

A fluorescence microscopy image showing a network of cells. The nuclei are stained blue, and the cytoskeleton is stained red. The cells are interconnected, forming a complex, branching structure. The background is black, making the stained structures stand out.

A Vida da Célula:

Uma visão morfológica do ciclo e das divisões celulares

Daniel Aparecido Marassatti

Grazieli Cristina Ramiro

Renato Massaharu Hassunuma

Patrícia Carvalho Garcia

Sandra Heloísa Nunes Messias

canal6 editora

A Vida da Célula:

Uma visão morfológica do ciclo e das divisões celulares

Daniel Aparecido Marassatti

Aluno de Graduação do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista - UNIP, campus Bauru

Grazieli Cristina Ramiro

Aluna de Graduação do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista - UNIP, campus Bauru

Renato Massaharu Hassunuma

Professor Titular do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista - UNIP, campus Bauru

Patrícia Carvalho Garcia

Coordenadora Auxiliar do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista - UNIP, campus Bauru

Sandra Heloísa Nunes Messias

Coordenadora Geral do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista - UNIP

canal6 editora

1ª. Edição / 2021
Bauru, SP

© Renato Massaharu Hassunuma.

Conselho Editorial

PROF.^A DR.^A DANIELA PEREIRA CATANZARO

Doutora em Ciências, área de concentração: Biologia Oral pela Faculdade de Odontologia de Bauru (FOB) - Universidade de São Paulo (USP).

PROF.^A DR.^A VIVIANE RODRIGUES ESPERANDIM SAMPAIO

Doutora em Biociências aplicadas à Farmácia pela Universidade de São Paulo (USP)

Capa e Design

Renato Massaharu Hassunuma

Crédito da figura da capa, contracapa e páginas capitulares

Fonte: Modificada de: National Institutes of Health (NIH). File:HeLa-II.jpg[Internet]. 2011 Apr 28 [acesso 2021 mar 11]. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:HeLa-II.jpg>. Figura registrada em domínio público.

CIP – Brasil. Catalogação na Publicação

M3117a

A vida da célula: uma visão morfológica do ciclo e das divisões celulares / Daniel Aparecido

Marassatti, Grazieli Cristina Ramiro, Renato

Massaharu Hassunuma, Patrícia Carvalho Garcia, Sandra Heloísa Nunes Messias. - Bauru. Canal 6, 2021.

39 f. : il. color

ISBN: 978-65-86030-73-0

1. Ciclo celular. 2. Mitose. 3. Meiose. I. Marassatti, Daniel Aparecido. II. Ramiro, Grazieli Cristina. III. Hassunuma, Renato Massaharu. IV. Garcia, Patrícia Carvalho. V. Messias, Sandra Heloísa Nunes. VI. Título

CDU: 576.3

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos a **Prof. Aziz Kalaf Filho**, Diretor da Universidade Paulista - UNIP, campus Bauru e **Prof. Dr. Paschoal Laércio Armonia**, Diretor do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Paulista – UNIP, pelo apoio fornecido ao **Curso de Biomedicina da Universidade Paulista - UNIP, campus Bauru** no desenvolvimento de eventos, publicações e projetos de extensão.

Agradecemos a **Prof.^a Dr.^a Daniela Pereira Catanzaro** e a **Prof.^a Dr.^a Viviane Rodrigues Esperandim Sampaio** por suas valiosas considerações neste livro.

Daniel Aparecido Marassatti

Grazieli Cristina Ramiro

Prof. Dr. Renato Massaharu Hassunuma

Prof.^a Dr.^a Patrícia Carvalho Garcia

Prof.^a Dr.^a Sandra Heloísa Nunes Messias

Apresentação

Neste livro, tivemos como objetivo principal apresentar as mudanças morfológicas que ocorrem nas células durante as diferentes etapas do ciclo celular. Por meio de ilustrações digitais, criadas pelos próprios autores, são mostradas as alterações nucleares e citoplasmáticas durante cada fase da intérfase, mitose e meiose. Ao lado de cada figura, encontra-se um breve resumo, explicando quais são as principais alterações celulares que podem ser vistas em cada momento da vida da célula.

Sumário

1. Ciclo celular	09
2. Intérfase	10
2.1. Fase G1	11
2.2. Fase S	12
2.3. Fase G2	13
3. Mitose	14
3.1. Prófase	15
3.2. Metáfase	16
3.3. Anáfase	17
3.4. Telófase	18
4. Meiose	19
4.1. Meiose I	20
4.1.1. Prófase I	21
4.1.1.1. Leptóteno	22
4.1.1.2. Zigóteno	23
4.1.1.3. Paquíteno	24
4.1.1.4. Diplóteno	25

4.1.1.5. Diacinese	26
4.1.2. Metáfase I	27
4.1.3. Anáfase I	28
4.1.4. Telófase I	29
4.2. Intercinese	30
4.3. Meiose II	31
4.3.1. Prófase II	32
4.3.2. Metáfase II	33
4.3.3. Anáfase II	34
4.3.4. Telófase II	35
Referências	36

The background of the image is a microscopic view of cells, likely fibroblasts, showing a complex network of cytoskeletal filaments and nuclei. The cells are stained in shades of blue and purple. A white rectangular box with a thin border is positioned on the left side of the image, containing the title and subtitle text.

A Vida da Célula:

Uma visão morfológica do ciclo e das divisões celulares

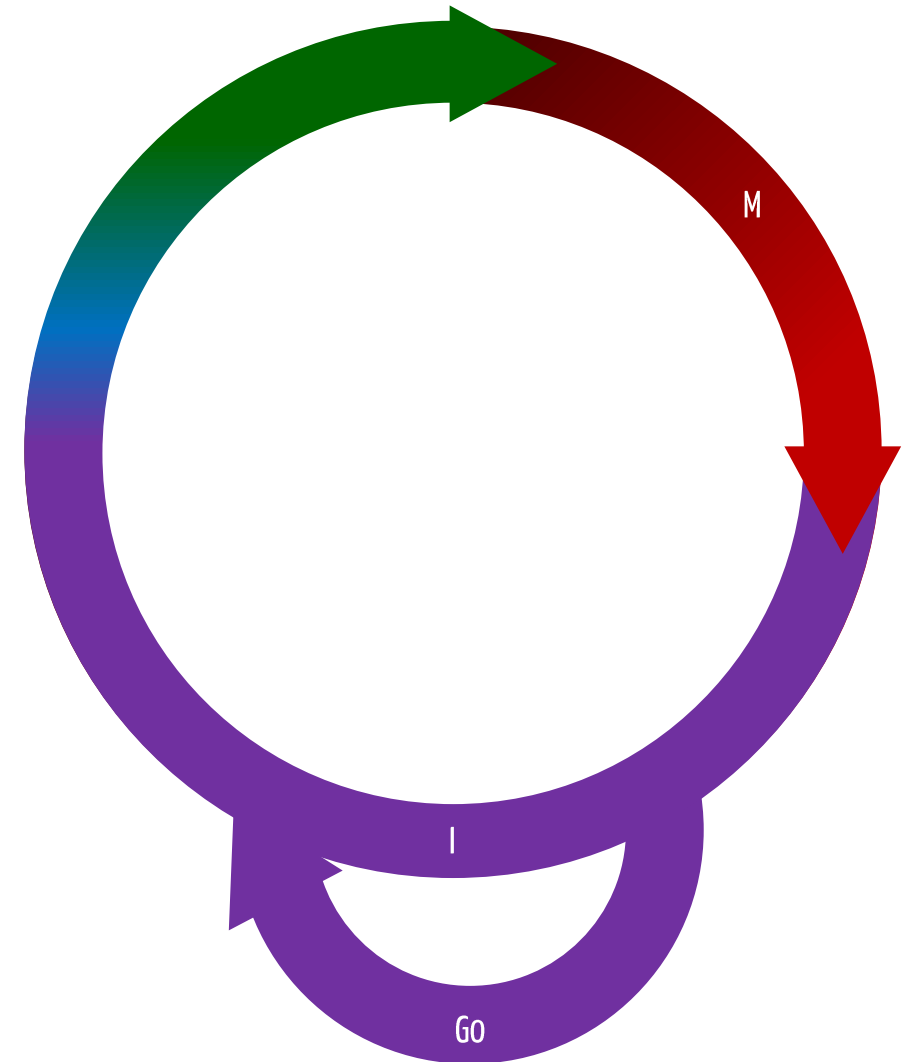
1. Ciclo celular

O ciclo celular é dividido em duas etapas: **intérfase (I)** e **mitose (M)**. A intérfase corresponde ao período entre duas divisões celulares sucessivas e a mitose refere-se à divisão celular propriamente dita (Jordão, Andrade, 2012; Montanari, 2006).

A duração do ciclo celular varia de acordo com a idade da célula, ação de hormônios e fatores de crescimento, temperatura, pressões hidrostática, osmótica e de oxigênio e o ciclo circadiano (Jordão, Andrade, 2012). Também depende do tipo celular, podendo durar de 7 dias em células lábeis (como do epitélio intestinal e medula óssea) a 60 dias em células estáveis (como do fígado, pâncreas e rim). Em células permanentes (como na maioria de neurônios e células musculares cardíacas) não são observadas divisões celulares (Junqueira, 2005).

Em células estáveis e permanentes ou em condições extracelulares desfavoráveis, a célula pode entrar em um estado de repouso denominada fase G₀ (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Veiga-Menoncello, Aguiar Junior, 2013).

O controle do ciclo celular ocorre especialmente em três pontos de verificação (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017), que ocorrem na fase G₁, fase G₂ e anáfase.

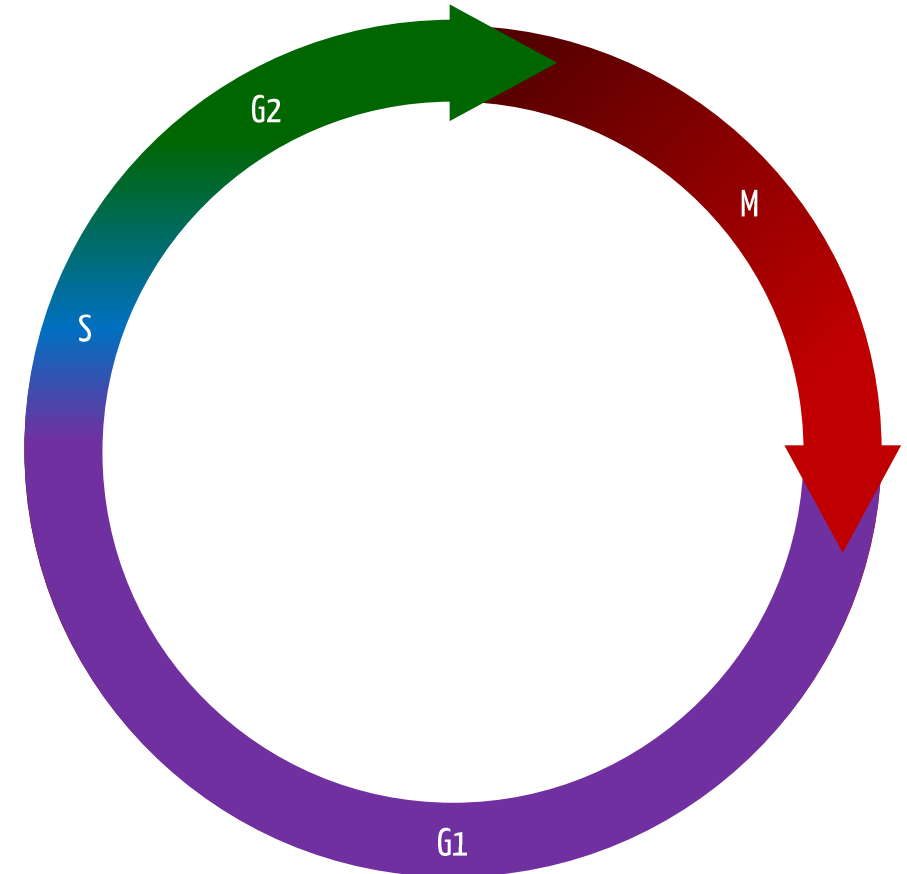


2. Intérfase

A intérfase, também chamada de interfase, frequentemente corresponde a 90% do ciclo celular (Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015a). É subdividida em três períodos distintos: as fases G1, S e G2. A abreviatura G provém do termo inglês *gap*, que significa intervalo. A abreviatura S provém da palavra *synthesis*, que se refere à síntese de DNA (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, 2005; Recco-Pimentel, Veiga-Menoncello, Aguiar Junior, 2013).

A intérfase é um período de intensa atividade celular, ocorrendo não apenas o crescimento celular e duplicação do ácido desoxirribonucleico (DNA), mas também vários mecanismos importantes na regulação do ciclo celular (Jordão, Andrade, 2012).

Em relação à duração dos períodos da intérfase, frequentemente, a fase G1 é a mais longa e com duração variável, enquanto a fase G2 é a mais breve (Young, Lowe, Stevens, Heath, 2007). Assim sendo, em uma célula de intensa proliferação, a fase G1 pode durar 11 horas, a fase S cerca de 8 horas, a fase G2 aproximadamente 4 horas e a mitose apenas 1 hora, num ciclo celular que dura no total 24h (Cooper, Hausman, 2007).



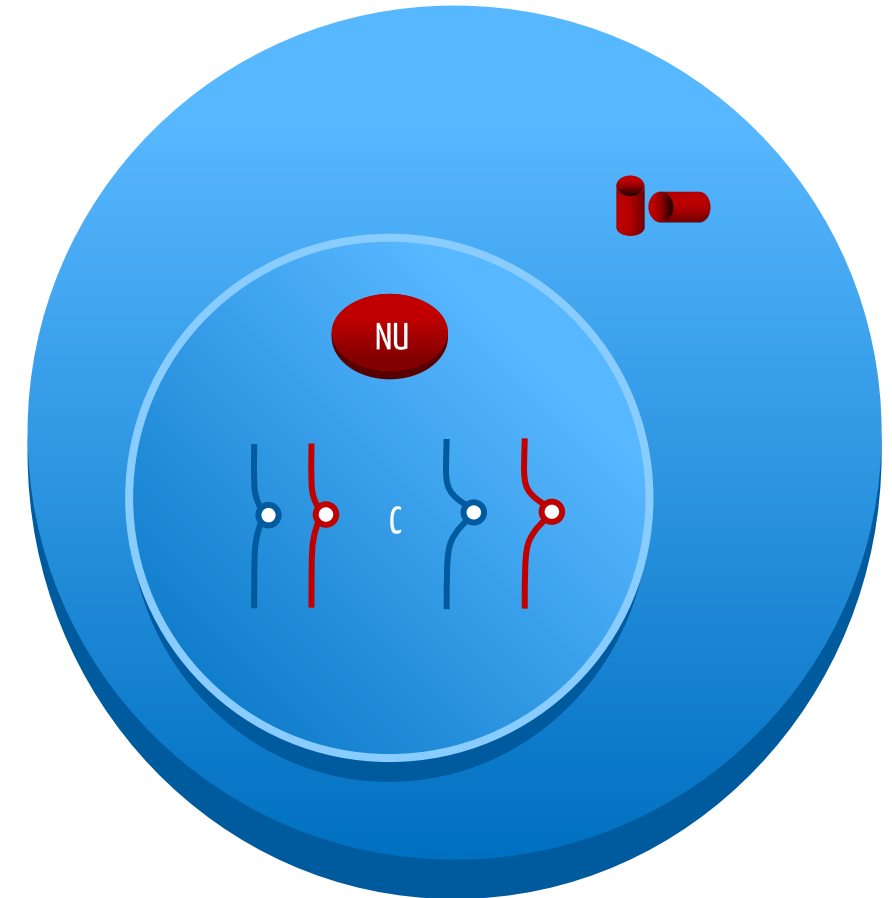
2.1. Fase G1

A fase G1 corresponde à primeira fase da intérfase (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012), quando a célula apresenta cromossomos (C) não duplicados. Ocorre o início da síntese de RNA (especialmente o ribossômico, devido à reorganização do nucléolo (NU), que desaparece durante a mitose) e de proteínas (principalmente enzimas relacionadas à síntese de nucleoproteínas e DNA) (Jordão, Andrade, 2012).

Ocorre também um aumento no volume celular e recuperação do tamanho da célula, que foi reduzido à metade no final da mitose (Junqueira, 2005; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a).

Esta fase apresenta a duração mais variável no ciclo celular (Jordão, Andrade, 2012). Em células humanas de proliferação rápida (cujo ciclo celular dura 24 horas), esta etapa é concluída em 9 horas (Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh et al., 2014).

Antes do final da fase G1, existe o **ponto de restrição**, quando a célula verifica a presença de DNA danificado ou quantidades críticas de proteínas importantes para a fase S (Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a). Nestes casos, a célula atrasa seu progresso no ciclo celular ou segue para a fase G0 (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Cooper, Hausman, 2007).



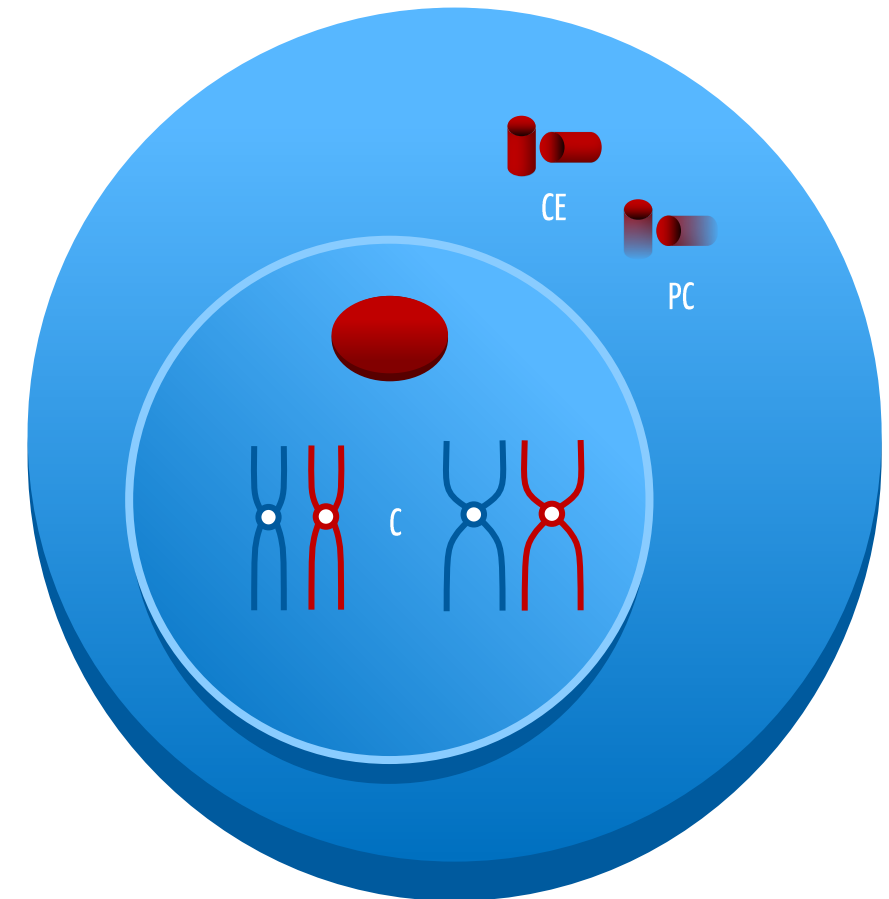
2.2. Fase S

A fase S corresponde à segunda fase da intérfase, sendo caracterizada pela duplicação do DNA (Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a). A replicação do DNA é realizada criteriosamente, no intuito de evitar a transmissão de mutações para a próxima geração de células, o que poderia levar ao aparecimento de neoplasias (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017).

Para que a duplicação dos **cromossomos (C)** ocorra, também é necessário haver a síntese de histonas, que ocorre exclusivamente nesta fase (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012). Assim, ao final da fase S, cada cromossomo é formado por duas cromátides-irmãs (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017).

Neste período, também é iniciada a duplicação dos **centríolos (CE)**, os quais são inicialmente denominados **pró-centríolos (PC)** (Jordão, Andrade, 2012).

Em uma célula humana de proliferação rápida, a fase S dura cerca de 8 horas em um ciclo celular de 24h (Cooper, Hausman, 2007).



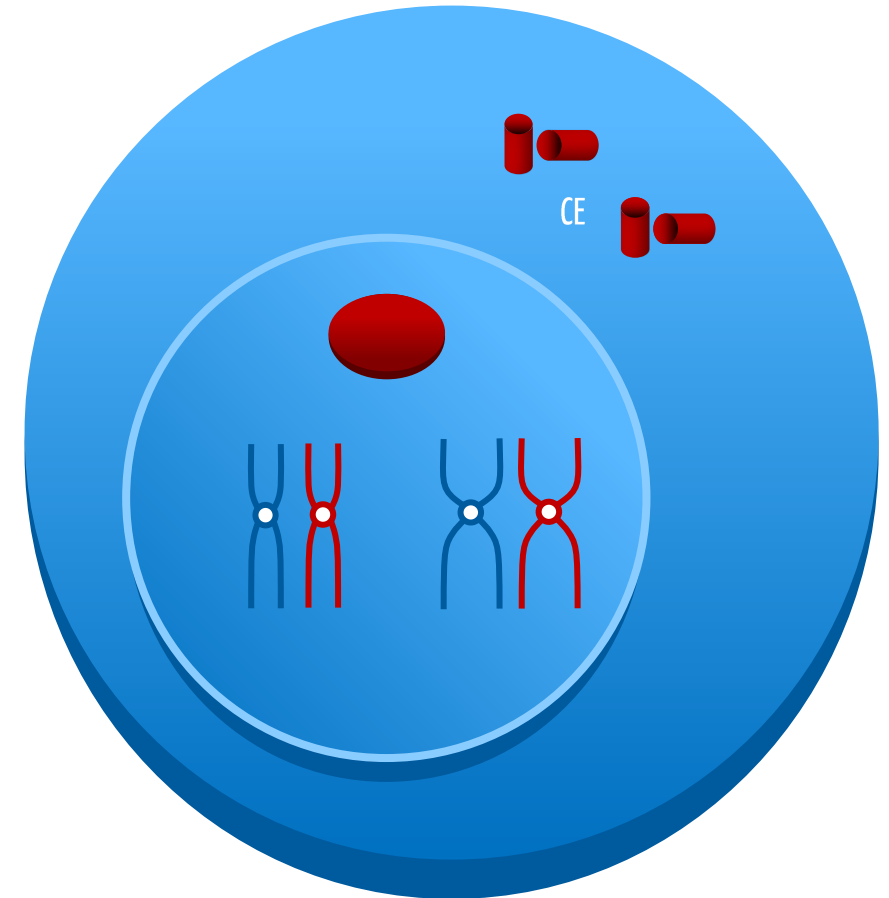
2.3. Fase G2

A fase G2 corresponde à terceira fase da intérfase. Neste período, ocorrem os eventos preparativos para a mitose (Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015a).

Neste período, continua a síntese de nucleoproteínas não histônicas (que irão se associar aos cromossomos durante a sua condensação na mitose) e RNA extranucleolares (Jordão, Andrade, 2012). Também ocorre a produção de proteínas diversas (incluindo a tubulina, que será utilizada posteriormente na produção das fibras do fuso mitótico) (Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a). Estes processos sintéticos serão interrompidos apenas na mitose (Jordão, Andrade, 2012). Nesta fase, é encerrada a duplicação dos centríolos (CE) (Gartner, Hiatt, 2007).

Durante a fase G2, ocorre o segundo ponto de verificação do ciclo celular, que é denominado **ponto de transição G2/M**, que garante que a célula inicie a mitose apenas quando a replicação do DNA estiver completa e todos danos no DNA tenham sido reparados (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Cooper, Hausman, 2007; Jordão, Andrade, 2012).

Em uma célula humana de proliferação rápida, cujo ciclo celular dura 24 horas, a fase G2 ocorre aproximadamente em 4 a 6 horas (Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015a).

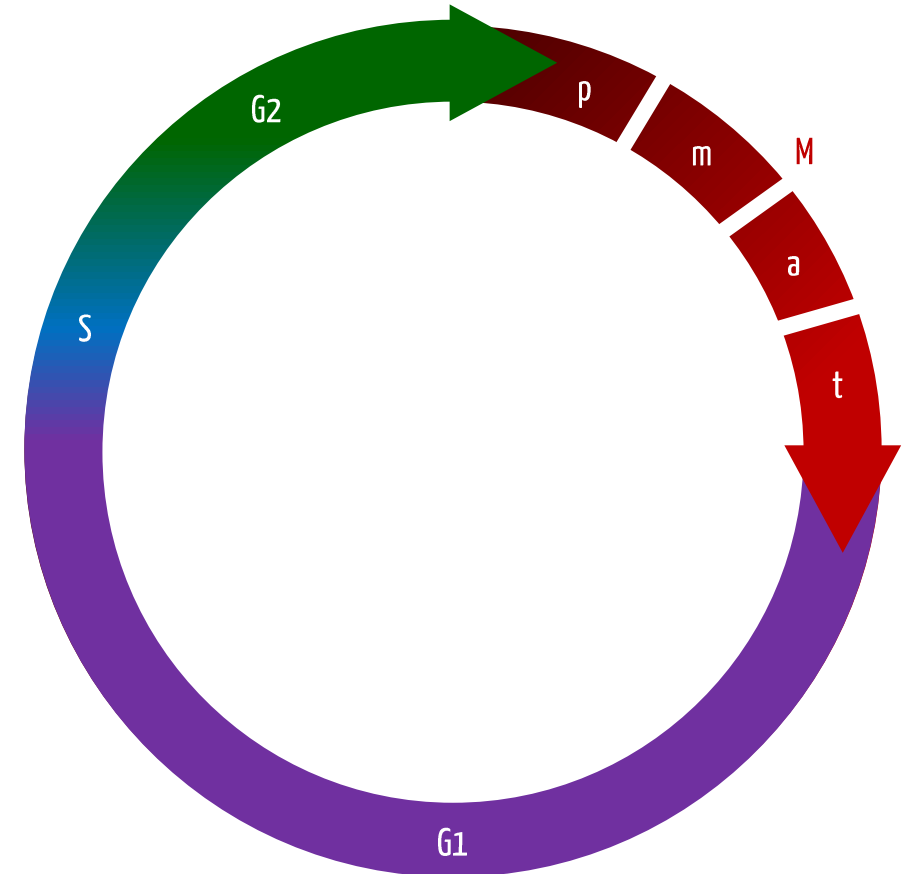


3. Mitose

A mitose (do grego, *mitos*, filamento) (M) corresponde à divisão celular, onde uma célula-mãe se divide em duas células-filhas diploides, as quais recebem, cada uma, um conjunto de cromossomos de número igual ao da célula-mãe (Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a; Montanari, 2006; VanPutte, Regan, Russo, Seeley, Stephens, Tate, 2016). Os demais componentes celulares também são divididos igualmente entre as células-filhas (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017). Assim sendo, durante a mitose ocorre a divisão do material genético (por um processo denominado cariocinese) e a divisão do conteúdo citoplasmático (por um processo denominado citocinese) (Gartner, Hiatt, 2007). Este tipo de divisão celular tem como objetivos principais: repor células mortas e permitir o crescimento de organismos pluricelulares (Dias, Maluf, 2011).

A mitose é classicamente dividida em quatro etapas: **prófase (p)**, **metáfase (m)**, **anáfase (a)** e **telófase (t)** (Cooper, Hausman, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Montanari, 2006).

Em uma célula humana, a mitose ocorre em aproximadamente uma hora (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015a).

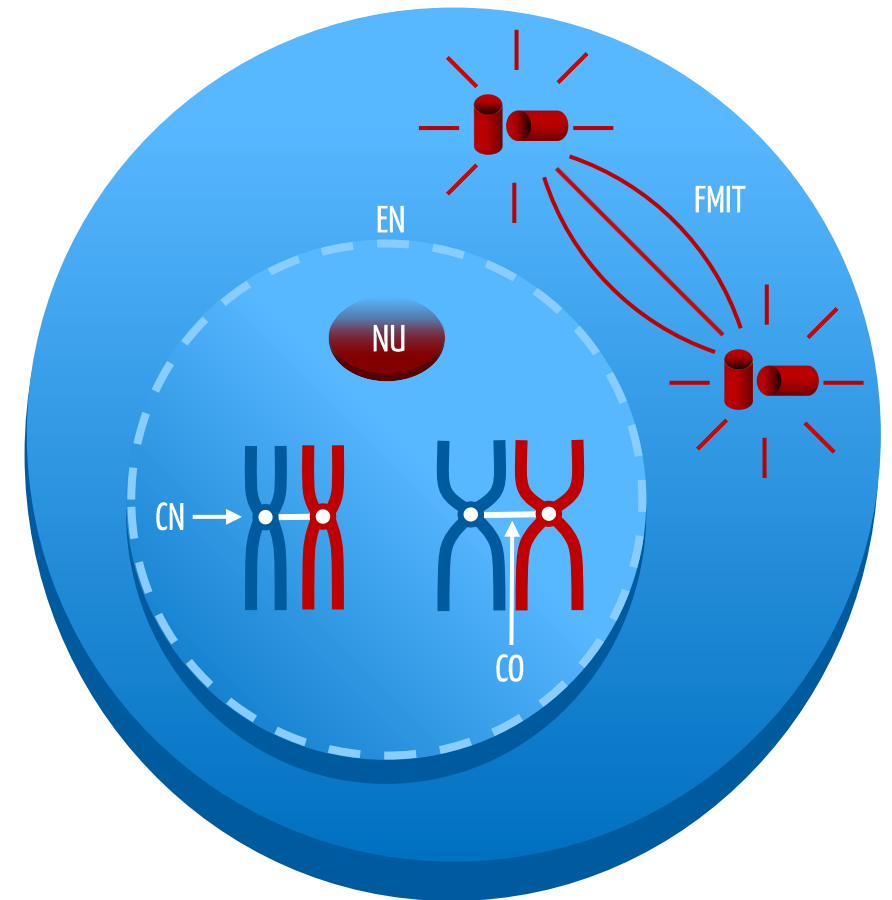


3.1. Prófase

Na prófase (do grego, *pro*, primeira), ocorre a condensação gradual da cromatina (Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a), que passa a ser observada de forma individualizada em microscopia óptica e com duas cromátides unidas por meio de coesinas (CO) na região dos centrômeros (CN). Com a interrupção da síntese de RNA ribossômico, inicia-se a desorganização do nucléolo (NU) (Jordão, Andrade, 2012).

Nos centrossomos, os centríolos iniciam a síntese das **fibras do fuso mitótico (FMIT)** com a síntese de microtúbulos a partir da tubulina. Com a produção das fibras do fuso, os dois pares de centríolos começam a se separar e migram em direção aos polos celulares (Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a). Na região dos centrômeros, é formada um centro de síntese de microtúbulos, denominado **cinetócoro**. Os centrossomos e as fibras radiais mais curtas compõem uma região denominada **áster** (*aster*, estrela), que caracteriza a mitose astral em células animais (Jordão, Andrade, 2012).

A fosforilação de proteínas dos complexos de poro e lâmina nuclear causam a desorganização da carioteca ou **envoltório nuclear (EN)**, formando vesículas dispersas no citoplasma (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a).



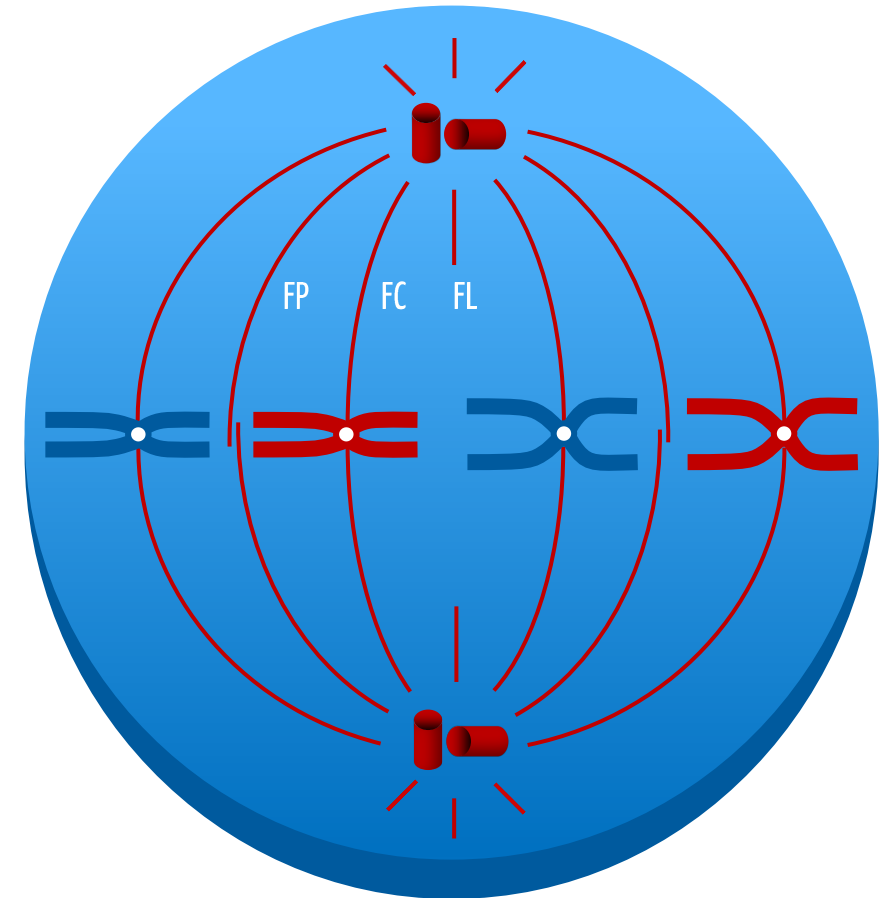
3.2. Metáfase

Na metáfase (do grego, *meta*, metade), os cromossomos encontram-se em seu grau máximo de condensação, permitindo a visualização das duas cromátides ao microscópio óptico (Jordão, Andrade, 2012).

O envoltório nuclear desaparece, os cromossomos são dispostos no citoplasma, permanecendo alinhados na região equatorial da célula, formando a placa metafásica (Jordão, Andrade, 2012; Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh et al., 2014).

Os centríolos estão dispostos nos polos celulares. As fibras do fuso mitótico formam dois hemifusos, organizados em três grupos: os **microtúbulos polares (FP)** que partem dos centrossomos e se interdigitam no equador celular, os **microtúbulos cinetocóricos (FC)** que se ligam aos cinetócoros dos cromossomos e os **microtúbulos livres ou astrais (FL)** que são mais curtos e de função desconhecida (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012; Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015a).

Os microtúbulos cinetocóricos são responsáveis pelo posicionamento dos cromossomos no equador celular (Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a).



3.3. Anáfase

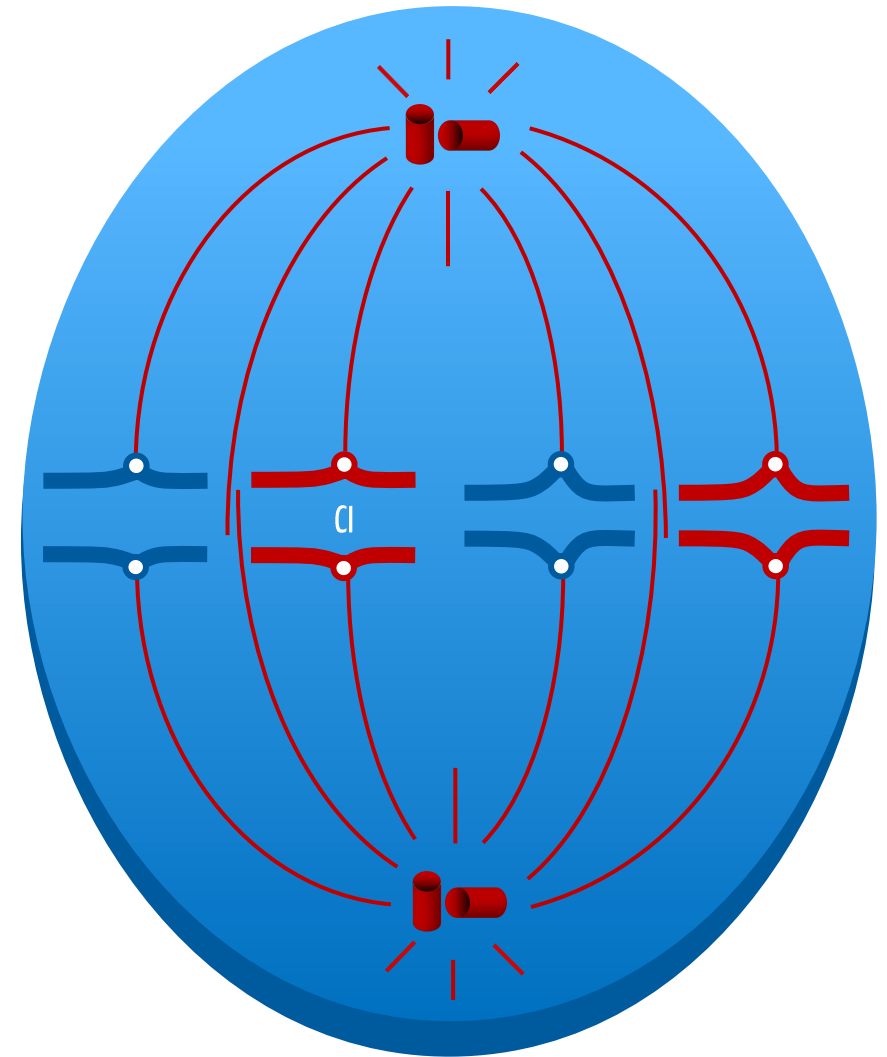
Na anáfase (do grego, *ana*, movimento), cada cromossomo é separado em duas **cromátides-irmãs (CI)**, também chamadas de cromossomos-filhos, que migram em direção aos polos celulares (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012).

A separação das cromátides-irmãs decorre da ação da **separase**, que degrada as **coesinas** (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012).

Durante a migração dos cromossomos-filhos para os polos celulares, ocorre um processo denominado **anáfase A**, que corresponde ao encurtamento dos microtúbulos cinetocóricos (que tracionam as cromátides em direção aos centrossomos); e a **anáfase B** caracterizada pelo alongamento dos microtúbulos polares (que distanciam os polos celulares) (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012).

A despolimerização dos microtúbulos ocorre junto cinetócoro, enquanto os cromossomos-filhos caminham ao longo dos microtúbulos (Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015a).

Na anáfase ocorre o **ponto de verificação da formação do fuso**, quando é checado o alinhamento de todos os cromossomos (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Cooper, Hausman, 2007).

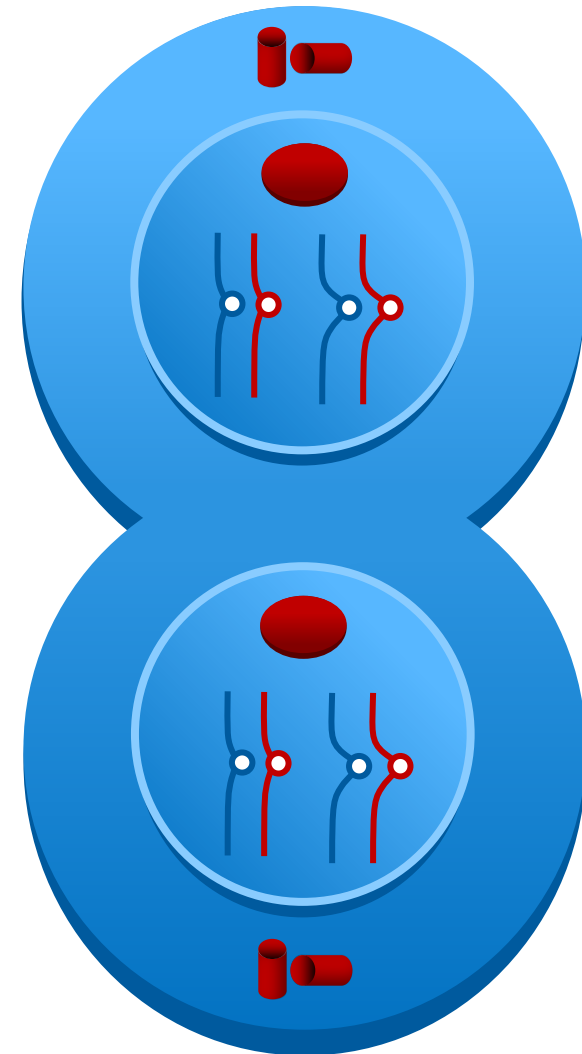


3.4. Telófase

Na telófase (do grego, *telos*, fim), ocorre a reorganização do núcleo, por meio da reconstituição do envoltório nuclear, que decorre da: 1) fusão de vesículas originadas da degradação do envoltório nuclear no final da prófase, 2) fosforilação dos filamentos da lâmina nuclear (Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a) e 3) incorporação dos complexos de poro à carioteca (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012).

Nesta etapa, ocorre também a descondensação dos cromossomos-filhos, a reorganização do nucléolo e a desorganização das fibras do fuso mitótico (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012).

A divisão citoplasmática, também conhecida como citocinese, se inicia no final da anáfase. Em células animais, ocorre na região do equador celular por meio de um anel contrátil, formado a partir da interação entre a actina e a miosina (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017a; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015a).



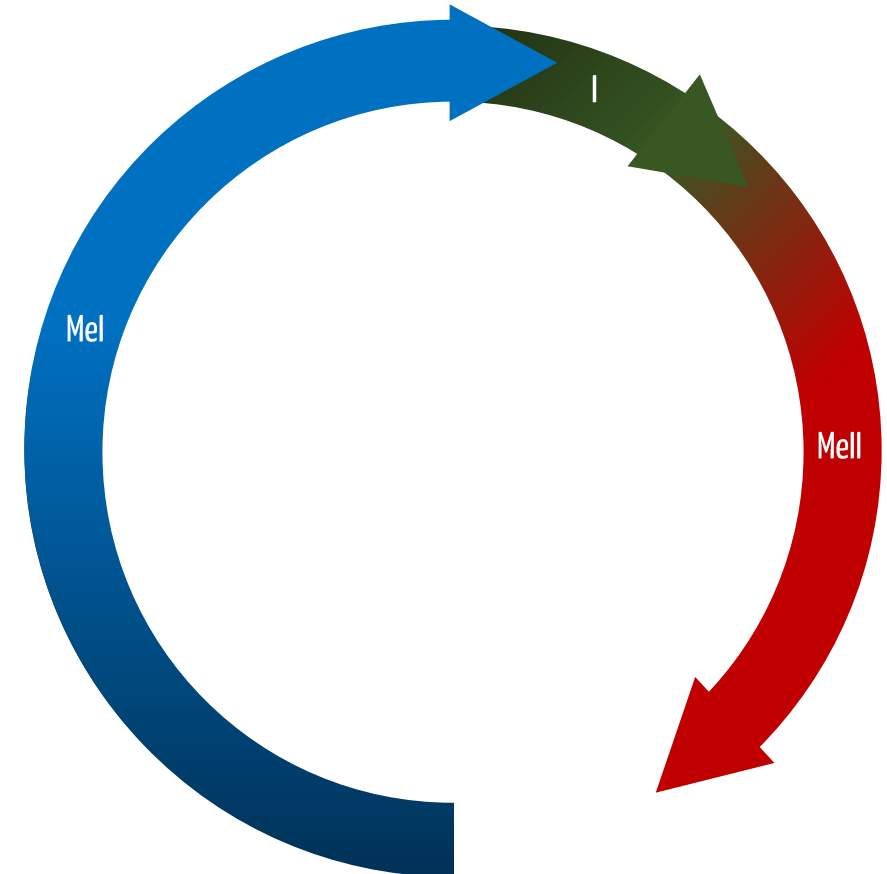
4. Meiose

Na meiose (do grego, *meion*, redução), ocorre a redução do número de cromossomos pela metade, sendo originadas células-filhas haploides (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012; Cooper, Hausman, 2007).

Em humanos, a meiose ocorre apenas nas gônadas, mais especificamente nas células germinativas, durante a formação dos gametas. Durante a fecundação, ocorre a fusão dos gametas masculino e feminino. Desta forma, a meiose possibilita que o zigoto, formado a partir da fertilização, possua o número de cromossomos de sua espécie (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).

Durante a meiose, ocorrem duas divisões celulares: **meiose I** ou **primeira divisão meiótica (MeI)** e **meiose II** ou **segunda divisão meiótica (MeII)** (Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013). Entre elas, existe um período denominado **intercinese (I)** (Jordão, Andrade, 2012).

Este tipo de divisão celular é relativamente demorado, levando aproximadamente 24 dias para ocorrer em homens, e podendo levar até décadas para ser completadas em mulheres (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017).

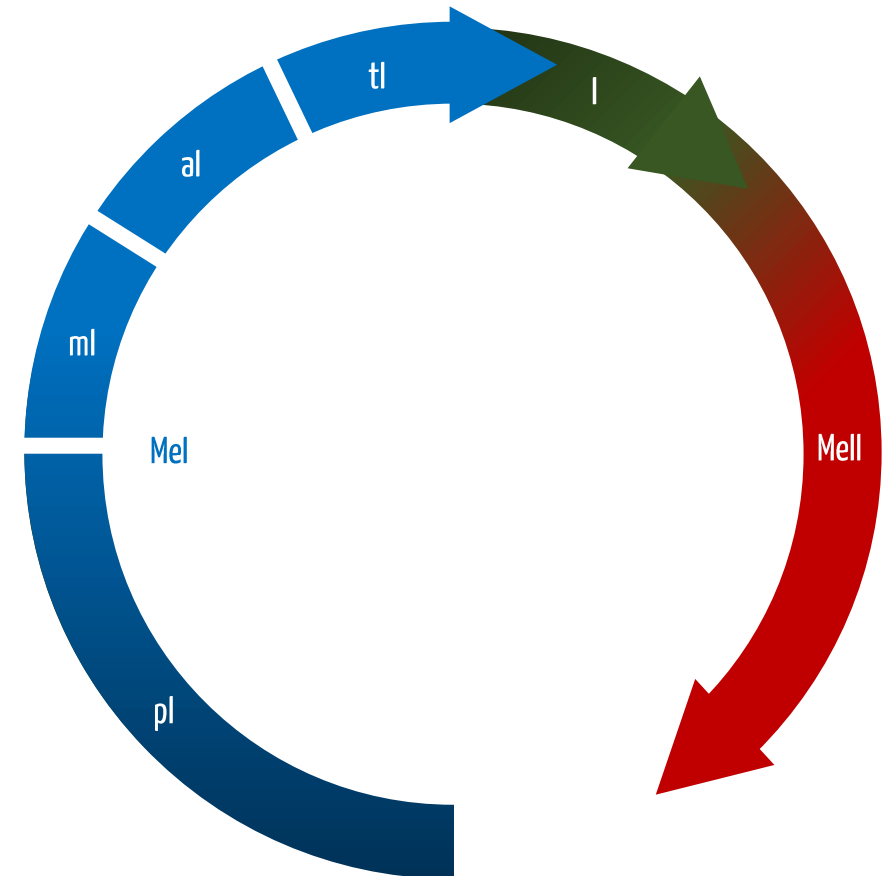


4.1. Meiose I

Na meiose I, também chamada de primeira divisão meiótica ou meiose reducional (Dias, Maluf, 2011; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013; Jordão, Andrade, 2012), ocorre a separação dos cromossomos homólogos, ou seja, de origem paterna e materna. É dividida em: prófase I (pI), metáfase I (mI), anáfase I (aI) e telófase I (tI) (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012).

Em mulheres, a meiose I, como parte da ovogênese, inicia-se nos folículos ovarianos primários por volta do terceiro a quinto mês de vida intrauterina. Antes do sétimo mês, as células germinativas estacionam na prófase I, permanecendo nesta fase até a puberdade (ao redor dos 12 anos de idade), quando a meiose é retomada. Por este motivo, a prófase I dura anos nas mulheres. A ovogênese continua até os 45 a 50 anos de idade, quando inicia-se a menopausa (Jordão, Andrade, 2012 ; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017c).

Nos homens, a meiose, como parte da espermatogênese, tem início apenas por volta dos 12 anos de idade e prossegue durante toda a vida (Jordão, Andrade, 2012). Nos homens, a meiose I é concluída em cerca de 24 dias (Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017b).



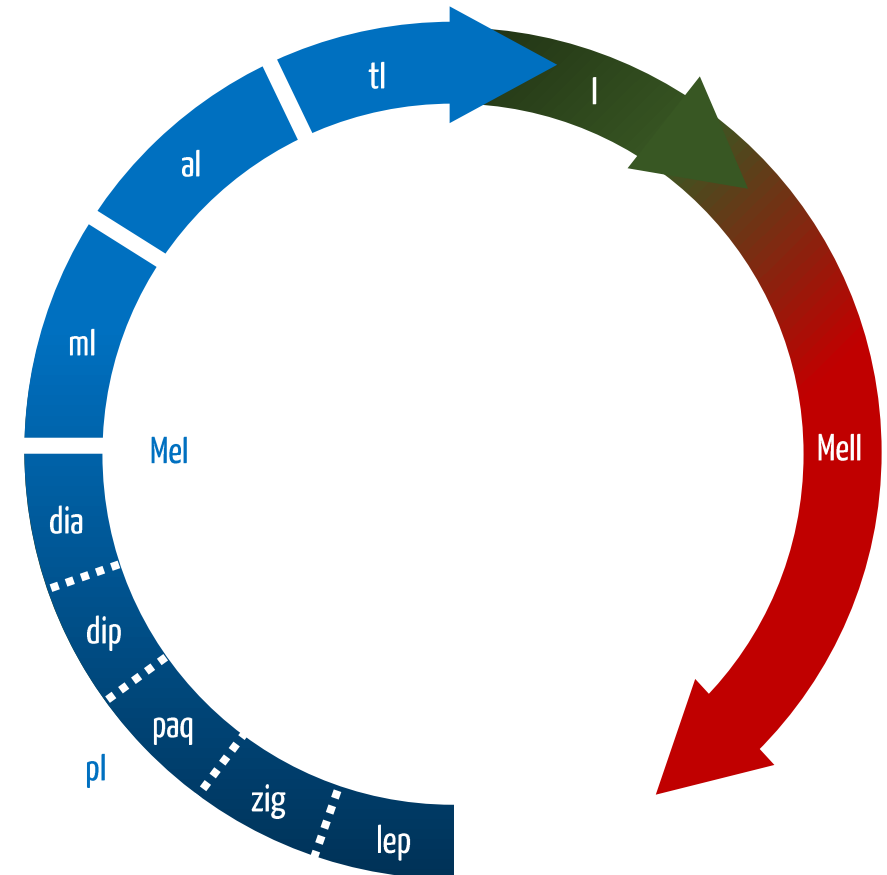
4.1.1. Prófase I

Na prófase I, corresponde à etapa mais longa da meiose, pois é quando ocorrem importantes eventos biológicos que serão descritos nos próximos capítulos.

Esta etapa é dividida em 5 fases: leptóteno (lep), zigóteno (zig), paquíteno (paq), diplóteno (dip) e diacinese (dia) (Cooper, Hausman, 2007; Dias, Maluf, 2011; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013).

Em mulheres, a prófase I ocorre em células da linha germinativa denominadas ovócitos primários (localizados no interior de folículos ovarianos primordiais) a partir do terceiro mês de vida intrauterina da mulher. Porém, esta fase é estacionada no diplóteno e só é retomada na puberdade (Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017b).

Nos homens, a prófase I inicia-se na puberdade, por volta dos 12 anos de idade. Ocorre em células da linhagem germinativa denominadas espermatócitos primários presentes nos túbulos seminíferos localizados nos testículos. Dura aproximadamente 22-24 dias (Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017c).



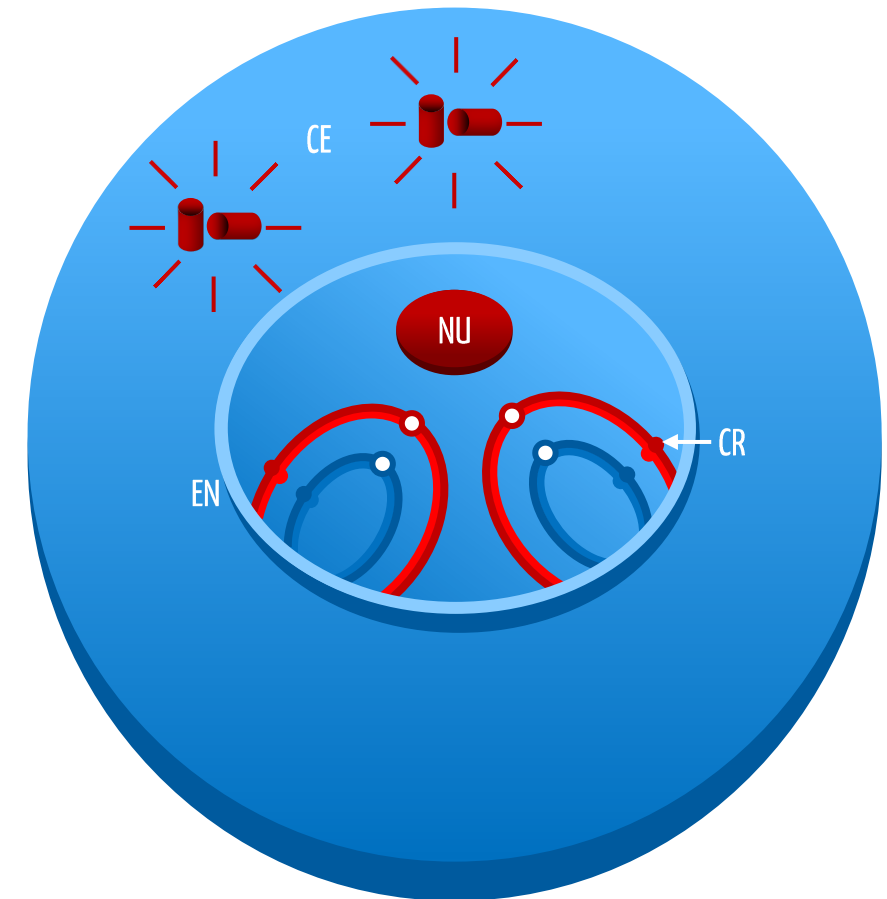
4.1.1.1. Leptóteno

No leptóteno (do grego, *leptos*, delgado e *tainia*, fita) ou leptonema (do grego, *nema*, filamento) (Dias, Maluf, 2011), os cromossomos duplicados na intérfase começam a se condensar. As cromátides-irmãs estão unidas por meio de estruturas filamentosas denominadas núcleos axiais (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012). Assim, ao microscópio óptico, o cromossomo duplicado é observado como um filamento único (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Dias, Maluf, 2011; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013).

As extremidades dos núcleos axiais dos cromossomos estão presas ao **envoltório nuclear (EN)** em uma região do núcleo, formando uma estrutura denominada buquê, que é observada ao microscópio óptico apenas no zigóteno (Jordão, Andrade, 2012; Zicker, Kleckner, 1998).

Ao longo da cromatina são observados alguns pontos com maior condensação denominados **cromômeros (CR)**, que se encontram na mesma posição em cromossomos homólogos (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012).

Também são observados dois pares de **centríolos (CE)**, que foram duplicados durante a intérfase, e o **nucléolo (NU)** (Jordão, Andrade, 2012).

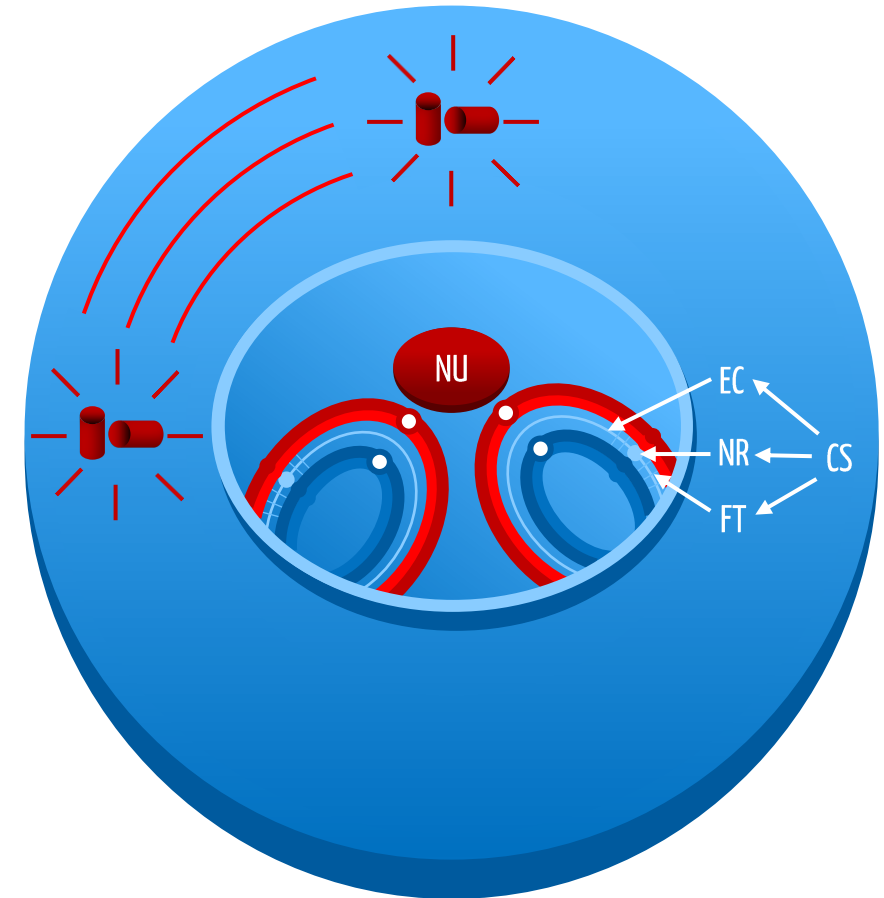


4.1.1.2. Zigóteno

No zigóteno (do grego, *zygós*, laço ou união e *tainia*, fita) (Jordão, Andrade, 2012) ou zigonema (do grego, *nema*, filamento) (Dias, Maluf, 2011), os cromossomos continuam a se condensar e inicia-se a sinapse (processo de aproximação e união dos pares de cromossomos) (Jordão, Andrade, 2012). A sinapse inicia-se na região dos cromômeros, por meio do **complexo sinaptotênico (CS)** (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Cooper, Hausman, 2007; Jordão, Andrade, 2012).

Os complexos sinaptotênicos mantêm os cromossomos homólogos unidos e é formado por: a) **filamentos transversais (FT)**, que se unem aos elementos laterais (que no leptóteno eram denominados núcleos axiais), b) **elemento central (EC)**, que une os filamentos transversais de cada cromossomo homólogo, e c) **nódulo de recombinação (MR)**, que será descrito posteriormente. Os cromossomos homólogos permanecem a uma distância de 150 a 200 nm (Jordão, Andrade, 2012) e seu pareamento resulta na formação das **tétrades** ou **bivalentes** (conjunto formado por quatro cromátides) (Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013).

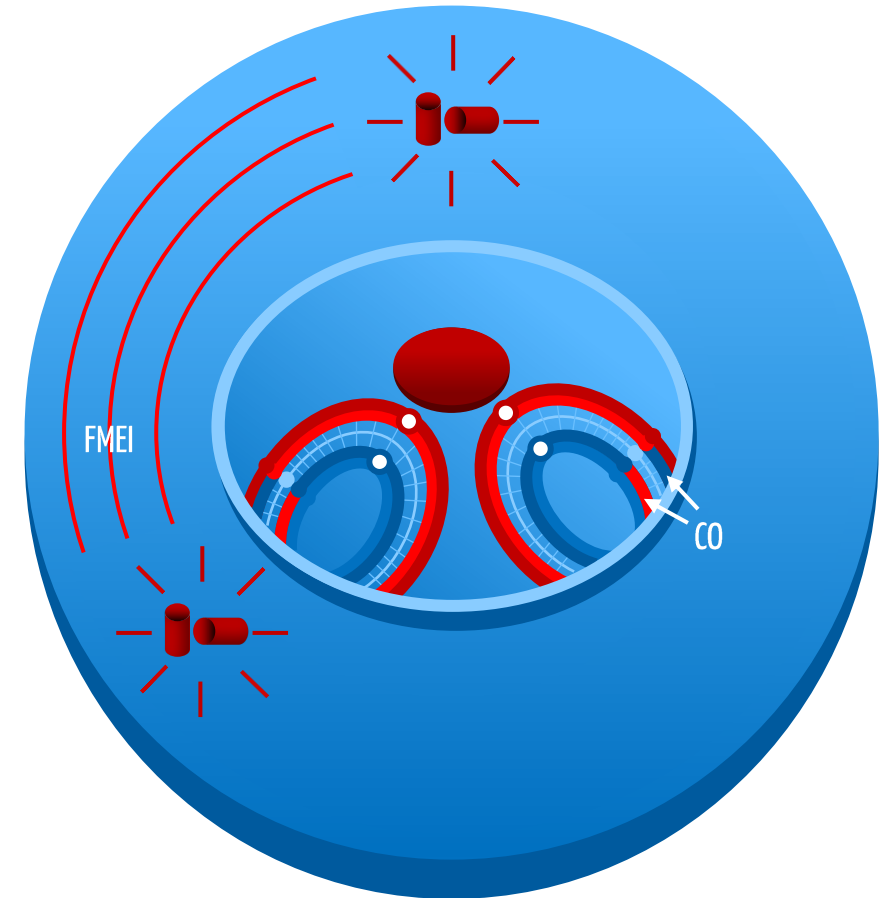
Os centríolos iniciam a síntese das **fibras do fuso meiótico (FMEI)** (Jordão, Andrade, 2012). O **nucléolo (NU)** migra da região central do núcleo para a região onde se forma o buquê (Zicker, Kleckner, 1998).



4.1.1.3. Paquíteno

No paquíteno (do grego, *pachys*, espesso e *tainia*, fita) (Jordão, Andrade, 2012) ou paquinema (do grego, *nema*, filamento) (Dias, Maluf, 2011), os cromossomos homólogos estão mais espessos (Montanari, 2006; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013) e são unidos por sinapse ao longo de todo seu comprimento (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017).

É nesta fase que ocorre o *crossing-over*, permuta ou recombinação genética (CO), que corresponde à troca de segmentos de DNA entre os cromossomos homólogos. Esta troca de genes garante a variabilidade genética da espécie (Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012) e ocorre em pelo menos uma região de cada par de cromossomos (Jordão, Andrade, 2012). Se ocorrer em múltiplas regiões, as mesmas serão espaçadas. A ruptura da molécula de DNA e o reparo subsequente ocorrem por meio de um complexo multienzimático (Jordão, Andrade, 2012), denominado nódulo de recombinação (Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013). O paquíteno é uma fase da meiose I que dura mais tempo, devido ao processo de *crossing-over*, ao contrário do leptóteno e zigóteno que ocorrem em algumas horas (Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012). Os centríolos continuam a produzir as fibras do fuso meiótico (FMEI) (Jordão, Andrade, 2012).

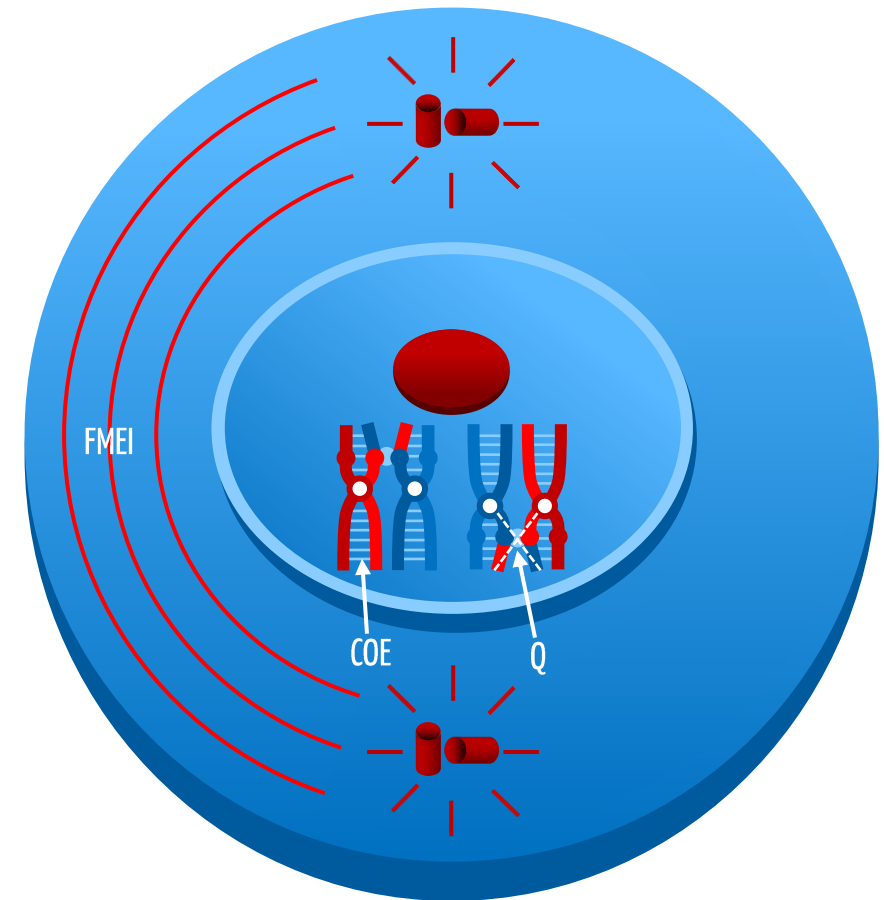


4.1.1.4. Diplóteno

No diplóteno (do grego, *diploos*, duplo e *tainia*, fita) (Jordão, Andrade, 2012) ou diplonema (do grego, *nema*, filamento) (Dias, Maluf, 2011), ocorre a desorganização da maior parte do complexo sinaptotênico, levando à separação dos cromossomos homólogos do envoltório nuclear (Cooper, Hausman, 2007; Jordão, Andrade, 2012). Os cromossomos permanecem unidos por meio de proteínas denominadas coesinas (COE) e continuam a se condensar, havendo um encurtamento dos mesmos (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017).

Nesta etapa, ocorre a formação dos **quiasmas (Q)** (do grego, *chiasma*, semelhante à letra grega χ (*chi*), ou seja, em forma de cruz) (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012). Os quiasmas correspondem a regiões em forma de X (linha branca tracejada na figura) que mantêm os cromossomos homólogos unidos, nas áreas onde houve o *crossing-over* (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012).

Ao microscópio óptico, as quatro cromátides dos cromossomos homólogos são visíveis (Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013). Os centríolos continuam a sintetizar as **fibras do fuso meiótico (FMEI)** (Jordão, Andrade, 2012).

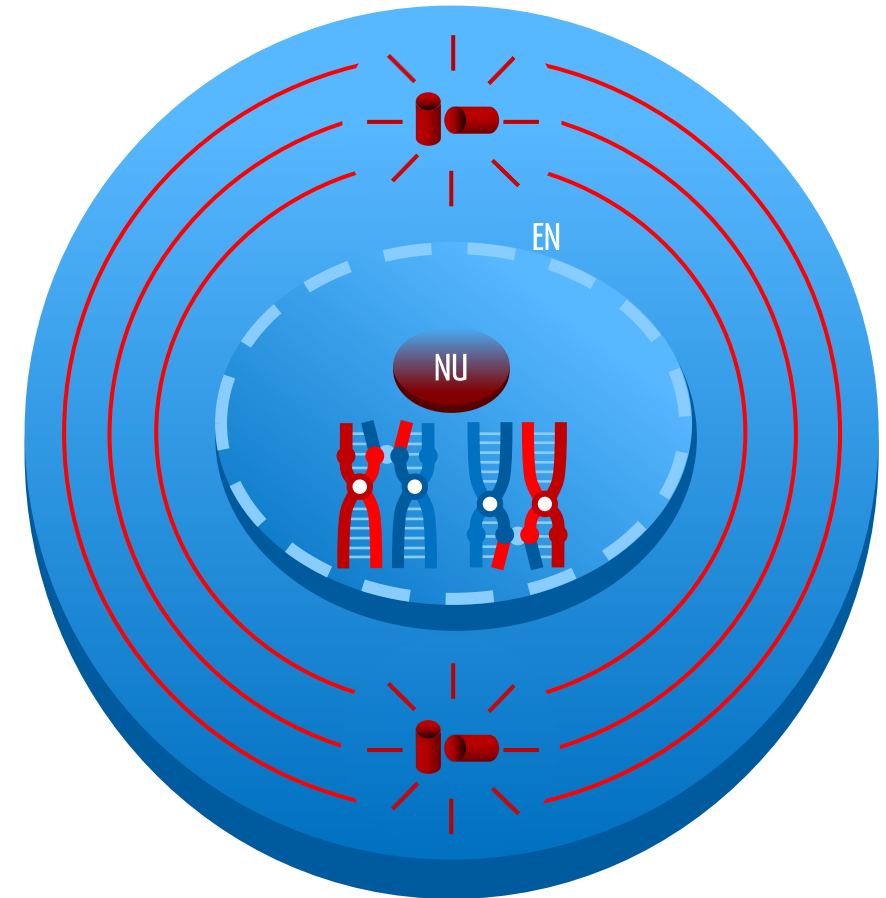


4.1.1.5. Diacinese

No diacinese (do grego, *dia*, através e *kinesis*, movimento) (Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012), os cromossomos homólogos continuam a se condensar (Cooper, Hausman, 2007; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012). Ocorre a manutenção dos quiasmas, o que será importante para a distribuição correta dos cromossomos homólogos na metáfase I e anáfase I.

A segregação incorreta dos cromossomos homólogos ou a sua não disjunção (como ocorre na síndrome de Down) ocorre em gravidezes de pais com mais idade, pois o processo de envelhecimento reduz a produção de proteínas denominadas coesinas. A redução na produção desta proteína favorece a separação prematura dos cromossomos, causando as aneuploidias (Jordão, Andrade, 2012).

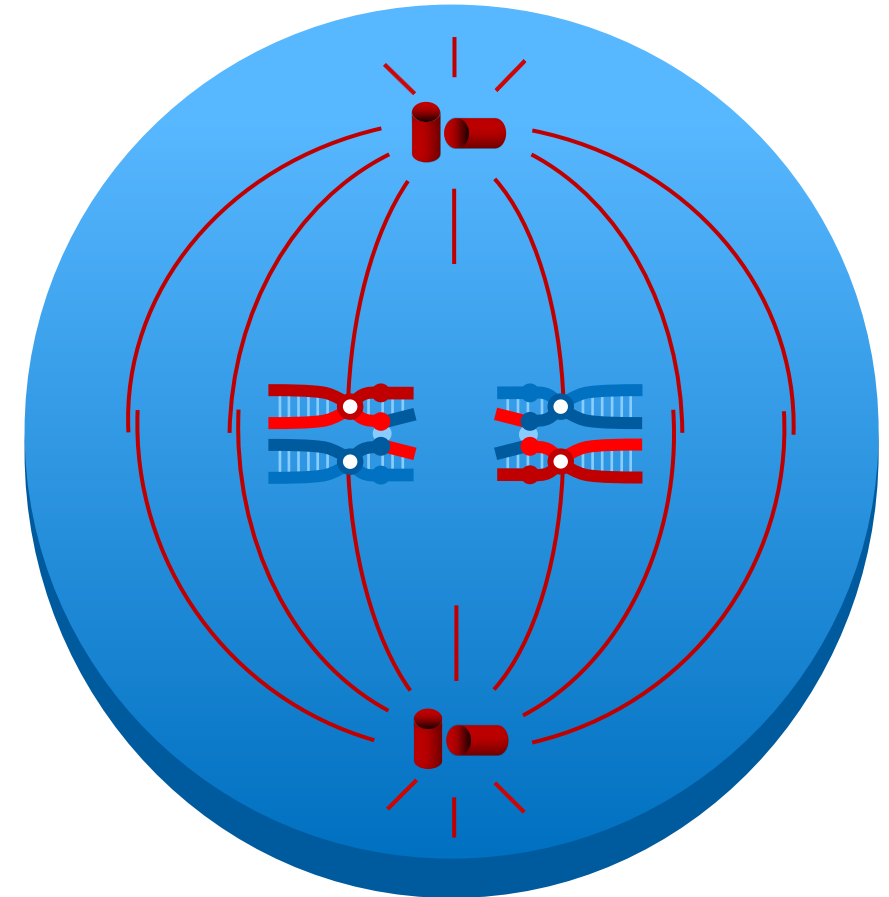
Nesta fase também ocorre o desaparecimento do **nucléolo (NU)** e ruptura do **envoltório nuclear (EN)** em pequenas vesículas (Dias, Maluf, 2011; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Montanari, 2006).



4.1.2. Metáfase I

Na metáfase I, houve a desorganização completa do nucléolo e envoltório nuclear. Os cromossomos homólogos estão no grau máximo de condensação (Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013) e ainda estão unidos por meio dos quiasmas. Eles se ligam às fibras do fuso meiótico no equador celular, formando a placa equatorial ou metafásica (Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b). As cromátides-irmãs permanecem unidas por meio das coesinas (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017).

As cromátides de um cromossomo homólogo estão ligadas aos microtúbulos do mesmo cinetócoro (Cooper, Hausman, 2007; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b). Assim, as cromátides-irmãs são chamadas de coorientadas e os cromossomos materno e paterno de biorientados (Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh et al., 2014). Os quiasmas, as coesinas e a ligação das cromátides-irmãs ao mesmo cinetócoro garantem que a disjunção dos cromossomos homólogos ocorra de forma correta. Ou seja, existe a separação dos cromossomos paternos e maternos para os polos opostos (Jordão, Andrade, 2012). A orientação aleatória dos cromossomos maternos e paternos contribui para aumentar a diversidade genética dos gametas (VanPutte, Regan, Russo, Seeley, Stephens, Tate, 2016).

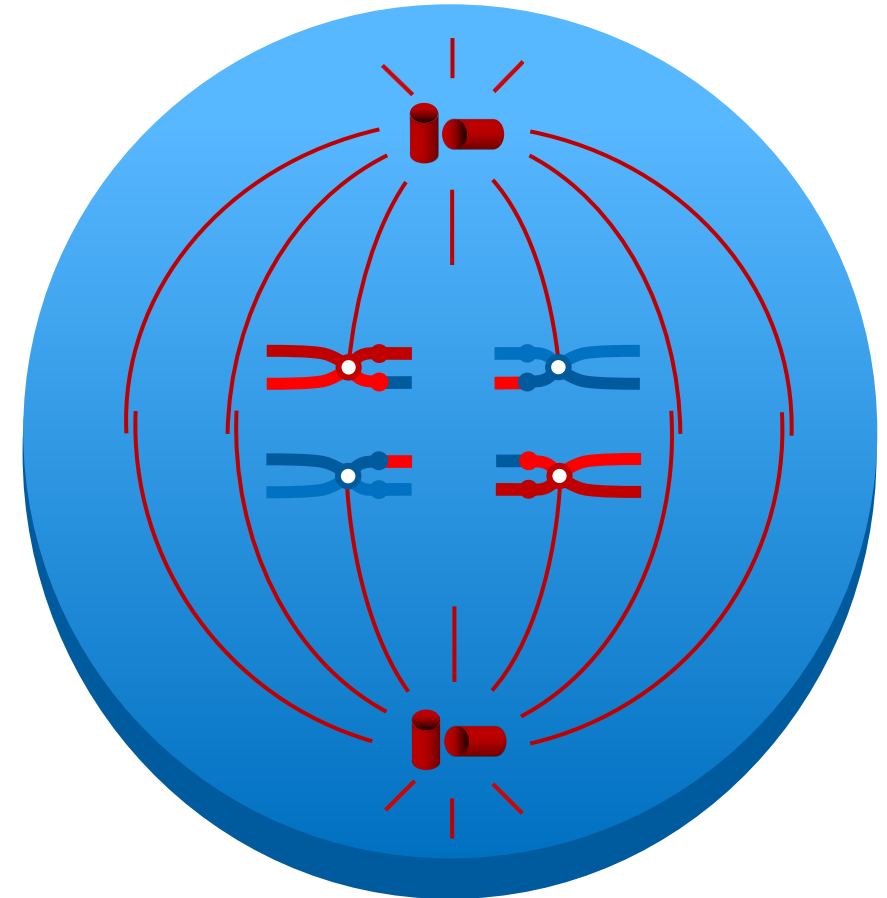


4.1.3. Anáfase I

Na anáfase I, as moléculas de coesina que uniam os braços cromossômicos são separadas (Jordão, Andrade, 2012; Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh et al., 2014; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b), por meio de enzimas denominadas *separases*, que degradam as coesinas que foram fosforiladas (Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh et al., 2014).

A região do centrômero é mantida, graças a ação de uma proteína associada ao cinetócoro denominada *shugoshin* (do japonês, espírito guardião), que inibe a fosforilação da coesina nesta região, evitando a degradação da mesma. Desta forma, a região centromérica é preservada, o que mantém as cromátides unidas (Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Jordão, Andrade, 2012). As ligações na região dos quiasmas, que mantinham os cromossomos homólogos unidos, também são removidas (Cooper, Hausman, 2007).

Assim sendo, os cromossomos homólogos são separados, mas as cromátides-irmãs permanecem unidas pelo centrômero (Cooper, Hausman, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b). Os cromossomos se movimentam em direção aos polos celulares, sendo guiados pelas fibras do fuso meiótico (Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).



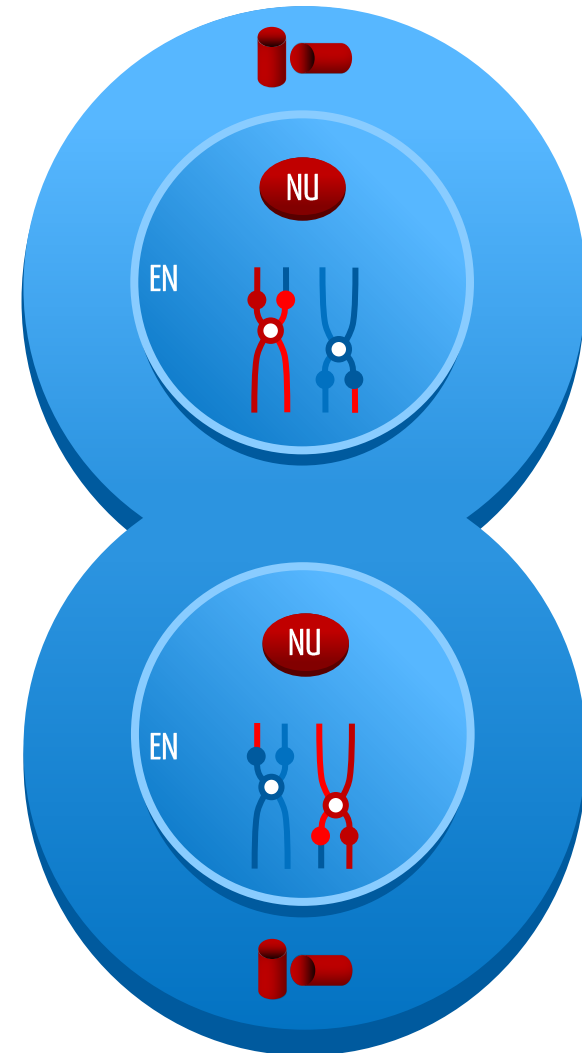
4.1.4. Telófase I

Na telófase I, ocorre a formação de duas células-filhas, cada uma com um membro de cada par dos cromossomos homólogos, formados por duas cromátides. Assim sendo, são formadas duas células haploides com a quantidade de DNA duplicada (2C) (Cooper, Hausman, 2007; Dias, Maluf, 2011; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Montanari, 2006; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013). Em humanos, uma célula-filha na telófase I possui 23 cromossomos (Gartner, Hiatt, 2007; VanPutte, Regan, Russo, Seeley, Stephens, Tate, 2016).

Durante esta etapa, os cromossomos são descondensados e o **envoltório nuclear (EN)** é reorganizado (Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012; Montanari, 2006; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013). Também ocorre a reorganização do **nucléolo (NU)** (Dias, Maluf, 2011).

Nesta fase, ocorre também a citocinese de forma semelhante ao observado durante a mitose (Gartner, Hiatt, 2007; Montanari, 2006; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013).

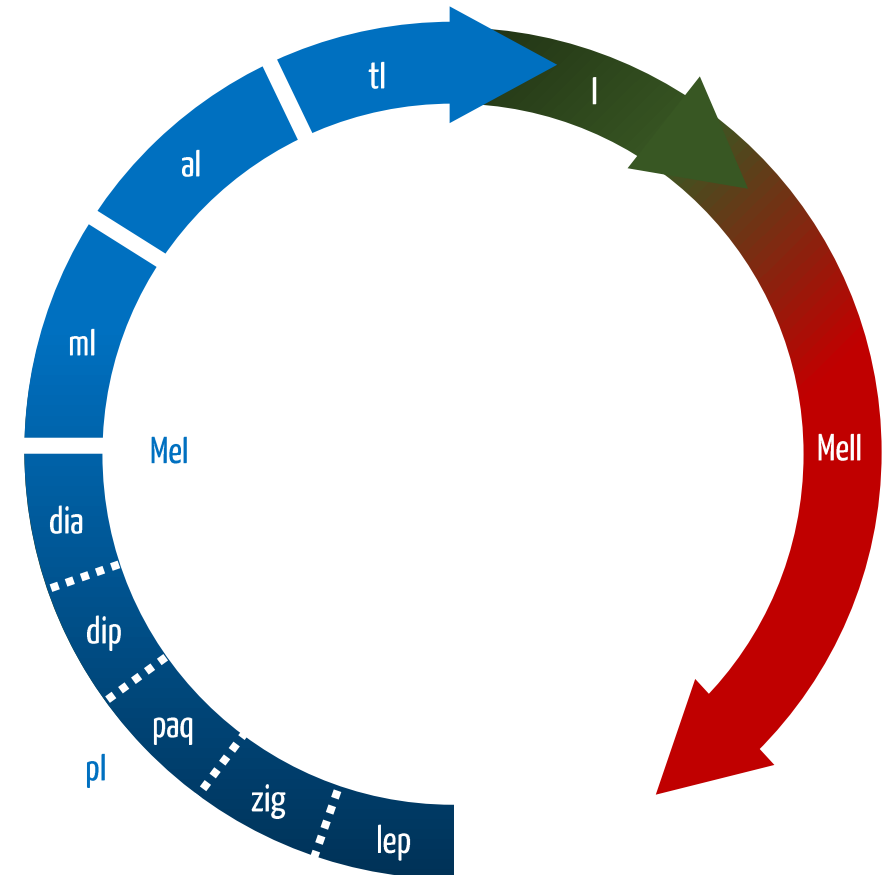
Devido ao processo de *crossing-over* que ocorreu durante a prófase I, as células-filhas não são geneticamente iguais (Replication, 2014).



4.2. Intercinese

A **intercinese (I)** (do grego, *inter*, entre e *kinesis*, movimento) corresponde a um curto período entre a **meiose I (MeI)** e a **meiose II (MeII)**, que ocorre em algumas espécies (Interkinesis, 2021; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013).

Nesta fase não ocorre síntese de DNA, sendo um processo diferente da intérfase (Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013; Replication, 2014).



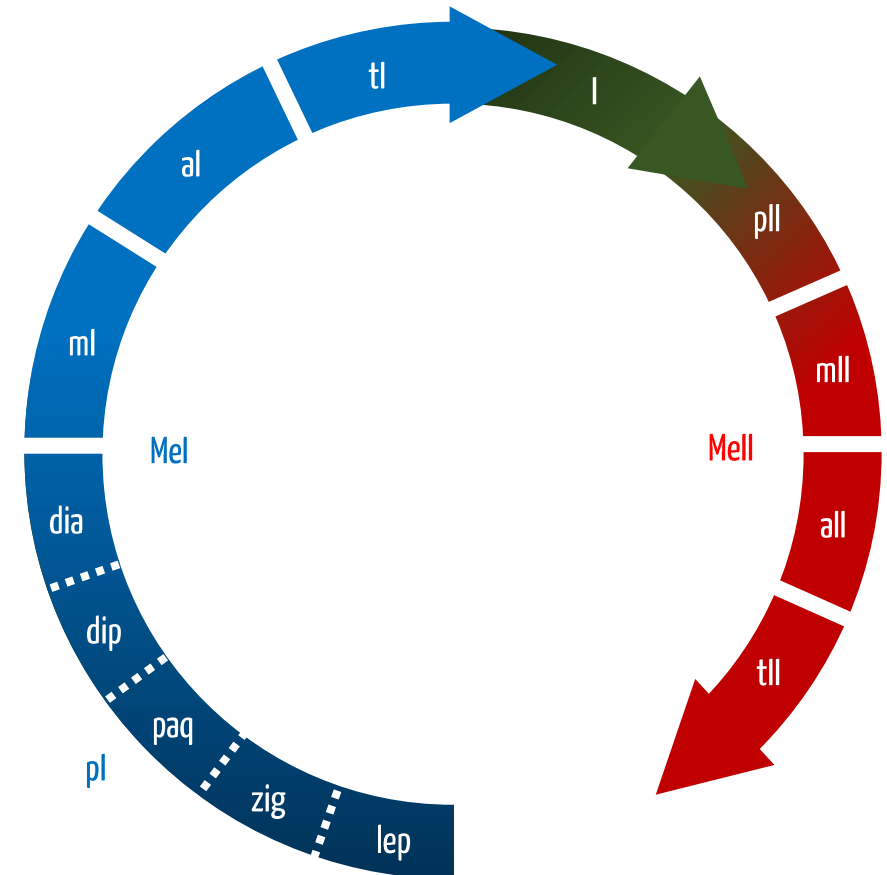
4.3. Meiose II

A meiose II (MeII), também chamada de segunda divisão meiótica (Jordão, Andrade, 2012) ou meiose equacional (Dias, Maluf, 2011; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b). Termina na formação de células haploides, que correspondem aos gametas (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts et al., 2017; Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012).

É dividida em: **prófase II (pII)**, **metáfase II (mII)**, **anáfase II (aII)** e **telófase II (tII)** (Dias, Maluf, 2011; Montanari, 2006; Jordão, Andrade, 2012; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).

Em mulheres, a meiose II, como parte da ovogênese, ocorre no ovócito secundário. É interrompida na metáfase II e prossegue apenas se houver fecundação (Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017c). Caso não ocorra fertilização, o ovócito II degenera e é eliminado junto à menstruação (Jordão, Andrade, 2012).

Nos homens, a meiose II, como parte da espermatogênese, ocorre nos espermatócitos secundários, originando as espermátides (Dias, Maluf, 2011; Junqueira, Carneiro, Abrahamsohn, 2017b). A diferenciação das espermátides em espermatozoides ocorre em 40 dias (Jordão, Andrade, 2012). Assim sendo, a formação dos espermatozoides ocorre em aproximadamente 64 dias (Dias, Maluf, 2011).

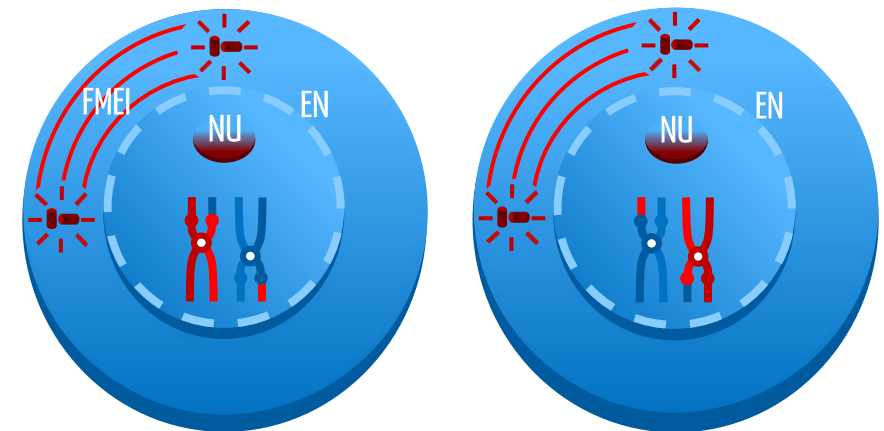


4.3.1. Prófase II

Na prófase II, os cromossomos continuam formados por duas cromátides cada um (Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b; VanPutte, Regan, Russo, Seeley, Stephens, Tate, 2016).

Ocorre a condensação da cromatina (Dias, Maluf, 2011; Gartner, Hiatt, 2007; Montanari, 2006; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013), a desorganização do **nucléolo (NU)** (Montanari, 2006) e do **envoltório nuclear (EN)** (Dias, Maluf, 2011; Montanari, 2006; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013), e uma nova montagem das **fibras do fuso meiótico (FMEI)** (Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).

A prófase II corresponde a uma etapa mais simples que a prófase I, ocorrendo em um tempo menor (Dias, Maluf, 2011; Montanari, 2006; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013).

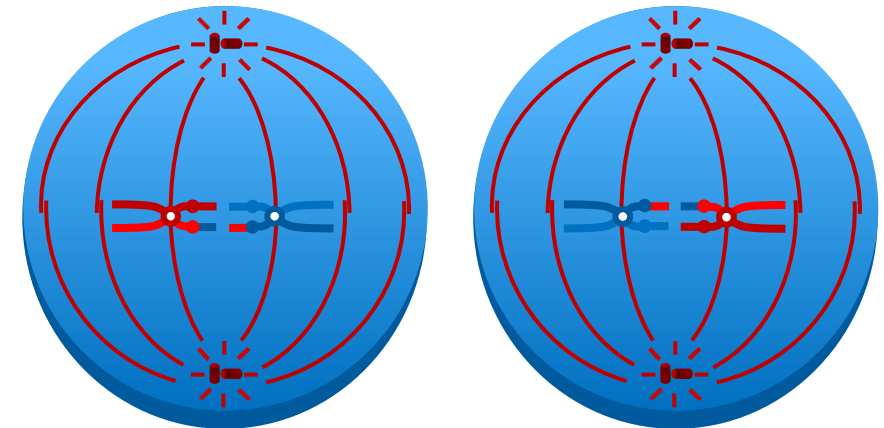


4.3.2. Metáfase II

Na metáfase II, os cromossomos estão posicionados no equador celular, formando a placa metafásica (Gartner, Hiatt, 2007; Montanari, 2006; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).

Os cinetócoros das cromátides-irmãs prendem-se às fibras do fuso mitótico de polos celulares opostos, como ocorre na mitose (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Cooper, Hausman, 2007; Dias, Maluf, 2011; Jordão, Andrade, 2012; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).

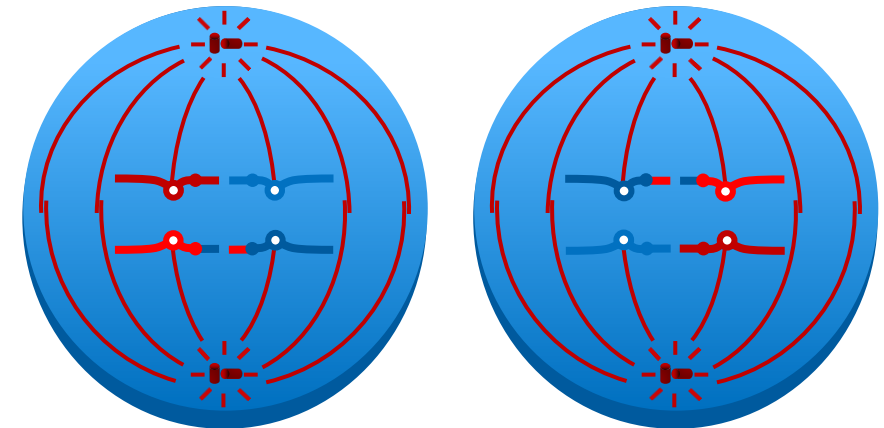
Durante esta fase, é ativada a enzima separase, que cliva as coesinas ao redor dos centrômeros, facilitando a divisão das cromátides-filhas na anáfase II (Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh et al., 2014).



4.3.3. Anáfase II

Na anáfase II, ocorre o rompimento da ligação entre os centrômeros das cromátides-irmãs (Cooper, Hausman, 2007; Dias, Maluf, 2011), levando à disjunção das cromátides-irmãs, que migram cada uma para um polo celular (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017; Dias, Maluf, 2011; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Montanari, 2006; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b). As cromátides-irmãs também são chamadas de cromossomos-filhos (Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013).

A separação das cromátides-irmãs observada na anáfase II ocorre devido a: 1) ligação dos cinetócoros de cada cromátide-irmã a microtúbulos das fibras do fuso meiótico direcionados em sentidos opostos, da mesma forma como ocorre na mitose; e 2) ativação da enzima separase (Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh et al., 2014), que degrada as coesinas, que mantinham as cromátides-irmãs unidas. Assim, as cromátides-irmãs são movidas para polos celulares opostos individualmente, como cromossomos separados (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017).

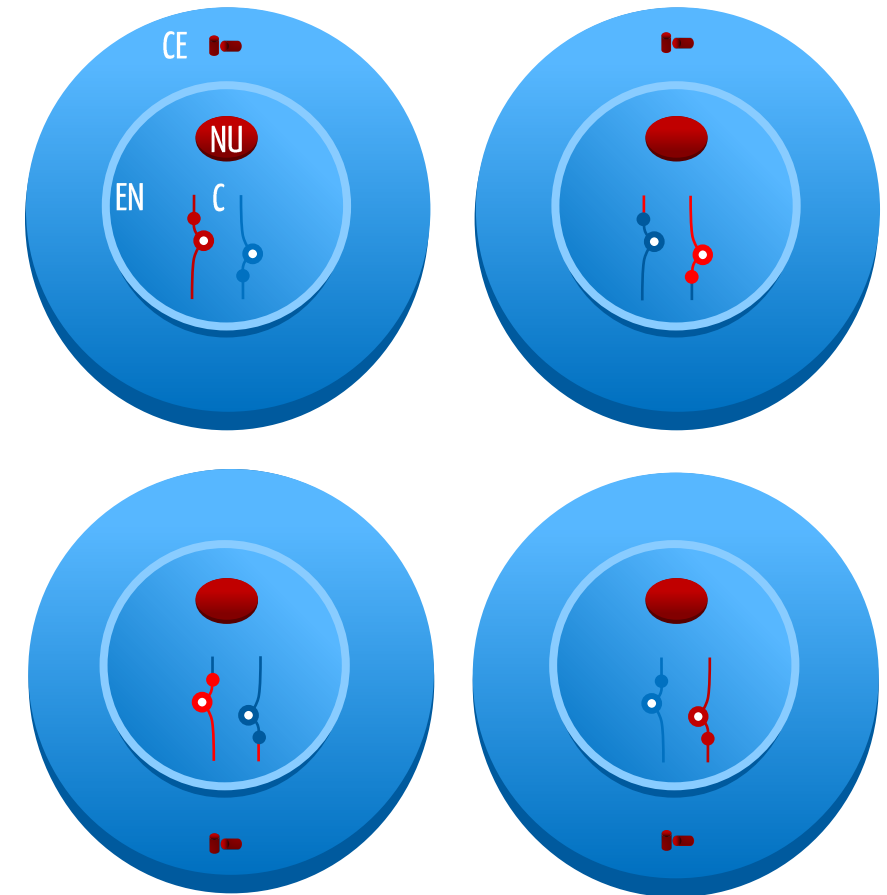


4.3.4. Telófase II

A telófase II corresponde à última etapa da meiose. Nesta etapa ocorre a reorganização do nucléolo (NU) (Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013), do envoltório nuclear (EN), a descondensação dos cromossomos (C) e a citocinese. Cada célula-filha permanece com um par de centríolos (CE) (Dias, Maluf, 2011; Montanari, 2006; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).

São formadas quatro células haploides (n) com uma quantidade C de DNA, que refere ao fato dos cromossomos não estarem duplicados (Dias, Maluf, 2011; Gartner, Hiatt, 2007; Jordão, Andrade, 2012; Montanari, 2006; Recco-Pimentel, Aguiar Junior; Veiga-Menoncello, 2013; Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b). Os gametas produzidos são geneticamente diferentes entre si e da célula-mãe (Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).

Em humanos cada pessoa produz 2^{23} (cerca de 8,4 milhões) de gametas diferentes devido à distribuição aleatória dos cromossomos homólogos de origem materna e paterna que ocorreu na metáfase I (Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff et al., 2017). Se considerarmos que este valor seja multiplicado pela variação genética gerada a partir do *crossing-over* que aconteceu na prófase I, o número de gametas diferentes é ainda maior (Reece, Urry, Cain, Wasserman, Minorsky, Jackson, 2015b).



Referências

- Alberts B, Bray B, Hopkin K, Johnson A, Lewis J, Raff M et al. Fundamentos da biologia celular. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2017. Capítulo 18, O ciclo de divisão celular; p. 603-44.
- Alberts B, Johnson A, Lewis J, Morgan D, Raff M, Roberts K et al. Biologia molecular da célula. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2017. Capítulo 17, Ciclo celular; p. 963-1020.
- Cooper GM, Hausman RE. A célula: uma abordagem molecular. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2007. Capítulo 14, O ciclo celular; p. 583-621.
- Dias MS, Maluf SW. Ciclo celular. In: Maluf SW, Riegel M. Citogenética humana. 1ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2011. p. 24-42.
- Gartner LP, Hiatt JL. Tratado de Histologia em cores. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2007. Capítulo 3, Núcleo; p. 51-70.
- Interkinesis [Internet]. 2021 Jan 03 [acesso 2021 mar 10]. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Interkinesis>.
- Jordão BQ, Andrade CGTJ. Ciclo celular e meiose. In: Junqueira LC, Carneiro J. Biologia celular e molecular. 9ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2012. p. 175-202.
- Junqueira LC. Biologia estrutural dos tecidos. 1ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2005. Capítulo 2, A célula; p. 9-25.
- Junqueira LC, Carneiro J, Abrahamsohn P. Histologia básica. 13ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017a. Capítulo 3, Núcleo celular; p. 49-61.

- Junqueira LC, Carneiro J, Abrahamsohn P. Histologia básica. 13^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017b. Capítulo 21, Aparelho reprodutor masculino; p. 425-40.
- Junqueira LC, Carneiro J, Abrahamsohn P. Histologia básica. 13^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017c. Capítulo 22, Aparelho reprodutor feminino; p. 441-60.
- Lodish H, Berk A, Kaiser CA, Krieger M, Bretscher A, Ploegh H et al. Biologia celular e molecular. 7^a ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 19, O ciclo celular dos eucariotos; p. 875-926.
- Montanari T. Histologia: texto, atlas e roteiro de aulas práticas. 3^a ed. Porto Alegre: Editora da URRGS; 2006. Capítulo 1, Célula; p. 1-28.
- Recco-Pimentel SM, Aguiar Junior O, Veiga-Menoncello ACP. Meiose. In: Carvalho HF, Recco-Pimentel SM. A célula. 3^a ed. Barueri: Manole; 2013. p. 535-52.
- Recco-Pimentel SM, Veiga-Menoncello ACP, Aguiar Junior O. Mitose. In: Carvalho HF, Recco-Pimentel SM. A célula. 3^a ed. Barueri: Manole; 2013. p. 501-17.
- Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB. Biologia de Campbell. 10^a ed. Porto Alegre: Artmed; 2015a. Capítulo 12, O ciclo celular; p. 232-51.


Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB. *Biologia de Campbell*. 10ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2015b. Capítulo 13, Meiose e ciclos de vida sexuada; p. 252-66.

Replication and distribution of DNA during meiosis [Internet]. 2014 [acesso 2021 mar 10]. Disponível em: <https://www.nature.com/scitable/topicpage/replication-and-distribution-of-dna-during-meiosis-6524853/>.

VanPutte CL, Regan JL, Russo AF, Seeley R, Stephens T, Tate P. *Anatomia e fisiologia de Seeley*. 10ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2016. Capítulo 3, Biologia celular; p. 56-100.

Young B, Lowe JS, Stevens A, Heath JW. *Wheater Histologia funcional: texto e atlas em cores*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2007. Capítulo 2, Ciclo e replicação celulares; p. 33-44.

Zickler D, Kleckner N. The leptotene-zygotene transition of meiosis. *Annu Rev Genet* [Internet]. 1998 Dec [acesso 2021 fev 27];32(1):619-97. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.genet.32.1.619>.

A fluorescence micrograph showing a network of cells. The nuclei are stained blue, and the cytoskeleton is stained red. The cells are interconnected, forming a complex, branching structure. The red staining highlights the intricate network of filaments within and between cells.

Neste livro, são apresentadas as mudanças morfológicas que ocorrem nas células durante o ciclo celular. As alterações nucleares e citoplasmáticas durante cada fase da intérfase, mitose e meiose são representadas em ilustrações junto a um breve texto explicando os principais eventos de cada momento da vida da célula.