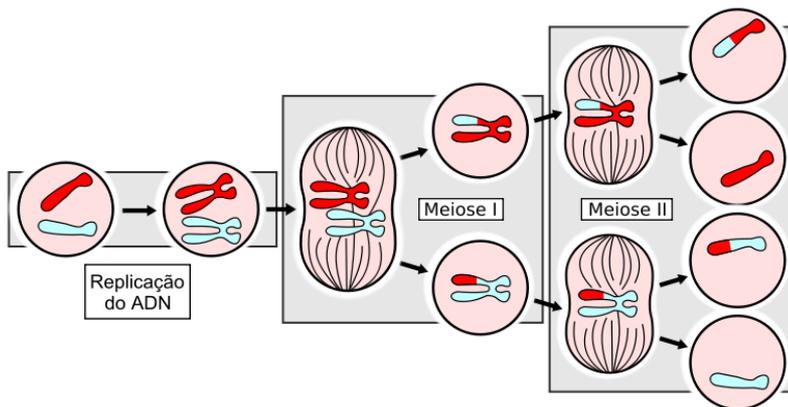


MEIOSE E GAMETOGENESE

Aula teórica 11

LGN0114 – Biologia Celular



Maria Carolina Quecine
Departamento de Genética
mquecine@usp.br

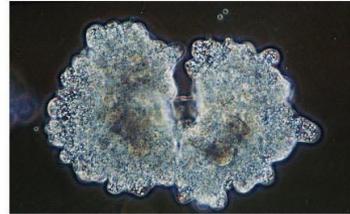
PRA
LEMBRAR!

:) :) :)

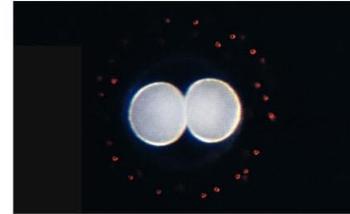
TIPOS DE DIVISÃO CELULAR

✓ PROCARIOTOS:

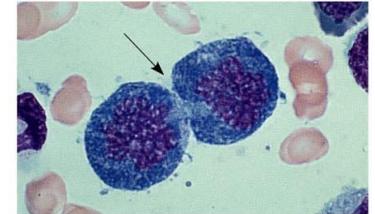
- Fissão binária.



(a)



(b)



(c)

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

✓ EUCARIOTOS:

✓ MITOSE:

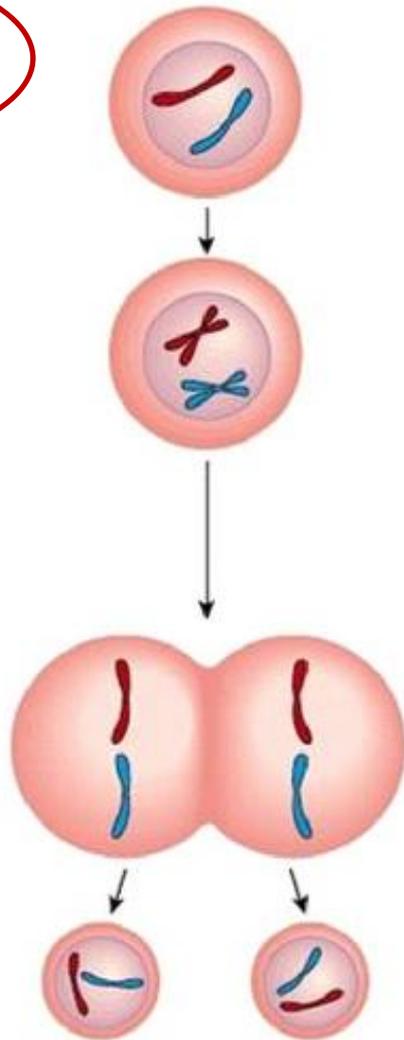
- Crescimento, desenvolvimento e reparo;
- Reprodução assexuada (gera duas células idênticas);
- Ocorre nas células somáticas.

✓ MEIOSE:

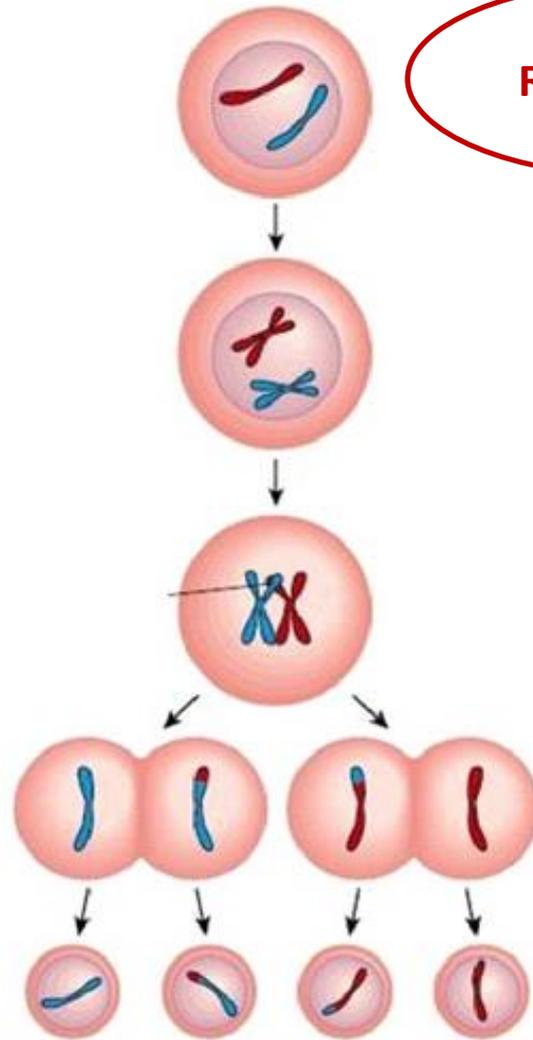
- Reprodução sexuada;
- Ocorre em células reprodutivas;
- Origina gametas.

Mitose x Meiose

Equacional



Reducional



PARA QUE SERVE A MEIOSE?



MEIOSE

Divisão Reducional

Ex: 23 cromossomos por gameta – espécie humana

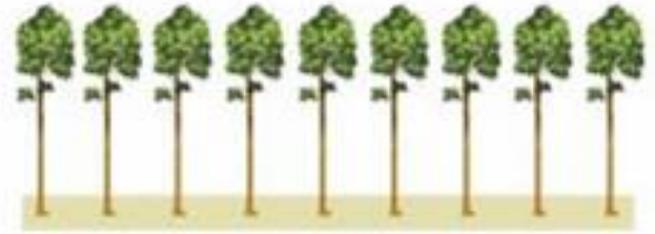


- ❖ Embaralhamento dos genes;
 - ❖ *Crossing-over*;
 - ❖ Segregação independente dos cromossomos.
- **Mecanismo**
 - ❖ Cada homólogo (ex. “cromossomo 7”) se replica para dar origem à duas cromátides irmãs;
 - ❖ Par de homólogos (ex. cromossomo materno 7 e cromossomo paterno 7);
 - ❖ Troca de material 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.



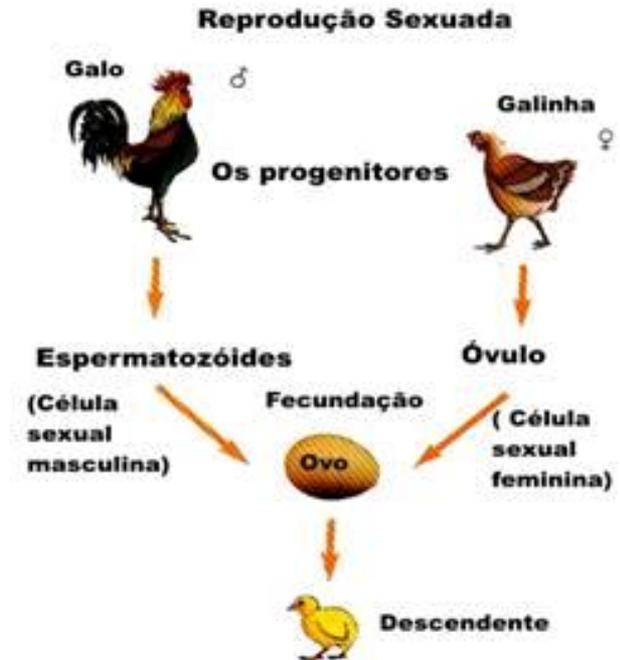
- Reprodução sexuada

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

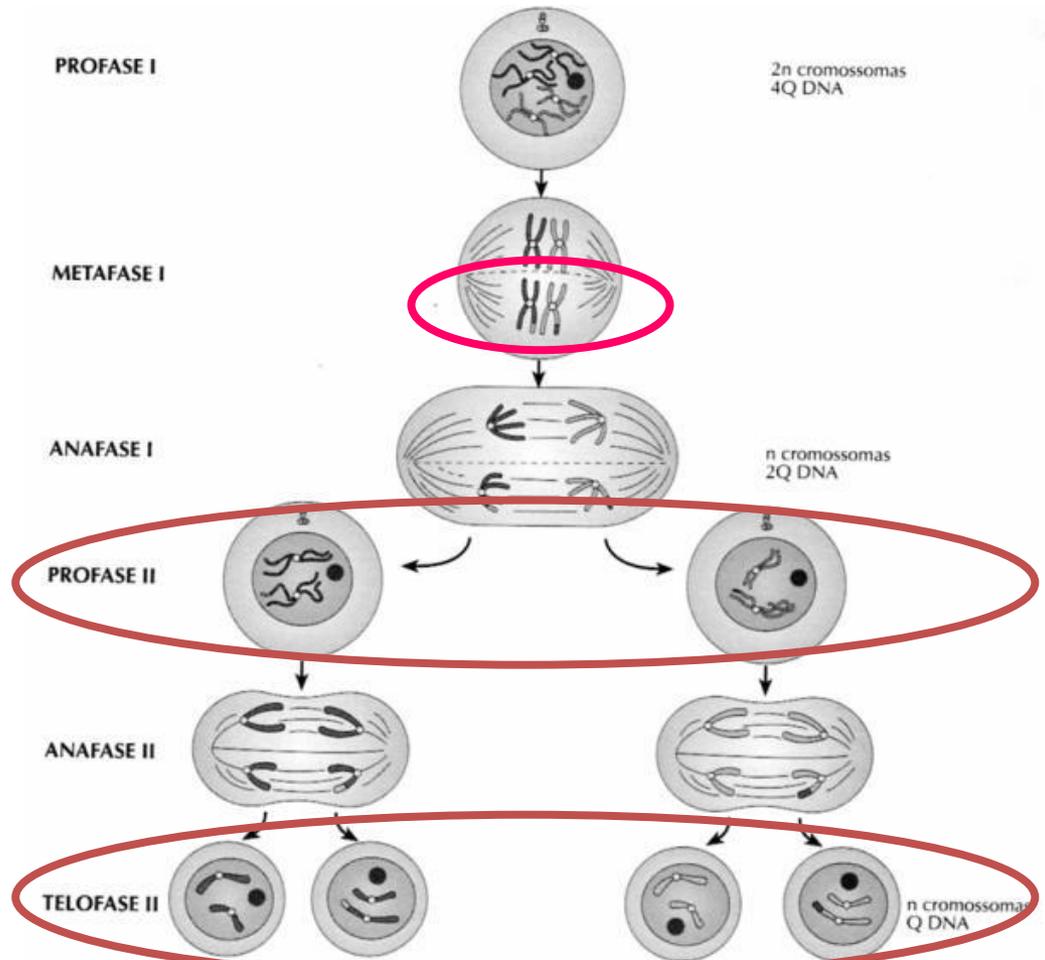
REPRODUÇÃO SEXUADA

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

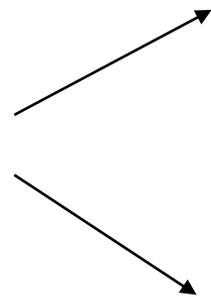


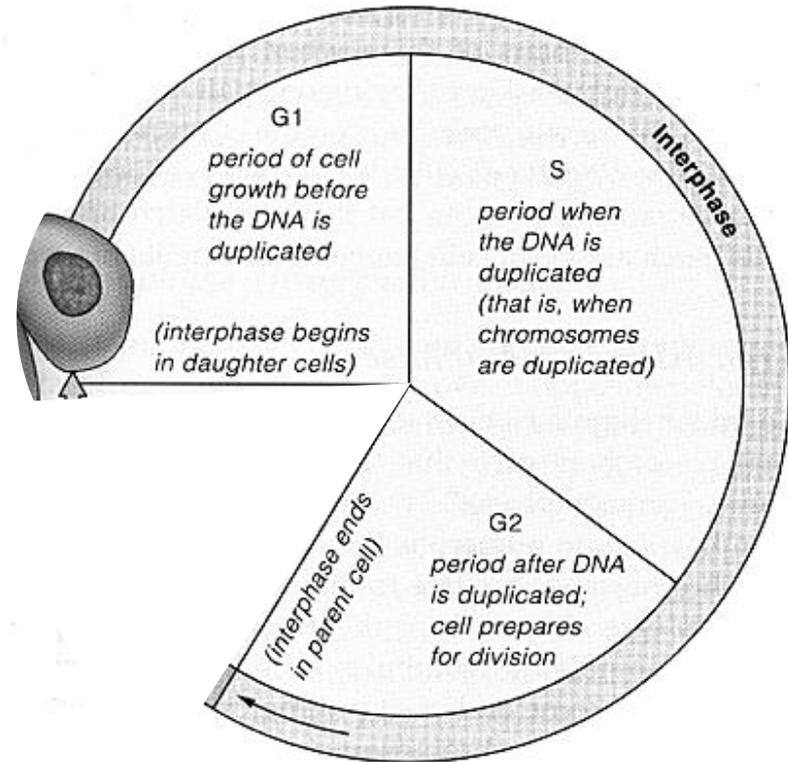
Figura - 1. Esquema do mecanismo da meiose

MEIOSE

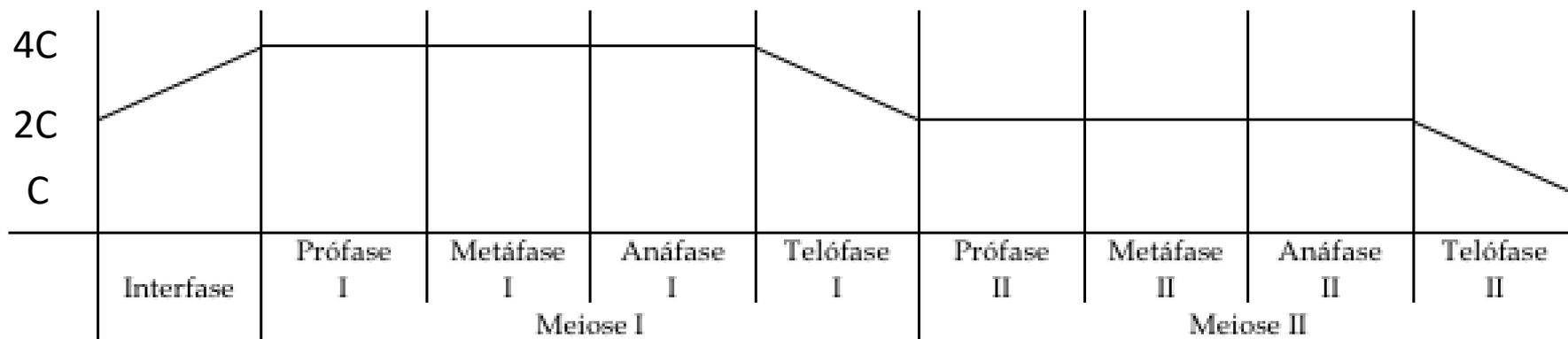
Também se inicia após a
Interfase

- Fase G1
- Fase S
- Fase G2

Ocorre somente em
algumas células em
particular!

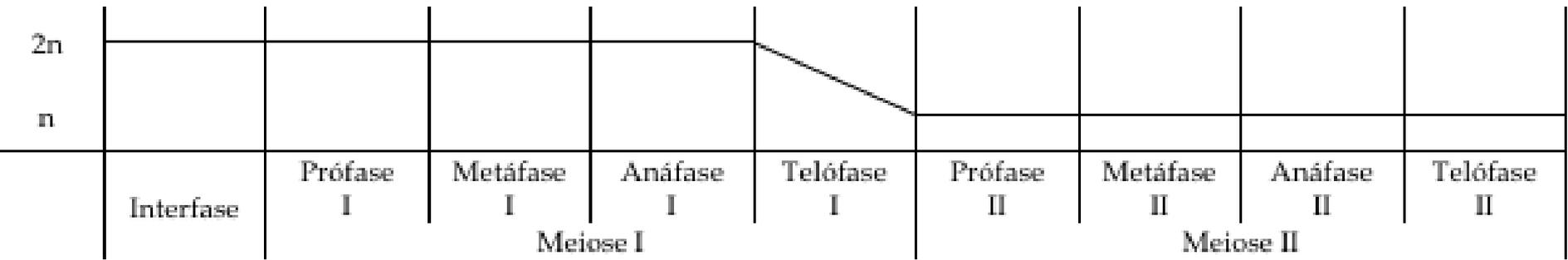


QUANTIDADE DE DNA



Cromossomos não se replicam novamente antes da segunda divisão meiótica.

NÚMERO DE CROMOSSOMOS





FASES DA MEIOSE

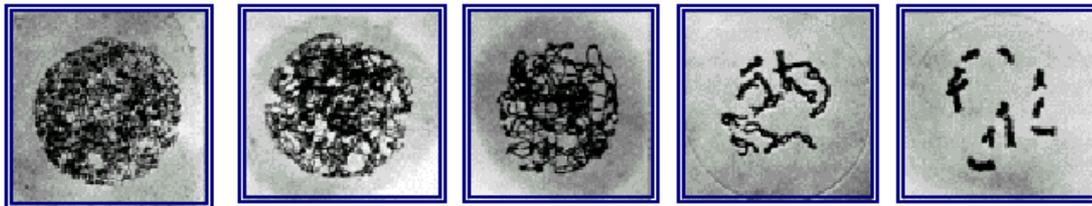
Lilium regale

(Snustad & Simmons, 2001)

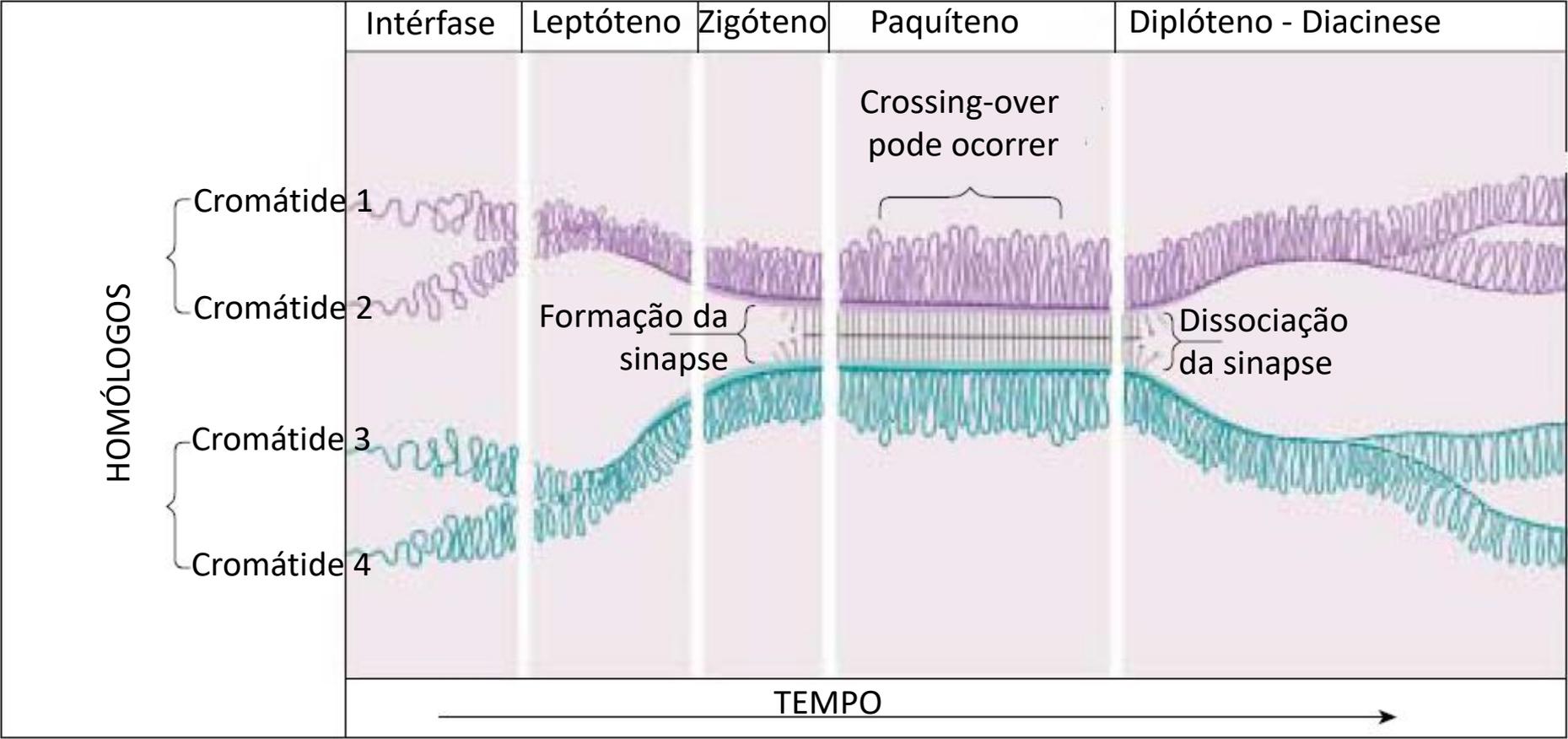
MEIOSE I

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.

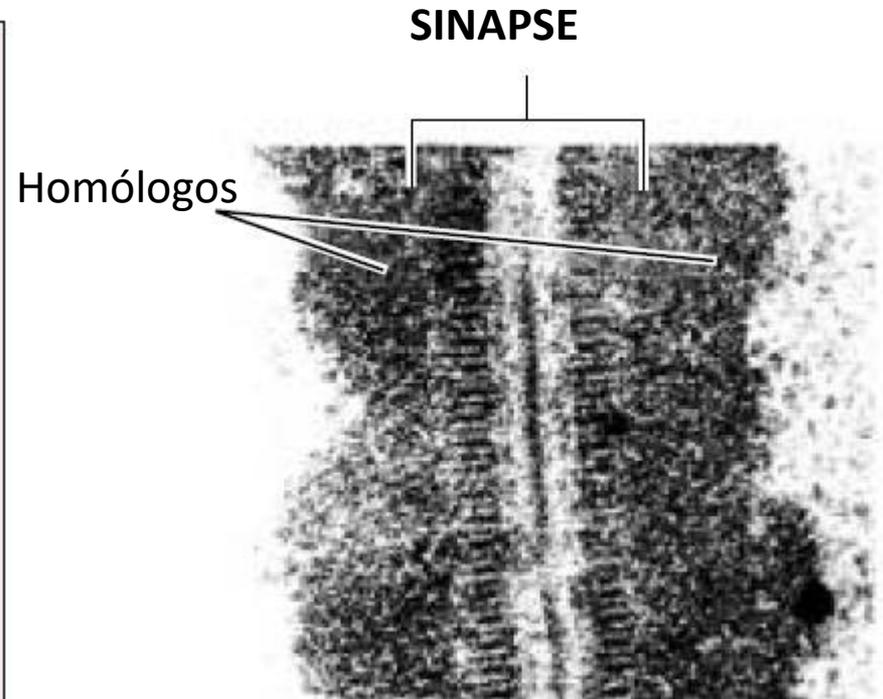
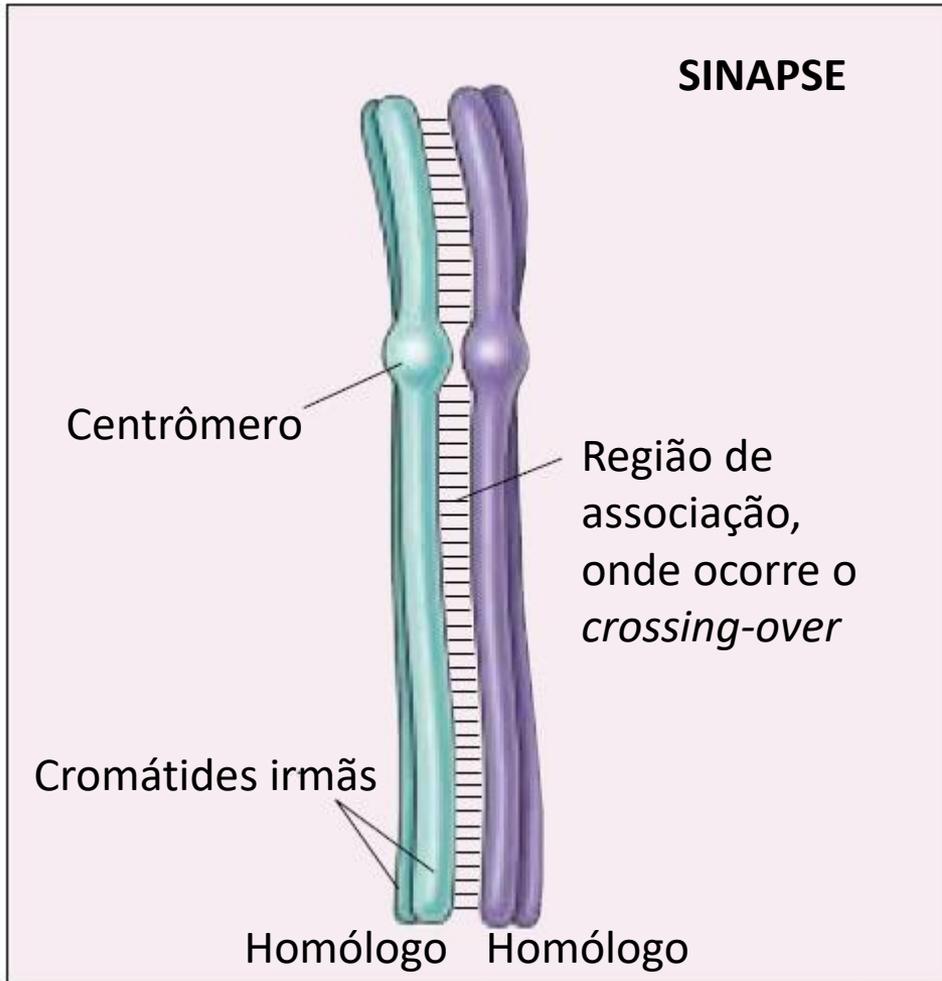


PROFASE I



SINAPSE

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



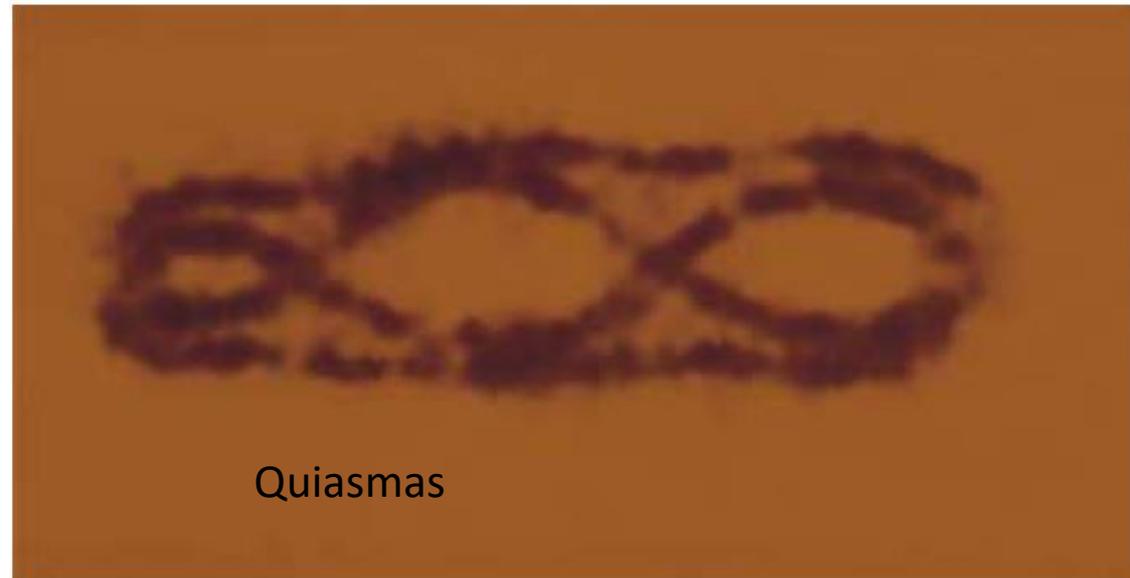
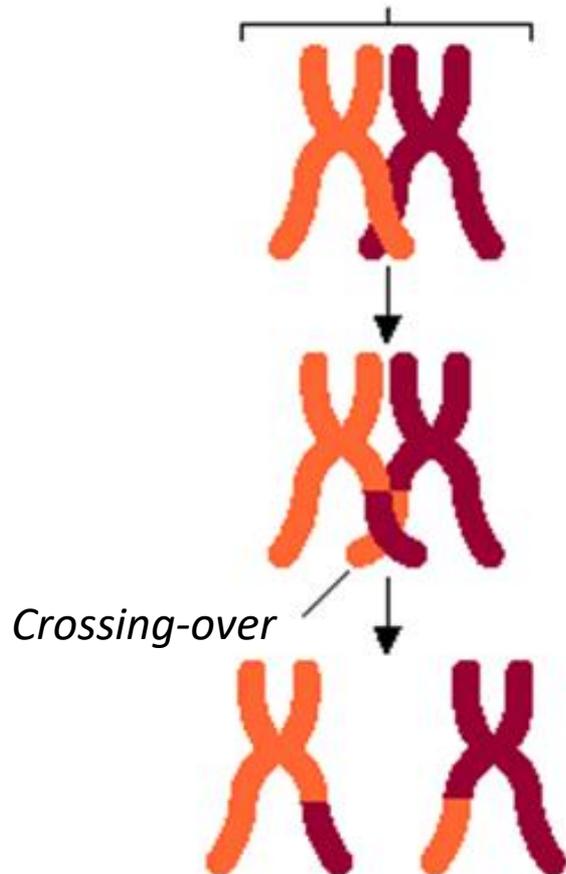
Estrutura do complexo sinaptonêmico do ascomiceto *Neotiella rutilans*.

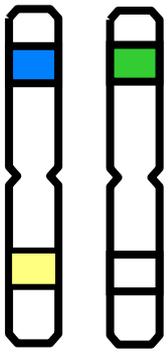
RECOMBINAÇÃO HOMÓLOGA

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

Recombinação homóloga

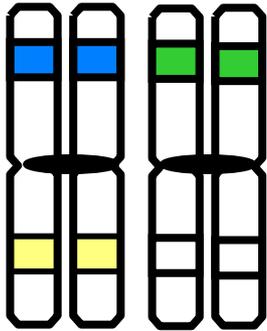
Pareamento dos cromossomos homólogos





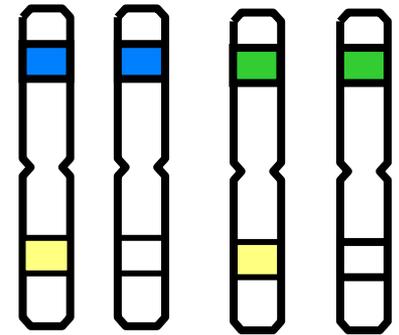
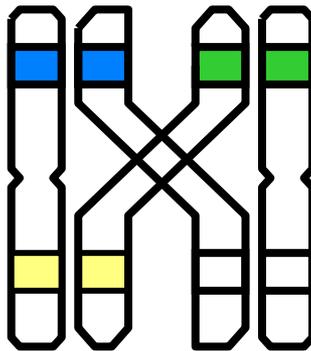
Cada homólogo (ex. "cromossomo 7") se replica para dar origem à duas cromátides irmãs

EMBARALHAMENTO DOS GENES POR *CROSSING-OVER*

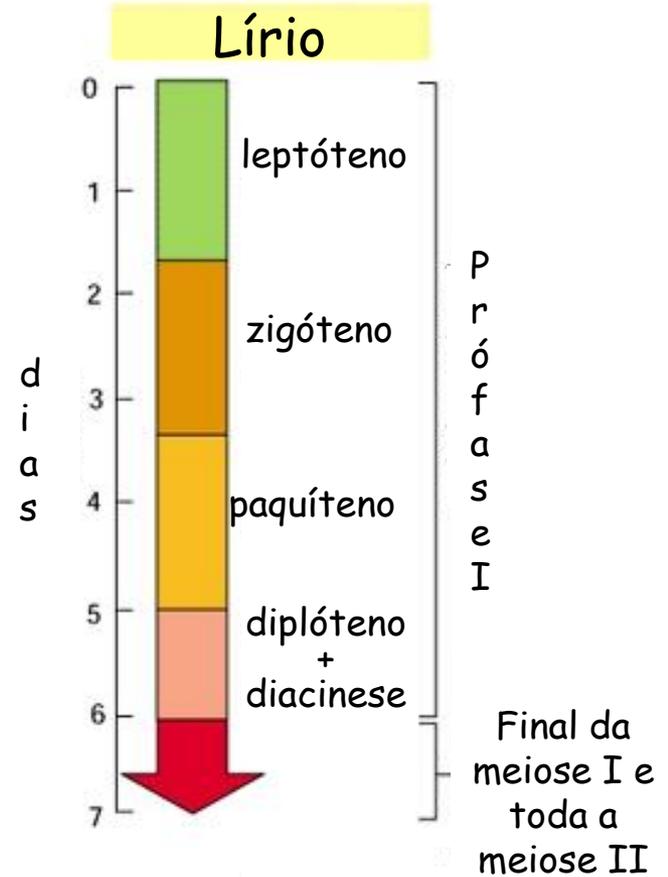
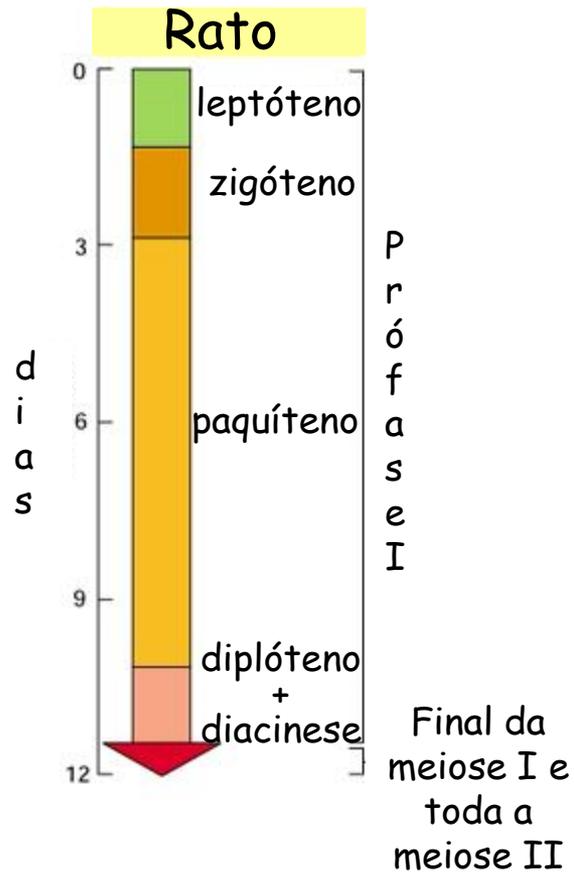


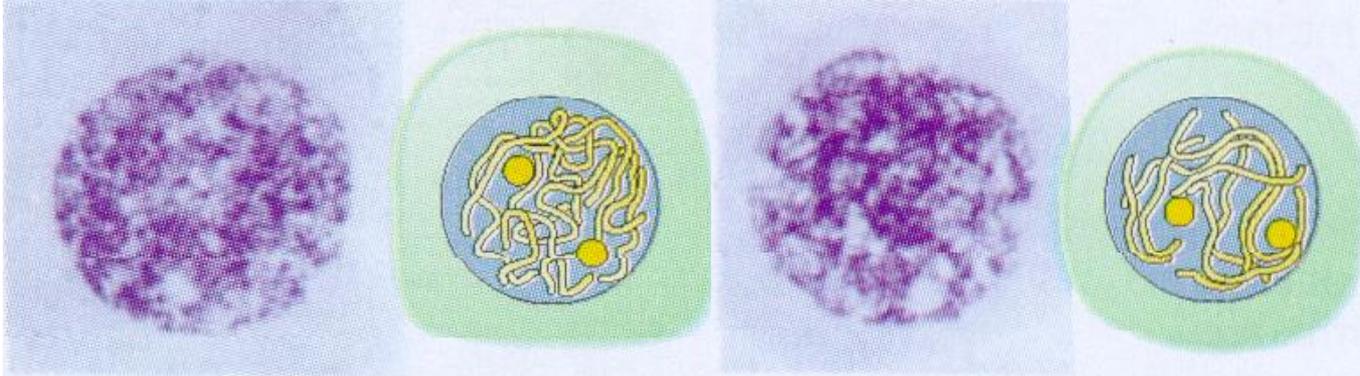
Par de homólogos (ex. Cromossomo materno 7 e cromossomo paterno 7)

crossing-over,
recombinação



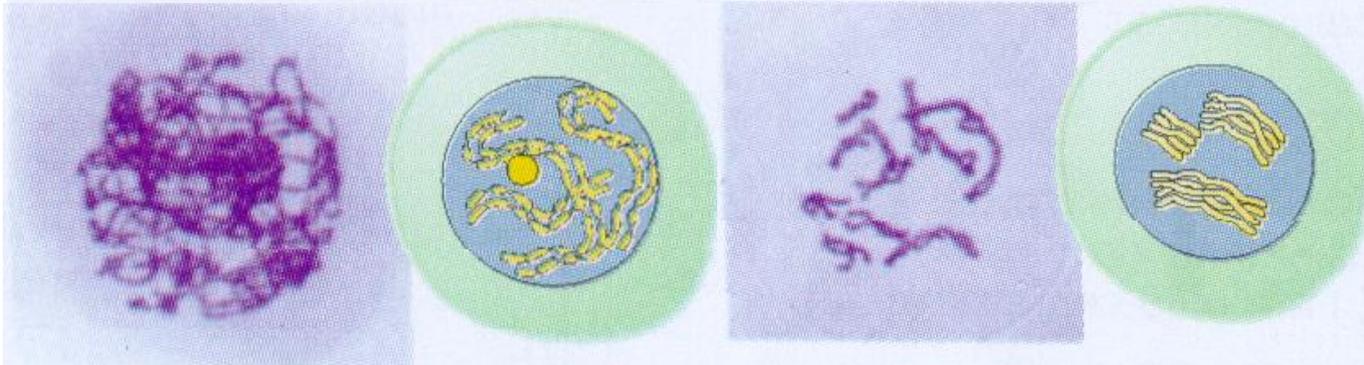
PROFASE I





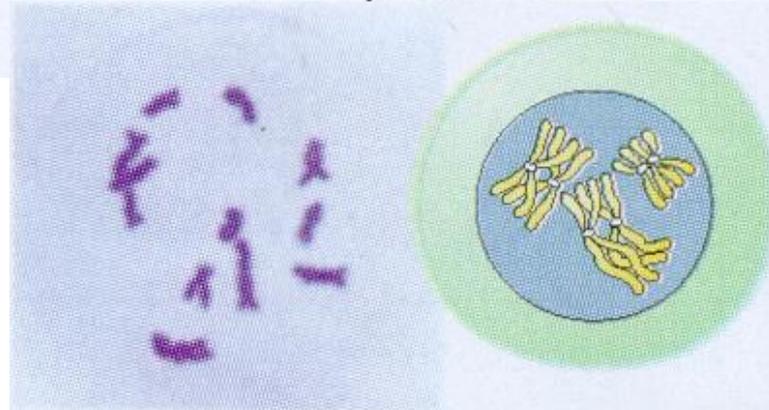
Leptóteno

Zigóteno



Paquíteno

Diplóteno

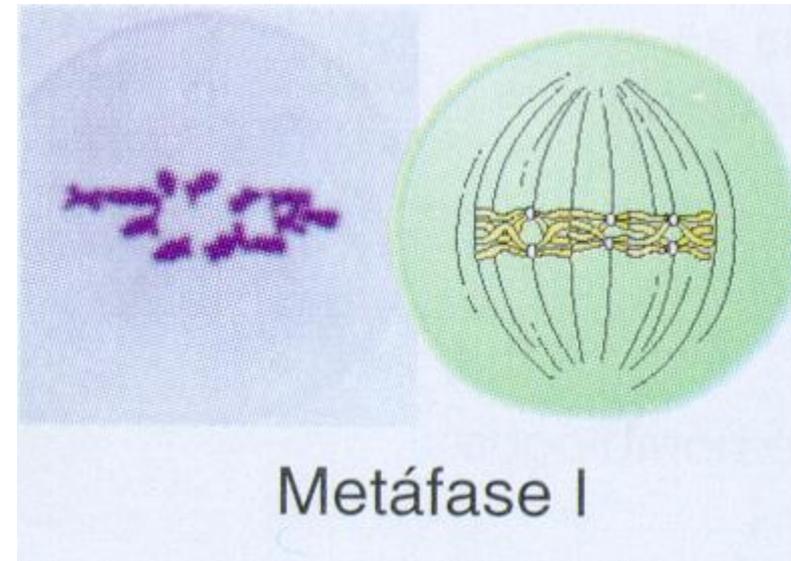
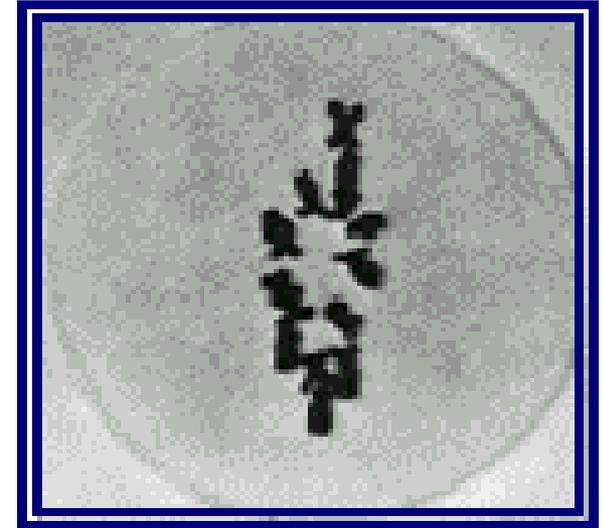


Diacinese

PROFASE I

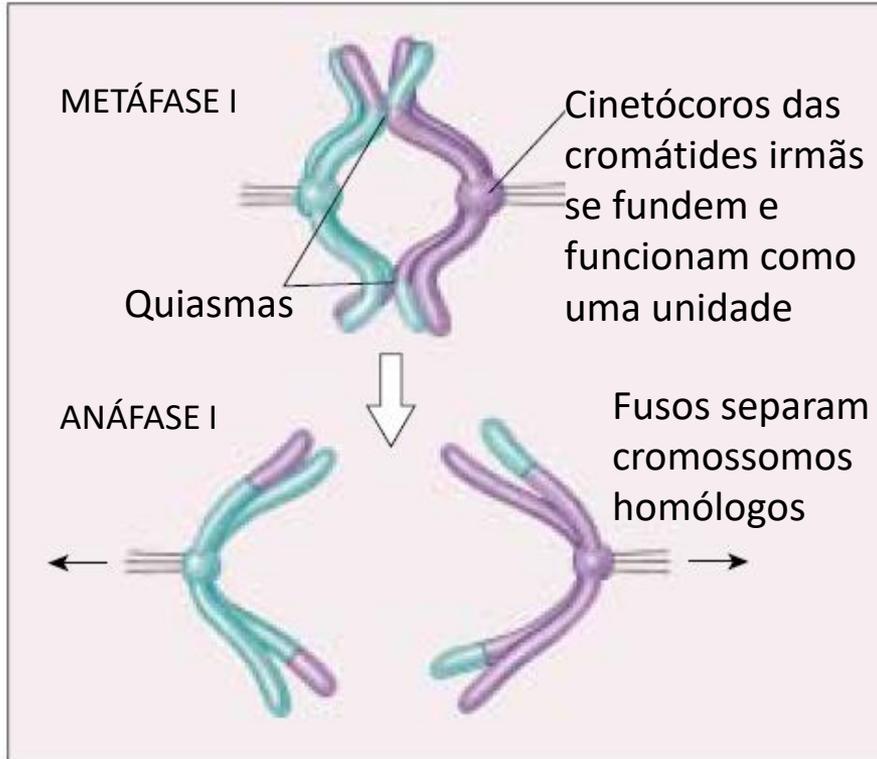
METÁFASE I

- 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.



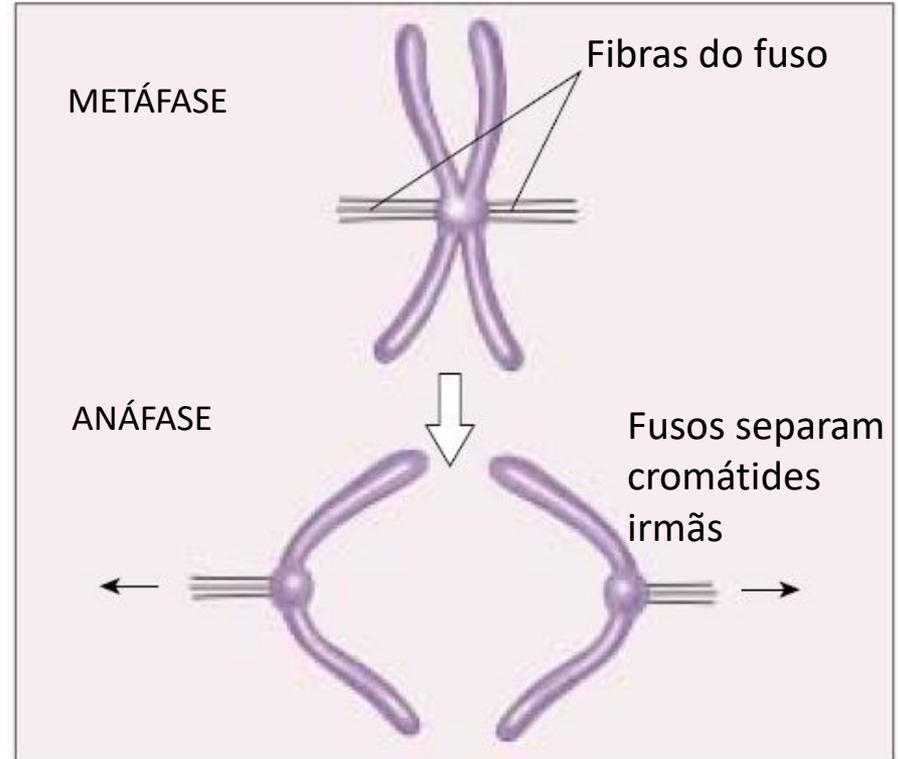
ANÁLISE COMPARATIVA

MEIOSE I



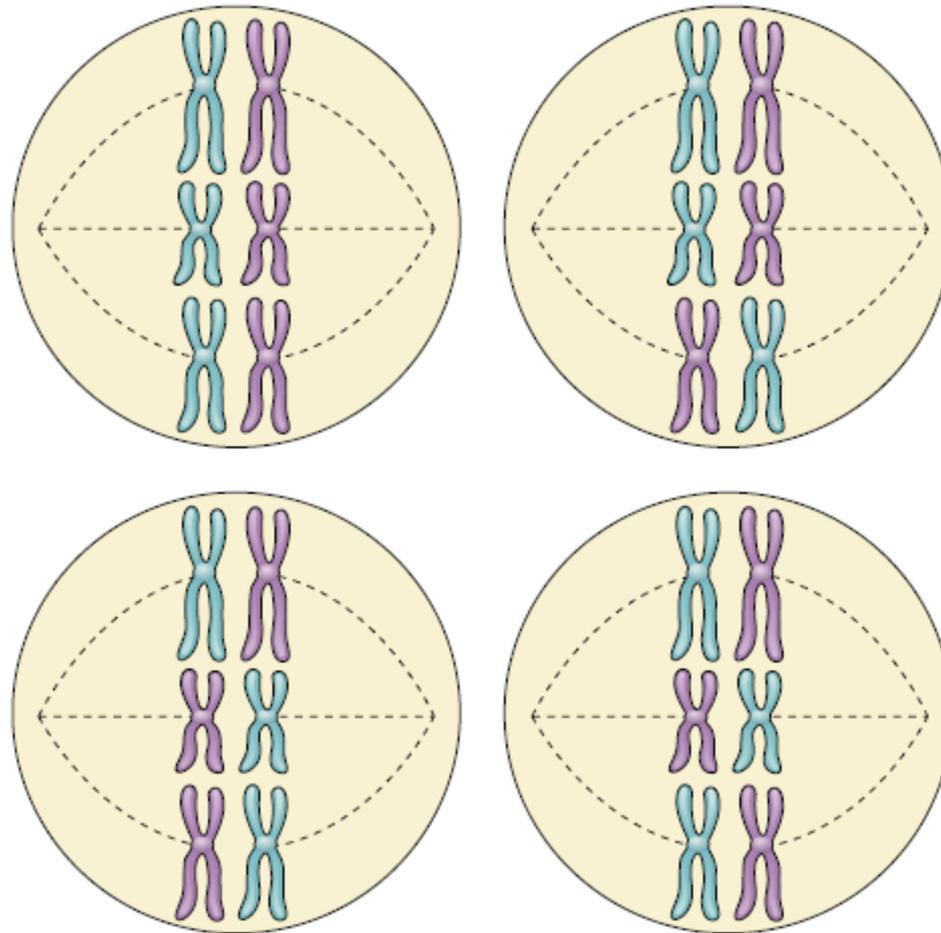
Segregação cromossômica!!

MITOSE



Segregação cromatídica!!

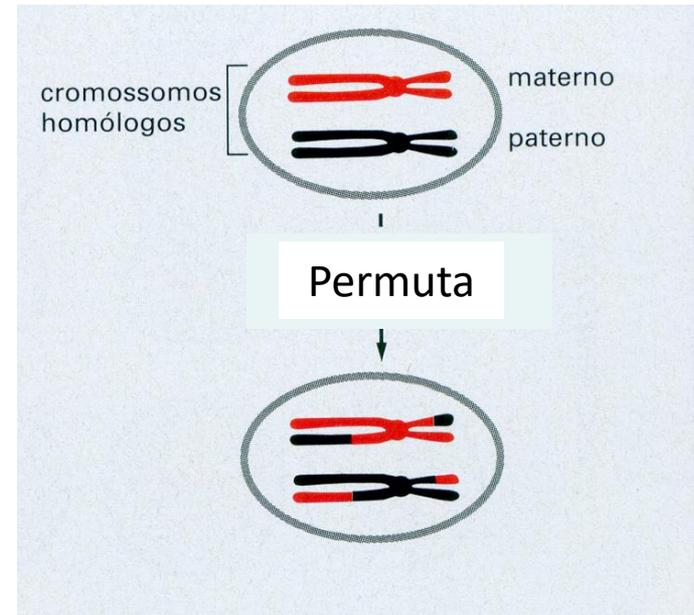
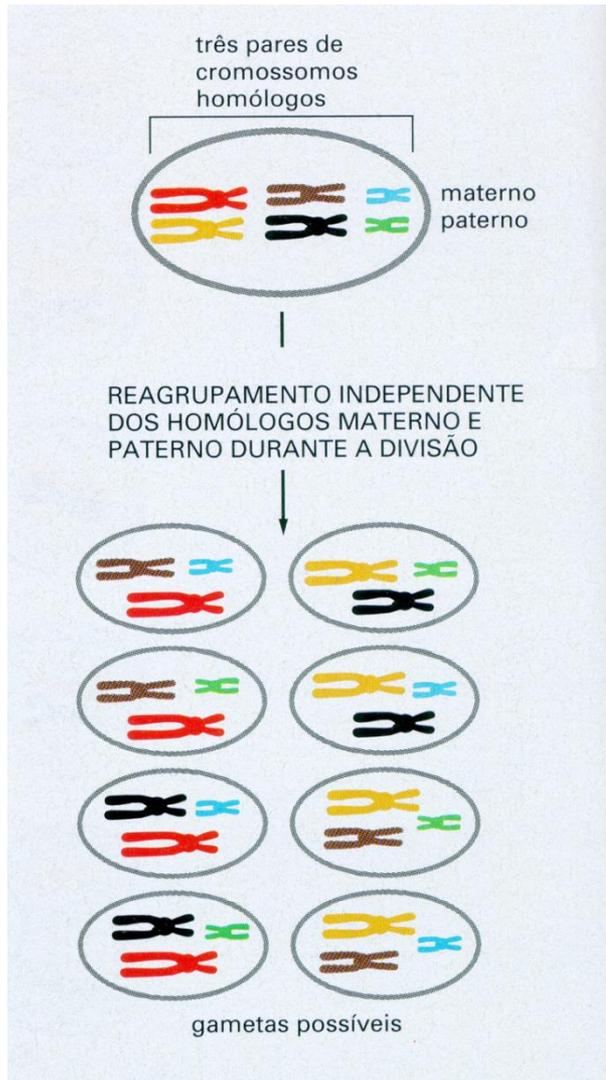
DISTRIBUIÇÃO RANDÔMICA DOS CROMOSSOMOS HOMÓLOGOS NA PLACA EQUATORIAL



$$2^n$$

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

SEGREGAÇÃO CROMOSSÔMICA

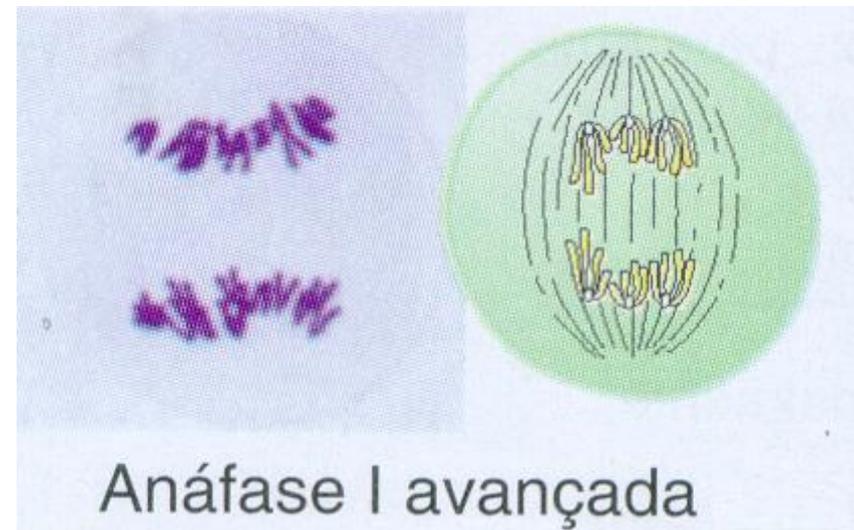
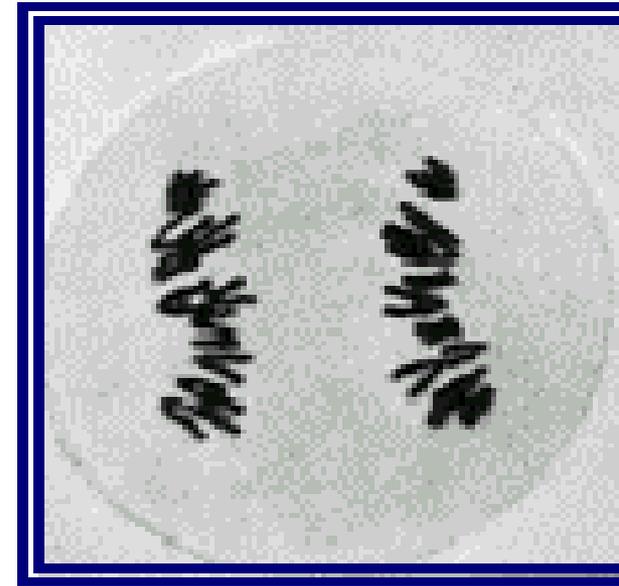


2^n

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).



Anáfase I avançada

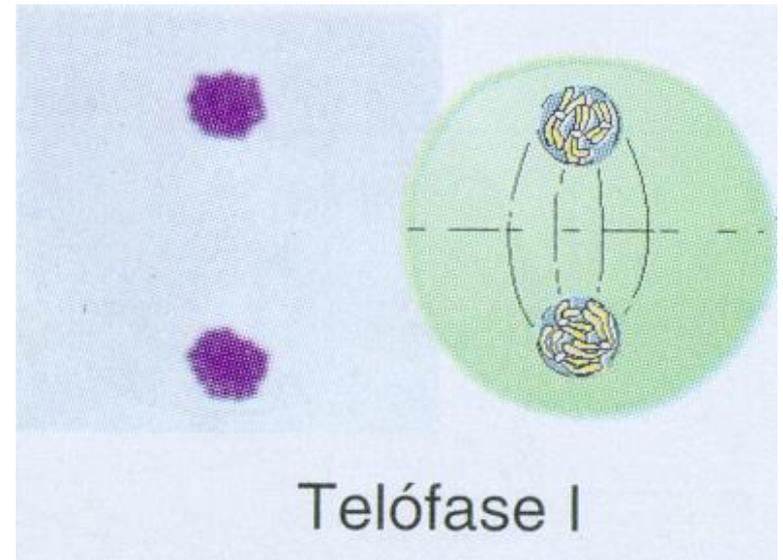
TELÓFASE I

- 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^n gametas** geneticamente **diferentes**, com **$n = n^\circ$** haplóide de cromossomos:

Humanos (n = 23)

$$2^{23} = 8.388.608$$

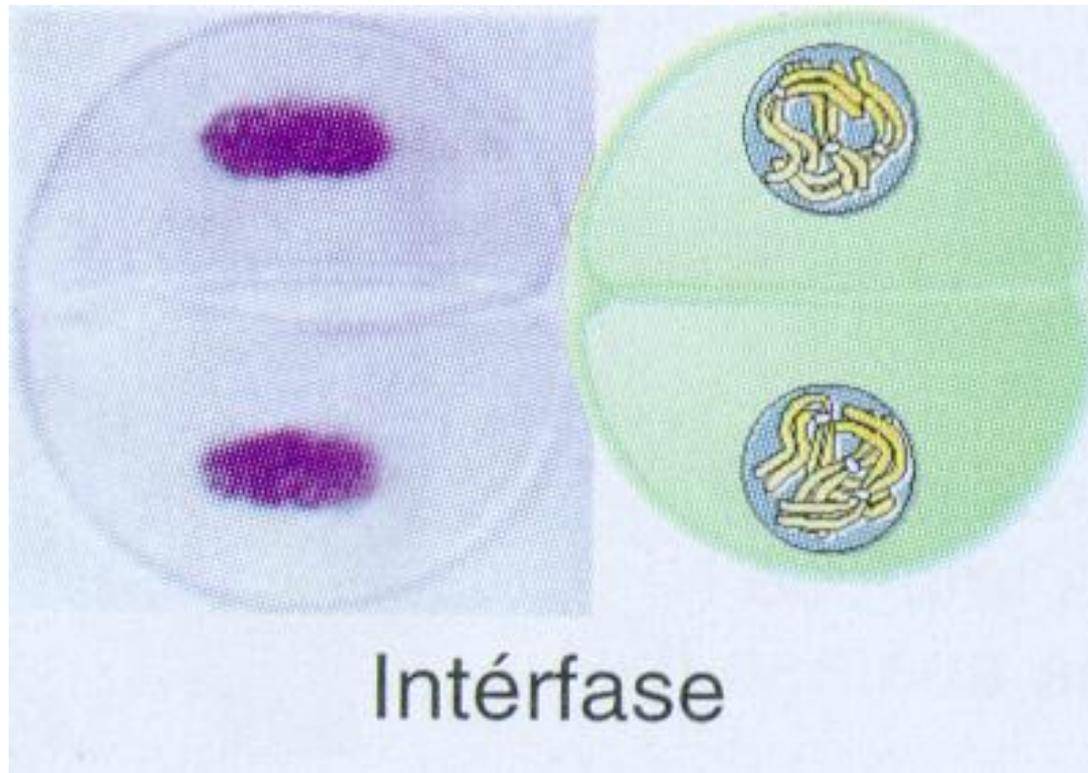
Lírio (n = 12)

$$2^{12} = 4.096$$

Milho (n = 4)

$$2^4 = 16$$

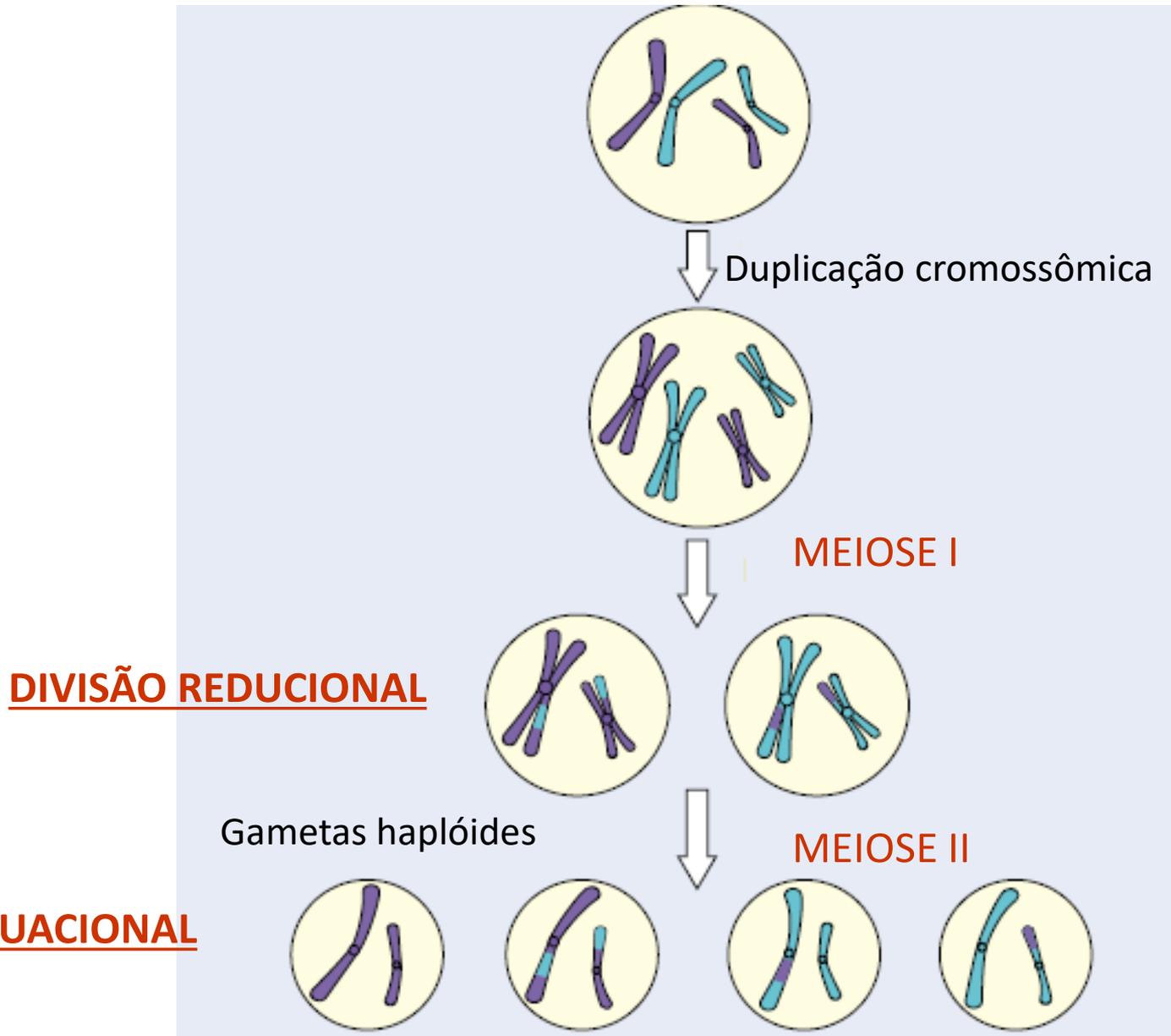




Intérfase

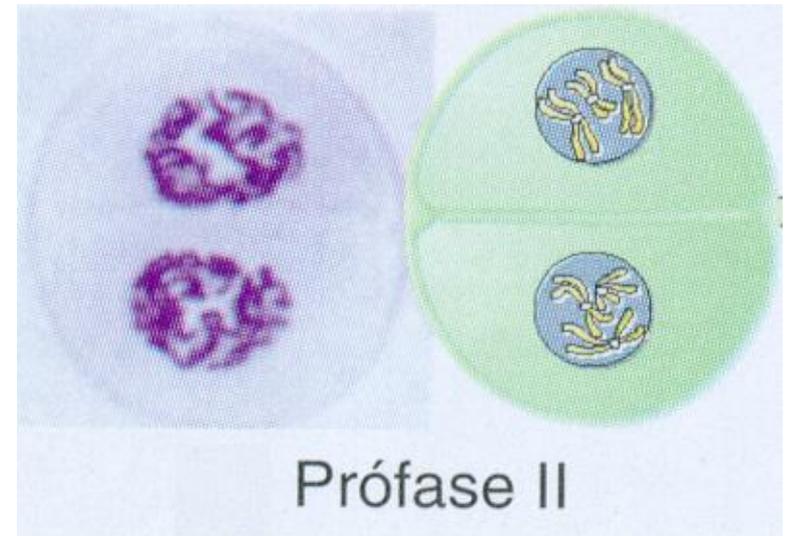
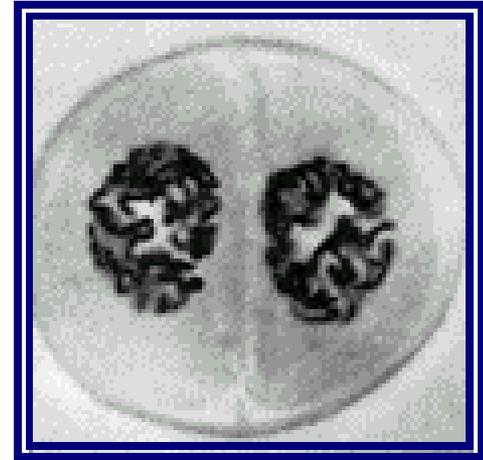
Cromossomos não se replicam novamente antes da segunda divisão meiótica.

VISÃO GERAL



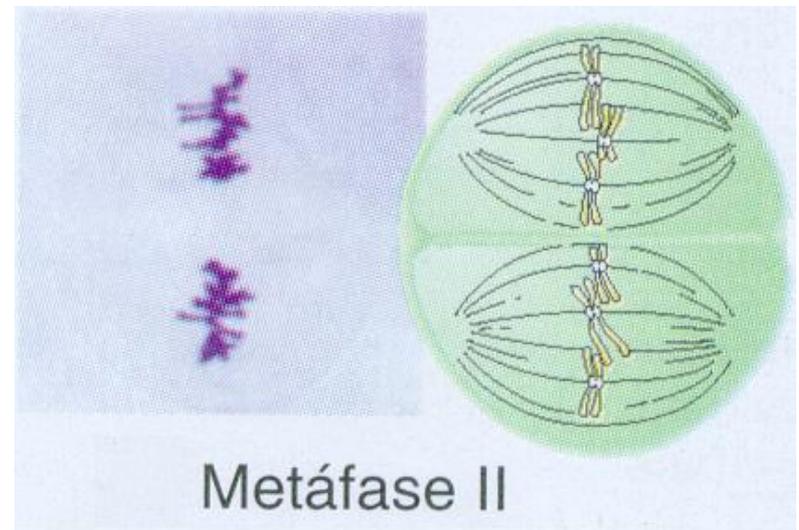
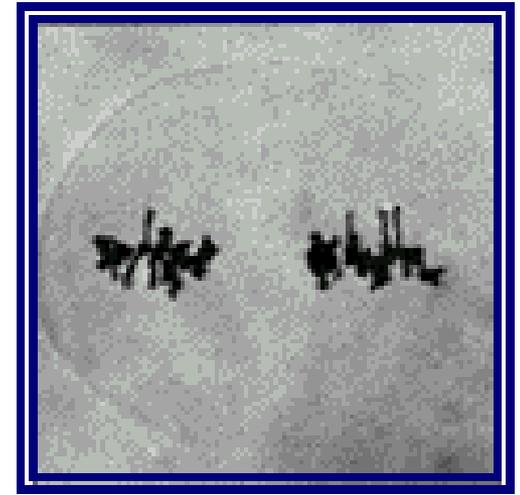
PRÓFASE II

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



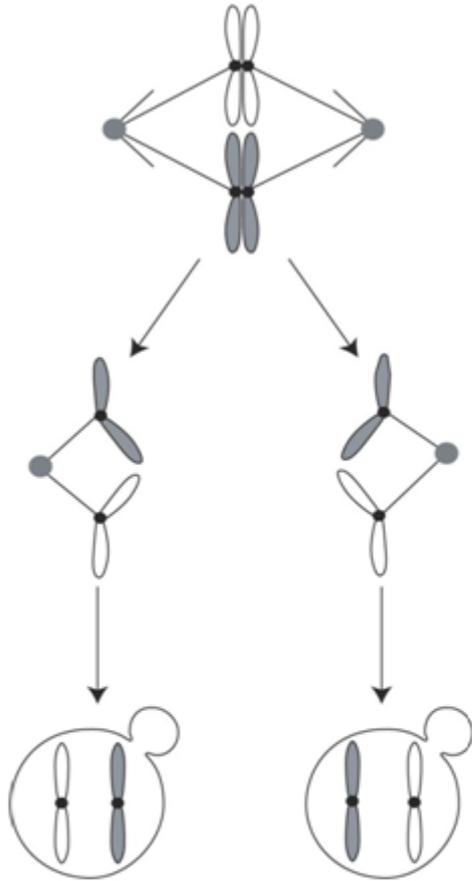
METÁFASE II

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



(Griffiths et al., 2001)

MITOSE



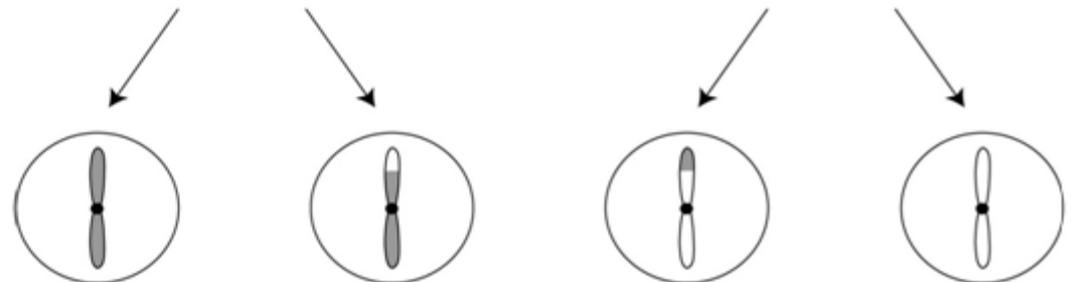
MEIOSE

Metáfase **MEIOSE I**

Anáfase

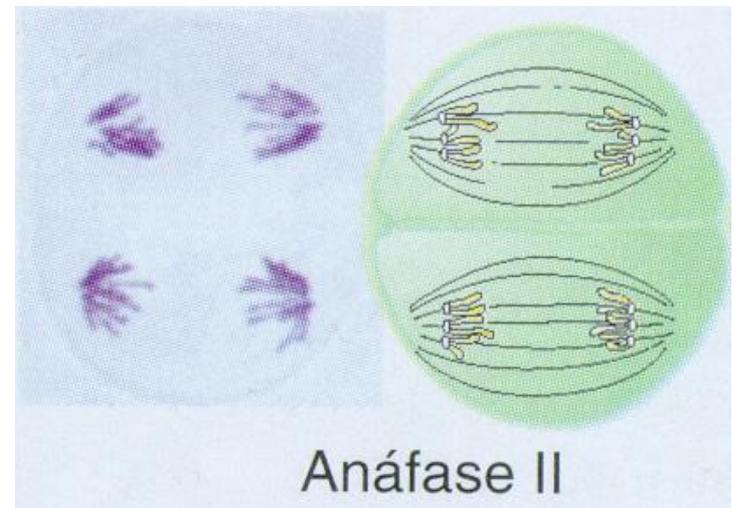


ANÁLISE COMPARATIVA



ANÁFASE II

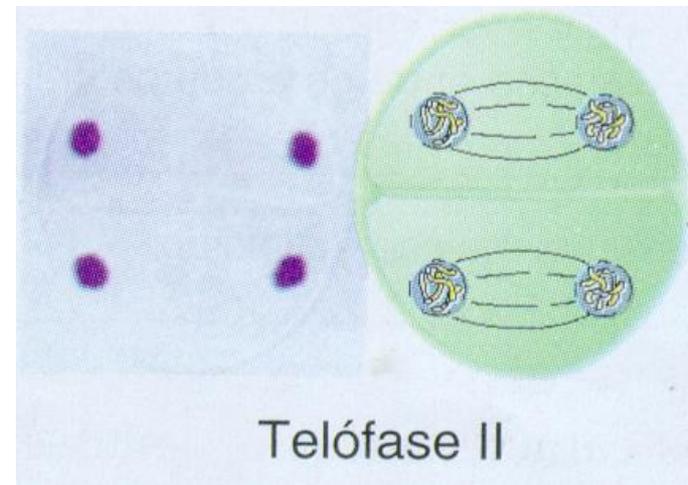
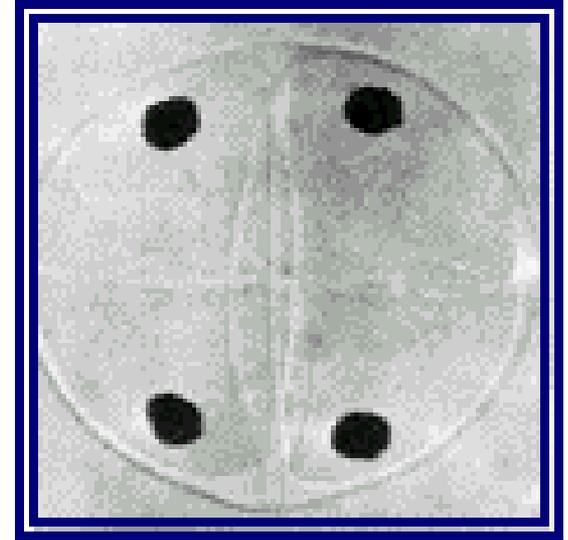
- Divisão do centrômero;
- As **cromátides irmãs** migram para os pólos opostos da célula.

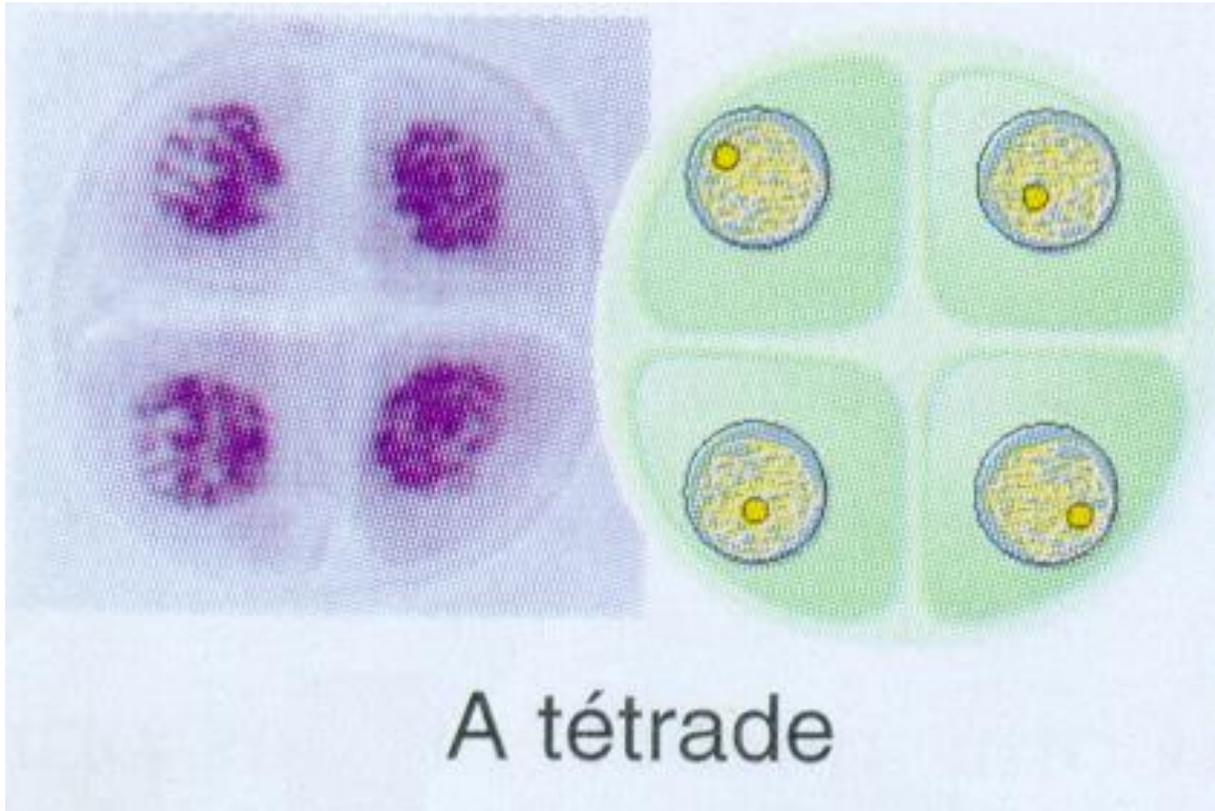


(Griffiths et al., 2001)

TELÓFASE II

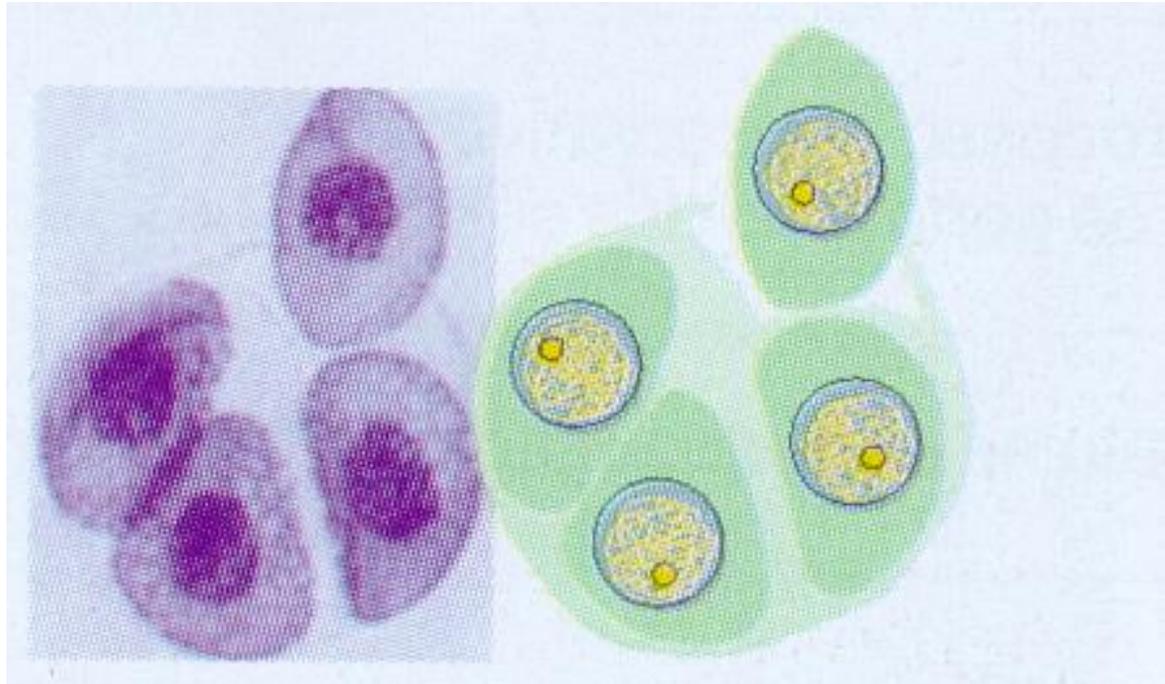
- Ao chegar aos pólos da célula, cada grupo de cromossomos é envolvido pela membrana nuclear;
- Reorganização do nucléolo;
- A cromatina se descondensa e o fuso desaparece.





(Griffiths et al., 2001)

GRÃOS DE PÓLEN

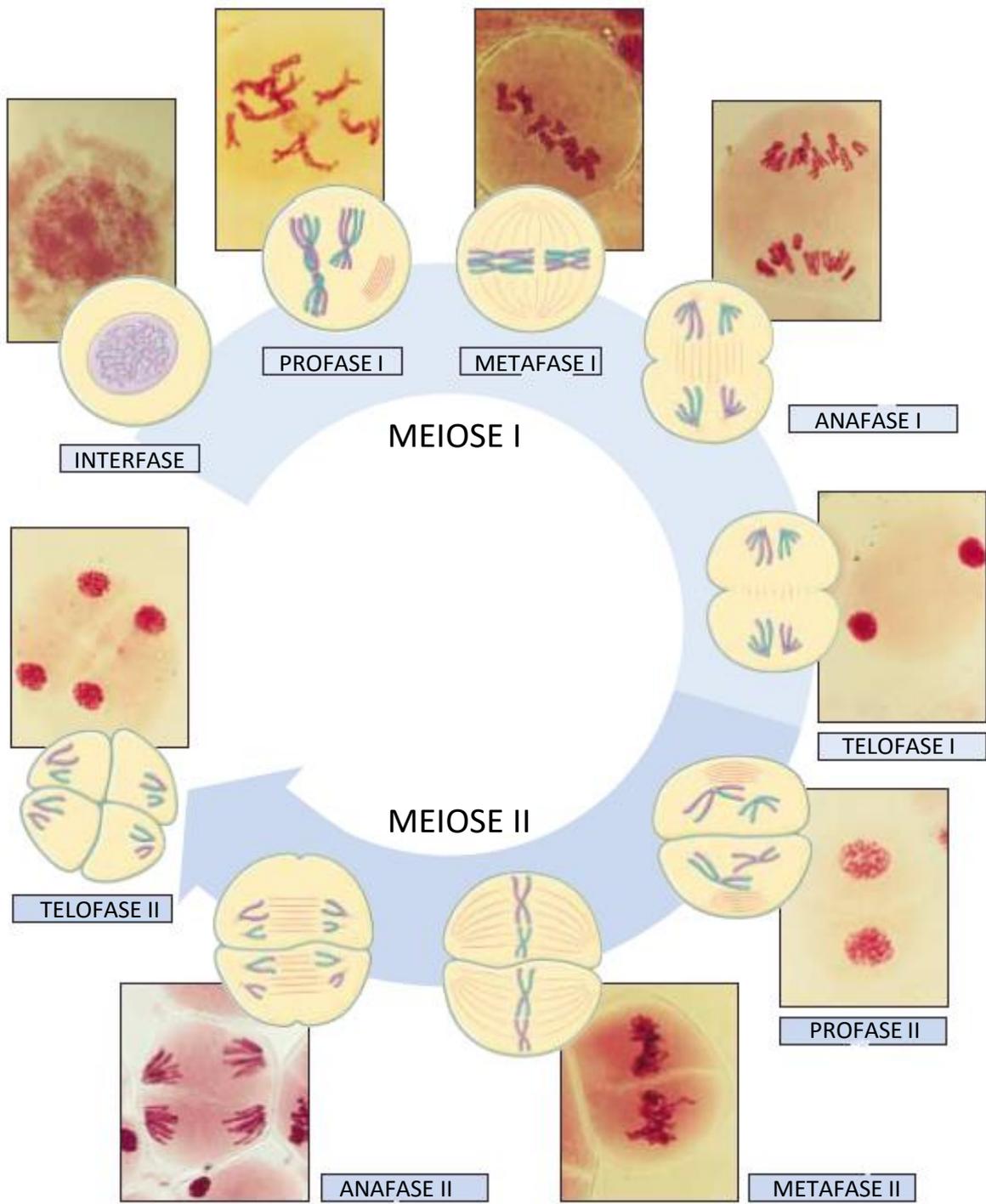


(Griffiths et al., 2001)

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!

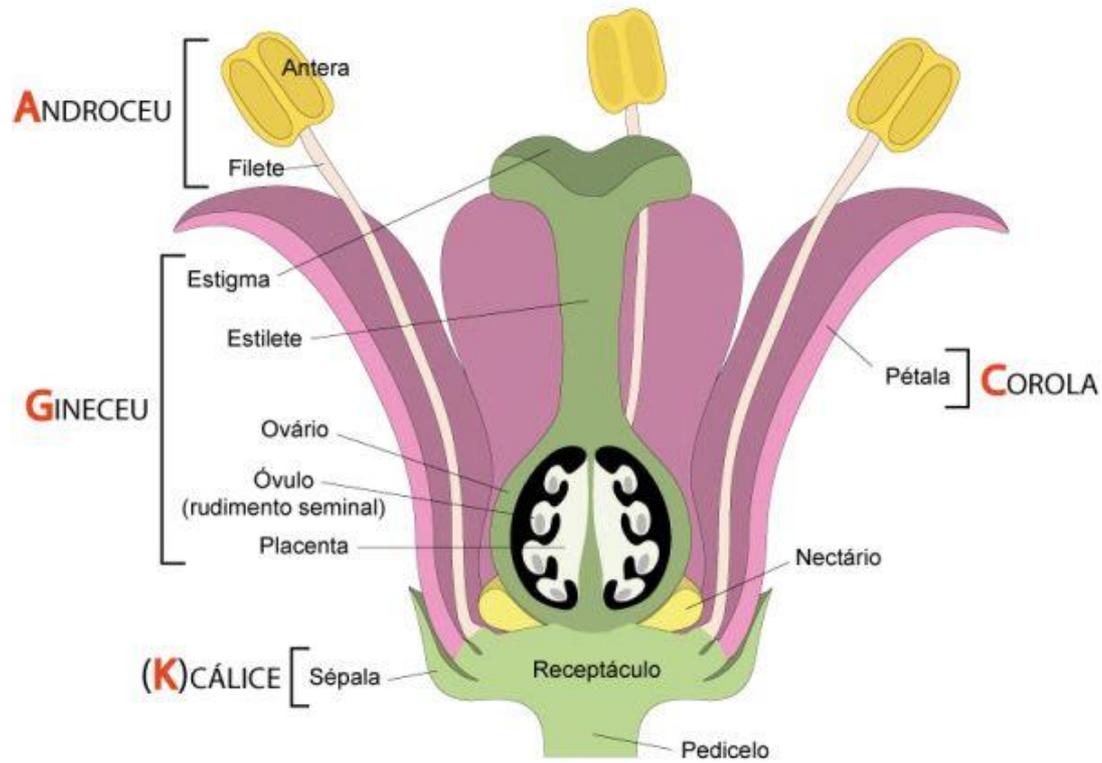
Mas o que é a gametogênese?



GAMETOGENESE EM PLANTAS

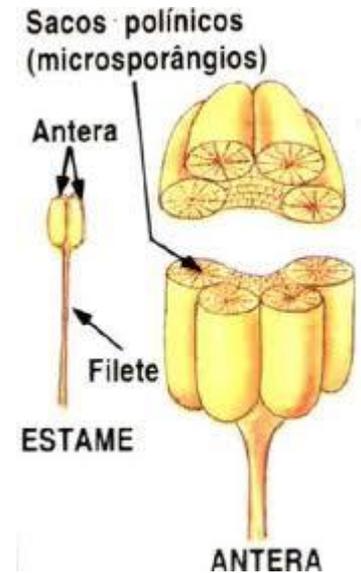
Órgãos de reprodução em plantas superiores:

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

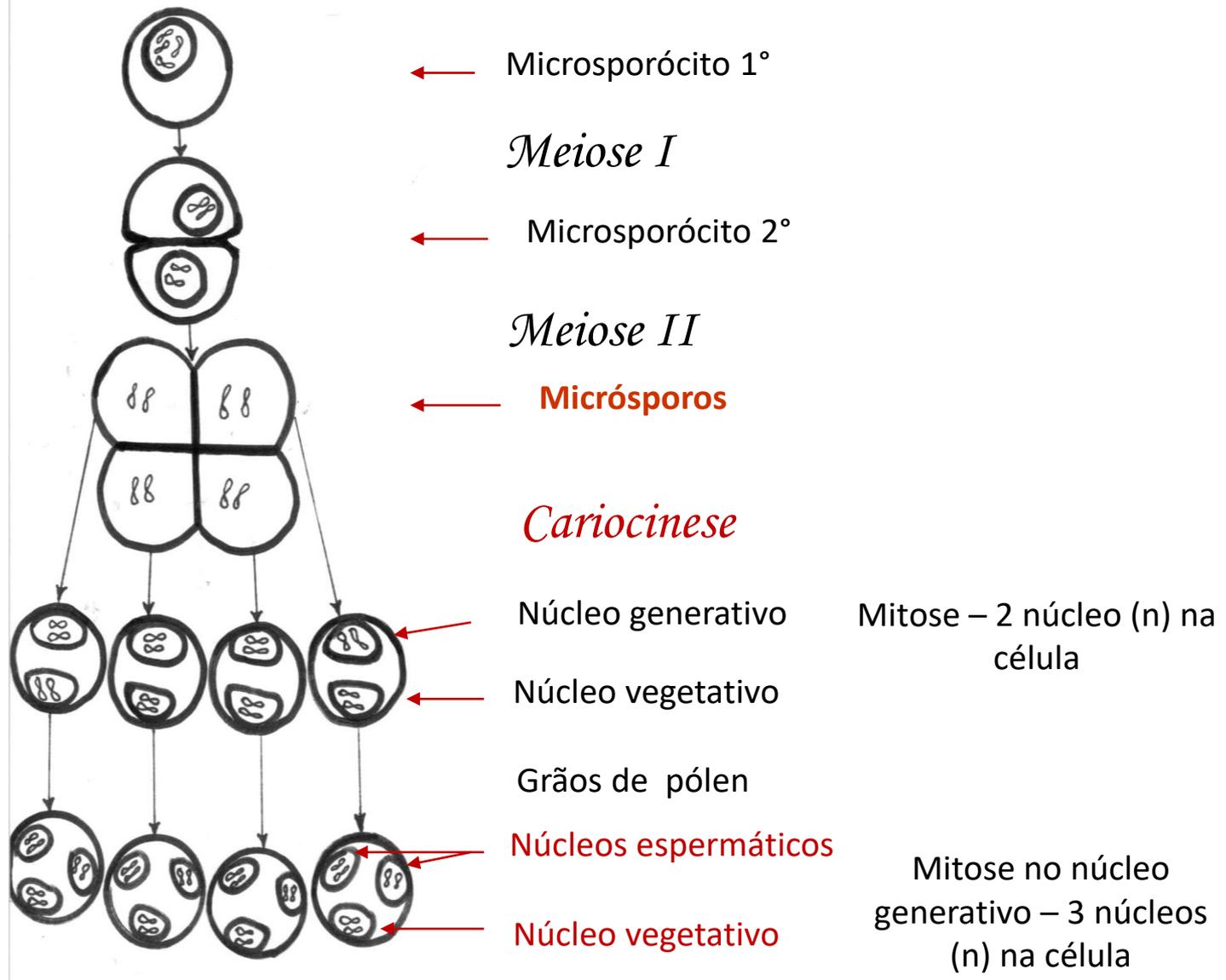


MICROSPOROGENESE

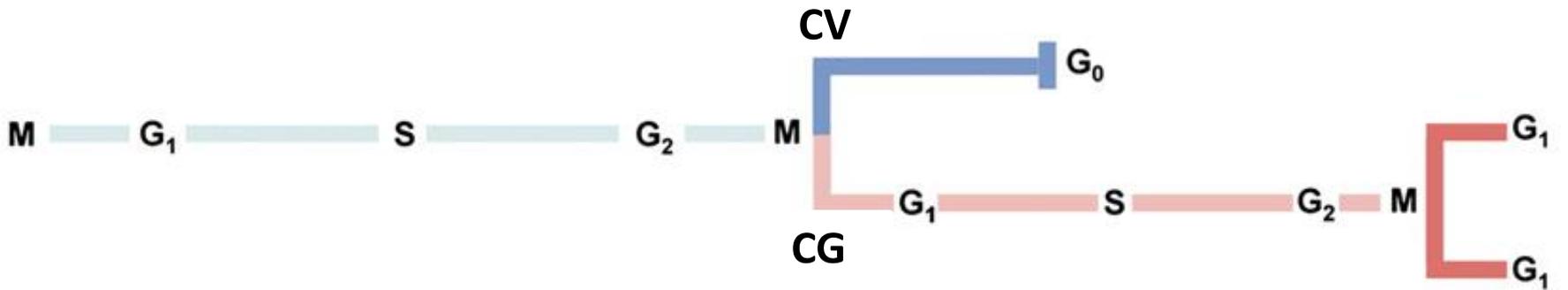
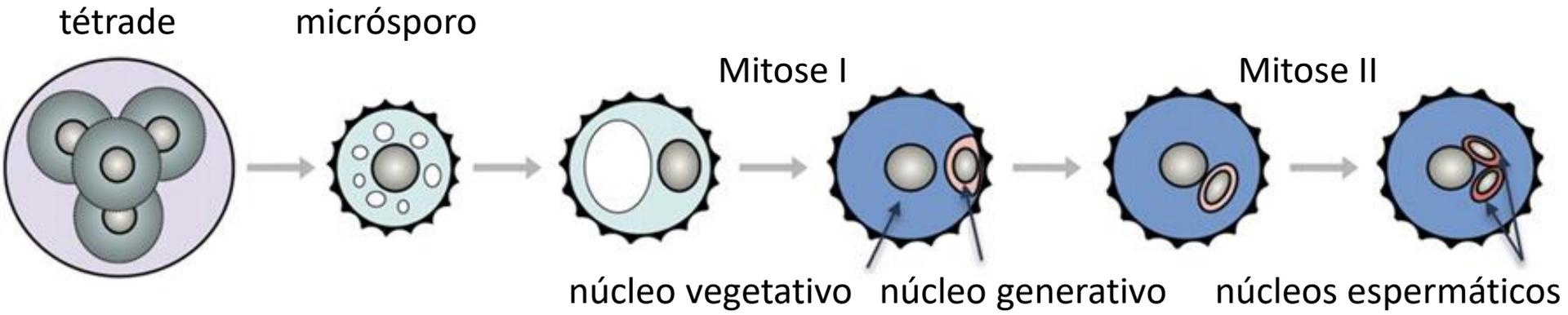
- É a **gametogênese masculina** em vegetais superiores;
- Ocorre nos **sacos polínicos** das anteras das flores masculinas;
- Um microsporócito (ou célula mãe do grão de pólen) origina por **meiose** quatro micrósporos funcionais.
- Estes não são os gametas finais; ainda sofrem **divisão mitótica**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



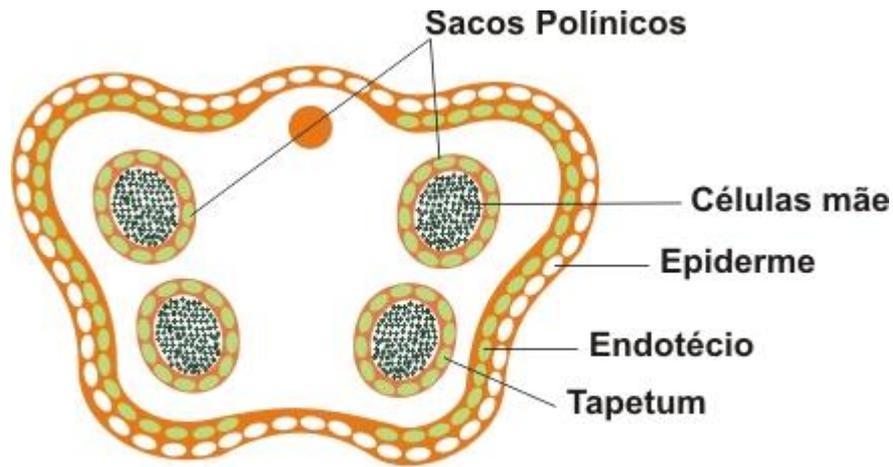
MICROSPOROGENESE



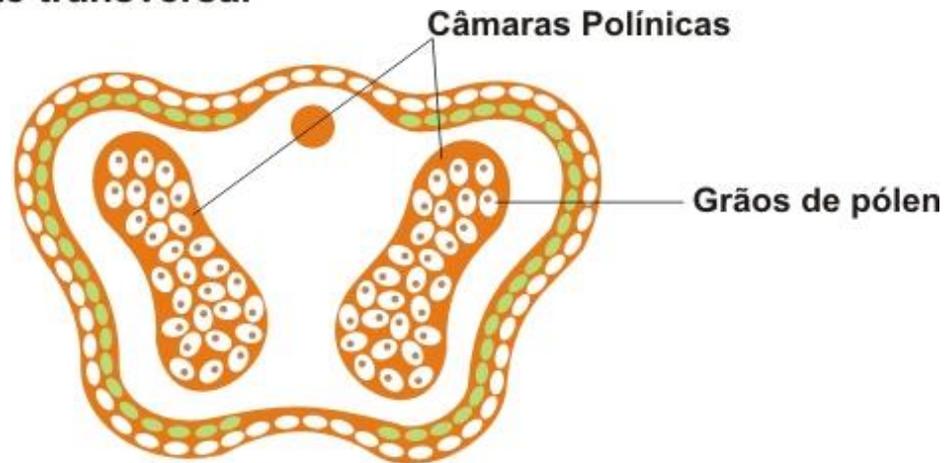
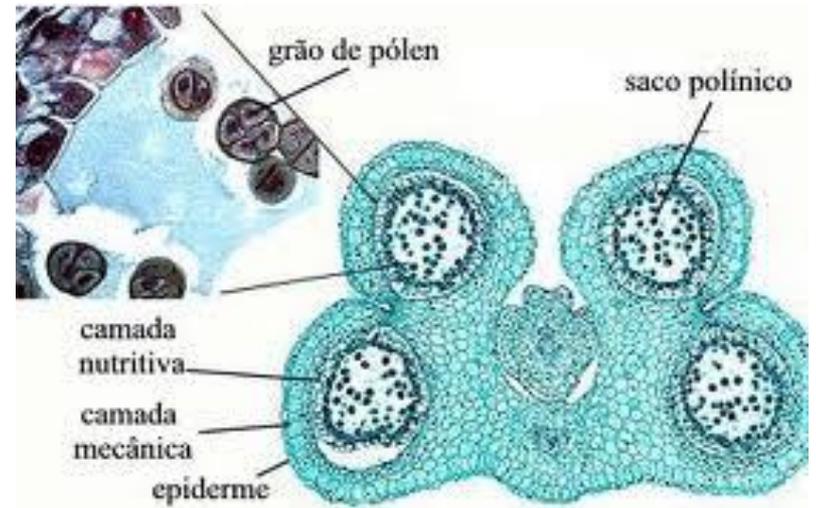
MICROGAMETOGÊNESE



CORTE TRANSVERSAL DA ANTERA

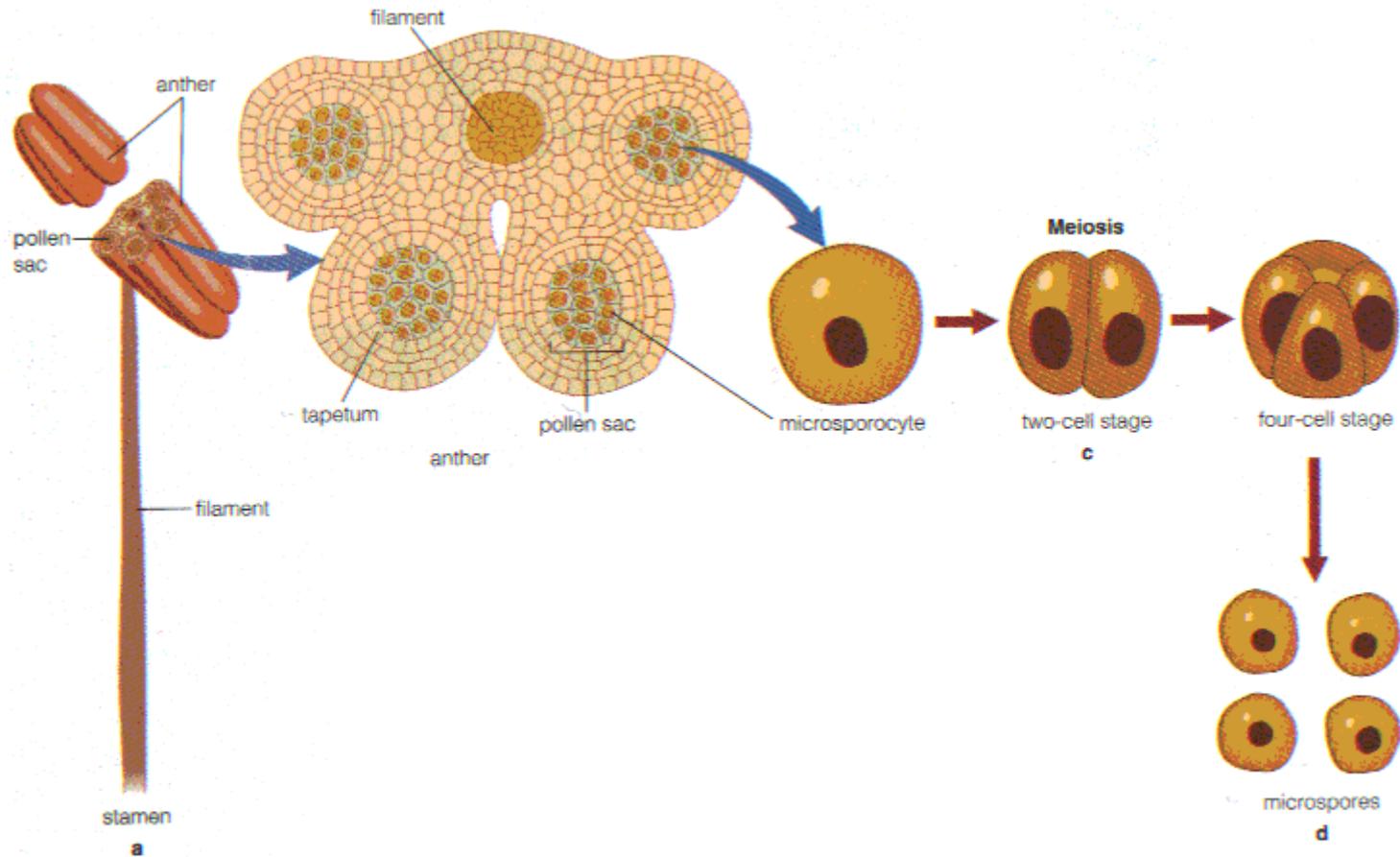


Antera jovem - Corte transversal

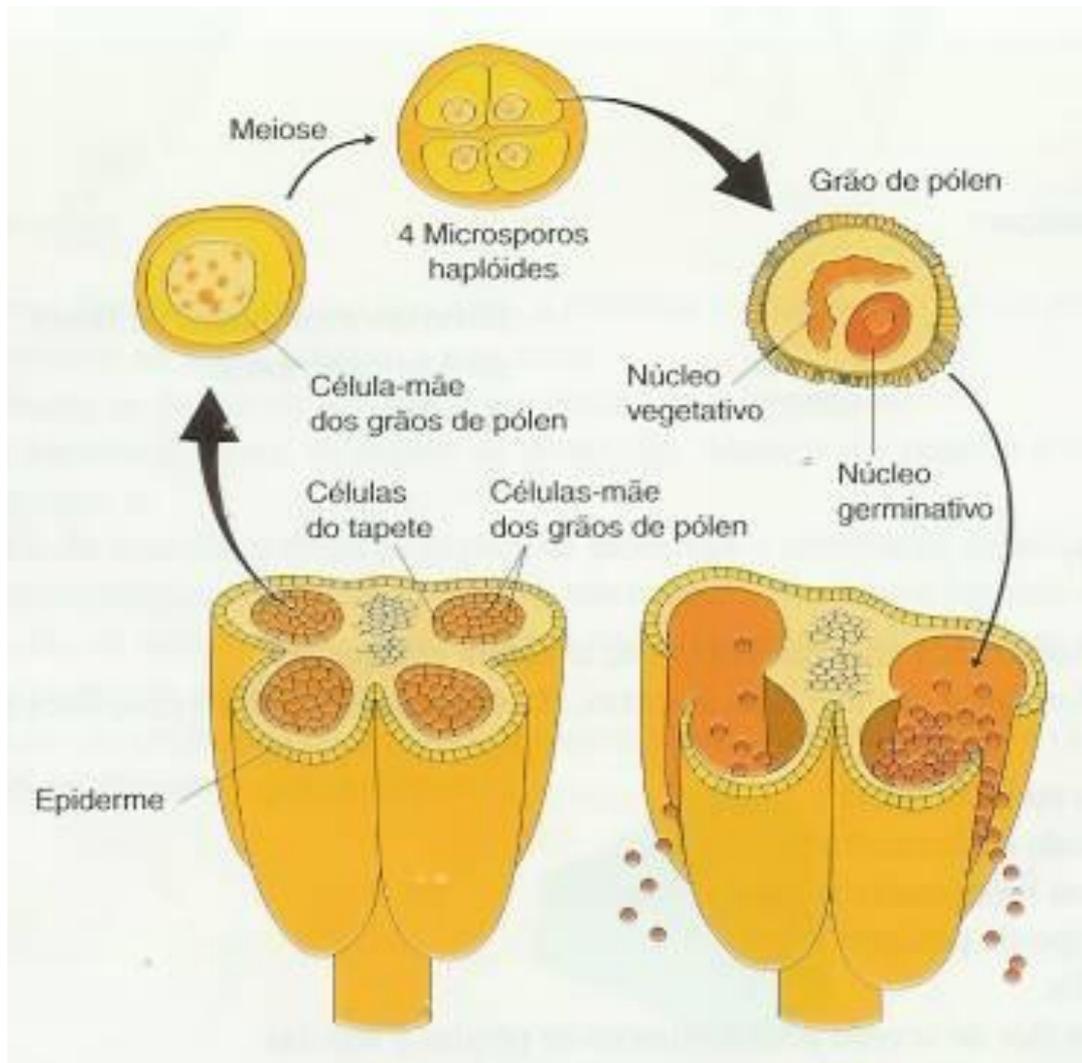


Antera madura - Corte transversal

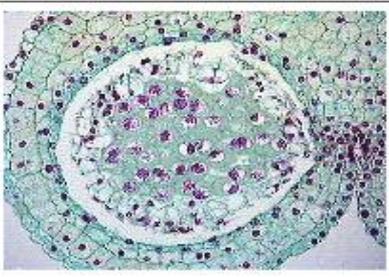
CORTE TRANSVERSAL DA ANTERA



CORTE TRANSVERSAL DA ANTERA



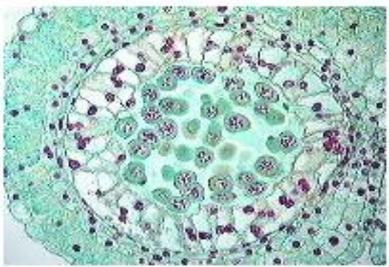
Formação do polén em *Lilium*



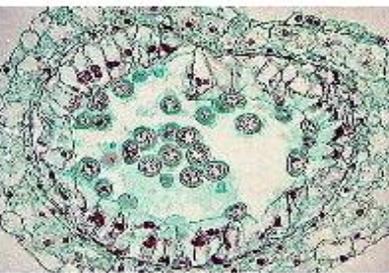
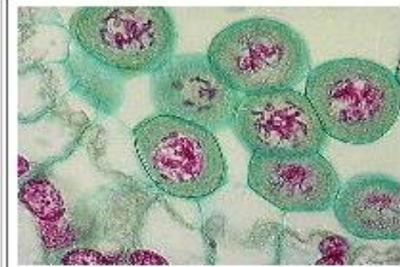
Microsporócito na Prófase I (Início)



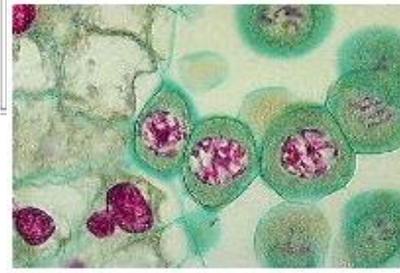
Microsporócito na Prófase I (Meio)



Microsporócito na Prófase I (Final)



Diacinese



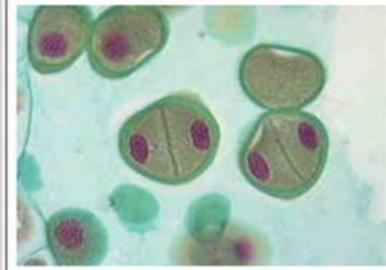
Metáfase I



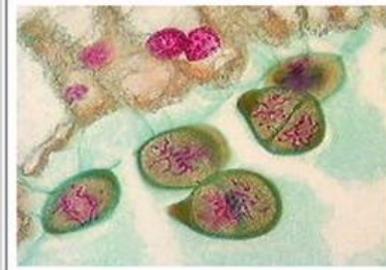
Formação do polén em *Lilium*



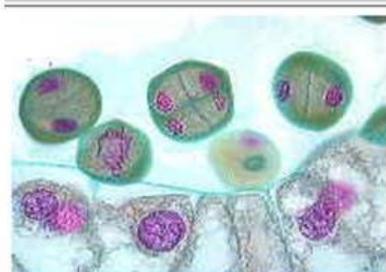
Anáfase I



Telófase I



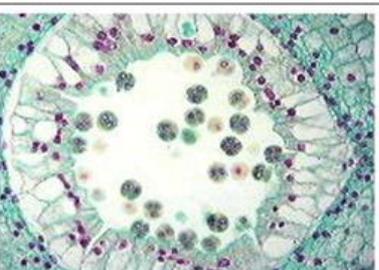
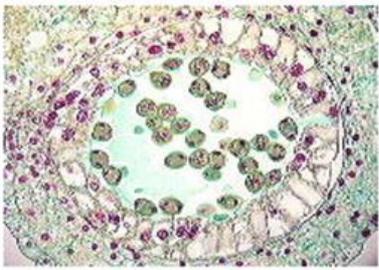
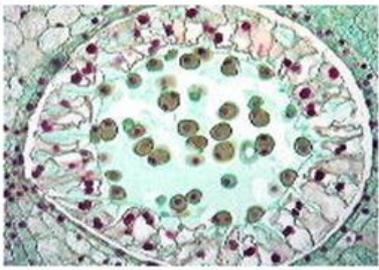
Metáfase II



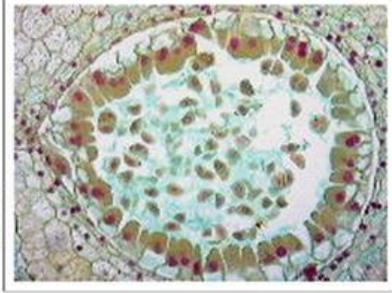
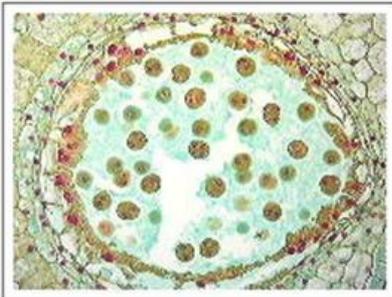
Telófase II



Tétrade

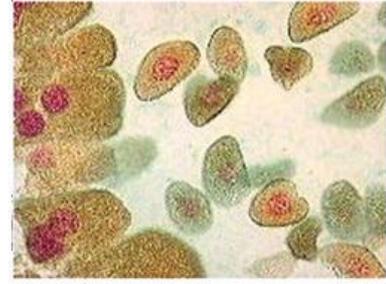


Formação do polén em *Lilium*

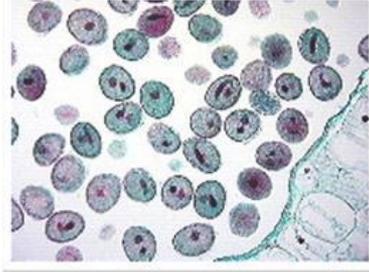


Tétrade

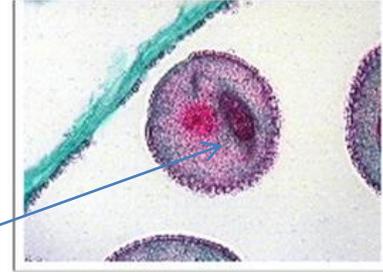
Liberação dos micrósporos



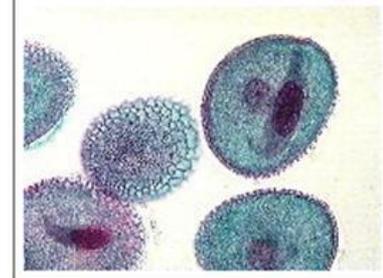
Microgametogênese em *Lilium*



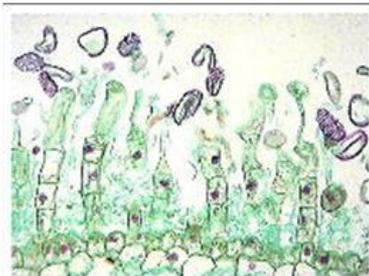
“Pólen trinucleado”



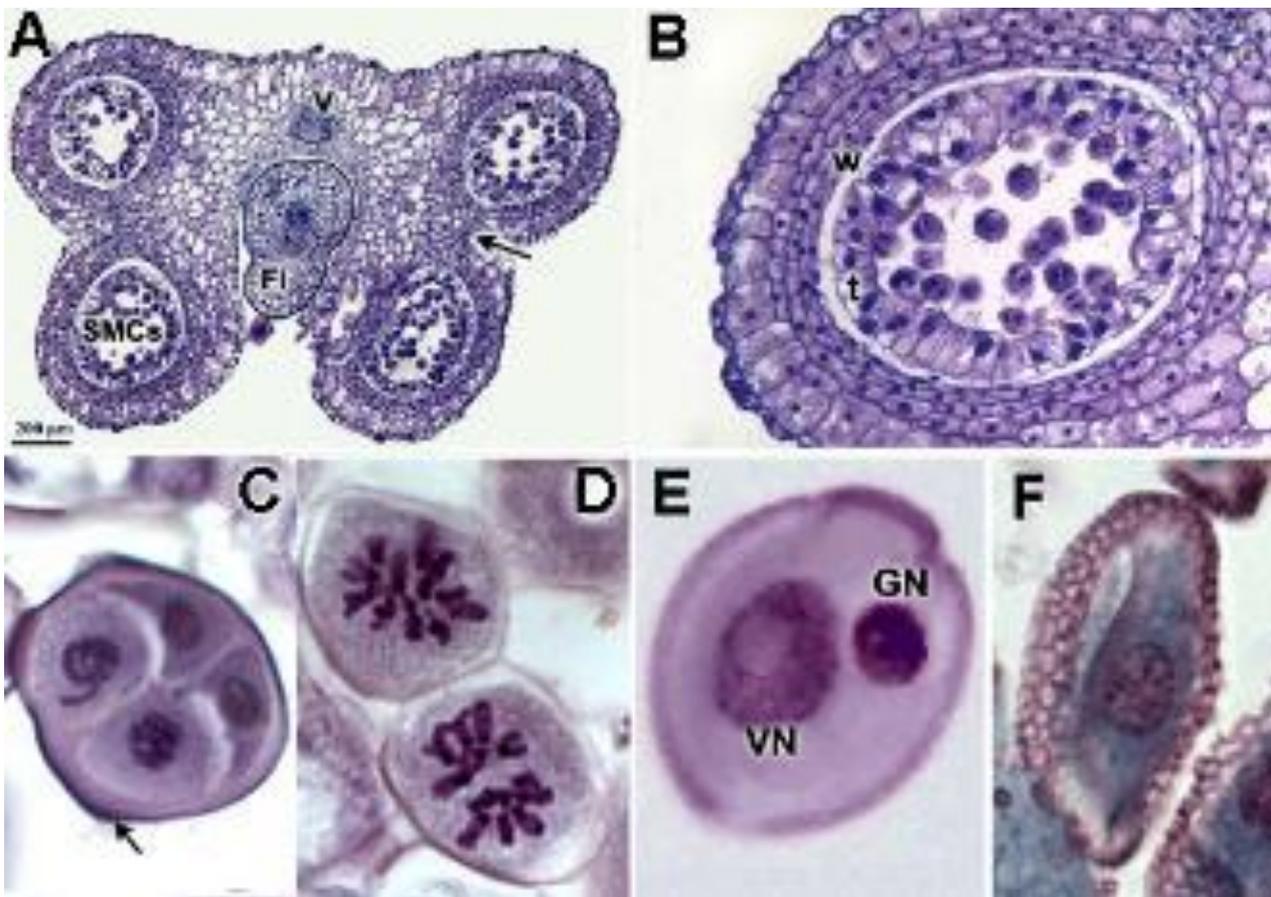
Núcleos espermáticos



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.

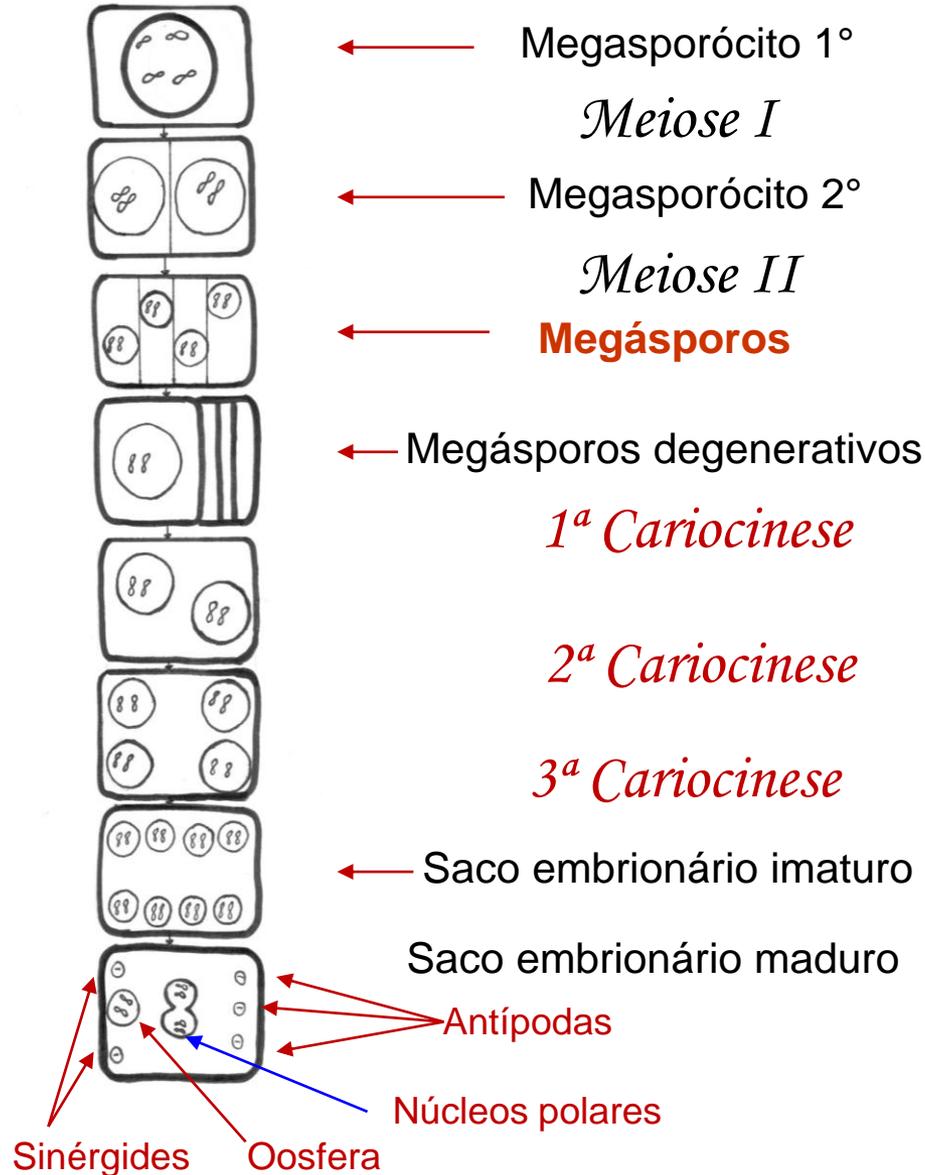
MACROSPOROGENESE



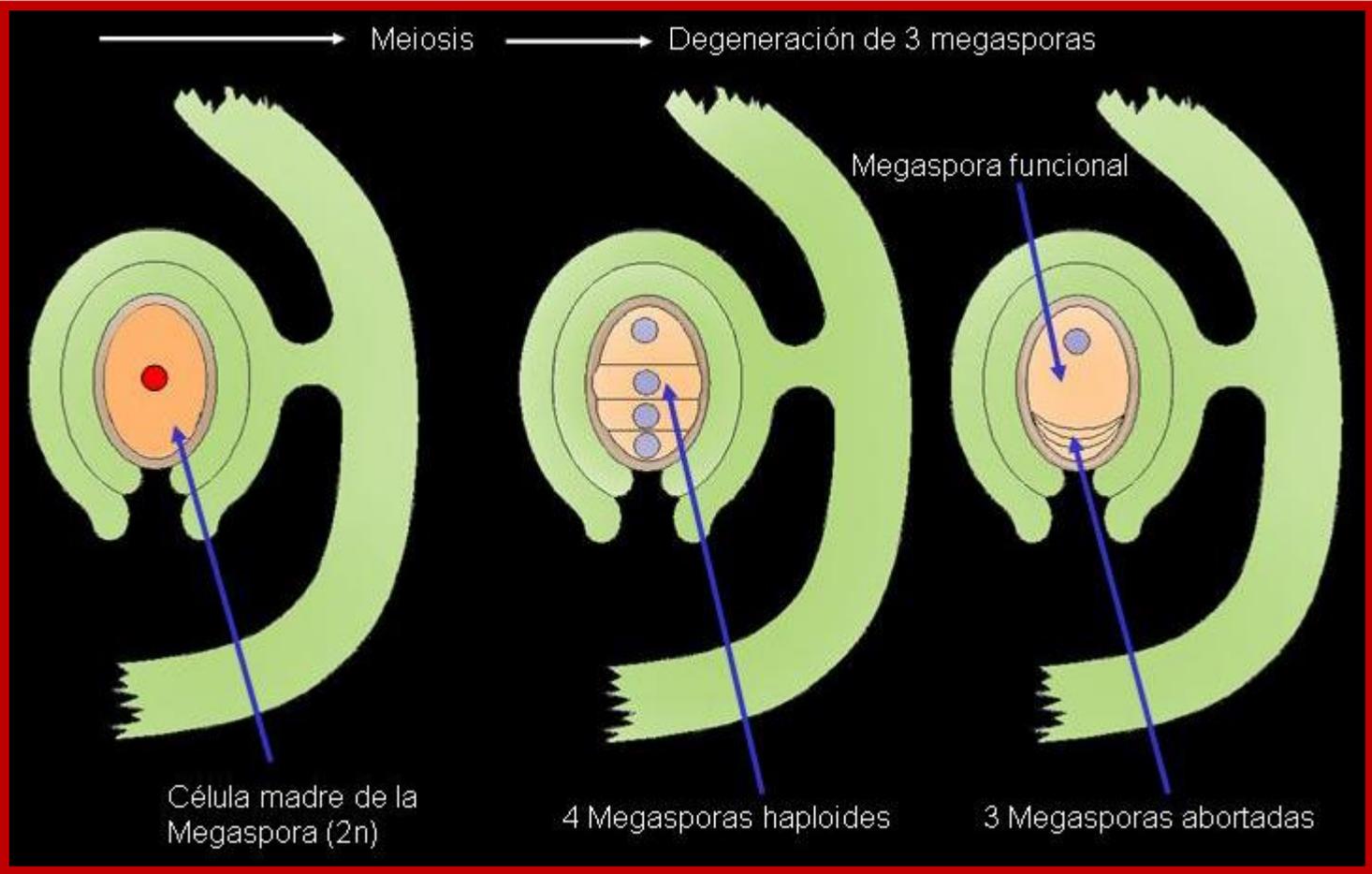
Detalhe do óvulo (em seção longitudinal)

- 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.

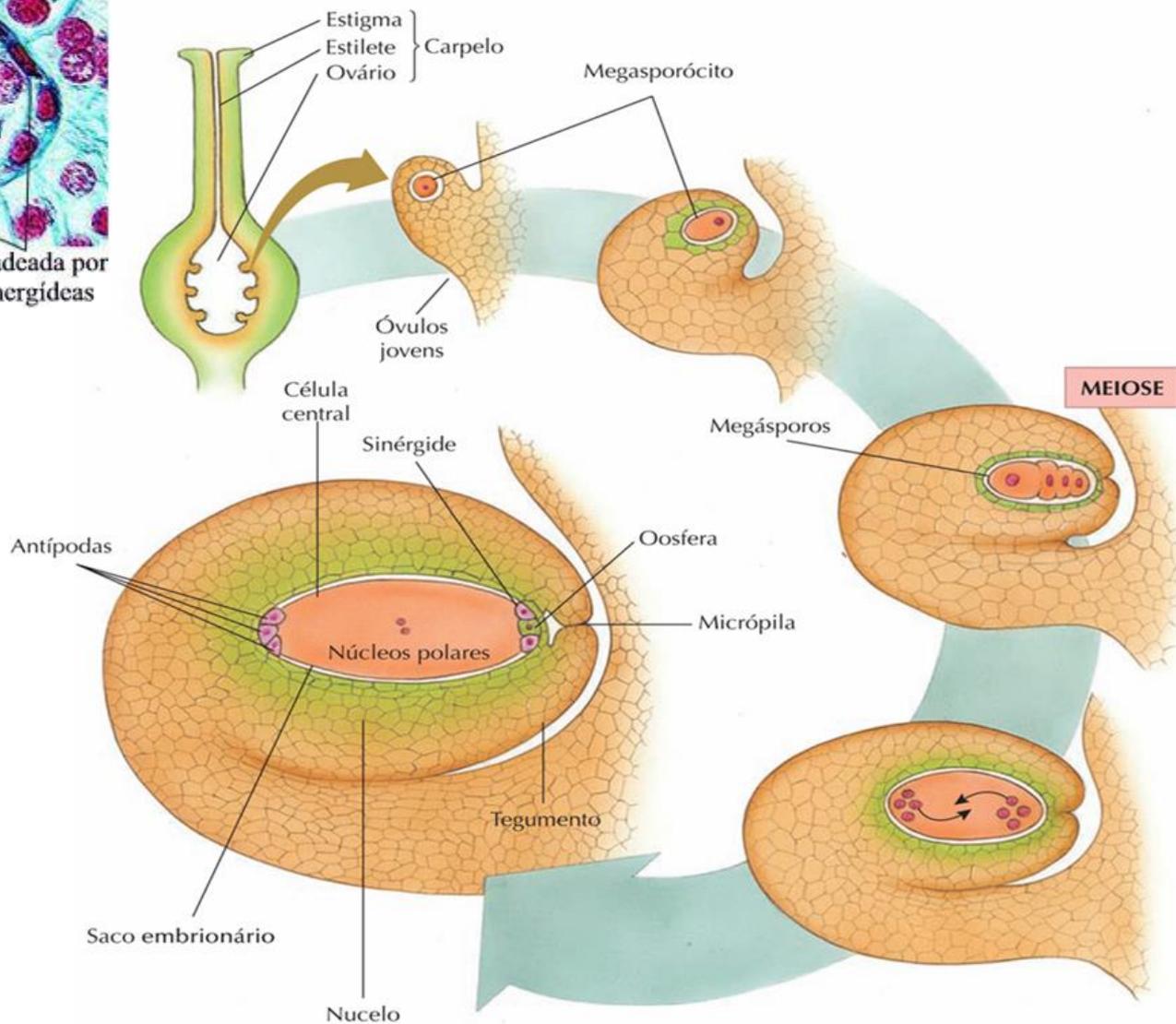
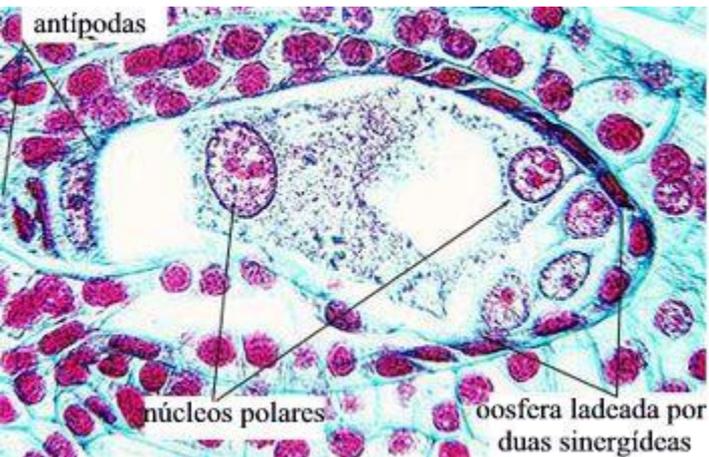
MACROSPOROGENÊSE



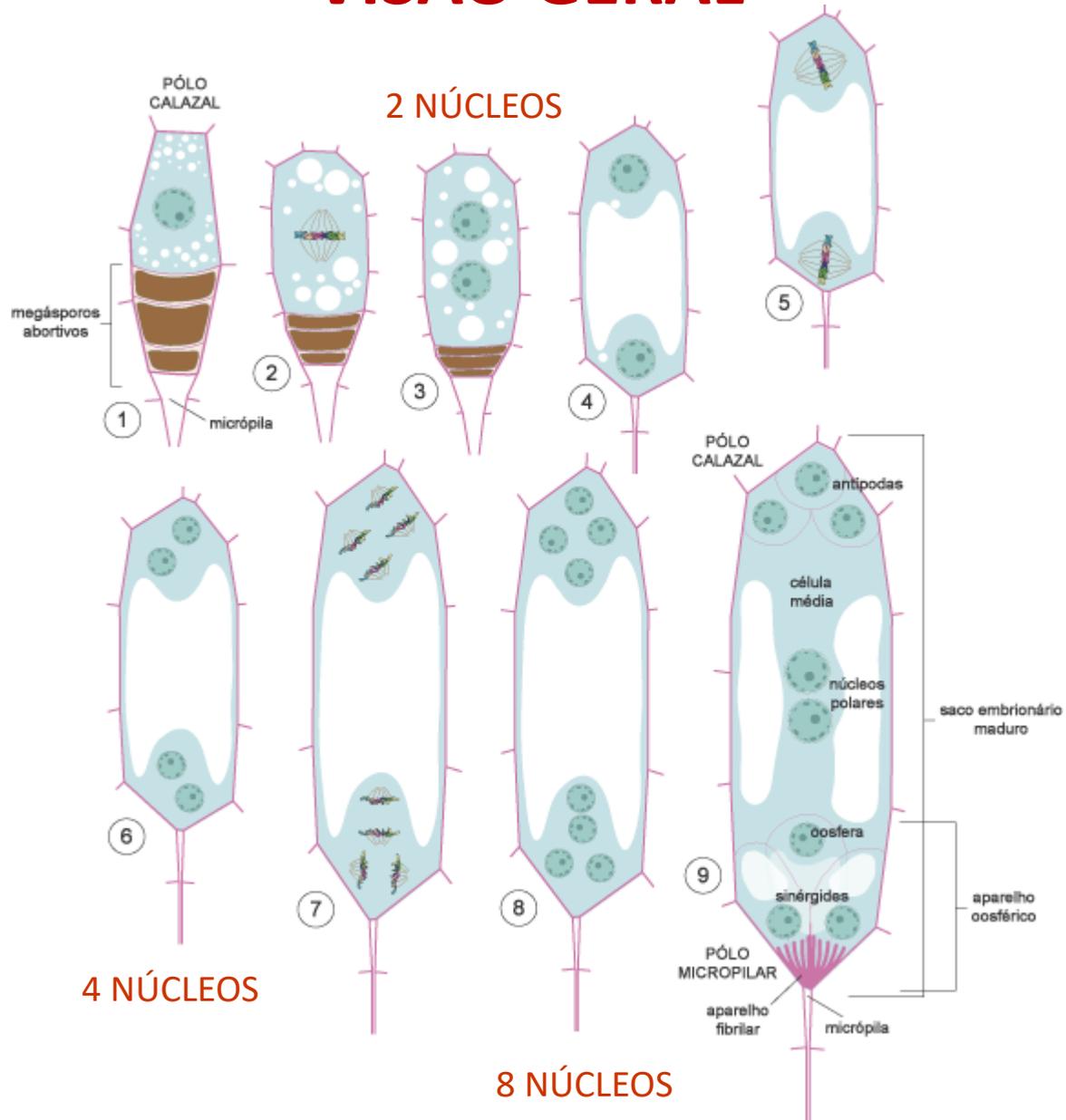
DENEGERAÇÃO DE 3 MEGÁSPOROS

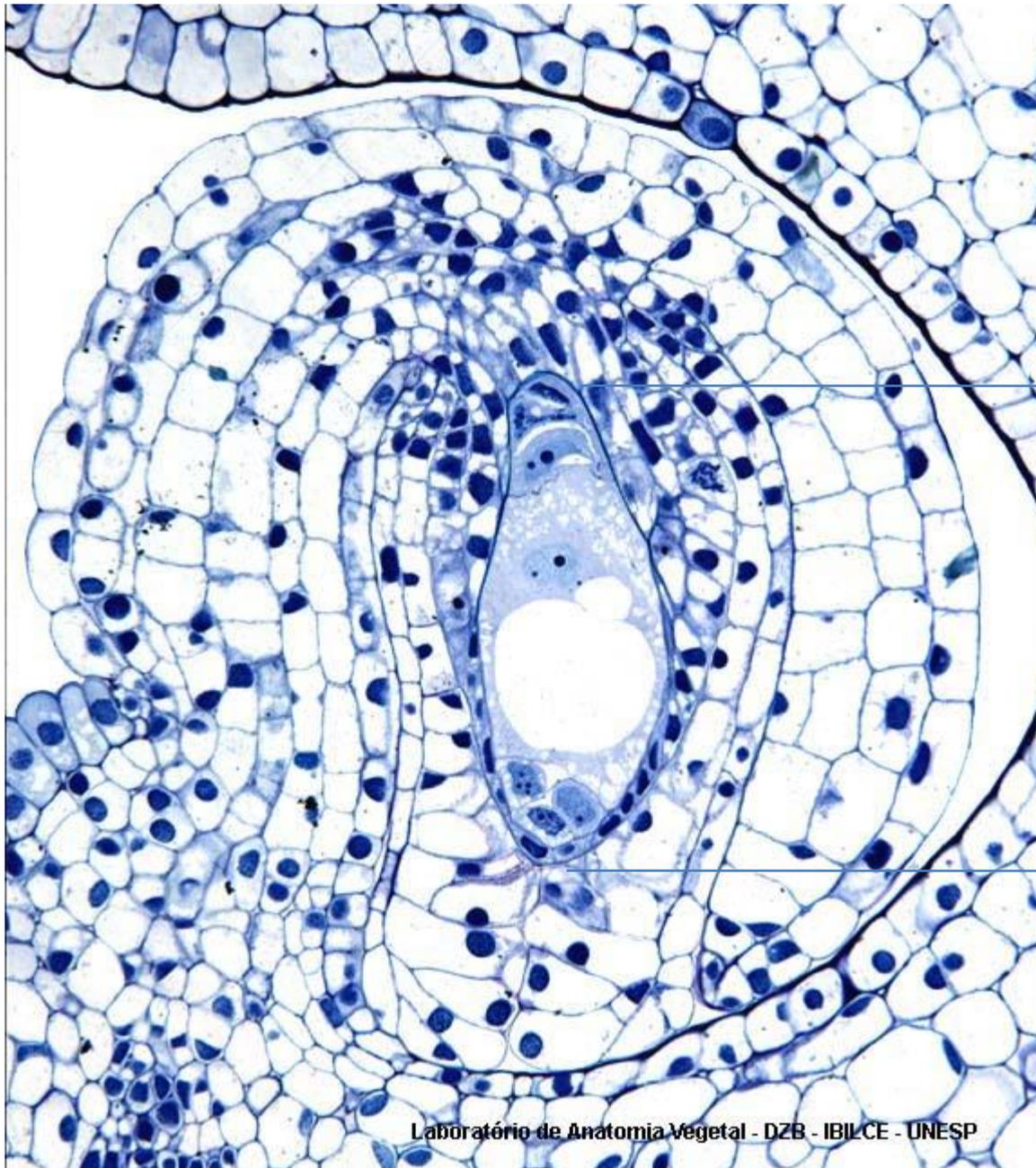


SACO EMBRIONÁRIO COM 8 NÚCLEOS



VISÃO GERAL





→ Região calazar

→ Região micropilar

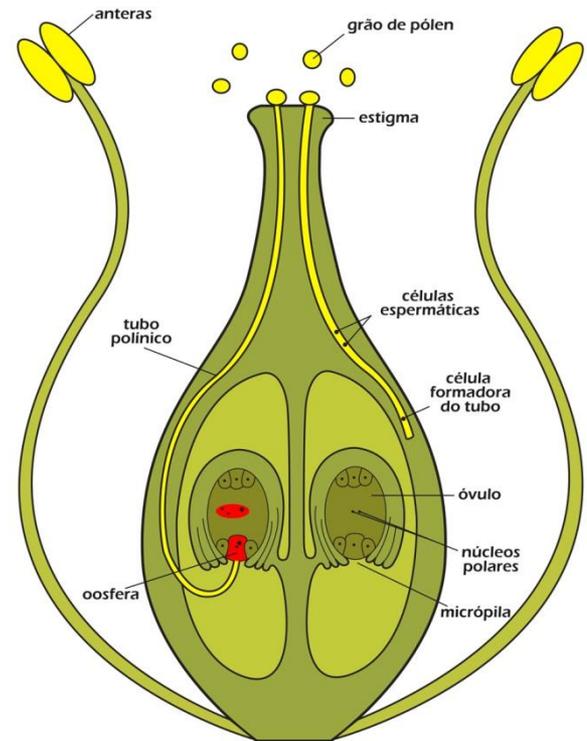
POLINIZAÇÃO E DUPLA FERTILIZAÇÃO

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.

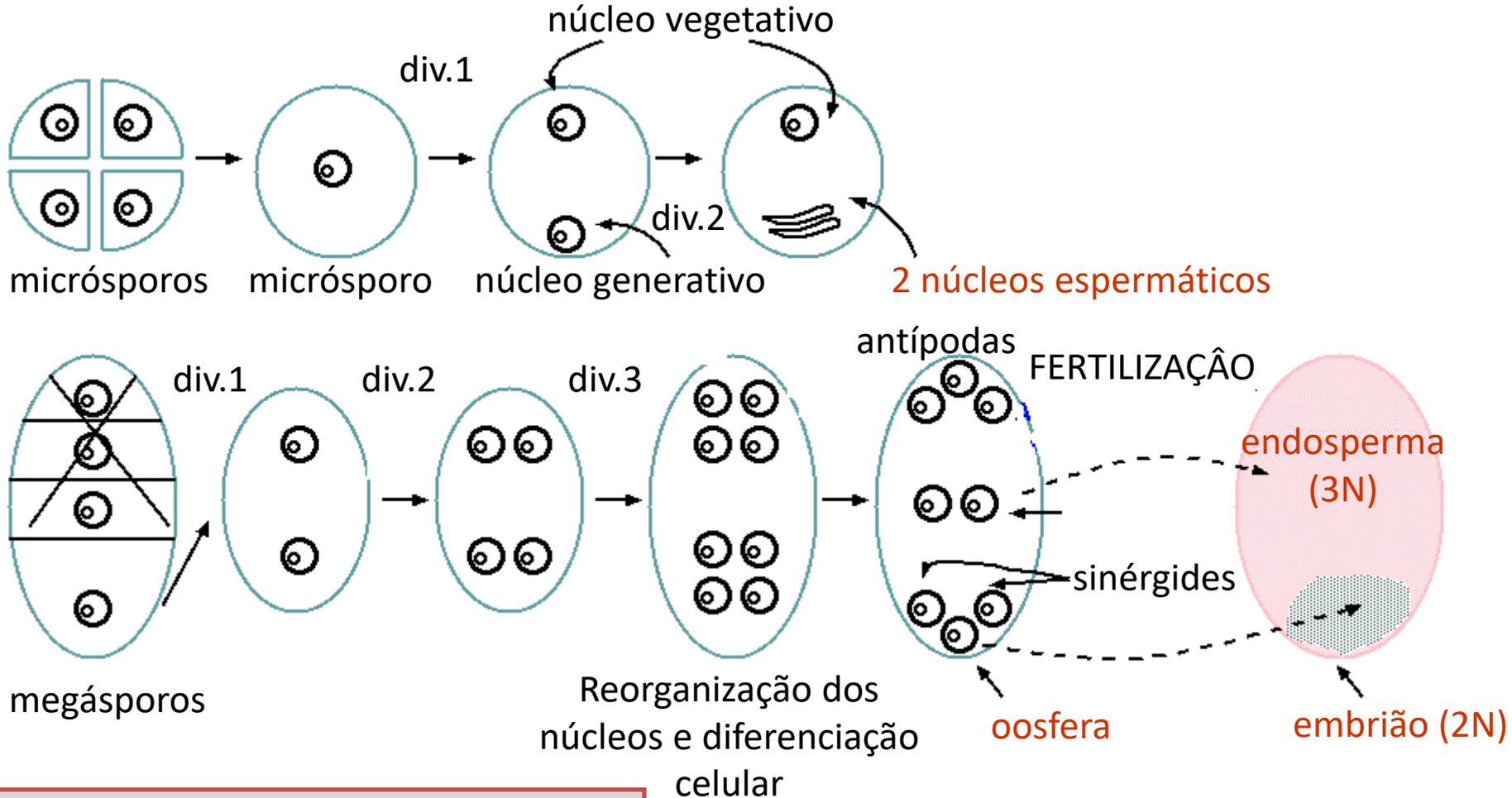
Na fertilização, um **núcleo espermático** se liga à **oosfera**, originando um **embrião $2n$** e o outro **núcleo espermático** se une aos **núcleos polares** formando um **tecido $3n$** , o **endosperma**, que contém substâncias nutritivas para o embrião.

Fecundação após crescimento do tubo polínico



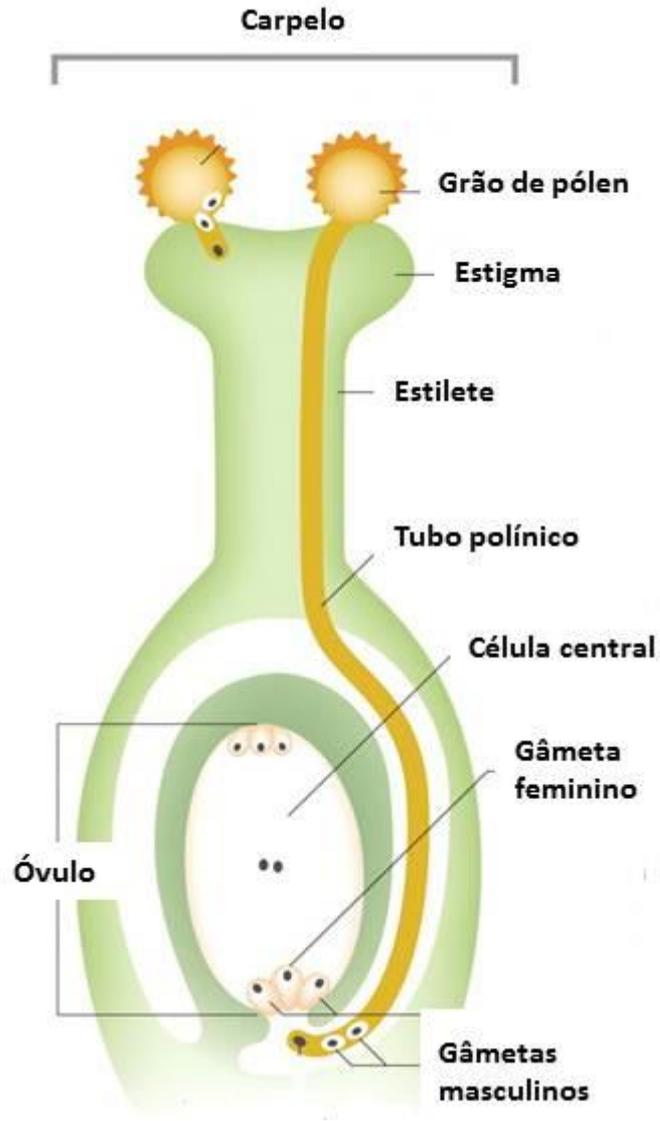
Formação do grão de pólen

DUPLA FERTILIZAÇÃO



Formação do saco embrionário maduro

DUPLA FERTILIZAÇÃO



FORMAÇÃO DO TUBO POLÍNICO

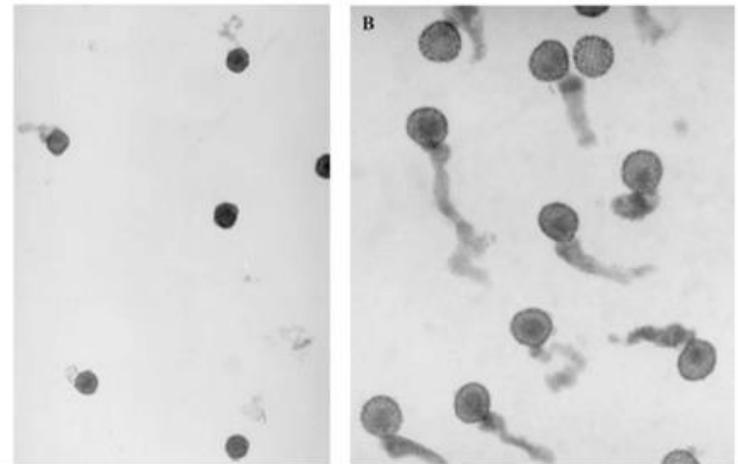
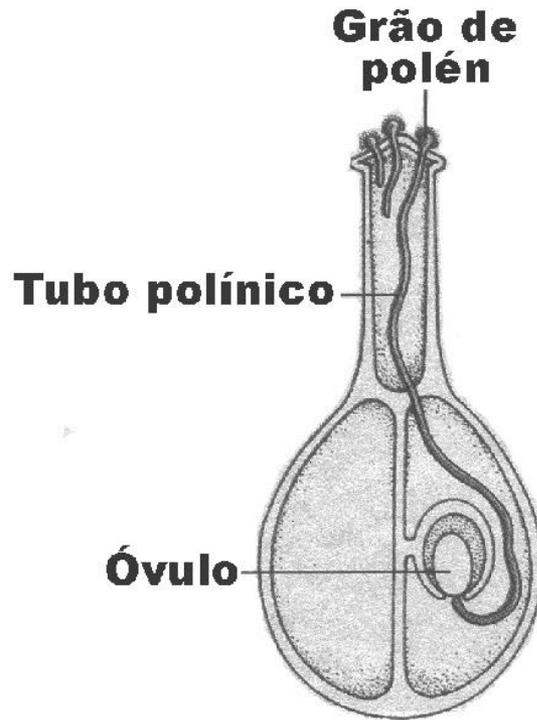
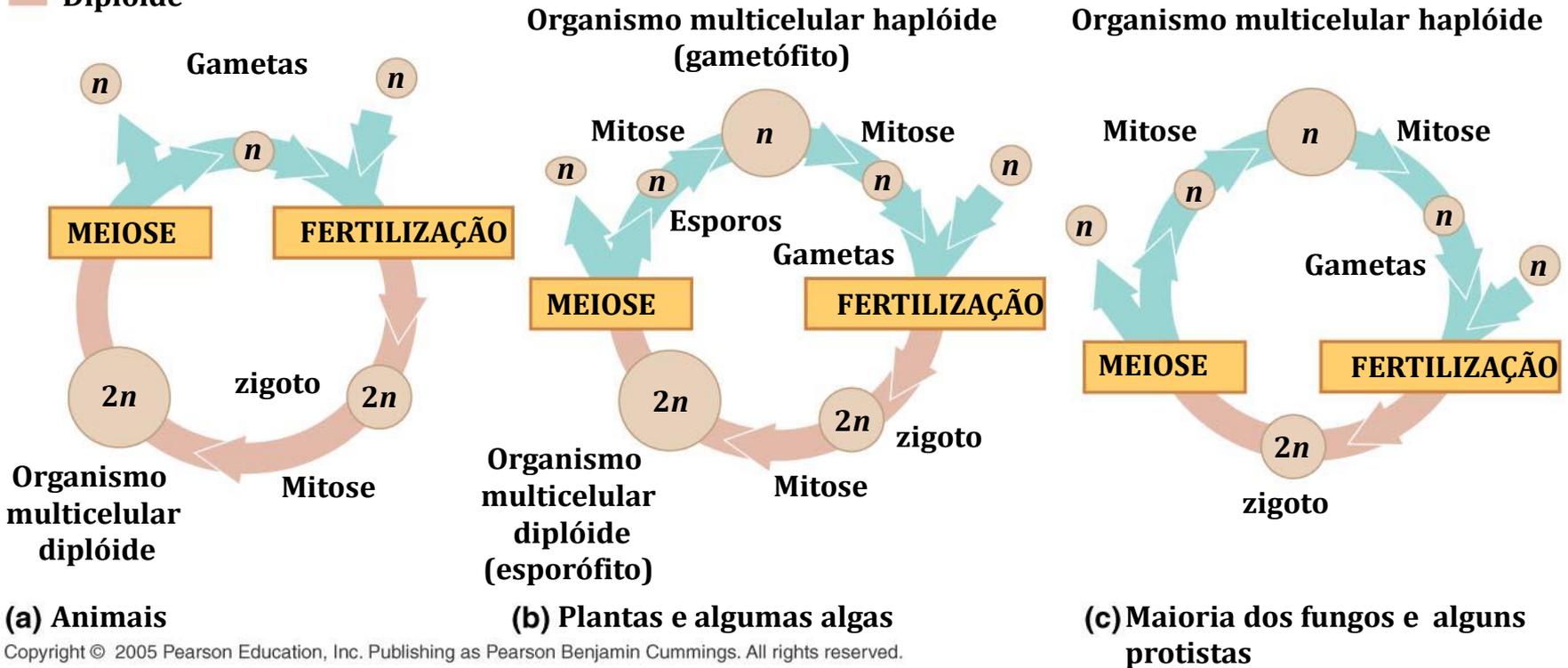


FIGURA 1- Germinação *in vitro* de grãos de pólen. A - *Passiflora suberosa*; B - *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*.

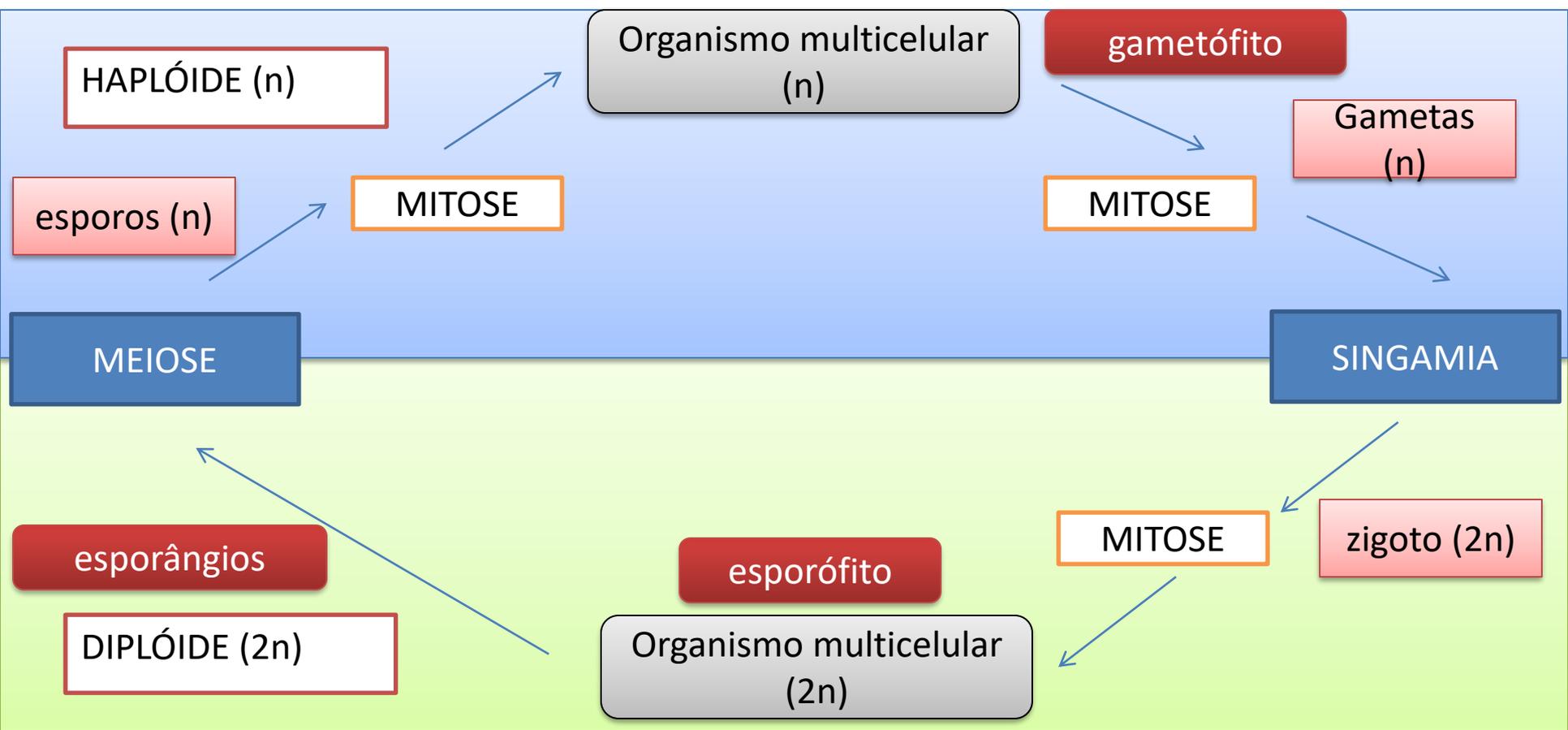
CICLO DE REPRODUÇÃO SEXUADA: MEIOSE E FERTILIZAÇÃO

■ Haploide
■ Diploide



Alternância de geração

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

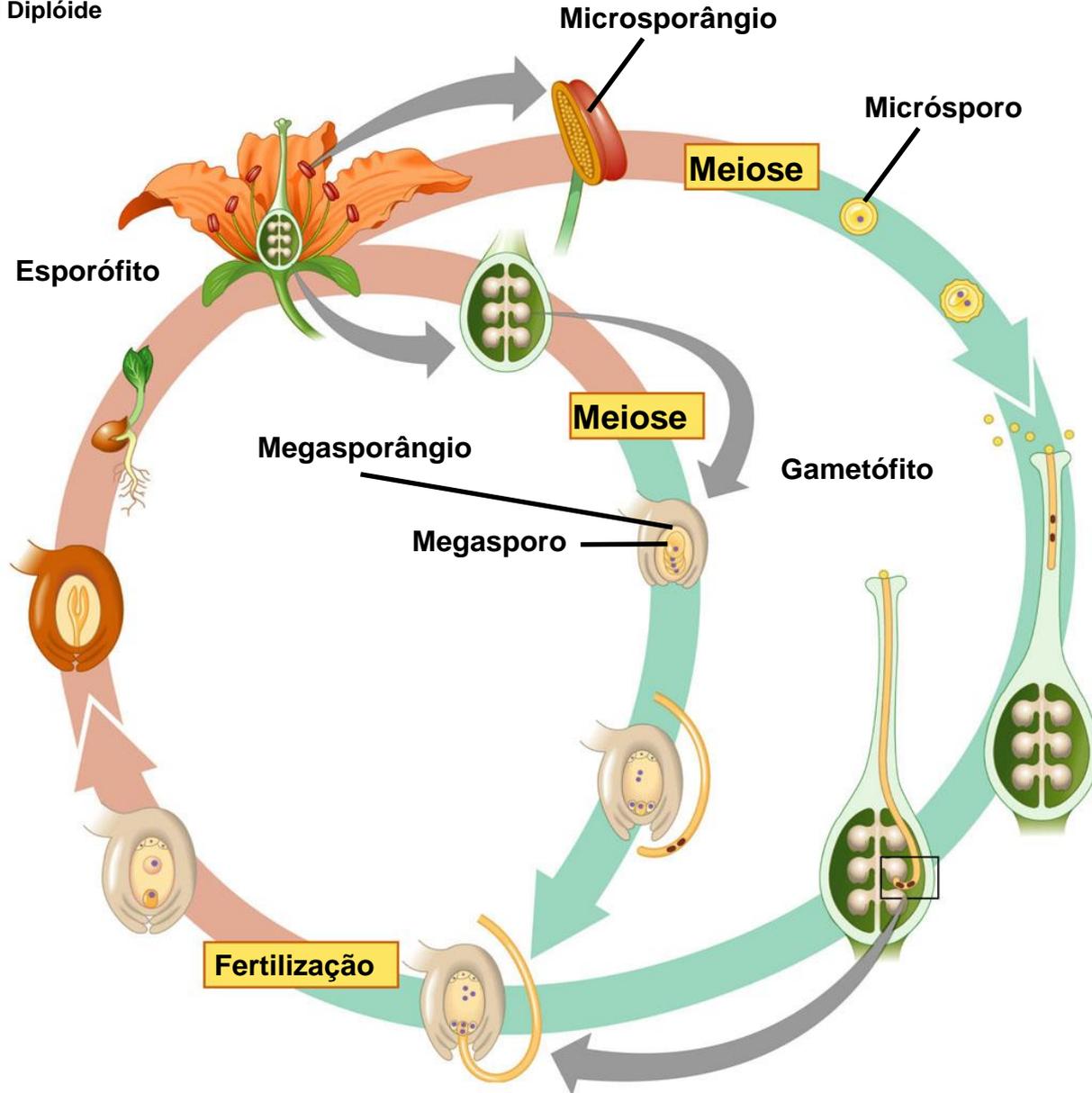


Esporófito a fase diplóide das plantas cujo ciclo de vida apresenta alternância de gerações. O esporófito produz esporângios onde, por meiose, se formam esporos haplóides que dão origem ao gametófito, uma planta haplóide multicelular que irá produzir gâmetas, assegurando assim a reprodução sexual da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

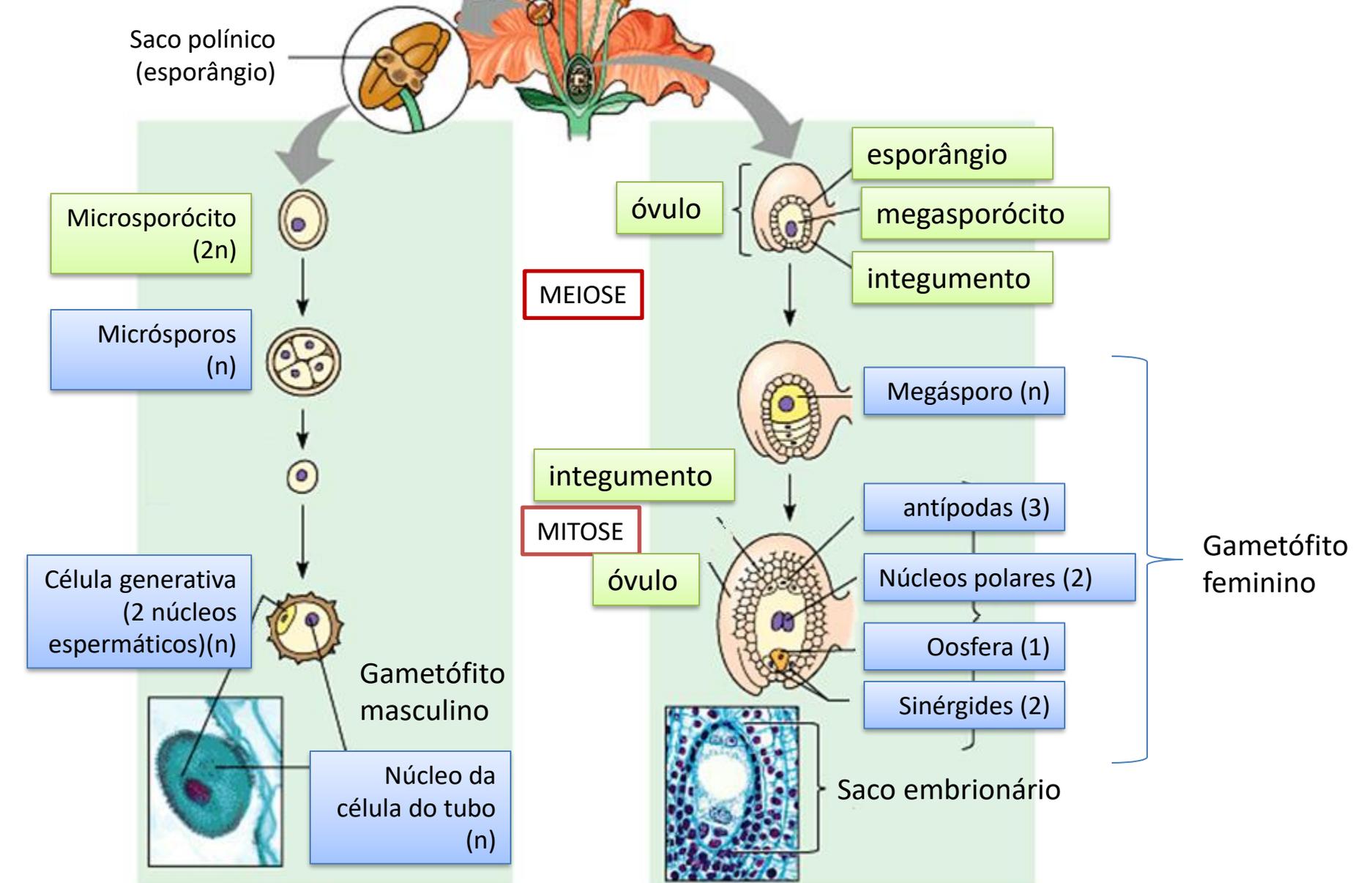
ANGIOSPERMAS

Haplóide
Diplóide



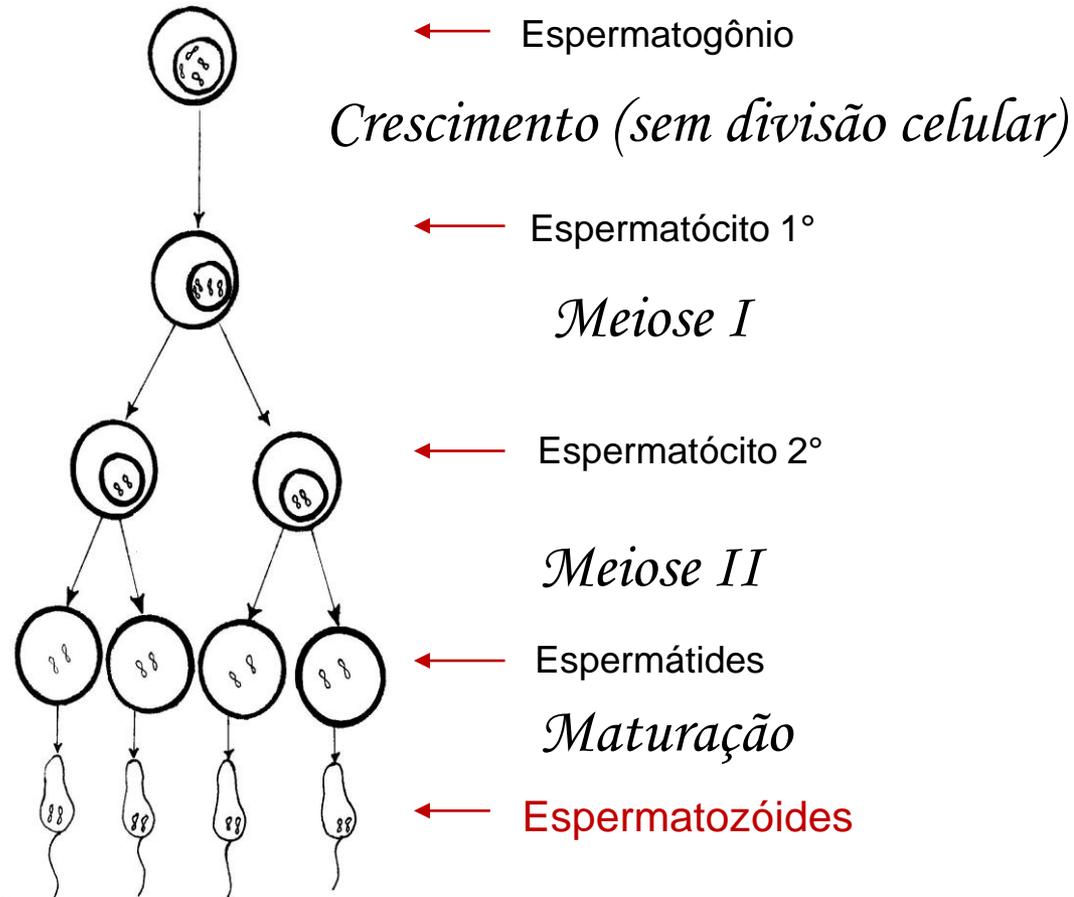
Formação do grão de pólen

Formação do óvulo



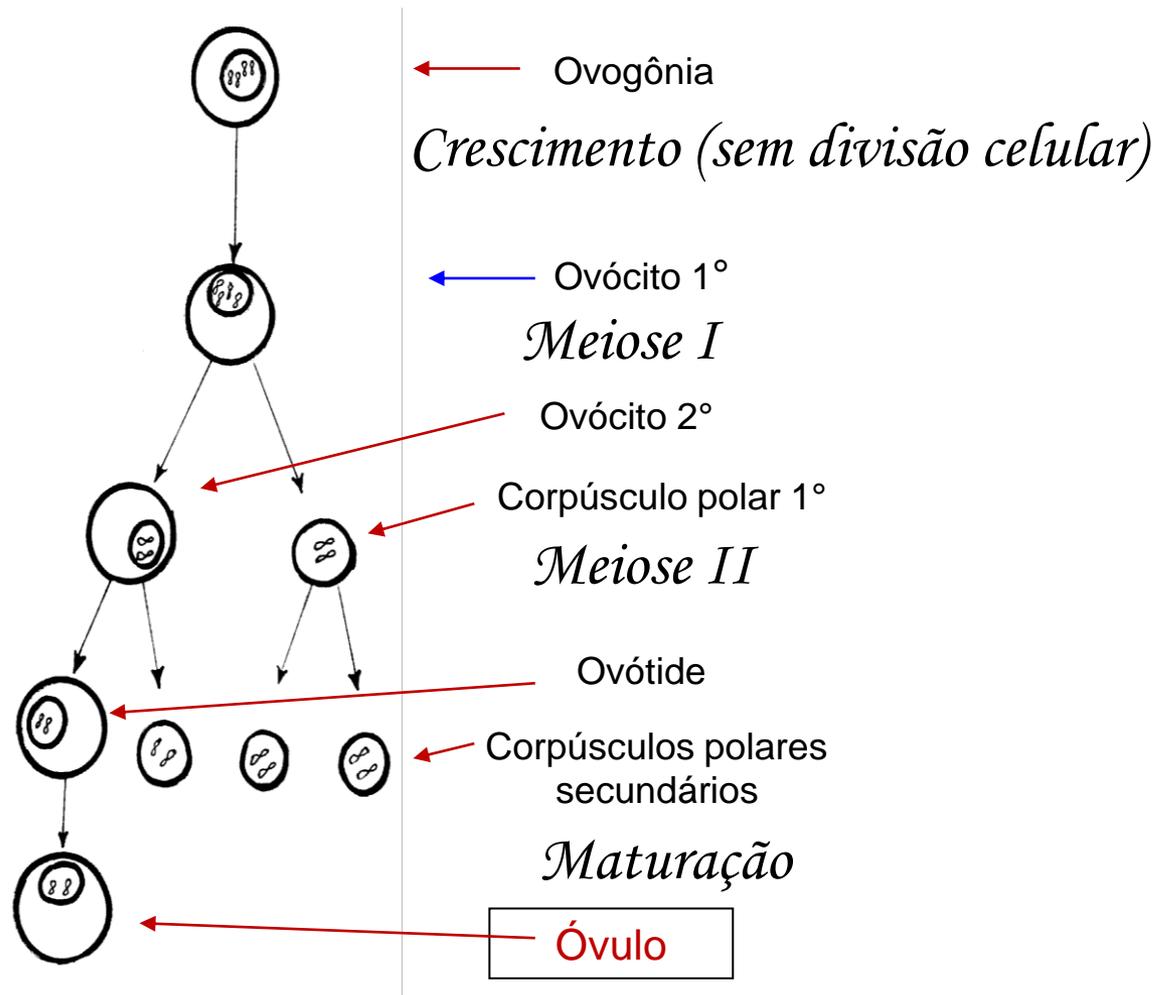
GAMETOGENESE ANIMAL

ESPERMATOGÊNESE



GAMETOGENESE ANIMAL

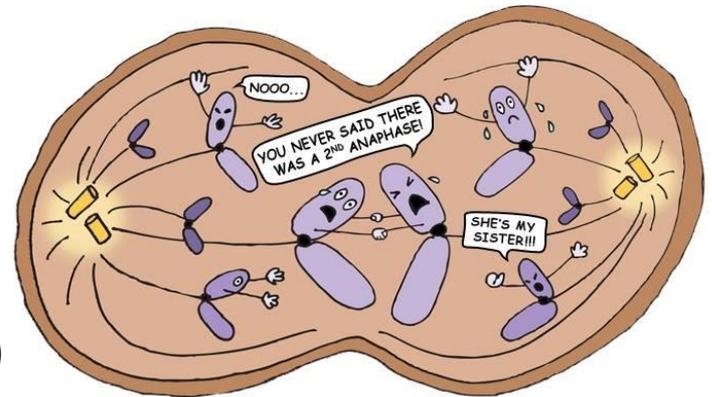
OVOGÊNESE



(Ramalho et al., 2000)

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.