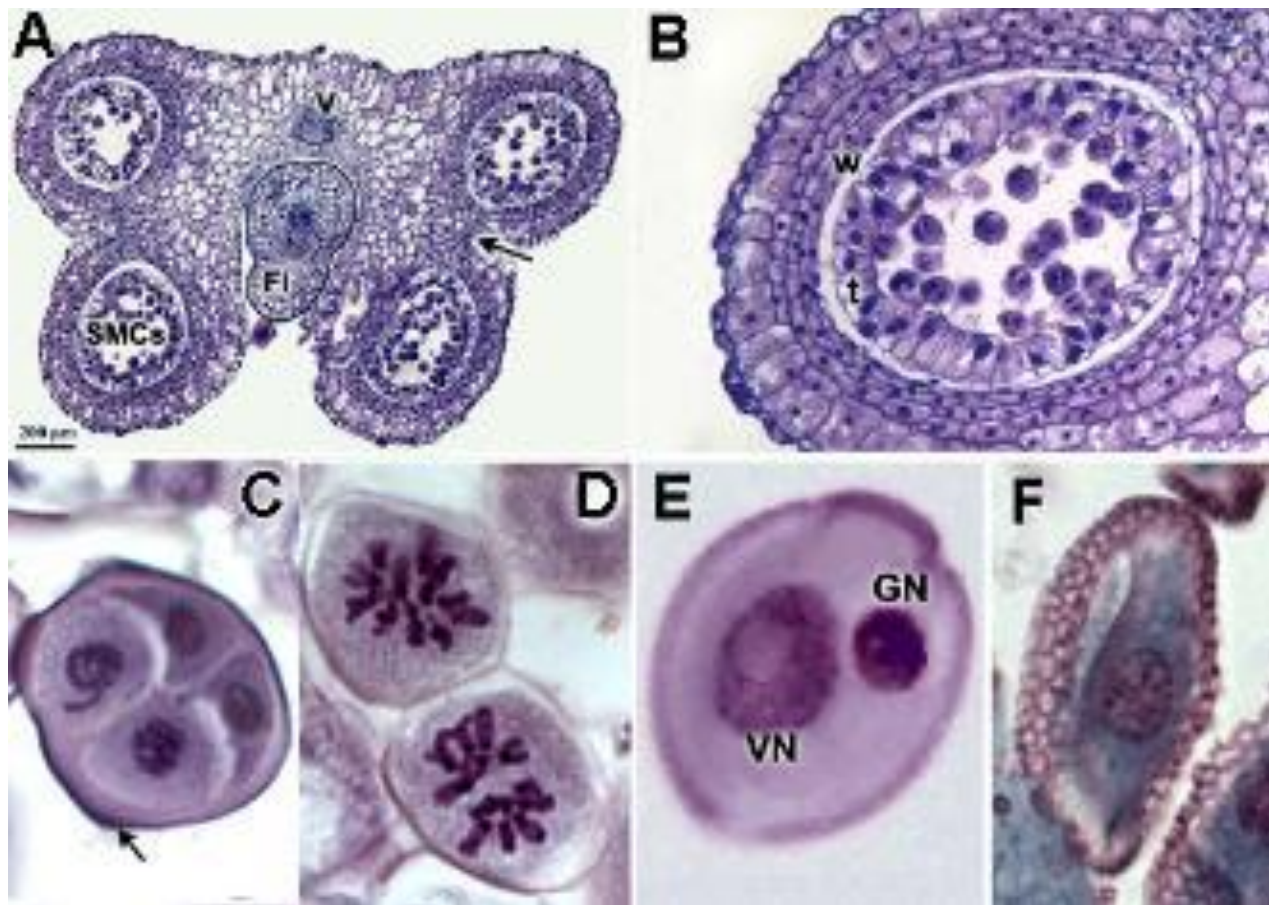
Núcleos espermáticos



## Germinação do pólen e desenvolvimento do tubo polínico



**Pólen germina no estigma**



*Lilium* sp. - Desenvolvimento do grão de pólen: A - Secção transversal da antera, mostrando o saco polínico com as células mãe do grão de pólen (SMCs); B – Detalhe do lóculo, com os grãos de pólen em desenvolvimento; C – Tétrade de micrósporos; D – Metáfase da primeira divisão mitótica do micrósporo; E – Grão de pólen quase maduro com núcleo vegetativo (VN) e a núcleo generativo, que após a segunda divisão mitótica dará origem aos dois núcleos espermáticos; F – Grão de pólen maduro com a parede ornamentada.

# MACROSPOROGENESE

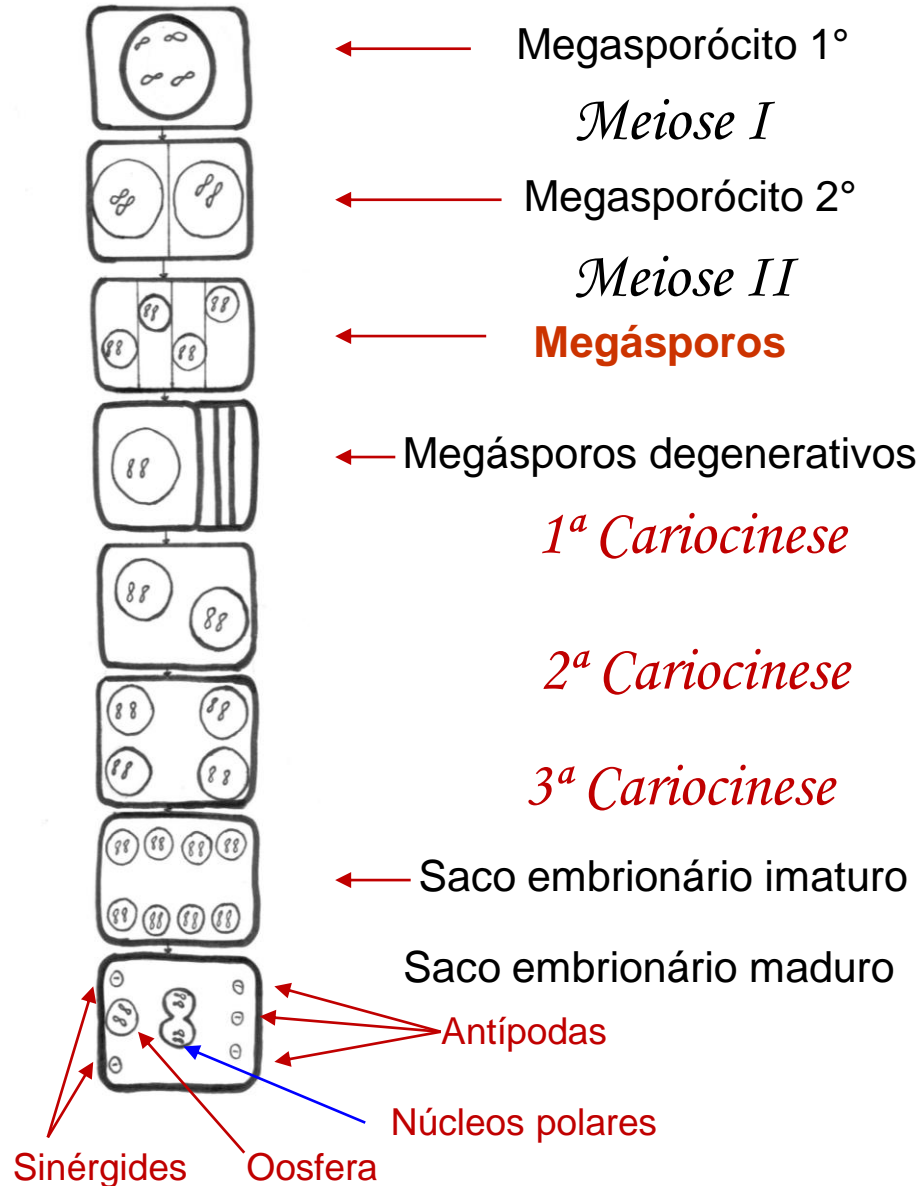


Detalhe do óvulo (em seção longitudinal)

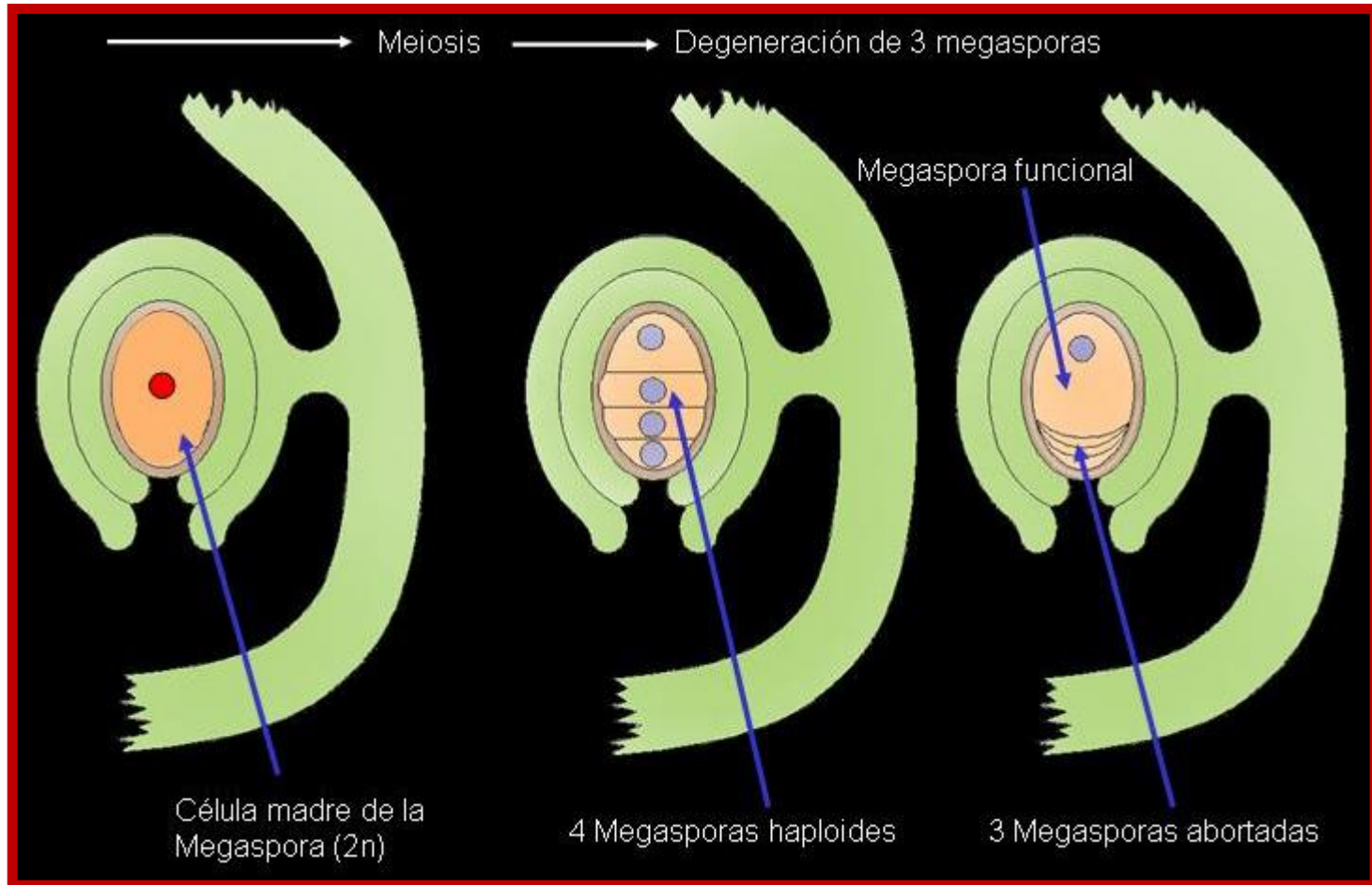
- É a **gametogênese feminina** em vegetais superiores;
- Dentro do óvulo existe uma célula grande, o **megasporócito** (ou célula mãe do saco embrionário) que origina por meiose **quatro megásporos**, sendo que **três deles se degeneram**;
- O megásporo remanescente sofre **três mitoses** gerando **oito núcleos**: a oosfera, duas sinérgides, dois núcleos polares e três antípodas.



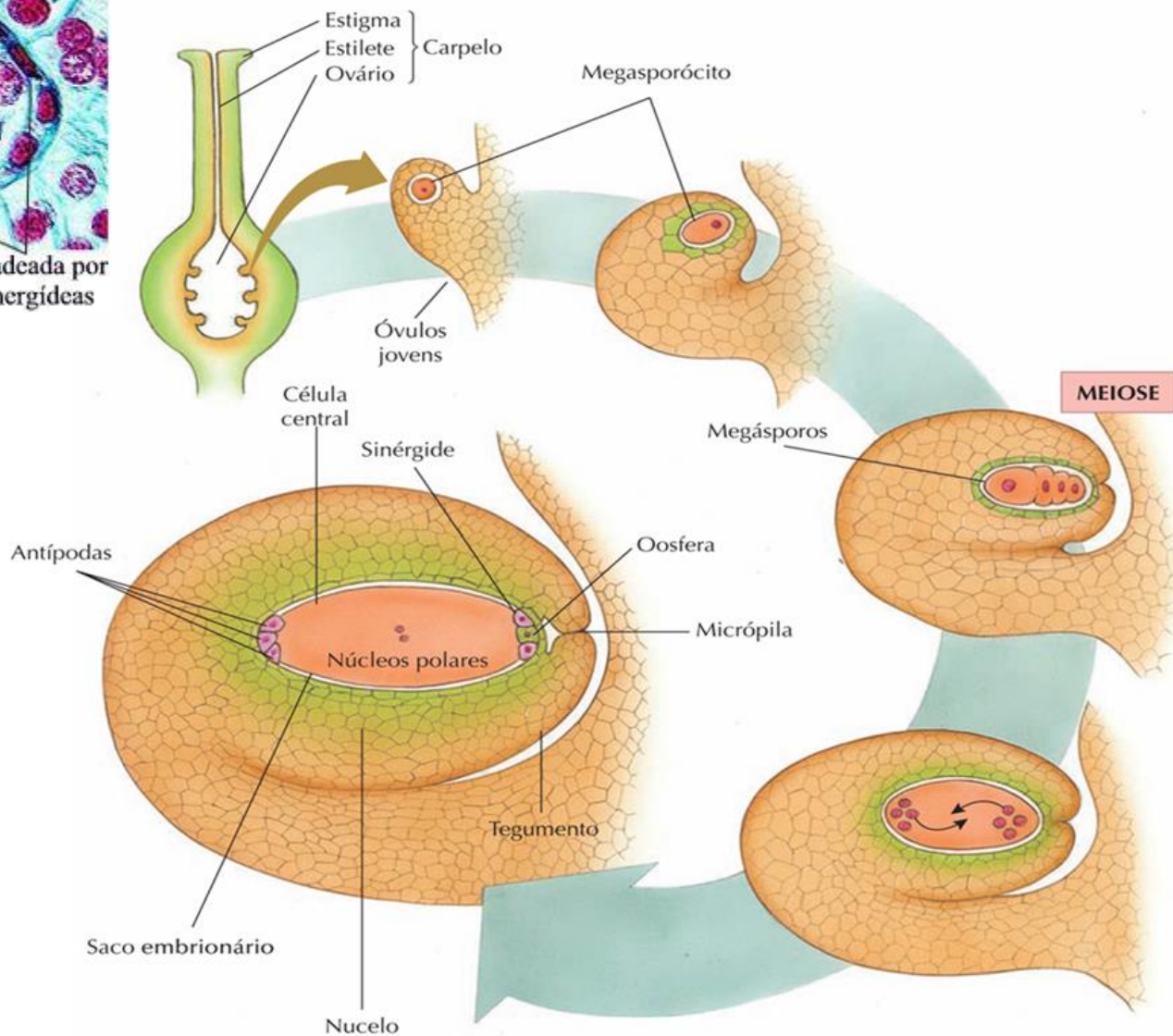
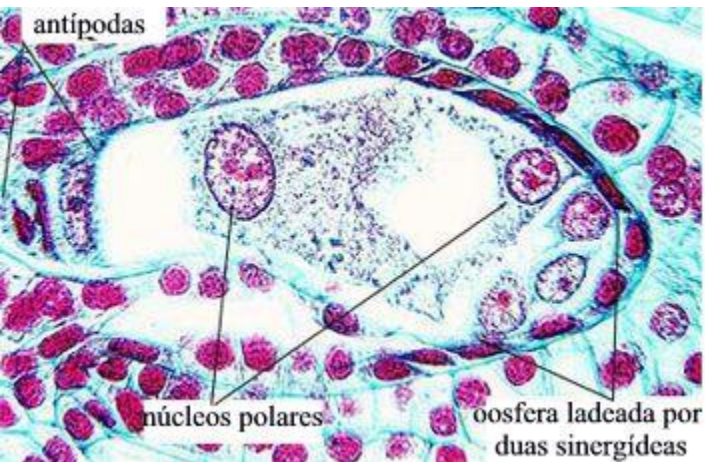
# MACROSPOROGENÊSE



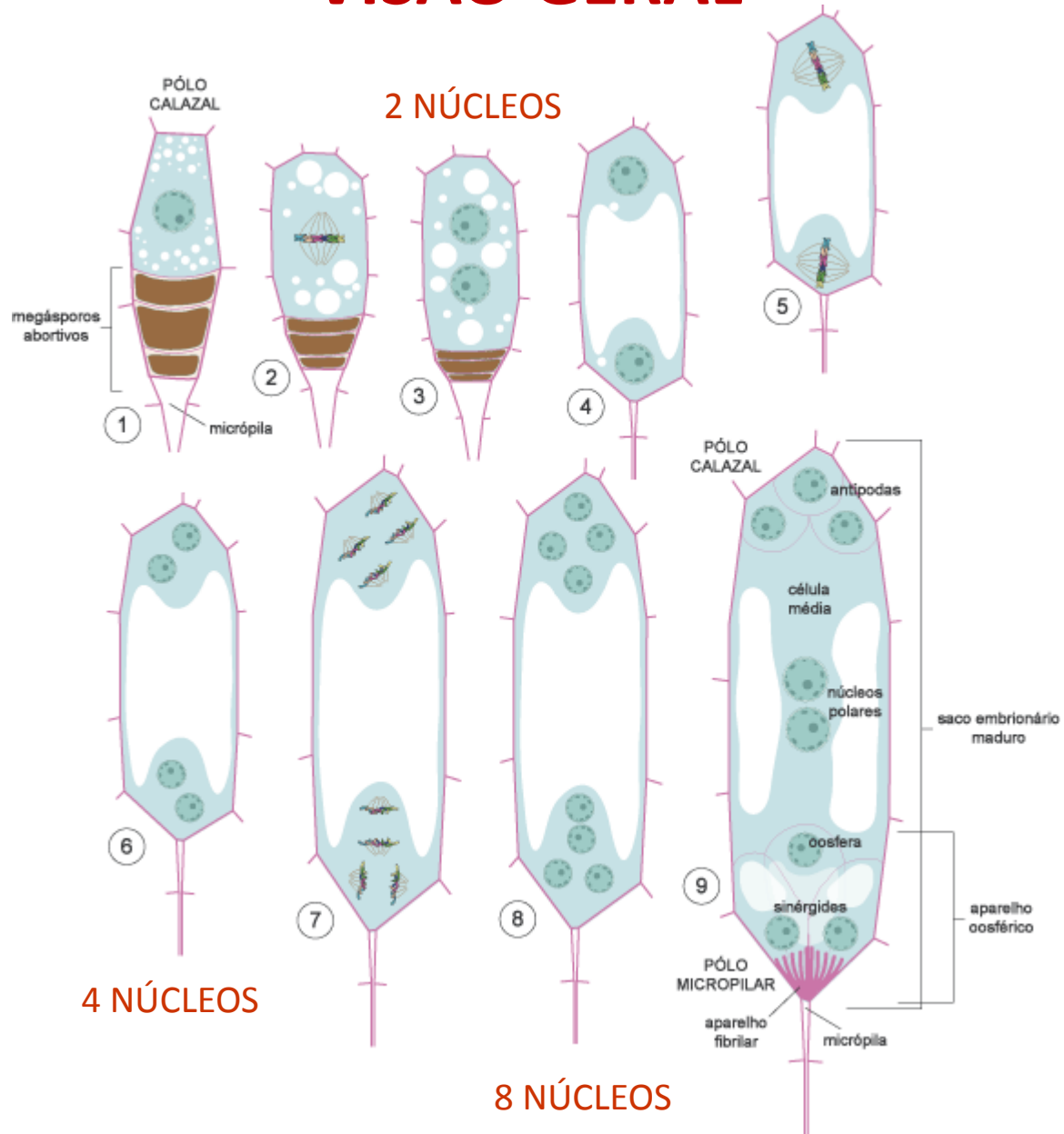
# DENEGERAÇÃO DE 3 MEGÁSPOROS



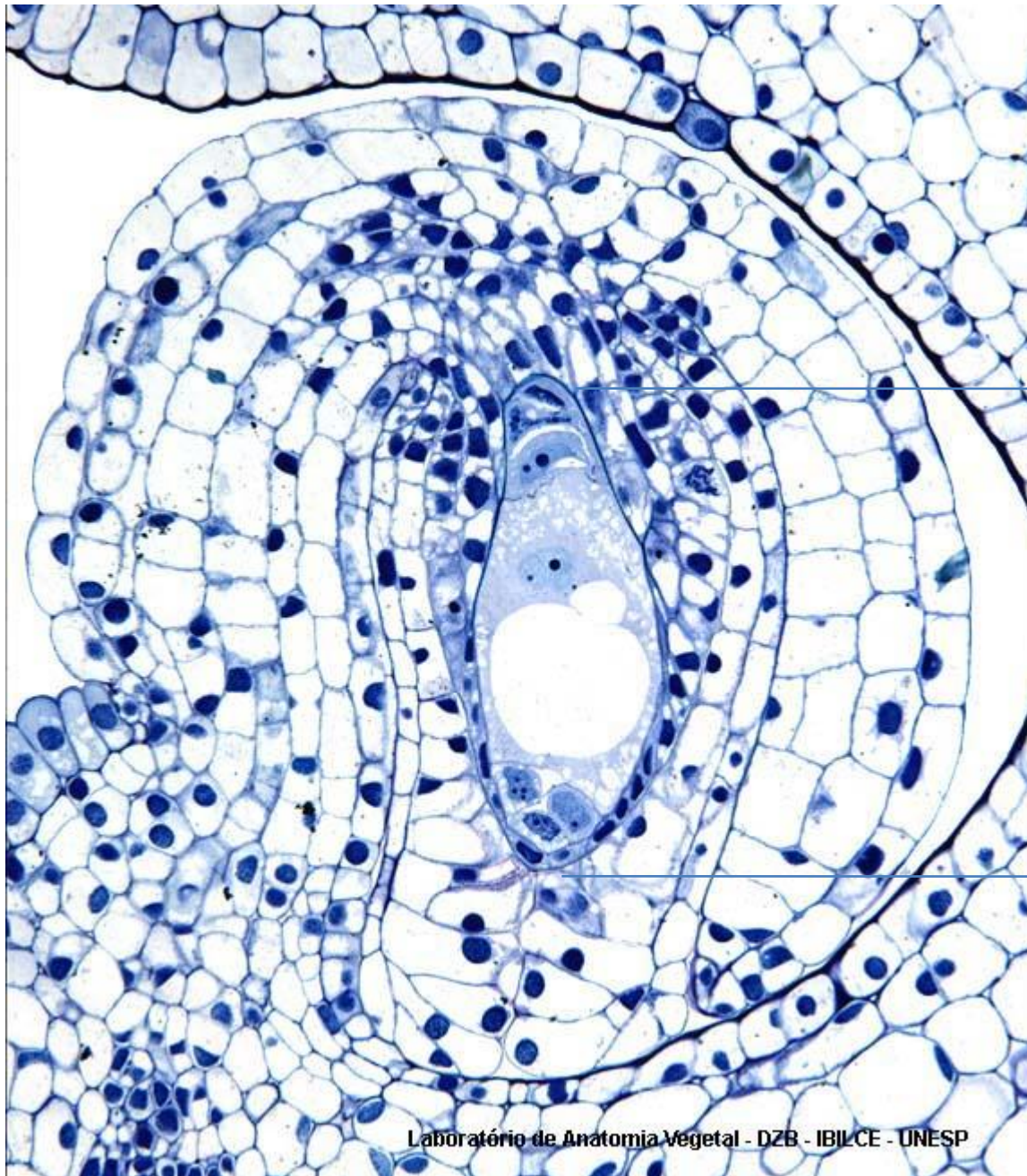
# SACO EMBRIONÁRIO COM 8 NÚCLEOS



# VISÃO GERAL







→ Região calazar

→ Região micropilar

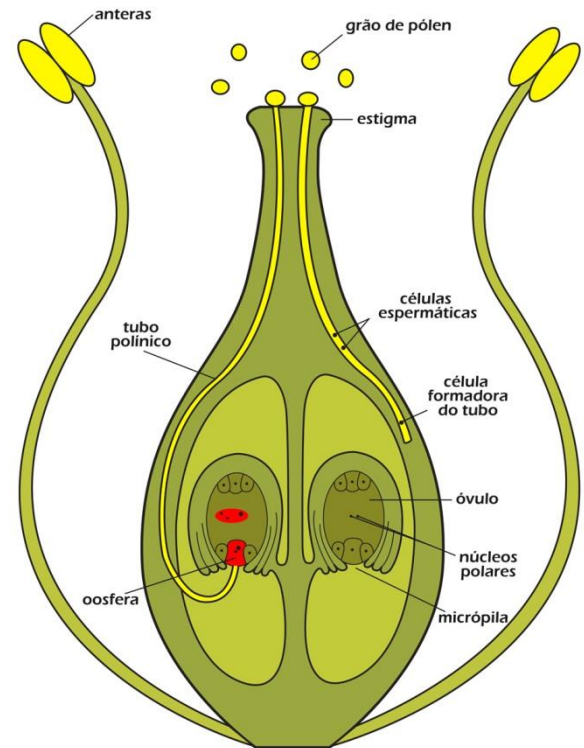
# POLINIZAÇÃO E DUPLA FERTILIZAÇÃO

Na polinização, o grão de pólen chega ao estigma e germina formando o tubo polínico.

Pelo tubo descem os **núcleos espermáticos** (gametas) atrás do **núcleo vegetativo**, que tem função de controlar o metabolismo do tubo polínico.

Na fertilização, um **núcleo espermático** se liga à **oosfera**, originando um **embrião  $2n$**  e o outro **núcleo espermático** se une aos **núcleos polares** formando um **tecido  $3n$** , o **endosperma**, que contém substâncias nutritivas para o embrião.

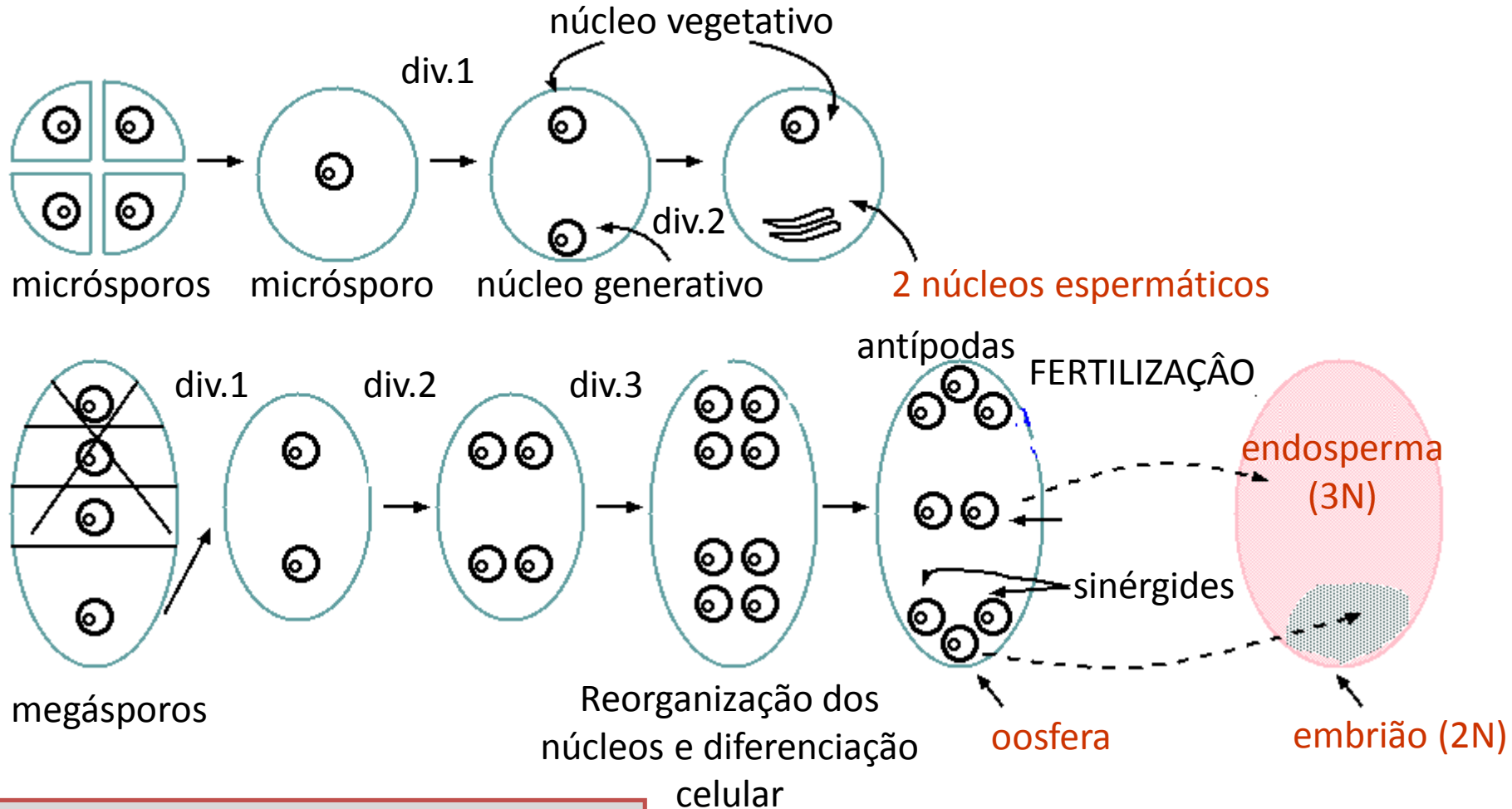
## Fecundação após crescimento do tubo polínico





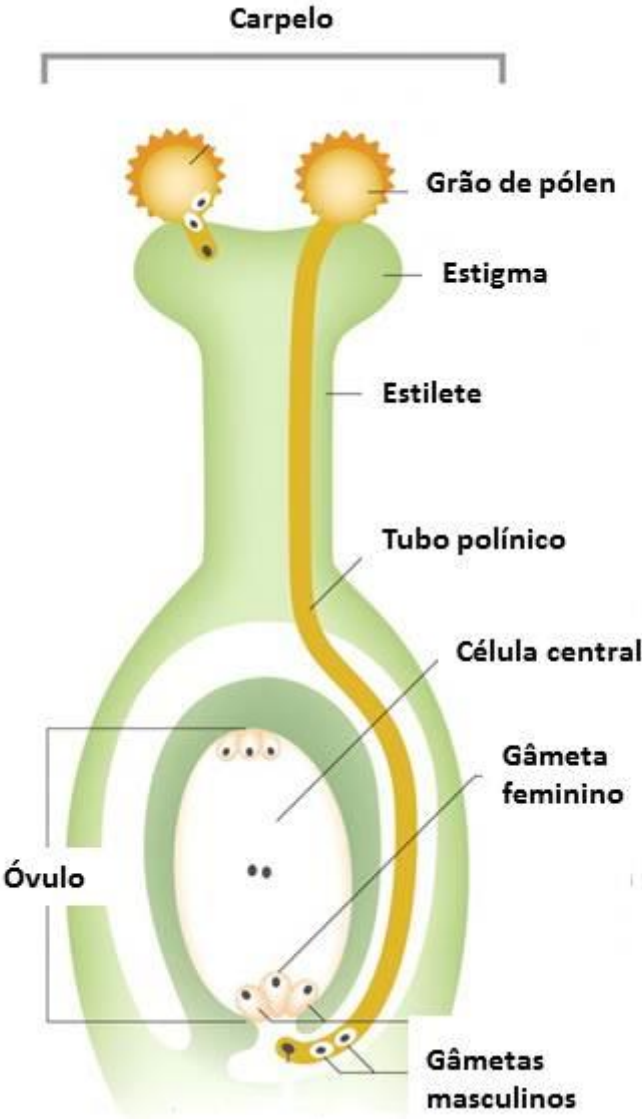
## Formação do grão de pólen

# DUPLA FERTILIZAÇÃO



## Formação do saco embrionário maduro

# DUPLA FERTILIZAÇÃO



# FORMAÇÃO DO TUBO POLÍNICO

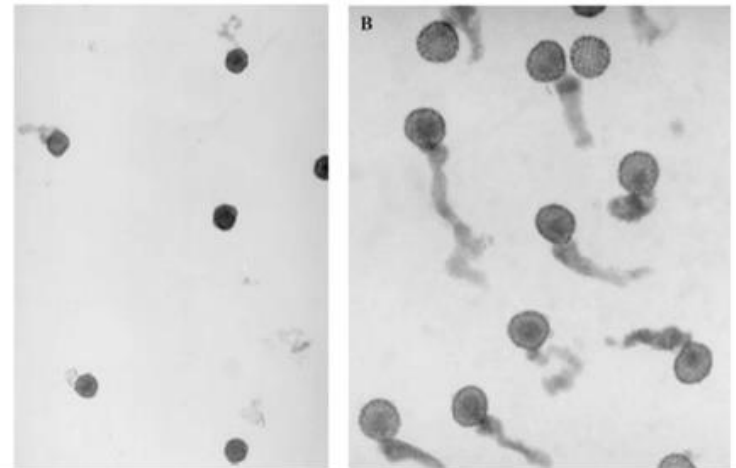
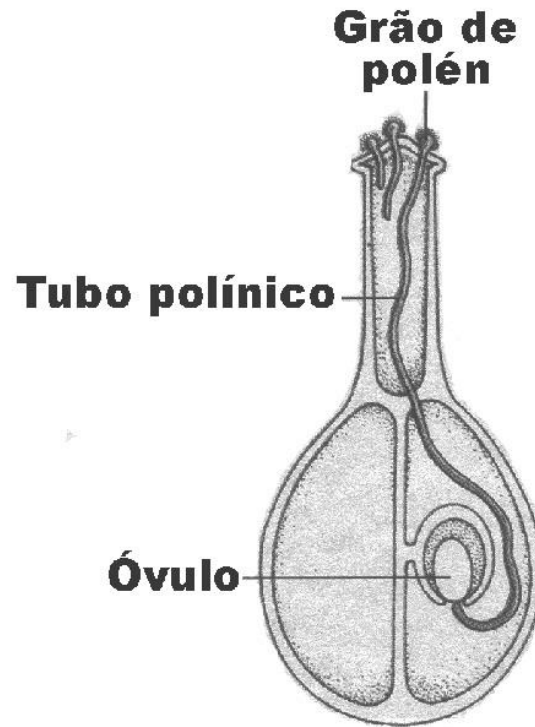
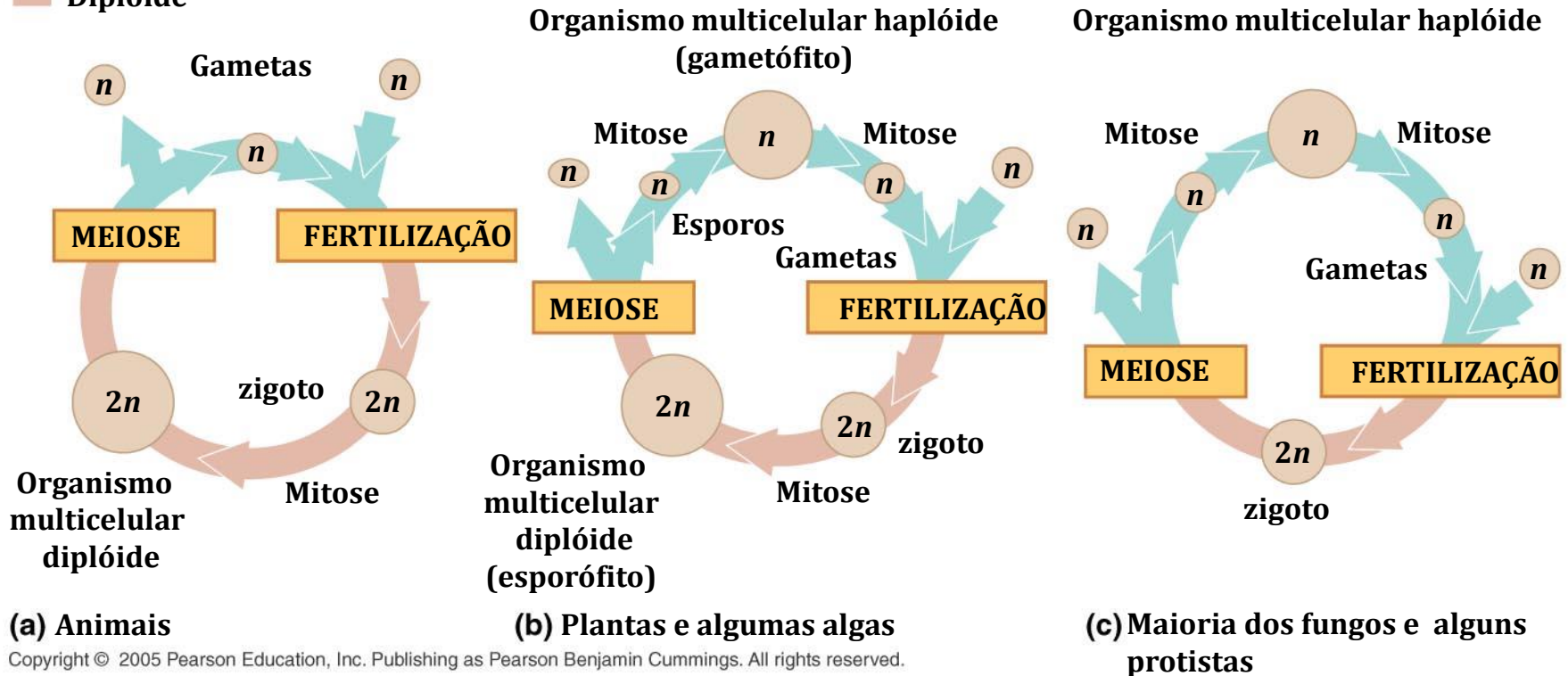


FIGURA 1- Germinação *in vitro* de grãos de pólen. A - *Passiflora suberosa*; B - *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*.

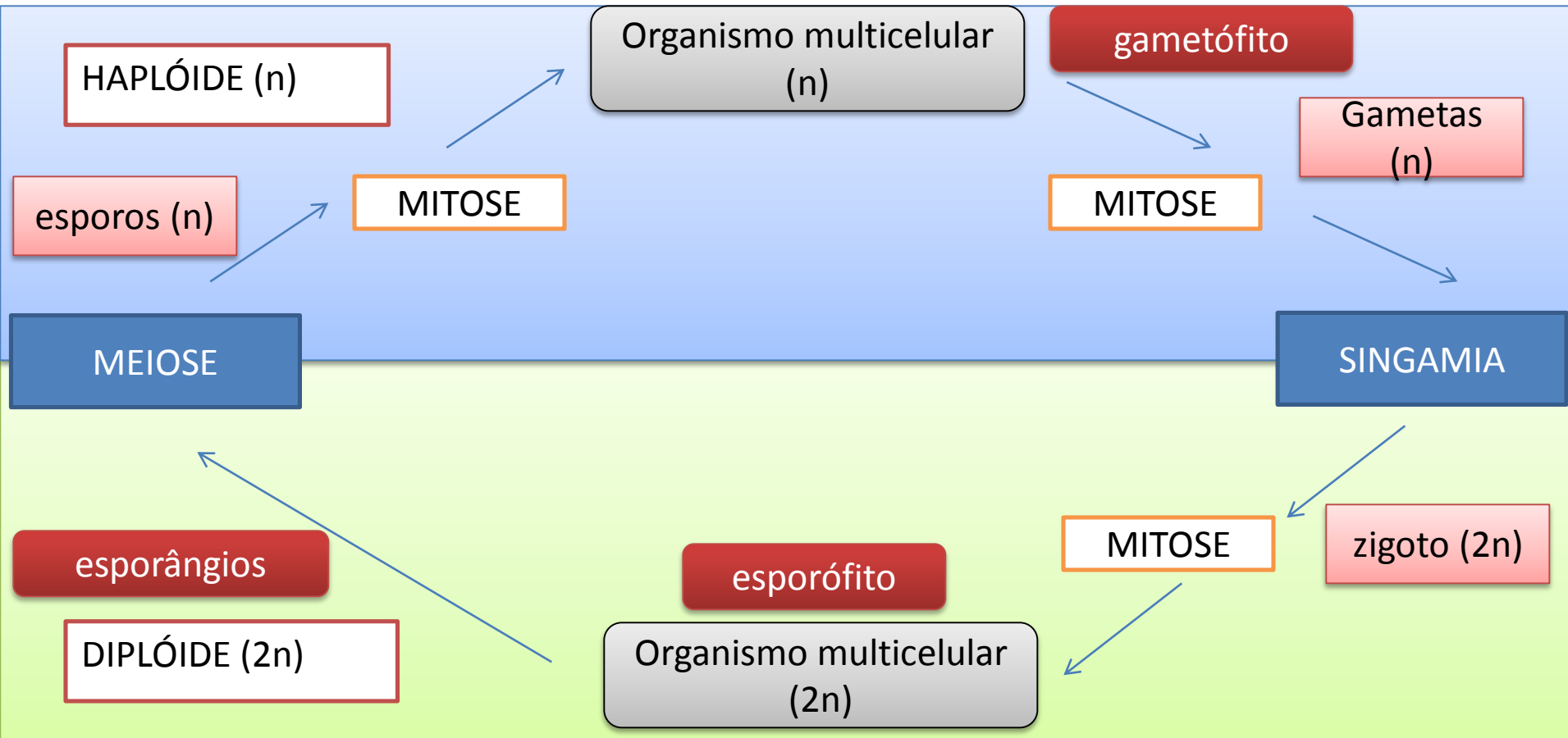
# CICLO DE REPRODUÇÃO SEXUADA: MEIOSE E FERTILIZAÇÃO

■ Haploide  
■ Diploide



Alternância de geração

**ALTERNÂNCIA DE GERAÇÕES:** característica universal do ciclo de vida das plantas



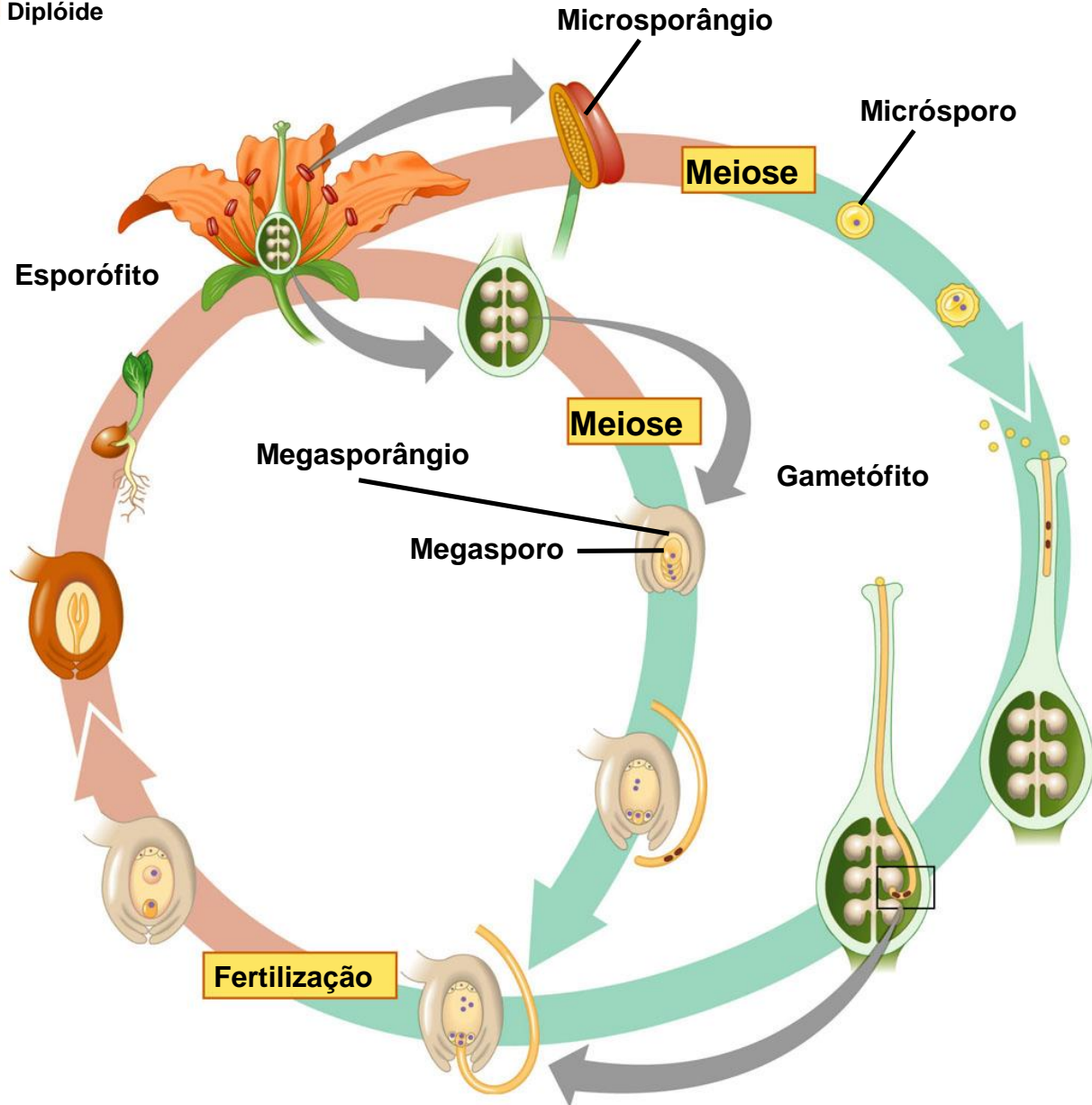
**Esporófito** a fase diplóide das plantas cujo ciclo de vida apresenta alternância de gerações. O esporófito produz esporângios onde, por meiose, se formam esporos haplóides que dão origem ao gametófito, uma planta haplóide multicelular que irá produzir gâmetas, assegurando assim a reprodução sexual da espécie.

Nas plantas vasculares - o esporófito corresponde à planta "adulta" com um caule e folhas, enquanto que o gametófito se encontra reduzido, ou na forma de um ovário e grão de pólen e, ou há um protalo, uma planta muito simples e geralmente subterrânea.



# ANGIOSPERMAS

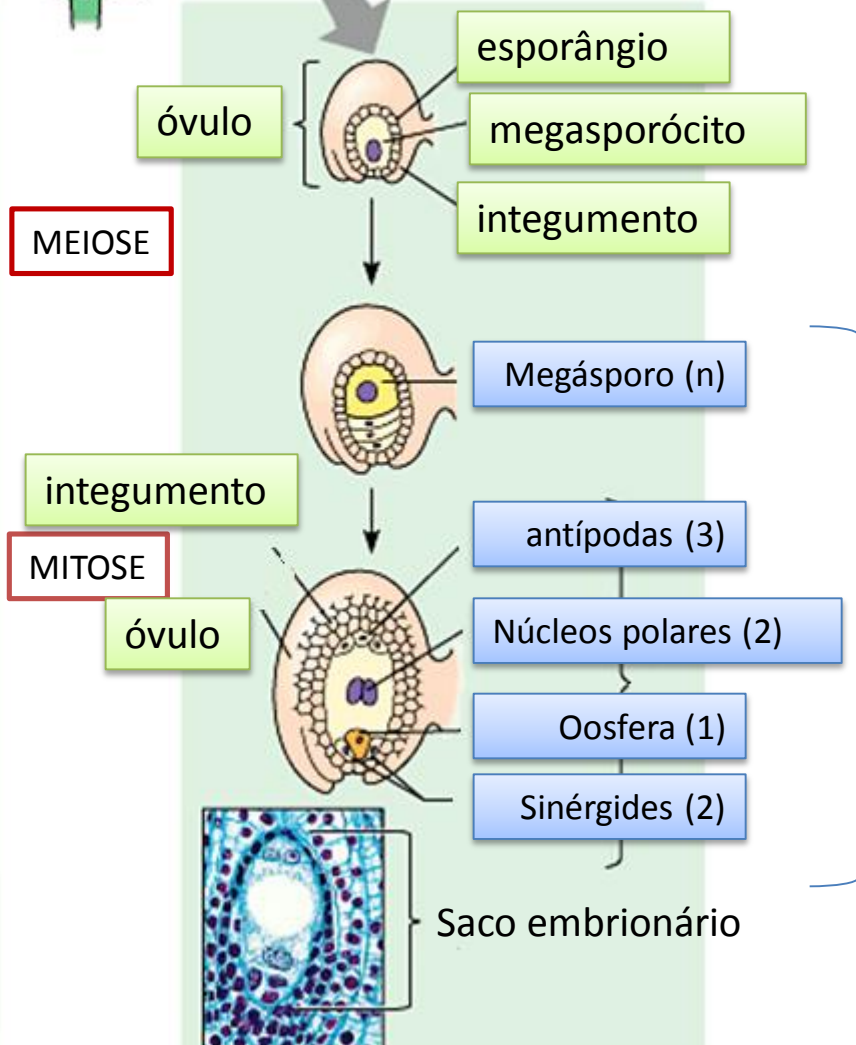
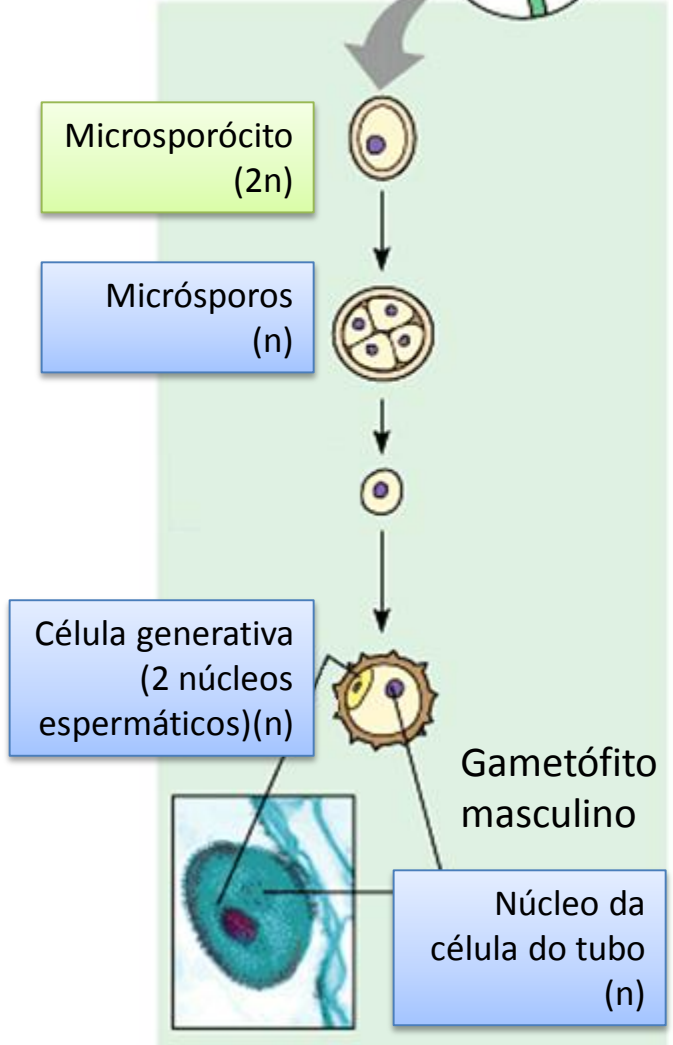
Haplóide  
Diplóide



# Formação do grão de pólen

# Formação do óvulo

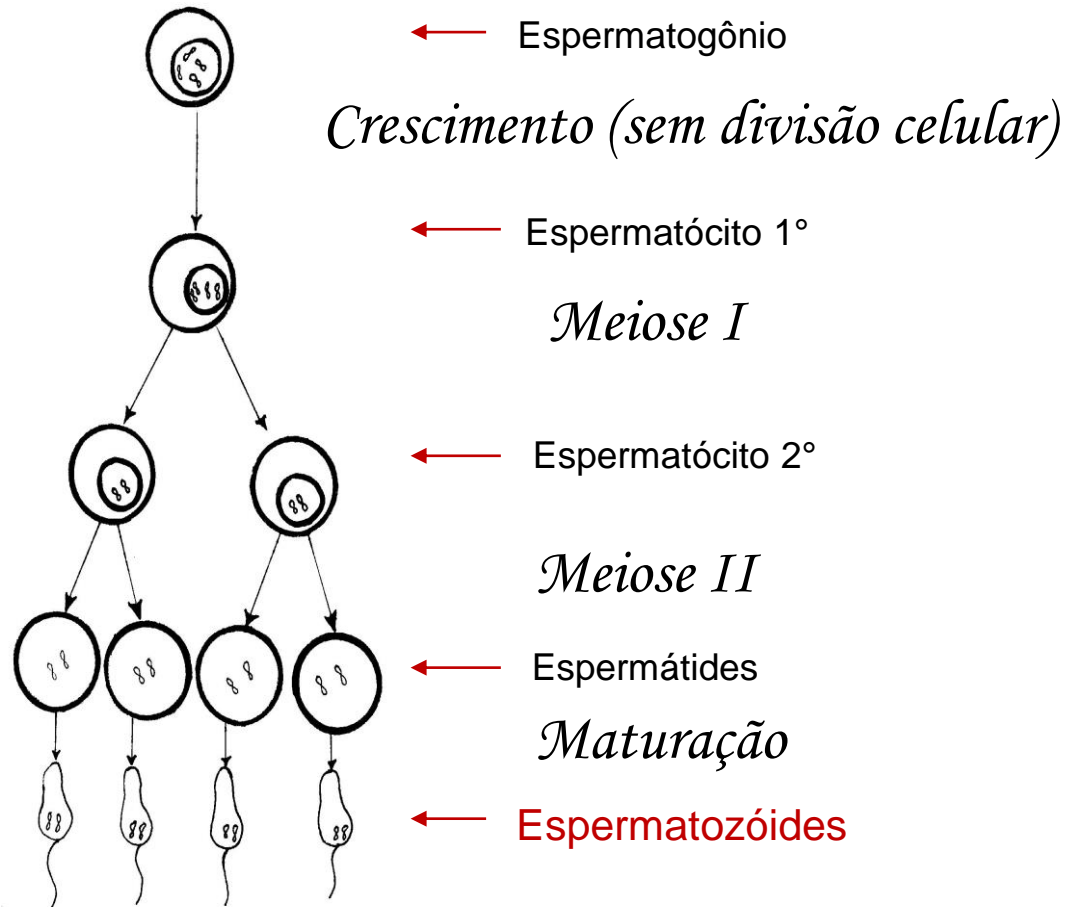
Saco polínico (esporângio)



Gametófito feminino

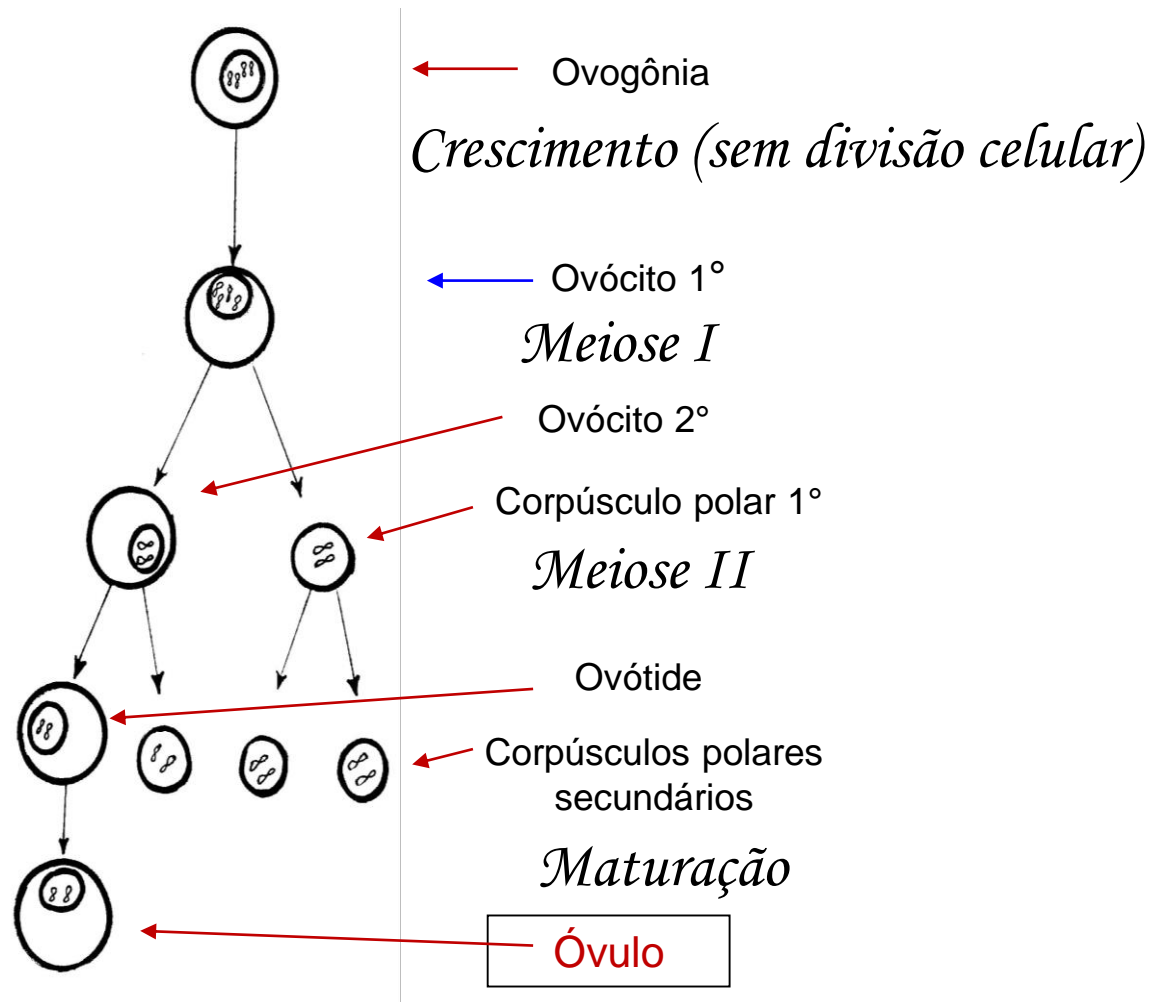
# GAMETOGÊNESE ANIMAL

## ESPERMATOGÊNESE



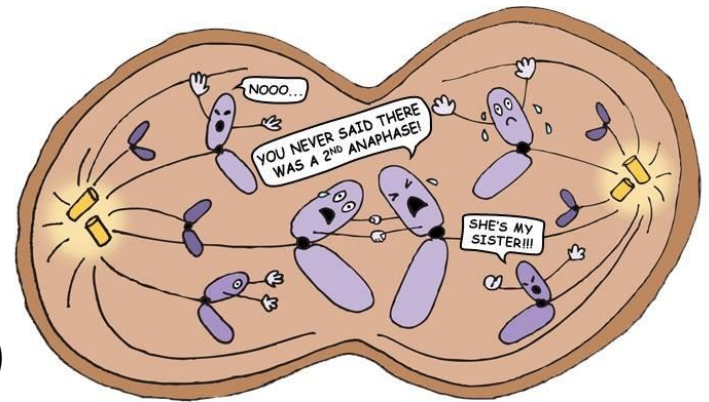
# GAMETOGENESE ANIMAL

## OVOGENESE



# ESTUDO DIRIGIDO

1. Importância e fases da Meiose.
2. Comparação entre as divisões nucleares da Meiose e da Mitose.
3. Origem da diversidade genética em consequência da meiose.
4. Gametogênese em plantas;
5. Definição de microsporogênese;
6. Definição de macrosporogênese;
7. Dupla fertilização em plantas;
8. Gametogênese em animais.



## Capítulo 19 – Sexo e Genética (páginas 651 – 663)

Alberts, B.; Bray, D.; Hopkin, K.; Johnson, A.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K.; Walter, P. 2011. **Fundamentos da Biologia Celular**. 3ª Edição brasileira. Artmed, Porto Alegre

## O ciclo de vida das angiospermas (páginas 460 – 468)

Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhorn, S. E 2007. **Biologia Vegetal**. 7ª Edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.