

Interdisciplinaridade e Ensino por Investigação de Biologia e Química na Educação Secundária a partir da temática de Fermentação de Caldo de Cana

Interdisciplinarity and Investigative Teaching of Biology and Chemistry in Secondary Education from the thematic of Fermentation of Sugar Cane Broth

Sérgio Martins dos Santos

Secretaria de Estado de Educação do Espírito Santo – SEDU/ES
Programa de Pós-graduação em Educação em Ciência e Matemática - Ifes
sergyusquimica@gmail.com

Guilherme Pizoni Fadini

Secretaria de Estado de Educação do Espírito Santo – SEDU/ES
Programa de Pós-graduação em Educação em Ciência e Matemática - Ifes
guilofadini@msn.com

Maria Margareth Cancian Roldi

Secretaria de Estado de Educação do Espírito Santo – SEDU/ES
Programa de Pós-graduação em Educação em Ciência e Matemática - Ifes
margacroldi@gmail.com

Manuella Villar Amado

Programa de Pós-graduação em Educação em Ciência e Matemática - Ifes
manuellaamado@gmail.com

Vilma Reis Terra

Programa de Pós-graduação em Educação em Ciência e Matemática - Ifes
terravilma@gmail.com

Sidnei Quezada Meireles Leite

Programa de Pós-graduação em Educação em Ciência e Matemática – Ifes
squezada@ifes.edu.br

Resumo

Este estudo objetivou estudar a interdisciplinaridade a partir do desenvolvimento de uma sequência de ensino investigativo abordando conteúdos de química e biologia. A intervenção pedagógica abordou um processo de fermentação biológica de caldo de cana de açúcar para a produção de álcool etílico, numa escola da Rede Estadual do Estado do Espírito Santo, Brasil, envolvendo 27 estudantes do segundo ano do ensino médio, com idades entre 14 e 17 anos. Esta investigação qualitativa, cujos dados foram produzidos a partir de observações dos investigadores, rodas de conversas, anotações feitas pelos estudantes nos diários de bordo, além de leituras de trabalhos da área da educação em ciências. O estudo dos aspectos metodológicos evidenciaram a ênfase histórico-cultural e a contextualização social da intervenção pedagógicas, produzindo situações interdisciplinares de biologia e química. O estudo também evidenciou os aspectos do ensino por investigação articulado à perspectiva da abordagem temática freireana e dos três momentos pedagógicos.

Palavras-chave: educação em ciências, ciências naturais, interdisciplinaridade, ensino por investigação, fermentação alcoólica.

Abstract

The objective of this work was to study the interdisciplinarity and methodological aspects of teaching by research from the development of a sequence of research teaching addressing chemistry and biology contents. The pedagogical intervention addressed a biological fermentation process of sugarcane juice for the production of ethyl alcohol in a school of the State Basic Education Network of Espírito Santo State, Brazil, involving 27 students of the second year of high school, aged Between 14 and 17 years. This qualitative research, whose data were produced from the observations of the researchers, wheels of conversations, annotations made by the students in the logbooks, as well as readings of works of the area of science education. The study of the methodological aspects evidenced the historical-cultural emphasis and the social contextualization of the pedagogical intervention, producing interdisciplinary situations of biology and chemistry. The study also highlighted the aspects of teaching by research articulated to the perspective of the Freirean thematic approach and the three pedagogical moments.

Keywords: education in sciences, nature sciences, interdisciplinary, investigative teaching, alcoholic fermentation.

Introdução

As orientações curriculares no Brasil, com a publicação das Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (BRASIL, 2013), trazem os pressupostos e fundamentos para o ensino médio com qualidade social, a saber: (1) trabalho, ciência, tecnologia e cultura: dimensões da formação humana; (2) trabalho como princípio educativo; (3) pesquisa como princípio pedagógico; (4) direitos humanos como princípio norteador; e (5) sustentabilidade ambiental como meta universal. Além disso, considerando a publicação da Medida Provisória Nº 746, de 22 de setembro de 2016 (BRASIL, 2016), torna-se importante pensar em práticas interdisciplinares. Buscamos contribuir, no âmbito das ciências da natureza, na inovação das práticas escolares que, embora não possa por si só resolver as desigualdades sociointelectuais, é possível ampliar as condições de inclusão social, ao promover o acesso à ciência, à tecnologia, à cultura e ao trabalho.

Durante as reuniões do grupo de pesquisa, foram levantados alguns questionamentos sobre as potencialidades da interdisciplinaridade no ensino de biologia e química, tais como: De que maneira a perspectiva interdisciplinar poderia ser inserida numa intervenção pedagógica abordando a temática de fermentação biológica de caldo de cana de açúcar? De que maneira a perspectiva investigativa poderia ser articulada a perspectiva metodológica das questões sociocientíficas envolvendo a temática produção de álcool? Vale lembrar que a pergunta serve como eixo condutor do trabalho, embora, algumas vezes, não se consiga responder completamente. Segundo Gil (2009, p. 59), as questões surgidas para o pesquisador servem como lembretes para conduzir entrevistas e observações, entre outras formas de coleta de dados. Assim, foi planejada uma sequência didática de química baseada em Terra e Leite (2016), cujos autores desenvolveram um estudo sobre a fermentação de pão com estudantes do ensino técnico de nível médio, visando a discutir conteúdos de cinética química e respiração anaeróbica.

O objetivo deste trabalho foi o de estudar a interdisciplinaridade e os aspectos metodológicos do ensino por investigação a partir do desenvolvimento de uma sequência de ensino investigativo abordando conteúdos de química e biologia. A intervenção pedagógica abordou um processo de fermentação biológica de caldo de cana de açúcar para a produção de álcool etílico, no ensino médio de uma escola da Rede Estadual de Educação Básica do Estado do Espírito Santo, Brasil.

Fundamentação Teórica

No que diz respeito a sequência de ensino investigativo (SEI), segundo Gil-Perez e Valdés-Castro (1996), o planejamento dos momentos pedagógicos deve incluir características investigativas, tais como: (a) apresentar situações problematizadoras abertas; (b) favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância; (c) potencializar as análises qualitativas, propiciando a formulação de questões; (d) considerar a elaboração e testes de hipóteses como uma das etapas da investigação; (e) considerar a análise dos resultados com base nos conhecimentos disponíveis; (f) desenvolver o trabalho acompanhado por memórias científicas; e (g) ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico, por meio de grupos de trabalho, propiciando interação entre si.

Reis e Galvão (2008) sugerem o uso de questões sociocientíficas para provocar discussões incluindo conteúdos de ciências de natureza articulados as questões socioculturais, socioambientais, sociofilosóficas, socioeconômicas, entre outras, de tal maneira que as pessoas envolvidas no debate sejam forçadas a se posicionar, proporcionando reflexão sobre conceitos, crenças, valores, mitos etc. Sadler (2011) ressalta que as práticas escolares usando questões sociocientíficas (QSC, em inglês SSI) pode promover articulações entre conteúdos programáticos e o contexto local/regional, a partir de experiências de laboratório, experiências cotidianas, imagens, com a ajuda da internet e de visitas guiadas.

No presente trabalho, buscamos criar situações pedagógicas de biologia e química articulando três perspectivas metodológicas de ensino, isto é, aspectos da abordagem temática freireana (ATF), os três momentos pedagógicos (3MP) e o ensino de ciências por investigação (ENCI), buscamos nos aproximar da proposta de ensino discutida por Solino e Gehlen (2014), que investigaram as articulações epistemológicas, pedagógicas e possíveis complementaridades entre as propostas de ensino, com a intenção de contribuir para o processo de ensino e aprendizagem de ciências. Neste trabalho, cabe citar que a temática de fermentação alcoólica de caldo de cana de açúcar é uma abordagem temática freireana, mas também foi denominada por nosso grupo como sendo uma questão sociocientífica devido à similaridade.

Na perspectiva da interdisciplinaridade, o todo não é a simples somatória de suas partes, o conhecimento acadêmico, escolar ou não, é totalmente complexo, e para a compreensão das relações entre os saberes, pelos discentes, se faz necessário que a complexidade permeie a educação escolar. Para Fazenda (1991, p. 18), a característica fundamental da atitude interdisciplinar *é a ousadia da busca, da pesquisa, é a transformação da insegurança num exercício do pensar, num construir” e reconhece que a solidão de uma insegurança inicial e individual, que muitas vezes marca o pensar interdisciplinar, pode transmutar-se na troca, no diálogo, no aceitar o pensamento do outro.* Sendo assim, temos que concordar que a “disciplinaridade” não dá conta da realidade que é complexa e não passível de dissecações.

Capra (2004, p. 25) ressalta que há um novo paradigma que pode ser denominado de [...] *uma visão de mundo holística, que concebe o mundo como um todo integrado e não como uma coleção de partes dissociadas.* Os problemas da humanidade também são complexos, são ao mesmo tempo problemas da biologia, da física, da química, entre outras, isto é, cada área de conhecimento abarca um específico modelo da natureza, em que vários elementos se interligam e se inter-relacionam.

Metodologia

Esta investigação qualitativa foi planejada à luz de Gil (2014) de uma intervenção pedagógica abordando a fermentação alcoólica de caldo de cana de açúcar, cujos dados surgiram a partir de observações dos investigadores, rodas de conversas, anotações feitas pelos estudantes nos

diários de bordo, além de leituras de trabalhos da área da educação em ciências. Na tabela 1 está apresentado um resumo das técnicas e instrumentos de coleta de dados.

| Investigação | Técnicas | Instrumentos |
|--|--|--|
| Investigação Qualitativa Tipo: Estudo de Caso | Observações | Anotações. |
| | Inquéritos | Rodas de conversas. |
| | Imagens | Fotografias como registro dos momentos da Aula. |
| | Relato oral e escrito dos grupos de trabalho | Anotações produzidas nos diários de bordo de cada grupo de trabalho. |

Tabela 1: Resumo das técnicas e instrumentos de coleta de dados empregados durante a investigação metodológica interdisciplinar de biologia e química, no ensino médio público da Rede Estadual de Educação Básica do Espírito Santo (Brasil).

Para estudar os aspectos metodológicos de ensino e a interdisciplinaridade, foi planejada uma sequência de ensino investigativo (SEI) de biologia e química com base no método dos Três Momentos Pedagógicos propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), realizada durante o ano de 2016 em aulas e no laboratório de ciências da natureza de ensino médio. A prática envolveu 27 estudantes com idades entre 14 e 17 anos, do segundo ano do ensino médio público da Rede Estadual de Educação Básica do Espírito Santo, no município de Baixo Guandu, Brasil. O trabalho teve inspiração nas práticas pedagógicas investigativas de ciências da natureza, buscando abranger questões sociocientíficas, sociotecnológicas, socioambientais, socioeconômicas, sócio-históricas e socioculturais, conforme Terra e Leite (2016).

Neste trabalho, utilizamos o paradigma interpretativista e procuramos nos limitar a apresentar uma análise fenomenológica da intervenção pedagógica de biologia e química (Gil, 2009, p. 29, p. 95). A análise dos aspectos metodológicos do ensino foi baseada em Gil-Perez e Valdés-Castro (1996), Reis e Galvão (2008), Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), Sadler (2011) e Solino e Gehlen (2014). Os aspectos da interdisciplinaridade foram analisados com base em Fazenda (1979, 1991, 2002).

Os aspectos metodológicos do ensino e interdisciplinaridade

Na tabela 2 está apresentado um resumo do planejamento das etapas da sequência de ensino investigativo interdisciplinar de biologia e química, desenvolvido com base na proposta metodológica dos três momentos pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), englobando uma etapa de problematização, seguida de organização do conhecimento e, finalmente, a aplicação do conhecimento. Neste último momento consistiu situações pedagógicas de debates e promoção de reflexões a cerca dos conteúdos programáticos disciplinares e interdisciplinares. Neste caso, tratou-se de uma investigação metodológica interdisciplinar de biologia e química no ensino médio a partir de uma sequência de ensino investigativo (SEI) envolvendo a fermentação alcoólica. Após o planejamento, foi realizada uma primeira validação da sequência de ensino investigativo interdisciplinar de biologia e química, entre os investigadores, baseada em um formulário produzido pelo grupo de investigação com base em Giordan, Guimarães e Massi (2011). Uma segunda validação aconteceu no momento da execução da sequência de ensino investigativo, com análise de todas os momentos da prática pedagógica.

No que diz respeito a metodologia de ensino, baseados em Solino e Gehlen (2014), ao buscar uma articulação entre os aspectos da abordagem temática freireana (ATF) e os aspectos metodológicos dos três momentos pedagógicos (3MP) e do ensino de ciências por investigação (ENCI), buscamos produzir articulações epistemológicas, pedagógicas e possíveis complementaridades entre as propostas, com a intenção de contribuir para o

processo de ensino e aprendizagem de ciências. Com a análise comparativa dos principais elementos estruturantes da “Abordagem Temática Freireana” e do ENCI, as autoras constataram que há algumas semelhanças quanto a concepção de sujeito e objeto de conhecimento, o conceito de problema, a conceituação científica e o papel da contextualização. Por outro lado, elas perceberam que há particularidades no âmbito destes aspectos, como por exemplo a ênfase da contextualização social no ENCI e da contextualização histórico-cultural na Abordagem Temática Freireana. Com base nessas relações, as autoras estabeleceram complementaridades entre a dinâmica dos “momentos pedagógicos” e as etapas investigativas do ENCI, o que, segundo elas, podem propiciar uma alfabetização científica.

| Sequência de Ensino Investigativo (SEI) | | | |
|--|--|--|--|
| Título: | Produção de álcool etílico a partir de fermentação alcoólica de caldo de cana de açúcar. | | |
| Público Alvo: | 2º Ano do Ensino Médio. | | |
| Questionamentos: | Qual é a importância do álcool etílico no segmento de combustível de automóveis? Quais são as propriedades organolépticas e químicas do álcool etílico? Qual é a função do fermento biológico na reação de fermentação alcoólica? | | |
| Objetivos: | Promover atividades investigativas que favoreçam o processo interdisciplinar de ensino-aprendizagem de biologia e química contribuindo para estabelecer relações entre a produção biológica de álcool etílico e conhecimentos interdisciplinares das ciências da natureza. | | |
| Conteúdo e Método | | | |
| Momento | Objetivo Específico | Conteúdo | Dinâmica |
| Momento 1: Problematização (4 aulas) | Motivar o aluno para busca do conhecimento relacionado à produção biológica de álcool etílico em escala de laboratório. Relacionar conhecimentos de biologia e química com o cotidiano. | Aspectos históricos e culturais da fermentação da alcoólica utilizando catalisadores de biológicos. Aspectos sociocientíficos, socioeconômicos e socioambientais. | Exibição de slides sobre de processos alcoólicos. Produção de Debates a partir de questões sociocientíficas. Avaliação 1. Avaliação Individual com a produção textual dos debates iniciais. |
| Momento 2: Organização do conhecimento (4 aulas) | Reconhecer o processo biológico da fermentação alcoólica para produção de etanol. Promover questões investigativas sobre a produção de álcool etílico, propiciando a investigação científica e a formulação de hipóteses. | Produção de álcool etílico por processo químico e processo biológico. Estrutura molecular da sacarose, frutose e glicose. Reações bioquímicas na fermentação alcoólica catalisada por leveduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i> . Verificar os aspectos cinéticos da fermentação alcoólica. Alguns aspectos socioeconômicos, sociocultural e socioambiental. | Aula expositiva e dialogada com auxílio de apresentação de slides. Estudos com auxílio das consultas na Internet e artigos científicos. Avaliação 2. Avaliação Individual com a produção textual das aulas de química. |
| Momento 3: Aplicação do conhecimento (4 aulas) | Conhecer alguns fatores que influenciam na velocidade da reação da fermentação caldo de cana por leveduras <i>Saccharomyces sp.</i> Observar as transformações ocorridas durante a fermentação alcoólica. | A realização de experimento bioquímicos de fermentação alcoólica de caldo cana com uso de <i>Saccharomyces sp.</i> Constatação de alguns conteúdos programáticos de biologia e química no experimento interdisciplinar. Participação nas aulas, registros escritos das atividades propostas e leituras de textos. | Aula experimental com investigação. Relatório das aulas práticas. Avaliação 3. Avaliação em grupo com o desenvolvimento de relatório de prática. |

Tabela 2: Resumo do planejamento das etapas da sequência de ensino investigativo (SEI) interdisciplinar de biologia e química, realizada em 2016, no ensino médio público da Rede Estadual de Educação Básica do Espírito Santo (Brasil).

Ao iniciar a SEI, foi apresentado aos estudantes um pequeno texto de divulgação científica, que abordava a questão da deterioração do vinho evidenciado por Louis Pasteur, no seu experimento do frasco de pescoço de cisne. A ideia foi induzir a instigação sobre o processo termodinâmico da fermentação, para que os estudantes produzissem hipóteses acerca da geração de energia, de gases e de microrganismos durante a fermentação. As hipóteses iniciais produzidas foram três, a saber: (i) A fermentação acontece em solução de açúcar e na

presença de fermento biológico (catálise biológica); (ii) A temperatura do meio poderá ser alterada durante a fermentação devido às reações exotérmicas; e (iii) A fermentação do açúcar libera produto gasoso.

Com o levantamento das hipóteses, os estudantes construíram dois reatores de fermentação, acoplados a um sistema de destilação, utilizando materiais alternativos, tais como uma lata de refrigerante de alumínio (aprox. massa = 14 g, volume = 350 mL), um tubo de PVC, conexões de antena de alumínio. Na extremidade do reator, acoplou-se um termômetro de laboratório, a fim de se acompanhar os valores de temperatura ao longo da fermentação (figura 1). O experimento durou 4 horas, sem aquecimento externo, buscando-se investigar as três hipóteses.

Em seguida, prepararam duas amostras contendo 230 mL de caldo-de-cana, e mediram o pH do meio com papel indicador universal, obtendo-se pH = 5 para ambas as amostras. Segundo Oliveira (2015), amostras de caldo de cana apresentam cerca de 70% de água e 30% de sólidos dissolvidos, dos quais cerca 70%-90% do sólido é sacarose, $C_{12}H_{22}O_{11}$ (aprox. 20g/100 mL de caldo de açúcar). A sacarose é um dissacarídeo que, após a hidrólise, ácida ou enzimática, fornece uma molécula de glicose e outra de frutose. Então, é provável que a amostra de caldo de cana tivesse, aproximadamente, 46 g de sacarose.

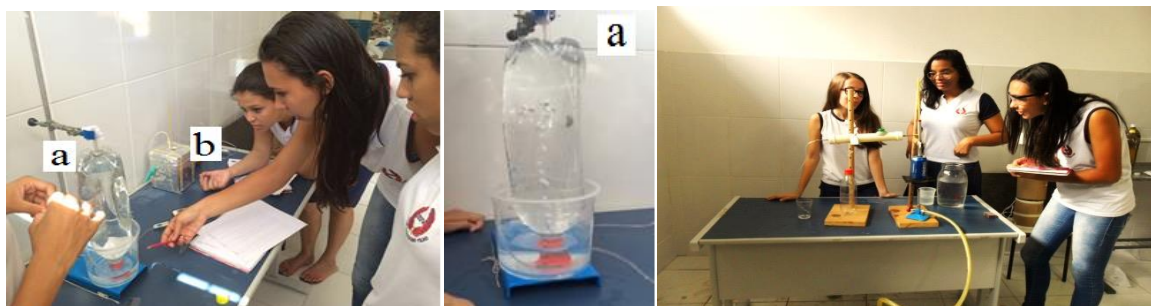
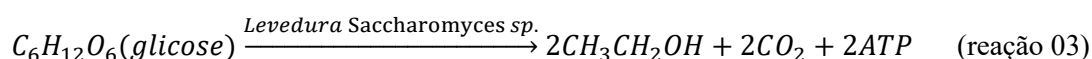
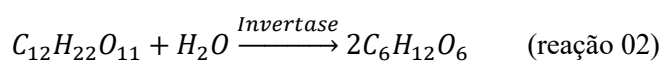


Figura 1: Na fotografia os alunos estão monitorando a temperatura do processo de fermentação, utilizando um equipamento montado com materiais alternativos, acoplado a um destilador produzido com tubos de PVC.

Fonte: Banco de dados do grupo de investigação.

A amostra 01 foi fervida com o objetivo de eliminar qualquer presença de microrganismo que pudesse interferir na experiência, servindo como a amostra de controle, isento de fermento biológico. A amostra 02 foi inoculada com 4 g de fermento biológico (aprox. 1/3 do tablete vendido nos estabelecimentos comerciais), seguido de agitação do meio para dissolução do fermento. Em seguida, foram medidas as massas iniciais os reatores de fermentação, obtendo-se, respectivamente, **reator 01 [sem fermento] = 297,4 g** (massa total) e **reator 02 [com fermento] = 301,4 g** (massa total). Então, os estudantes passaram a monitorar as temperaturas de cada reator e observou-se a formação de gás, em função do tempo. Na tabela 03 está apresentado os valores de temperatura lidos ao longo de 4 horas de fermentação. De acordo com Nelson e Cox (2014), as reações de hidrólise da sacarose (reação 01), a transformação da frutose em glicose pela reação enzimática (reação 02) e fermentação da glicose catalisada pela levedura *Saccharomyces sp.*, podem ser descritas da seguinte maneira:



| Tempo (h) | Reator 01 [sem fermento] - Amostra 01 Caldo | Reator 02 [com fermento] - Amostra 02 Caldo de Cana + Fermento Biológico |
|-----------|---|--|
| | Temperatura (°C) | Temperatura (°C) |
| 0 | 24,0 | 24,0 |
| 1 | 24,0 | 25,5 |
| 2 | 24,0 | 28,3 |
| 3 | 24,0 | 29,5 |
| 4 | 24,0 | 30,0 |

Tabela 3: Acompanhamento cinético de valores de temperatura dos reatores 01 [sem fermento] e 02 [com fermento], coletadas ao longo do processo de fermentação.

Após 72 horas de fermentação, a massa do **reator 01** não se alterou, indicando que não havia ocorrido reação. No entanto, o odor característico de álcool etílico e a massa do Reator 02 foi igual a 277,7g, apresentando uma perda de massa igual a 23,7g, indicaram que o **reator 02** havia ocorrido reação, enquanto o **reator 01** se mostrou inativo. Ao medir o pH no **reator 01**, que foi pH = 5, e no **reator 02**, que foi pH = 4, também corroboraram as indicações. Também foi possível evidenciar geração de gás no reator 02, provavelmente CO₂, indicando que estava acontecendo a reação bioquímica.

A primeira hipótese foi comprovada quando se evidenciou que o fermento biológico atuava como catalisador biológico da reação bioquímica, transformando glicose em álcool etílico e CO₂. A segunda hipótese foi comprovada quando se evidenciou que o aumento da temperatura do processo de fermentação alcoólica no **reator 02**, indicando que a reação era exotérmica, i.e., liberava calor. Os cálculos teóricos termodinâmicos, a partir da entalpia de formação, indicaram a liberação de 18,2 kcal/mol de glicose fermentado (reação 03), i.e., reação exotérmica. A terceira hipótese foi comprovada quando se evidenciou a liberação de gás no reator 02, provavelmente CO₂, indicando que estava acontecendo a reação bioquímica.

A perspectiva interdisciplinar de biologia e química da intervenção pedagógica foi fundamental para a comprovação das hipóteses iniciais, contribuindo para a articulação de saberes científicos, escolares e populares. Durante a intervenção pedagógica foi possível perceber por alguns conteúdos programáticos de biologia e de química (tabela 4) quando abordados separadamente nas respectivas disciplinas isoladas, talvez não tivessem o efeito sinérgico evidenciado na intervenção interdisciplinar, enfatizando o caráter disciplinar de cada uma área, mas com possibilidades de diálogos numa intervenção pedagógica.

| Conteúdos de Química | Conteúdos de Biologia |
|--|---|
| Cinética química e termodinâmica de reação | Processo anaeróbico e Processo aeróbico |
| Fatores que influenciam a cinética química | Microrganismos, fungos, as leveduras |
| Produção de etanol | Respiração celular e fermentação |
| Processo químico e processo biológico | Etapas da respiração celular e da fermentação |

Tabela 4: Lista de alguns conteúdos programáticos de biologia e de química de ensino médio, promovidos na SEI, de forma interdisciplinar.

Fazenda (2002, p. 180) ressalta que a interdisciplinaridade é [...] *uma relação de reciprocidade, de mutualidade, que pressupõe uma atitude diferente a ser assumida frente ao problema de conhecimento, ou seja, é a substituição de uma concepção fragmentária para unitária do ser humano*. Ainda, segundo Fazenda (1979, p. 99), [...] *a necessidade de se explorar com mais cuidado a questão da metodologia do trabalho interdisciplinar, bem como a maneira mais adequada de proceder à formação do pessoal que efetiva a interdisciplinaridade*. Vale citar que as áreas de ciências biológicas e ciências químicas compõem a área do conhecimento das ciências naturais, o que justificar aproximação interdisciplinar, evidenciando uma forte interligação ao longo dessa intervenção pedagógica.

Esse fato pode ser evidenciado a partir dos conteúdos programáticos identificados no decorrer das atividades desenvolvidas.

Interdisciplinaridade é o processo que envolve a integração e o engajamento de educadores, num trabalho conjunto, de interação das disciplinas do currículo escolar entre si e com a realidade, de modo a superar a fragmentação do ensino, objetivando a formação integral dos alunos, a fim de que possam exercer criticamente a cidadania, mediante uma visão global de mundo e serem capazes de enfrentar os problemas complexos, amplos e globais da realidade atual (LÜCK, 1994, p. 64).

Os aspectos ensino por investigação

A análise das potencialidades para o ensino por investigação na intervenção pedagógica foram pesquisadas com base em Gil-Perez e Valdés-Castro (1996), correlacionando momentos do processo de ensino ao longo da prática com as respectivas categorias do ensino investigativo, conforme é apresentado na tabela 5.

| Categorias do ensino investigativo | Contexto da prática pedagógica |
|---|--|
| (a) apresentar situações problematizadoras abertas; | Quando os professores pesquisadores levantaram questionamentos sobre o processo de fermentação, instigando-os quanto a presença de microrganismos, presença de gases e quanto a necessidade de energia para ocorrer a fermentação. |
| (b) favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância; | Quando um aluno consegue relacionar a importância econômica da fermentação na produção de vinho, e outro aluno lembra que a tia usa a fermentação da banana para fazer vinagre que coloca na salada. |
| (c) potencializar as análises qualitativas, propiciando a formulação de questões; | Quando os estudantes questionaram se fermentação pode interferir no efeito estufa. |
| (d) considerar a elaboração e testes de hipóteses como uma das etapas da investigação; | Quando os estudantes utilizaram o texto modificado de Pasteur para levantarem hipóteses sobre o processo de fermentação. |
| (e) considerar a análise dos resultados com base nos conhecimentos disponíveis; | Quando questionado sobre o envolvimento de energia no processo de fermentação, uma aluna respondeu que a mudança de temperatura causa que o calor é energia e precisa da mudança de temperatura. |
| (f) desenvolver o trabalho acompanhado por memórias científicas; e | Quando uma aluna faz menção ao experimento do pescoço de cisne de Pasteur.. |
| (g) ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico, por meio de grupos de trabalho, propiciando interação entre si. | Quando os estudantes comparam seus reatores Aluna: Oh! Nosso reator tá criando bolhas. Aluno: A temperatura do nosso reator não muda. |

Tabela 5: Análise das potencialidades pedagógicas da sequência de ensino investigativo, com base nas categorias descritas por Gil-Perez e Valdés-Castro (1996).

Por exemplo, a apresentação de situações problematizadoras correlacionou-se com o momento em que os professores levantaram questionamentos sobre o processo de fermentação, promovendo investigações quanto a presença de microrganismos, presença de gases e a necessidade de energia para ocorrer a reação de fermentação. O caráter investigativo promoveu não somente os saberes escolares, mas, também, a ruptura da cultura disciplinar normalmente presente nos espaços escolares do ensino de ciências da natureza no âmbito da educação básica. Ao planejar a prática pedagógica, buscamos estar na fronteira do conhecimento como postula Bachelard (2000, p. 168), a fim de promover diálogos entre diferentes saberes e derrubar obstáculos amontoados pela vida cotidiana, propiciando rupturas com o senso comum.

Em termos metodológico, a sequência de ensino por investigação mostrou que o planejamento é um fator importante para o sucesso da intervenção pedagógica. Os ensaios experimentais executados durante a intervenção pedagógica induziram os estudantes de ensino médio a encontrarem as respostas para as hipóteses pronunciadas. Entretanto, o encaminhamento da prática pedagógica, embora sério, foi prazeroso, mostrando que aprender ciências pode e deve ser prazeroso, permitindo que o professor atuasse como mediador, dando espaço para o protagonismo discente. A pesquisa sobre a fermentação alcoólica pelos estudantes dinamizou o processo de ensino-aprendizagem, abrangendo aspectos sociocientíficos, socioculturais, socioambientais e socioeconômicos.

Considerações Finais

A partir da temática sociocientífica de produção de álcool a partir da fermentação biológica de glicose, foi possível criar uma intervenção pedagógica de biologia e química, articulando três perspectivas metodológicas de ensino, isto é, a abordagem temática freireana (ATF), os três momentos pedagógicos (3MP) e o ensino de ciências por investigação (ENCI). Assim, foi possível nos aproximar da perspectiva discutida por Solino e Gehlen (2014), que investigaram as articulações epistemológicas, pedagógicas e possíveis complementaridades entre as propostas de ensino, com a intenção de contribuir para o processo de ensino e aprendizagem de ciências. Os conteúdos programáticos de biologia e química foram abordados, articulando saberes escolares, científicos e populares.

No que diz respeito a sequência de ensino investigativo (SEI), o planejamento e a execução dos momentos pedagógicos na intervenção pedagógica com características investigativas, tais como apresentou situações problematizadoras abertas, favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância, potencializou as análises qualitativas, entre outras. Com isso, foi possível perpassar pelas etapas da construção de um conhecimento científico, i.e., planejamento da experiência, experimentação, coleta e análise de dados, com a comprovação das hipóteses, cuja síntese do processo pedagógico qualifica a intervenção como sendo de ensino interdisciplinar investigativo.

A perspectiva interdisciplinar de biologia e química da intervenção pedagógica foi alcançada a partir da construção de hipóteses a partir de uma problematização inicial, contribuindo para a articulação de saberes científicos, escolares e populares. Durante a intervenção pedagógica foi possível perpassar por alguns conteúdos programáticos de biologia e de química, de forma interdisciplinar, produzindo interação entre essas disciplinas do currículo escolar e com o contexto social, de modo a superar a fragmentação do ensino, objetivando a formação integral dos estudantes, contribuindo para exercer criticamente a cidadania, mediante uma visão global de mundo e serem capazes de enfrentar os problemas complexos, amplos e globais da realidade atual, em concordância com a perspectiva interdisciplinar de Lück (1994).

Referências

BACHELARD, Gaston. **A epistemologia**. Lisboa: Edições 70, 2000.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica**. Ministério da Educação. Brasil. Brasília – DF: Ministério da Educação, 2013.

BRASIL. **Medida Provisória Nº 746**, de 22 de setembro de 2016. Institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral, altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, e a Lei nº 11.494 de 20 de junho 2007, que regulamenta o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação, e dá outras providências. 2016.

- CAPRA, Fritjof. **A Teia da Vida**. Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. 9. ed. São Paulo: Cultrix. 2004.
- DELIZOICOV, Demétrio. ANGOTTI, José André. PERNAMBUCO, Martha Maria. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**, 4 ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- FAZENDA, Ivani Catarina Arantes (Org.). **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia?** São Paulo: Loyola, 1979.
- FAZENDA, Ivani Catarina Arantes (Org.). **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa**. 10. ed. Campinas: Papirus, 2002
- FAZENDA, Ivani Catarina Arantes (Org.). **Interdisciplinaridade: um projeto em parceria**. São Paulo: Loyola, Coleção Educar. vol. 13. 1991.
- GIL-PEREZ, Daniel. VALDÉS-CASTRO, P. La orientación de las practicas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. **Enseñanza de las ciencias**, 14 (2), 1996.
- GIL, Antonio Carlos. **Estudo de Caso**. São Paulo: Atlas, 2009. 148 p.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Sexta edição. São Paulo: Atlas, 2014. 200 p.
- GIORDAN, Marcelo. GUIMARÃES, Yara Araújo Ferreira. MASSI, Luciana. Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências. Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências. **Anais do VIII Enpec**. Campinas, 2011.
- LÜCK, Heloisa. **Pedagogia interdisciplinar: fundamentos teórico-metodológicos**. 8. ed. Petrópolis: Vozes. 1994.
- NELSON, David L. COX, Michael M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Editora Artmed. 2014. 1328 p.
- OLIVEIRA, E. R. Desenvolvimento de bebida alcoólica fermentada à base de jambolão e caldo de cana-de-açúcar. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Agronomia. Universidade Federal de Goiás. 2015. 146 p.
- REIS, Pedro Guilherme Rochas dos. GALVÃO, Cecília. Os professores de Ciências Naturais e a discussão de controvérsias sociocientíficas: dois casos distintos. **Revista eletrônica de Enseñanza de las Ciênci**a. v. 7, n. 3. 2008.
- SADLER, Troy D. (Editor). **Socio-scientific Issues in the Classroom**. Teaching, Learning and Research. Florida – USA: Springer. 2011. p. 375.
- SOLINO, Ana Paula. GEHLEN, Simoni Tormöhlen. Abordagem temática freireana e o ensino de ciências por investigação: possíveis relações epistemológicas e pedagógicas. **Investigações em Ensino de Ciências**. V19(1), pp. 141-162, 2014.
- TERRA, Vilma Reis. LEITE, Sidnei Quezada Meireles. Educação Química mediada por sequência de ensino investigativo de produção de pão. In: ANAIS DO XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS, 2016. Florianópolis. **Anais eletrônicos XVIII ENEQ. 2016**.