



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *Stricto Sensu*
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE BIOLOGIA



ROSANNE LOPES DE BRITO

**ALTERAÇÕES GENOTÓXICAS, CITOTÓXICAS E MUTAGÊNICAS:
um conteúdo a ser ilustrado e trabalhado no ensino médio**

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *Stricto Sensu*
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE BIOLOGIA



ROSANNE LOPES DE BRITO

**ALTERAÇÕES GENOTÓXICAS, CITOTÓXICAS E MUTAGÊNICAS:
um conteúdo a ser ilustrado e trabalhado no ensino médio**

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional-PROFBIO, do Centro Acadêmico da Vitória de Santo Antão, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Orientador: Dr. Cristiano Aparecido Chagas

Coorientador: Dr. Júlio Brando Messias

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2019

Catálogo na fonte
Sistema de Bibliotecas da UFPE - Biblioteca Setorial do CAV.
Bibliotecária Ana Lígia F. dos Santos, CRB4-2005

B862a Brito, Rosanne Lopes de.

Alterações genotóxicas, citotóxicas e mutagênicas: um conteúdo a ser ilustrado e trabalhado no ensino médio./ Rosanne Lopes de Brito. - Vitória de Santo Antão, 2019.

96 folhas; il., fig.

Orientador: Cristiano Aparecido Chagas.

Coorientador: Júlio Brando Messias.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Biologia) - Universidade Federal de Pernambuco, CAV, Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional- PROFBIO, 2019.

Inclui referências e apêndices.

1. Meios de Ensino. 2. Mitose. 3. Saúde Ambiental. I. Chagas, Cristiano Aparecido (Orientador). II. Messias, Júlio Brando (Coorientador). III. Título.

611.0181 CDD (23. ed.)

BIBCAV/UFPE-009/2020

ROSANNE LOPES DE BRITO

**ALTERAÇÕES GENOTÓXICAS, CITOTÓXICAS E MUTAGÊNICAS:
um conteúdo a ser ilustrado e trabalhado no ensino médio**

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional- PROFBIO, do Centro Acadêmico da Vitória de Santo Antão, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Aprovado em: 09/08/2019.

Prof. Dr. Cristiano Aparecido Chagas
Orientador – UFPE

Prof. Dr. Júlio Brando Messias
Coorientador – UPE

Profa. Dra. Erika Maria Silva Freitas
Membro interno – UFPE

Prof. Dr. Luiz Augustinho Menezes da Silva
Membro interno – UFPE

Profa. Dra. Mônica Simões Florêncio
Membro externo – UPE

Dedico a minha Mãe Rubenita Lopes de Albuquerque a quem amo profundamente e sempre amarei haja o que houver, agradeço por todo o amor que me ofertas em todos os instantes de minha existência.

Diga-me e eu esquecerei, ensina-me e eu poderei lembrar, envolva-me
e eu aprenderei.
Benjamin Franklin

Aos professores, fica o convite para que não descuidem de sua missão
de educar, nem desanimem diante dos desafios, nem deixem de educar
as pessoas para serem “águias” e não apenas “galinhas”. Pois, se a
educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela, tampouco, a
sociedade muda.
Paulo Freire

Aprender é descobrir aquilo que você já sabe. Fazer é demonstrar que
você sabe. Ensinar é lembrar aos outros que eles sabem tanto quanto
você.

Richard Bach

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, criador de todas as formas de vida e ao Mestre Amado Jesus, educador supremo, que exemplificou a importância de respeitar a vida e amá-la.

Agradeço imensamente a minha Mãe Rubenita Lopes de Albuquerque, por seu amor, por suas broncas e por sua fé em mim; só tu me fortaleces nos percalços da vida, sem ti não conquistaria uma centelha de todo meu Sol de sonhos. Te amo e sempre te amarei.

Ao meu orientador, Dr. Cristiano Aparecido Chagas, por acolher minhas ideias e compreender os entraves que surgiram ao longo desse mestrado.

Ao meu coorientador, Dr. Júlio Brando Messias, sempre disposto a auxiliar-me nos momentos mais complicados dessa dissertação. Seu jeito me ajuda a ser uma acadêmica melhor.

A UFPE/CAV por ser acolhedora e por viabilizar a concretização desse sonho.

À professora Dra. Erika Maria Silva Freitas que gentilmente, leu, releu minha dissertação desde a fase de projeto, colaborando para melhorá-la.

À professora MSc. Geresa Tomaz de Aquino Beltrão por auxiliar-me nas situações adversas desse estudo e gentilmente selecionar as lâminas com as células mais adequadas ao registro fotográfico.

Aos meus e minhas estudantes que com vivacidade dão orgulho a minha profissão.

Aos professores que lecionaram na primeira turma ProfBio da UFPE, por fornecer um pouquinho da gama de conhecimento que abarcam.

A CAPES pelo apoio e financiamento.

Aos meus colegas de classe, pelas inúmeras horas vivenciadas juntos, compartilhando as alegrias e angústias da prática docente, enriquecendo-me emocionalmente e cognitivamente.

Aos amigos e professores Igor Cassimiro dos Santos, Hilda Elaine Barros da Silva e Carlos Bravo, por estarem sempre disponíveis para auxiliar-me na realização desse mestrado.

Às amigas e professoras Mônica Maria de Freitas e Rubia Maria dos Santos que revisaram a redação do presente estudo e do livro com carinho e cautela.

Ao amigo professor Jossimário de Souza Mick que gentilmente revisou meu abstract.

A EREMDASG, através da equipe gestora, Israel e Aurineide que me ajudaram a tornar possível a conclusão do mestrado.

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Mestranda: Rosanne Lopes de Brito

Título do TCM: **ALTERAÇÕES GENOTÓXICAS, CITOTÓXICAS E MUTAGÊNICAS: um conteúdo a ser ilustrado e trabalhado no ensino médio.**

Data da defesa: 09/08/2019

Ao ingressar no Mestrado Profissional a expectativa foi grande, visto que, a escolha por uma pós-graduação stricto sensu profissional visava aperfeiçoar-me como professora. Considero enriquecedora a experiência vivenciada como mestranda no ProfBio. O compartilhamento de conhecimento e a interação entre colegas de turma e de profissão fortaleceram minhas práticas pedagógicas e deram-me a certeza de que, ao longo de dez anos que leciono no ensino médio, sempre mediada por projetos que instigam o meu estudante a ter autonomia em seu aprendizado, não configurava uma prática isolada. Todos meus colegas de turmas têm uma prática pautada nesses princípios, de forma dinâmica e lúdica.

Quanto aos meus professores, que ministraram as aulas no ProfBio, trouxeram contribuições relevantes que subsidiaram e enriqueceram minha prática docente com novas possibilidades e informações valiosas no campo da biologia e da didática. Creio que o ensino investigativo é de maior relevância, cuja prática requer maior habilidade e cautela, pois, a elaboração de sequências didáticas direcionadas à didática investigativa demanda preparo cognitivo e crítico dos professores. No entanto, os resultados são exitosos, porque fortalecem a autonomia e criticidade do estudante, e, certamente, a do professor. Sou grata a todos que fazem o ProfBio e a CAPES por financiar o mestrado.

Embora tenha vivenciado muitos pontos positivos, menciono um aspecto negativo que não tem correlação direta com a proposta do curso. Ei-lo: enfrentei enormes dificuldades em cumprir em tempo hábil o que precisava fazer para prosseguir o meu estudo e projeto de dissertação do mestrado, em decorrência da escassez de tempo, devido a ter que conciliar estudo e trabalho. Sei plenamente que o mestrado é à distância, porém a demanda de material, juntamente com a própria necessidade pessoal em buscar fontes de pesquisa para atualizar-me e executar uma dissertação condizente com o nível do mestrado, tudo isso exige que tenhamos bastante tempo disponível. O fato de trabalhar e ao mesmo tempo seguir com o mestrado, esse sonhado desde que concluí minha graduação, dificultou, pois a árdua jornada de trabalho nos três turnos, complica fisiologicamente estar em alerta e cognitivamente estável para leituras e mais leituras madrugadas a dentro. Sugiro que, para colegas de outras turmas, seja articulada com as secretarias de educação dispensa parcial da carga horária de aula, almejando que a qualidade dos estudos realizados no ProfBio melhore cada vez mais.

RESUMO

No ensino médio leciona-se a mitose como conteúdo da divisão celular abordada em citologia, porém nem sempre é fácil a abstração desse conteúdo pelo estudante. Estudos demonstram a eficácia dos modelos citológicos usados como recurso didático na melhoria do aprendizado, além de vídeos sobre a estrutura celular e seu ciclo, bem como ilustrações e o microscópio. Qualquer que seja a metodologia aplicada pelo docente, sempre se recorre a representações visuais. Como apoio na abordagem da citologia, alguns docentes obtêm imagens de atlas citológicos e histológicos para nível superior. O presente estudo consiste na elaboração de uma sequência didática e um atlas comentado que sirvam como ferramenta auxiliar na abordagem do conteúdo de divisão celular mitótica no ensino da biologia para as turmas de nível médio da educação básica, demonstrando as alterações celulares que ilustrem a conexão célula-ambiente-saúde. Para isso procedeu-se o cultivo do meristema radicular de *Allium cepa* L. (cebola), em condições normais e sobre estresse químico provocado por sulfato de cobre agente genotóxico e mutagênico, registrando por fotografias as fases da mitose normal e alterada. O presente estudo e proposições almejam desenvolver o estudante como ser integral através da pesquisa experimental e da reflexão sobre a ação antrópica nos ecossistemas e na saúde humana, estimulando o desenvolvimento das diversas habilidades baseadas nas múltiplas facetas da aprendizagem do indivíduo. Assim, tanto a sequência didática quanto o atlas estimulam a elaboração de alternativas que legitimem o protagonismo estudantil, promovendo sua autonomia na consolidação do processo de ensino-aprendizagem em suas múltiplas dimensões de forma dinâmica, permitindo demonstrar seu posicionamento ético-cidadão e firmar-se sócio-histórico-culturalmente.

Palavras-chaves: Sequência didática. Mitose. Saúde e ambiente. Célula e saúde.

ABSTRACT

In high school, mitosis is taught as content of the cell division approached in cytology, but it is not always easy to abstraction of this content by the student. Studies demonstrate the effectiveness of cytological models used as a didactic resource in improving learning, as well as videos about cell structure and its cycle, as well as illustrations and the microscope. Whatever the methodology applied by the teacher, one always resorts to visual representations. In support of the cytology approach, some teachers take higher-level images of cytological and histological atlases. The present study consists of the elaboration of a didactic sequence and a commented atlas that will serve as an auxiliary tool in the approach of the mitotic cell division content in the teaching of biology to the middle school classes, demonstrating the cellular alterations that illustrate the cell-environment-health connection. For this, the *Allium cepa* L. root meristem (onion) was cultivated under normal conditions and under chemical stress caused by genotoxic and mutagenic copper sulfate, recording the phases of normal and altered mitosis by photographs. The present study and propositions aim to develop the student as an integral being through experimental research and reflection on anthropic action in ecosystems and human health, stimulating the development of diverse skills based on the multiple facets of individual learning. Thus, both the didactic sequence and the atlas stimulate the elaboration of alternatives that legitimize the student protagonism, promoting its autonomy in the consolidation of the teaching-learning process in its multiple dimensions in a dynamic way, allowing to demonstrate its ethical-citizen positioning and to establish itself. socio-historical-culturally.

Keywords: Didactic sequence. Mitosis. Health and environment. Cell and health.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 O ensino das ciências	14
2.2 A importância das ilustrações na facilitação do processo de ensino-aprendizagem ..	15
2.3 Uso de imagens no ensino da citologia	19
2.4 As alterações na mitose	20
3 OBJETIVOS	22
3.1 Geral	22
3.2 Específicos	22
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 O Atlas comentado.....	24
5 RESULTADOS	25
5.1 Construindo a sequência didática	25
5.2 As fases da mitose	30
6 DISCUSSÃO	38
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
PRODUTO	
APÊNDICE A - SEQUÊNCIA DIDÁTICA	49
APÊNDICE B – Atlas → DIVISÃO CELULAR: O estudo da mitose numa conexão entre ambiente e saúde.	59

1 INTRODUÇÃO

A aprendizagem exige que o indivíduo esteja envolvido com o objeto do conhecimento e disposto a aprender, por isso, é primordial estimular a curiosidade no estudante para que ele investigue, analise, elabore hipóteses, dirima as dúvidas e estabeleça conceitos de forma crítica reflexiva. (AUSUBEL; NOVK; HANESIAN, 1978; CARVALHO, 2010).

O presente estudo almeja auxiliar o ensino do conteúdo sobre o ciclo mitótico da divisão celular propondo ao professor ou professora uma sequência didática (Apêndice A) que estimule os estudantes a analisarem o método científico através do experimento de indução de enraizamento da cebola, preparando o laminário do meristema radicular em condições normais e sob estresse químico (CARVALHO, 2010; GUERRA; SOUZA, 2002; MACEDO, 2014).

O experimento permite visualizar a mitose em suas diferentes fases; mas, uma vez que a mera observação não representa compreensão, propomos na sequência didática e no Atlas comentado (Apêndice B) “DIVISÃO CELULAR: o estudo da mitose numa conexão entre ambiente e saúde” que os discentes registrem, por meio de desenhos e relatórios as características da divisão celular em ambas as situações experimentais, explicando as características de cada fase da divisão, em cada situação e posteriormente elaborando a interconexão entre fatores ambientais e alterações no ciclo mitótico (CACHAPUZ *et al.*, 2005; CAMPOS; NIGRO, 1999).

A escolha da citologia deve-se ao fato dela permear o estudo da biologia em diversos campos e representar um campo essencial a ser aprendido na educação básica. Sua importância é seguida de dificuldades em relação à aprendizagem por parte dos estudantes porque exige que o estudante transponha estruturas microscópicas e moleculares peculiares da morfologia celular para uma percepção macroscópica (BRASIL, 2018a; BRASIL, 2018b; DANTAS *et al.*, 2016; SOUZA; MESSEDER, 2017).

Consultando os portais de periódicos CAPES e PubMed, com descritores referentes aos recursos didáticos que dão suporte ao lecionar os conteúdos desse campo científico, percebe-se que grande parte dos trabalhos são centrados na criação de modelos celulares através do suporte de livros didáticos (DANTAS *et al.*, 2016; SOUSA; BARRIO, 2017; SOUZA; MESSEDER, 2017).

Contudo, não basta a mera representação celular, pois considera-se importante a contextualização do conteúdo de citologia, bem como o incentivo dos estudantes a construir a noção de que muitos danos macroscópicos têm origem na escala molecular e que alguns danos levam ao mau funcionamento ou morte celular, lesando tecidos e órgãos. Neste sentido, o estudo da citologia deve permitir que o estudante faça conexões entre os danos moleculares que podem ocorrer numa célula e a origem de processos patológicos (ALBERTS *et al.*, 2017; COOPER; HAUSMAN, 2007; PAULA, 2007).

Para além disso, a citologia pode e deve fazer uma interconexão entre possíveis estressores ambientais, danos moleculares e processos patológicos. Dessa forma, a citologia deveria ser estudada não como um objetivo em si, mas no contexto amplo que integra a relação das pessoas com o meio ambiente e a repercussão do meio ambiente na saúde dos seres vivos, em especial a espécie humana. Por exemplo, é possível fazer uma conexão entre os hábitos alimentares nas sociedades industrializadas e sua repercussão na saúde. O estudo de danos no DNA pode ser uma conexão pela qual o estudante entenderia a relação entre poluição e alterações genéticas, uma vez que algumas moléculas presentes no ar, solo ou água podem causar danos genéticos em alguns organismos (SOUZA, 2018; TROIAN; SILVA; 2013; WIRGIN *et al.*, 2011).

A célula representa a conexão entre um meio ambiente poluído e os processos de doenças que tal ambiente causa. Tal linha de pensamento não só contextualiza, mas também demonstra a importância da biologia celular nas ciências biológicas e na saúde. Porém, muitos docentes encontram dificuldades em fazer com que tais conexões sejam aprendidas e compreendidas pelos estudantes. Isso se dá por motivos variados que passam pela precariedade na infraestrutura escolar, por lacunas presentes na formação docente e/ou pela inadequação dos livros didáticos para uma melhor exploração desse ramo do ensino da biologia (CACHAPUZ *et al.*, 2005; CAMPOS; NIGRO, 1999; CARVALHO, 2010; CAVALCANTI; ANDRADE; GONÇALVES, 2015).

Uma vez que infraestrutura e formação docente são problemas cuja solução demanda investimentos maiores e tempo para gerar resultados, os recursos didáticos poderiam ajudar a diminuir as dificuldades em fazer as conexões célula-ambiente-saúde. Os livros didáticos podem integrar materiais que possuam ilustrações e conexões científicas com base em experimentos que possibilitem ao estudante usufruir melhor da perspectiva realista do universo celular, não só no aspecto saudável de funcionamento celular, mas também em situações de estresse ambiental (DANTAS *et al.*, 2016; SILVA, 2017; SOUSA; BARRIO, 2017; SOUZA; MESSEDER, 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O ensino das ciências

O ensino, preconizava a abordagem teórica passiva nas instituições escolares em detrimento da participação ativa do discente, ignorando-o como sujeito detentor de uma experiência de vida que pudesse contribuir para o processo de ensino-aprendizagem. Ainda, o ensino de ciências era visto como algo secundário, sem importância para a vida do discente (CACHAPUZ *et al.*, 2005; CAMPOS; NIGRO, 1999; CARVALHO, 2010; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2007; FREIRE, 2009; NUÑEZ; RAMALHO, 2004; SAVIANI, 2013). Corroborando, Soëtard (2010) menciona o pensamento de Rousseau a respeito do processo de ensino-aprendizagem:

Se bem que é certo que o conhecimento mata a experiência naquilo que ela tem de espontâneo e de imprevisível, não é menos verdadeiro que ela seja vital para o homem comprometido com este mundo de interesse e cálculos. É por isto que o ensino é essencial. Mas, a pura e simples transmissão do saber que se necessita para viver em sociedade pode originar uma alienação no indivíduo; se a ciência liberta o homem, ela pode, também, encerrá-lo em um novo tipo de conformismo intelectual. É necessário, pois, organizar a transmissão de conhecimento de maneira que a própria criança se encarregue desta tarefa. É nessa etapa em que se impõe uma pedagogia que não seja um simples processo de adaptação da “mensagem” a um “receptor”, mas que se baseie no mesmo sentido do saber relacionado ao interesse de cada um (SOËTARD, 2010, p.17).

Muitos pesquisadores ainda possibilitaram a transformação das concepções educacionais trazendo contribuições valiosíssimas para a educação brasileira e mundial. Dentre eles, merecem destaque, em especial para o ensino das ciências, Ausubel (1918-2008), por valorizar a experiência de vida do ser humano na construção do conhecimento, Piaget (1896-1980), responsável por inserir a concepção de que o ser humano passa por diferentes fases de desenvolvimento qualitativas favorecedoras do aprendizado; e Vygotsky (1896-1934), ao considerar a influência sociocultural na construção cognitiva do indivíduo, devido ao caráter social da espécie humana (LIMA; PAULINO FILHO; NUÑEZ, 2004).

[...] a missão não é tanto garantir igualdade, mediante uma integração forçada, mas a de dar a cada um os instrumentos de sua liberdade, em um contexto de responsabilidade e solidariedade ativas (SOËTARD, 2010, p.22).

A escola deve estar diretamente ligada ao contexto social, visto o sucesso da aprendizagem envolver aspectos peculiares ligados à comunidade em que a instituição de ensino está inserida. Nesse sentido, Filloux (2010, p. 17) comenta sobre a teoria elaborada por Durkheim (1858-1917):

Uma sociedade é feita de indivíduos que “conseguem viver” juntos porque têm em comum valores e regras, parcialmente transmitidos pela escola. A sociedade, enquanto objeto construído pela sociologia, não é nem transcende, nem imanente aos indivíduos: ela tem uma especificidade definida pelos parâmetros de integração

(subordinação ao grupo) e de regulação (reconhecimento de regras que controlam os componentes individuais).

A valorização social do ensino de ciências teve seu marco inicial com o lançamento do foguete Sputnik. A partir de então, as descobertas científicas passaram a integrar o currículo do ensino básico, além disso se inseriram métodos ativos estimuladores da utilização do laboratório (LIMA; PAULINO FILHO; NUÑEZ, 2004).

A partir de então, a divulgação científica cresceu exponencialmente almejando alcançar a população comum e estimular o interesse pelo universo científico. No entanto, não era objetivo transformar todos em cientistas. A ideia era desenvolver o senso crítico perante os fatos científicos a fim de proporcionar a cada indivíduo uma atuação ética diante dos desafios advindos do progresso da ciência, além de desmistificar a ciência como algo destoante da realidade cotidiana do indivíduo (CACHAPUZ *et al.*, 2005; CAMPOS; NIGRO, 1999; CARVALHO, 2010; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2007; FREIRE, 2009; NUÑEZ; RAMALHO, 2004).

Apesar do crescimento da divulgação científica durante um longo período a ciência foi considerada como um mundo pertencente a poucos, restrita a um grupo seletivo de pessoas privilegiadas. A ideia que se transmitia era a de que a área científica se distancia da população, de que cientistas predominantemente do sexo masculino, deveriam ter aspecto severo e antissocial. Atualmente ainda existem docentes e discentes com esta visão da ciência, consequência da imagem historicamente estabelecida (CACHAPUZ *et al.*, 2005).

Todavia, os avanços científicos, tecnológicos e sociais possibilitam a divulgação de informações com maior rapidez. Isso permite que o distanciamento entre ciência e sociedade seja reduzido, uma vez que a divulgação científica e a popularização da ciência sensibilizam a população no entendimento de que a ciência objetiva melhorar a qualidade de vida humana (CECCON; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 1990).

2.2 A importância das ilustrações na facilitação do processo de ensino-aprendizagem

Desde os períodos pré-históricos, o uso de imagens antecede a escrita com o ser humano tentando representar e transmitir sua realidade e vivências através de figuras; atualmente o acervo de recursos para evidenciar a realidade ou simulá-la é diverso. Dentre eles destacam-se: as pinturas, desenhos manuais e digitais, imagens 3D, fotografias, animações e vídeos (SOARES, 2015; JARDIM; PERES, 2014).

As imagens ativam regiões específicas do córtex cerebral humano, ampliando a resposta a estímulos sensoriais-motores, tanto que descrições escritas ou verbais despertam na mente humana a tentativa de transpor para algo visual (MENDONÇA, 2016).

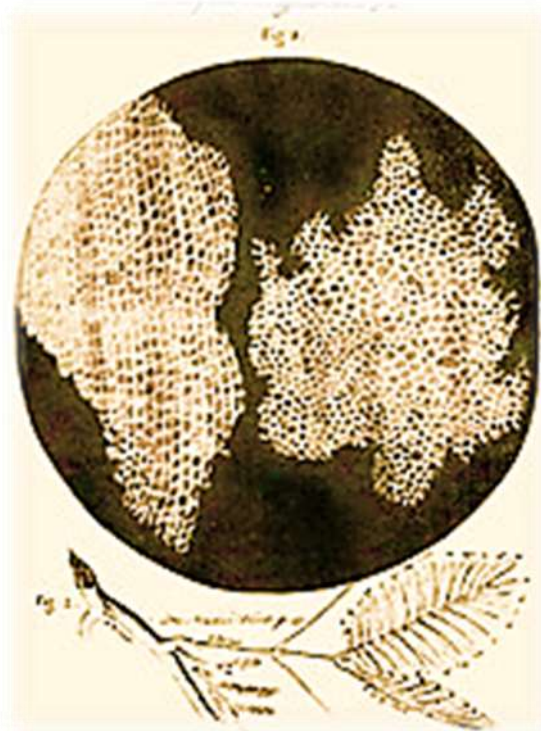
Nas ciências, as ilustrações concretizam abstrações que, por vezes, são difíceis de serem visualizadas, servindo de subsídio à interconexão para o entendimento da realidade que nos envolve e transcende. Além de que, em uma imagem ser possível representar uma descrição complexa no enfoque textual (MENDONÇA, 2016).

Diversos campos científicos apropriam-se das técnicas de ilustrações, sejam manuais ou digitais, para representarem seus contextos explicativos, investindo em aprimoramentos que permitam elucidar mecanismos como os anatômicos, fisiológicos, biomoleculares, citológicos e histológicos. Sendo, suporte primordial na realização de cirurgias, ação de fármacos e diagnósticos de patologias (MENDONÇA, 2016; JARDIM; PERES, 2014).

Inicialmente as fotografias científicas no campo da biologia destinavam-se a ilustrar estruturas e organismos macroscópicos, contudo o avanço tecnológico possibilitou fotografar espécimes e materiais microscópicos (JARDIM; PERES. 2014).

Em 1665, Robert Hooke (1635-1703) publicou as primeiras imagens microscópicas (Figura 1) porém, essas ilustrações eram fruto de desenhos elaborados pelo cientista. A qualidade da imagem do microscópio passou por muitas melhorias desde o século XVI, quando Hans (1570-1619) e Zacharias Janssen (1580-1638) projetaram um dos primeiros modelos de microscópio óptico, houve melhorias no foco e intensidade da luz, bem como nos componentes químicos que passaram a apresentar maior durabilidade e resistência (JARDIM; PERES, 2014).

Figura 1 - Primeira imagem da célula: desenho da célula de cortiça feito por Robert Hooke.



Fonte: <http://cienciahoje.org.br/artigo/golgi-cajal-e-o-nobel-de-1906/>.

Conforme a tecnologia dos microscópios avançou, tornou-se possível evidenciar detalhes estruturais, além de facilitar a coleta de dados como dimensões e quantidade. A catalogação dessas imagens era realizada por meio de desenhos manuais (PERES, 2014; SOARES, 2015), exigindo habilidades de desenho ou colaborações com desenhistas por parte dos microscopistas. Só em 1877 se obteve a primeira fotomicrografia (Figura 2) na qual Robert Koch (1843-1910) demonstrou bactérias patogênicas (JARDIM; PERES, 2014). Tal feito só foi possível graças ao aperfeiçoamento das imagens fotográficas feito por Richard Leach Maddox (1816-1902) que, em 1871, aprimorou sua própria técnica de emulsões fotográficas a base de gelatina e brometo de prata.

Figura 2 - Primeira fotomicrografia: *Bacillus anthrax*, tirada por Robert Koch.



Fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1201971210023143>.

As fotomicrografias, no entanto, também exigem treinamento e demandam cuidados especiais:

[..] a preparação do espécime, que necessita ser delgado o suficiente e corado adequadamente para que a iluminação do microscópio seja eficaz, até o estabelecimento da iluminação que também necessita ser direcionada corretamente (iluminação Köhler) a fim de não produzir artefatos falsos. A iluminação, ao atravessar o objeto em estudo, deve evidenciar com precisão as estruturas e fenômenos em observação[...], menciona Salvi (2016, p.11).

Ademais, houve desenvolvimento de técnicas para fixar raios-X, bem como a criação do microscópio eletrônico permitindo visualizar com maiores detalhes as estruturas celulares e os seres vivos microscópicos (JARDIM; PERES, 2014). Assim, conforme Galleti (2003) a diferença entre o microscópio óptico e o eletrônico é que esse utiliza a radiação na forma de feixe de elétrons, o que representa menor comprimento de ondas e uma possibilidade de maior ampliação da imagem. Enquanto o óptico, funciona através de ondas luminosas refratadas por lentes de vidro, como consequência o poder resolvente do microscópio eletrônico é cem vezes maior que o do microscópio óptico.

Diante disso, a microscopia contribuiu significativamente para o desenvolvimento das mais diversas áreas biológicas, dentre elas a citologia, histologia, genética, taxonomia,

biotecnologia e ecologia. Atualmente, a fotografia digital adquiriu importante relevância para as ciências da saúde (JARDIM; PERES, 2014).

2.3 Uso de imagens no ensino da citologia

A citologia constitui área primordial das ciências biológicas, abordada em todos os anos da educação básica (CAVALCANTI *et al.*, 2015). Contudo, existem dificuldades em transpor a representação microscópica da célula e suas estruturas para uma concepção concreta de modo que o estudante possa abstrair suas estruturas e funções. Apesar de ser um conteúdo concreto a carência de equipamentos que permitam demonstrar essa concretude implica em empecilhos à consolidação do aprendizado (BRASIL, 2018a; DANTAS *et al.*, 2016; SOUZA; MESSEDER, 2017;).

No entanto, a ausência de tais equipamentos não inviabiliza o aprendizado da citologia cuja contextualização pode ser efetivada significativamente e de modo concreto, através da utilização de recursos alternativos que transponham macroscopicamente as imagens microscópicas. Neste sentido, o uso de modelos celulares didáticos, ilustrações como fotografias e desenhos esquemáticos são considerados facilitadores (SILVA, 2017; SOUSA; BARRIO, 2017).

Os modelos celulares didáticos já estão bem difundidos na educação básica e diversos estudos demonstram sua eficiência. Porém, imagens, sejam elas fotografias ou ilustrações manuais ou computadorizadas, são sempre requisitadas até mesmo como subsídio para criação dos modelos didáticos das células. Embora, os livros didáticos tragam esse recurso visual, para melhor representar a célula, suas estruturas e seu ciclo de divisão; geralmente o (a) professor (a) necessita complementar com fotomicrografias presentes em livros destinados ao ensino superior, o que demanda tempo do (a) professor (a) na seleção das imagens que melhor se adequem aos estudantes do ensino médio (DANTAS *et al.*, 2016; SOUZA; MESSEDER, 2017).

Portanto, é importante a elaboração de material ilustrativo citológico adequado ao ensino médio, como recurso de apoio didático facilitador da compreensão das estruturas celulares, além da própria célula de forma a contextualizar tal conteúdo (SOUSA; BARRIO, 2017).

O uso de imagens fotográficas possibilitaria aos estudantes e professores de instituições que não têm microscópio, desenvolver habilidades relativas à identificação de células e suas estruturas; além de competências relativas à relação entre efeitos do meio

ambiente e alterações celulares. Assim, o uso de fotomicrografias pode ser relevante ao contribuir para o processo de ensino-aprendizagem dos discentes pertencentes aos três anos do ensino médio (JARDIM; PERES, 2014).

O processo de divisão celular é visível ao microscópio óptico; é possível visualizar e descrever as chamadas fases da mitose, que aparecem no livro didático normalmente como esquemas simplificados, além de passarem a impressão de que o processo ocorre em saltos e não continuamente (CAVALCANTI; ANDRADE; GONÇALVES, 2015).

2.4 As alterações na mitose

As células no processo de divisão também podem ser usadas para detecção de efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos decorrentes de estresse causado por substâncias químicas (TICE *et al.*, 2000).

As modificações citotóxicas afetam as células na sua estrutura e/ou funcionamento, por exemplo, alterando índices mitóticos, que podem ser estimados pela contagem de células nas diversas fases da mitose ao comparar grupo teste e grupo controle (MACEDO *et al.*, 2014; MESSIAS *et al.*, 2019).

Danos na molécula de DNA também podem ser detectados usando-se técnicas relativamente simples de coloração. É possível detectar a presença de micronúcleos, brotos nucleares, perdas cromossômicas e pontes cromossômicas, tais características servem de marcadores de danos genéticos causados por efeitos endógenos ou substâncias químicas exógenas (MACEDO *et al.*, 2014).

O sulfato de cobre é conhecido na literatura científica como estressor químico que atua como agente clastogênico ao provocar a quebras e alterações na estrutura dos cromossomos; e como agente aneuploidogênico por causar modificações na distribuição dos cromossomos, levando a alterações numéricas (ANCIAL; ROMÃO, 2016; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012; MACEDO *et al.*, 2014).

Para fins didáticos pode-se utilizar o sulfato de cobre para induzir o estresse químico, em decorrência da concentra necessária a essa indução ser mínima, 6 mg/L, esta quantidade não causa danos para o organismo humano ao manipular conforme o protocolo (Apêndice B), apenas afetando o espécime *Allium cepa* L. (cebola), que é um organismo de fácil obtenção e por apresentar cromossomos adequados à visualização no microscópio óptico (FISKEJO, 1985; GUERRA; SOUZA, 2002; LEME; MARIN-MORALES, 2009; MACEDO *et al.*, 2014; TICE *et al.*, 2000).

Não há consenso da menor dose estabelecida do sulfato de cobre pentahidratado com a ação tóxica para os humanos, porém o mínimo verificado na literatura e nas informações técnicas pesquisadas sobre o composto químico foi destacado do estudo de caso relatado em Lebre (2005) que cita como nível sérico normal de sulfato de cobre entorno de 0,120 a 0,145 mg/L, já o mesmo autor menciona que manifestações sistêmicas de intoxicação ocorrem se ingerido quantidades acima de 1g, podendo afetar por exemplo o estômago e o fígado. Os demais autores estabelecem padrões acima dessas concentrações para humanos e outros mamíferos como ratos (CARVALHAES, 2016; DEVLIN, 2011).

No organismo humano o cobre é um componente de vários metaloenzimas importantes no metabolismo das catecolaminas e do ferro, síntese da hemoglobina, colágeno e elastina e remoção de radicais livres. A ingestão média diária de cobre dos adultos é de cerca de **1mg**, sendo a dieta a sua fonte primária. É absorvido no estômago e duodeno e transportado pela albumina até o fígado. Nos hepatócitos é captado, armazenado (metalotioneína) e segregado para o plasma ou excretado para a bÍlis. O conteúdo hepático normal varia entre **18 e 45 mg** por gr de peso seco. Na circulação pós-hepática, a ceruloplasmina (90-95%), a albumina (5-10%), a transcureína e certos aminoácidos ligadores do cobre são responsáveis pelo seu transporte e distribuição para todos os tecidos, com nível sérico normal de **0,120 a 0,145 mg/L**. A bÍlis é a via de excreção normal, desempenhando um papel fundamental na sua homeostase, enquanto a excreção renal é mínima (3% da dose total do cobre absorvido). (LEBRE, 2005, p. 1. grifo nosso)

Corroborando, com o fato de o sulfato de cobre poder ser manipulado para fins didáticos temos o estudo de Costa e Andrade (2014) que o utilizou como um dos sais inorgânicos ao analisar didaticamente diferentes processos de cristalização e Finazzi *et al.* (2016) com sua intervenção sobre eletrogravimetria.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Elaborar uma sequência didática e um Atlas comentado que sirvam como ferramenta auxiliar na abordagem do conteúdo de divisão celular mitótica no ensino da biologia para as turmas de nível médio da educação básica, demonstrando as alterações celulares que ilustrem a conexão célula-ambiente-saúde.

3.2 Específicos

- Construir uma sequência didática para auxiliar o ensino da citologia e biologia molecular através de ilustrações dos processos de divisão celular mitótica.
- Registrar na forma de atlas o ciclo de divisão celular da mitose, em seu contexto normal e sobre estresse químico;
- Evidenciar determinadas alterações mutagênicas (quebras cromossômicas ou micronúcleo) e genotóxicas (perdas cromossômicas ou pontes).
- Discutir fatores que estabelecem a interconexão célula-ambiente-saúde sobre o contexto da mitose.

4 METODOLOGIA

A elaboração da sequência didática (Apêndice A) utilizou como subsídio a Base Nacional Curricular Comum – BNCC, cujo conteúdo prima pela uniformização dos parâmetros básicos que o estudante deve obter na sua educação básica (BRASIL, 2018a).

Quanto ao atlas comentado da divisão celular da mitose, antes de sua criação foi necessário efetivar o experimento conforme metodologia apresentada por Guerra e Souza (2002) para obtenção das células nas duas situações, mitose normal e mitose com alterações genotóxicas e mutagênicas.

O procedimento experimental foi efetivado pela pesquisadora nas dependências do Laboratório de Química e Biologia da Escola de referência em ensino médio Desembargador Antônio da Silva Guimarães – EREMDASG, situada na Avenida Ernestina Batista, s/n, no bairro de Pontezinha, localizada na cidade do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco e as fotografias foram registradas nas dependências da Universidade de Pernambuco – UPE (Centro acadêmico de Santo Amaro, Recife – PE) e Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Centro acadêmico da Vitória de Santo Antão – PE).

O experimento consistiu em cultivar sementes de *Allium cepa* L. a fim de obter o meristema radicular, que possui inúmeras células em processo de divisão mitótica para registro fotográfico tanto em condições normais, quanto submetida a estresse químico por agentes genotóxicos, citotóxicos e mutagênicos como o sulfato de cobre.

A escolha do espécime *Allium cepa* L., advém de ser um organismo disseminado na comunidade científica como parâmetro para análise de efeitos genotóxicos, mutagênicos e citotóxicos. Também por possuir uma pequena quantidade de cromossomos (diploide = 16) com tamanhos adequados à visualização ao microscópio óptico e germinarem na maioria dos meses do ano em temperatura ambiente. Outro requisito adequado deve-se a algumas reações nessa espécie serem análogas aos efeitos químicos nas células de mamíferos, possibilitando assim correlacionar com danos e/ou alterações nestas e presumir diagnósticos ambientais e farmacológicos (FISKEJO, 1985; GUERRA; SOUZA, 2002; LEME; MARIN-MORALES, 2009; SANTOS, 2015; TICE *et al.*, 2000).

Conforme, o protocolo constante no apêndice B foram estabelecidos dois grupos cultivados. O primeiro grupo de sementes de *Allium cepa* L. foi germinado em placa de Petri com papel filtro embebido em água destilada, enquanto o segundo grupo de sementes foi

colocado na placa de Petri com papel filtro embebido em solução de sulfato de cobre a 6 mg/L. Ambos, germinaram com eficácia (MACEDO *et al.*, 2014; MESSIAS *et al.*, 2019).

A sequência didática em conjunto com o livro e o próprio experimento almejam motivar os estudantes a pesquisarem e refletirem criticamente sobre o efeito que determinadas substâncias, presentes em nossa alimentação e no meio ambiente podem ter nos processos celulares e em como tais efeitos podem desencadear patologias nos organismos, em especial no ser humano.

Vale salientar que a aplicação da sequência didática aqui sugerida deve ser posterior a aulas ministradas, por exemplo, na forma de debate ou exposição dialogada sobre o ciclo de divisão celular mitótico e as suas alterações por ação química, pode-se sugerir aos estudantes que pesquisem sobre as substâncias que possam interferir no ciclo celular de vegetais e mamíferos.

4.1 O Atlas comentado

O atlas comentado apresenta registros fotográficos feitos com a câmera Olympus SC30 acoplada a um microscópio óptico trinocular Olympus CX31. Tais fotografias abrangem as fases do ciclo de divisão celular mitótica com e sem alterações genotóxicas e mutagênicas, seguido de explicação sobre a fase e/ou alteração que está evidenciada nas fotografias (APÊNDICE B).

Quanto à diagramação apresenta texto explicativo sobre as fases da mitose, seguida da fotografia da célula e desenho esquemático.

Há dois espaços destinados ao estudante, um para desenhar a fase da mitose, seja normal ou alterada, e outro para poder fazer as anotações que julgar necessárias.

O livro permite a autonomia do estudante, pois estimula a refletir e a identificar a fase e a alteração apresentada. Ainda ajuda a estabelecer uma correlação com processos patológicos que possam afetar a saúde ambiental e humana; sem tira do professor ou da professora o papel de mediador e orientador que poderá discutir e viabilizar com os estudantes a análise desse elo entre célula (estrutura microscópica) e organismo (estrutura macroscópica), permitindo que o estudante protagonize no processo de ensino-aprendizagem ao fazer as conexões com seu cotidiano (CACHAPUZ *et al.*, 2005; CAMPOS; NIGRO, 1999; CARVALHO, 2010).

5 RESULTADOS

5.1 Construindo a sequência didática

A sequência didática (Apêndice A) é um recurso de importância significativa que envolve a reflexão-ação do (a) professor (a) por direcionar a ação educativa. Conforme, Zabala (1998) enfatiza a importância da elaboração escrita e não apenas mental das aulas a serem ministradas. Nesse sentido, a flexibilidade da sequência didática é primordial, visto que as turmas e estudantes apresentam suas peculiaridades, assim é importante que se possa fazer adaptações a cada situação que poderá surgir no decorrer da aplicação da sequência didática.

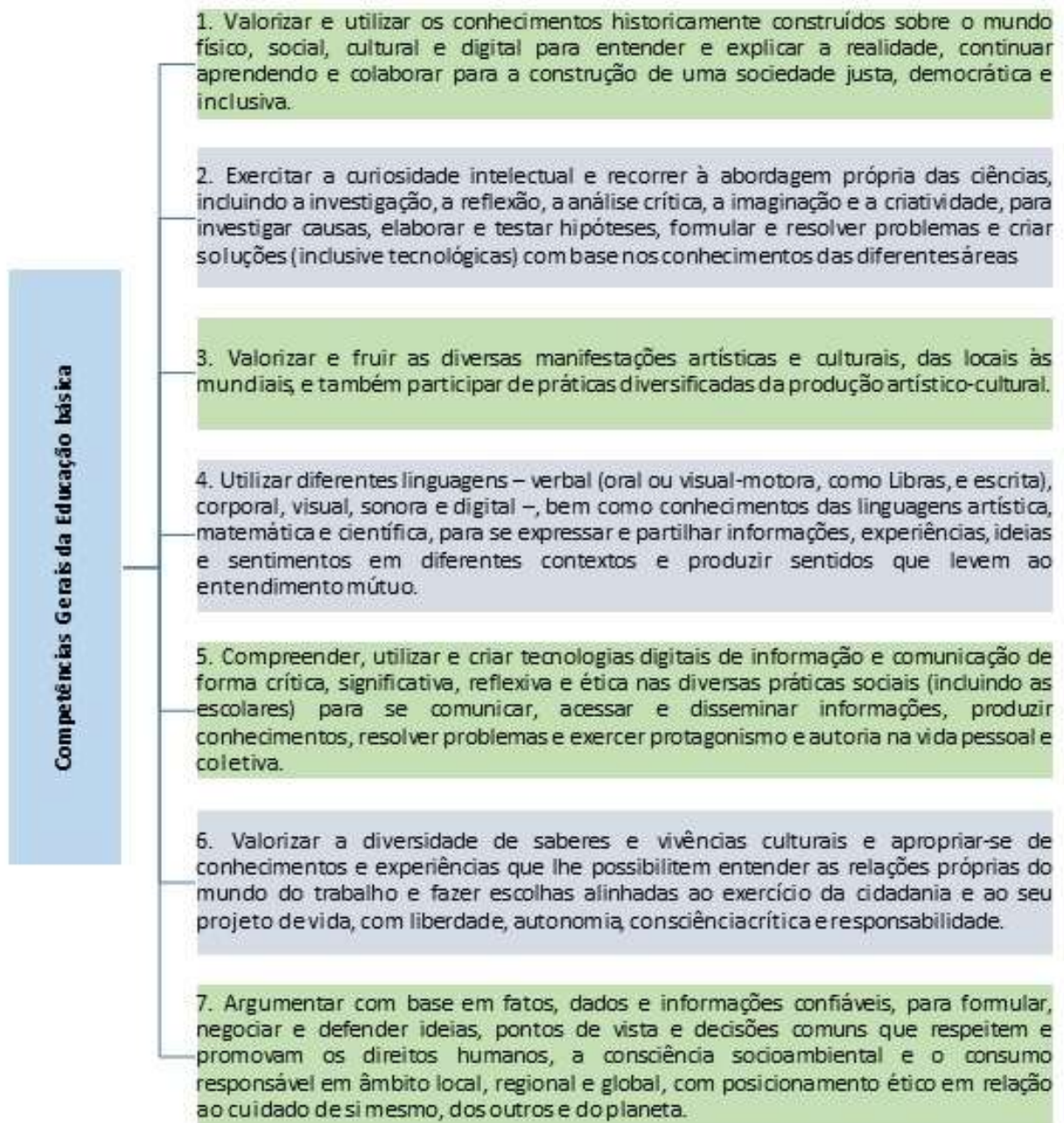
A elaboração da sequência didática levou em consideração as habilidades conceituais, atitudinais e procedimentais pertinentes à citologia, no que se refere ao estudo do ciclo de divisão celular mitótico. Além disso, apresenta a possibilidade de aplicar o método científico como modo de construir conceitos, habilidades e competências relacionadas ao conteúdo abordado (BRASIL, 2018a; CAMPOS; NIGRO, 1999; ZABALA, 1998).

Para isso, a Base Nacional Curricular Comum – BNCC, foi usada como subsídio; seu conteúdo versa sobre a uniformização dos parâmetros básicos (Figura 3) que o estudante deve obter na sua educação (BRASIL, 2018a). O atlas (Apêndice B) proposto prioriza a linguagem visual, cujo suporte auxiliará compreender o ciclo de divisão mitótica de modo mais concreto (BRASIL, 2018a).

Quanto às competências específicas das Ciências Naturais (Figura 4), a proposta apresenta a investigação e avaliação de uma situação-problema, compondo a competência 3, por meio da aplicação do método científico. O estudante será levado a observar, registrar e analisar o fenômeno de germinação da espécie *Allium cepa* L. em duas situações: na primeira, o estudante analisará as etapas da mitose normal, na segunda ele analisará os efeitos de um composto químico genotóxico e mutagênico no processo de divisão, que causa alterações perceptíveis quando vista ao microscópio óptico. Este procedimento se encaixa na descrição das exigências apresentadas nas competências 1 e 2.

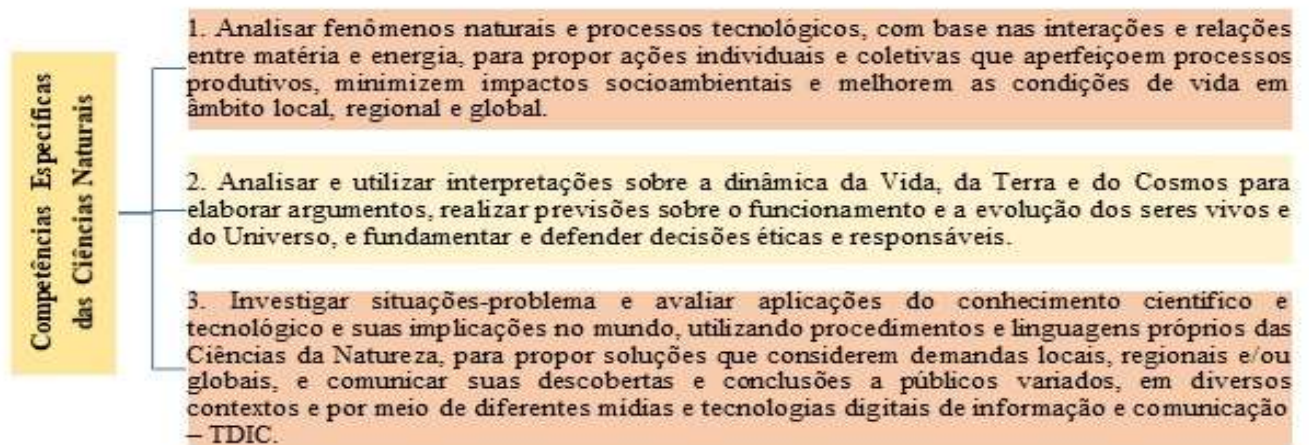
Portanto, permeando as três competências referenciadas na figura 4, selecionamos dentre as habilidades mencionadas na BNCC as que podem ser trabalhadas dentro do conteúdo de citologia (Figura 5).

Figura 3 - Descrição das competências gerais propostas na Base Nacional Curricular Comum – BNCC.



Fonte: Adaptado de BRASIL (2018a, p. 9).

Figura 4 - Descrição das competências Específicas das Ciências Naturais, propostas na BNCC para o ensino médio.



Fonte: Adaptado de BRASIL (2018a, p. 553).

Figura 5 - Seleção de algumas competências e habilidades que podem ser desenvolvidas ao trabalhar o conteúdo de citologia no ensino médio.

<p>Competência 1 - Habilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • (EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.
<p>Competência 2 - Habilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • (EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros). • (EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros). • (EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências. • (EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta. • (EM13CNT207) Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.
<p>Competência 3 - Habilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. • (EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental. • (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações. • (EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza, com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista. • (EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos. • (EM13CNT310) Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.

Dessas habilidades elencamos as que viabilizam os estudantes desenvolverem através da sequência didática e do atlas proposto, objeto do nosso estudo, como apresentado na figura 6, onde percebe-se que é incondizente trabalhar uma competência sem estar interligada as demais.

Figura 6 - Integração entre Competências e Habilidades que poderão ser contempladas ao aplicar a proposta da sequência didática e do atlas comentado: “Divisão celular: o estudo da mitose numa conexão ambiente e saúde”.



Fonte: Adaptado de BRASIL (2018a, p. 553).

O atlas proposto apresenta ilustrações fotográficas das diferentes etapas da divisão celular mitótica normal, com suas características. Também apresenta aberrações morfológicas que podem aparecer como resultado de danos genéticos ou nas estruturas celulares importantes no processo de mitose. As imagens são acompanhadas de explicações em uma linguagem elucidativa para a faixa etária dos estudantes do ensino médio regular.

Posteriormente a esse processo, serão apresentadas as etapas do método científico pertinentes ao semeio do meristema radicular de *Allium cepa* L. com a finalidade de observar o ciclo de divisão mitótico normal e o alterado em suas diferentes fases.

5.2 As fases da mitose

Após a confecção das lâminas conforme metodologia descrita em Guerra e Souza (2002), foi possível visualizar as diferentes fases da mitose (interfase, prófase, metáfase, anáfase e telófase) de uma divisão celular normal (Figura 7).

Figura 7 - Mitose normal de meristema radicular de *Allium cepa* L. com suas fases: a – Interfase; b – Prófase; c – Metáfase; d – Anáfase; e – Telófase.



Fonte: Brito, *et al.* (2019).

O uso de um agente químico pode modificar o processo de divisão celular mitótico, como consequência desencadear alterações genotóxicas e mutagênicas (figura 8).

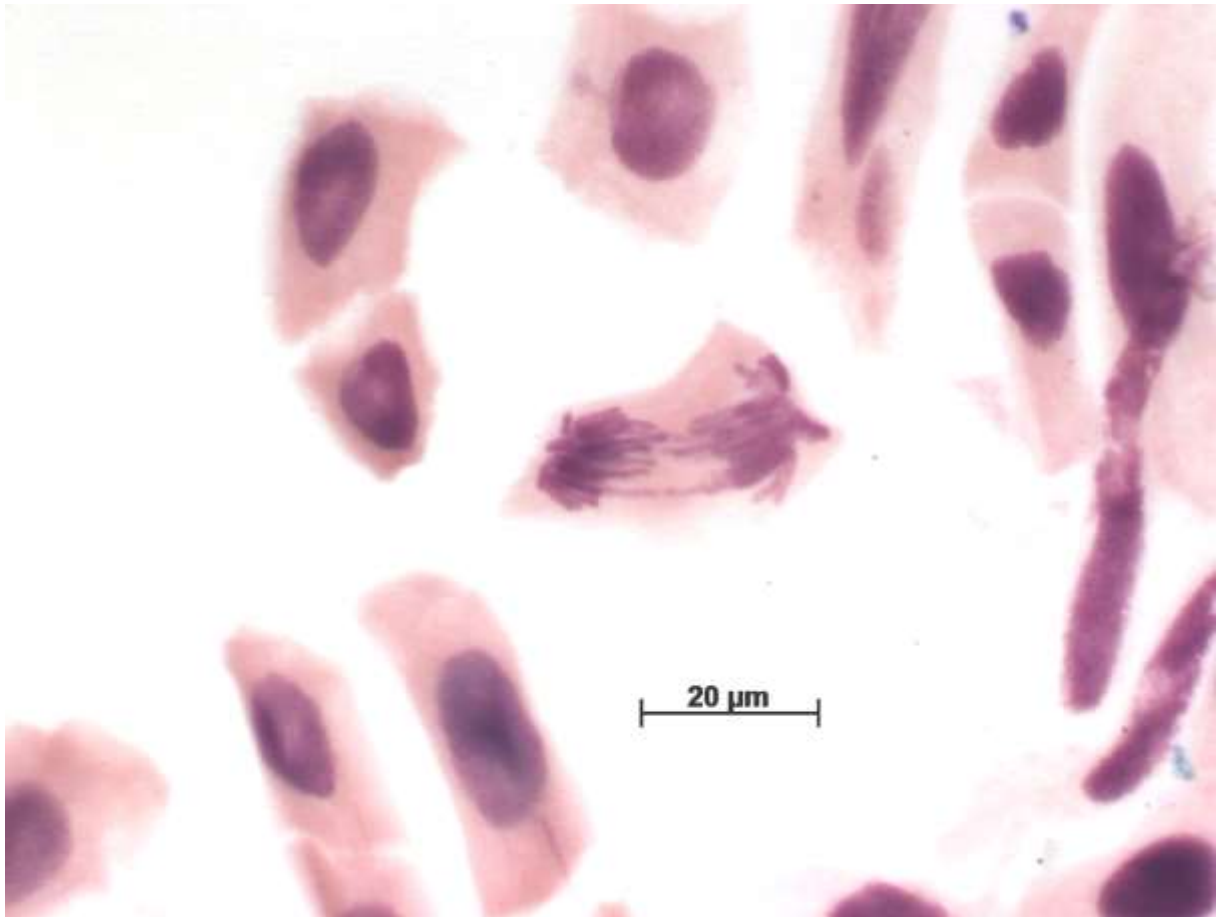
Figura 8 - Mitose em células de meristema radicular de *Allium cepa* L. submetido a germinação em solução de sulfato de cobre. Evidenciando as alterações genotóxicas e mutagênicas: a – Metáfase com perda cromossômica; b – Anáfase com ponte cromossômica; c – Interfase com micronúcleo; d – Interfase com quebra de cromossomo.



Fonte: Brito, *et al.* (2019).

A figura 9 mostra uma anáfase com a formação de ponte cromossômica, alteração genotóxica causada pela substância sulfato de cobre no meristema radicular de *Allium cepa* L., cuja característica é a não separação correta das cromátides por ação do fuso mitótico, mantendo ainda o vínculo entre elas.

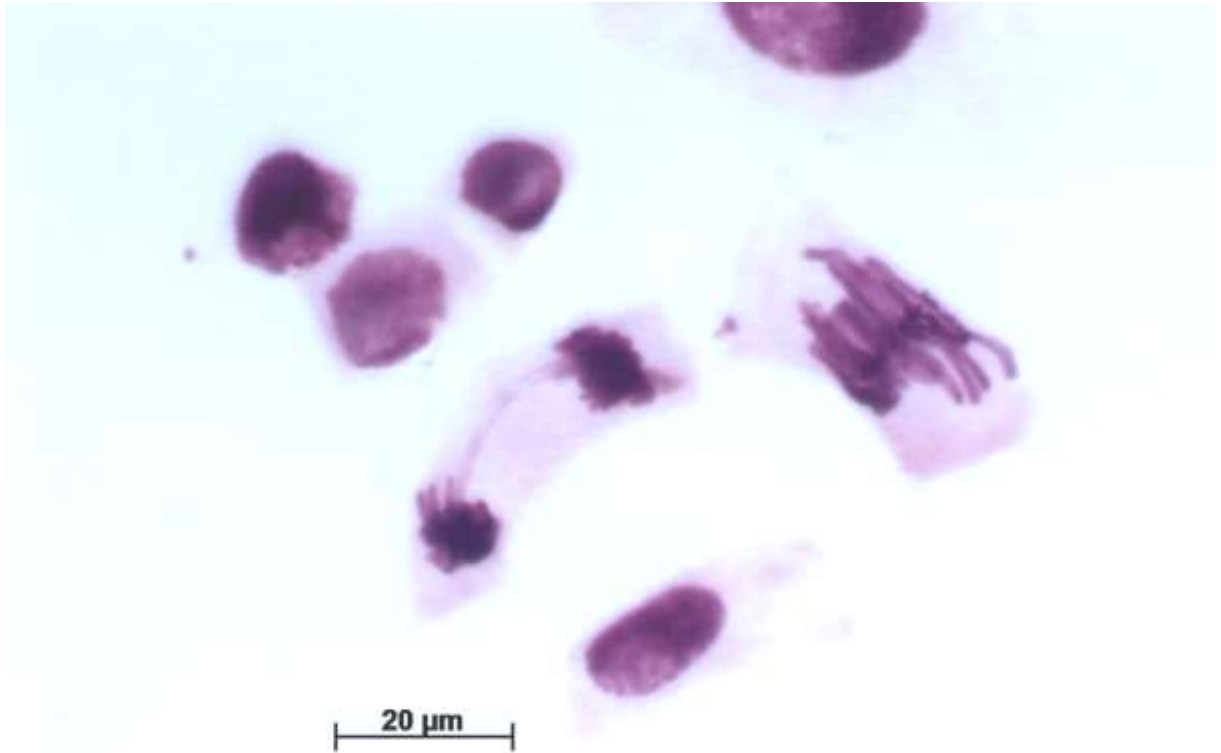
Figura 9 - Etapa da mitose conhecida como anáfase em células de meristema radicular de *Allium cepa* L. submetido a germinação em solução de sulfato de cobre, evidenciando a alteração genotóxica denominada ponte cromossômica.



Fonte: Brito, *et al.* (2019).

As pontes cromossômicas também podem ser formadas durante a etapa da telófase (Figura 10), que é consequência da ponte que foi causada na anáfase.

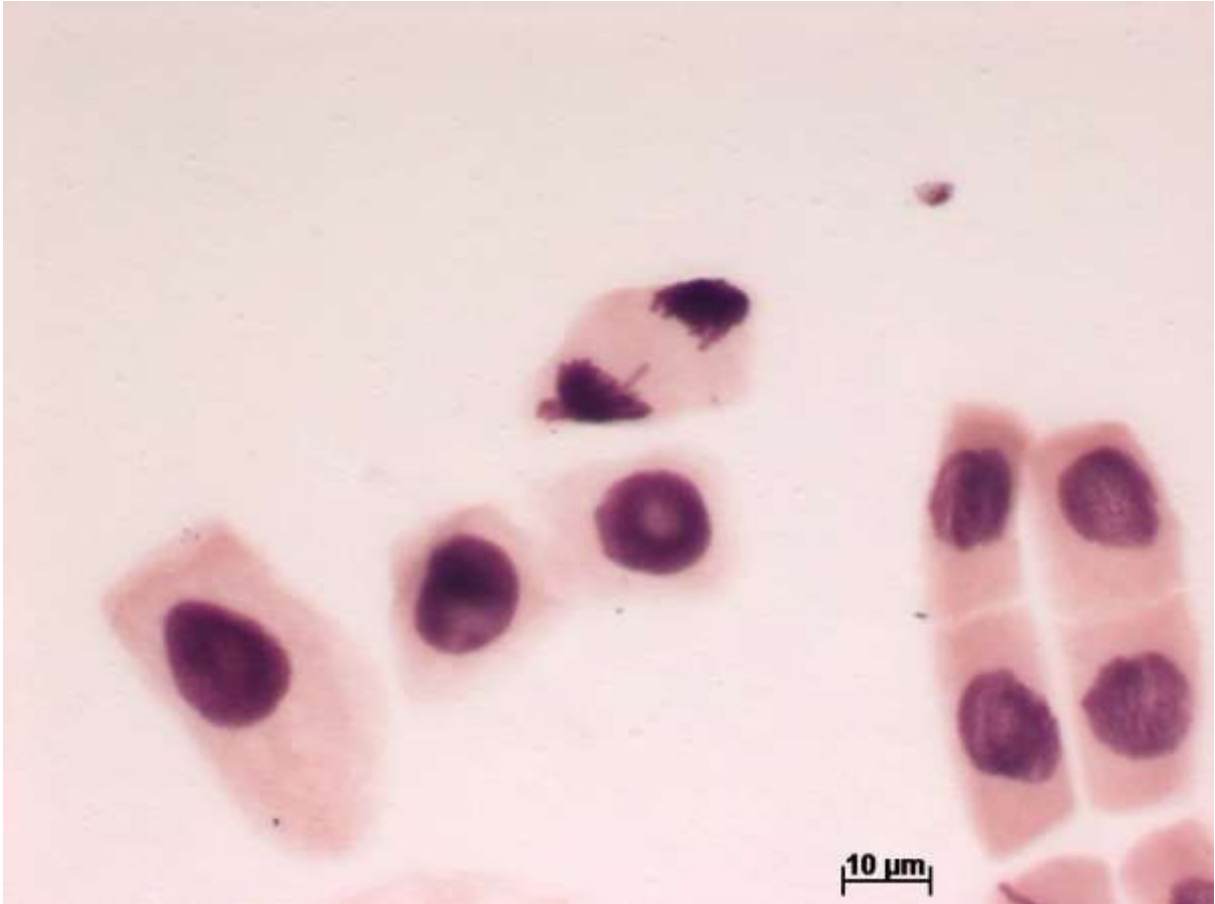
Figura 10 - Etapa da mitose conhecida como telófase em células de meristema radicular de *Allium cepa* L. submetido a germinação em solução de sulfato de cobre, evidenciando a alteração genotóxica denominada ponte cromossômica.



Fonte: Brito, *et al.* (2019).

A figura 11, mostra a perda de cromossomo na telófase, sendo outro tipo de alteração genotóxica.

Figura 11 - Etapa da mitose conhecida como telófase em células de meristema radicular de *Allium cepa* L. submetido a germinação em solução de sulfato de cobre, evidenciando a alteração genotóxica denominada perda cromossômica.



Fonte: Brito, *et al.* (2019)

Também as alterações genotóxicas podem ser caracterizadas por perda de cromossomos ocorre na anáfase como evidenciado na figura 12.

Figura 12 - Etapa da mitose conhecida como anáfase em células de meristema radicular de *Allium cepa* L. submetido a germinação em solução de sulfato de cobre, evidenciando a alteração genotóxica denominada perda cromossômica (detalhe sem escala).



Fonte: Brito, *et al.* (2019)

Referente as alterações mutagênicas, é possível visualizar na figura 13, em destaque, células na interfase com a presença de micronúcleo.

Figura 13 - Células na interfase de meristema radicular de *Allium cepa* L. submetido a germinação em solução de sulfato de cobre, demonstrando a presença de micronúcleo, característica de uma alteração mutagênica.



Fonte: Brito, *et al.* (2019)

A figura 14, remete a alteração mutagênica de quebra de cromossomo, neste caso ocorreu durante a fase da mitose denominada metáfase.

Figura 14 - Células de meristema radicular de *Allium cepa* L. submetido a germinação em solução de sulfato de cobre, registrando uma metáfase com diversas quebras de cromossomos, típico de uma alteração mutagênica.



Fonte: Brito, *et al.* (2019)

6 DISCUSSÃO

A elaboração da sequência didática contemplou o despertar da “curiosidade intelectual” do estudante estabelecida na BNCC, com a aplicação do método científico, que o estimula a investigar as alterações celulares provenientes do uso de compostos químicos com ação genotóxica e mutagênica. Nesse caso, o estudante será estimulado a fazer uma análise, com reflexão crítica sobre possíveis consequências da ação antrópica na biota e nos seres humanos (BRASIL, 2018a; DEMO, 2011).

A sequência didática explora o protagonismo estudantil sob mediação do (a) professor (a) no uso das tecnologias digitais como fonte de pesquisa para obtenção de dados em fontes confiáveis, estimulando a discussão sobre as informações obtidas, encorajando o estudante a adotar uma postura crítica, ética e responsável perante os fatos (BRASIL, 2018a; FREIRE, 2007).

As competências específicas 1 e 2 estão presentes na análise das células em duas situações: com o desenvolvimento das fases da mitose normal e sobre ação do sulfato de cobre que causou alterações genotóxica e mutagênica. Com isso, o estudante desperta a curiosidade a respeito das consequências do uso de determinadas substâncias capazes de interferir no desenvolvimento normal do organismo; assim, cria-se na sala de aula uma atmosfera favorável à colocação deles sobre como podemos reduzir os danos advindos da ação humana, a partir das informações coletadas para subsidiar suas argumentações, assim desenvolvendo as habilidades exigidas (BRASIL, 2018a).

A aplicação da sequência didática (Apêndice A) proposta requer que o professor previamente aborde conceitos iniciais de citologia como estruturas, componentes e funções celulares (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012). Assim como, o livro (Apêndice B) proposto sobre o ciclo de divisão celular mitótico. Nas duas situações o estudante necessita compreender o método científico e sua importância na validação do conhecimento científico, estabelecendo a interligação entre a ciência e o cotidiano, como forma de garantir a manutenção da qualidade de vida do ser humano, o equilíbrio dos ecossistemas e consequentemente do Planeta (CARVALHO, 2010; ZABALA, 1998). Assim, ambos focam no contexto do ciclo de divisão celular mitótica a conexão entre célula-ambiente-saúde.

São inúmeros os agentes químicos com potencial de provocar riscos a população, cabe ao professor estimular os estudantes a pesquisarem sobre algumas dessas substâncias

naturalmente existentes no ambiente e também aquelas provenientes de ações antrópicas que possam ocasionar danos à saúde de diferentes organismos; desse modo o aluno pode refletir a respeito do conhecimento existente sobre a interligação entre célula-ambiente-saúde (BRASIL, 2018a; CACHAPUZ *et al.*, 2005; CAMPOS; NIGRO, 1999; DEVLIN, 2011; SANTOS, 2015).

Os recursos destinados ao ensino da biologia no ensino médio no que se refere a divisão celular, em geral são suplementados pelo professor com imagens obtidas de materiais direcionados ao ensino superior, que muitas vezes extrapolam as reais necessidades do público em questão. O livro “Divisão celular: o estudo da mitose numa conexão entre ambiente e saúde” é uma proposta para suprir a carência de materiais didáticos auxiliares destinados aos estudantes do ensino médio, como um material auxiliar capaz de vincular a célula-ambiente-saúde (DANTAS *et al.*; 2016; PAULA, 2007; SILVA, 2017).

Uma forma de estimular o aluno é através da pesquisa de algumas substâncias químicas que sejam consideradas poluentes ambientais, tanto de solo como de águas limnóticas e oceânicas. O objetivo é o de contextualizar os problemas decorrentes da ação antrópica. A pesquisa pode ser realizada em diferentes mídias sobre orientação do (a) professor (a), e deve terminar com uma lista de algumas substâncias com ação poluente (BRASIL, 2018a; CAMPOS; NIGRO, 1999; ZABALA, 1998).

O uso da sequência didática proposto por Zabala (1998) remete as diferentes formas de aprendizagem do indivíduo por meio metodologias que estabeleçam múltiplas aprendizagens, assim utilizando a estratégia da roda de diálogo proposto nesse estudo devem proporcionar as conexões existentes entre alguns compostos, como o sulfato de cobre, a bioacumulação com a intoxicação de alguns seres vivos. Nessa pesquisa também devem ser discutidos processos patológicos que podem ser decorrentes dessas intoxicações, com uma reflexão sobre como tais processos patológicos devem iniciar no nível celular/ molecular.

Subsidiado na BNCC (2018a), a pesquisa em escala macro poderá ser direcionada a realidade vivenciada pelo estudante em seu contexto social, como por exemplo visualizando o dano ambiental capaz de desencadear malefícios. Diante disso, o estudante pode refletir que a substância primeiramente penetrará na célula, alterando seu funcionamento e dependendo dessa alteração prejudicar os tecidos, desencadeando danos sistêmicos ao organismo.

De acordo com Cachapuz *et al.* (2005) e Carvalho (2010) o método científico deve ser parte do universo de aprendizagem das ciências. O experimento integrante desse estudo poderá ser aplicado de modo demonstrativo após expor o objetivo do experimento, uma vez que pressupõe que devido às pesquisas realizadas deixará os estudantes cientes das

consequências da metodologia. Assim a ação genotóxica e mutagênica do sulfato de cobre no espécime em questão, *Allium cepa* L. (GUERRA; SOUZA, 2002; MACEDO *et al.*, 2014; MESSIAS *et al.*, 2019) configura-se como um exemplo da reflexão relacionada a uma situação-problema (BRASIL, 2018a).

As ilustrações contidas no livro, assim como o texto explicativo possibilitam os alunos o entendimento do ciclo celular, tanto em seu prosseguimento normal como alterado, instigando os mesmos a reconhecerem que as alterações evidenciadas nas imagens, cujas células haviam sido submetidas a um agente agressor, sem a preocupação da utilização dos termos técnicos como ponte, micronúcleo, perda e quebra (GUERRA; SOUZA, 2002; MACEDO *et al.*, 2014; MESSIAS *et al.*, 2019).

A BNCC (2018a), estabelece algumas habilidades que o estudante deve desenvolver no aprendizado dos conteúdos referentes às Ciências Naturais, destacam-se as que podem ser exploradas utilizando a sequência didática e o livro proposto.

A habilidade EM13CNT104 tem como foco principal avaliação dos benefícios e riscos à saúde e ao ambiente (BRASIL, 2018a), nesse sentido o livro busca essa avaliação através do uso de um agente agressor ao meio ambiente, como o sulfato de cobre, capaz de causar danos no ciclo mitótico; provocando alterações tanto de padrões citotóxicos como redução do ciclo mitótico, como genotóxicos. As alterações genotóxicas podem ser pontes cromossômicas na fase da mitose de acordo com Giacomelli (1999) as pontes resultam de aderências cromossômicas que quando múltiplas persistem da anáfase até a telófase. Ou perda de cromossomos que segundo Matsumoto e Marin-Morales (2004) pode ser consequência da adesão na anáfase que pode romper as pontes resultando na quebra do cromossomo.

A habilidade EM13CNT203 estimula a avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano (BRASIL, 2018a; DEMO, 2011). A conveniência da escolha da mitose para temática da sequência didática e do livro, facilita estabelecer a habilidade mencionada, visto ser visível a ação tóxica do sulfato de cobre nas células meristemáticas da *Allium cepa* L., evidenciando que algumas ações antrópicas têm efeitos indesejáveis nos ecossistemas que desencadeiam consequências aos organismos.

A habilidade EM13CNT205 tem como destaque principal interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos (BRASIL, 2018a; MORAES; RAMOS; GALIAZZI, 2004). Essa habilidade está presente durante toda a proposta desse estudo, toda reflexão sugerida ao educador para estimular o estudante é subsidiada na interpretação da realização, observação e análise dos resultados obtidos na demonstração e/ou realização de um experimento científico,

consolidado na literatura. Isso confirma o diz Moraes, Ramos e Galiuzzi (2004) quando comenta que a aprender e ensinar são viés relevantes na educação formal.

A habilidade EM13CNT206 ressalta a importância de discutir o quão é essencial preservar e conservar a biodiversidade, almejando garantir a sustentabilidade do planeta (BRASIL, 2018a), a proposta da sequência didática almeja estimular no estudante o desenvolvimento do senso crítico através da adoção de uma postura proativa direcionada a atitudes que contemplem o respeito às diversas formas de vida e ações que viabilizem a preservação e conservação ambiental.

Na habilidade EM13CNT301 o foco principal é a construção de questões, elaboração de hipóteses, além do desenvolvimento da capacidade de prever e estimar por meio do confronto de situações-problemas embasada no conhecimento científico (BRASIL, 2018a). O ensino investigativo é excelente viés para desenvolver essa habilidade do educando, com isso o presente estudo principia por uma situação problema evidenciada no experimento científico.

A habilidade EM13CNT303 evidencia a necessidade da interpretação de textos de divulgação científica objetivando instaurar uma análise em fontes confiáveis (BRASIL, 2018a). Assim, a presente proposta de sequência didática e do livro “Divisão celular: o estudo da mitose numa conexão entre ambiente e saúde” contempla a habilidade em destaque por meio da elucidação da problemática apresentada. Para isso é importante que as discussões sejam subsidiadas com informações obtidas em fontes confiáveis, a atuação do (a) professor (a) como mediador e orientador é imprescindível para favorecer a correta interpretação desses dados.

A habilidade EM13CNT306 tem como foco principal avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas (BRASIL, 2018a), ambas interações didáticas – objeto desse estudo – instiga a refletir sobre a ação de toxinas na célula e nos organismos; ao submeter o estudante a analisar a importância de atribuir a si e aqueles que o cercam, atitudes que assegurem proteção em determinadas atividades do seu dia-a-dia.

Enquanto a habilidade EM13CNT310 remete a necessidade de realçar as problemáticas locais por meio da investigação e análise dos efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (BRASIL, 2018a). Concordamos que um ponto primordial é a reflexão e postura política sobre os riscos advindos de ambientes com infraestruturas precárias ou inadequadas; motivando o estudante a descrever e analisar a situação da localidade em que reside e na qual a escola está situada, detectando os riscos que possam estarem presentes e discutindo medidas que minimizem tais perigos. Andreia e

Laburú (2011) comenta que o ensino investigativo possibilita que os estudantes apresentem uma participação mais ativa durante as aulas.

As habilidades e competências explanadas na BNCC (BRASIL, 2018a) e destacadas no presente estudo corrobora com o artigo 35 da LDB (BRASIL, 1996) porque ambas revelam a importância do ensino médio no aprimoramento do indivíduo nos aspectos éticos, cognitivo autônomo e primordialmente na percepção crítica a respeito dos fatos que o inserem e circundam, facilitando a compreensão das bases científico-tecnológicas na manutenção dos processos produtivos, consolidando a conexão entre teoria e prática (BRASIL, 2018a; CACHAPUZ *et al.*, 2005; CAMPOS; NIGRO, 1999; CARVALHO, 2010; ZABALA, 1998).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho baseou-se no processo de ensino-aprendizado pelo método investigativo ao estabelecer uma situação-problema que motiva a postura cidadã e ética do estudante.

A sequência didática e o atlas comentado estimulam a pesquisa e influenciam a ação-reflexiva tanto, tanto no aspecto da seleção das informações em fontes confiáveis, quanto na ponderação sobre o quão a ação humana pode ser danosa aos ecossistemas e, conseqüentemente, ao próprio ser humano.

Outro ponto importante dessa obra, consiste em viabilizar o desenvolvimento do estudante como ser integral, através de uma educação que o contemple em amplos e variados aspectos e atinja as múltiplas facetas das juventudes. Além disso, estimula a elaboração de alternativas que legitimam o protagonismo estudantil, promovendo sua autonomia na consolidação do processo de ensino-aprendizagem em suas múltiplas dimensões de forma dinâmica, permitindo demonstrar seu posicionamento ético-cidadão e firmar-se sócio-histórico-culturalmente.

Diante disso, a presente dissertação, viabiliza a continuidade do estudo no que concerne a aplicação da metodologia científica pelo próprio estudante com a aplicação da sequência didática e o uso do atlas como ferramenta auxiliar do aprendizado.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B. *et al.* **Biologia molecular da célula**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 1464p.
- ANCIAL, J. P.; ROMÃO, N. F. Análise da atividade citotóxica e mutagênica do extrato aquoso das partes aéreas de *Uncaria tomentosa* em teste de *Allium cepa*. **Journal of basic education, Technical and Technological**, Rio Branco, v. 3, n. 2, p. 16-26, 2016. Disponível em: <http://revistas.ufac.br/revista/index.php/SAJEBTT/article/view/195>. Acesso em: 29 abr. 2018.
- ANDREIA, F. Z.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, pp. 67-80, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1295/129521755005.pdf> >. Acesso em: 30 jul 2019.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Base Nacional Comum Curricular – BNCC**. Brasília: MEC, 2018a. 600p. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 06 mar. 2019.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Câmara de educação Básica. **Resolução nº 3, de 21 de novembro de 2018**. Brasília: CNE, 2018b. 16p. Disponível em: <http://novoensinomedio.mec.gov.br/resources/downloads/pdf/dcnem.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2019.
- BRASIL. **Lei 13.415, de 16 de fevereiro de 2017**. Brasília: Planalto, 2017. 6p. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13415.htm#art3. Acesso em: 06 mar. 2019.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação; Conselho Pleno. Parecer nº 11, de 30 de junho de 2009. Proposta de experiência curricular inovadora do Ensino Médio. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 de agosto de 2009, Seção 1, p. 11. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/parecer_minuta_cne.pdf. Acesso em: 14 jun. 2019.
- BRASIL. **Lei 9394, de 20 de dezembro de 1996: lei de diretrizes e bases da educação brasileira - LDB**. Brasília: Planalto, 1996. 32p. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 06 mar 2019.
- CACHAPUZ, A. *et al.* **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo, SP: Cortez, 2005. 263p.
- CAMPOS, M.C.C.; NIGRO, R.G. **Didática de Ciências: o ensino-aprendizagem como investigação**. São Paulo: FTD, 1999. 190p. (Conteúdo e metodologia)
- CARVALHAES, Produtos para laboratório. **FISPQ - Ficha de informações de segurança de produtos químicos: Sulfato de cobre II 5H₂O**. Alvorada, RS: 2016. Rev. 02. p. 4 Disponível em: <https://www.carvalhaes.net/anexos/products/8750/sulfato-de-cobre-ii-pentahidratado-rev.02.pdf>. Acesso em: 14 jun 2019.

CARVALHO, A.M.P. **Ensino de ciência**: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2010. 154p.

CAVALCANTI, M.L.F.; ANDRADE, L.R.; GONÇALVES, A.C.M. Avaliação dos conteúdos de citologia abordados em livros didáticos do 1º ano do ensino médio. In: EDUCERE, 12., 2015, Curitiba. Anais ... Curitiba: p. 15372-15383. Disponível em: <http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/19060_8755.pdf>. Acesso em 10 abr 2018.

CECCON, C.; OLIVEIRA, M.D.; OLIVEIRA, R.D. **A vida na escola e a escola da vida**. 21 ed. Petrópolis: Vozes, 1990. 93p.

COOPER, G.M.; HAUSMAN, R.E. **A célula**: uma abordagem molecular. 3 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2007.

COSTA, I.S.; ANDRADE, F.R.D. Experimentos didáticos de cristalização. **Terra e didática**. Campinas, n. 10, p. 91-104, 2014. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v10_2/PDF10-2/Tdv10-101-2.pdf. Acesso em: 14 jun. 2019.

DANTAS, A.P.J. *et al.* Importância do uso de modelos didáticos no ensino de citologia. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 3., 2016, Natal. **Anais [...]** Natal, 2016. Disponível em: http://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV056_MD1_SA18_ID8857_15082016141911.pdf. Acesso em: 04 abr. 2018.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.; PERNAMBUCO, M.M. **Ensino de ciências**: fundamentos e métodos. 2 ed. São Paulo: Cortez, 2007. 366p.

DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. Campinas: Autores associados, 2011. 148p.

DEVLIN, T. M. **Manual de bioquímica com correlações clínicas**. 7.ed. São Paulo: Blucher, 2011. 1296 p.

FINAZZI, G.A. *et al.* Desenvolvimento de experimento didático de eletrogravimetria de baixo custo utilizando princípios da química verde. **Química nova**, São Paulo, v. 39. n. 1. p. 112-117, 2016. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=6323&nomeArquivo=v39n1a16.pdf. Acesso em: 14 jun. 2019.

FISKEJO, G. The Allium test as a standart in environmental monitoring. **Hereditas**. London, v. 102, n. 1, p. 99-112, 1985. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x/pdf>. Acesso em: 04 jan 2018.

FILLOUX, J. **Émile Durkheim**. Recife: Massangana, 2010. 148p. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/me4657.pdf>. Acesso em: 20 dez 2017.

FREIRE, P. **Pedagogia da esperança**: um reencontro com a pedagogia do oprimido. 16. ed. Rio de Janeiro: Paz e terra, 2009. 245p.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 36.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2007. 148p.

GALLETI, S.R. Introdução a microscopia eletrônica. **Biológico**, São Paulo, v. 65, n.1/2, p.33-35, jan./dez., 2003.

Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v65_1_2/galleti.pdf. Acesso em: 19 jul. 2019.

GIACOMELLI, F. R. B. **Avaliação do comportamento meiótico em variedades de Aveia (Avena sativa) recomendadas para a região Sul**. 1999. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 1999. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87675/hoshina_mm_me_rcla.pdf.txt?sequence=2. Acesso em: 28 jul. 2019.

GUERRA, M.; SOUZA, M.J. **Como observar cromossomos: um guia de técnica em citogenética vegetal, animal e humana**. Rebeirão Preto, SP: Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto, 2002. 132p. Disponível em: http://www.ensp.fiocruz.br/portal-ensp/_uploads/documentos-pessoais/documento-pessoal_52172.pdf. Acesso em: 04 jan 2018.

JARDIM, M.E.; PERES, P. Photographing microscopic preparations in the nineteenth century: Techniques and instrumentation. In: GRANATO, M.; LOURENÇO, M. L. (eds.). **Scientific Studies in the History of Science: Studies in transfer, use and preservation**. Rio de Janeiro: MAST, 2014. pp. 299-318. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265292564_Photographing_Microscopic_Preparations_in_the_19th_Century_Techniques_And_Instrumentation. Acesso em: 07 abr. 2018.

JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. **Biologia celular e molecular**. 9.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 376p.

LEBRE, R. *et al.* Intoxicação aguda por sulfato de cobre: caso clínico. **Medicina Interna**. Portugal, v.12. n. 4. p. 220-224, 2005. Disponível em: https://www.spmi.pt/revista/vol12/vol12_n4_2005_220-224.pdf. Acesso em: 14 jun 2019.

LEME, D.M. MARIN-MORALES, M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutat Res.**, Amsterdam, v. 682, n. 1, p. 71-81. Jul-Agu, 2009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19577002>. Acesso em: 11 fev 2018.

LIMA, A.A.; PAULINO FILHO, J.P.; NUÑEZ, I.B. O construtivismo no ensino de ciências da natureza e da matemática. In: NUÑEZ, I.B.; RAMALHO, B.L. (Org.) **Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática: o novo ensino médio**. Porto Alegre: Sulina, 2004. p. 84-101.

MACEDO, J. F.M. *et al.* Estudo da genotoxicidade do extrato de *Abelmoschus esculentus* (quiabo) pelo teste *Allium cepa*. **Revista Saúde em Foco**, Teresina, v. 1, n. 1, art. 2, p. 15-28. Jan./Jul., 2014.

MATSUMOTO, S.T.; MARIN-MORALES, M.A. Mutagenic Potential Evaluation of the Water of a River That Receives Tannery Effluent Using the *Allium cepa* Test System. 2004. **The Japan Mendel Society: Cytologia**, Tóquio, v. 69, n. 4, p. 399-408, 2004. Disponível

em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/67987/2-s2.0-15244361365.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jul 2019.

MENDONÇA, F.V. Ilustração científica: a arte de explicar a ciência e o conhecimento. **Gazeta médica**, [s.l.], v. 3, n. 4, Out/dez, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.29315/gm.v3i4.52>. Acesso em: 08 abr 2018.

MESSIAS, J. B. *et al.* Citogenotoxicidade e mutagenicidade do sulfato de cobre em diferentes variedades de *Allium cepa* Linn. In: SILVA NETO, Benedito Rodrigues da. (Org.). **Conceitos básicos da genética**. Ponta Grossa: Atena, 2019. v. 1, p. 54-65.

MORAES, Roque; RAMOS, Maurivan G.; GALIAZZI, Maria do Carmo. Pesquisar e aprender em Educação Química: alguns pressupostos teóricos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p. 57-64, jan./dez. 2004. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~adelauxen/textos/pesquisareaprender.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2019.

NUÑEZ, I. B.; RAMALHO, B. L. (Org.) **Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática**: o novo ensino médio. Porto Alegre: Sulina, 2004. 300p.

PAULA, S. R. **Ensino e aprendizagem dos processos de divisão celular no Ensino Fundamental**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São, 2007. 113p. Disponível em: http://www.teses.usp.br/index.php?option=com_jumi&fileid=11&Itemid=76&lang=pt-br&filtro=sabrina%20ribeiro. Acesso em: 29 maio 2019.

PERES, I. M. Processos fotográficos históricos. In: COSTA, Fernanda Madalena; JARDIM, Maria Estela. **100 anos de fotografia em Portugal (1839-1939)**. São Paulo: Edições 70, 2014. p. 15-34. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268804914_100_anos_de_Fotografia_Cientifica_1839-1939. Acesso em: 06 abr. 2018.

SALVI, C. S. A fotografia científica e as coleções vivas: memória e ciência. **Museologia & Interdisciplinaridade**, Brasília, v. 5, n. 9. p. 198-211, jan./jun. 2016. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/museologia/article/view/19220>. Acesso em: 05 abr. 2018.

SANTOS, I. C. **Introdução ao mecanismo molecular do câncer, tratamento e prevenção**: uma revisão da literatura. Recife, PE: UFRPE, 2015. 82p.

SAVIANI, D. **História das ideias**: pedagogia no Brasil. 4 ed. Campinas, SP: Autores associados, 2013. 504p.

SILVA, M. A. **Aplicação de uma sequência didática sobre o conceito de célula a partir do modelo de reconstrução educacional (MRE)**. 2017. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, CAV, Licenciatura em Ciências Biológicas, Vitória de Santo Antão, 2017. 44p. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22860>. Acesso em: 13 abr. 2018.

SNUSTAD, P.; SIMMONS, M.J. **Fundamentos de genética**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. 604p.

SOARES, V. **História da ilustração científica**. Ciência no ar. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2015. (Vídeo). Disponível em: <http://minasfazciencia.com.br/2015/08/03/historia-da-ilustracao-cientifica/>. Acesso em: 08 abr. 2018.

SOËTARD, M. **Jean-Jacques Rousseau**. Recife: Massangana, 2010. 100p. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/me4675.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

SOUSA, R.; BARRIO, J. B. M. **A célula em imagens: uma análise dos livros didáticos de biologia aprovados no PNL 2015**. In: ENPEC, 11., 2017, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis, SC: UFSC, 2017. 10p. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0502-1.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2018.

SOUZA, E.; MESSEDER, J.C. **Citologia em sala de aula: um modelo celular pensado para todos**. In: ENPEC, 11., 2017, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis, SC: UFSC, 2017. 13p. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0082-1.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2018.

SOUZA, F. B. **Correlação entre os polimorfismos (G482A) e (G216A) do gene COMT (Catecol-o-Metiltransferase) e o ambiente no câncer de mama em cadelas**. 2018. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2018. Disponível em: <https://tede2.usc.br:8443/jspui/bitstream/tede/428/2/Correlacao%20entre%20os%20polimorfismos%20%28G482A%29%20e%20%28G216A%29%20do%20gene%20COMT%20%28catecol%20-%20o%20-%20metiltransferase%29%20e%20o%20ambiente%20no%20cancer%20de%20mama%20em%20cadelas%20%28221200%29.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820p.

TICE, R.R. *et al.* Single cell gel/comet assay: guidelines for in vitro and in vivo genetic toxicology testing. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, New York, v. 35, p.206-221, 2000. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10737956>. Acesso em: 10 abr. 2018.

TROIAN, E. A.; SILVA, L. B. Análise da influência do polimorfismo Lys939Gln do gene XPC sobre as taxas de danos no DNA de trabalhadores expostos a agrotóxicos. In: SALÃO UFRGS, 2013. **Anais [...]** [Porto Alegre]: UFRGS, 2013. Poster. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/92795/Poster_31841.pdf?sequence=2. Acesso em: 06 mar. 2019.

WIRGIN, I. *et al.* Mechanistic Basis of Resistance to PCBs in Atlantic Tomcod from the Hudson River. **Science**, Colombia, v. 331, p. 1322-1325, 11 mar. 2011. Disponível em: <http://science.sciencemag.org/content/331/6022/1322>. Acesso em: 06 mar. 2019.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998. 224p.

APÊNDICE A - SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Mitose: contextualizando o ciclo de divisão celular

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

MITOSE: contextualizando o ciclo de divisão celular

1º ANO – Ensino Médio

Área de Conhecimento: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.

Disciplina: Biologia.

Nível da Modalidade: Ensino Médio.

Tema: Divisão celular: mitose.

Conteúdo: Citologia

Público-alvo: Estudantes do 1º ano do ensino médio.

Ano: 1º

Tempo estimado: 8 aulas de 50 minutos cada (6 horas e 40 minutos).

Professora: Rosanne Lopes de Brito

JUSTIFICATIVA

A contextualização aproxima o estudante do conteúdo, principalmente quando se trata de estruturas microscópicas. Por isso, é fundamental ao ministrar o tema divisão celular como a mitose, instigar o estudante a perceber que este fenômeno está ocorrendo o tempo todo em seu organismo. Porém, para desenvolver as habilidades como ser humano integral, sugere-se motivar o estudante a refletir sobre quais fatores podem afetar o perfeito andamento do ciclo de divisão mitótica e quais consequências as alterações presentes nas fases da mitose podem acarretar para a saúde ambiental e humana.

OBJETIVOS

GERAL

Abordar o ciclo de divisão celular denominado, mitose, de forma a estabelecer a conexão entre célula-ambiente-saúde.

ESPECÍFICOS

- ✓ Descrever as fases da mitose;
- ✓ Discutir porque alterações nas fases da mitose podem afetar a saúde;
- ✓ Registrar algumas substâncias que possam interferir nas fases da mitose;
- ✓ Analisar qual a conexão existente entre célula-ambiente-saúde.

ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS

- ✓ Leitura e análise interpretativa de textos pertinentes ao tema;
- ✓ Debates reflexivos;
- ✓ Apresentação de situações-problemas com mediação para construção de estratégias para solucioná-los;
- ✓ Estudo dirigido;
- ✓ Realização de pesquisas individuais e em grupo;
- ✓ Exibição de documentários e vídeos elucidativos;
- ✓ Elaboração de modelos didáticos, resumos e/ou mapas cognitivos;
- ✓ Realização e/ou demonstração de experimentos.

ESTRATÉGIAS AVALIATIVAS

- ✓ Realização das atividades propostas;
- ✓ Participação ativa nas aulas;
- ✓ Verificação de aprendizagem escrita.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS NECESSÁRIOS

- ✓ Introdução ao método científico;
- ✓ Introdução à microscopia (DESSEN; OYAKAWA, [s.d]; FERNANDES, *et al.*, 2017);
- ✓ Introdução à citologia (tipos de células, estruturas celulares: membrana plasmática, citoplasma, núcleo, organelas, parede celular);
- ✓ Introdução à biologia molecular (DNA, RNA, transcrição, replicação);
- ✓ Ciclo de divisão celular (fase G1, S e G2).

APÊNDICES AUXILIARES

- ✓ Atlas – Divisão celular: o estudo da mitose numa conexão entre célula e saúde;
- ✓ Roteiro de observação de células do meristema radicular em divisão celular mitótica normal e alterada (GUERRA; SOUZA, 2002);
- ✓ Competências gerais da educação básica;
- ✓ Competências específicas das Ciências Naturais;
- ✓ Competências e habilidades selecionadas que podem ser desenvolvidas ao trabalhar o tema mitose.

Área de Conhecimento: **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**

Disciplina: **Biologia**

Nível de Modalidade: **Ensino Médio**

Tema: *Divisão celular: mitose.*

Conteúdo: **Citologia**

Público-alvo: **Discentes do 1º ano do ensino médio.**

Ano: **1º**

Tempo estimado: **8 aulas (6 horas e 40 minutos).**

Professora: **Rosanne Lopes**

Mitose: contextualizando o ciclo de divisão celular

A pesquisa

**Quantidade de aulas: 4
minutos**

Duração: 3 horas e 20

COMPETÊNCIAS

Gerais

1, 2, 4, 5, 6 e 7.

Específicas

2 e 3.

HABILIDADES

Conceituais

EM13CNT104

Procedimentais

EM13CNT203

Atitudinais

EM13CNT206

EM13CNT303

EM13CNT306

EM13CNT310

CONTEÚDOS
TRABALHADOS

Citologia – níveis de organização da vida, da célula ao organismo;

Mitose – substâncias que podem afetar o ciclo de divisão celular;

Ecologia/ química ambiental – alguns contaminantes do solo e água; processo de bioacumulação;

Medicina – doenças decorrentes de fatores ambientais e hábitos de vida.

SITUAÇÃO DIDÁTICA

O (a) professor (a) poderá levar uma situação problema que direcione a pesquisa do estudante; ou apenas, apresentar a temática, dividir em grupos para pesquisarem (2 aulas) e posteriormente formar uma roda de diálogo para socializar a pesquisa e discutir as informações obtidas (2 aulas).

RECURSO DIDÁTICO

Acesso à internet;

Smartphones ou computadores;

Textos auxiliares.

O experimento

Quantidade de aulas: 4 minutos

Duração: 3 hora e 20

COMPETÊNCIAS

Gerais

1, 2, 6 e 7.

Específicas

1,2 e 3.

HABILIDADES

Conceituais

EM13CNT104

Procedimentais

EM13CNT203

Atitudinais

EM13CNT205

EM13CNT206

EM13CNT301

EM13CNT306**EM13CNT310**

CONTEÚDOS TRABALHADOS	<p>Método científico – situação problema, hipóteses, experimento, análise;</p> <p>Microscopia – funcionamento do microscópio e sua estrutura;</p> <p>Mitose – fases da mitose;</p> <p>Citologia – células vegetais;</p> <p>Ecologia – fatores ambientais;</p> <p>Botânica – germinação; espécie.</p>	
SITUAÇÃO DIDÁTICA	<p>Exposição dialogada</p> <p>Debate</p>	<p>Demonstração ou ilustração do experimento pelo (a) professor (a).</p> <p>Debate</p>
RECURSO DIDÁTICO	<p>Projetor de imagem (Datashow);</p> <p>Computador ou notebook;</p> <p>Ou Multimídia</p>	<p>Roteiro com descrição do procedimento e materiais em anexo.</p>

LEITURAS COMPLEMENTARES (para análise crítica e debate).

ACADEMMY, Khan. **Fases da Mitose**. [s.d.]. Disponível em:

<<https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/vida-e-evolucao-9-ano/divisao-celular/a/fases-da-mitose>>. Acesso em: 14 jul 2019.

ACADEMY, Khan. **Câncer e o ciclo celular**. [s.d.]. Disponível em:

<<https://pt.khanacademy.org/science/biology/cellular-molecular-biology/stem-cells-and-cancer/a/cancer>>. Acesso em: 14 jul 2019.

BRUM, Lia. Estudos revelam impactos da poluição sobre a saúde. **Ciência Hoje** (on-line). 2005. Jul 2005. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/estudos-revelam-impactos-da-poluicao-sobre-a-saude/>>. Acesso em: 14 jul 2019.

CASTRO, Carol. Câncer: a chave da vida e da morte. **Superinteressante**. [s.d.]. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/saude/cancer-a-chave-da-vida-e-da-morte/>>. Acesso em: 14 jul 2019.

MOUTINHO, Sofia. Vítimas da poluição. **Ciência hoje** (on-line). 2011. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/artigo/vitimas-da-poluicao/>>. Acesso em: 14 jul 2019.

SOARES, Jéssica. 10 poluentes que mais matam no mundo. **Superinteressante**. 2016. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/blog/superlistas/10-poluentes-que-mais-matam-no-mundo/>>. Acesso em: 14 jul 2019.

SUGESTÕES DE VÍDEOS

Música: Mitose da Paixão

<https://www.youtube.com/watch?v=awRhbb7BW2s>

Música: Mitose vem aí

<https://www.youtube.com/watch?v=Hp3U7sXKsso>

As fases da mitose eu sei de cor (BioloHits)

<https://www.youtube.com/watch?v=MY0D5pzN81w>

Mitose (Equipe Bio)

<https://www.youtube.com/watch?v=8UxPXM-vV7Y>

Mitose (Khan academy)

<https://www.youtube.com/watch?v=FmyzDCJwhWA>

Fase das Mitose (Khan academy)

<https://www.youtube.com/watch?v=MyzImNEjjUw>

BIBLIOGRAFIA

ALBERTS, Bruce; JOHNSON, Alexander; LEWIS, Julian; MORGAN, David; RAFF, Martin; ROBERTS, Keith; WALTER, Peter. **Biologia molecular da célula**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 1464p.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Base Nacional Comum Curricular – BNCC**. 2018a. 600p. Disponível em:

<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>
. Acesso em: 06 mar 2019.

CAMPOS, M.C.C.; NIGRO, R.G. **Didática de Ciências**: o ensino-aprendizagem como investigação. São Paulo: FTD, 1999. 190p. (Conteúdo e metodologia)

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de ciência**: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2010. 154p.

COOPER, Geoffrey M.; HAUSMAN, Robert E. **A célula**: uma abordagem molecular. 3 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2007.

DANTAS, Adriana Priscilla Jales; DANTAS, Thais Aparecida Vitoriano; FARIAS, Mércia Inara Rodrigues de; SILVA, Rogério Pereira da; COSTA, Núbia Pereira da. **Importância do uso de modelos didáticos no ensino de citologia**. III CONEDU. 2016. 8p. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV056_MD1_SA18_ID8857_15082016141911.pdf>. Acesso em: 04 abr 2018.

DESSEN, E.M.B.; OYAKAWA, J. **Microscopia**. São Paulo: USP, [s.d.]. 3p. Disponível em: <http://genoma.ib.usp.br/sites/default/files/protocolos-de-aulas-praticas/microscopia_2.pdf>. Acesso em: 10 out 2019.

DEVLIN, Thomas M. **Manual de bioquímica com correlações clínicas**. São Paulo: Blucher, 2011. 7 ed. 1296p.

FERNANDES, M.G.; *et al.* **Práticas de biologia celular**. Dourados, MS: UFGD, 2017. 110p. Disponível em: <<http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/EDITORA/Pr%C3%A1ticas%20de%20Biologia%20Celular.pdf>>. Acesso em: 06 out de 2019.

GUERRA, Marcelo; SOUZA, Maria José. **Como observar cromossomos**: um guia de técnica em citogenética vegetal, animal e humana. Rebeirão Preto, SP: Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto, 2002. 132p. Disponível em: <http://www.ensp.fiocruz.br/portal-ensp/_uploads/documentos-pessoais/documento-pessoal_52172.pdf>. Acesso em: 04 jan 2018.

JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, José. **Biologia celular e molecular**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 9 ed. 376p.

SANTOS, Igor Cassimiro dos. **Introdução ao mecanismo molecular do câncer, tratamento e prevenção**: uma revisão da literatura. Monografia. 2015. Recife, PE: UFRPE, 2015. 82p.

SILVA, Meykson Alexandre da. **Aplicação de uma sequência didática sobre o conceito de célula a partir do modelo de reconstrução educacional (MRE)**. Vitória de Santo Antão, PE: UFP-CAV, 2017. 44p. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/22860/1/SILVA%2c%20Meykson%20Alexandre%20da.pdf>>. Acesso em: 13 abr 2018.

SNUSTAD, Peter; SIMMONS, Michael J. **Fundamentos de genética**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. 6 ed. 604p.

SOUZA, Edilaine Morais; MESSEDER, Jorge Cardoso. **Citologia em sala de aula: um modelo celular pensado para todos**. XI ENPEC. 2017. Florianópolis, SC: UFSC, 2017. 13p. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0082-1.pdf>>. Acesso em: 04 jan 2018.

SOUZA, Freddi Bardela de. **Correlação entre os polimorfismos (G482A) e (G216A) do gene COMT (Catecol-o-Metiltransferase) e o ambiente no câncer de mama em cadelas**. 2018. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2018. Disponível em: <<https://tede2.usc.br:8443/jspui/bitstream/tede/428/2/Correlacao%20entre%20os%20polimorfismos%20%28G482A%29%20e%20%28G216A%29%20do%20gene%20COMT%20%28catecol%20-%20o%20-%20metiltransferase%29%20e%20o%20ambiente%20no%20cancer%20de%20mama%20em%20cadelas%20%28221200%29.pdf>>. Acesso em: 06 mar 2019.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 4 ed. 820p.

TROIAN, E.A.; SILVA, L.B. **Análise da influência do polimorfismo Lys939Gln do gene XPC sobre as taxas de danos no DNA de trabalhadores expostos a agrotóxicos**. 2013. UFRGS. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/92795/Poster_31841.pdf?sequence=2>. Acesso em: 06 mar 2019.

**APÊNDICE B – Atlas → DIVISÃO CELULAR: O estudo da mitose numa conexão
entre ambiente e saúde.**

DIVISÃO CELULAR:
O estudo da mitose numa conexão entre ambiente e
saúde

Rosanne Lopes de Brito

Gerusa Tomaz de Aquino Beltrão

Júlio Brando Messias

Cristiano Aparecido Chagas

Editora UFPE

2019

CRÉDITOS UNIVERSITÁRIO

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Centro Acadêmico de Vitória de Santo Antão

APRESENTAÇÃO

Aos estudantes,

Há características diversas nos seres vivos, algumas específicas de determinadas espécies outras comuns a todas as formas de vida, como a capacidade de crescimento e reprodução. Os seres vivos crescem e se reproduzem, porque isso acontece na escala microscópica com a célula, tanto em organismos formados por uma única célula quanto com os que são formados por milhões de células.

Este livro está direcionado a você, estudante do Ensino Médio, nosso objetivo é compartilhar com você uma reflexão sobre como algo que ocorre na escala microscópica pode afetar o universo macroscópico. Por exemplo, como algumas substâncias presentes no meio ambiente são capazes de provocar alterações na divisão celular e como essas alterações podem influenciar a saúde.

Com o uso de ilustrações, conheceremos as fases da divisão celular conhecida como mitose; as ilustrações trazem também alterações na mitose causadas por substâncias químicas que afetam esse processo celular. Deixamos espaço para você estudante exercitar sua capacidade de esquematizar as etapas do ciclo e anotar o que julgar necessário.

Seu professor ou sua professora o orientará em como utilizar esse livro de modo a contribuir para a melhoria de seu entendimento sobre o ciclo de divisão celular mitótico e como estabelecer a conexão entre o ambiente e a saúde. Desejamos que você faça bom uso desse material e possa compartilhar com seus colegas o que aprendeu.

Atenciosamente, os Autores.

APRESENTAÇÃO

Aos professores e professoras,

O presente livro foi elaborado pensando em auxiliar sua prática docente ao ministrar o tema divisão celular na mitose. O conteúdo presente nesta obra é uma sugestão de contextualização a ser utilizada em sala de aula como um instrumento didático, tanto em instituições de ensino que possuam microscópio quanto para aquelas escolas que não têm o equipamento. O objetivo é contextualizar o conteúdo e incentivar o estudante do Ensino Médio a refletir sobre os principais hábitos que a humanidade adota frente ao meio ambiente e a sua própria saúde. A reflexão sobre a conexão célula-ambiente-saúde contribuirá para o estudante entender como o que ocorre em uma escala microscópica ter consequências em sua saúde.

Para ajudar a atingir tais objetivos, também elaboramos uma sugestão de sequência didática que contempla as habilidades propostas na BNCC – Base Nacional Curricular Comum e acrescentamos na versão para o professor.

Agradecemos e desejamos que esse livro seja útil no cotidiano escolar. E nos colocamos ao seu dispor para quaisquer esclarecimentos.

Atenciosamente,

Os Autores.

Sumário

Mitose.....	66
Interfase.....	68
Prófase.....	73
Metáfase.....	76
Anáfase.....	82
Telófase.....	88
Célula-ambiente-saúde.....	94
Referências.....	96

Mitose

Os organismos eucarióticos, como nós seres humanos, realizam dois tipos de divisão celular, a mitose e a meiose. A meiose produz células reprodutivas, tais como o gameta masculino, chamado espermatozoide e o gameta feminino chamado de ovócito. Enquanto a mitose gera células somáticas, ou seja, as demais células do nosso corpo.

Aqui, apresentaremos e discutiremos a mitose. Esse tipo de divisão é muito estudado pelos cientistas das áreas de Biologia e Biomedicina. Esses estudos são realizados em diversos organismos animais e vegetais, o que permite estabelecer comparações entre esses organismos, inclusive com a mitose em células humanas. É interessante notar o que é a mitose e como ela ocorre. Mas você sabia que a mitose também pode servir para estudar o meio ambiente? Isso mesmo, algumas substâncias presentes no meio ambiente podem alterar os processos de mitose normal e gerar alterações que podem ser detectadas ao microscópio. Mas vamos falar disso depois.

A mitose é considerada um processo de divisão celular equacional; isso porque, ao se dividir por mitose, uma célula origina duas novas células com a mesma quantidade de cromossomos iniciais. Isso quer dizer que o ciclo de divisão começará com uma célula diploide (o número de cromossomos convencional da espécie) e terminará com duas novas células também diploides (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).

Normalmente se considera que o processo de divisão celular por mitose envolve quatro fases (Figura 1): prófase (capítulo 3), metáfase (capítulo 4), anáfase (capítulo 5) e telófase (capítulo 6). Há autores, no entanto, que consideram uma quinta fase entre a prófase e a metáfase, chamada prometáfase. Aqui vamos considerar, para simplificar, quatro fases. Apresentaremos fotografias de todas as fases; essas imagens foram feitas com células da pontinha da raiz da cebola (chamado meristema radicular). Escolhemos a cebola porque ela apresenta um cariótipo com apenas 16 cromossomos que são grandes e fáceis de se visualizar no microscópio óptico convencional.

Figura 1 Células de meristema radicular de cebola, mostrando as fases normais da Mitose: A – Interfase; B – Prófase; C – Metáfase; D – Anáfase; E – Telófase.



Fonte: Acervo dos autores

Interfase

Antes que a mitose aconteça, a célula passa pelo processo de preparação para todos os eventos que devem ocorrer. Inicialmente, a célula precisa duplicar seu material genético. Além disso, ela precisa aumentar a quantidade de membranas internas que formam suas organelas. Algumas organelas, como as mitocôndrias também precisam se reproduzir. Desse modo, a célula garante que as duas novas células formadas apresentem organelas celulares suficientes para funcionar normalmente. Isso representa, ainda, que a célula precisa obter recursos do meio ambiente para aumentar a quantidade de moléculas como nucleotídeos, ácidos graxos, aminoácidos e açúcares. Tais moléculas, por sua vez, serão usadas na produção de membranas e macromoléculas como ácidos nucleicos e proteínas. Essa fase de “preparação” para iniciar a mitose é denominada interfase. Embora a palavra signifique repouso, nessa fase a célula está extremamente ativa, pois precisa sintetizar todos os componentes celulares necessários para a própria divisão e também para duas células novas que surgirão ao fim da mitose (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).

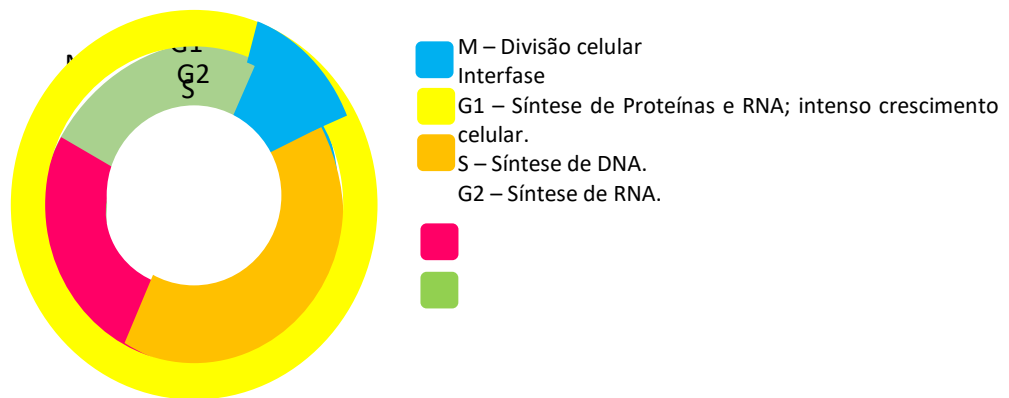
A interfase pode ser dividida em três períodos que estão representados na figura 3 (ALBERTS *et al.*, 2010; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2009):

- ✓ G1 → O G vem da palavra em inglês “gap” que significa intervalo; nessa etapa, a célula não estará descansando; na verdade a célula produzirá boa parte das macromoléculas e membranas necessárias para um grande aumento no seu volume celular. Para isso, haverá grande produção de proteínas, RNAs e outros componentes celulares. É nessa etapa também que a célula entrará numa espécie de encruzilhada molecular: a comunicação com outras células definirá se essa célula entra ou não no ciclo de divisão celular. Isso é importante porque, uma vez que a célula comece a duplicar seu DNA, não haverá mais retorno: ou a célula completa a mitose ou, se algo der errado, ela entra num processo de morte celular geneticamente programada, chamado apoptose.
- ✓ S → O S vem da palavra síntese, porque é nesse período que o material genético, DNA, é sintetizado e cada um dos seus cromossomos é duplicado; nessa fase também ocorre a duplicação dos centríolos, além de ocorrer a síntese de

histonas, proteínas que integram os cromossomos e ajudam no processo de compactação do DNA.

- ✓ G2 → Ao final da fase S, a célula terá todos os cromossomos duplicados, formando o que chamamos de cromátides irmãs. Um dado cromossomo apresentará duas moléculas de DNA, ligadas pelo centrômero, que são idênticas uma a outra. Nessa fase, o centrômero também estará duplicado. Assim, esse período se caracteriza como um intervalo (gap em inglês) entre G1 e S, mas não pense que a célula está esperando. Ao longo de G2, a célula continuará produzindo diferentes tipos de proteínas, principalmente aquelas que serão necessárias na mitose, como algumas envolvidas na alta condensação dos cromossomos, que caracteriza o início da mitose do ponto de vista morfológico.

Figura 3 Etapas do Ciclo de divisão celular.



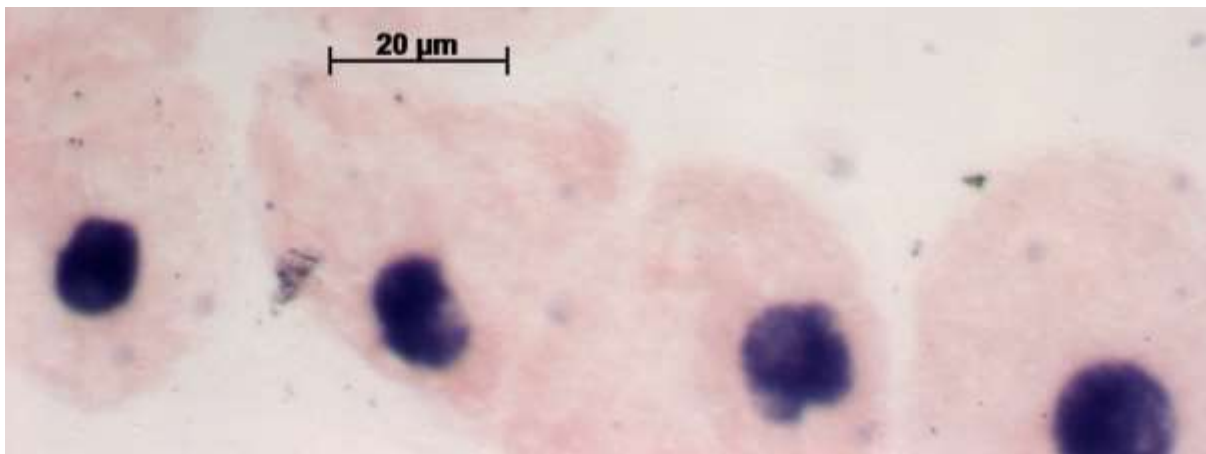
Fonte: Adaptado de Junqueira e Carneiro (2012).

Pode existir ainda uma fase que os biólogos celulares chamam de G0. Na verdade G0 exprime a ideia de que a célula saiu do ciclo celular. Isso pode acontecer por duas razões. A primeira se dá quando a célula se diferencia, ou seja, ela se especializa numa função no tecido e se transforma num tipo celular daquele tecido, como um neurônio no tecido nervoso, ou uma célula muscular no tecido muscular. Aliás, células como os neurônios e células musculares cardíacas jamais saem do estágio G0 (assim, não entram em mitose nunca). Outras células como as musculares lisas ou os hepatócitos (células do fígado) podem sair de G0 e voltar ao ciclo celular, caso recebam sinais extracelulares para isso. A segunda razão pela

qual uma célula entra em G0 são condições ambientais desfavoráveis para a multiplicação celular. Imagine que a célula esteja num ambiente de nutrientes limitados; nesse caso, a duplicação de uma célula gera duas células idênticas que competirão entre si pelos poucos recursos disponíveis. Assim, a célula entra em G0 e aguarda que as condições do meio estejam favoráveis à sua duplicação. Uma curiosidade interessante é que em animais, a célula entra em G0 apenas como um caminho alternativo a G1, mas células vegetais podem aguardar em G0 tanto a partir de G1 quanto de G2; nesse caso fenômeno é denominado endoreduplicação (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Também é interessante que a célula apresenta mecanismos moleculares (muito complexos para tratarmos aqui) que definem se a célula inicia ou não a mitose propriamente dita a partir de G2. Basicamente, esses mecanismos moleculares checam se todos os processos necessários para a mitose estão prontos, como a completa duplicação dos cromossomos, ou ainda, se o meio é favorável à duplicação celular. A mitose só se iniciará caso todos os processos celulares anteriores tenham ocorrido e se o meio estiver propício. O fim de G2 e início da fase M (divisão propriamente dita) é marcado pela condensação dos cromossomos, que marca a primeira fase da mitose: a prófase (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012). Nas figuras 1 e 4 é possível ver células em interfase. Tente reconhecer os núcleos de cada célula; eles apresentam formato arredondado e com coloração azul a roxa, intensa e homogênea.

Figura 4 Células em interfase no meristema radicular de *Allium cepa* L.



Fonte: Acervo dos autores

Curiosidades

- O período G1 possui diversas moléculas que atuam como inibidoras de mutações que impedem a célula de prosseguir o ciclo de divisão. Se a célula conseguir manter o ciclo até a fase S, não haverá fatores extracelulares (externos à célula) que impeçam a continuidade do ciclo (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).
- Outro fato curioso é que de todas as etapas envolvidas no ciclo celular, a interfase (G1, S e G2) representa 95%, é nessa etapa que todas as moléculas essenciais às duas novas células serão produzidas e nesse período são sintetizados 80% do RNA ribossomal, utilizado para sintetizar novas proteínas (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).

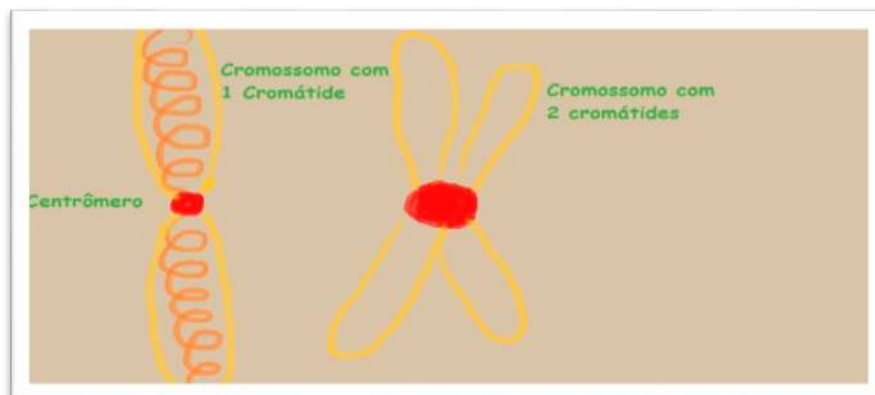
Prófase

A prófase (o prefixo “pro” significa primeira) marca o início da mitose (Figura 8). Nela, os cromossomos passam por um processo de condensação extremo graças à interação do DNA com diferentes proteínas responsáveis pela compactação do DNA. É possível ver tal condensação ao microscópio (Figura 7). Na prófase, ainda há envoltório nuclear (antigamente chamado de carioteca, mas esse nome caiu em desuso) (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012). Durante a fase G2 e a prófase, os nucleossomos (lembre-se que agora temos dois) migram, pela interação de seus microtúbulos para lados opostos do núcleo. Lembre-se sempre que a partir do final da fase S, todos os cromossomos estão duplicados com suas cromátides irmãs ligadas pelo centrômero.

Curiosidades:

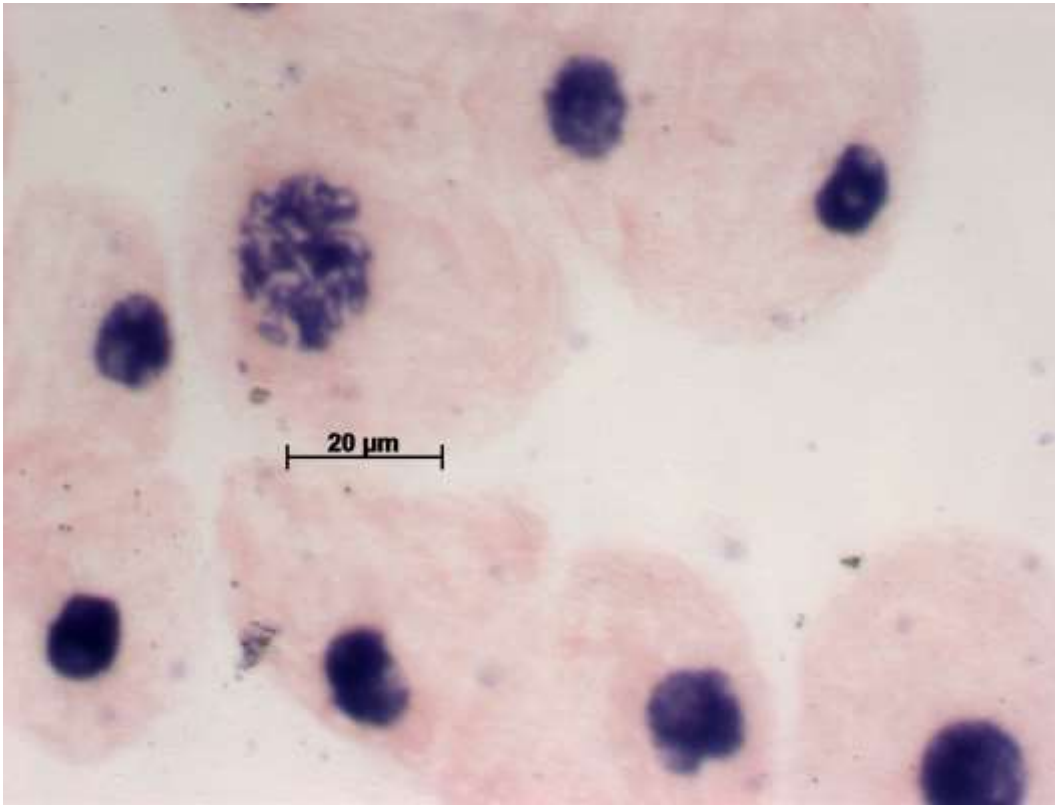
- As cromátides permaneceram ligadas até o início da anáfase;
- Os cromossomos se manterão condensados até o final da mitose, o que impede que o DNA seja danificado através de quebra do material genético ou se enrosque (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).

Figura 6 Representação esquemática das partes que formam o cromossomo.



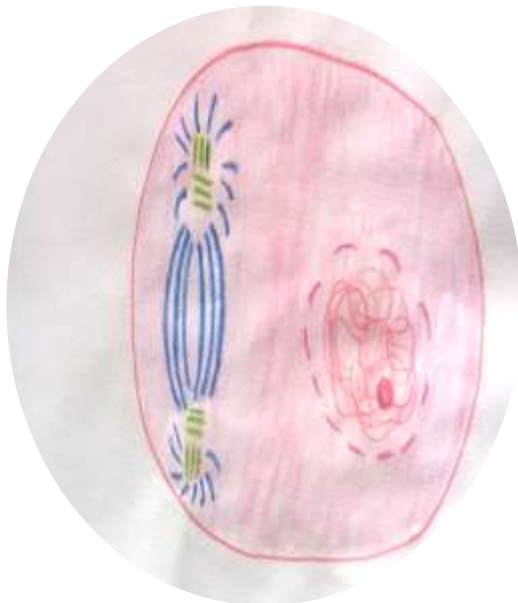
Fonte: <https://www.mesalva.com/forum/t/interfase-celulas-somaticas/6032/3>

Figura 7 Célula de meristema radicular de *cebola* na fase prófase.



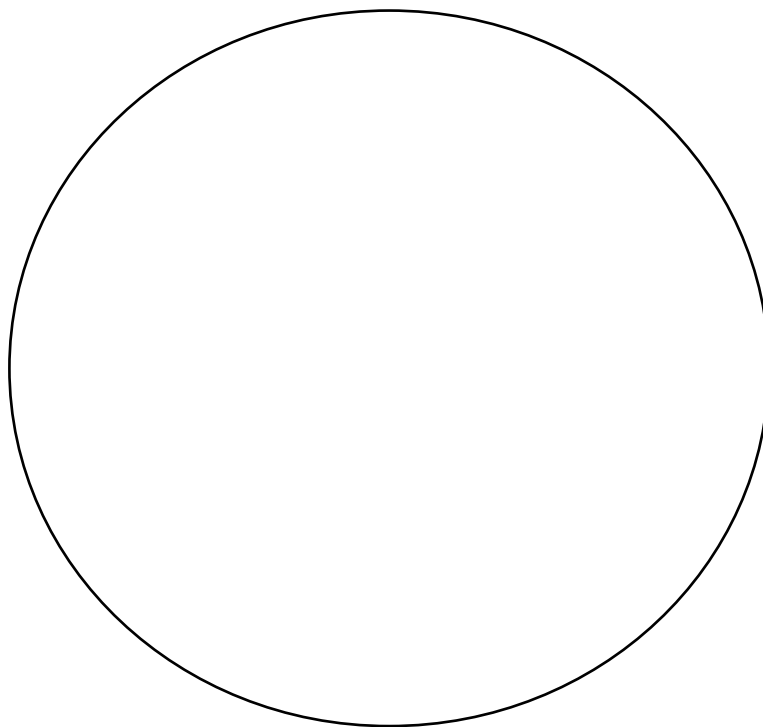
Fonte: Acervo dos autores

Figura 8 Desenho esquemático da célula na Prófase.



Fonte: Acervo dos autores

Desenhe



Anotações

Metáfase

A metáfase se caracteriza pelo posicionamento dos cromossomos na região central da célula. Não há mais envoltório nuclear; agora ele está disperso no citosol na forma de vesículas. Nesse estágio, é comum se referir a uma estrutura chamada placa metafásica; na verdade essa “placa” representa o aglomerado de centrômeros dos cromossomos que acabam ficando juntos no equador da célula (Figura 9 e 13). (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012). É muito comum ver animações na internet que demonstram que os cromossomos migram para o equador da célula por si só, como se houvesse algo que os atraísse naquela direção. Na verdade, os cromossomos são levados para o equador da célula pelas fibras do fuso que se polimerizam a partir dos centrosomos que estavam posicionados em lados opostos do núcleo. As fibras do fuso se prendem aos centrômeros e os cromossomos acabam sendo empurrados para o equador da célula. Esse alinhamento é importante para que os cromossomos sejam distribuídos igualmente entre as células filhas e não ocorra alterações celulares (SNUSTAD; SIMMONS, 2013). Durante a metáfase os cromossomos se apresentaram no seu maior estado de condensação possível; em algumas células, é possível observar as duas cromátides irmãs (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).

Algumas substâncias químicas podem interferir e prejudicar a formação das fibras do fuso (Figura 10, 11 e 12). Quando isso ocorre, o mal funcionamento do fuso mitótico acarreta problemas no alinhamento dos cromossomos na metáfase. Algumas vezes podemos ver ao microscópio o mal alinhamento dos cromossomos na metáfase e isso serve de indicação para a ação de substâncias químicas que causam problemas na mitose (Figura 11 e 12), a ponto de causar mutações (ALBERTS *et al.*, 2017).

Curiosidades

- Cada cromátide irmã de um dado cromossomo é constantemente puxada para um dos lados da célula por proteínas motoras associadas aos microtúbulos. As cromátides, no entanto, continuam presas entre si pela ação de uma proteína

chamada coesina que as conectam com força suficiente para manter os cromossomos com as cromátides unidas e alinhá-los a placa equatorial.

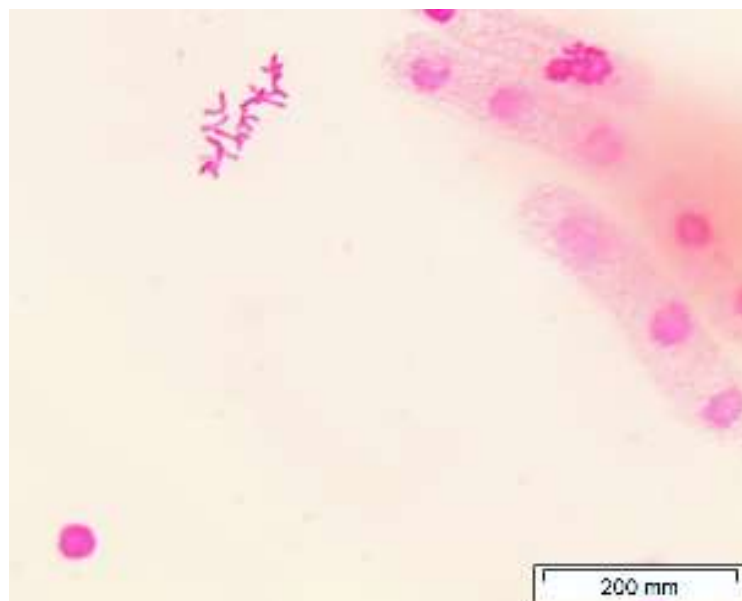
- Outro fato interessante é que as fibras do fuso são acromáticas, sem aderência a corantes, portanto, não sendo possível visualizá-las e por isso, chamadas também de fibras acromáticas (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).
- Para estabelecer o cariótipo de uma espécie, se estimula a divisão celular e aplica uma substância chamada colchicina. A colchicina atua na formação das fibras do fuso interrompendo a divisão celular na fase da metáfase, quando os cromossomos são mais fáceis de serem visto ao microscópio.

Figura 9. Célula de meristema radicular de *Allium cepa* L. na Metáfase normal.



Fonte: Acervo dos autores

Figura 10 Células de meristema radicular de *Allium cepa* L. na Metáfase alterada por ação do sulfato de cobre: sem fuso.



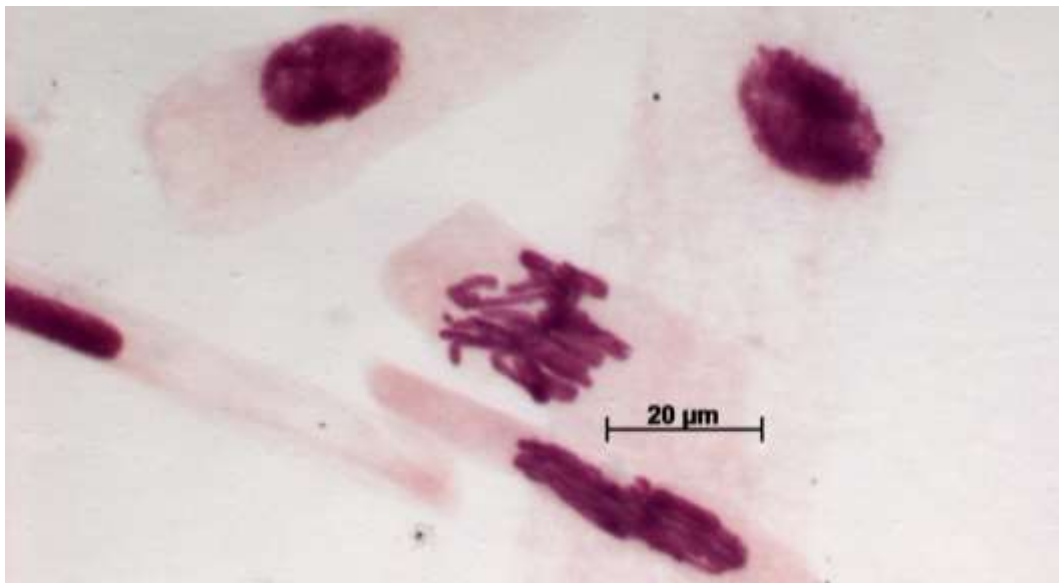
Fonte: Acervo dos autores

Figura 11 Células de meristema radicular de *Allium cepa* L. na Metáfase alterada por ação do sulfato de cobre: perda.



Fonte: Acervo dos autores

Figura 12 Células de meristema radicular de *Allium cepa* L. na Metáfase alterada por ação do sulfato de cobre: quebra.



Fonte: Acervo dos autores

Figura 13 Desenho esquemático da célula na Metáfase normal.



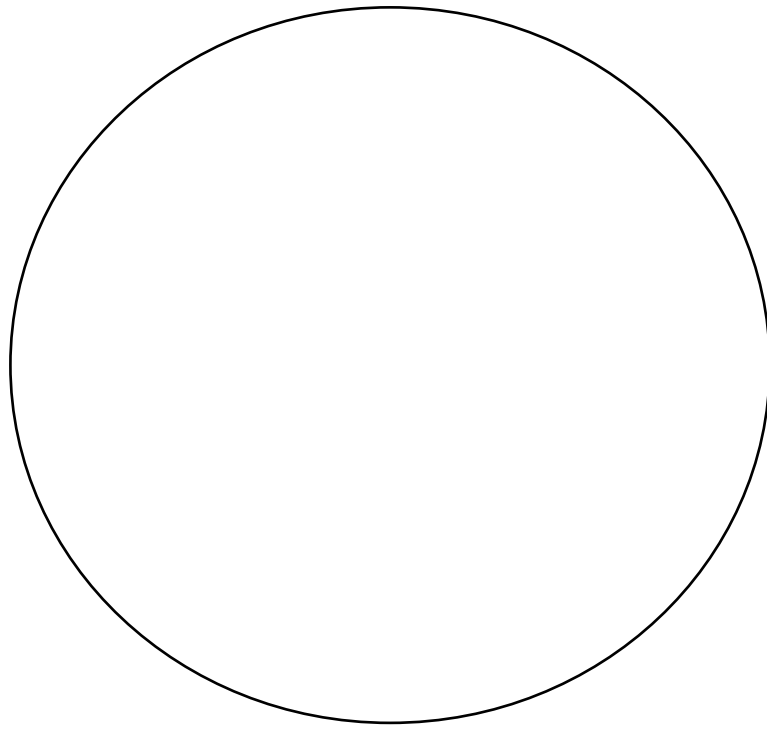
Fonte: Acervo dos autores

Figura 14 Desenho esquemático da célula na Metáfase alterada por ação do sulfato de cobre.



Fonte: Acervo dos autores

Desenhe



Anotações

Anáfase

A passagem da metáfase para a anáfase acontece de forma brusca com a destruição das coesinas. Sem as coesinas, as proteínas motoras presas no cinetócoro e associadas aos microtúbulos puxa cada cromátide de um cromossomo para um dos polos da célula. Isso ocorre com todos os cromossomos dessa célula mais ou menos ao mesmo tempo. Conforme as cromátides deslizam pelos microtúbulos, esses vão se despolimerizando e se encurtando (ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012). Agora, é possível visualizar dois grupos distintos de cromossomos (que antes chamávamos de cromátides irmãs) migrando para os polos da célula (Figura 15 e 18).

Algumas substâncias podem afetar essa etapa da mitose. Snustad e Simmons (2013) exemplificam que pode acontecer de uma cromátide não ser presa por fibras do fuso. Nesse caso as duas cromátides irmãs acabam indo juntas para o mesmo lado, formando duas células filhas, uma com um cromossomo a mais e outra com um cromossomo a menos. Às vezes, uma cromátide pode simplesmente ficar livre no citosol e não ser incorporada a nenhum dos núcleos; nesse caso se forma um envoltório nuclear ao redor desse cromossomo, o que dá origem a uma estrutura que chamamos micronúcleo. A figura 15 e 17 mostram esse tipo de alteração celular provocada pela ação do sulfato de cobre em células de raiz de cebola. Quebras de cromossomos devido à ação de substâncias químicas podem, ainda, gerar um pedaço de cromossomo; como esse pedaço não terá centrômero, as fibras do fuso não se ligam a ele e tal fragmento cromossômico acaba se dispersando pelo citosol. Assim, um envoltório nuclear se forma em volta desse pedaço de DNA, formando também um micronúcleo

Curiosidade

- Na mitose a distribuição dos cromossomos é exatamente igual para as duas células filhas originadas, porém quando se trata de algumas organelas essa distribuição não é tão precisa assim; na verdade, a distribuição das organelas, como mitocôndrias e cloroplastos é aleatória.

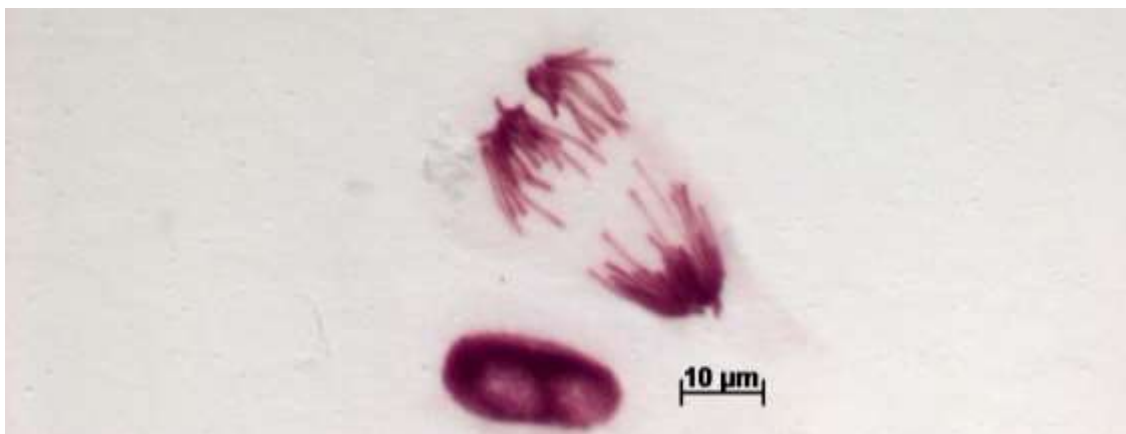
- Outra informação interessante é o fato de que organelas como o retículo endoplasmático e aparelho de Golgi são fragmentadas durante todo o processo de divisão celular e são reconstituídos nas células filhas.

Figura 15 Célula do meristema radicular de *Allium cepa* L. na Anáfase normal.



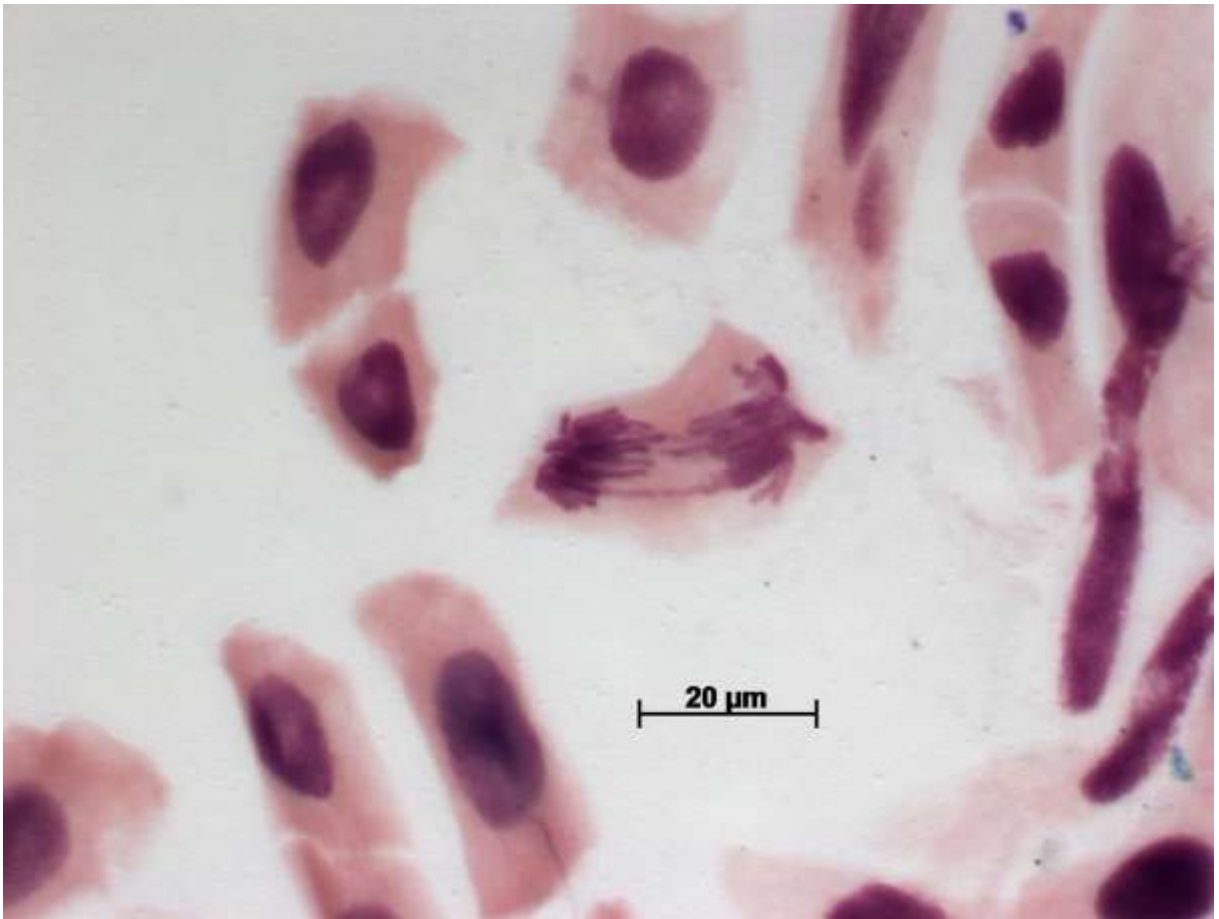
Fonte: Acervo dos autores

Figura 16 Células de meristema radicular de *Allium cepa* L. na Anáfase alterada por causa da ação do sulfato de cobre: com quebra.



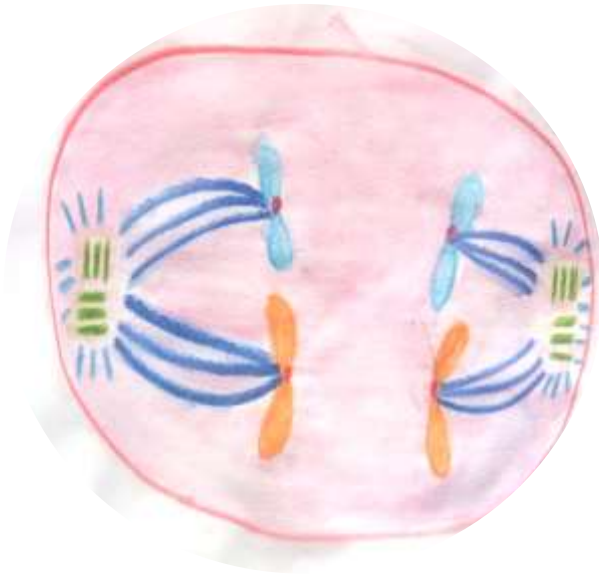
Fonte: Acervo dos autores

Figura 17 Células de meristema radicular de *Allium cepa* L. na Anáfase alterada por causa da ação do sulfato de cobre: com ponte.



Fonte: Acervo dos autores

Figura 18 Desenho esquemático da célula na Anáfase normal.



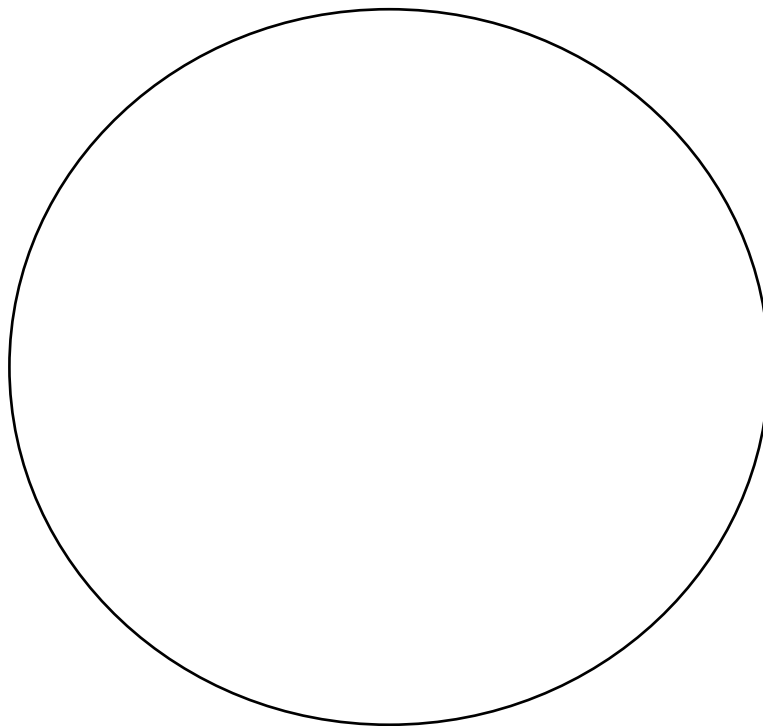
Fonte: Acervo dos autores

Figura 19 Desenho esquemático de células na Anáfase alterada.



Fonte: Acervo dos autores

Desenhe



Anotações

Telófase

A telófase (Figura 20 e 23) representa a fase final da mitose (o prefixo “telo” representa final, extremo). Nessa etapa, cada conjunto de cromossomos que migraram para os polos da célula são envolvidos por envoltório nuclear que se reconstitui a partir da reconstituição concomitante do retículo endoplasmático (o envoltório nuclear e o retículo endoplasmático são contínuos entre si). Os cromossomos, por sua vez, começam a se descondensar dentro dos novos núcleos. Assim, a telófase é uma etapa em que uma célula apresenta dois núcleos em processo de descondensação. (ALBERT *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012). Depois da formação dos núcleos ocorre a citocinese, separação das células, propriamente ditas. Em células animais a citocinese ocorre logo após a formação dos dois núcleos com a formação de uma estrutura chamada anel contrátil. Em células vegetais, a telófase e a citocinese (Figura 21) são concomitantes (acontecem ao mesmo tempo). A citocinese não é considerada parte da mitose por muitos autores. O termo mitose se refere especificamente aos eventos que ocorrem com o núcleo e os cromossomos durante a divisão celular; enquanto a citocinese representa o evento de divisão do citoplasma. Essa divisão em mitose e citocinese é importante porque não é incomum que ocorra mitose sem citocinese, formando células binucleadas; isso é comum com os hepatócitos, por exemplo.

Às vezes quebras nos cromossomos e um reparo inadequado dessas quebras acabam por promover a fusão entre dois cromossomos diferentes. Esse processo pode ser provocado por substâncias químicas ou mesmo por radiação. Quando tal evento ocorre, é possível ver no microscópio a formação das chamadas pontes cromatínicas entre um núcleo e outro. Isso também é evidência, portanto, de dano genético (Figura 22).

Curiosidades

- A citocinese ocorre de forma diferente na célula animal e vegetal;
- Na célula animal há uma constrição da membrana plasmática, ou seja, é como repartir a célula na altura da região equatorial da região mais externa para a mais interna, divisão centrípeta;

- Já nos vegetais, por causa da parede celular o fenômeno ocorre do centro (de dentro) para a parte mais externa, com a formação de vesículas que se fundem e vão separando a célula, sem romper o contato entre elas (ALBERTS, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).

Figura 20 Célula de meristema radicular de *Allium cepa* L. na Telófase normal.



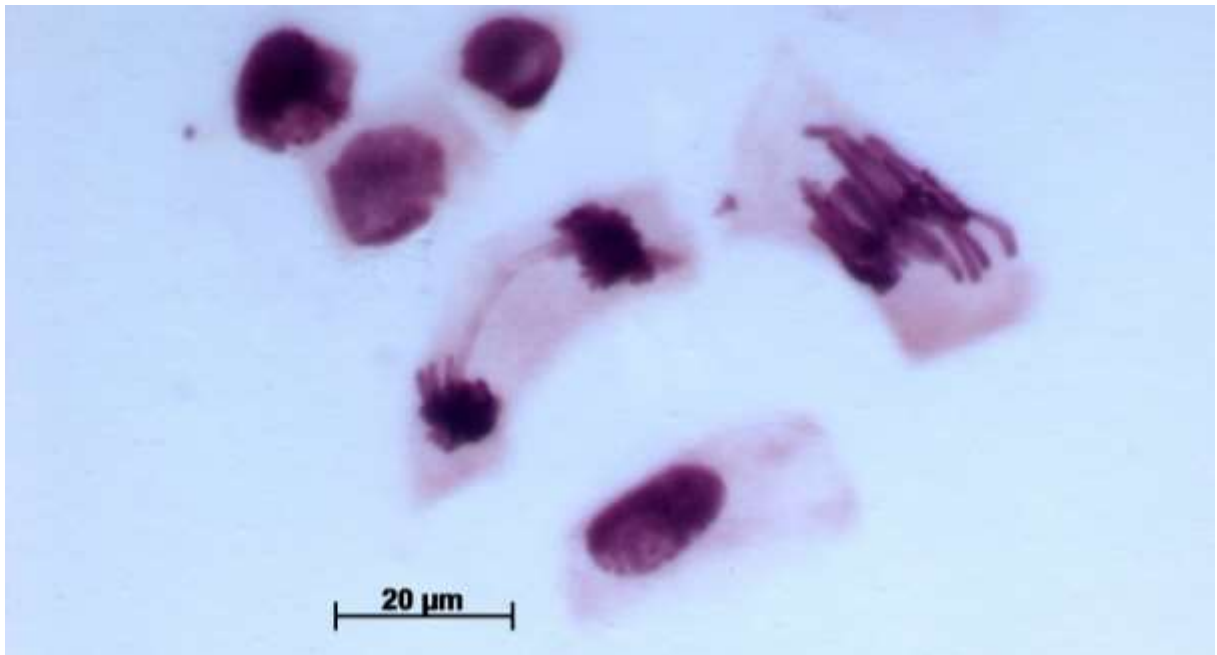
Fonte: Acervo dos autores

Figura 21 Célula de meristema radicular de *Allium cepa* L. evidenciando a citocinese.



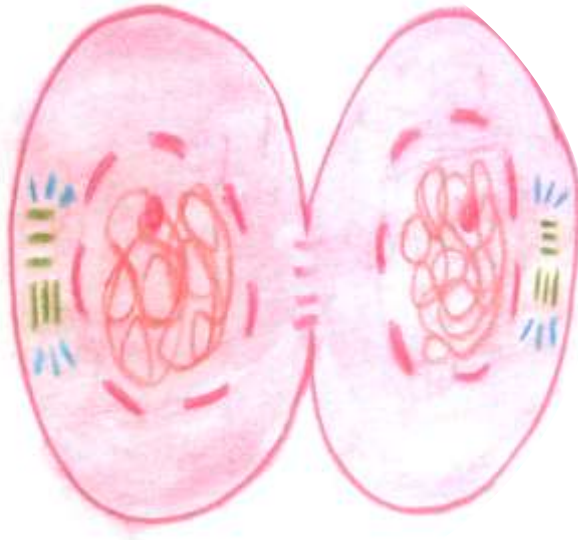
Fonte: Acervo dos autores

Figura 22 Célula do meristema radicular de *Allium cepa* L. na Telófase alterada por ação do sulfato de cobre: com ponte.



Fonte: Acervo dos autores

Figura 23 Desenho esquemático da célula na Telófase normal.



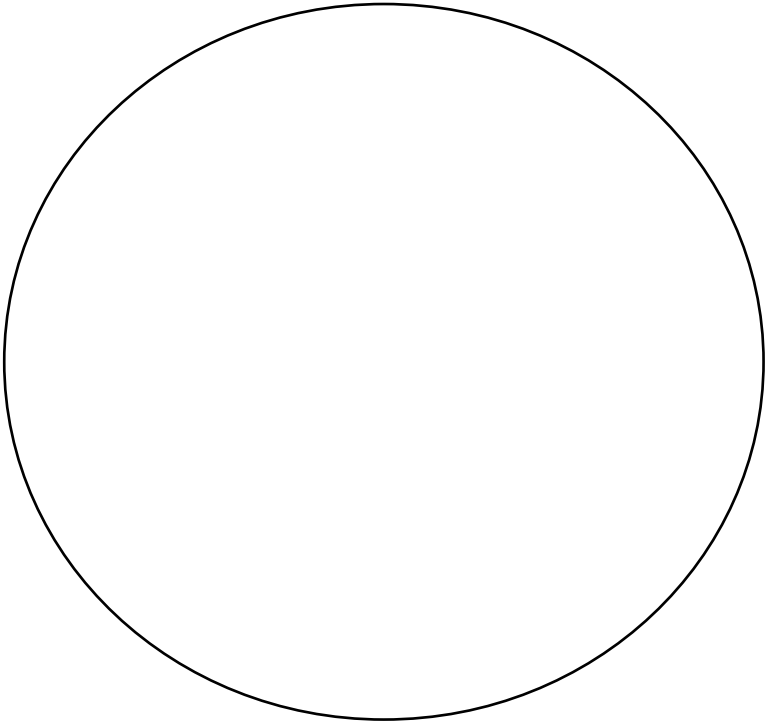
Fonte: Acervo dos autores

Figura 24 Desenho esquemático de célula na Telófase alterada.



Fonte: Acervo dos autores

Desenhe



Anotações

Célula-ambiente-saúde

O estudo do ciclo de divisão celular possibilita compreender como ocorrem determinados processos de doenças humanas. Diversos estudos mostram que substâncias que, de alguma forma, alteram o ciclo celular estão relacionadas com a ocorrência de diferentes doenças, o câncer, por exemplo. Esse conhecimento deveria servir para uma reflexão sobre a qualidade do meio ambiente em que vivemos. Substâncias despejadas ou liberadas no ar, na água e nos alimentos têm repercussões importantes em nossa saúde (SNUSTAD; SIMMONS, 2013).

No século XIX, um médico e pesquisador alemão chamado Rudolf Virchow fez uma afirmação muito importante: *Toda doença começa nas células*. Essa afirmação foi feita com base não só nos seus próprios estudos, mas também no conhecimento científico acumulado em sua época, sobretudo a partir de estudos ao microscópio de tecidos humanos, acometidos por diferentes doenças. A ciência biomédica moderna vai um pouco mais fundo: *em geral, as doenças começam nas macromoléculas*.

Por exemplo, o câncer, aqui vamos falar de modo muito simplificado, o câncer é uma doença em que as células se dividem rapidamente, aumentando o número de células daquele tipo num tecido. Tais células não respeitam a sinalização que recebem de outras células para parar de se duplicar e assim, a massa de células pode crescer e se espalhar por tecidos próximos e, às vezes, por tecidos longe daquele de origem.

Essa doença começa com mutações genéticas que modificam genes que codificam proteínas fundamentais para o bom funcionamento do ciclo celular. Danos e modificações no DNA acontecem de forma aleatória, ou seja, um gene específico não é alvo de substâncias químicas que causam mutações. No entanto, às vezes as mutações podem acontecer justamente, por acaso, em genes que são críticos para o bom funcionamento do ciclo celular. Você pode imaginar que, quanto mais uma pessoa entra em contato com substâncias que causam mutações, maiores serão as chances de que mutações aconteçam justamente nesses genes críticos do ciclo celular.

De qualquer forma os cânceres são originários de desregulações gênicas. Esse descontrole pode ser provocado por **fatores** ambientais e comportamentais,

tais como dieta, exposição excessiva à luz solar ou poluentes químicos, alguns vírus; esses fatores podem causar mutações ao modificarem o DNA. Substâncias, radiações ou organismos que podem provocar o desenvolvimento de células cancerígenas são chamados carcinógenos. Por exemplo, benzeno, a radiação ultravioleta, o vírus HPV representam carcinógenos, respectivamente, químico, físico e biológico (DELVLIN, 2011; SNUSTAD; SIMMONS, 2013).

As células alteradas que você viu ao longo desse livro são de cebolas que foram germinadas numa solução de sulfato de cobre. O sulfato de cobre é utilizado para higienização de piscinas por eliminar algas, moluscos e larvas. Um dos motivos pelo qual, após a higienização de piscina, se deve esperar um período para poder usá-la, é o fato de que as substâncias usadas na limpeza podem causar danos à saúde humana. A concentração usada no experimento para esse livro não prejudica a saúde humana.

Referências

ALBERTS, B. *et al.* **Biologia molecular da célula**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 1464p.

DEVLIN, T. M. **Manual de bioquímica com correlações clínicas**. São Paulo: Blucher, 2011. 7 ed. 1296p.

JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. **Biologia celular e molecular**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 9 ed. 376p.

SNUSTAD, P.; SIMMONS, M.J. **Fundamentos de genética**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. 6 ed. 604p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 4 ed. 820p.