

Uma análise do cenário das pesquisas em biotecnologia na formação de professores de química

An analysis of the biotechnology research scenario in Chemistry teachers' training

¹ Jairo Ribeiro de Lima  

² Maria Goretti de Vasconcelos Silva 

RESUMO

O ensino de Biotecnologia, como ciência multidisciplinar, desempenha um papel fundamental na formação dos estudantes bem como lhes permite compreender e analisar os avanços científicos e tecnológicos que afetam a sociedade e o ambiente. Diante disso, o propósito deste estudo foi analisar o cenário das pesquisas nacionais e internacionais no que se refere à integração da Biotecnologia na formação de professores de Química. Para este fim, desenvolveu-se uma pesquisa de abordagem mista, de acordo com os pressupostos da pesquisa bibliográfica do tipo Revisão Sistemática de Literatura. Os dados foram extraídos das bases de dados ACM, Arca, ERIC, Google Acadêmico, Periódicos CAPES, ScienceDirect, SciELO e Scopus, entre 2012 e 2022. A análise e a interpretação dos dados ocorreram de forma quantiqualitativa. Foram encontrados 851 estudos primários durante a busca. Após a aplicação dos critérios de inclusão, exclusão e qualidade, 15 trabalhos foram selecionados para compor o corpus da pesquisa. Os resultados revelaram que os estudos analisados são incipientes quanto às relações entre a Biotecnologia e a formação de professores de Química. Entretanto, ressaltamos que os achados deste artigo podem estabelecer um ponto de partida para pesquisas que busquem discutir o contributo da Biotecnologia no Ensino de Química.

Palavras-chave: biotecnologia. ensino de química. formação de professores

ABSTRACT

Biotechnology teaching, as a multidisciplinary science, plays a fundamental role in students' education since it enables them to understand and analyze the scientific and technological advances that have been affecting society and the environment. Thus, this study aims at analyzing the national and international research scenario regarding Biotechnology integration in Chemistry teachers' training. So, a mixed methodology was carried out, based on the assumptions of bibliographical research with a systematic literature review. Data were obtained from the ACM, Arca, ERIC, Google Scholar, CAPES Journals, ScienceDirect, SciELO and Scopus databases from 2012 to 2022. The data was analyzed and interpreted in a quantitative and qualitative manner. Firstly, 851 studies were identified, then, criteria such as inclusion, exclusion and quality were applied. Fifteen papers were selected to make up the research corpus. The results showed that the analyzed studies are incipient regarding the relation between Biotechnology and Chemistry teachers' training. However, we would like to emphasize that the findings of this paper could provide a starting point for some research that aims to discuss the contribution of Biotechnology to Chemistry education.

Keywords: biotechnology. chemistry teaching. teachers' training

1 Doutorado em Ensino na área de Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e Rede Nordeste de Ensino (RENOEN).

2 Doutorado em Química Orgânica pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo em constante transformação, os avanços da ciência e da tecnologia se destacam como alicerces fundamentais para o desenvolvimento da humanidade (Bazzo, 2020). A estreita relação entre ciência e tecnologia é o pilar basilar da Biotecnologia, um campo de estudo fundamentado em conhecimentos multidisciplinares que emprega agentes biológicos e seus derivados para desenvolver produtos úteis ou solucionar problemas (Malajovich, 2017).

A International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) conceitua a Biotecnologia como “a integração das Ciências Naturais e Ciências da Engenharia no intuito de aplicar organismos, células, suas partes e análogos moleculares para produzir produtos e serviços” (VERT et al., 2012, p. 385). Tal área de estudo abrange uma gama de atividades profissionais que podem ser desempenhadas por biotecnologistas, biólogos, químicos, engenheiros, agrônomos, veterinários, médicos, entre outros.

As aplicações biotecnológicas alcançam os setores de energia, indústria, meio ambiente, alimentação e saúde. Elas são evidenciadas pelo desenvolvimento de tecnologias como transgênicos, biogás, bioetanol e outros biocombustíveis provenientes de biomassa, plásticos que se degradam naturalmente, detergentes mais eficazes e seguros, métodos de purificação de água, produção de fármacos, vacinas e antibióticos, entre outras inovações (Malajovich, 2016).

Tendo em vista que os produtos e serviços biotecnológicos já permeiam o cotidiano de toda a população, a educação em Biotecnologia desempenha um papel fundamental na formação dos estudantes, pois permite a compreensão e análise dos avanços tecnocientíficos que afetam diretamente a sociedade e o ambiente. Como consequência, há a promoção do pensamento crítico e intelectual, além da integração entre a comunidade escolar e as pesquisas científicas básicas e aplicadas (Krasilchik, 2019).

Nessa direção, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na área de Ciências da Natureza e Tecnologias para o Ensino Médio, estabelece uma competência específica que se alinha perfeitamente com a importância da formação biotecnológica na Educação Básica: “investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens das Ciências da Natureza” (Brasil, 2018, p. 558).

Tal competência, entre outros aspectos, evidencia o compromisso que os componentes curriculares da área de Ciências da Natureza, entre eles a Química, devem assumir em relação à educação em Biotecnologia. Não apenas como um veículo para explorar conceitos e técnicas relacionadas, mas também como uma oportunidade para capacitar o aluno a tomar decisões e participar de debates sobre questões controversas relacionadas a esse campo (Marcelino; Marques, 2017).

As relações existentes entre a Biotecnologia e a Química remontam ao início do século XX, impulsionadas pelas demandas da indústria de transformação de materiais durante as duas grandes guerras mundiais. Consequentemente, foram desenvolvidos métodos que utilizavam matérias-primas de baixo custo e amplamente disponíveis, recorrendo-se a técnicas microbiológicas com foco em metabólitos primários. Esses processos fermentativos desempenharam um papel de extrema relevância para a indústria química e representaram um dos fundamentos da formação da Biotecnologia Industrial, cujo objetivo é substituir a abordagem química tradicional, considerando a finitude dos recursos naturais e a preservação ambiental (Marcelino; Marques, 2017).

No Brasil, Marcelino e Marques (2017) destacam que:

Oswaldo Lima foi o químico pioneiro no uso da microbiologia para produzir acetona e ácido butírico na primeira metade do século XX. Mas foi a partir de 2003 que se intensificaram o debate e a produção biotecnológica no país com a introdução da soja transgênica que, embora já fosse plantada irregularmente há tempos em solo brasileiro, a partir desse ano era conclamada a ser regulamentada pelo governo federal. Em 2009 o país já tinha alcançado o título de segundo maior produtor mundial de alimentos transgênicos, com 21,4 milhões de hectares plantados, atrás apenas dos Estados Unidos. Grande parte dessa produção transgênica é proveniente de estados do Centro-Oeste, como Mato Grosso do Sul, relacionado com o plantio e exportação de soja (Marcelino e Marques, 2017, p. 120).

Embora a temática seja extremamente relevante para a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes, as pesquisas que abordam a Biotecnologia no Ensino de Química são escassas. Há, na literatura, alguns estudos que trataram de temas como transgênicos, fermentação, produção de álcool, biocombustíveis, entre outros (Marcelino; Marques, 2017).

Entretanto, em conformidade com Malajovich (2016), o ensino de Química exerce um papel fundamental na compreensão da Biotecnologia no âmbito da Educação Básica e Superior. Isso engloba a exploração detalhada de conceitos como estrutura molecular, reações químicas, propriedades dos elementos e compostos químicos, bem como entendimento da constituição, dos mecanismos enzimáticos e dos princípios do equilíbrio químico.

Assim, discutir a formação do docente de Química em face das necessidades contemporâneas, especialmente aquelas relacionadas à ciência e à tecnologia, tem se mostrado uma prioridade essencial para o desenvolvimento de cidadãos críticos no ambiente escolar. Diante disso, a partir da hipótese de que as temáticas biotecnológicas ainda são pouco exploradas nas pesquisas que evidenciam a formação do professor de Química, a questão central que guiou esta pesquisa foi: qual o estado da arte quanto à integração da Biotecnologia na formação de professores de Química?

Sob essa ótica, o propósito deste estudo foi analisar o cenário das pesquisas nacionais e internacionais referentes à integração da Biotecnologia na formação de professores de Química. Buscou-se avaliar a presença, a abordagem e a orientação teórico-metodológica, dedicadas aos temas biotecnológicos nos cursos de Licenciatura em Química e nos programas de formação continuada.

2 METODOLOGIA

O estudo, de abordagem mista, emprega fundamentos teórico-metodológicos da pesquisa bibliográfica do tipo Revisão Sistemática de Literatura, consoante o protocolo desenvolvido por Kitchenham e Charters (2007). As pesquisas que incorporam modelos mistos estabelecem conexões entre as duas abordagens metodológicas tradicionais (qualitativa e quantitativa) no desenvolvimento de uma investigação (Coutinho, 2018). Já o protocolo proposto por Kitchenham e Charters (2007) institui o processo de Revisão Sistemática de Literatura em três fases distintas: o planejamento, a execução e a produção do relatório.

A etapa de planejamento prevê a identificação da necessidade de condução da revisão, a especificação das questões de pesquisa (primárias e secundárias) e a elaboração e validação dos mecanismos de busca. Na etapa de execução ocorre a seleção, extração e avaliação dos estudos com base nos critérios de inclusão, exclusão e qualidade, alinhados às questões de pesquisa. Na última etapa, os resultados obtidos são sintetizados e estruturados em um relatório (Kitchenham; Charters, 2007).

Assim, na fase de planejamento, a partir da questão central da pesquisa (qual o estado da arte quanto à integração da Biotecnologia na formação de professores de Química?), foram estabelecidas duas questões primárias e duas questões secundárias, respectivamente:

- As pesquisas objetivam a formação de professores de Química com foco no ensino de Biotecnologia?
- Qual o enfoque teórico-metodológico dos estudos?
- Quais temáticas da Biotecnologia são tratadas nas pesquisas?
- Observou-se evolução nos estudos que contemplam a Biotecnologia na formação de professores de Química nos últimos anos?

Em relação aos mecanismos de busca, duas abordagens foram consideradas: a primeira diz respeito à especificação das palavras-chave (biotecnologia; formação de professores; química) que compuseram a string de busca em língua portuguesa e em língua inglesa (“biotecnologia” AND “formação de professores de química”; “biotechnology” AND “chemistry teacher education”). Ao passo que a segunda abordagem se concentrou nas plataformas de dados científicos digitais, reconhecidas amplamente pela comunidade acadêmica especializada, utilizadas como fonte de consulta primária (google Acadêmico, SciELO Brasil, periódicos CAPES, ARCA, ERIC, ACM, Science Direct e Scopus). Considerou-se, exclusivamente, a busca automática.

Porquanto, foram incorporados estudos publicados entres os anos de 2012 a 2022 com intuito de observar nesse período os avanços nas pesquisas que relacionam a Biotecnologia e o Ensino de Química na Educação Básica e no Ensino Superior. O recorte temporal justifica-se por abranger parte da produção científica que antecede a implementação do PNLD 2021, o qual substitui os livros didáticos por componentes curriculares do Novo Ensino Médio. Tal aspecto permite a análise e a comparação de possíveis tendências nas pesquisas em Ensino de Química.

Na etapa de execução, foram realizadas a seleção, a extração e a avaliação dos estudos a partir da aplicação de critérios de inclusão, exclusão e qualidade (Quadro 1), para obter trabalhos alinhados ao objetivo da pesquisa. Através da leitura dos títulos e resumos dos artigos realizou-se a seleção inicial orientada pelos critérios de inclusão e exclusão. Em seguida, com a ajuda do software Parsifal, foi efetuada a leitura da introdução, metodologia e conclusão dos trabalhos em mais uma fase de filtragem guiada, também, pelos critérios de inclusão e exclusão. Por último, os trabalhos selecionados foram lidos na íntegra, submetidos aos critérios de qualidade e incorporados na presente revisão sistemática de literatura. Para esse momento, utilizou-se a escala Likert de concordância como instrumento de avaliação.

Quadro 1. Critérios de seleção dos estudos

Critérios de inclusão
Artigos completos publicados em periódicos científicos, revisados por especialistas.
Artigos publicados no recorte temporal de 2012 a 2022.
Artigos que versem sobre a Biotecnologia na formação de professores de Química
Critérios de exclusão
Artigos não revisados por especialistas.
Artigos e resumos publicados em Anais de eventos científicos, teses e dissertações.
Artigos publicados em idiomas diferentes do português e do inglês.
Critérios de qualidade
Os objetivos estão claramente explicitados?
O estudo está bem fundamentado?
A metodologia está adequada aos objetivos da pesquisa?
Os resultados e a discussão são coerentes e bem detalhados?
As conclusões foram apresentadas?

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Em concordância com a abordagem da pesquisa, a análise e a interpretação dos dados ocorreram de forma quanti-qualitativa, em observância às questões de pesquisa central, primárias e secundárias, conforme proposto por Kitchenham e Charters (2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos procedimentos metodológicos descritos anteriormente, a busca e a seleção dos estudos ocorreram com o intuito de estabelecer o panorama das pesquisas nacionais e internacionais que discutem a Biotecnologia na formação de professores de Química. Foram considerados exclusivamente estudos em língua portuguesa e língua inglesa, publicados entre 2012 e 2022 nas principais bases de dados, conforme as características descritas no Quadro 2.

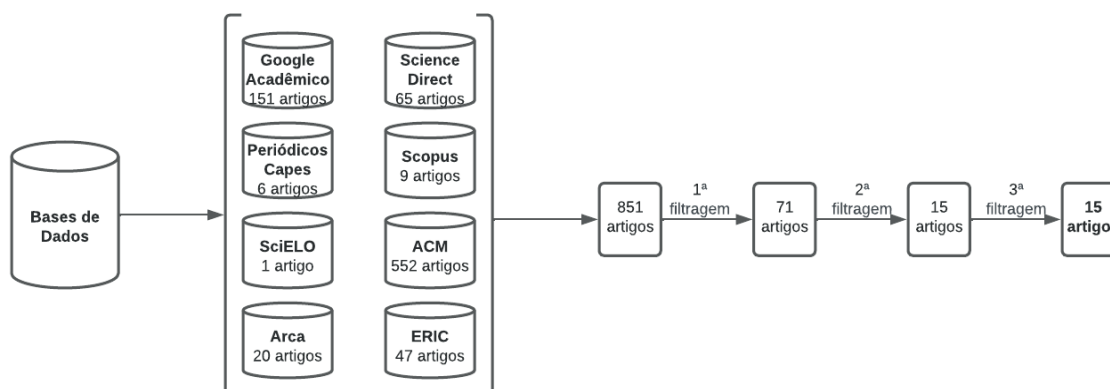
Quadro 2. Fontes, filtros e resultados da busca

Fontes de busca	Filtros	Resultados
Google Acadêmico	Período específico: 2012-2022	151 artigos
Periódicos Capes	Tipo de recursos: Artigos Data de criação: 2012-2022	6 artigos
SciELO (Brasil)	Ano de publicação: 2012-2022 Tipo de literatura: artigo	1 artigo
Arca	Data do documento: 2012-2022 Assunto: artigo	20 artigos
Science Direct	Years: 2012-2022	65 artigos
Scopus	Years: 2012-2022	9 artigos
ACM	Custom range: 2012-2022	552 artigos
ERIC	Peer review only Custom range: 2012-2022	47 artigos

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

A pesquisa, realizada entre os dias 16 e 17 de julho de 2023, em acordo com a metodologia descrita na seção anterior, registrou uma coleta de 178 artigos nas bases científicas nacionais (Google Acadêmico, Periódicos Capes, SciELO e Arca) e 673 artigos nas bases internacionais (Science Direct, Scopus, ACM e ERIC), perfazendo um total de 851 artigos (Quadro. 2). A seleção dos estudos ocorreu em três etapas de filtragem, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Síntese do processo de seleção dos estudos



Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

A primeira etapa de filtragem ocorreu a partir da leitura dos títulos e resumos dos 851 artigos localizados inicialmente e subsequente aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Assim, houve uma redução considerável no montante para 71 artigos, destes, 26 eram estudos nacionais e 45, internacionais. Na segunda etapa de filtragem, procedeu-se à leitura da introdução, metodologia e conclusão dos artigos e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, culminando na seleção de 15 estudos. Na terceira e última etapa de filtragem, os artigos foram lidos na íntegra e submetidos a uma avaliação baseada nos critérios de qualidade (Quadro 1). Verificamos, portanto, que todos os estudos atenderam aos requisitos mínimos e, assim, foram incorporados e analisados na presente revisão sistemática e estão dispostos no Quadro 3.

Quadro 3. Lista de estudos selecionados

Títulos	Autores	Anos	Bases de dados
As abordagens dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio	A. C. Sousa C. E. Silva T. T. Costa	2020	Google Acadêmico
A formação inicial de professores de química pensada a partir dos pressupostos do educar pela pesquisa	E. P. Massena	2015	Google Acadêmico
A revolution in biochemistry and molecular biology education informed by basic research to meet the demands of 21 st century career paths	P. N. Black	2020	<i>Science Direct</i>
Agroecologia e a imagem pública da Química para além do desenvolvimento sustentável	A. R. Teixeira <i>et al.</i>	2022	Google Acadêmico
Análise da inserção das questões ambientais em dois cursos de Licenciatura em Química de uma universidade pública	T. N. Silva C. R. O. Farias	2017	Google Acadêmico
Basic-Education Mexican Teachers' Knowledge of Biotechnology and Attitudes about the Consumption of Genetically Modified Foods	Z. Jiménez-Salas <i>et al.</i>	2017	ERIC
Beyond the Textbook: Introducing Undergraduates to Practical Electrochemistry	E. Kandahari E. J. Smith J. C. Goeltz	2021	ERIC
Citizenship Education and Socioscientific Issues: Implicit Concept of Citizenship in the Curriculum, Views of French Middle School Teachers	C. Barrué V. Albie	2013	ERIC
Controvérsias sobre transgênicos nas concepções de professores de Química	L. V. Marcelino C. A. Marques	2018	SciELO (Brasil)
Entendimentos de professores universitários de química sobre a crise ambiental	A. F. Pitanga	2018	Google Acadêmico
Global warming awareness among the University of Bahrain science students	A. F. Freije T. Hussain E. A. Salman	2016	Science Direct
O ensino de Bioquímica: uma investigação com professores das redes pública e privada de ensino	T. B. Solner L. S. Fernandes L. Fantinel	2020	Google Acadêmico
Reflexões sobre aprender/ensinar Química: interdisciplinaridade, Biotecnologia, audiovisual, cidadania e direitos humanos em sala de aula	S. R. A. Nogueira <i>et al.</i>	2018	Google Acadêmico
Socioscientific issues and pre-service science teachers' bioethical values	D. Turgut Z. Yakar	2021	ERIC
The development of a bioenergy-based green chemistry curriculum for high schools	C. Kohn	2018	Scopus

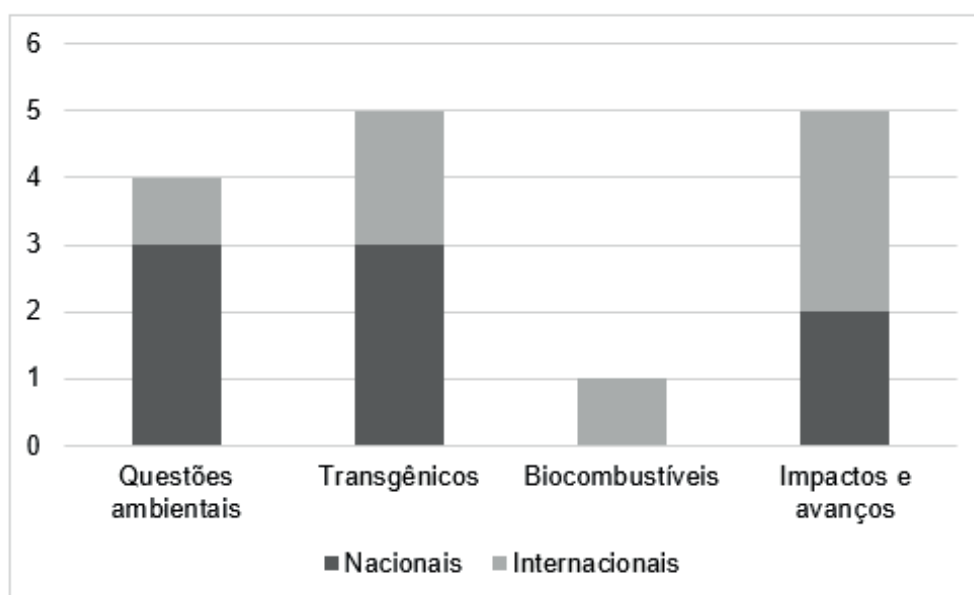
Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Análise Quantitativa

A análise quantitativa dos estudos foi orientada pelas questões de pesquisa secundárias e buscou: identificar as temáticas da Biotecnologia tratadas nas pesquisas, assim como averiguar se houve aumento de estudos, nos últimos anos, que se dedicaram em discutir a Biotecnologia na formação de professores de Química.

Em relação às temáticas biotecnológicas observadas nas pesquisas, destacam-se as questões ambientais ligadas à Biotecnologia, aos transgênicos e aos biocombustíveis a partir de biomassa, bem como os impactos e avanços da Biotecnologia nos últimos tempos, conforme a Figura 2.

Figura 2. Temáticas biotecnológicas apresentadas nos estudos



Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

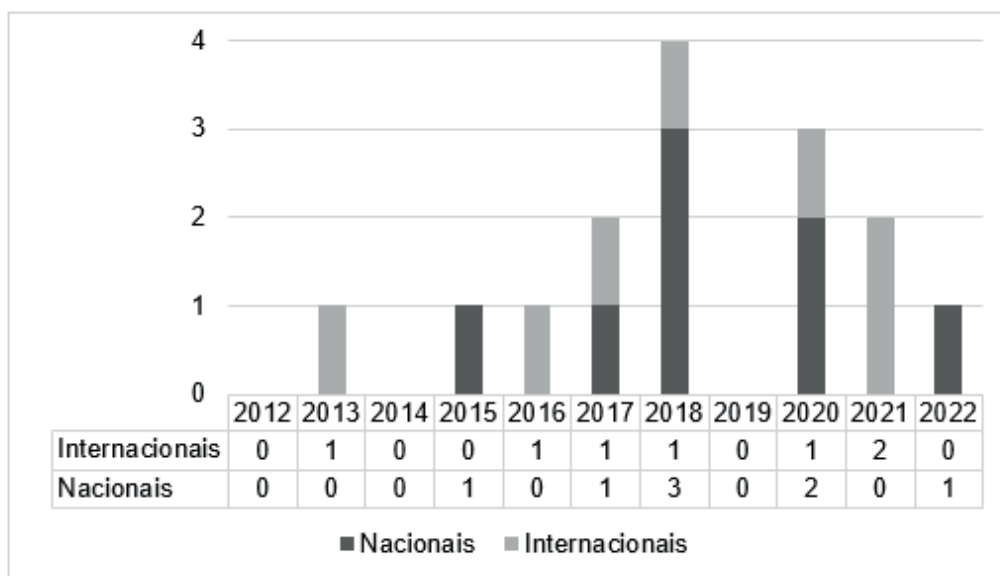
Nos estudos nacionais, as questões ambientais foram tratadas de acordo com contextos pertinentes à crise ambiental e Química Verde (Massena, 2015; Silva; Farias, 2017; Sousa, Silva; Costa, 2020). Já os transgênicos foram discutidos tanto na perspectiva ambiental, agroecológica e do desenvolvimento sustentável, quanto para elucidação de questões controversas ligadas ao tema (Marcelino; Marques, 2018; Pitanga, 2018; Teixeira et al., 2022). Os impactos e avanços biotecnológicos foram relacionados ao ensino de Bioquímica e atrelados à Biotecnologia industrial (Solner, Fernandes; Fantinel, 2020; Nogueira et al., 2018).

Nos estudos internacionais, as questões ambientais foram direcionadas para os impactos da Biotecnologia no ambiente, os quais contribuem para o aquecimento global (Freije; Hussain; Salman, 2016). Os transgênicos foram discutidos considerando os benefícios e os riscos do consumo de alimentos geneticamente modificados e na perspectiva do currículo para cidadania (Barrice; Albe, 2013; Jiménez-salas et al., 2017). Os biocombustíveis foram apresentados de forma prática com foco na alfabetização científica (Kohn, 2018). Os impactos e os avanços da Biotecnologia foram tratados a partir da Eletroquímica e de suas implicações para a indústria e para a medicina (Freije; Hussain; Salman, 2016; Turgurt; Yakar, 2021).

No que concerne à quantidade de estudos que abordam em alguma medida a integração da Biotecnologia na formação de professores de Química, publicados no período de 2012 a 2022, de acordo com a Figura 3, observamos que nos anos 2012, 2014 e 2019 não foram encontrados trabalhos nacionais ou internacionais nas bases de dados, que se alinharam aos objetivos deste estudo. Além disso, não foram

detectadas diferenças significativas nas quantidades de trabalhos nacionais e internacionais, 8 e 7 artigos, respectivamente. Nota-se também que, na segunda metade da década analisada, houve aumento de 50% das publicações em comparação com a primeira metade.

Figura 3. Número de estudos publicados sobre Biotecnologia na formação de professores de Química na década analisada



Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Em se tratando dos países onde as pesquisas foram desenvolvidas, foram identificados, além do Brasil, com um total de oito pesquisas, os Estados Unidos, com três pesquisas e os países México, França, Turquia e Barém com uma pesquisa cada um deles. Dessa forma, a maioria dos trabalhos localizados foram produzidos em território nacional, com três pesquisas realizadas na região Nordeste, três ocorreram na região Sul e duas na região Sudeste.

Assim, podemos inferir, com base nos estudos analisados, que tanto no cenário nacional quanto no cenário internacional, há uma carência de estudos que abordam a Biotecnologia na formação de professores de Química na última década. Como consequência, as temáticas biotecnológicas são pouco exploradas nas pesquisas relativas ao Ensino de Química.

Análise Qualitativa

A análise qualitativa dos estudos foi guiada pelas questões primárias de pesquisa e identificou se os estudos tinham como foco a formação de professores de Química, voltada para o ensino de Biotecnologia, bem como detalhou os pressupostos teórico-metodológicos envolvidos. Para tanto, foram estabelecidos a partir dos estudos selecionados dois eixos temáticos: (a) A formação de professores de Química com foco no ensino de Biotecnologia e (b) Estratégias teórico-metodológicas para o ensino de Biotecnologia. Em cada eixo, de acordo com os dados coletados, acomodaram-se as unidades de registro, detalhadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Eixos temáticos e unidades de registro identificados nos estudos

Eixos temáticos	Unidades de registro
A formação de professores de Química com foco no ensino de Biotecnologia	Formação inicial
	Formação continuada
	Currículo
Estratégias teórico-metodológicas para o ensino de Biotecnologia	Experimentação
	Metodologia ativa
	Projeto interdisciplinar

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Em relação ao eixo temático A formação de professores de Química com foco no ensino de Biotecnologia, os estudos direcionaram suas discussões para a formação inicial de professores de Química, em quatro pesquisas, e para a formação continuada, em dois trabalhos. E, em sua maioria, nove pesquisas, as discussões foram sobre o currículo de Química em diversos contextos, dentre eles, o biotecnológico.

No que concerne à formação inicial de professores de Química, Massena (2015) aborda a elaboração de situações problemas que incorporam os princípios do educar pela pesquisa, os quais são pontos centrais do ensino de Biotecnologia. Teixeira et al. (2022) investigaram uma atividade de extensão de alunos de graduação de Química e de estudantes do Ensino Médio sobre a temática agroecologia e ressaltam a importância de se debater a respeito de temas geradores e interdisciplinares, como os agrotóxicos, para a construção de conceitos químicos de forma contextualizada e problematizadora. Isso, no entanto, se aplica a diversos tópicos da Biotecnologia, como os transgênicos.

Nogueira et al. (2018), com o objetivo de apresentar e analisar um percurso formativo com estudantes de Licenciatura em Química, os quais são participantes de um projeto interdisciplinar, sublinharam a necessidade de que fossem trabalhadas temáticas biotecnológicas e as implicações socioambientais dessas na formação inicial de professores de Química. Kandahari, Smith e Goeltz (2021) aplicaram e analisaram as contribuições de um curso prático em Eletroquímica para estudantes de graduação, tendo em vista que esta área de estudo é ampla e interdisciplinar e tornou-se uma ferramenta poderosa nos campos da ciência, tecnologia, engenharia, matemática e medicina, desde o armazenamento de energia à Biotecnologia.

No que se refere à formação continuada de professores de Química, Solner, Fernandes e Fantinel (2020) investigaram como o ensino de Bioquímica tem ocorrido no componente curricular Química e apontaram sua importância para a Biotecnologia. Os autores atestaram, com base em entrevistas com docentes, que essa temática não tem sido abordada no Ensino Médio, mesmo que exista uma estreita relação com a Química Orgânica. Turgut e Yakar (2021) investigaram questões sociocientíficas e valores bioéticos de professores de Ciências, entre eles de Química, a fim de analisarem os programas de treinamento de docentes nessa área. Na avaliação, os autores incluíram a dimensão “Benefícios das aplicações da Biotecnologia”, e concluíram que tal programa de formação continuada contribuiu positivamente para a formação científica desses profissionais.

Em referência ao currículo de Química voltado para o ensino de Biotecnologia, Pitanga (2018) investigou o entendimento dos professores de Química acerca da crise global e apontou lacunas no conhecimento dos docentes sobre os transgênicos e as questões controversas a eles associadas, o que reforça a necessidade de tais discussões na formação inicial e continuada. Já Silva e Farias (2017) averiguaram a inserção de questões ambientais em dois cursos de licenciatura em Química, e identificaram que, no processo de formação de professores

de Química, as discussões de cunho ambiental são incipientes e que temáticas ligadas à Biotecnologia, como os biocombustíveis a partir de biomassa, são debatidas de maneira lateral.

Centralizando a discussão sobre o currículo de Química direcionado a uma ciência para a sustentabilidade, Sousa, Silva e Costa (2020) analisaram livros didáticos de Química do Ensino Médio e assinalam a Biotecnologia como tópico essencial, dentro de um itinerário formativo de Ciências da Natureza, para os programas de conservação ambiental. Já Marcelino e Marques (2018) destacaram que a Biotecnologia é uma ciência promissora que envolve, contudo, interesses e incertezas sobre seus benefícios e malefícios. Os autores destacaram algumas controversas acerca dos transgênicos na concepção de professores de Química e apontaram para a necessidade de inclusão de tal temática no currículo de formação inicial desses docentes bem como a resignificação do currículo escolar.

Ao discorrer sobre os impactos da bioquímica e da biologia molecular em inúmeras carreiras do atual século, Black (2020) inclui a Biotecnologia como campo do conhecimento responsável por avanços na indústria e na medicina e que os programas de formação de professores devem fornecer proficiência nessas áreas para seus estudantes. Freije, Hussain e Salman (2016) recomendaram a inclusão de conceitos ambientais no currículo dos cursos de graduação de Química para a promoção de uma consciência ambiental e sublinharam a importância de se compreender os impactos da Biotecnologia no ambiente.

Ao ponderar a respeito do currículo de Química e suas implicações para a formação cidadã dos alunos, Kohn (2018) apresenta os potenciais e as contribuições de se desenvolver um curso de laboratório de Biotecnologia sobre biocombustíveis para a alfabetização científica de estudantes secundaristas. Jiménez-Salas et al. (2017) investigaram a percepção de professores de Química a respeito dos alimentos geneticamente modificados e identificaram que apenas metade dos docentes entrevistados foram capazes de expressar conhecimento de determinado tópico sobre Biotecnologia. Os autores denunciaram a urgência em inserir a Biotecnologia no currículo de Química a fim de melhorar o conhecimento dos professores em relação aos avanços da ciência e da tecnologia.

O conceito de cidadão no currículo Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) foi estudado por Barrué e Albe (2013), os quais evidenciam que no currículo das escolas secundaristas já foram implementadas questões sociocientíficas como Biotecnologia, questões ambientais, desenvolvimento sustentável e escolhas energéticas. Entretanto, os autores apontam, como implicações da educação cidadã, a necessidade de formar cidadãos críticos e capacitar professores em práticas específicas que convergem para as questões sociais, políticas e éticas e integradas ao currículo CTS.

Quanto ao eixo temático Estratégias teórico-metodológicas para o ensino de Biotecnologia, foi possível observar algumas estratégias em poucos estudos analisados: utilização de metodologia ativa, em um dos trabalhos; projeto interdisciplinar, em duas pesquisas; e experimentação em um estudo. Os demais estudos não discutiram questões metodológicas.

A metodologia ativa escolhida por Massena (2015) em sua pesquisa foi a aprendizagem baseada em problema. A autora considerou os princípios do educar pela pesquisa, quando envolveu estudantes de Licenciatura em Química e participantes do Programa Institucional de Bolsa e Iniciação à Docência (Pibid), além de acadêmicos dos cursos de Nutrição e Biotecnologia de uma escola técnica pública. Os sujeitos envolvidos na pesquisa elaboraram situações-problema a partir das temáticas: “Os alimentos e o câncer”, “Nutrição consciente” e “Leite: um tema em debate”.

O projeto interdisciplinar desenvolvido no estudo de Teixeira et al. (2022) debateu a temática Agroecologia e abordou tópicos biotecnológicos, como o uso de transgênicos na agricultura, a partir de uma atividade extensionista desenvolvida por estudantes de Licenciatura em Química, professores de Biologia e estudantes do Ensino Médio de uma escola estadual. Dentre as atividades trabalhadas destacam-se: o levantamento e a discussão das percepções dos estudantes, entrevistas e rodas de conversa.

Já o projeto interdisciplinar trabalhado por Nogueira et al. (2018) envolveu estudantes de Licenciaturas em Química, Biologia e Física e professores de Biologia, Física e Química de escolas públicas e docentes da universidade, a fim de abordar a temática Biotecnologia. O projeto teve como produto planos bimestrais integrados e produções audiovisuais que trabalharam tópicos biotecnológicos relativos a cada componente curricular, como óptica na Biotecnologia, Bioinformática, aplicações médicas e sanitárias, aplicações agrícolas e ambientais, entre outros.

Na perspectiva da experimentação voltada à Eletroquímica e suas aplicações, inclusive na Biotecnologia, Kandahari, Smith e Goeltz (2021) ofereceram um curso sobre voltametria cíclica prática em um laboratório de Química Geral. Para esses autores, a Educação Química tradicional não oferece aos alunos a oportunidade de criar conexões diretas entre teoria e prática, o que pode favorecer a compreensão e o interesse dos estudantes.

Portanto, fundamentando-se nos estudos analisados, podemos inferir que em todas as pesquisas, no contexto da formação de professores de Química, a Biotecnologia não esteve no foco das discussões. Assim, foi possível constatar que este tema se apresenta de forma lateral e complementar. Com relação às metodologias propostas especificamente para o ensino de Biotecnologia, apenas o trabalho de Nogueira et al. (2018) direcionou estratégias metodológicas designadas para a abordagem de tópicos biotecnológicos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa objetivou analisar o cenário das pesquisas nacionais e internacionais referentes à integração da Biotecnologia na formação de professores de Química. Para este fim, foi adotada a metodologia de Revisão Sistemática de Literatura proposta por Kitchenham e Charters (2007), que resultou na seleção final de quinze artigos.

A análise quantitativa das pesquisas permitiu inferir que, nos cenários nacional e internacional, há uma carência de estudos que versam sobre a Biotecnologia na formação de professores de Química na última década (2012-2022). Consequentemente, poucas temáticas biotecnológicas foram exploradas nas pesquisas e limitaram-se aos transgênicos, aos biocombustíveis, às questões ambientais e aos impactos e avanços da Biotecnologia.

A análise qualitativa das pesquisas revelou que os estudos são incipientes quanto à abordagem da relação entre os tópicos biotecnológicos e o Ensino de Química. Do ponto de vista teórico-metodológico, apenas o trabalho de Nogueira et al. (2018) ofereceu, especificamente, estratégias metodológicas direcionadas para o ensino de Biotecnologia.

Isto posto, torna-se evidente que a integração entre a Biotecnologia e a formação de professores de Química ainda é uma temática pouco explorada em estudos tanto nacionais quanto internacionais. Contudo, ressaltamos que os achados desta Revisão Sistemática de Literatura podem estabelecer um ponto de partida para pesquisas futuras na perspectiva de discutir o papel da Biotecnologia no Ensino de Química.

REFERÊNCIAS

- BARRUÉ, C.; ALBE, V. Citizenship Education and Socioscientific Issues: Implicit Concept of Citizenship in the Curriculum, Views of French Middle School Teachers. **Science & Education**, v. 22, p. 1089-1114, 2013.
- BAZZO, W. A. **Ciência, Tecnologia e Sociedade: e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: Edufsc, 2020.

BLACK, P. N. A revolution in biochemistry and molecular biology education informed by basic research to meet the demands of 21st century career paths. *Journal of Biological Chemistry*, v. 295, n. 31, p. 10653-10661, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC/SEB, 2018.

COUTINHO, C. P. **Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: teoria e prática**. 2 ed. Coimbra: Almedina, 2018.

FREIJE, A. M.; HUSSAIN, T.; SALMAN, E. A. Global warming awareness among the University of Bahrain science students. *Journal of the Arab Universities for Basic Applied Sciences*, v. 22, p. 9-16, 2017.

JIMÉNEZ-SALAS, Z.; CAMPOS-GÓNGORA, E.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, B. E.; TIJERINA-SÁENZ, A.; ESCAMILLA-MÉNDEZ, A. D.; RAMÍREZ-LOPEZ, M. Basic-Education Mexican Teachers' Knowledge of Biotechnology and Attitudes About the Consumption of Genetically Modified Foods. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, v. 45, n. 5, p. 396-402, 2017.

KANDAHARI, E.; SMITH, E. J. GOELTZ, J. C. Beyond the Textbook: Introducing Undergraduates to Practical Electrochemistry. *Journal Chemical Education*, v. 98, p. 3263-3268, 2021.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Department of Computer Science: Keele University and Durham University Joint Report, United Kingdom, 2007.

KOHN, C. The development of a bioenergy-based green chemistry curriculum for high schools. *Physical Sciences Reviews*, 20180080, 2018.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de Biologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2019.

MALAJOVICH, M. A. **Biotecnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Axcel, 2016.

MALAJOVICH, M. A. **O Ensino de Biotecnologia**. 1 ed. Rio de Janeiro: Axcel, 2017.

MARCELINO, L. V.; MARQUES, C. A. Compreensões de professores sobre abordagens da Biotecnologia no Ensino de Química. *Alexandria*, v. 10, n. 1, p. 119-142, 2017.

MARCELINO, L. V.; MARQUES, C. A. Controvérsias sobre os transgênicos nas compreensões de professores de Química. *Revista Ensaio- Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 20, e9253, 2018.

MASSENA, E. P. A formação inicial de professores de química pensada a partir de alguns pressupostos do educar pela pesquisa. *Educação Unisinos*, v. 19, n. 1, p. 45-56, 2015.

NOGUEIRA, S. R. A.; YAMASAKI, A. A.; SILVA, I. F. R.; QUEIROZ, L. F. M.; VASCONCELOS, J. M. P. Reflexões sobre aprender/ensinar Química: interdisciplinaridade, biotecnologia, audiovisual, cidadania e direitos humanos em sala de aula. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v. 8, n. 3, p. 88-109, 2018.

PITANGA, A. F. Entendimentos de Professores Universitários de Química sobre a Crise Ambiental. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 35, n. 2, p. 193-207, 2018.

SILVA, T. N.; FARIAS, C. R. O. Análise da inserção das questões ambientais em dois cursos de Licenciatura em Química de uma universidade pública. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 22, n. 3, p. 80-101, 2017.

SOLNER, T. B.; FERNANDES, L. S.; FANTINEL, L. O ensino de bioquímica: uma investigação com professores da rede pública e privada de ensino. *Revista Thema*, v. 17, n. 4, p. 899-911, 2020.

SOUSA, A. C.; SILVA, C. E.; COSTA, T. T. A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do Ensino Médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 3, p. 593-616, 2020.

TEIXEIRA, A. R.; LOVO, I. C.; PORTO, P. A.; LEMES, A. F. Agroecologia e a imagem pública da Química para além do desenvolvimento sustentável. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 2, p. 204-213, 2022.

TURGUT, D. YAKAR, Z. Socioscientific issues and pre-service science teachers' bioethical values. **Problems of Education in the 21st century**, v. 79, n. 4, p. 640-556, 2021.

VERT, M.; DOI, Y.; HELLWICH, K. H.; HESS, M.; HODGE, P.; KUBISA, PRZEMYSŁAW K.; RINAUDO, M.; SHUÉ, F. Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012). **Pure Applied Chemistry**, v. 84, n. 2, p. 377-40, 2012.