

O ENSINO DE BIOTECNOLOGIAS NO ENSINO MÉDIO EM BELÉM, PARÁ

THE TEACHING OF BIOTECHNOLOGIES IN HIGH SCHOOL IN BELÉM, PARÁ

LA ENSEÑANZA DE LAS BIOTECNOLOGÍAS EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA EN BELÉM, PARÁ

*Rian Castro Neves*¹, *Raimundo Adalberto Pacheco de Pinho*², *Fabio Pacheco Estumano da Silva*³

Resumo

A biologia não se limita à ciência clássica, integrando diferentes áreas para embasar debates éticos, socioculturais e econômicos. Nesse contexto, a inclusão de biotecnologias como terapia gênica, teste de paternidade, edição genômica e CRISPR torna-se essencial na educação básica. Este estudo investigou se professores de biologia do ensino médio em escolas públicas e privadas de Belém/PA abordam essas temáticas, com ênfase na técnica de CRISPR. A pesquisa, aprovada por comitê de ética, contou com docentes graduados em Ciências Biológicas, que responderam a questionários via Google Forms ou em formato impresso. Os resultados indicam que, apesar do reconhecimento da importância do ensino das biotecnologias, muitos professores não lecionam essas técnicas por falta de domínio do conteúdo, especialmente da técnica de CRISPR. Docentes afastados da formação acadêmica há mais tempo e professores da rede pública são os que mais necessitam de capacitação para garantir uma abordagem qualificada dessas temáticas no ensino médio.

Palavras-chave: biotecnologias; técnica de CRISPR; formação continuada; ensino médio.

Abstract

Biology is not limited to classical science, integrating different fields to support ethical, sociocultural, and economic debates. In this context, the inclusion of biotechnologies such as gene therapy, paternity testing, genome editing, and CRISPR becomes essential in basic education. This study investigated whether high school biology teachers in public and private schools in Belém/PA address these topics, with an emphasis on the CRISPR technique. The research, approved by an ethics committee, involved biology graduates who answered questionnaires via Google Forms or in print. The results indicate that, despite recognizing the importance of teaching biotechnologies, many teachers do not teach these techniques due to a lack of content mastery, especially CRISPR technique. Teachers who have been away from academic training for longer and those in the public school system are the ones who most need professional development to ensure a qualified approach to these topics in high school.

Keywords: biotechnologies; CRISPR technique; continuing education; high school.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, PA, Brasil. E-mail: rian.neves29@gmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, PA, Brasil. E-mail: raimundo.pacheco@ifpa.edu.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, PA, Brasil. E-mail: fabio.estumano@ifpa.edu.br

Resumen

La biología no se limita a la ciencia clásica, sino que integra diferentes áreas para respaldar debates éticos, socioculturales y económicos. En este contexto, la inclusión de biotecnologías como la terapia génica, las pruebas de paternidad, la edición genómica y CRISPR se vuelve esencial en la educación básica. Este estudio investigó si los profesores de biología de educación secundaria en escuelas públicas y privadas de Belém/PA abordan estos temas, con énfasis en la técnica CRISPR. La investigación, aprobada por un comité de ética, contó con docentes titulados en biología que respondieron cuestionarios a través de Google Forms o en formato impreso. Los resultados indican que, a pesar de reconocer la importancia de la enseñanza de las biotecnologías, muchos profesores no imparten estas técnicas por falta de dominio del contenido, especialmente CRISPR. Los docentes que llevan más tiempo alejados de la formación académica y los de la enseñanza pública son quienes más necesitan formación continua para garantizar un enfoque cualificado de estos temas en la educación secundaria.

Palabras clave: biotecnologías; técnica CRISPR; formación continua; educación secundaria.

Introdução

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), principal documento de legislação da educação brasileira, em seu artigo 2º, garante que a educação objetive o desenvolvimento pleno dos estudantes, permitindo que se tornem cidadãos conscientes de seus deveres e direitos e profissionais qualificados para o mercado de trabalho (Brasil, [1996] 2020). Por isso, é importante entender que a educação, como constata Brandão (2002, p. 73-74), “é uma prática social [...] cujo fim é o desenvolvimento do que na pessoa humana pode ser aprendido entre os tipos de saberes existentes em uma cultura, para a formação dos tipos de sujeitos [...]”. Ou seja, segundo a LDB e a definição de Brandão, a educação está intrinsecamente ligada à formação do indivíduo. Nessa perspectiva, na tentativa de assegurar o direito de aprendizado, foi estabelecida a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), um documento que define um conjunto de conhecimentos a serem ensinados pelos professores e aprendidos por todos os alunos ao longo do ensino básico, em todos os níveis e modalidades (Brasil, 2018), dentre eles, o estudo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT).

O estudo de ciências nas escolas tem por finalidade não apenas o entendimento da “ciência clássica”, mas de uma formação contextualizada, em que as outras áreas do conhecimento ajudam nas argumentações e debates sobre as implicações éticas, socioculturais, políticas e econômicas em sociedade (Brasil, 2018). Diante desse pressuposto, os estudos de ciências, em conformidade com a BNCC, buscam, segundo Veiga e Palcha (2023), um compromisso com os fundamentos do letramento científico, que viabiliza a formação dos alunos na atuação prática em sociedade, proporcionando-lhes maior autonomia intelectual. Nesse sentido, a BNCC elucida que o aluno deve terminar o ensino médio com a capacidade de enfrentar situações-problema que permeiam a sociedade, nas quais possa propor possíveis intervenções mais complexas e amplas (Brasil, 2018).

As descobertas na área da biotecnologia orientaram avanços científicos e tecnológicos importantes para a sociedade (Lima; Vasconcelos; Vasconcelos Silva, 2023). Sendo assim, no âmbito das tecnologias e dos estudos de ciências na educação básica, a aula de genética, que aborda assuntos como DNA recombinante, clonagem, transgênicos, vacinas, técnica de CRISPR (ou CRISPR/Cas9), ou seja, meios científico-tecnológicos presentes no âmbito social, tornam-se essenciais “para um debate fundamentado sobre os impactos da tecnologia nas

DOI: 10.46667/renbio.v19in1.1905

relações humanas e suas implicações éticas, morais, políticas e econômicas, e sobre seus riscos e benefícios para a humanidade e o planeta” (Brasil, 2018, p. 544).

Dentre as diversas tecnologias na área da genética, a técnica de CRISPR, desenvolvida há pouco mais de uma década (Charpentier; Doudna, 2012), vem revolucionando o entendimento de como a engenharia genética pode atuar na manipulação e edição do DNA. A técnica “apresenta uma grande vantagem devido à simplicidade, facilidade e ao baixo custo envolvidos na obtenção da enzima Cas9 e no desenho e síntese do sgRNA” (Carli; Souza; Pereira, 2017, p. 122). Nos primeiros anos após a criação da técnica, uma maior porcentagem dos trabalhos que utilizavam a técnica de CRISPR/Cas9 era de natureza “básica”, isto é, visavam a demonstrar a utilidade da técnica em diversas células, tecidos e espécies (Souza; Pereira, 2017). Algumas de suas principais áreas, a título de exemplo, estavam relacionadas à “marcação de DNA, regulação da expressão gênica, clivagem do RNA, mapeamento de genes, RNA tracking, entre outros vindouros” (Passos *et al.*, 2016, p. 81). Atualmente, com os avanços da técnica, observa-se seus estudos no melhoramento e na produção de alimento; no combate a agentes causadores de doenças, como mosquitos *Aedes aegypti*; na terapia gênica, aperfeiçoando o sistema imunológico e outras formas de edição do genoma de seres vivos (Sogayar *et al.*, 2022), assuntos que podem ser abordados em sala de aula pelos professores e, assim, instigar análises críticas entre os educandos.

Portanto, o educador de ciências deve estar capacitado não somente na transmissão do conteúdo teórico aos alunos, mas numa transmissão prática e observacional, sendo “imperiosa a necessidade de inserção das biotecnologias no âmbito da educação básica, tendo em vista a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes” (Lima; Vasconcelos; Vasconcelos Silva, 2023, p. 15). Nesse sentido, deve-se “investir na formação continuada de professores para a utilização de estratégias metodológicas ativas, interdisciplinares, contextualizadas, que abordem temas biotecnológicos de maneira apropriada e significativa” (Lima; Santos, 2022, p. 274).

Assim, o presente trabalho objetivou investigar se os professores de biologia da educação básica lecionam sobre as biotecnologias, em especial as mais recentes, como a técnica de CRISPR/Cas9, e analisar o perfil dos docentes que lecionam e não lecionam, comparando o ensino delas em escolas públicas e privadas.

Procedimentos metodológicos

Delineamento da pesquisa

Este trabalho de pesquisa teve uma abordagem quantitativa e qualitativa (Stake, 2011), sendo classificado, quanto aos objetivos, como uma pesquisa exploratória, pois “os métodos utilizados pela pesquisa exploratória são amplos e versáteis” (Mattar, 2001 *apud* Oliveira, 2011, p. 21).

Para avaliar a percepção dos professores sobre as biotecnologias, foi realizado um levantamento de dados por intermédio de um questionário, que pode ser entendido como uma coleta de dados organizados por um conjunto ordenado de questionamentos (Marconi; Lakatos,

2017). Foram aplicados questionários eletrônicos, utilizando a plataforma Google Forms, e questionários impressos. Foram 10 (dez) perguntas (quadro 1) relacionadas ao tema da pesquisa, organizadas em dois tipos de questões. As questões foram classificadas como abertas (1 [uma] pergunta), nas quais o respondente teve maior liberdade para responder com sua própria linguagem; e fechadas, de múltipla escolha (9 perguntas), que, apesar de seu caráter mais objetivo, auxiliaram na coleta de dados (Marconi; Lakatos, 2017). Além dessas perguntas, o questionário coletou dados sobre os respondentes, como idade, tempo de formação, nível de formação acadêmica, entre outros.

Quadro 1 - Perguntas constantes no questionário aplicado aos professores sobre o ensino de biotecnologias

Categoria	Nº	Pergunta	Tipo de Resposta
Perguntas Pessoais	01	Nome completo?	Livre
	02	Sexo?	Múltipla escolha: () Masculino () Feminino
	03	Qual a sua idade? (responda apenas números inteiros em anos)	Livre
Perguntas – Profissional/ Acadêmico	04	Qual o nome da escola em que você atua?	Livre
	05	A escola em que leciona é pública ou privada? (pode marcar mais de uma opção)	() Pública municipal () Pública estadual () Pública federal () Militar () Privada
	06	Em quais séries você leciona? (EM = ensino médio) (pode marcar mais de uma opção)	() 1º ano EM () 2º ano EM () 3º ano EM
	07	Quantos anos você já tem de formado em Ciências Biológicas? (responda apenas com números inteiros em anos)	Livre
	08	Há quantos anos você atua como docente do ensino básico?	
	09	Você possui pós-graduação? (pode marcar mais de uma opção)	() Não () Sim, especialização () Sim, mestrado () Sim, doutorado
	10	Em que ano você terminou sua última pós-graduação?	Livre
	11	Se você possui pós-graduação, indique em qual área.	
Perguntas Tema da Pesquisa	12	Você leciona sobre genética e suas tecnologias?	() Sim () Não
	13	Em suas aulas de genética no ensino médio, você leciona teste de paternidade?	() Sim, leciono () Não, pois não domino essas técnicas () Não, pois não considero importantes () Não, pois não há tempo para ensinar todas elas () Outros
	14	Em suas aulas de genética no ensino médio, você leciona testes forenses?	
	15	Em suas aulas de genética no ensino médio, você leciona sequenciamentos genéticos para diagnóstico ou prognóstico de doenças; ou ancestralidade?	
	16	Em suas aulas de genética no ensino médio, você leciona terapia genética?	
	17	Em suas aulas de genética no ensino médio, você leciona edição genética?	
	18	Em suas aulas de genética no ensino médio, você leciona DNA recombinante (transgenia)?	

	19	Você conhece a técnica de CRISPR? Se sim, onde você a conheceu? (pode marcar mais de uma opção)	<input type="checkbox"/> Sim, na graduação <input type="checkbox"/> Sim, na pós-graduação <input type="checkbox"/> Sim, em artigos científicos <input type="checkbox"/> Sim, em livros didáticos <input type="checkbox"/> Sim, em livros acadêmicos <input type="checkbox"/> Sim, através de divulgadores científicos nas redes sociais <input type="checkbox"/> Sim, no jornal <input type="checkbox"/> Sim, em revistas <input type="checkbox"/> Sim, na televisão <input type="checkbox"/> Não, nunca ouvir falar <input type="checkbox"/> Já ouvi falar sobre a técnica, mas não conheço <input type="checkbox"/> Outros
	20	Você já abordou a técnica de CRISPR em suas aulas no ensino básico e se sente seguro em abordar esse tema?	<input type="checkbox"/> Sim, me sinto seguro para dar aula sobre esta técnica <input type="checkbox"/> Sim, mas não me sinto seguro para abordar esse tema <input type="checkbox"/> Não, nunca abordei em minhas aulas
	21	Você considera importante incluir as biotecnologias nas aulas para a formação dos estudantes do ensino médio?	Livre

Fonte: próprios autores (2025)

Após aplicação dos questionários, os dados foram tabulados com o auxílio do software de planilhas Excel. Os resultados quantitativos foram analisados por meio de gráficos, enquanto as respostas às perguntas abertas foram analisadas qualitativamente.

Local de realização da pesquisa

O estudo foi realizado em escolas públicas e privadas no município de Belém, Pará, no intuito de abranger o maior número possível de distritos administrativos, que são 8 (oito): Belém (DABEL), Benguí (DABEN), Entroncamento (DAENT), Guamá (DAGUA), Icoaraci (DAICO), Mosqueiro (DAMOS), Outeiro (DAOUT) e Sacramenta (DASAC) (Codem, 2025). Utilizaram-se três critérios para a escolha das escolas: (a) ser uma escola de um dos oito distritos administrativos de Belém; (b) possuir, pelo menos, um(a) docente com formação em Ciências Biológicas; e (c) possuir, pelo menos, uma turma no terceiro ano do ensino médio.

Aplicação dos questionários

Para o início da pesquisa, realizou-se um primeiro contato com os diretores ou representantes pedagógicos das escolas por meio de uma carta de apresentação institucional, solicitando permissão para a realização da pesquisa. Após a autorização, foram aplicados questionários impressos para os docentes encontrados presencialmente, e questionários eletrônicos, por meio de um link do Google Forms, para aqueles não encontrados presencialmente nas escolas. Todos os respondentes aceitaram participar voluntariamente e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do CCBS/UEPA sob o protocolo de número 096276/2024.

As informações coletadas na pesquisa possuem natureza confidencial, sendo que os dados foram utilizados exclusivamente para fins de pesquisa científica, sem a identificação dos participantes. Para isso, os professores foram descritos por meio de um código composto por letras do alfabeto seguidas de números arábicos, como, por exemplo, A01, A02, A03, e assim por diante.

Resultados e discussão

O presente estudo abrangeu 50 % dos distritos administrativos de Belém (DABEL, DABEN, DAGUA e DASAC), totalizando uma cobertura de 8 (oito) bairros: Batista Campos, Nazaré, Umarizal, Parque Verde, Canudos, Guamá, Pedreira e Sacramenta.

Foram obtidas 21 respostas de professores, dos quais 76,19 % são do sexo masculino e 23,81 % do sexo feminino, com idades entre 26 e 58 anos, sendo a média de 42 anos. Os respondentes são graduados em licenciatura em Ciências Biológicas, com uma atuação que varia de 4 a 32 anos no ensino médio, tendo uma média de 19 anos de experiência. Entre os docentes, 9 atuam em escolas da rede pública (42,85 %) e 12, em escolas da rede privada (57,15 %).

Os dados indicam (figura 1) que a maioria dos respondentes, 20 docentes (95,24 %), leciona o conteúdo de genética e suas tecnologias, e que apenas um docente (4,76 %) não leciona, sendo este de escola pública. Saber que a maior parte dos professores ensina a temática é importante, pois a BNCC, na competência 3 da CNT, indica que discussões e debates acerca dos avanços científicos e tecnológicos, dentre eles os relacionados às aplicações do conhecimento sobre DNA e células, podem ampliar o senso dos impactos das tecnologias na esfera humana e nas implicações sociais e éticas (Brasil, 2018). O estudo de genética e suas tecnologias vai além do aparato conceitual, pois estimula a interdisciplinaridade, tornando-se um agente impulsionador para a realização de debates, reflexões e percepções sobre questões éticas, políticas e sociais (Veiga, Palcha, 2023; Liebmann, Alcântara Corrêa, Almeida, 2024).

Figura 1 - Percentual de docentes que afirmam lecionar sobre genética e suas tecnologias em suas aulas no ensino médio em Belém, Pará



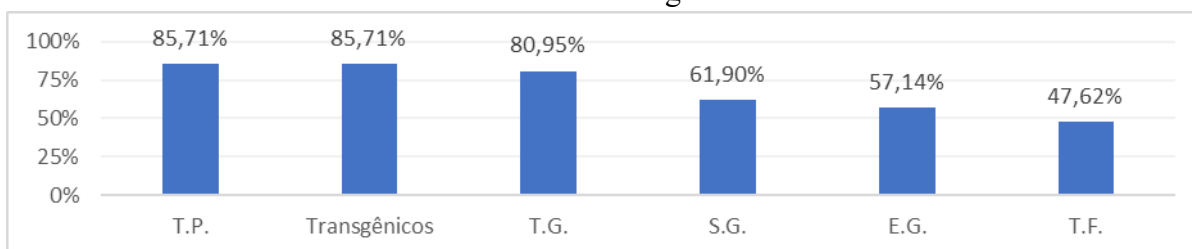
Fonte: próprios autores (2025)

Segundo Lopes (2023), as temáticas de genética ainda representam uma barreira para o ensino e aprendizagem, visto que possuem bastantes termos específicos da área, que, se não forem explorados de maneira adequada, podem gerar confusão no entendimento dos alunos, além do sentimento de insegurança do professor em ensinar. No entanto, observou-se que, apesar dessas dificuldades, os docentes continuam a ministrar os conteúdos de genética e suas tecnologias em suas aulas.

A investigação seguiu com o questionamento sobre quais biotecnologias eram abordadas em sala de aula pelos docentes respondentes. Dentre elas, a pesquisa destacou 7 (sete): teste de paternidade (T.P), testes forenses (T.F), sequenciamento genético para diagnóstico ou prognóstico de doenças ou ancestralidade (S.G), terapia genética (T.G.), edição genética (E.G), DNA recombinante (transgenia) e técnica de CRISPR. Para todas as biotecnologias citadas, com exceção da técnica de CRISPR, as possibilidades de respostas se dividiram em 5 (cinco): “Sim, leciono”, “Não, pois não domino essas técnicas”, “Não, pois não considero importantes”, “Não, pois não há tempo para ensinar todas elas” e “Outros” (o professor respondente poderia especificar qual outro motivo).

As respostas dos professores confirmaram que a maioria leciona genética e suas tecnologias, pois os dados demonstraram que a maior parte das biotecnologias destacadas são abordadas por eles em aula. O teste de paternidade (T.P) e o DNA recombinante (transgênicos) foram as biotecnologias mais abordadas pelos respondentes, com 85,71 % (n = 18) cada, seguidos de terapia gênica (T.G), com 80,95 % (n = 17), sequenciamento genético para diagnóstico ou prognóstico de doenças ou ancestralidade (S.G), com 61,90 % (n = 13), edição genética (E.G.), com 57,14 % (n = 12) e testes forenses (T.F.), com 47,62 % (n = 10) (figura 2).

Figura 2 - Biotecnologias abordadas pelos docentes respondentes em suas aulas de genética e suas tecnologias

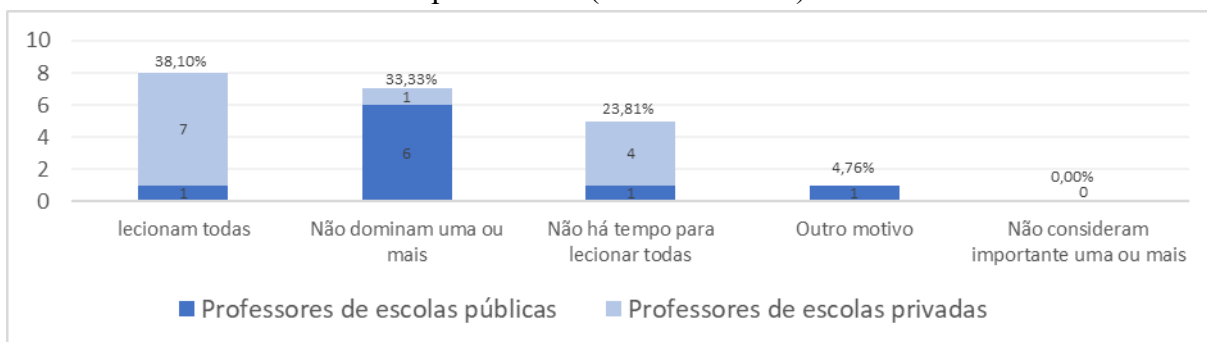


Fonte: próprios autores (2025)

Uma pesquisa realizada com cem estudantes do 3º ano do Ensino Médio de três escolas da região Noroeste do Paraná revelou que eles não apresentam compreensões diferenciadas em relação ao senso comum sobre os transgênicos, manifestando opiniões equivocadas e, muitas vezes, sensacionalistas, semelhantes às veiculadas pela mídia. Os autores concluem que “no que se refere aos transgênicos, os conhecimentos ensinados na escola não têm possibilitado aos sujeitos o entendimento da realidade atual e, por conseguinte, o pensar, falar e agir cientificamente” (Pedrancini et al., 2008). Cabe salientar que a realidade constatada em uma pesquisa publicada em 2008, com participantes de outra região (Sul) de um país de dimensões continentais, pode não refletir a realidade de Belém, no Pará (região Norte), nem a conjuntura atual. Ainda assim, esse resultado suscita uma reflexão capaz de motivar novas investigações: estudantes de uma rede de ensino, cujos docentes afirmam abordar o conteúdo, apresentam, de fato, uma compreensão da temática distinta do senso comum, isenta de equívocos e sensacionalismos? Não foram encontradas pesquisas similares referentes às demais biotecnologias.

Apesar dos dados positivos sobre a atuação no ensino de biotecnologias, é interessante analisar as razões e os percentuais daqueles que não ensinam essas técnicas. Na figura 3, observa-se que 7 docentes (33,33 %) não lecionam por falta de domínio das técnicas, enquanto 5 (23,81 %) afirmam não abordar algumas biotecnologias por falta de tempo. Apenas um docente (4,76 %) indicou outro motivo, sem especificá-lo. Dessa forma, a razão mais citada para não lecionar uma ou mais biotecnologias foi: “Não, pois não domino essas técnicas”. Esse aspecto será abordado com maior profundidade adiante, mas vale destacar que existe uma relação inversa entre os docentes de escolas públicas e privadas sob dois aspectos: há uma predominância de professores da rede privada que lecionam todas as biotecnologias, enquanto os da rede pública são os que mais relatam não ensiná-las por não dominarem as técnicas.

Figura 3 - Número de docentes que lecionam todas as biotecnologias (primeira coluna) e o número daqueles que não lecionam uma ou mais biotecnologias para cada uma das razões apresentadas (demais colunas)



Fonte: próprios autores (2025)

Uma possível explicação para o fato de alguns professores não dominarem determinadas técnicas e, conseqüentemente, não as lecionarem é a complexidade dos conceitos introdutórios de genética e biologia molecular, que podem ser de difícil compreensão (Lopes; Nascimento; Nahum, 2023).

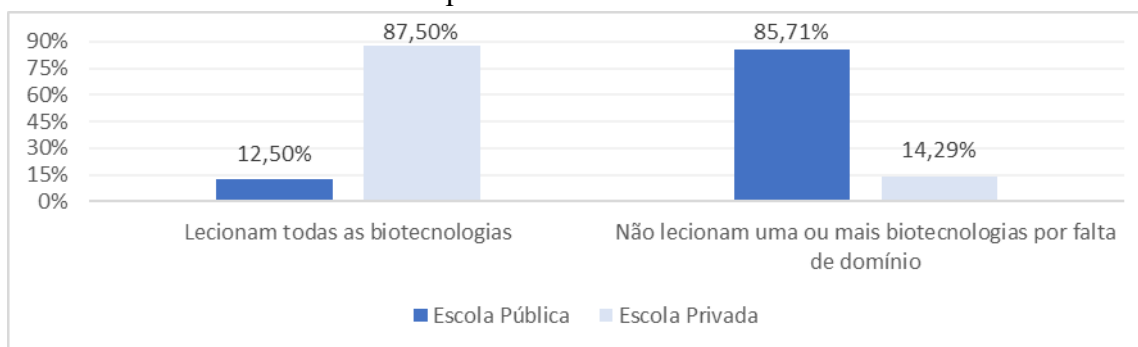
A dificuldade no domínio das técnicas biotecnológicas pode estar relacionada à falta de capacitação ou formação continuada dos profissionais. Ao investigar o tempo decorrido desde a última formação, observou-se que, entre os docentes que lecionam todas as biotecnologias (8 docentes, 38,09 %), 6 concluíram suas pós-graduações recentemente, entre 2020 e 2024; um deles concluiu a pós-graduação há mais tempo, em 2012, enquanto outro não possui pós-graduação, mas formou-se recentemente, em 2019. A média de tempo desde a última formação nesse grupo é de 3,25 anos.

Por outro lado, entre os 7 docentes (33,33 %) que não lecionam uma ou mais biotecnologias por não dominarem as técnicas, verificou-se um tempo decorrido maior desde a última formação. Esses docentes concluíram a graduação (1 [um] docente) ou a última pós-graduação (6 docentes) entre 2000 e 2015, resultando em uma média de 16,85 anos desde a última formação acadêmica.

Santos Filho *et al.* (2021), ao elaborarem o curso “Desenrolando a genética”, para investigar a defasagem prática e teórica dos docentes no ensino de genética em escolas estaduais de Curitiba/PR, observaram que, de um total de 52 docentes entrevistados, 35 % (n = 18) nunca utilizaram qualquer metodologia alternativa de ensino em suas aulas de genética. Além disso, 54 % (n = 28) apresentaram defasagem prática e teórica, enquanto 36,5 % (n = 19) demonstraram dificuldades especificamente na área de genética. Isso pode estar relacionado à descontinuidade da formação continuada dos docentes, tornando-se um empecilho para o aprimoramento das aulas ministradas e contribuindo para a dificuldade dos discentes em compreender temas de biotecnologia. Esse cenário tornou-se perceptível para alunos da rede pública de 11 municípios do estado da Paraíba, conforme evidenciado por Lima e Santos (2022), que constataram um distanciamento significativo entre alunos do ensino médio e as temáticas biotecnológicas.

Os dados coletados apontam uma discrepância entre os professores da rede pública e da rede privada (figura 4). Dos 8 professores que lecionam todas as biotecnologias, 7 (87,5 %) atuam em escolas privadas, enquanto apenas 1 (um) (12,5 %) leciona na rede pública. Quando analisado sob o mesmo viés, dos 7 docentes que não lecionam uma ou mais das biotecnologias por falta de domínio, 6 (85,71 %) atuam em escolas públicas e 1 (um) (14,29%) atua em escolas particulares. Assim, pode-se inferir que os alunos das escolas particulares de Belém estão tendo aula sobre um número maior de biotecnologias em comparação com os alunos das escolas públicas.

Figura 4 - Comparação entre percentual de docentes de escolas públicas e privadas que lecionam todas as biotecnologias e daqueles que não lecionam uma ou mais biotecnologias por falta de domínio delas



Fonte: próprios autores (2025)

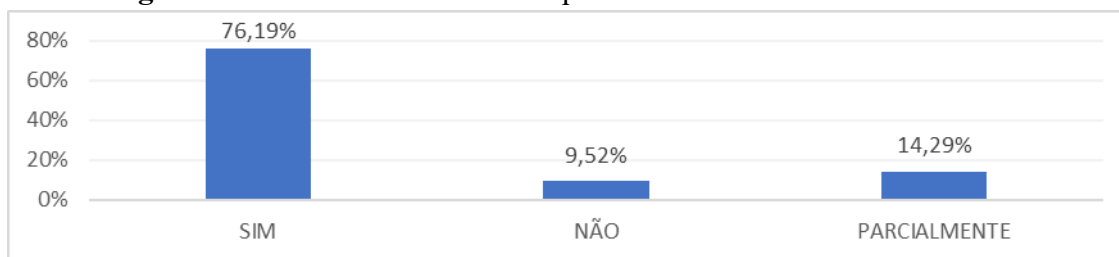
Silva *et al.* (2014) avaliaram o conhecimento dos discentes ingressantes nos cursos de Ciências Biológicas, Biomedicina, Biotecnologia e Farmácia da Universidade Federal de Alfenas (Unifal/MG) sobre os conceitos de gene e DNA. Os autores concluíram que os alunos apresentavam deficiência nos conceitos e que os alunos de Ciências Biológicas possuíam a segunda maior pontuação sobre conhecimentos equivocados, enquanto os de Farmácia foram os que apresentaram menos equívocos. Segundo os autores, dos 26 alunos de Ciências

Biológicas, 53,8 % eram de escolas públicas; dos 20 discentes de Farmácia, 55 % eram da rede privada. Com isso, o trabalho demonstrou, assim como os dados desta pesquisa, a discrepância entre escolas públicas e privadas.

Para somar ao estudo, em uma análise mais recente, Schallenberger e Soares (2020) investigaram se o ensino de biologia celular e molecular na formação inicial docente do curso de licenciatura em Ciências Biológicas, na universidade da região metropolitana de Porto Alegre/RS, estava sendo satisfatório. Os autores constataram que a maioria dos graduandos tem confiança para ministrar assuntos como DNA, RNA e divisão celular. No entanto, quando se referia a temáticas envolvendo as técnicas empregadas em biologia molecular, como terapia gênica, células-tronco e transgênicos, era observado um decréscimo na confiança dos estudantes. Provavelmente, isso ocorre porque as técnicas de biologia celular e molecular apresentam termos complexos e conceitos abstratos, o que torna os mecanismos dessas técnicas difíceis de assimilar e transmitir nas aulas.

Para investigar a atualização docente quanto à inserção de técnicas biotecnológicas mais recentes, foi perguntado aos professores se conheciam a técnica de CRISPR. Observou-se que 76,19 % (n = 16) relataram conhecer a técnica, enquanto 23,81 % (n = 5) a desconhecem. Destes últimos, 9,52 % (n = 2) declararam desconhecimento total (responderam: “Nunca ouvir falar”) e 14,29 % (n = 3), um desconhecimento parcial da técnica (responderam: “Já ouvi falar sobre a técnica, mas não conheço”) (figura 5). Observa-se, portanto, que, apesar de ser uma técnica relativamente recente, desenvolvida entre 2012 e 2013 (Balbino *et al.*, 2016), a maioria dos respondentes declarou conhecê-la.

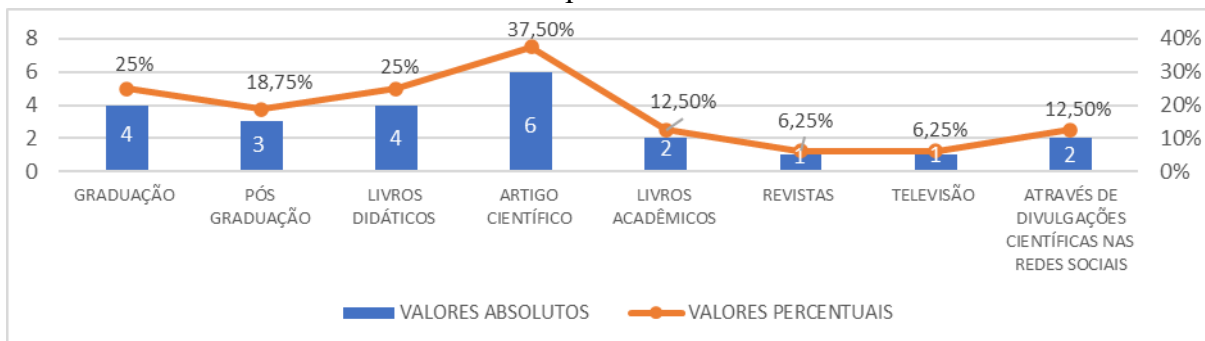
Figura 5 - Percentual de docentes que afirmam conhecer a técnica de CRISPR



Fonte: próprios autores (2025)

Os professores relatam que conheceram a técnica através de fontes diversificadas, sendo que alguns citaram mais de uma. Dos 16 professores que afirmaram conhecer a técnica de CRISPR, a fonte mais mencionada foi artigo científico, citada por 6 docentes (37,50 %), seguida pela graduação e por livros didáticos, citados por 4 docentes cada (25 % cada) (figura 6). Isso evidencia que a busca por novos saberes em fontes diversificadas de informação é uma das formas de aperfeiçoamento do conhecimento profissional, confirmando que “a inserção de temáticas biotecnológicas nos meandros sociais, nos quais os espaços educacionais se incluem e têm o dever de promover discussões profundas, perpassa a formação docente” (Lima; Vasconcelos; Vasconcelos Silva, 2023, p. 2).

Figura 6 - Formas de obtenção do conhecimento sobre a técnica de CRISPR pelos docentes respondentes



Fonte: próprios autores (2025)

Trindade *et al.* (2023) afirmam que a formação continuada de professores é essencial para o desenvolvimento do conhecimento profissional, principalmente dos da área de biologia, um campo em constante evolução. Dessa forma, o professor precisa estar em constante aperfeiçoamento, para oferecer novas abordagens de ensino e transmitir aos alunos um conteúdo mais didático.

Destaca-se que 25 % (n = 4) dos professores que conhecem a técnica de CRISPR — dois de escolas públicas e dois de escolas privadas, pertencentes a quatro instituições distintas — afirmaram tê-la conhecido por meio do livro didático. O livro didático utilizado nas instituições particulares é um material próprio, produzido pelos professores da rede, fato especificado pelo site das próprias instituições; já o das instituições públicas verificadas perpassa pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

Das duas escolas públicas citadas, uma delas não possui seu nome no site do Sistema Integrado de Monitoramento, Execução e Controle (Simec), plataforma de acesso aos registros das escolas participantes do PNLD. Por outro lado, a outra escola (que denominaremos EP1) teve seu nome encontrado no sistema e o livro didático solicitado como primeira opção foi *Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, e como segunda opção, *Multiversos – Ciências da Natureza*.

O livro didático *Multiversos – Ciências da Natureza* apresenta temas relevantes da biotecnologia, como DNA recombinante, clonagem molecular, organismos geneticamente modificados (OGM), terapia gênica e clonagem celular, constatando sua relevância com o que é proposto no Guia do Material Didático CNT no que se refere ao estímulo do conhecimento científico para o aluno e, assim, seu desenvolvimento crítico. Contudo, ao analisar os tópicos do livro *Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, não foi constatada uma área específica para biotecnologia, nem a citação do assunto em nenhum de seus seis volumes, demonstrando que seu conteúdo estava desalinhado com o que é especificado pelo Guia CNT. Vilanova (2024) investigou os sete livros aprovados pelo PNLD 2021 sob diferentes abordagens e à luz da alfabetização científica. Ao analisar todas as obras, a autora notou que duas delas (*Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar* e *Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*) não possuíam a temática biotecnologia em nenhum de seus volumes.

Ademais, os nove professores das escolas públicas estaduais participantes desta pesquisa lecionam em seis escolas diferentes. Dentre elas, apenas cinco participaram do PNLD 2021 e, entre essas, além da EP1, outras duas (EP2 e EP5) solicitaram materiais didáticos com conteúdos deficientes em relação à temática da biotecnologia (quadro 2).

Quadro 2 - Livros didáticos solicitados pelas escolas públicas estaduais de Belém/PA pelo PNLD 2021. As colunas “Biotec.” informam os livros que são deficientes (DEF.) e os que não o são (NÃO) em assuntos de biotecnologia

Escolas Públicas	Opção 1	Biotec.	Opção 2	Biotec.
EP1	Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	DEF.	Multiversos – Ciências da Natureza	NÃO
EP2	Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar	DEF.	Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	DEF.
EP3	Conexões – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	NÃO	Multiversos – Ciências da Natureza	NÃO
EP4	Moderna Plus ciências da natureza e suas tecnologias	NÃO	Multiversos – Ciências da Natureza	NÃO
EP5	Ciências da Natureza – Lopes & Rosso	NÃO	Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar	DEF.

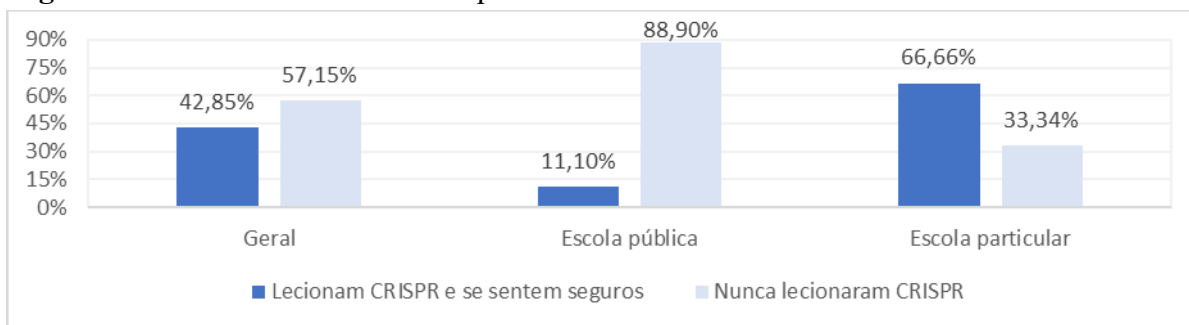
Fonte: próprios autores (2025)

Pode-se concluir que a defasagem observada nos livros didáticos, conforme demonstrado por Vilanova (2024) e evidenciado neste trabalho, aliada à sua distribuição para instituições públicas de ensino, pode contribuir para uma desigualdade no ensino e na aprendizagem entre os alunos das redes públicas estaduais e os da rede privada. Nas escolas públicas, observa-se escolhas inadequadas e pouco criteriosas do ponto de vista do ensino das biotecnologias.

Contudo, nem todos os materiais estão em desacordo com o ensino das biotecnologias. Segundo Silva e Silva (2023), que analisaram cinco livros didáticos da área de ciências da natureza aprovados pelo PNLD 2021 no estado Espírito Santo e adotados pelas escolas da rede estadual de ensino, o livro *Ciências da Natureza – Lopes & Rosso*, volume 6, traz técnicas mais modernas, como a técnica de PCR e CRISPR, em comparação com outras obras didáticas, que enfatizam temas como DNA recombinante e clonagem de organismos. Além disso, Vilanova (2024) destaca que, no livro de Lopes & Rosso, há uma ênfase nos impactos e na importância de assuntos relacionados à bioética, intrínsecos aos avanços e contribuições da engenharia genética, especialmente no que se refere às técnicas de CRISPR, clonagem e transgenia.

Outro fator importante para análise é que, embora a maioria dos docentes conheça a técnica de CRISPR, quando questionados sobre se já haviam abordado o tema em suas aulas na educação básica e se se sentiam seguros para tratá-lo, 57,15 % (n = 12) dos profissionais responderam que nunca haviam abordado a temática, e apenas 42,85 % (n = 9) afirmaram já ter tratado do tema e se sentir seguros para abordá-lo (figura 7). Com isso, verificou-se que, apesar de a técnica de CRISPR ser amplamente conhecida pelos entrevistados, ela ainda não é utilizada no ensino básico por mais da metade dos docentes.

Figura 7 - Percentual dos docentes que lecionam ou não lecionam sobre a técnica de CRISPR



Fonte: próprios autores (2025)

Ainda sobre os dados apresentados na figura 7, ao comparar a abordagem da técnica de CRISPR entre professores de escolas públicas e privadas, verifica-se que, dos 9 docentes de escolas públicas, a maioria ($n = 8$ ou 88,90 %) nunca incluiu a técnica em suas aulas. Por outro lado, entre os 12 docentes de escolas particulares, o cenário é inverso, com a maioria ($n = 8$ ou 66,66 %) já abordando CRISPR em suas aulas. Com isso, observa-se que a rede privada está incluindo mais rapidamente as novas biotecnologias, em comparação com a rede pública, onde a maioria dos docentes ainda não incluiu essa técnica que vem revolucionando a biologia molecular.

Analisando a importância da técnica de CRISPR como auxiliar em temáticas de biologia molecular, Souza Martins *et al.* (2022) realizaram uma sequência didática que abordava a técnica de CRISPR como um instrumento para introduzir temas relacionados à genética e à biologia molecular. Posteriormente, a sequência se aprofundava em discussões e situações-problema que interligavam a temática à bioética. Os autores concluíram que a abordagem da técnica CRISPR/Cas9 no eixo temático CNT se mostrou uma estratégia eficiente para reflexão, argumentação e aprendizado sobre possíveis impactos que as alterações genéticas podem causar no âmbito social, bem como na promoção de valores políticos, sociais e morais diante dos dilemas éticos impostos pela tecnologia.

Também se destaca o trabalho realizado por Paes e Miranda (2022), no qual a técnica de CRISPR serve como ponto de partida para o diálogo sobre biotecnologia, estabelecendo uma relação em torno da biotecnologia e de suas inovações. Foi realizada uma atividade prática representativa, em que os alunos trabalharam com a montagem do DNA, transcrição e tradução. Os autores concluíram que, apesar da técnica de CRISPR ter uma complexidade avançada, o que dificulta sua demonstração detalhada, ela se mostrou uma ferramenta didática potencial quando utilizada para ilustrar a estrutura do DNA e seu funcionamento celular. Eles observaram que a abordagem do tema CRISPR, no assunto de genética e suas tecnologias, possibilita discussões éticas e filosóficas sobre os potenciais usos da prática, que já são visíveis com a aplicação da técnica de CRISPR.

Na última pergunta do questionário, procurou-se saber se os professores consideram importante incluir as biotecnologias nas aulas para a formação dos estudantes do ensino médio. Os 21 professores responderam, de forma unânime, que consideram muito importante incluir o ensino dessas biotecnologias no ensino médio.

DOI: 10.46667/renbio.v19in1.1905

Pode-se destacar que um dos eixos avaliados foi a inovação que as biotecnologias proporcionam, oportunizando aos alunos uma melhor compreensão do cotidiano e, também, contribuindo para o ensino em sala de aula, além de suas utilidades para o tratamento de doenças e alfabetização científica, evidenciadas na escrita dos professores A02, A03, A05 e A11: “Sim! Por ser uma inovação científica” (A02); “Sim. Devido à sua importância para o presente e o futuro tratamento de doenças” (A03); “Claro. A biotecnologia tem se mostrado um campo a ser explorado na pesquisa acadêmica. Logo, transpô-la para a educação básica ajuda no processo de alfabetização científica” (A05); “Sim, pois vai ampliar os conhecimentos dos alunos e mostrar novas visões da biologia no que diz respeito à genética” (A11).

As respostas dos docentes estão alinhadas com o que Cardoso *et al.* (2021) expressaram ao elaborar uma sequência de ensino investigativa (SEI) com práticas de biologia molecular como ferramenta problematizadora para o ensino da genética forense. Os autores constataram que a utilização de recursos didáticos como cenas de crime ou testes de paternidade, fez com que os alunos se aprofundassem em técnicas como PCR e eletroforese, além de desenvolverem suas habilidades críticas, formularem hipóteses e aprenderem a extrair DNA.

Além disso, o uso das técnicas biotecnológicas estimula a alfabetização científica, o que proporciona maior aprendizado e compreensão ao aluno. Isso porque a alfabetização científica, quando estimulada, permite a construção do caráter moral e social do estudante, desenvolvendo seu pensamento crítico por meio da contradição, de questionamentos e de investigação diante do montante de informações de diferentes naturezas, origens e abordagens no ensino de biotecnologia (Alves; Costa, 2020).

É notório o potencial da engenharia genética, com a edição do DNA, por meio da técnica CRISPR/Cas9, frente a doenças que ainda não têm cura, como a doença falciforme, a fibrose cística e alguns tipos de câncer. Essa técnica tornou possível para os cientistas e a sociedade um vislumbre de possíveis formas de tratamento e, por vezes, a cura dessas doenças pelos processos de inserção, remoção ou correção do DNA (Diniz *et al.*, 2016).

O segundo eixo apresentado pelos professores faz referência à ligação da educação básica com os processos seletivos para ingresso nas universidades, relatados por A04 e A16: “Sim, porque são assuntos frequentes em questões do Enem” (A04); “Sim, além de sua importância para a formação científica, assunto que consta nas competências e habilidades não só da BNCC, como também do Enem” (A16).

Essa relação foi analisada por Costa *et al.* (2024), que investigou os perfis das questões de genética cobradas no Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) entre 1998 e 2022. Ele constatou que foi cobrado um total de 61 questões específicas de genética, com uma média de 2,44 questões por ano. Ao verificar os temas mais trabalhados durante o período analisado, observou-se que foram biotecnologia e engenharia genética ($n = 18$) e genética molecular e de microrganismo ($n = 16$). A partir da reformulação do Enem, que ocorreu em 2009 e fez com que o exame se tornasse a principal porta de entrada para a universidade, houve um aumento significativo no número de questões ($n = 44$) até 2022 ($p = 0,0256$).

Ademais, a biotecnologia está presente no dia a dia das pessoas, com alimentos transgênicos, terapia gênica, vacina gênica, entre outros, como constataram os professores A07,

DOI: 10.46667/renbio.v19in1.1905

A12 e A17: “Considero muito. Pois é o futuro da humanidade. É importante para a compreensão do dia a dia” (A07); “Sim, uma vez que a biotecnologia está inserida no cotidiano desses alunos, bem como na sociedade em geral” (A12); “Sim. Em virtude de ser um tema atual e relevante para o cotidiano do estudante” (A17).

Apesar de estarem presentes em nosso cotidiano, muitas vezes não são percebidos por uma parcela dos alunos. Isso foi constatado por Gomes e Moraes Filho (2015), que avaliaram o nível de conhecimento e aprendizagem dos alunos do ensino médio sobre alimentos transgênicos. Na pesquisa, concluíram que, embora o termo esteja relacionado ao senso comum e leve os alunos a um entendimento intuitivo, muitos deles ainda apresentavam uma percepção equivocada da definição do conceito.

Por fim, outro eixo de respostas verificado faz referência ao aspecto bioético do uso das biotecnologias, presente nas falas A18 e A19: “Sim, para que os alunos estejam cientes de como a ciência pode e irá impactar na sociedade, abordando também a bioética desses processos” (A18); “Sim, pois são temas atuais e relevantes, uma vez que, além de auxiliarem esses alunos no processo de alfabetização científica, em metodologia, existem esclarecimentos quanto aos aspectos éticos...” (A19).

Segundo a BNCC, o ensino de CNT no ensino médio deve proporcionar ao estudante temáticas que aprofundem e ampliem suas reflexões a respeito das tecnologias e seu uso na sociedade, pois o entendimento desses processos é indispensável para a tomada de decisões e ações, fundamentadas em princípios científicos que contabilizam as implicações éticas, morais, políticas e econômicas do uso das tecnologias (Brasil, 2018).

Por essa razão, temas biotecnológicos, como terapia gênica, transgênicos, DNA recombinante, clonagem e, em especial, a técnica de CRISPR — a qual, percebe-se neste estudo, ainda está pouco inserida no meio educacional — podem ser recursos educacionais viáveis, dado o limite tênue entre os benefícios e riscos do uso das técnicas para o ser humano.

Considerações finais

O estudo revelou que a maioria dos professores (95,24 %) leciona conteúdos de genética e suas tecnologias no ensino médio em Belém/PA, e todos (100 %) reconhecem a importância dessa temática em suas aulas. Esse dado reforça a relevância do ensino da biotecnologia na formação dos alunos, possibilitando a construção de novos conhecimentos e reflexões sobre os avanços científicos e tecnológicos na sociedade.

No entanto, verificou-se que a falta de domínio técnico é o principal fator que impede a abordagem de certas biotecnologias em sala de aula, especialmente entre docentes da rede pública. Esse déficit está diretamente relacionado ao tempo decorrido desde a última formação acadêmica, que, em média, é de 16 anos, sem atualizações acadêmicas posteriores. A ausência de capacitação contínua pode estar colocando os alunos da rede pública em desvantagem competitiva em relação aos da rede privada.

DOI: 10.46667/renbio.v19in1.1905

Observou-se, ainda, que, embora os professores reconheçam a importância do ensino das biotecnologias, técnicas mais recentes, como o CRISPR, ainda não são amplamente abordadas. Mais da metade dos docentes entrevistados nunca incluiu essa técnica em suas aulas, sendo essa lacuna mais evidente na rede pública: dos 12 professores que nunca lecionaram sobre CRISPR, 8 pertencem a escolas públicas, enquanto apenas 4 são de escolas particulares. Em contrapartida, entre os que já ensinam, 8 são da rede privada e apenas 1 (um) da rede pública. Além disso, constatou-se que os livros didáticos distribuídos para as escolas públicas apresentam deficiências no conteúdo relacionado às biotecnologias.

Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de capacitação contínua em biologia molecular e biotecnologia, especialmente para os docentes da rede pública e àqueles que estão há muitos anos sem atualização profissional. A formação continuada é essencial para aprimorar a qualidade do ensino, particularmente em áreas como a genética, onde os avanços científicos são frequentes. Assim, é fundamental que os professores busquem atualização constante, garantindo um ensino mais qualificado e alinhado às inovações da área.

Referências

ALVES, Leonardo Carvalho; COSTA, Heron Salazar. Ensino de biotecnologia: um panorama de suas abordagens no país da biodiversidade. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 816-835, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/3669>. Acesso em: 17 fev. 2025.

BALBINO, Tereza Cristina Leal *et al.* Introdução. In: PEREIRA, Tiago Campos. **Introdução à técnica de CRISPR**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2016. cap. 1, p. 29-38.

BRANDÃO, Carlos Rodrigues. **O que é educação**. São Paulo: Brasiliense, 2002.

BRASIL. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Guia Digital PNDL 2021 – Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília, 2021. Disponível em: https://pnld.nees.ufal.br/assets-pnld/guias/Guia_pnld_2021_didatico_pnld-2021-obj2-ciencias-natureza-suas-tecnologias.pdf. Acesso em: 17 fev. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.394/1996**. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. 4. ed. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: educação é a base**. Brasília, DF: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Sistema Integrado de Monitoramento do Ministério da Educação (Simec)**. Brasília. Disponível em: https://simec.mec.gov.br/livros/publico/index_escolha.php. Acesso em: 15 fev. 2025.

DOI: 10.46667/renbio.v19in1.1905

CARLI, Gabriel José de; SOUZA, Tiago Alves Jorge de; PEREIRA, Tiago Campos. A revolucionária técnica de edição genética “CRISPR”. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 114-123, 2017. DOI: 10.55838/1980-3540.ge.2017.275. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/275>. Acesso em: 21 fev. 2024.

CARDOSO, Thâmara Chaves *et al.* Biologia molecular e forense no ensino médio. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e47710817624-e47710817624, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17624.

CHARPENTIER, Emmanuelle; DOUDNA, Jennifer A. A programmable dual-RNA – guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. **Science**, v. 337, n. 6096, p. 816-821, 2012. DOI: 10.1126/science.1225829.

CODEM – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO E ADMINISTRAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. **Mapas**: distritos administrativos. 2025. Disponível em: <https://codem.belem.pa.gov.br/mapas/distritos-administrativos/>. Acesso em: 24 jan. 2025.

COSTA, Kelly Alessandra *et al.* Análise do conteúdo de genética presente no Enem no período de 1998 a 2022. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 1-12, 2024. DOI: 10.51189/integrar/rema/4188. Disponível em: <https://www.editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rema/article/view/4188>. Acesso em: 20 jan. 2025.

DINIZ, Nilza Maria *et al.* Questões éticas, legais, ambientais e de pioneirismo. *In*: PEREIRA, Tiago Campos. **Introdução à técnica de CRISPR**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2016. cap. 11, p. 215-236.

GOMES, Lázara Welyane Martins; MORAES FILHO, Aroldo Vieira de. Alimentos transgênicos: utilização de metodologia alternativa para otimização do processo de ensino aprendizagem. **Revista Uniaraguaia**, [S. l.], p. 325-336, 2015.

LIEBMANN, Simone Ponath; ALCÂNTARA CORRÊA, Edailson de; ALMEIDA, Edslei Rodrigues de. Apresentação de atividades práticas que contribuem para o ensino de genética no ensino médio. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 1, p. 6415-6431, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.1-385.

LIMA, Jairo Ribeiro de; VASCONCELOS, Francisco Herbert Lima; VASCONCELOS SILVA, Maria Goretti de. A biotecnologia na formação de professores de biologia: uma revisão sistemática da literatura. **Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, Canoas v. 12, n. 1, 2023. DOI: 10.35819/tear.v12.n1.a6457.

LIMA, Jairo Ribeiro de; SANTOS, Luis Fernando Marques. A biotecnologia no cotidiano escolar do ensino médio: análise da percepção dos estudantes. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, [S. l.], p. 260-276, 2022. DOI: 10.46667/renbio.v15i1.599.

DOI: 10.46667/renbio.v19in1.1905

LOPES, Sâmia Marília Câmara. Ensino de genética no ensino médio: desafios e novas perspectivas para qualidade da aprendizagem. **Research, Society and Development**, [S. l.] v. 12, n. 1, p. e7912139422-e7912139422, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i1.39422.

LOPES, Wagner; NASCIMENTO, Rebeqa Moreira Monteiro do; NAHUM, Herley Machado. A abordagem dos conteúdos de biologia molecular no ensino médio utilizando metodologias educativas. **Revista Ensin@ UFMS**, Três Alagos/MS, v. 4, n. 8, p. 496-520, 2023. DOI: 10.55028/revens.v4i8.18335.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. Atual. São Paulo: Atlas, 2017.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. **Metodologia científica**: um manual para a realização de pesquisas em administração. Catalão: UFG, 2011.

PAES, Eletiane da Silva; MIRANDA, Gabriel Salvador. **CRISPR**: da concepção a sala de aula. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/31225/1/crisprconcepcaosalaula.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

PASSOS, Geraldo Aleixo *et al.* Aplicações da técnica. *In*: PEREIRA, Tiago Campos **Introdução à técnica de CRISPR**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2016. cap. 4, p. 71-81.

PEDRANCINI, Vanessa Daiana; CORAZZA-NUNES, Maria Júlia; GALUCH, Maria Terezinha Bellanda; MOREIRA, Ana Lúcia Olivo Rosas; NUNES, William Mário de Carvalho. Saber científico e conhecimento espontâneo: opiniões de alunos do ensino médio sobre transgênicos. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 135-146, 2008.

SANTOS FILHO, Ronaldo dos *et al.* Avaliação de um curso de formação continuada como método de capacitação de professores do ensino médio em genética. **Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, Canoas, v. 10, n. 1, 2021. DOI: 10.35819/tear.v10.n1.a5068.

SCHALLENBERGER, Karoline; SOARES, Natalia Aparecida. O ensino de biologia celular e molecular na formação inicial docente a partir do método *team-based-learning*. **Revista de Ensino de Bioquímica**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 65-79, 2020. DOI: 10.16923/reb.v18i1.900.

SILVA, Marina Isidoro *et al.* Os conceitos de gene e DNA por alunos ingressantes na UNIFAL-MG e a efetividade da dramatização como estratégia de ensino de biologia molecular. **Revista de Ensino de Bioquímica**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 24-36, 2014. DOI: 10.16923/reb.v12i2.320.

DOI: 10.46667/renbio.v19in1.1905

SILVA, Carlos Eduardo Assis da; SILVA, Melissa de Freitas Cordeiro. Análise do conteúdo de biotecnologia em livros didáticos de ciências da natureza do Novo Ensino Médio. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 1-13, 2023. DOI: 10.51189/integrar/rema/3640.

SOGAYAR, Mari Cleide *et al.* **Edição Gênica por CRISPR/Cas9: da teoria à prática**. São Paulo: Blucher, 2022.

SOUZA, Tiago Alves Jorge de; PEREIRA, Tiago Campos. O impacto na sociedade da tecnologia de edição gênica com base no sistema CRISPR-Cas9. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 124-131, 2017. DOI: 10.55838/1980-3540.ge.2017.283.

SOUZA MARTINS, Mara Letícia Carvalho de *et al.* **Edição gênica por CRISPR/CAS9: uma estratégia de ensino das biotecnologias com ênfase na bioética**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/65132?mode=full>. Acesso em: 14 dez. 2024.

STAKE, Robert Edward. **Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam**. Porto Alegre: Penso, 2011.

TRINDADE, Jéssika Thais Maciel *et al.* **Percepção dos professores sobre a importância do estudo do DNA no ensino de biologia**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura Plena em Ciências – Química e Biologia) – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2023. Disponível em: <https://rii.ufam.edu.br/handle/prefix/6789>. Acesso em: 13 jan. 2025.

VEIGA, Gisele Tatiane Soares da; PALCHA, Leandro. A biotecnologia como trilha de aprendizagem no ensino médio: reverberações sobre o letramento científico de uma sequência didática. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, Santo Ângelo, v. 13, n. 2, p. 243-262, 21 ago. 2023. DOI: 10.31512/encitec.v13i2.766.

VILANOVA, Elayne Cristina Ramos. **Análise do conteúdo de biotecnologia em livros didáticos do PNL D 2021 e sua contribuição para uma alfabetização científica**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Ciências da Natureza e Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Salgueiro, 2024. Disponível em: <https://releia.ifsertao-pe.edu.br/jspui/handle/123456789/1263>. Acesso em: 17 fev. 2025.

Recebido em junho de 2025

Aceito em junho de 2026

Revisão gramatical realizada por: Jéssica Rejane Lima
E-mail: jessicalire@gmail.com