

**O TERCEIRO DOMÍNIO DA VIDA: ANÁLISE
DO ENSINO DE *ARCHAEA* EM ESCOLAS DE ENSINO MÉDIO
DO DISTRITO FEDERAL, BRASIL**

**THE THIRD DOMAIN OF LIFE: ANALYSIS OF *ARCHAEA* TEACHING
IN HIGH SCHOOLS OF DISTRITO FEDERAL, BRAZIL**

**EL TERCER DOMINIO DE LA VIDA: ANÁLISIS
DE LA EDUCACIÓN DE *ARCHAEA* EN LAS ESCUELAS SECUNDÁRIAS
DEL DISTRITO FEDERAL, BRASIL**

*Felipe de Araújo Mesquita*¹, *Marlene Teixeira de Souza*²

Resumo

Historicamente, as semelhanças entre *Archaea* e *Bacteria* levaram ao agrupamento desses dois domínios de procariotos na mesma categoria taxonômica (Reino *Monera*). O objetivo deste estudo foi analisar o ensino sobre *Archaea* no nível médio em três escolas públicas do Distrito Federal, a partir da perspectiva de professores, estudantes e da análise de livros didáticos. Foram aplicados questionários a docentes e discentes para identificar os aspectos que norteiam o ensino desse tema. Os resultados mostraram que o ensino sobre *Archaea* ocorre de forma reducionista. Estudantes não reconhecem características básicas desses microrganismos e não discriminam corretamente membros alocados nesses dois domínios. Uma das duas obras didáticas analisadas ainda adota o sistema de classificação dos organismos em cinco reinos e apresenta informações restritas sobre o assunto.

Palavras-chave: Domínio *Archaea*; Ensino de Microbiologia; Livro didático.

Abstract

The similarities between *Archaea* and *Bacteria* led to the joining of these two domains of prokaryotes in the same taxonomic category (*Monera*) for years. The objective of this study was to analyze the teaching of *Archaea* in high school in three public schools in Distrito Federal, Brazil, from the perspective of teachers and students and analysis of didactic books. Questionnaires were applied to teachers and students to identify aspects that guide the teaching of this topic. Results showed that *Archaea* teaching occurs simplistically. Students do not recognize the fundamental characteristics of these microorganisms and associate *Archaea* with *Bacteria*. One textbook analyzed still adopts the classification system of organisms in five kingdoms and presents limited information on this topic.

Keywords: Domain *Archaea*; Microbiology teaching; Microbiology textbook.

¹ Graduação em Ciências Biológicas - Universidade de Brasília (UnB) Brasília, DF - Brasil. Mestrando em Biologia Microbiana - Universidade de Brasília (UnB) Brasília, DF - Brasil. **E-mail:** felipedearaujomesquita@gmail.com

² Doutora em Biologia Molecular - Universidade de Brasília (UnB) Brasília, DF - Brasil. Professora Associada IV da Universidade de Brasília (UnB), Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Celular. Universidade de Brasília (UnB) Brasília, DF - Brasil. **E-mail:** marlts@unb.br



Resumen

Las similitudes entre *Archaea* y *Bacteria* llevaron a agrupar estos dos dominios de procariotas en la misma categoría taxonómica (Reino *Monera*). El objetivo de este estudio fue analizar la enseñanza de *Archaea* en escuelas públicas secundarias del Distrito Federal, Brasil, desde la perspectiva de docentes, estudiantes y el análisis de libros didácticos. Se aplicaron cuestionarios a docentes y estudiantes para identificar los aspectos que orientan la enseñanza de este tema. Los resultados mostraron que la enseñanza de las *Archaeas* ocurre de forma simplificada. Los estudiantes no reconocen las características básicas de estos microorganismos y asocian las *Archaeas* con *Bacteria*. Un trabajo didáctico analizado aún adopta el sistema de clasificación de organismos en cinco reinos y presenta información limitada del tema.

Palabras clave: Dominio *Archaea*; Enseñanza de Microbiología; Libro didáctico.

1 Introdução

O domínio *Archaea* (do grego, antigo, velho), em português arqueia ou arquea, aloca microrganismos procariotos, conhecidos por pleitear ambientes extremos de temperatura, salinidade, pH, ou a combinação destes, para o crescimento e manutenção das atividades vitais da célula (MADIGAN et al., 2016). Embora a extremofilia esteja frequentemente associada a esses microrganismos, muitas espécies de *Archaea* são mesófilas, ou seja, são isoladas de ecossistemas com condições compatíveis com a vida humana (RIBEIRO, 2015).

Os membros de *Archaea* possuem diversas características em comum com células bacterianas – o segundo domínio de seres procariotos, tais como: (i) cromossomo circular na maioria das espécies; (ii) presença de elementos extracromossomais; (iii) ribossomos 70S e (iv) ausência de organelas membranosas (MADIGAN et al., 2016). Essas semelhanças levaram ao agrupamento de arqueias e bactérias em uma categoria única dentro de vários sistemas de classificação, como no clássico sistema de cinco reinos proposto por Whittaker (1969) e modificados por Margulis e Schwartz (1982).

No final da década de 1970, estudos liderados pelo estadunidense Carl Woese utilizaram sequências de genes de rRNA 16S como marcador universal para definir as relações filogenéticas entre os procariotos, resultando na divisão em dois grupos taxonômicos distintos – *Archeobacteria*, que significa bactérias primitivas, e *Eubacteria* (bactérias verdadeiras) (WOESE; FOX, 1977). Em sistemas de classificação, como o de cinco reinos, esses dois grupos de procariotos fazem parte do reino *Monera*. Mais tarde o trabalho foi expandido para além da relação entre procariotos. Para isto, o homólogo funcional de genes de rRNA 16S (sequências de genes de rRNA 18S) de eucariotos foi incluído nas análises, levando Woese e colaboradores a propor um táxon superior a reino, designado domínio e estabelecer um sistema de classificação fundamentado em três domínios da vida: *Archaea*, *Bacteria* e *Eukarya* (WOESE; KANDLER; WHEELIS, 1990). Apesar de não possuir núcleo e apresentarem outros aspectos celulares semelhantes, os membros de *Archaea* e *Bacteria* são considerados grupos filogeneticamente distintos. Nesse sistema, o domínio *Eukarya* abriga os demais seres vivos eucariotos.



Contudo, o termo *Archeobacteria* cunhado pelo próprio Woese em 1977 para se referir às arqueias, ainda gera confusões e conceitos equivocados no ensino desse grupo no âmbito da educação básica. Não obstante, em livros didáticos recentes é comum a utilização do termo *Archeobacteria* para se referir ao domínio *Archaea*, além da acomodação desses microrganismos no reino *Monera* (SANTOS; BRAGA, 2019).

De um modo geral, os livros didáticos abordam *Archaea* e *Bacteria* no mesmo capítulo. Porém, de acordo com Neves e Oliveira (2016) as obras de Biologia não fazem a distinção entre os dois domínios de procariotos. Esta abordagem equivocada leva estudantes a associarem bactérias e arqueias como partes de um único táxon superior na hierarquia de classificação dos seres vivos. Somado a esse fato, Azevedo e Neto (2014) mostram que de onze livros analisados, sete utilizam o sistema de classificação dos seres vivos baseado em cinco reinos. Nesse sistema, espécies de bactérias e arqueias são consideradas membros do reino *Monera*, agravando ainda mais essa associação errônea. Quando abordadas, as informações sobre *Archaea* nesses livros são limitadas, e não trazem características básicas como morfologia, fisiologia e reprodução, reduzindo-se a associar arqueias às características extremófilas e irrelevantes para os seres humanos (NEVES; OLIVEIRA, 2016). Outra questão identificada foi a ausência de imagens de microscopia para ilustrar *Archaea* nesses livros, o que prejudica a associação mental desses microrganismos pelos estudantes. Por fim, ainda mais preocupante, são os livros que não trazem qualquer tipo de informação sobre o domínio *Archaea* (NEVES; OLIVEIRA, 2016).

O avanço nas pesquisas científicas, principalmente nas áreas de Bioquímica e Biologia Molecular, reforça a classificação dos seres vivos proposto por Woese, sendo tal sistema de classificação bem estabelecido atualmente (EME et al., 2017). Dessa forma, o reino *Monera* caiu em desuso e não apresenta valor taxonômico. Contudo, muitos professores da educação básica ainda transmitem informações desatualizadas a esse respeito (MORESCO et al., 2017). Isto parece mais evidente para aqueles com formação acadêmica anterior ao descobrimento de células do domínio *Archaea* ou quando o tema era abordado de forma mais superficial nos cursos de graduação.

Outro desafio comum no ensino de *Archaea* é a dificuldade dos estudantes em associar ao seu cotidiano um mundo microbiano não observável a olho nu (KIMURA et al., 2013). O ensino desse tema é realizado de forma tradicional nas escolas brasileiras, caracterizado pelo formato teórico-conceitual, aulas expositivas e reprodução do conteúdo pelo estudante de forma automática e sem variação (MEDEIROS et al., 2017). A indisponibilidade de espaços físicos e material adequados, como laboratórios e microscópios, tão importantes para o ensino de Microbiologia, pode resultar no desinteresse dos estudantes sobre *Archaea* e limitar a compreensão do tema (KIMURA et al., 2013).

O ensino sobre o domínio *Archaea* na educação básica no Distrito Federal (DF) ocorre frequentemente no segundo ano do ensino médio (DISTRITO FEDERAL, 2014). O documento oficial de Replanejamento Curricular, baseado no Currículo em Movimento e proposto pelo governo do DF, em 2021, para mudança de regime presencial para remoto em razão da pandemia de SARS-CoV-2 (DISTRITO FEDERAL, 2021) inclui o ensino do domínio *Archaea*. Embora estejam programadas, as informações sobre esses microrganismos estão associadas com o domínio *Bacteria* dentro do reino *Monera*. Na esfera federal, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) não cita o domínio *Archaea* em suas habilidades e competências, restringindo-se à importância de vírus, bactérias, fungos e protozoários na saúde, tecnologia e no meio ambiente (BRASIL, 2018). Nos documentos oficiais que regem a educação, estes erros conceituais e a inexistência de detalhamento sobre o que deve ser tratado no ensino de *Archaea* podem criar ambiguidades. Adicionalmente, podem levar a uma explanação equivocada e reducionista e, em algumas situações, até à ausência do tema nas aulas. Baseando-se em tais premissas, surge a seguinte indagação: como o ensino de *Archaea* é abordado para os estudantes no ensino médio em escolas públicas do DF?

Professores e estudantes são peças fundamentais no processo de construção do conhecimento. Ambos se influenciam mutuamente estabelecendo as relações que compõem a prática pedagógica. O livro didático é uma ferramenta que auxilia a construção do processo ensino-aprendizagem. Um bom livro, conciso, sem erros conceituais e informações dúbias, pode contribuir substancialmente para a qualidade do ensino (VASCONCELOS; SOUTO, 2003). Dentro desse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar como o ensino do domínio *Archaea* é conduzido em três escolas públicas de ensino médio do DF. A partir da perspectiva de professores, estudantes e da análise do conteúdo de livros didáticos de Biologia utilizados nessas instituições de ensino, os objetivos específicos foram: (i) identificar se o tema *Archaea* é trabalhado em aulas; (ii) verificar se os estudantes identificam algumas das características básicas da Biologia desse grupo de microrganismos; (iii) averiguar conteúdos, modalidades e ferramentas didáticas utilizadas pelos professores no ensino de *Archaea*, bem como o tempo dedicado as estas atividades; (iv) investigar inclusão do tema *Archaea* durante a formação acadêmica dos professores e a busca pessoal por atualizações científicas sobre o tópico e (v) analisar o conteúdo sobre *Archaea* em dois livros didáticos de Biologia aprovados pelo PNLD do ensino médio de 2018.

2 Procedimentos Metodológicos

2.1 Caracterização do tipo de pesquisa

Quanto à forma de abordagem, este estudo teve caráter analítico, tanto qualitativo como quantitativo. O caráter qualitativo envolveu uma pesquisa bibliográfica cuja “[...] base é análise de material já publicado. Esse tipo de pesquisa é utilizado para compor a fundamentação teórica a partir da avaliação atenta e sistemática de livros [...]” (FONTELLES et al., 2009, p.7). O caráter quantitativo ocorreu por meio da construção e aplicação de questionários específicos para estudantes e professores (pesquisa de campo), visando compreender como e quais conteúdos são ensinados, além do nível de familiaridade do tema *Archaea* por parte dos participantes deste estudo.

2.2 Contexto de realização da pesquisa

Em dezembro de 2019, uma nova espécie de coronavírus designada SARS-CoV-2, agente causador da COVID-19, foi identificada na China. Vários países, incluindo o Brasil, passaram a adotar medidas de distanciamento físico para minimizar a disseminação do vírus. Uma dessas medidas foi a adoção do ensino remoto emergencial, como nova modalidade do processo de ensino-aprendizagem (BARBOSA et al., 2020). Entretanto, o trabalho de campo deste estudo foi realizado de forma presencial, após a adoção do ensino híbrido nas escolas do DF, a partir de agosto de 2021. Para este fim, o governo do DF divulgou protocolos sanitários para o retorno às aulas presenciais durante a pandemia (AGUIAR, 2021).

2.3 Coleta de dados

Para coleta de dados foram construídos dois questionários adequados para os sujeitos deste estudo: discentes e docentes. A aplicação presencial dos questionários, em setembro de 2021, envolvendo os estudantes em horário de aula ocorreu de forma previamente estabelecida entre o pesquisador/aplicador, a coordenação e professores do terceiro ano. Para evitar eventual ausência de abordagem do conteúdo sobre *Archaea* durante o ensino emergencial para turmas de segundo ano, o questionário dos discentes foi aplicado para 78 estudantes do terceiro ano do ensino médio regular, todos com idade superior a 18 anos, em três escolas públicas do DF: Centro de Ensino Médio 01 do Gama (CEM 01), Centro de Ensino Médio 02 do Gama (CEM 02) e Centro de Ensino Médio 417 de Santa Maria (CEM 417). O questionário para docentes foi aplicado para cinco professores de Biologia do segundo ano, ou áreas afins, das respectivas escolas e designados neste estudo como P1 (CEM 01), P2, P3 (CEM 02), P4 (CEM 417) e P5 (CEM 02). Os professores responderam ao questionário em intervalos entre as aulas ou no início/final do expediente.

Previamente à entrega dos questionários, discentes e docentes que participaram da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Apenas os questionários de estudantes maiores de 18 anos e de professores que preencheram e assinaram esse termo de concordância de participação foram considerados no levantamento.

2.4 Caracterização dos professores

Os cinco professores (P1, P2, P3, P4 e P5) que responderam ao questionário neste estudo possuem licenciatura plena em Ciências Biológicas. Os professores P3, P4 e P5 possuem pós-graduação *sensu stricto* em Biologia ou áreas afins. A faixa etária dos participantes variou de 30-35 anos (P3); 35-45 anos (P4 e P5) ou 45-60 anos (P1 e P2).

2.5 Escolha dos livros didáticos

Previamente à realização da pesquisa de campo foi feito um levantamento bibliográfico em sete livros didáticos de Biologia (LOPES, 1997; MORANDINI; BELINELLO, 1999; AMABIS; MARTHO, 2001; AMABIS; MARTHO, 2002; UZUNIAN; BIRNER, 2004; LOPES; ROSSO, 2005; CÉSAR; SEZAR; CALDINI, 2010). O levantamento visava analisar como o conteúdo de *Archaea* tem sido trabalhado ao longo dos últimos anos. No momento da pesquisa, os dois livros didáticos de Biologia selecionados para o estudo eram aqueles utilizados nas três escolas e disponibilizados para os estudantes. Ambos foram aprovados pelo PNLD do Ensino Médio de 2018 (BRASIL, 2017). Para análise deste estudo, os livros (Quadro 1) foram gentilmente cedidos pela própria escola ou pelos professores participantes. É importante ressaltar que a análise do conteúdo dos livros didáticos restringiu-se aos capítulos relacionados à classificação dos seres vivos e Biologia de membros do domínio *Archaea*.

Quadro 1: Livros selecionados para análise

Nome do livro	Autores	Volume	Edição	Ano	Escola que adota
BIO	Sônia Lopes Sérgio Rosso	02	3ª	2016	CEM 01 CEM 02
Biologia	Vivian L. Mendonça	02	3ª	2016	CEM 417

Fonte: elaborado pelos autores.

2.6 Análise de dados

O questionário de estudantes foi composto por duas perguntas, uma subdividida em cinco itens (Quadro 2). A fim de investigar se os estudantes tiveram contato com o tema *Archaea* em sala de aula, e se eram capazes de identificar algumas das características básicas desses microrganismos, foram adotados dois aspectos na análise: (i) presença do tema em aula e (ii) aspectos teóricos básicos sobre *Archaea*. A presença do tema em aulas foi endereçada na primeira pergunta do questionário de estudantes mediante quatro opções pré-estabelecidas. O segundo aspecto contendo cinco subitens foi adaptado de Silva e Menolli (2017) e destacam os pontos básicos para estudo da Biologia de um organismo: (i) morfologia e estrutura; (ii) filogenia; (iii) ecologia; (iv) aplicação biotecnológica e (v) relação com humanos. Para analisar cada subitem, os estudantes podiam optar pelas respostas: certo (C), errado (E) ou não sei (NS), como mostrado no quadro 2.

Vale ressaltar que comparar os resultados obtidos entre os estudantes das três escolas está fora do escopo deste estudo. Dessa forma, os dados coletados por meio do questionário de discentes dessas instituições participantes estão igualmente mensurados na mesma questão ou item.

O questionário de professores foi composto por oito questões de múltipla escolha. As respostas possíveis foram estabelecidas previamente (Quadro 3). Os pontos analisados foram divididos em quatro aspectos: (i) presença do tema em aula; (ii) modalidades e ferramentas didáticas utilizadas; (iii) aspectos teóricos básicos sobre *Archaea* e (iv) formação acadêmica e atualizações do conteúdo. As respostas foram consideradas sob a perspectiva da atividade docente em toda sua jornada profissional e tabuladas de acordo com o quadro 3.

Quadro 2: Tabulação para análise das respostas obtidas pelo questionário dos estudantes

Aspecto	Pergunta	Opções de respostas
Presença do tema em aula	No ensino médio você já ouviu falar ou teve contato nas aulas de Biologia com o tema <i>Archaea</i> ?	Sim, porém, bem rapidamente. Atualmente não me lembro de muitas coisas sobre o tema.
		Sim, o professor trouxe várias informações sobre o tema. Hoje em dia lembro-me de muitas coisas sobre <i>Archaea</i> .
		Não lembro se o professor abordou o conteúdo em sala de aula.
		Esses microrganismos nunca foram abordados ou mencionados em aulas de Biologia ou outras disciplinas.
Aspecto/ subitem	Pergunta	Opções de respostas
Aspectos teóricos básicos de <i>Archaea</i>	Julgue os itens	C (Certo) E (Errado) NS (Não sei)
<i>Morfologia e estrutura</i>	As arqueias são procariontes, ou seja, não possuem envoltório nuclear delimitando o material genético. (CERTO)	
<i>Filogenia</i>	As arqueias são bactérias, podendo ser chamadas de arqueobactérias. Elas fazem parte do reino <i>Monera</i> . (ERRADO)	
<i>Abordagem ecológica</i>	As arqueias são extremófilas, sendo encontrados exclusivamente em ambientes inóspitos. (ERRADO)	
<i>Potencialidades biotecnológicas</i>	As arqueias são pouco estudadas por serem extremófilas, por isso, o potencial biotecnológico delas é pouco explorado. (ERRADO)	
<i>Relação com seres humanos</i>	As arqueias não são consideradas patogênicas. Fazem parte, inclusive, da microbiota humana. (CERTO)	

Fonte: elaborado pelos autores

A análise dos livros didáticos neste estudo foi adaptada de Silva e Menolli (2017) e dividida em aspectos teóricos, visuais e complementares (Quadro 4). Como mencionado, todos esses aspectos foram analisados a partir de capítulos dedicados a *Archaea* e ao sistema de classificação dos seres vivos, resultado da leitura completa dos capítulos selecionados. Quanto aos aspectos teóricos foram analisados os conteúdos básicos para entendimento de um organismo: (i) morfologia, fisiologia e reprodução; (ii) filogenia; (iii) abordagem ecológica; (iv) potencialidades biotecnológicas e (v) relação com os seres humanos (SILVA; MENOLLI, 2017). Os aspectos visuais foram julgados quanto a: (i) qualidade; (ii) escala; (iii) conteúdo e (iv) relação texto-imagem. Já os aspectos complementares foram julgados quanto: (i) as atividades; (ii) os textos complementares e (iii) a sugestão de busca de conteúdo em outras fontes (SILVA; MENOLLI, 2017). Para facilitar a compreensão do leitor será adotada a sigla L1 para o livro didático BIO de Sônia Lopes/Sérgio Rosso e L2 para o livro didático Biologia de Vivian L. Mendonça (Quadro 1). Em cada aspecto os livros foram julgados, como: “não abordado”, “abordado com falhas” e “abordado sem falhas”, seguindo os critérios estipulados por Silva e Menolli (2017), e evidenciados no resultado deste estudo conforme a legenda do quadro 5.

Quadro 3: Tabulação para análise das respostas obtidas pelo questionário dos docentes

Aspecto	Pergunta	Opções de respostas
Presença do tema em aula	Como professor de Biologia você aborda o conteúdo de <i>Archaea</i> em aula?	() Sim. Costumo lecionar todos os anos nos conteúdos programáticos; () Não. Esse conteúdo geralmente não é abordado em minhas aulas; () Varia de ano para ano, porém, na maioria das vezes consigo abordar; () Varia de ano para ano, porém, na maioria das vezes não abordo.
	Quanto tempo nas aulas você dedica para ensinar sobre <i>Archaea</i> ?	() 01 aula ou menos; () 02 aulas; () 03 aulas; () 04 aulas ou mais; () Não abordo esse tema em sala de aula.
Modalidades e ferramentas didáticas utilizadas	Quais os tipos de modalidade didática que você emprega ao dar aulas sobre <i>Archaea</i> ?	() Aula expositiva; () Aula prática; () Aula demonstrativa; () Aula de Campo; () Debates e/ou discussão; () Trabalho em grupo; () Não abordo o tema em sala de aula.
	Quais as ferramentas/espacos didáticos que você utiliza em aulas sobre o domínio <i>Archaea</i> ?	() Quadro () Slides () Vídeos () Matérias jornalísticas () Laboratório; () Jogos; () Livro didático; () Área externa a sala de aula; () Exercícios; () Textos; () Não abordo o tema em sala de aula;
Conteúdos abordados	Quais os aspectos teóricos você aborda normalmente em aulas sobre <i>Archaea</i> ou em aulas anteriores/posteriores sobre o tema?	() Morfologia e estrutura; () Filogenia; () Aspectos ecológicos; () Potencialidades biotecnológicas; () Relação com seres humanos; () Não abordo o tema em sala de aula.
	Você ministra o tema <i>Archaea</i> em conjunto com o domínio <i>Bacteria</i> ?	() Sim; () Não; () Não abordo esse tema em sala de aula.
Formação acadêmica e atualizações	Você considera que teve uma boa formação acadêmica para ministrar aulas sobre <i>Archaea</i> ?	() Sim. Durante minha formação acadêmica tive bons professores e aulas aprofundadas sobre o tema; () Acho que obtive parcialmente uma boa formação sobre o assunto; () Não. Tive poucas aulas sobre o tema e não tive aprofundamento do assunto; () Não lembro se durante minha formação acadêmica foi ministrado aulas sobre o assunto; () Realizei minha formação acadêmica ainda quando as contribuições de Carl Woese não estavam tão difundidas e, por isso, não tive aprofundamento no tema.
	Você costuma atualizar-se sobre novos temas relacionados ao domínio <i>Archaea</i> ?	() SIM; () NÃO. Se SIM, onde: () Pelas atualizações e novidades dos livros didáticos; () Pelas informações nos veículos de comunicações como jornal, documentários e reportagens na <i>internet</i> ; () Participando de congressos nacionais e/ou internacionais de Microbiologia; () Fazendo leitura de periódicos em revistas científicas.

Fonte: elaborado pelos autores

Quadro 4: Tópicos analisados para o conteúdo de *Archaea* nos livros didáticos

Tópicos para análise			
Aspectos teóricos	Morfologia, fisiologia e reprodução		Filogenia
	Abordagem ecológica	Potencialidades biotecnológicas	
	Relação com o ser humano		
Aspectos visuais	Qualidade (nitidez e cor)	Escala	Conteúdo da imagem
	Relação texto-imagem		
Aspectos complementares	Atividades propostas		Atividades experimentais
	Textos complementares		Sugestão de outras fontes de conteúdo

Fonte: elaborado pelos autores

3 Resultados e discussão

3.1 Presença do tema em aula

Quando questionados se o domínio *Archaea* é trabalhado em suas aulas, quatro professores (P1, P2, P3 e P5) afirmaram que sim, enquanto P4 alegou que não costumava incluir o assunto em aulas. Como observado, no ensino médio o tema domínio *Archaea* é adotado pela maioria dos docentes que participaram deste estudo. A presença do tópico em sala de aula é importante, pois as arqueias atuam em diversos processos biológicos na biosfera, como ciclagem de nutrientes e decomposição, além de possuírem alto potencial biotecnológico (MADIGAN et al., 2016; ALQUÉRES et al., 2017). A ausência do ensino sobre *Archaea* nesse nível do ensino limita a compreensão destes fenômenos pelos estudantes, o que dificulta correlacionar a importância desses microrganismos com o seu cotidiano. De acordo com P4, a exclusão do conhecimento envolvendo *Archaea* nos conteúdos programáticos distribuídos pela escola é um dos motivos para que o professor não ministre o tema. Ao não incluírem de forma explícita o conteúdo sobre esse domínio da vida, o Currículo em Movimento da Educação Básica do Ensino Médio do DF e a BNCC contribuem para esse fato. Nesses currículos o ensino de Microbiologia é voltado apenas para vírus, bactérias, fungos e protozoários em detrimento de *Archaea* (DISTRITO FEDERAL, 2014; BRASIL, 2018).

Apesar de o domínio *Archaea* estar presente no conteúdo das aulas ministradas por grande parte dos docentes analisados, 38 (48,7%) estudantes afirmaram não se lembrar se o professor havia abordado o conteúdo em sala de aula, enquanto 36 (46,1%) estudantes afirmaram que o professor havia passado o conteúdo rapidamente, porém, não se lembravam mais do assunto. Por outro lado, 2 (2,5%) estudantes afirmaram que o conteúdo não foi

trabalhado em sala de aula. Este é o mesmo percentual obtido para os estudantes que declararam que o professor trouxe várias informações sobre o tema. Embora não se possa assegurar que todos os estudantes participantes da pesquisa tiveram aulas de Biologia com os respectivos docentes do segundo ano, é esperado, de maneira geral, que os discentes contataram esses professores no ano anterior em decorrência da continuidade dos estudos na mesma instituição de ensino.

Os estudantes participantes deste estudo cursaram o segundo ano do ensino médio em 2020, no contexto de ensino remoto (BARBOSA et al., 2020). Porém, de acordo com Broilo e Neto (2021, p. 147) “não há um preparo devido para que os profissionais da área da educação em todos os níveis de ensino estejam completamente prontos para atuarem na educação remota com destreza”. Nascimento e colaboradores (2020) destacam também que uma quantidade razoável de estudantes de instituições públicas no Brasil não possui condições mínimas necessárias para acompanhar as atividades de ensino remoto. Muitos não têm acesso a equipamentos e meios necessários para transmissão de dados, como *internet* e sinal de TV digital. Esse fato pode explicar, pelo menos em parte, a grande quantidade de alunos (33 ou 48,7%), que afirmou não lembrar se o conteúdo sobre *Archaea* havia sido tratado em aula. Por fim, a ausência do conteúdo sobre *Archaea* nas aulas do professor P4 também ajuda esclarecer por que alguns estudantes afirmaram não recordar da presença do assunto em aula.

Os 36 (46,1%) estudantes que mencionaram que o assunto havia sido trabalhado em aula rapidamente, converge com as respostas obtidas dos professores, pois P3, P4 e P5 declararam ministrar normalmente uma aula de 50 minutos, ou menos, sobre o domínio *Archaea*. A pouca disponibilidade de tempo utilizada é reflexo da estrutura escolar deficiente para o ensino de ciências (SILVA; BASTOS, 2012). Igualmente, a grande quantidade de conteúdo de Biologia abordados em poucas aulas no segundo ano, restringe a ação dos professores e leva a uma compreensão reducionista sobre o tema. A adoção de uma aula ou menos é claramente insuficiente para transmitir os principais conteúdos sobre *Archaea*, que contemple desde morfologia, filogenia, aspectos ecológicos, potencialidades biotecnológicas até a relação com humanos de maneira adequada. Um número superior de aulas devotado ao ensino de *Archaea*, a exemplo dos professores P1 e P2, que citaram utilizar, respectivamente, 4 e 2 aulas, é essencial. Entretanto, apesar do tempo dedicado por esses docentes, nosso estudo sugere que muitos estudantes não se recordam do ensino sobre o tema, possivelmente, em decorrência da mudança emergencial para o ensino remoto e/ou das metodologias de ensino adotadas.

3.2 Aspectos teóricos básicos sobre Archaea

As respostas relativas aos aspectos teóricos sobre arqueias incluídos em suas aulas foi unânime. Os cinco professores declararam abordar propriedades morfológicas e estruturais de arqueias, tais como a forma circular de cromossomas descrita para a maioria dos membros. Tal como bactérias estes procariotos não apresentam núcleo, uma característica básica na distinção com eucariotos. Porém, quando questionados, 39 (50%) estudantes afirmaram não saber se as arqueias são procariotos, 24 (30,7%) declararam corretamente que sim, enquanto 15 (19,3%) estudantes responderam que não.

Dos 78 estudantes participantes da pesquisa, 54 (69,3%) não sabiam ou não compreendiam a característica básica que distingue *Archaea* de *Eukarya* – ausência de envoltório nuclear. Mesmo o tema sendo trabalhado por todos os professores, verificou-se essa defasagem, que abrange desde as características da estrutura celular, até a apresentação da informação genética (cromossomo circular na maioria dos procariotos). Esse resultado corrobora outros dados que apontam dificuldade de distinção de organismos procariotos e eucariotos pelos estudantes (FRANÇA; SOVIERZOSKI, 2018). Os assuntos trabalhados nas áreas de Biologia Celular e Microbiologia ainda continuam abstratos para muitos alunos na educação básica, pois englobam o estudo de características não mensuráveis e observáveis a olho nu pelos discentes.

Outro assunto teórico tratado neste estudo foram os aspectos filogenéticos, cuja presença é essencial para a compreensão da divisão de procariotos em dois domínios. Isto porque a partir das análises de sequências de genes de rRNA 16S, e mais tarde com a inclusão de sequências de genes homólogos funcionais de eucariotos, foi proposta a classificação atual dos seres vivos (WOESE; KANDLER; WHEELIS, 1990). No entanto, 37 (47,4%) estudantes de ensino médio participantes desta pesquisa afirmaram de maneira equivocada que espécies de arqueias são um grupo específico de bactérias e que estão alocadas no reino *Monera*.

As características morfológicas e metabólicas comuns a bactérias e arqueias levaram ao agrupamento desses microrganismos em vários sistemas de classificação, como o de cinco reinos (WHITTAKER, 1969). No levantamento bibliográfico desenvolvido para esta pesquisa foi identificado que livros didáticos de Biologia recentes conceituam *Archaea* como *Arqueobacteria* dentro do reino *Monera* (LOPES; ROSSO, 2005; CÉSAR; SEZAR; CALDINI, 2010; AZEVEDO; NETO, 2014; NEVES; OLIVEIRA, 2016). Porém, os avanços científicos recentes contestam essas informações. *Archaea* e *Bactéria* são formalmente reconhecidos como dois domínios de procariotos (EME et al., 2017). Apesar disso, verificou-se que a visão dos estudantes sobre *Archaea* permanece desatualizada. Esse equívoco é tão contundente, que os 37 (47,4%) estudantes que afirmaram que espécies de arqueias são uma categoria particular de bactérias ultrapassaram os 29 (37%) estudantes que responderam não sei. Estes resultados indicam que o ensino sobre *Archaea* pode estar ocorrendo de modo inadequado. De fato, quando questionados, quatro docentes (P1, P2, P4 e P5) relataram que

abordam o conteúdo sobre *Archaea* em conjunto com *Bacteria*. Não distinguir os dois domínios procarióticos de forma explícita pode resultar nessa associação inexata.

A propósito do aspecto ecológico trabalhado neste estudo, 51 (65,3%) estudantes responderam que não sabiam se as arqueias são encontradas exclusivamente em ambientes inóspitos para a maioria dos seres vivos. Outros 14 (17,9%) responderam corretamente que não, enquanto 13 (16,8%) estudantes afirmaram erroneamente que sim.

As primeiras espécies de *Archaea* descritas foram isoladas de ambientes com condições extremas, compatíveis com aquelas encontradas durante o surgimento da vida na Terra, como águas salgadas, fontes termais ácidas ou vulcânicas e minas ácidas de carvão (BROCK et al., 1972; DARLAND et al., 1970). A habilidade de sobreviver em condições ambientais inóspitas para maioria dos seres vivos, em conjunto com a adoção do termo *Archeobacteria*, que significa bactérias primitivas, para designar este táxon, induziu ao vínculo exclusivo e equivocado com o domínio *Archaea*. De fato, estas associações são observadas em livros didáticos de Biologia publicados ao longo dos anos (AMABIS; MARTHO, 2001, 2002; LOPES; ROSSO, 2005; NEVES; OLIVEIRA, 2016). No entanto, tais como bactérias, vários estudos demonstram que, além de ambientes com condições físico-químicas extremas, as arqueias também são metabolicamente ativas em ecossistemas compatíveis com a vida humana e de outros seres vivos como solos, pântanos, aquários e associadas ao corpo humano (SAUDER et al., 2011; RIBEIRO, 2015). O fato de 51 (65,3%) estudantes afirmarem não saber se células de *Archaea* são encontradas exclusivamente em ambientes ditos inóspitos, indica a possibilidade de os professores não abordarem esse assunto de maneira a evidenciar a ubiquidade desses microrganismos.

Espécies de *Archaea* podem ser encontradas em associação em diversas regiões do corpo humano, sendo inclusive parte da microbiota residente, em conjunto com bactérias e fungos (MADIGAN et al., 2016). Até o presente, ainda não foram descritos, com segurança, o caráter patogênico desses procariotos para humanos e outros animais. Quando questionados sobre essas informações, 42 (53,8%) estudantes afirmaram não conhecer esta relação. Alegaram que essa assertiva é correta 18 (23,1%) estudantes, mesmo número que afirmou erroneamente que estes microrganismos são patogênicos e que não são componentes da microbiota residente humana. Esse aspecto é trabalhado por três professores (P1, P2 e P4), enquanto dois (P3 e P5) citaram não abordar, o que pode explicar o alto percentual de estudantes que optaram pela resposta não sei. Em geral, na educação básica os microrganismos são associados apenas como fonte de doenças (PESSOA et al., 2012). Essa associação leva os estudantes a concluir que, por serem microrganismos, espécies de *Archaea* são automaticamente agentes patogênicos, como observado na resposta de 18 (23,1%) estudantes que julgaram o item como errado.

O último aspecto teórico relacionado ao domínio *Archaea* analisado neste estudo foi o potencial biotecnológico. Dos 78 estudantes entrevistados, 36 (46,2%) citaram não saber sobre a exploração desse potencial, seguido da afirmação equivocada de 25 (32%) estudantes, que o potencial tecnológico desses microrganismos é pouco explorado e 17 (21,8%), que declararam corretamente reconhecer a exploração dessa potencialidade em larga escala. Segundo Alquéres e colaboradores (2007) as propriedades extremófilas de *Archaea* estimulam a investigação das adaptações fisiológicas desses microrganismos para sobreviverem em ambientes considerados extremos. Efetivamente, as propriedades extremófilas desse grupo proveem um alto potencial biotecnológico e permitem a exploração destas espécies para a produção de cosméticos, enzimas, fármacos, suplementos e sondas moleculares, dentre outros bioprodutos.

De todos os aspectos teóricos esse é o menos presente nas aulas dos professores, sendo trabalhadas pelos professores P1 e P5, apenas. A ausência desse tema no ensino médio limita a compreensão sobre a importância de *Archaea* no cotidiano dos estudantes e dificulta o entendimento sobre os membros desse domínio da vida.

3.3 Modalidades e ferramentas didáticas utilizadas

Aulas expositivas sobre o domínio *Archaea* foram unanimidade entre as modalidades didáticas utilizadas pelos docentes no ensino do tema. Trabalho em grupo foi a segunda mais utilizada (4/5 professores: P1, P2, P3 e P4). Apenas o professor P2 declarou debater ou discutir o tema. As demais modalidades de aulas (práticas, demonstrativas e de campo), não são trabalhadas por nenhum dos docentes incluídos neste estudo. As ferramentas e espaços didáticos utilizados pelos professores mostraram-se um pouco mais variados. Foram citados quadros, *slides*, vídeos, livros didáticos, exercícios e textos. Matérias jornalísticas, atividades em laboratórios, jogos e áreas externas à sala de aula não foram mencionados como ferramentas ou espaços didáticos utilizados em aulas sobre o domínio *Archaea*.

Neste estudo foi observado que os professores vêm trabalhando o ensino de arqueia em uma abordagem tradicional, caracterizado pela forma teórica e conceitual em que os conteúdos são transmitidos (MEDEIROS et al., 2017). Todos os professores mencionaram o uso de aulas expositivas, com destaque para o professor P5, que afirmou utilizar apenas aulas expositivas e *slides* para ensinar sobre *Archaea*. De acordo com Rolt, Bartolotto e Dallabona (2014), aulas expositivas possuem uma série de limitações e podem estar ultrapassadas, dependendo do contexto. Adicionalmente, a prática docente não deve se restringir apenas a essa modalidade de ensino, para minimizar o cansaço físico e mental, além de repetições desnecessárias (LEPIENSKI; PINHO, 2015).

Essa abordagem de ensino, porém, nem sempre é a favorita da maioria dos professores, que, no entanto, decidem adotá-la em decorrência das dificuldades de material e espaços adequados em escolas públicas (PLIESSNIG; KOVALICZN, 2009). Muitas vezes o

sistema de ensino disponibiliza tão somente a sala de aula, o quadro, giz e o livro didático, o que restringe as opções de trabalho para o docente (LEPIENSKI; PINHO, 2015). Como observado, o quadro e livros didáticos foram as ferramentas destacadas pelos professores no ensino sobre *Archaea*, somados a alguns itens de mais fácil aquisição como exercícios e textos.

As modalidades de ensino como aulas práticas, demonstrativas e de campo, da mesma maneira que recursos como jogos didáticos, são importantes para o estudo do domínio *Archaea* e Microbiologia em geral. Entretanto, foi observado que os docentes envolvidos neste estudo não utilizavam essas modalidades e/ou recursos. Ao contrário das aulas tradicionais, essas modalidades e ferramentas de ensino aguçam a curiosidade do estudante e o coloca como protagonista na construção do conhecimento (MEDEIROS et al., 2017). As aulas práticas permitem o contato direto entre aluno e conteúdo e exercitam habilidades e competências como, concentração, criatividade, organização e cooperação (MEDEIROS et al., 2017). No entanto, essa modalidade didática é limitada pela carência de recursos materiais nas escolas públicas (LEPIENSKI; PINHO, 2015). De fato, nenhum docente nesta pesquisa utilizava laboratórios no ensino de *Archaea*. Embora nas três escolas incluídas neste trabalho tenha sido observado a existência desse tipo de espaço físico para que essas atividades práticas pudessem ser desenvolvidas, esses ambientes não estão equipados adequadamente ou não dispõem de material de consumo para o preparo de aulas.

De forma geral, as modalidades de ensino e ferramentas didáticas utilizadas pelos cinco professores participantes deste estudo apontam que o ensino sobre *Archaea* em escolas públicas do ensino médio do DF ocorre de forma tradicional, como relatado por diversos autores (BARBOSA; BARBOSA, 2010; KIMURA et al., 2013; MEDEIROS et al., 2017). As modalidades e ferramentas que exigem mais esforço e criatividade não são utilizadas pelos docentes participantes, seja pela indisponibilidade de recursos, tempo ou pelo excesso de conteúdo a ser abordado. O formato tradicional leva os estudantes ao rápido esquecimento do conteúdo sobre *Archaea*, como discutido por Cândido e colaboradores (2015) e, possivelmente, evidenciado nos resultados do item 3.2 deste estudo, ocorrência agravada pela adoção emergencial do ensino remoto.

3.4 Formação acadêmica e atualizações de docentes

Foi perguntado aos docentes participantes deste estudo se durante a graduação tiveram acesso ao conteúdo sobre o domínio *Archaea*, de forma que pudessem se sentir capacitados para trabalhar este conteúdo em sala de aula. As respostas seguiram um padrão influenciado pela época do curso de licenciatura. Os professores P1 e P2 (45-60 anos) afirmaram que não tiveram aprofundamento do assunto. Da mesma forma, os professores P4 e P5 (35-45 anos) alegaram que tiveram uma formação parcial sobre o assunto. A resposta do professor P3 (30-35 anos) se diferenciou ao afirmar que durante a formação acadêmica teve bons professores e aulas aprofundadas sobre o domínio *Archaea*. Como a proposição de classificação dos seres

vivos em três domínios ocorreu em 1990 (WOESE; KANDLER; WHEELIS, 1990), pudemos inferir que esse assunto vem sendo incorporado gradualmente de forma mais apropriada nos cursos de graduação, embora essa constatação mereça ser investigada de modo mais detalhado.

A pesquisa científica sobre *Archaea* é muito dinâmica e evolui rapidamente. Por isso, é importante que os professores se mantenham atualizados para aprimorar a prática profissional (BENEDICTO; SILVA, 2018). Os professores P1, P2 e P3 declararam que frequentemente se atualizam sobre o domínio *Archaea*. Quando questionados sobre a forma de atualização sobre o assunto, as respostas foram variadas. P1, P2 e P3 citaram revistas científicas; P1 e P2 o livro didático e veículos de comunicação, ao passo que congressos de Microbiologia foi a opção apenas de P1. Os professores P4 e P5 assumiram que não se atualizam sobre esse tema.

Existem vantagens e desvantagens na utilização dos recursos aqui descritos. Os livros são práticos e facilmente obtidos pelos professores. Por outro lado, muitos livros ainda trazem informações limitadas e inexatas sobre o domínio *Archaea* (DOMINGUINI, 2010; SANTOS; BRAGA, 2019). Assim como os livros, os veículos de comunicação também são de fácil acessibilidade para docentes, porém, as informações nesses ambientes são limitadas, incorretas ou imprecisas e passíveis de sensacionalismo (PONCE, 2018). Congressos de Microbiologia e revistas científicas, por sua vez, trazem informações mais precisas e atuais sobre essa área do conhecimento. Contudo, a grande quantidade de assuntos que os professores de Biologia necessitam se atualizar e a precariedade de recursos financeiros dificulta, ou mesmo impossibilita, o acesso a esses eventos e periódicos científicos. Assim, é interessante a adoção conjunta de acesso a esses recursos, de forma a garantir, adequadamente, informações de qualidade na atualização dos docentes (BENEDICTO; SILVA, 2018).

3.5 Livros didáticos

Os conteúdos sobre *Archaea* nos livros didáticos aqui analisados estão presentes em dois capítulos. No L1 esses procaríotos são citados no capítulo 1 intitulado “Evolução e classificação” (LOPES; ROSSO, 2016, p.11) e no capítulo 3: “Procariontes” (LOPES; ROSSO, 2016, p.43). No L2 as arqueias são mencionadas no capítulo 1: “Classificação dos seres vivos” (MENDONÇA, 2016, p. 11) e no capítulo 3: “Moneras” (MENDONÇA, 2016, p.40). Dessa forma foi observado que o conteúdo é trabalhado em um capítulo voltado para evolução e filogenia e outro voltado para as características gerais de *Archaea*. O quadro 5 resume os principais resultados obtidos a partir da análise do conteúdo sobre *Archaea* nos dois livros didáticos de Biologia selecionados para este estudo.

No L1, arqueias são trabalhadas ao longo de todo o capítulo 3, conjuntamente com as bactérias. Porém, os autores esclarecem a distinção entre os membros dos dois domínios, ambos referidos como procariontes. Ao longo do capítulo 3 são descritas espécies metanogênicas, halofílicas e termofílicas, bem como os aspectos fisiológicos relacionados. Entretanto, L1 não define procariotos em nenhum momento. Essa omissão reforça os resultados obtidos por Cardoso e colaboradores (2017), que abordam a dificuldade dos estudantes em distinguir células procarióticas de eucarióticas. Igualmente, corroboram os resultados obtidos neste estudo que mostra que muitos estudantes desconheciam que arqueias são procariotos (ver item 3.2). Sobre a variabilidade genética de *Archaea*, Lopes e Rosso (2016, p.53) mencionam: “Com relação à reprodução, esses organismos parecem apresentar apenas bipartição. Não são conhecidos mecanismos que envolvam transferência de material genético, sendo que a variabilidade genética deve surgir só por mutação”.

Quadro 5: Aspectos estabelecidos para a análise dos livros didáticos e principais resultados obtidos

Tópicos para análise		Livros analisados	
		L1	L2
Aspectos teóricos	Morfologia, fisiologia e reprodução	AE	
	Filogenia		AB
	Abordagem ecológica		
	Potencialidades biotecnológicas		
	Relação com o ser humano		
Aspectos visuais	Qualidade (nitidez e cor)		
	Escala		
	Conteúdo da Imagem		AB
	Relação texto-imagem	C	CD
Aspectos complementares	Atividades propostas	E	EF
	Atividades experimentais		
	Textos complementares		
	Sugestão em outras fontes		

As cores indicam: **verde**, abordado sem falhas; **laranja**, abordado com falhas e **vermelho**, não abordado. **Tipos de falhas apresentadas pelos livros didáticos:** A) Informações incorretas e/ou erros conceituais problemáticos; B) Vocabulário desatualizado; C) Falta de recursos que auxiliem o leitor a compreender o conteúdo com clareza; D) Legendas inadequadas; E) Ausência de informações importantes e F) Informações que induzem a interpretações errôneas.

Fonte: elaborado pelos autores

Todavia, tal como ocorre no domínio *Bacteria*, espécies de *Archaea* também são capazes de adquirir informação de outros genomas a partir de transferência horizontal por meio de transformação, conjugação e transdução (FUCHSMAN et al., 2017). A variabilidade também é criada por recombinação, independente da aquisição vertical ou horizontal de informação genética.

O livro L2 não aborda nenhum desses tópicos. Os aspectos morfológicos, fisiológicos e reprodução de procariotos, quando citados nesta obra, abrangem unicamente bactérias, o que abre margem para o desconhecimento desses assuntos pelos estudantes. Desta forma, ficou claro que a ausência desses temas em livros didáticos mais antigos persiste em obras mais atuais (NEVES; OLIVEIRA, 2016; SANTOS; BRAGA, 2019). Quanto à filogenia, o L2 reconhece a existência da classificação dos seres vivos em três domínios da vida, porém, adota o sistema de cinco reinos: “A classificação dos seres vivos é um assunto polêmico, havendo pouco consenso entre os cientistas. A que vamos adotar baseia-se nos cinco reinos estabelecidos pelas biólogas Lynn Margulis e Karlene Schwartz” (MENDONÇA, 2016, p.19).

L2 comete um equívoco ao afirmar que os três domínios da vida estão subdivididos em reinos. Nos domínios *Archaea* e *Bacteria* a categoria reino não é considerada (MADIGAN et al., 2016). A utilização do sistema de cinco reinos, nessa obra, pode levar os estudantes a considerarem que os membros dos dois domínios são indistinguíveis filogeneticamente. Inclusive, a autora descreve: “As arqueas, também chamadas arqueobactérias (*arqueo* = antigo), receberam esse nome porque, até pouco tempo atrás, considerava-se que este seria o grupo mais primitivo de bactérias.” (MENDONÇA et al., 2016, p. 41). Entretanto, o sistema de três domínios, já é bastante estabelecido, ao contrário do que a autora afirma (EME et al., 2017). Ao adotar o reino *Monera* como categoria taxonômica superior e não distinguir *Archaea* e *Bactéria*, o L2 acaba replicando os mesmos erros apontados por outros estudos que investigam o tema em livros didáticos de Biologia (AZEVEDO; NETO, 2014; NEVES; OLIVEIRA, 2016; SANTOS; BRAGA, 2019).

As potencialidades biotecnológicas e a relação com humanos nas obras foram abordadas de maneiras distintas. O livro L2 dedica menos de uma página para descrever especificamente *Archaea*, e esses aspectos não são citados nessa obra. Isso limita a compreensão da importância desses microrganismos, principalmente em temas que estão diretamente ligados aos humanos (KIMURA et al., 2013). O livro L1, por outro lado, destaca a importância de enzimas produzidas por espécies termófilas utilizadas na amplificação de ácidos nucleicos pela técnica de PCR (do inglês *polymerase chain reaction*, ou, reação em cadeia da polimerase). Destaca também a relação de arqueias metanogênicas com o aquecimento global, além de descrever relações mutualísticas ou comensais de arqueias com eucariotos. Este último aspecto é assim abordado no livro: “No caso das arqueas, não se conhecem espécies patogênicas, mas há as que vivem em mutualismo e mesmo como comensais com eucariontes” (LOPES; ROSSO, 2016, p. 44).

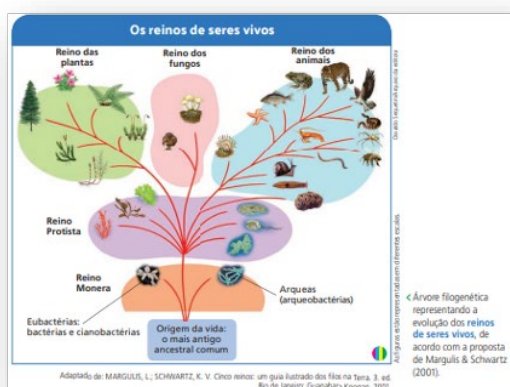
As ilustrações utilizadas nos capítulos que abordam *Archaea* nos livros L1 e L2 representam as relações filogenéticas desses microrganismos na árvore da vida e os ambientes em que podem ser encontrados, notadamente, aqueles com condições inóspitas para outros seres vivos. A imagem que representa as relações filogenéticas no L1 (não mostrada) aponta os três domínios da vida de forma coerente e correta. O livro L2 traz duas representações desse caráter evolutivo (Figura 1). A primeira intitulada “Os reinos de seres vivos” (Figura

1A) representa a árvore da vida no sistema de cinco reinos e inclui o termo arqueobactéria, em desuso e substituído por arqueia (MADIGAN et al., 2016; EME et al., 2017; WOESE; KANDLER; WHEELIS, 1990). A segunda ilustração (Figura 1B) intitulada “Árvore da vida na Terra” simboliza a classificação dos seres vivos em três domínios da vida. Por descrever o sistema atual de classificação e resumir adequadamente as relações filogenéticas entre os organismos, essa ilustração cumpre o papel de auxiliar na compreensão do conteúdo abordado de maneira correta.

Embora os livros L1 e L2 relatem que arqueias não são encontradas exclusivamente em ambientes com condições físico-químicas extremas, as ilustrações das obras mostram apenas ambientes inóspitos. Dessa maneira, é desejável que os espaços representados incluam sítios mais usuais. Este cuidado permitiria traduzir apropriadamente a ubiquidade de *Archaea* em livros didáticos.

Figura 1: Imagens do L2 sobre as relações filogenéticas entre os organismos

A



B



Fonte: (MENDONÇA et al., 2016 com modificações)

Todas as imagens foram posicionadas corretamente, ou seja, ao lado ou após às informações pertinentes, o que é relevante para correlacionar imagem-texto (COUTINHO et al., 2010). Entretanto, o L2 não dispôs as legendas de maneira adequada como pode ser observado na figura 1. As ilustrações não foram numeradas o que pode dificultar a leitura, identificação e compreensão do momento exato da relação da imagem com o texto (VASCONCELOS; SOUTO, 2003). O L1 também apresentou falha na relação texto-imagem. Ao abordar a morfologia de *Archaea*, é citado o exemplo da espécie *Pyrodictium abyssii*, com morfologia rara em forma de disco. Contudo, a obra não exibe ilustração dessa morfologia incomum. Adicionalmente, nos dois livros a ultraestrutura de *Archaea* não é contemplada. Quando presentes, microfotografias eletrônicas ilustram apenas células bacterianas, o que

compromete a exemplificação da diversidade de procariotos, tornando essa categoria taxonômica ainda mais abstrata para os estudantes (BARBOSA; BARBOSA, 2010; KIMURA et al., 2013). Esses resultados convergem com os de Neves e Oliveira (2016) e Santos e Braga (2019), que também apontam essa lacuna.

As atividades propostas para aprofundar o conhecimento dos estudantes estavam presentes em ambos os livros, porém, em quantidade insatisfatória. O livro L1 trouxe apenas duas questões relacionadas a *Archaea*, enquanto o livro L2 apenas uma. De forma geral, as duas obras necessitam de uma integração maior entre os conteúdos abordados e exercícios propostos. Temas fundamentais como morfologia, fisiologia, reprodução e aplicação biotecnológica de células de arqueias não são contemplados, reduzindo o contato de alunos com tais conteúdos.

A presença de atividades experimentais e sugestão de consultas a fontes alternativas não foram consideradas nos dois livros. Para Vasconcelos e Souto (2003), as atividades experimentais são essenciais para a ação investigativa do estudante e do pensamento científico. Essas atividades levam o estudante a proposição de hipóteses e coleta de dados. Ademais, fomentam o surgimento de ideias para elaboração de metodologias ativas de ensino (BARBOSA; BARBOSA, 2010). As sugestões de consultas em outras fontes, por outro lado, são importantes para a formação do aluno como protagonista do próprio conhecimento. Ao propor a busca de informações em fontes alternativas, a curiosidade do aluno é aguçada, e as informações do livro podem ser complementadas e, quando ausentes, apresentadas aos estudantes. Ao não discorrerem sobre esses aspectos, os dois livros didáticos analisados neste estudo limitam os elementos didáticos discutidos acima e o ensino do domínio *Archaea*.

O último aspecto analisado neste estudo diz respeito ao material complementar dos livros analisados, excluídos do conteúdo de L2. Por sua vez, L1 traz dois textos complementares intitulados “Colocando em foco”. Essa obra relaciona aspectos teóricos do conteúdo de *Archaea* como curiosidades a serem trabalhadas. O primeiro texto do material complementar “Aquecimento global, *Archaeas* metanogênicas e bactérias metanotróficas – qual a relação?” associa este conhecimento às mudanças climáticas (LOPES; ROSSO, 2016, p. 53). O segundo, “Biotecnologia e arqueas das fontes termais” (LOPES; ROSSO, 2016, p. 54), destaca o potencial biotecnológico desses microrganismos usando como exemplo, enzimas originárias de espécies termófilas utilizadas para amplificação de ácidos nucleicos por PCR.

De forma geral, o livro L1 trabalhou o conteúdo do domínio *Archaea* de maneira mais apropriada. Todos os aspectos teóricos foram incluídos, ainda que apresentando erros. Entretanto, esse livro possui omissões relevantes nos aspectos complementares e visuais. O L2 também apresentou lacunas e erros nesses aspectos, e trabalhou o assunto teórico de maneira mais reducionista, omitindo várias informações essenciais.

Finalmente, cabe ressaltar que os resultados obtidos neste estudo não têm por objetivo desmerecer o trabalho e empenho que foram dedicados na construção dessas obras didáticas. Nosso propósito foi analisar como o conteúdo sobre o domínio *Archaea* é considerado em ambos, bem como alertar docentes e discentes sobre a importância de obras didáticas na formação dos estudantes e apontar caminhos para que essas limitações possam ser abordadas de modo crítico.

4 Considerações finais

Este estudo mostrou que, atualmente, o domínio *Archaea* é ministrado pelos docentes participantes, porém, o tempo insuficiente dedicado ao tema resulta numa abordagem superficial. O ensino de *Archaea* ocorre de forma tradicional e teórica, sem adoção de modalidades e ferramentas alternativas de ensino que instiguem alunos a se apropriarem do conteúdo de forma mais dinâmica. A maioria dos estudantes afirma não se lembrar se o assunto havia sido trabalhado em aula. Muitos discentes não conheciam as características teóricas básicas desse grupo de microrganismos, desde morfologia, ecologia, propriedades biotecnológicas e relações com os seres humanos até filogenia.

As arqueias ainda são vistas pelos estudantes participantes desta pesquisa como um tipo particular de bactérias dentro do reino *Monera*, uma categoria taxonômica em desuso. Essa concepção pode ser trabalhada de modo equivocado pelos docentes, que costumam lecionar os dois conteúdos conjuntamente no ensino médio. Os dados revelados pela pesquisa também apontam que a formação inicial dos professores ainda aborda de modo insuficiente esse tema. Há também uma desatualização do conhecimento científico por alguns professores, decorrente da alta carga de conteúdos ministrados e deficiência no uso de recursos didáticos.

Na análise de dois livros didáticos de Biologia aprovados pelo PNLD do Ensino Médio de 2018 e adotados pelas três escolas públicas envolvidas no estudo, embora tenham ocorrido inclusão e/ou atualização de conteúdo sobre o domínio *Archaea*, foi constatado a permanência do termo arqueobactéria e persistência na adoção do reino *Monera* em uma obra analisada. Os aspectos visuais e complementares trazidos nessas obras são limitados e restringem uma compreensão apropriada do assunto pelos estudantes. Conclui-se que o ensino sobre o domínio *Archaea* nas escolas de ensino médio do DF abrangidas pela pesquisa ainda carece de aprimoramento. Porém, é importante reconhecer que a inclusão do tema nas aulas de Biologia é o primeiro passo para superar essas dificuldades.

Referências

- AMABIS, J.R.; MARTHO, G.R. **Conceitos de Biologia**. São Paulo: Moderna, 2001.
- AMABIS, J.R.; MARTHO, G.R. **Fundamentos da Biologia Moderna**. 3.ed., São Paulo: Moderna, 2002.
- AGUIAR, M. **Secretaria de Educação do DF anuncia planos de volta às aulas presenciais**. Correio Braziliense, 2021. Disponível em: <https://www.correio braziliense.com.br/euestudante/educacao-basica/2021/07/4939896-secretaria-de-educacao-do-df-anuncia--plano-de-volta-as-aulas-presenciais.html> Acesso em: 26 de out. de 2021.
- ALQUÉRES, S.M.C et al. Exploring the biotechnological applications in the Archaeal domain. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, p. 398-405, 2007.
- AZEVEDO, T; NETO, L.S. Bacteriologia na Educação Básica: como este tema é abordado nos livros didáticos? **Acta Scientiae**, v. 16, n. 3, p. 631-647, 2014.
- BARBOSA, A.T.; FERREIRA, G.L.; KATO, D.S. O ensino remoto emergencial de Ciências e Biologia em tempos de pandemia: com a palavra as professoras da Regional 4 da SBENBIO (MG/GO/TO/DF). **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, v. 13, n. 2, p. 379-399, 2020.
- BENEDICTO, E.C.P.; SILVA, P.R.L. Discussões acerca das formas de atualização de professores de química do Ensino Médio. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 13, p. 282-287, 2018.
- BRASIL. **PNLD 2018: apresentação – guia de livros didático**. Brasília, DF: MEC, 2017.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.
- BROCK, T.D. et al. Sulfolobus: a new genus of sulfur-oxidizing bacteria living at low pH and high temperature. **Arch. Mikrobiol**, v. 84, n. 1, p. 54-68, 1972.
- BROILO, L.; NETO, G.B. Pandemia 2020 e a EaD: o impacto do Covid-19 no ensino brasileiro. **Educação, Cultura e Comunicação**, v. 12, n. 23, p. 139-150, 2021.
- CÂNDIDO, M. S. C. et al. Microbiologia no ensino médio: Analisando a realidade e sugerindo alternativas de ensino numa escola estadual paraibana. **Ensino, Saúde e ambiente**, v. 8, n. 1, p. 57-73, 2015.
- CÉSAR, S.J.; SEZAR, S.; CALDINI, N. **Biologia volume 2**. 10.ed., São Paulo: Saraiva, 2010.
- COUTINHO, F.A. et al. Análise do valor didático de imagens presentes em livros de Biologia para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 53, 2010.



DARLAND, G. et al. A thermophilic, acidophilic mycoplasma isolated from a coal refuse pile. **Science**, v. 170, n. 3965, p. 1416-1418, 1970.

DISTRITO FEDERAL. **Currículo em Movimento da Educação Básica – Ensino Médio**. Brasília, DF: SEEDF, 2014.

DISTRITO FEDERAL. **Replanejamento Curricular 2021 – Ensino Médio**. Brasília, DF: SEEDF, 2021.

DOMINGUINI, L. **Fatores que evidenciam a necessidade de debates sobre o livro didático**. Congresso Internacional de Filosofia e Educação, 2010. Disponível em: https://www.ucs.br/ucs/tp/cinfe/eventos/cinfe/artigos/artigos/arquivos/eixo_tematico7/Fatores%20que%20Evidenciam%20a%20Necessidade%20de%20Debates%20sobre%20o%20Livro%20Didatico.pdf > Acesso em: 25 de set. de 2021.

EME, L. et al. Archaea and the origin of eukaryotes. **Nature Reviews Microbiology**, v. 15, n. 12, p. 711-723, 2017.

FONTELLES, M. J. et al. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista paraense de medicina**, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.

FRANÇA, J.P.R.; SOVIERZOSKI, H.H. Conhecimentos dos estudantes sobre a célula animal. REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 70., 2018. Disponível em: http://www.sbpnet.org.br/livro/70ra/trabalhos/resumos/3050_1f57fab6cfec4e3cbcab87bc23e277cb.pdf Acesso em: 04 de out. de 2021.

FUCHSMAN, C.A. et al. Effect of the environment on horizontal gene transfer between bacteria and Archaea. *PeerJ – Life & Environment*, 2017. Disponível em: <https://peerj.com/articles/3865/> Acesso em: 25 de set. de 2021.

KIMURA, A. H. et al. Microbiologia para o ensino médio e técnico: contribuição da extensão ao ensino e aplicação da ciência. **Revista Conexão UEPG**, v. 9, n. 2, p. 254-267, 2013.

LEPIENSKI, M.L.; PINHO, K.E.P. **Recursos Didáticos no Ensino de Biologia e Ciências**. Dissertação – Programa Desenvolvimento Educacional – PDE, 2011. Disponível em: <http://www.diadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/400-2.pdf>. Acesso em: 26 de set. de 2021.

LOPES, S.; ROSSO, S. **Biologia volume único**. São Paulo: Saraiva, 2005.

LOPES, S.; ROSSO, S. **Bio, volume 2**. 3.ed., São Paulo: Saraiva, 2016.

MADIGAN, M.T. et al. **Microbiologia de Brock**. 14.ed., Porto Alegre: Artmed, 2016.

MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K.V. **Five kingdoms. An illustrated guide to the phyla of life on Earth**. San Francisco: Freeman, 1982.

MEDEIROS, L.P. et al. Reconhecendo a Microbiologia no nosso dia a dia pelo método PBL por estudantes do ensino médio. **Luminária**, v. 19, n. 01, p. 34-43, 2017.



MENDONÇA, V.L. **Biologia: os seres vivos: volume 2**. 3.ed., São Paulo: AJS, 2016. MORESCO, T. R. et al. Ensino de microbiologia experimental para Educação Básica no contexto da formação continuada. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 16, n. 3, p. 435-457, 2017.

NASCIMENTO, P.M. et al. **Acesso domiciliar à internet e ensino remoto durante a pandemia**, Ipea, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10228>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

NEVES, D.B.; OLIVEIRA, M.C.A. Domínio Archaea e Bacteria nos livros didáticos de Biologia do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), Academia, 2016. Disponível em: http://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2016/TRABALHO_EV058_MD1_SA93_ID1464_17052016010719.pdf Acesso em: 25 de set. de 2021.

PONCE, A.R.H.A. **O papel dos comunicados de imprensa no sensacionalismo em notícias de ciências**, 186 f. Dissertação (Mestrado em Comunicação de Ciência) – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.

PLIESSNIG, A.F.; KOVALICZN, R.A. O uso de metodologias alternativas como forma de superação da abordagem pedagógica tradicional na disciplina de Biologia. **Programa de Desenvolvimento Educacional–PDE do Estado do Paraná**, p. 1-4, 2009.

RIBEIRO, H.R.M. **Cultivo e filogenia molecular de Archaea a partir de amostras de aquário de água doce**, 87 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Molecular) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

ROLT, V.A.; BARTOLOTO, E.; DALLABONA, K.G. A utilização de metodologias diferenciadas no ensino de Ciências e Biologia em duas escolas da rede pública do município de Criciúma. **Maiêutica**, v. 2, n. 1, p. 123-138, 2014.

SANTOS, C. R.; BRAGA, H.F. Abordagem das bactérias extremófilas em livros didáticos de biologia do ensino médio. **Scientia Plena**, v. 15, n. 9, p. 1-9, 2019.

SAUDER, L.A. et al. Aquarium nitrification revisited: Thaumarchaeota are the dominant ammonia oxidizers in freshwater aquarium biofilters. **PloS one**, v. 6, n. 8, p. e23281, 2011.

SILVA, A.C; MENOLLI, J.M. Análise do conteúdo de fungos nos livros didáticos de biologia do ensino médio. **Revista Ciências & Ideias**, v. 7, n. 3, p. 235-273, 2017.

UZUNIAN, A.; BIRNER, E. **Biologia volume único**. 2.ed., São Paulo: Harbra, 2004.

VASCONCELOS, S.D.; SOUTO, E. O livro didático de Ciências no Ensino Fundamental proposta de critérios para análise do conteúdo zoológico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 9, n. 1, p. 93-104, 2003.

WHITTAKER, R.H. New concepts of kingdoms of organisms. **Science**, v. 163, n. 3863, p. 150- 160, 1969.



WOESE, C.R; FOX, G.E. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 74, n. 11, p. 5088-5090, 1977.

WOESE, C.R; KANDLER, O; WHEELIS, M.L. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 87, n. 12, p. 4576-4579, 1990.

Recebido em agosto de 2022.
Aprovado em novembro de 2022.

Revisão gramatical realizada por: Lúcia Pinheiro
E-mail: lpinheiro385@gmail.com

Agradecimentos: Agradecemos a professora Maria Rita Avanzi pelas sugestões e leitura crítica deste trabalho.

