

Células, corpo e sociedade: por que envelhecemos?

Mariana Carvalho Santos¹, Isabela Cássia Rocha², Maria Pauli³, Sabrina Guelfi Costa⁴, Maíra Batistoni e Silva⁵, Daniela Lopes Scarpa⁶

¹ Instituto de Biociências, mari.carvalhosantos@usp.br

² Instituto de Biociências, isabelarocha2000@usp.br

³ Instituto de Biociências, maria.pauli@usp.br

⁴ Instituto de Biociências, sabrina.guelfi@usp.br

⁵ Instituto de Biociências, mbatistoni@usp.br

⁶ Instituto de Biociências, dlscarpa@usp.br

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma sequência didática investigativa (SDI) que tem como temática o envelhecimento celular. A partir da pergunta central da investigação, “Se as nossas células estão sempre formando novas células, por que envelhecemos?”, a SDI conduz os estudantes a investigar os diferentes mecanismos biológicos e ambientais relacionados ao envelhecimento das células. A SDI foi originalmente elaborada para ser desenvolvida com estudantes do 2º ano do Ensino Médio, ao longo de 4 aulas com duração de 50 minutos cada.

A SDI proposta tem como objetivos de aprendizagem: i. explicar a importância de cada etapa do ciclo celular, evidenciando a relevância das divisões celulares e dos pontos de checagem para o organismo; ii. interpretar informações provenientes de diferentes linguagens científicas a partir da análise de estudos de caso relacionados aos mecanismos biológicos e ambientais do envelhecimento; iii. compreender o envelhecimento como um processo multifatorial, resultado da interação entre mecanismos biológicos e fatores ambientais; iv. participar ativamente das discussões coletivas sobre as explicações levantadas ao longo da investigação, comunicando ideias e conclusões com clareza e reconhecendo a colaboração como parte fundamental da construção do conhecimento.

A proposta contempla os Princípios do Ensino por Investigação por meio da problematização inicial, do trabalho com múltiplas linguagens, da inserção da ciência em contextos socialmente relevantes e da promoção de espaços de socialização, debate e reflexão. Ainda, são articuladas as etapas do ciclo investigativo de Pedaste *et al.* (2015), favorecendo a análise de dados, a argumentação científica e a construção colaborativa de explicações.

Além disso, a SDI dialoga com os Eixos da Alfabetização Científica ao promover a organização do pensamento e a compreensão de conceitos fundamentais, ao evidenciar a natureza da ciência por meio de diferentes formas de produção e registro do conhecimento, e ao integrar as relações CTSA ao relacionar o envelhecimento a estilos de vida, hábitos de

saúde, condições ambientais e desigualdades que atravessam os indivíduos ao longo do tempo. Essa articulação também se expressa na presença dos domínios conceitual, epistêmico, material e social do conhecimento científico, conforme discutido por Silva & Sasseron (2021), garantindo uma demanda cognitiva compatível com propostas de Ensino por Investigação (Scarpa & Campos, 2018).

DESENVOLVIMENTO

As 6 estratégias que compõem a SDI são previstas para serem realizadas ao longo de 4 aulas. As relações entre as aulas, estratégias e fases do ciclo investigativo estão mostradas na tabela abaixo.

Figura 1. Planejamento das aulas da SDI

Aula	Estratégias didáticas	Fases do Ciclo Investigativo
Aula 1	Estratégias 1 e 2	Orientação e Conceitualização
Aula 2	Estratégia 3	Investigação
Aula 3	Estratégia 4	Discussão e Conclusão
Aula 4	Estratégias 5 e 6	Investigação e Conclusão

Fonte: As autoras.

A partir da pergunta central de investigação da SDI, “Se as nossas células estão sempre formando novas células, por que envelhecemos?”, é esperado que os estudantes compreendam que, embora a mitose permita a renovação celular ao longo da vida, esse processo não é ilimitado ou isento de falhas. O encurtamento dos telômeros a cada divisão celular contribui substancialmente para a redução da capacidade de proliferação das células, colaborando para a senescência celular e, assim, para o envelhecimento do organismo. Além disso, esperamos que os estudantes concluam que diferentes fatores ambientais também contribuem para o envelhecimento.

Estratégia 1: Organização das fases do ciclo celular

Os estudantes, em grupos, recebem um conjunto de cartões, com figuras e textos associados, representando diferentes fases do ciclo celular (G1, S, G2 e mitose) ([Roteiro 1 - parte 1](#)), bem como um glossário que irá acompanhar os estudantes durante toda a sequência didática ([Roteiro 1 - parte 2](#)).

Estes cartões devem ser organizados em uma linha do tempo. As pessoas docentes podem atuar auxiliando os grupos, se necessário. Além disso, os estudantes recebem uma ficha contendo 3 perguntas a serem respondidas também em grupo ([Roteiro 1 - parte 3](#)).

Essa estratégia corresponde à etapa de Orientação do ciclo investigativo. Foi pensada com o intuito de retomar e mobilizar os conhecimentos prévios, uma vez que os estudantes já tiveram contato com os conteúdos conceituais de mitose e meiose, e podem não se recordar de alguns conceitos-chave importantes para a sequência didática.

Estratégia 2: Discussão centrada na pessoa docente

Os estudantes, ainda em grupos, devem compartilhar com a sala como eles organizaram seus cartões e o motivo por trás dessas escolhas, bem como suas respostas às perguntas contidas no roteiro. Neste momento, é importante que a troca de saberes entre os estudantes os ajudem a chegar na resposta correta, esta troca pode e deve ser mediada pelas pessoas docentes.

Em seguida, as pessoas docentes encaminham uma discussão pautada nas seguintes perguntas:

- Existe um limite para a divisão das células?
- Se as nossas células estão sempre formando novas células, por que envelhecemos?

É importante que, neste momento, as pessoas docentes enfatizem que a segunda trata-se da pergunta central de Investigação e que será retomada nas aulas seguintes.

Essa estratégia corresponde à etapa de Orientação e Conceitualização do ciclo investigativo, levantando questões que remetem à pergunta central de Investigação, mas que não a respondem diretamente. Além disso, esse momento permite que os estudantes construam hipóteses iniciais que serão retomadas ao longo da investigação. É importante encaminhar o raciocínio dos estudantes, uma vez que, na estratégia 3, da segunda aula, devem ter esses conceitos em mente para conseguirem realizar a investigação de forma mais fluida.

Estratégia 3: Estudo de casos clínicos

Os estudantes, organizados em grupos, recebem das pessoas docentes duas fichas médicas de pacientes de idades semelhantes, mas com condições de saúde muito distintas: o primeiro paciente é considerado clinicamente “saúdável” e o segundo apresenta um envelhecimento muito acelerado ([Roteiro 2 - parte 1](#)).

As fichas dos pacientes contêm uma combinação de exames clínicos, moleculares e observações gerais que têm como objetivo levar os estudantes a concluir que o encurtamento dos telômeros está relacionado ao envelhecimento e que a divisão celular é um processo limitado. O intuito é apresentar estas informações a partir do uso de diferentes linguagens científicas (figuras, texto, tabela/gráfico). Além disso, os estudantes recebem “cards” explicativos que irão auxiliar na interpretação dos diferentes dados ([Roteiro 2 - parte 2](#)).

A partir da análise dos dados apresentados, os estudantes, ainda em grupos, devem responder o roteiro a ser entregue pelas pessoas docentes ([Roteiro 2 - parte 3](#)), de forma que consigam, através da resolução das perguntas, propor explicações que articulem os mecanismos biológicos relacionados ao envelhecimento. As pessoas docentes, nesse momento, devem mediar as discussões dos grupos.

Esta estratégia corresponde à etapa de Investigação do ciclo investigativo, ao permitir que os estudantes participem da análise de dados e da construção de explicações que permeiam a pergunta central de investigação.

Estratégia 4: Discussão guiada pelas pessoas docentes sobre a atividade investigativa

Após a análise dos dados, as pessoas docentes guiam uma discussão coletiva através das perguntas contidas no roteiro preenchido pelos grupos. Nesse momento, os estudantes devem compartilhar com os colegas suas respostas às perguntas do roteiro.

Em seguida, as pessoas docentes apresentam brevemente a síndrome de Hutchinson-Gilford (Progeria) como possível diagnóstico do paciente 2, contextualizando os dados presentes na ficha médica e explicando o impacto da mutação no gene LMNA sobre a estrutura nuclear e o envelhecimento precoce. Espera-se que os estudantes participem ativamente da discussão, conectando-a com os novos conhecimentos apresentados pelas pessoas docentes.

Essa estratégia atende às etapas de Discussão/Reflexão e Conclusão do ciclo investigativo, uma vez que as ideias são compartilhadas e discutidas, de forma que seja possível a formulação de conclusões que possam responder à pergunta de investigação.

Estratégia 5: Estudo de caso de gêmeos monozigóticos

Os estudantes, organizados em grupos, recebem tabelas comparativas de diferentes pares de gêmeos monozigóticos hipotéticos com hábitos de vida muito distintos ([Roteiro 3 - parte 1](#)). Nesse momento, as pessoas docentes devem explicar a situação-problema: apesar dos irmãos terem o mesmo DNA, um dos gêmeos apresenta um envelhecimento facial mais avançado que o outro. A partir da análise das tabelas, os grupos devem pensar em hipóteses que possam responder a seguinte questão:

- Se os dois irmãos possuem o mesmo material genético, qual(is) fator(es) poderia(m) explicar as diferenças visíveis no envelhecimento de seus rostos? Justifique sua resposta.

As pessoas docentes são responsáveis, nesse momento, por mediar as discussões dentro dos grupos. A ideia é que não exista uma resposta única para a pergunta, uma vez que os estudantes podem escolher diferentes fatores descritos da tabela para justificar a diferença entre os irmãos.

Em um segundo momento, as pessoas docentes entregam um material adaptado do estudo “Factors Contributing to the Facial Aging of Identical Twins” de Guyuron e colaboradores (2009) ([Roteiro 3 - parte 2](#)). Com esse material, os grupos devem:

- Comparar suas hipóteses iniciais com as conclusões do estudo científico;
- Identificar possíveis fatores que não haviam considerado inicialmente.

Novamente, as pessoas docentes são responsáveis por mediar as discussões e auxiliar na interpretação do material, se necessário.

Esta estratégia corresponde à etapa de Investigação do ciclo investigativo, permitindo que os estudantes analisem situações verossímeis e formulem hipóteses. Essa estratégia, ainda, contribui para que a pergunta central de investigação seja respondida.

Estratégia 6: discussão guiada pelas pessoas docentes sobre a atividade investigativa

Após a atividade anterior, os grupos devem compartilhar com o restante da turma as suas hipóteses do que poderia explicar a diferença de envelhecimento nos gêmeos que foram analisados e o que foi possível concluir após a análise do estudo de Guyuron e colaboradores (2009).

As pessoas docentes devem prosseguir para uma sistematização das ideias e conhecimentos construídos, concluindo que o envelhecimento é multifatorial: há fatores genéticos (como os vistos na aula anterior), mas também ambientais (exposição solar,

tabagismo, estresse, dieta etc.) que aceleram o desgaste celular e influenciam processos como produção de radicais livres e encurtamento de telômeros.

Essa última estratégia atende à etapa de Conclusão do ciclo investigativo, promovendo uma síntese coletiva dos conhecimentos construídos ao longo da sequência didática. Aqui, a pergunta de investigação é retomada e respondida em sua totalidade.

Avaliação

A avaliação será realizada em três momentos da SDI. A primeira ocorre durante a aula 1, ao final da estratégia 1 e antes do início das discussões. A segunda, ocorre durante a aula 2, na estratégia 3. Ambas são de caráter formativo, uma vez que são utilizadas para observar a construção do conhecimento. Por fim, a última avaliação será realizada posteriormente à sequência didática, de caráter somativo. Nesta, os estudantes deverão comunicar de forma clara, crítica e fundamentada o que compreenderam sobre o tema central da sequência. Para a primeira e segunda avaliações, serão usados os roteiros de perguntas a serem respondidas em grupos das estratégias 1 e 3, respectivamente. Na última avaliação, a ser realizada no período extraclasse, os estudantes devem elaborar um Folder informativo para divulgação acerca do que aprenderam ao longo da SDI. Os critérios para a avaliação do Folder informativo estão apresentados em forma de rubrica ([Rubrica de correção - Folder](#)).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao articular as fases de orientação, investigação e discussão seguida de conclusão, a SDI proposta desenvolve habilidades de análise de dados, argumentação científica e construção colaborativa do conhecimento. Com isso, a sequência contempla os Princípios do Ensino por Investigação: promove a problematização a partir de uma pergunta instigante; trabalha múltiplas linguagens científicas; insere práticas e conhecimentos científicos em situações socialmente contextualizadas ; aproxima os alunos da historicidade da ciência ao incorporar um estudo real; cria momentos de socialização e discussão, de forma a permitir a argumentação e reflexão. Ao fim, os estudantes compreendem o envelhecimento como um processo multifatorial, resultado da interação entre mecanismos genéticos e condições ambientais, respondendo de forma fundamentada à pergunta central da sequência.

Paralelamente, são contemplados os Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica (Sasseron & Carvalho, 2011): as estratégias iniciais (1 e 2), situadas nas etapas de Orientação e Conceitualização, mobilizam conhecimentos prévios e organizam conceitos

essenciais do ciclo celular, contribuindo diretamente para a *compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais* (primeiro eixo); as etapas de Investigação (estratégias 3 e 5) aproximam os estudantes da natureza da ciência, ao demandar análise de dados clínicos, interpretação de diferentes linguagens e formulação de hipóteses, favorecendo a *compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática* (segundo eixo); por fim, as discussões coletivas e a síntese final (estratégias 4 e 6) articulam mecanismos celulares e fatores ambientais, relacionando o envelhecimento a hábitos de vida, exposições e desigualdades, evidenciando o *entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente* (CTSA) (terceiro eixo).

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Prof^a. Dr^a. Maíra Batistoni e Silva e à Prof^a. Dr^a. Daniela Lopes Scarpa por todos os ensinamentos, discussões e orientações oferecidos ao longo da disciplina “0410517 - Estágio Supervisionado em Ensino de Biologia”, que foram fundamentais para a construção da SDI apresentada. Agradecemos também à Escola Estadual Professor Almeida Júnior pela parceria e pela oportunidade de aplicar a sequência didática junto à turma de 2º ano do Ensino Médio no período noturno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUYURON, Bahman et al. Factors contributing to the facial aging of identical twins. **Plastic and reconstructive surgery**, v. 123, n. 4, p. 1321-1331, 2009.

PEDASTE, Margus et al. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational research review**, v. 14, p. 47-61, 2015.

SASSERON, Lúcia Helena; DE CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em ensino de ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SCARPA, Daniela Lopes; CAMPOS, Natália Ferreira. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação. **Estudos avançados**, v. 32, n. 94, p. 25-41, 2018.

SILVA, Maíra Batistoni; SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 23, p. e34674, 2021.