

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Faculdade de Educação

Programa de Pós-graduação em Educação

Amanda Souza Barcelos

**INTEGRAÇÃO DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS COM O
ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM: Um Estudo de Caso sobre as
Ações Discursivas de uma Professora de Química**

Belo Horizonte

2024

Amanda Souza Barcelos

**INTEGRAÇÃO DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS COM O
ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM: Um Estudo de Caso sobre as
Ações Discursivas de uma Professora de Química**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Educação.

Orientadora: Stefannie de Sá Ibraim

Coorientadora: Roberta Guimarães Côrrea

Belo Horizonte

2024

B242i
T

Barcelos, Amanda Souza, 1992-

Integração da aprendizagem baseada em problemas com o ensino fundamentado em modelagem [manuscrito] : um estudo de caso sobre as ações discursivas de uma professora de química / Amanda Souza Barcelos. -- Belo Horizonte, 2024.

130 f. : enc, il., color.

Dissertação -- (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

Orientadora: Stefannie de Sá Ibraim.

Coorientadora: Roberta Guimarães Côrrea.

Bibliografia: f. 79-85.

Anexos: f. 86-130.

1. Educação -- Teses. 2. Química -- Estudo e ensino (Ensino médio) -- Teses. 3. Química -- Métodos de ensino -- Teses. 4. Aprendizagem baseada em problemas -- Teses. 5. Química -- Modelos -- Estudo e ensino (Ensino médio) -- Teses.

I. Título. II. Ibraim, Stefannie de Sá, 1990-. III. Côrrea, Roberta Guimarães, 1980-. IV. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

CDD- 540.7

Catálogo da fonte: Biblioteca da FaE/UFGM (Setor de referência)

Bibliotecário: Ivanir Fernandes Leandro CRB: MG-002576/O



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO: CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL

ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DA ALUNA

AMANDA SOUZA BARCELOS

Realizou-se, no dia 29 de fevereiro de 2024, às 14:00 horas, na sala de Teleconferências da Faculdade de Educação, da Universidade Federal de Minas Gerais, a 1546ª defesa de dissertação, intitulada *Integração da aprendizagem baseada em problemas com o ensino fundamentado em modelagem: Um estudo de caso sobre as ações discursivas de uma professora de Química*, apresentada por AMANDA SOUZA BARCELOS, número de registro 2020651186, graduada no curso de QUIMICA/NOTURNO, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Stefannie de Sá Ibraim - Orientador (UFMG), Prof(a). Roberta Guimarães Corrêa – Coorientador (UFMG), Prof(a). Leandro Antonio de Oliveira (Unicamp), Prof(a). Monique Aline Ribeiro dos Santos (UFMG).

A comissão considerou a dissertação: Aprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 29 de fevereiro de 2024.

Prof(a). Stefannie de Sá Ibraim (Doutora)

Prof(a). Roberta Guimarães Corrêa (Doutora)

Prof(a). Leandro Antonio de Oliveira (Doutor)

Prof(a). Monique Aline Ribeiro dos Santos (Doutora)



Documento assinado eletronicamente por **Monique Aline Ribeiro dos Santos, Professora do Magistério Superior**, em 01/03/2024, às 17:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Antonio de Oliveira, Usuário Externo**, em 01/03/2024, às 19:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Stefannie de Sa Ibraim, Professora do Magistério Superior**, em 04/03/2024, às 06:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta Guimaraes Correa, Professora do Magistério Superior**, em 06/03/2024, às 06:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3073236** e o código CRC **42062378**.

Referência: Processo nº 23072.212382/2024-50

SEI nº 3073236

Criado por [vivianet](#), versão 2 por [vivianet](#) em 01/03/2024 16:10:35.

Ao meu esposo Paulo, por tornar este
sonho possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde para lutar todas as batalhas desta trajetória e pelos inúmeros anjos que Ele coloca em meu caminho.

Ao meu esposo, Paulo, que também foi meu namorado e noivo ao longo dessa trajetória, por ser minha rocha quando preciso de apoio e por ser meu amparo quando preciso de um ombro, por ter estado ao meu lado em todos os momentos sem nunca me deixar desistir e por ser sempre mais do que eu sonhei.

Aos meus pais, Guilherme e Vânia, por serem os meus maiores exemplos, por serem os responsáveis pela mulher que eu me tornei, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem, me dando amor incondicional.

Aos meus irmãos, Rafael e Gabriel, por entenderem todas as minhas ausências, por cuidarem de mim com tanto amor e por sempre torcerem tanto por minhas vitórias.

À minha cunhada, Fabiana, por ser mais que uma cunhada, sendo amiga e irmã quando preciso, e por ter me ajudado a realizar sonhos que eu nem sabia que tinha.

À minha sogra, dona Sônia, por ter me recebido em sua família com tanto amor e cuidado.

À minha família e à família do meu esposo, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e compartilhando comigo momentos de alegria.

Aos meus amigos, por serem meu refúgio nos momentos difíceis, me favorecendo os meus risos mais sinceros. Em especial, ao Alison, por ser sempre o melhor amigo que eu poderia ter, me dando amor e sendo escuta; à Lúcia e ao João, por cuidarem de mim com tanto zelo e pelas orações, e à Bia, que às vezes é como uma segunda mãe, por todo o carinho, cuidado e por desejar mais para mim do que eu mesma.

À minha orientadora, Professora Dra. Stefannie de Sá Ibraim, por ter aceitado participar dessa aventura, sendo fundamental para que esse trabalho fosse concluído.

À minha coorientadora, Professora Dra. Roberta Guimarães Côrrea, por todos os ensinamentos, pelo tempo dedicado, pelo coração lindo, pelo companheirismo e por trazer leveza para os momentos mais turbulentos desta trajetória, acrescentando às reuniões de orientação momentos de desabafo e risadas, algo fundamental para a conclusão do trabalho.

À Professora Dra. Rosária Justi, por ter se doado tanto, por fazer mais por mim do que eu merecia, por mais uma vez ser fundamental para que eu conclua outra etapa da vida, por ser inspiração e um modelo de profissional e, acima de tudo, humano.

A todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica, especialmente aos do Programa de Pós-graduação em Educação, por suas contribuições que possibilitaram minha chegada até aqui.

À professora e aos estudantes que aceitaram participar desta pesquisa, bem como à escola que autorizou as gravações, pela disponibilidade e engajamento, fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Aos Professores Dr. Leandro Antonio de Oliveira e Dra. Monique Aline Ribeiro dos Santos, membros titulares da Banca de Avaliação deste trabalho, pelo tempo disponibilizado, pela leitura cuidadosa e por todas as contribuições.

Aos Professores Dra. Poliana Flávia Maia e Dr. Fernando César Silva, membros suplentes da Banca de Avaliação deste trabalho, por aceitarem o convite e por possíveis contribuições.

A todos os meus companheiros do Colégio Arnaldo, pelos momentos compartilhados e pelas memórias que construímos juntos.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro concedido não apenas a mim, mas a tantos outros, fundamental para que muitos concluam esta etapa, permitindo que a pesquisa se desenvolva e com ela o país.

Meu muito obrigada a todos por enriquecerem minha vida!

RESUMO

Nesta dissertação, desenvolvemos uma pesquisa qualitativa do tipo estudo de caso único, que investigou a integração da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e do Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) em um contexto de ensino regular de Ciências. Os objetivos foram: identificar as ações manifestadas por um professor ao aplicar uma sequência didática (SD) que integra ABP e EFM; e analisar como essas ações podem ter afetado o processo vivenciado pelos estudantes. Este estudo foi motivado pela constatação da crescente falta de interesse dos estudantes nas escolas, tornando-se necessário propor abordagens de ensino alternativas à tradicional. Escolhemos as abordagens ABP e EFM em função de ambas serem construtivistas e de existir coerência em suas integrações. Como metodologia, foi realizada a gravação do áudio da aplicação de uma SD pré-existente, elaborada na perspectiva da integração da ABP com o EFM por um Grupo de Pesquisa, sem a participação da autora desta dissertação. No entanto, as edições necessárias para atender ao contexto deste estudo foram realizadas neste trabalho. O tema da SD é chuva ácida. A professora que a aplicou possuía pouca vivência com ABP e nenhuma com EFM, enquanto os estudantes que participaram do estudo nunca haviam vivenciado qualquer uma delas. Os dados coletados foram transcritos e analisados, com foco nas ações realizadas pela professora de Química. Para identificar as ações realizadas pela professora, construímos uma lista de vinte ações que podem ser realizadas por um professor que conduz aulas baseadas na integração de ABP e EFM em um contexto regular de Ensino Médio. Nossos principais resultados demonstraram que, apesar de todas as ações terem sido manifestadas pela professora ao longo da aplicação da SD, a falta de experiência com essas abordagens tanto dos estudantes quanto da professora pareceu favorecer a ocorrência das ações que estavam mais relacionadas à organização e ao engajamento dos estudantes. Além disso, as principais influências foram motivar e orientar os estudantes na vivência de processos científicos durante a participação nas atividades da SD. No entanto, houve uma lacuna na promoção da compreensão de aspectos metacognitivos como, por exemplo, os relacionados aos significados e importância de modelos e modelagem na produção de conhecimento. De modo geral, os resultados destacaram a importância do papel do professor na condução de uma SD que integra ABP e EFM. Além disso, reconhecemos que, apesar do impacto limitado desses resultados, por resultarem da análise do papel de uma professora em início de carreira, estudos futuros que investiguem práticas de ensino de outros professores podem ampliar as discussões realizadas. Finalmente, entendemos que o trabalho contribui para destacar a relevância de se investir na formação de professores, assim como para fornecer situações práticas que possam ser discutidas nesse processo visando possíveis atuações futuras dos professores. Ele também contribui para o avanço da pesquisa na área, especialmente no que diz respeito à utilização de SD baseadas na integração entre ABP e EFM na Educação Básica e ao papel do professor nesse processo.

Palavras-chave: Aprendizagem baseada em problemas; ensino fundamentado em modelagem; papel do professor; ensino de Química; ensino de Ciências.

ABSTRACT

In this dissertation, we conducted a qualitative research study of a single exploratory case, investigating the integration of Problem-Based Learning (PBL) and Modeling-Based Teaching (MBT) in the context of ordinary Science Education in high school. The aims were: to identify the actions taken by a Science teacher when implementing a didactic sequence integrating PBL and MBT; and to analyze how these actions affected the students' learning process. The study was motivated by the growing lack of interest among students in traditional schooling, which requires alternative approaches. PBL and MBT were chosen due to their constructivist nature and coherence in integration. Methodologically, audio recordings of a pre-existing didactic sequence developed by a Research Group, but modified for this study's context, were analyzed. The chosen topic was acid rain. The teacher had little experience with PBL and none with MBT, while the students had no prior exposure to either. Data was transcribed and analyzed, focusing on the Chemistry teacher's actions. To identify the actions performed by the teacher, we built a list of twenty actions that may be carried out by a teacher when conducting classes based on the integrations of PBL and MBT in a regular high school context. Despite the teacher manifesting all actions related to PBL and MBT, her lack of experience seemed to favor those related to students' engagement and organization of the classes. Results also indicated the teacher mainly influenced in motivating and guiding students through scientific processes, with a gap identified in promoting metacognitive understanding, particularly regarding the meaning and significance of models and modeling in knowledge construction. Overall, the study underscored the teacher's pivotal role in implementing PBL and MBT. While acknowledging limitations due to the teacher's early career stage, future research involving multiple teachers could broaden discussions. The study emphasizes the importance of teacher education and may provide practical situations to be discussed aiming to enhance future teaching practices. It also contributes to advancing research, particularly regarding the integration of PBL and MBT in basic education and the teacher's role therein.

Key-words: Problem-based Learning; Modeling-based Teaching; teacher's role; chemistry education; science education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Modelo de Modelagem v2.	32
Figura 2 - Representação da integração da ABP com o EFM: perspectiva teórica.	37
Figura 3 - Representação da perspectiva metodológica da integração ABP-EFM.	43
Figura 4 - Esquema da divisão da sequência didática em momentos.	45
Figura 5 - Gráfico da frequência total de manifestação de cada uma das ações da professora nas atividades.	57
Figura 6 - Modelo construído pelos estudantes na Atividade 10.	64
Figura 7 - Gráfico da frequência de manifestação de cada uma das ações da professora no Momento 1.	66
Figura 8 - Gráfico da frequência de manifestação de cada uma das ações da professora no Momento 2.	70
Figura 9 - Gráfico da frequência de manifestação de cada uma das ações da professora no momento 3.	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ações de professores de Ensino Médio durante o desenvolvimento de uma sequência didática que integra ABP e EFM .	54
Quadro 2 - Exemplo de influência da Ação 16.	58
Quadro 3 - Exemplo de influência da Ação 1.	59
Quadro 4 - Exemplo de influência da Ação 20.	60
Quadro 5 - Exemplo de influência da Ação 6.	61
Quadro 6 - Exemplo de influência da Ação 3.	62
Quadro 7 - Exemplo de influência da Ação 19.	62
Quadro 8 - Exemplo de influência da Ação 18.	63
Quadro 9 - Exemplo de influência da Ação 8.	64
Quadro 10 - Exemplo de influência da Ação 17.	67
Quadro 11 - Exemplo de influência da Ação 11.	68
Quadro 12 - Exemplo de influência da Ação 12.	71
Quadro 13 - Exemplo de influência da Ação 13.	74

LISTA DE ABREVIATURAS

4C's	–	Criatividade, Criticidade, Colaboração e Comunicação
ABP	–	Aprendizagem Baseada em Problemas
DMM	–	Diagrama Modelo de Modelagem
ECFM	–	Educação Científica Fundamentada em Modelagem
EFM	–	Ensino Fundamentado em Modelagem
Escol	–	Educação, Sociologia e Coletividades Locais
LDB	–	Lei de Diretrizes e Bases
MBT	–	Modelling-based Teaching
PBL	–	Problem-based Learning
Pibid	–	Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência
SD	–	Sequência Didática

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Aprendizagem Baseada em Problemas	21
2.1.1	Breve Histórico da Aprendizagem Baseada em Problemas	23
2.1.2	Papel do Professor na Aprendizagem Baseada em Problemas	27
2.2	Ensino Fundamentado em Modelagem	30
2.2.1	Modelos e Modelagem na Ciência	30
2.2.2	Modelagem no Ensino de Ciências	33
2.2.3	Papel do Professor no Ensino Fundamentado em Modelagem	34
2.3	Integração entre Aprendizagem Baseada em Problemas e Ensino Fundamentado em Modelagem	36
3	OBJETIVOS	41
4	METODOLOGIA	42
4.1	Sequência Didática	42
4.1.1	Aspectos Teóricos	42
4.1.2	Apresentação da Sequência Didática	44
4.2	Abordagem Metodológica	47
4.3	Contexto de Coleta de Dados	48
4.3.1	Sujeito de Pesquisa	48
4.3.2	Contexto de Desenvolvimento da Sequência Didática na Sala de Aula	49

4.4	Coleta de Dados	50
4.5	Análise de Dados	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.1	Sistema de Categorias.....	53
5.2	Ações Manifestadas na Aplicação da Sequência Didática.....	57
5.2.1	Momento 1: Análise, compreensão do caso, identificação do problema e de suas causas	66
5.2.2	Momento 2: Aprofundando o entendimento sobre o problema e suas causas	69
5.2.3	Momento 3: Análise de novas informações e resolução do problema	72
6	CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
	APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMPLETA.....	86

1 INTRODUÇÃO

O ensino básico brasileiro possui como uma de suas finalidades preparar os estudantes para a cidadania, proporcionando um aprendizado que lhes possibilite compreender os fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, desenvolver pensamentos críticos e autonomia intelectual, além de os formar eticamente, conforme aponta a Lei de Diretrizes e Bases (LDB) da Educação Nacional (Brasil, 1996). Nesse contexto, o ensino e aprendizagem de Ciências apresenta importância fundamental, uma vez que estudantes devidamente alfabetizados cientificamente desenvolvem habilidades que vão ao encontro das diretrizes da LDB. Isso porque a alfabetização científica pode (i) proporcionar uma compreensão básica dos termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais, uma compreensão sobre natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática, e um entendimento das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente (Sasseron; Carvalho, 2011); e (ii) “oferecer oportunidade para que os estudantes aprimorem e aperfeiçoem modos de pensar e de conceber ideias, aproximando-os dos modos científicos, além de possibilitar acesso a novas informações e contextos de observação e investigação” (Sasseron; Duschl, 2016, p. 53).

Considerando a grande importância do ensino e aprendizagem de Ciências, Millar (2003) apresenta preocupações quanto à má compreensão do currículo e sua relação com a desmotivação dos estudantes. Isto também é destacado por Pozo e Crespo (2009) quando afirmam que professores parecem estar cada vez mais incomodados com o desinteresse crescente de seus estudantes. Para eles, os estudantes estão perdendo o interesse nas Ciências por não perceberem sentido no conhecimento científico, uma vez que seu ensino não tem sido devidamente problematizado. As práticas escolares que incluem solução de problemas trazem situações que envolvem uma fraca generalização e resultados com pouca aplicabilidade para a realidade dos estudantes (Pozo; Crespo, 2009). Os autores apresentam que as principais consequências desse ensino descontextualizado são a adoção de atitudes inadequadas, muitas vezes relacionadas ao desinteresse, e à

desvalorização do conhecimento científico, que resulta em dificuldades conceituais e desempenhos insuficientes em avaliações.

Apesar de ser uma preocupação contemporânea, há tempos que o fracasso e o sucesso escolar são temas de pesquisas na área de Sociologia da Educação. Na década de 1980, o grupo de pesquisas chamado Equipe Escol (Sigla para Educação, Sociologia e Coletividades Locais), da Universidade de Paris VIII, coordenado por Bernard Charlot, criou a noção de “Relação com o Saber” que consiste no conjunto de relações que o sujeito estabelece com tudo que está relacionado ao aprender e ao saber. Nessa noção, a ideia de mobilização está relacionada ao engajamento do sujeito em uma atividade, sendo que existem diferenças entre (i) mobilização na escola ou para a escola, que se refere a como o estudante se dedica aos estudos; e (ii) mobilização em relação à escola, que se refere ao que leva o estudante à escola.

Segundo Charlot (2005), cada estudante apresenta uma diferente relação com o saber, sendo que alguns estudam apenas para passar para a série seguinte, não tendo como principal objetivo a apropriação de novos conhecimentos. Por isso, possivelmente, adotam uma postura que transparece desinteresse para o professor. Entretanto, a forma como o estudante se relaciona com o saber pode contribuir para seu sucesso ou fracasso escolar, uma vez que a aprendizagem frequentemente ocorre quando o estudante é mobilizado intelectualmente, ou seja, se sente engajado para realizar uma atividade intelectual, apresentando ao mesmo tempo o desejo de saber e o desejo de aprender.

Dessa maneira, a reflexão dos educadores sobre suas práticas pedagógicas e a busca por aulas cada vez mais mobilizadoras, que promovam o engajamento de estudantes, deve ser vista como fundamental, pois “é preciso que a situação de aprendizagem tenha sentido para ele, que possa produzir prazer, responder a um desejo” (Charlot, 2005, p. 54). A atribuição de sentidos mencionada por Charlot está relacionada ao valor que o aprendiz dá ao conhecimento aprendido e também à relação dele com o que já conhece. Nessa perspectiva, é necessário que o estudante conheça e reconheça a importância do conhecimento científico. Para isso, uma das possibilidades é buscar promover o que vem sendo denominado Ensino de Ciências autêntico.

Para Gilbert (2004), isso significa desenvolver um ensino que seja tão próximo quanto possível do modo como a própria Ciência acontece, proporcionando ao estudante a oportunidade de aprender sobre práticas científicas, vivenciando-as. Neste trabalho, entendemos práticas científicas na perspectiva defendida por Jiménez-Aleixandre e Crujeiras (2017), que caracterizam as práticas científicas como atividades essenciais que envolvem os estudantes em investigações científicas, atividades práticas e de modelagem e que favorecem a argumentação e interação social, proporcionando uma compreensão mais profunda do que os cientistas realizam e como o conhecimento científico é elaborado. Nessa ótica, Gilbert (2004) defende que é necessário (i) representar o modo como os conhecimentos científicos são validados de maneira mais próxima do real; (ii) destacar a importância da criatividade para o desenvolvimento da Ciência; (iii) fornecer explicações satisfatórias para os fenômenos, baseadas em conjuntos de ideias científicas básicas; e (iv) apresentar soluções tecnológicas para problemas sociais, ambientais ou de saúde.

À vista disso, é preciso encontrar abordagens de ensino que promovam o engajamento dos estudantes e que contribuam para o desenvolvimento do ensino de ciências autêntico. Uma possível proposta é a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), uma vez que esta abordagem traz diversos elementos que parecem estar relacionados com o engajamento dos estudantes e contribui para promover o aprendizado *de e sobre* Ciências. Dessa maneira, é possível que os estudantes aprendam sobre o conteúdo científico trabalhado e sobre as práticas científicas envolvidas no processo de resolução de problemas.

A ABP pode ser definida, segundo Savery (2006), como uma abordagem de ensino que tem como foco a participação ativa de estudantes na construção de seus conhecimentos a partir da resolução de um problema. Para isso, eles são estimulados a pesquisar, interagir com seus pares na busca de uma solução, e aplicar conhecimentos relacionados às teorias estudadas para apresentar respostas a um problema proposto.

Ao considerar a noção de “Relação com o Saber” de Charlot, a ABP possui várias características que parecem se relacionar com a mobilização dos estudantes para participar de atividades escolares. Isto porque suas atividades são centradas no estudante que, dessa forma, pode desenvolver competências de comunicação,

pensamento crítico e tomada de decisão, assim como a autoavaliação de sua participação (Sousa; Malheiro, 2019) e o envolvimento com problemas reais (BorochoVICIUS; Tortella, 2014; Conrado; Nunes-Neto; El-Hani, 2014). Todos esses aspectos resultam em uma atividade pedagógica potencialmente mais significativa para os estudantes. Além disso, na perspectiva do ensino de Ciências autêntico, as etapas para a resolução dos problemas (caracterizadas no próximo capítulo) podem favorecer o desenvolvimento da criatividade e da capacidade de apresentar soluções e explicações.

Outra proposta que pode contribuir para o engajamento do estudante e está diretamente relacionado ao ensino de Ciências autêntico é o Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM). Mas, para entender o significado de EFM, devemos primeiro entender o que são modelos.

Nas duas últimas décadas, filósofos da ciência e educadores têm utilizado a ideia de modelos como artefatos epistêmicos relacionados a objetos, eventos, processos e/ou ideias que podem ser criados para explicar, simplificar, elaborar previsões ou para contemplar alguma outra prática científica (Gilbert; Justi, 2016; Knuuttila, 2005). Sua importância está no seu papel de ser ponte entre a teoria e o fenômeno real (Gilbert, 2004). Por outro lado, a modelagem é definida por Justi (2015) como o processo de produção, validação e utilização de modelos. Por sua vez, o EFM é uma abordagem que possibilita aos estudantes o envolvimento em atividades de modelagem (Justi, 2015). Nessa abordagem de ensino, o conhecimento científico é produzido de maneira dinâmica, em um processo que envolve a criação, a expressão, o teste e a avaliação de modelos, não necessariamente nessa ordem ou apenas uma vez (Gilbert; Justi, 2016). Vivenciar esses processos é uma maneira de oportunizar aos estudantes a experiência do ensino de Ciências autêntico, uma vez que essas etapas se aproximam da maneira como o próprio conhecimento científico é construído e validado. Além disso, a percepção da relação entre as atividades de modelagem e o processo de construção da Ciência, pelos estudantes, pode contribuir para motivá-los a aprender.

Dessa maneira, ambas as abordagens são centradas nos estudantes, dando a eles autonomia e responsabilidade no processo educativo. Outras características que essas abordagens parecem compartilhar são a possível melhora na capacidade de

elaborar hipóteses, construir explicações e analisar e interpretar dados. Assim, integrá-las pode contribuir para ampliar o conjunto de conhecimentos desenvolvidos pelos estudantes, o que também pode resultar em torna-los cada vez mais alfabetizados cientificamente. Além disso, tal integração poderia contribuir para solucionar algumas limitações encontradas nessas abordagens. Por exemplo, a ABP possui como uma de suas limitações a dificuldade de garantir a participação efetiva de todos os estudantes. Isto poderia ser pelo menos amenizado por uma etapa de construção de um modelo no processo de resolução de problemas, uma vez que, como apresentado futuramente, tal processo demanda habilidades diferenciadas. Por outro lado, o EFM possui como uma de suas limitações a insegurança de alguns estudantes quando solicitados a elaborar um modelo pela primeira vez, o que poderia ser amenizado, quando tal atividade se dá em um contexto mais amplo de resolução de um problema complexo.

Além das características mencionadas que favorecem a associação das abordagens, é importante destacar que professores exercem um papel crucial em ambas. De uma maneira geral, na ABP, o professor deve: manter o engajamento e participação dos estudantes no processo de resolução de problemas; fazer perguntas que contribuam para desenvolver seus raciocínios, favorecendo resoluções mais coerentes; orientá-los quanto a possíveis temas que devem ser melhor investigados ou sugerir alterações caso as discussões se afastem do problema; e contribuir para o desenvolvimento de habilidades como autonomia, aprendizagem autodirigida e trabalho em grupo. Por outro lado, no EFM o professor precisa ser capaz de: contribuir para que os estudantes retomem suas concepções prévias para construir seus modelos mentais ou pesquisar informações adicionais; ajudá-los a perceber se as analogias utilizadas são coerentes; orientar na escolha do modo de representação; contribuir para o desenvolvimento de modelos que condizem com os objetivos da sua construção, favorecendo a interpretação de testes e a definição de limitações e abrangências do modelo; e ampliar o entendimento dos estudantes *de e sobre* Ciências.

Conforme apresentado anteriormente, o papel de professores na ABP e no EFM é essencial para o sucesso das abordagens. Nesse sentido, identificar as ações realizadas por professores ao utilizar tais abordagens e investigar seus impactos no

processo de resolução de problemas, constituem objetos relevantes de investigação, principalmente quando percebemos que há uma lacuna na literatura quanto ao papel do professor em aulas que integrem ABP e EFM no Ensino Médio. Sendo assim, a pesquisa proposta nesta dissertação tem como objetivos identificar as ações realizadas por um professor de Ciências no Ensino Médio ao aplicar uma sequência didática que integra ABP e EFM e analisar como essas ações podem ter afetado o processo de resolução de problemas vivenciado pelos estudantes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados elementos básicos da ABP e do EFM, além de definições de alguns termos relacionados ao planejamento de sequências didáticas. Em seguida, justificamos a elaboração de uma sequência didática construída intencionalmente levando-se em conta as abordagens de ensino ABP e EFM. Um dos nossos focos nesse contexto é discutir, a partir da literatura, sugestões sobre como professores podem conduzir processos pautados nessas duas perspectivas.

2.1 Aprendizagem Baseada em Problemas

Aprendizagem baseada em problemas (ABP), ou *Problem-based Learning* (PBL), é uma abordagem curricular e de ensino que tem sido utilizada em diferentes contextos educacionais, há mais de 30 anos. Centrada nos estudantes (Savery, 2006), a ABP possibilita adquirir conhecimentos a partir do envolvimento deles na resolução de problemas (Schmidt; Rotgans; Yew, 2019) e favorece a condução de pesquisas, articulação entre teoria, prática e aplicação de conhecimentos e habilidades na resolução de problemas (Savery, 2015). Nela, a aprendizagem se dá por um processo coletivo de construção compartilhada de conhecimentos em que as concepções individuais de cada estudante vão sendo reconstruídas por uma concepção coletiva que envolve discussão, comunicação e desenvolvimento de resultados ou de criação de artefatos (Hung; Moallem; Dabbagh, 2019) – processo denominado Ciclo da ABP.

O Ciclo da ABP contempla um conjunto de atividades realizadas pelos estudantes, individualmente e em grupos, e que é orientado por um sujeito mais experiente, comumente denominado *tutor*. Hmelo-Silver (2004) apresenta as etapas do Ciclo da ABP, que incluem: apresentação de um problema; identificação de fatos importantes e análise do problema; elaboração de hipóteses iniciais de resolução do problema; definição de tópicos de estudo pelos estudantes; pesquisa e estudos individuais (estudo autodirigido); análise do problema a partir de novos conhecimentos, elaboração de novas hipóteses de resolução; reflexão sobre os conhecimentos e

habilidades mobilizados durante o processo. Caso o processo de resolução não tenha sido satisfatório, pode-se refazer algumas etapas ou até mesmo o ciclo inteiro.

Para favorecer o entendimento das principais atividades realizadas em cada etapa do Ciclo, Lopes, Silva Filho e Alves (2019) propõem adaptações à proposta original apresentada por Hmelo-Silver (2004). Tais autores destacam que o processo de aprendizagem se dá a partir do conhecimento prévio dos estudantes, demandado quando eles começam a analisar e discutir o problema proposto. As discussões nos grupos e com o *tutor* favorecem a construção coletiva das ideias e a identificação de fragilidades conceituais que serão foco de pesquisas e estudos individuais. Os resultados de tais pesquisas e estudos poderão favorecer o compartilhamento e discussões coletivas visando a avaliação dos conhecimentos e das propostas de solução do problema em questão.

As atividades realizadas pelos estudantes durante o Ciclo da ABP visam favorecer o desenvolvimento de habilidades relacionadas à resolução de problemas e à aprendizagem autodirigida, que contribuem diretamente para o desenvolvimento da aprendizagem autônoma (Raimondi; Razzoto, 2020; Hmelo-Silver, 2004). Nesse sentido, Lopes, Silva Filho e Alves (2019) ressaltam o potencial da ABP na apreensão de estratégias de aprendizagem mais flexíveis e construção de conhecimentos significativos pelos estudantes. Segundo Schmidt, Rotgans e Yew (2019), a aprendizagem tende a ocorrer de maneira cumulativa no decorrer das etapas sequenciais de estudo autodirigido e de discussões em grupo, pois ambas contribuem para a aquisição de conhecimentos. Finalmente, Conrado, Nunes-Neto e El-Hani (2014) destacam o potencial da ABP para “[...] a formação de cidadãos responsáveis no âmbito social e ambiental, ao fornecer um ambiente amplo de aprendizagem e ao promover o desenvolvimento de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais” (p. 77).

Para que a apropriação de conhecimentos específicos, assim como a mobilização e o desenvolvimento de habilidades sejam profícuos, Savery (2015) ressalta que tanto a escolha do problema que inicia e guia o Ciclo da ABP quanto a orientação de um *tutor* são fundamentais para o sucesso da abordagem no processo de ensino e aprendizagem. Além disso, em um trabalho posterior, o mesmo autor destaca que o processo de resolução precisa ser acompanhado de uma etapa de

sistematização, de fechamento, que discuta os conceitos e princípios desenvolvidos ao longo do processo. Tal etapa, que deve ser conduzida pelo professor, sinaliza a importância de que o processo de resolução, conduzido pelos estudantes em momentos de trabalho individual e em grupo, seja acompanhado de perto pelo professor (Savery, 2019).

2.1.1 Breve Histórico da Aprendizagem Baseada em Problemas

A primeira instituição a utilizar a ABP foi a Universidade de McMaster, no Canadá, para uma turma de 20 estudantes de um curso de Medicina em 1969 (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019). Na época, a educação médica era alvo de críticas, sendo considerada ineficaz e desumana devido ao exaustivo programa de aulas das ciências básicas, que possuía carga horária excessiva de conteúdos teóricos e de aulas expositivas (Boud; Feletti, 1997). Além disso, os campos das ciências básicas e da medicina estavam passando por rápidas mudanças que impactaram tanto a teoria quanto a prática (Savery, 2006). Em 1967, o então reitor da Universidade de McMaster, John Evans, criou um Comitê de Educação com quatro membros (Bill Spaulding, Mostarda de Fraser, Jim Anderson, e Bill Walsh) para elaborar um novo programa para a formação de médicos. Tal programa modificou completamente o modo como a educação médica vinha ocorrendo na instituição, uma vez que os estudantes passaram a ser divididos em grupos para resolver problemas biomédicos e clínicos. Apesar de as aulas expositivas não estarem proibidas, a principal função dos professores passou a ser a de orientação (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019).

Howard Barrows, “ao contrário do que às vezes é citado, não inventou a ABP” (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019, p. 6). Ele chegou à Universidade de McMaster em 1968, quando o programa ainda não havia sido bem estruturado e orientações sobre como operacionalizá-lo não estavam bem desenvolvidas, uma vez que poucas diretrizes tinham sido publicadas, resultando em muitos profissionais estarem confusos sobre como implementar a ABP. Sua principal contribuição foi a ideia de simular pacientes, assim como a criação da denominação ABP para a

abordagem, que foi divulgada em uma publicação em 1974 (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019).

Antes disso, em 1972, Evans deixou a reitoria. Uma nova equipe de médicos assumiu a gerência da Universidade de McMaster, entre eles Vic Neufeld e Barrows que começaram a modificar a abordagem que havia sido introduzida originalmente pelos cinco fundadores. Em 1977, um novo currículo foi criado (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019), focando em identificar e solucionar problemas de saúde por meio do treinamento de habilidades clínicas e acabando com a natureza biomédica da primeira versão do currículo (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019). Além disso, de acordo com Barrows e Kelson (1995), a abordagem utilizada naquele currículo tinha o objetivo de contribuir para o estudante

(a) construir uma base de conhecimento extensa e flexível; (b) desenvolver habilidades efetivas de resolução de problemas; (c) desenvolver habilidades de aprendizado autodirigido e duradouro; (d) tornar-se proativo e (e) tornar-se intrinsecamente motivado para a aprendizagem (*apud* Hmelo-Silver, 2004, p. 240).

Na sequência, ao longo dos anos 1980 e 1990, outras universidades da Europa e da América do Norte adotaram a ABP em seus programas médicos (Savery, 2006). Isto impulsionou pesquisas que visavam analisar se os estudantes submetidos à ABP eram tão bem preparados quanto os estudantes submetidos a abordagens tradicionais. Tais pesquisas concluíram que, apesar de todos os estudantes apresentarem desempenhos equivalentes nas avaliações, os que estudaram pela ABP desenvolveram melhores habilidades para resolver problemas clínicos (Savery, 2006).

A expansão da ABP continuou por campos tão diversos quanto Direito, Engenharia, Psicologia e Artes (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019), além de ter chegado, inclusive, no ensino básico, contexto no qual a ABP tem sido usada em contextos de implementação de reformas curriculares (Grant; Tamim, 2019). Entretanto, poucos são os estudos realizados neste nível de ensino. Assim, considerando as potencialidades da ABP no favorecimento de uma formação mais ampla dos estudantes, emerge a necessidade de que mais estudos se dediquem a caracterizá-la de forma mais clara nesse contexto e a criar instruções mais detalhadas

sobre como implementá-la (Grant; Tamim, 2019). Morey, Silva, Marangon e Miranda (2021) defendem que o potencial da ABP na Educação Básica depende de adaptações que considerem o contexto dos estudantes, condições da escola e o currículo vigente.

No Brasil, vem crescendo o número de trabalhos que utilizam a ABP no contexto do ensino de Ciências nos últimos anos, conforme observado por Rosa e Leão (2019) em um levantamento da produção científica sobre o tema nas atas das onze edições do ENPEC (realizadas entre 1997 e 2017). Entre os 17 trabalhos encontrados por eles, a maior parte se deu no contexto de Ensino Médio, apesar de terem sido identificados trabalhos com estudantes do Ensino Fundamental, Ensino Superior e com professores da área. Os autores concluíram que a ABP se mostrou uma metodologia eficaz em todos os níveis de ensino, favorecendo o ensino de Ciências em termos de despertar o interesse dos estudantes, além de contribuir para que o estudo de conceitos científicos seja mais significativo para eles.

Outros dois estudos de revisão de literatura foram realizados por Dias e Sasaki (2023) e Souza *et al.* (2021) que buscaram dissertações e teses indexadas no banco da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que explorassem a abordagem metodológica ABP. Dias e Sasaki (2023) limitaram sua busca a trabalhos publicados entre 2012 e 2021 e que estivessem relacionados aos indicadores das habilidades 4C's (Criatividade, Críticidade, Colaboração e Comunicação). Eles identificaram quatro trabalhos, sendo três teses e uma dissertação. Dois deles foram conduzidos no contexto do Ensino Superior, um no Ensino Fundamental e um tinha como público-alvo pessoas com deficiência visual.

Por sua vez, Souza *et al.* (2021) investigaram trabalhos que abordavam o uso da ABP na Educação Básica entre 2005 e 2018. Dos dez trabalhos encontrados, oito eram dissertações e apenas dois eram teses. Além disso, quatro envolveram os docentes e os discentes como sujeitos da pesquisa, outros quatro apenas os discentes e os dois restantes focaram exclusivamente nos docentes. A revisão evidenciou que a ABP tem a possibilidade de ser adotada nas escolas de Ensino Médio, apresentando vantagens significativas, tais como o estímulo à motivação dos estudantes, o desenvolvimento da autonomia e responsabilidade no processo de aprendizagem, a promoção do trabalho em equipe e o entendimento da aplicabilidade

dos conteúdos no cotidiano. Entretanto, foram identificadas desvantagens, incluindo a resistência tanto de estudantes quanto de professores a esse novo método, a necessidade de ampliação na carga horária das aulas e a dificuldade de manter os estudantes interessados até o fim em um processo que não envolve provas e trabalhos. Como conclusão, a pesquisa enfatizou a necessidade de capacitar os professores da Educação Básica para a efetiva implementação da ABP na sala de aula, assim como a importância de políticas públicas que subsidiem adaptações no currículo escolar e na estrutura das escolas.

Além de trabalhos de revisão da literatura, outros têm se dedicado a analisar a utilização da ABP em salas de aula de Ciências no Ensino Médio (Silva; Macedo, 2021, Almeida; Chiaro, 2023, Cezar-de-Mello; Rosa-Gonçalves, 2020, Silva *et al.*, 2020). Uma abordagem que foi considerada inovadora por integrar diferentes elementos para promover a avaliação formativa no Ensino Médio foi proposta por Silva *et al.* (2020). Entre os elementos integrados, os autores optaram pela utilização da abordagem de ensino ABP, resultando na melhora dos desempenhos acadêmicos e comportamentais dos estudantes participantes. Ainda no sentido de se alcançar resultados mais significativos, Cezar-de-Mello e Rosa-Gonçalves (2020) destacam o potencial da ABP em contextos que envolvem temas relacionados à ética e tecnologias e seus impactos sociais, com objetivo de formação cidadã. Silva e Macedo (2021), por sua vez, defendem que a ABP contribui para que se desenvolva a aprendizagem significativa; se identifique, valorize e articule os conhecimentos prévios dos estudantes; não se dissocie teoria e prática; se respeite a autonomia dos estudantes; se desenvolva o raciocínio crítico e as habilidades de comunicação dos estudantes. Finalmente, Almeida e Chiaro (2023) propõem a integração de ABP e argumentação, considerando que a ABP pode favorecer movimentos argumentativos dos estudantes que contribuem para uma organização discursiva privilegiada devido aos processos de autorreflexão.

2.1.2 Papel do Professor na Aprendizagem Baseada em Problemas

A ABP proporciona formas de o estudante desenvolver estratégias de aprendizagem e raciocínio não vinculadas à apresentação de conteúdo de modo expositivo (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019). Nela, as aulas são planejadas para que o estudante assuma papel central (Savery, 2006) e, por esse motivo, muitas vezes o professor é rotulado, erroneamente, como secundário ou passivo quando, na verdade, “o papel do professor é fundamental para que a ABP funcione bem” (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019, p. 299).

Para cumprir seu papel fundamental durante o processo de resolução de problemas, o professor deve assumir a função de orientador (Servant-Miklos; Norman; Schmidt, 2019), de sujeito mais experiente que dá orientações durante as etapas do Ciclo da ABP – sendo, por isso, chamado de *tutor* por Hmelo-Silver (2004).

Seja devido ao seu conhecimento sobre os conteúdos abordados no problema ou à sua experiência em guiar o processo de resolução, o papel de *tutor* tende a ser desempenhado pelo professor. Mas tal papel também pode ser desempenhado por pares (Yew; Yong, 2014).

No entanto, tal denominação pode gerar distorções sobre a relevância e impacto que esse sujeito desempenha, em função da polissemia e uso do termo tanto na literatura nacional quanto internacional (Lopes; Silva Filho; Alves, 2019). Nesse sentido, buscando dar destaque ao papel desempenhado pelo professor na ABP, os autores supracitados, o denominam *professor orientador*, enquanto Hmelo-Silver, Bridges e McKeown (2019) o denominam *facilitador*. Estas últimas autoras destacam que tal denominação busca evitar a falsa impressão de que o processo de mediação desempenhado por um sujeito mais experiente é secundário e pouco ativo. Ao contrário, o *facilitador* deve executar uma série de ações que visam promover o envolvimento dos estudantes para que todos estejam comprometidos com o processo de aprendizagem, tornando possível o desenvolvimento da autonomia, da aprendizagem autodirigida e de habilidades para trabalhar em grupo. Neste trabalho, considerando o contexto de ensino em que a pesquisa foi realizada, denominamos *professor* o sujeito que foi responsável pela condução da SD, por ele ser o docente

responsável pela disciplina Química. Como mencionado nos estudos anteriores, esse professor desempenha as funções de orientação, facilitação e mediação.

Algumas características podem contribuir para que o professor exerça sua função de orientação de maneira mais eficiente, em especial a experiência com aulas fundamentadas na ABP (Chan, 2016; Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019; Pecore, 2012), o que pode acontecer em processos formativos focados na aprendizagem sobre abordagens centradas nos estudantes (Gonçalves; Gomes, 2022). Outro fator importante é o domínio dos conteúdos relacionados ao problema em questão (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019; Zwiép, 2016), uma vez que isto faz com que o professor tenha um repertório mais flexível de estratégias para as diferentes etapas da ABP e favorece a identificação de momentos mais adequados para intervir durante as discussões, seja para incentivar o aprofundamento de hipóteses ou sugerir mudanças de rumos nas investigações. Conrado, Nunes-Neto e El-Hani (2014) discutem a natureza dessa orientação e mencionam a importância tanto do direcionamento e da restrição das ideias e argumentos como da identificação de momentos adequados para intervir e questionar.

Ao investigar as concepções de estudantes relacionadas às características que tornam um facilitador bom ou ruim, Yew e Yong (2014) utilizaram como referencial de análise o trabalho de Schmidt e Moust (1995), no qual foram definidos os construtos *congruência cognitiva*, *congruência social* e *uso de conhecimentos específicos* relacionados ao processo de facilitação. Congruência cognitiva se refere à habilidade de explicar conteúdos e ideias de modo que os estudantes os compreendam. Por outro lado, a congruência social é destacada como mais relevante por estar associada às características pessoais do professor que contribuem para seu relacionamento com os estudantes e para criar um ambiente de aprendizagem produtivo com estudantes engajados a partir de uma comunicação empática, respeitosa e aberta à troca de ideias. Yew e Yong (2014) destacam ainda que o uso do conhecimento específico está diretamente relacionado à congruência cognitiva.

Ao analisar as estratégias de um professor experiente em aulas baseadas na ABP para um grupo de estudantes de um curso de Medicina, Hmelo-Silver e Barrows (2006) as listaram da seguinte forma:

(i) fazer perguntas abertas e metacognitivas para os estudantes responderem;

- (ii) incentivar os estudantes a elaborar explicações;
- (iii) realizar e/ou solicitar a repetição de ideias já apresentadas, mas em outras palavras;
- (iv) contribuir para que os estudantes sintetizem os dados;
- (v) gerar ou avaliar hipóteses elaboradas pelos estudantes;
- (vi) favorecer que os estudantes sejam capazes de relacionar as hipóteses de soluções que eles elaboraram aos sintomas encontrados;
- (vii) verificar se as anotações do quadro (ou o local onde as ideias dos estudantes estão sendo registradas) refletem a discussão realizada por eles até o momento;
- (viii) realizar e/ou solicitar a remoção de informações desnecessárias ou já discutidas registradas no quadro;
- (ix) criar questões que contribuam para o aprendizado dos estudantes; e
- (x) incentivar a construção de representações visuais.

Mesmo para professores que conseguem realizar uma mediação mais efetiva na ABP, fazer isto ao longo de todo o processo pode representar um grande desafio. Isso porque, na ABP, é necessário que o professor: (i) interfira minimamente nas escolhas dos estudantes para a resolução do caso; (ii) os ajude a reconhecer o que entenderam; (iii) contribua para que eles sejam capazes de reunir suas ideias (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019); (iv) garanta a interação entre todos os participantes do grupo; (v) permita a independência de cada estudante; e (vi) faça perguntas que estimulem a todos (Chan, 2016). Além disso, é importante que o professor esteja atento ao nível de desenvolvimento dos estudantes pois, à medida que eles se tornam mais experientes, o processo de mediação deverá acontecer cada vez menos sob o controle do professor, uma vez que os próprios integrantes dos grupos poderão assumir essa função (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019). Nesses contextos, apesar de dar mais independência para o grupo, o professor continua monitorando os estudantes para ser capaz de tomar decisões sobre a melhor forma de mediar o processo da ABP a cada momento (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019).

Tais aspectos evidenciam como o papel do professor é complexo e envolve uma série de processos. Em suma, o professor deve ser capaz de intervir, orientando sutilmente sobre a busca de novas informações, sobre o aprofundamento de uma ideia ou sobre quando alterar os rumos das discussões. Outras vezes, ele precisa

resgatar os estudantes que estão se desviando da discussão ou estagnados em algum processo da ABP.

2.2 Ensino Fundamentado em Modelagem

O Ensino Fundamentado em Modelagem está relacionado às situações de ensino que possibilitam que o estudante vivencie os processos cognitivos associados à elaboração, avaliação e utilização de modelos (Justi, 2018). Dessa maneira, o domínio sobre essa abordagem requer compreensões claras e amplas sobre Modelos e Modelagem na Ciência e no ensino de Ciências.

2.2.1 Modelos e Modelagem na Ciência

Neste trabalho, utilizamos a ideia de modelos como “artefatos epistêmicos, cujas finalidades estão relacionadas a muitas práticas científicas, como simplificar, explicar, abstrair, argumentar, prever, representar, projetar experimentos e/ou outros modelos etc.” (Gilbert; Justi, 2016, p. 32). Eles são construídos em um processo cíclico constituído por etapas de criação, expressão, teste e avaliação, não necessariamente nessa ordem. Tal processo é conhecido como *modelagem* (Gilbert; Justi, 2016; Justi, 2018).

A etapa de criação é aquela na qual um modelo mental inicial (ou proto-modelo) é elaborado. Nesta etapa, a partir da definição de um objetivo, o sujeito cria um modelo mentalmente, em um primeiro momento, levando em conta o que sabe sobre o tema e as informações disponíveis no momento. Esse processo pode ser feito, por exemplo, por meio da elaboração de analogias e exploração do objeto de estudo (Gilbert; Justi, 2016; Justi, 2015).

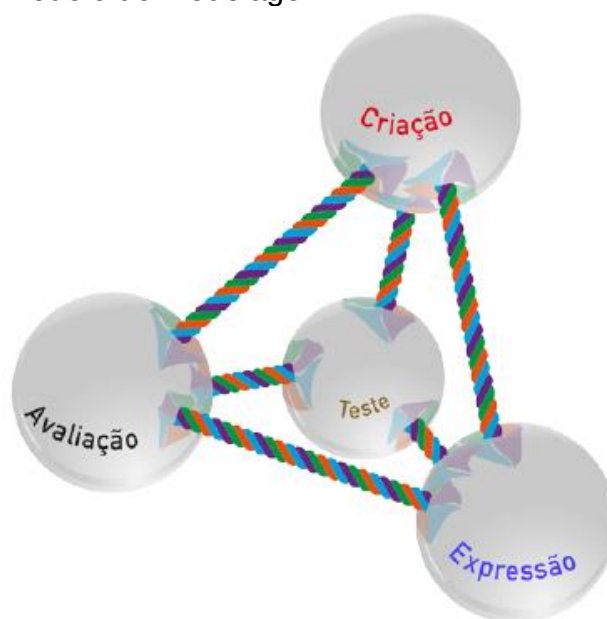
A expressão ocorre quando o modelo precisa ser apresentado a outras pessoas. Nesse momento, é necessário escolher a melhor maneira para comunicá-lo, isto é, escolher um modo de representação que se adeque ao que está sendo proposto para que a representação fique o mais fiel possível ao modelo mental (Gilbert; Justi, 2016).

Para que o modelo seja finalizado, é necessário que ele seja testado e avaliado. O teste serve para determinar a extensão em que o modelo satisfaz os objetivos para os quais foi proposto. Esta etapa ocorre por meio da proposição e realização de testes possíveis para o modelo e da posterior elaboração de explicações e conclusões plausíveis para os resultados dos testes (Gilbert; Justi, 2016). Dependendo da entidade modelada e das condições disponíveis para o processo, esses testes podem ser feitos de maneira empírica e/ou mental (Justi, 2006). Caso o teste evidencie que não há coerência entre o modelo proposto e seu(s) objetivo(s), é necessário modificá-lo, retornando às etapas de criação e/ou expressão. Caso o modelo seja bem-sucedido nos testes aos quais for submetido, ele pode ser avaliado (Justi, 2006).

Ao avaliar um modelo, suas limitações e abrangências são definidas a partir da análise de seu comportamento quando utilizado em outros contextos diferentes daqueles levados em conta em sua elaboração (Gilbert; Justi, 2016; Justi, 2015).

É importante lembrar que o processo de modelagem ocorre de maneira dinâmica e não linear. Chegar às etapas de testes e avaliação pode não significar a finalização de um modelo, uma vez que possíveis inadequações podem requerer modificações no modelo. Além disso, mais de uma etapa pode ser planejada e executada simultaneamente (Justi, 2015). Para tentar representar as etapas envolvidas no processo de modelagem, Gilbert e Justi (2016) propuseram a versão atual do Diagrama Modelo de Modelagem v2 (DMM), representada na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama Modelo de Modelagem v2.



Fonte: Gilbert e Justi (2016, p. 36).

Além das etapas representadas nas esferas encontradas nos vértices do tetraedro visualizado na Figura 1, também encontramos arestas representadas como cordões produzidos pelo entrelaçamento de quatro fios com cores distintas. Os fios representam os processos cognitivos envolvidos na modelagem: o uso de raciocínio analógico; o uso de representações imagísticas (isto é, criadas a partir da imaginação); a realização de experimentos mentais; e a argumentação (interna e externa a um indivíduo) (Gilbert; Justi, 2016). Ao analisar detalhadamente a Figura 1, também é possível observar que os fios entram nas esferas. Gilbert e Justi (2016) explicam que o motivo de eles terem feito a representação dessa maneira é enfatizar que os quatro processos cognitivos são ininterruptos. Assim, de acordo com estes autores:

- o raciocínio analógico pode ocorrer no processo criativo de elaboração do modelo; no momento de seleção dos modos de representação que serão utilizados pelo modelo; no processo de criação de analogias; no planejamento dos testes; na realização da avaliação; e no processo de convencimento da validade e utilidade do modelo;
- o uso de representações imagísticas pode acontecer no momento da criação do modelo, quando ele é planejado mentalmente; ao longo dos processos de representação (interna ou externa) do modelo, de teste e de avaliação, assim

como no processo de validação do modelo pela tentativa de convencer outras pessoas quanto à sua coerência em relação a seu(s) objetivo(s);

- a realização de experimentos mentais é verificada principalmente na etapa de testes, mas isso não impede que esse processo cognitivo ocorra quando informações estão sendo relacionadas, na etapa de criação; quando um modo de representação está sendo julgado quanto à sua adequação, na etapa de expressão; e quando o modelo é colocado à prova em diferentes contextos, na etapa de avaliação;
- a argumentação (interna ou externa) é desenvolvida ao longo de todo o processo de construção de pensamentos e discussão de ideias presente em todas as etapas da modelagem. Tal processo cognitivo é fundamental, uma vez que para que um modelo tenha sucesso, todas as escolhas tomadas no decorrer da modelagem precisam ser bem sustentadas por justificativas e evidências que validem os significados atribuídos aos elementos do modelo.

A compreensão do significado de todas as etapas e processos cognitivos envolvidos em uma atividade de modelagem, assim como do relacionamento entre eles, evidencia a complexidade desse processo e seu caráter dinâmico.

2.2.2 Modelagem no Ensino de Ciências

O Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM), ou *Modelling-based Teaching* (MBT) no original em língua inglesa, é uma abordagem de ensino que preconiza o aprendizado *de* e *sobre* Ciências a partir do envolvimento de estudantes em atividades de modelagem (Justi, 2015). Tal abordagem é importante, uma vez que participar de atividades de modelagem no processo de aprendizagem pode facilitar a visualização e entendimento de conceitos abstratos pelos estudantes. Isso ocorre devido à “criação de estruturas por meio das quais ele (o estudante) pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, desenvolvendo conhecimentos mais flexíveis e abrangentes” (Ferreira; Justi, 2008, p. 33).

A vivência de processos autênticos da Ciência relacionados ao amplo e complexo processo de modelagem requer a utilização, e favorece o desenvolvimento,

de uma série de habilidades relacionadas ao raciocínio analógico, à experimentação mental, à visualização, e à argumentação. Tudo isto pode contribuir para o desenvolvimento de uma visão ampla *sobre* Ciências, que envolva não só características epistemológicas dos conhecimentos científicos e de seus processos de produção e utilização (diretamente relacionados à História e à Filosofia da Ciência), mas também aspectos relacionados a áreas como Psicologia da Ciência, Antropologia da Ciência, Sociologia da Ciência, Economia da Ciência etc. (Santos; Maia; Justi, 2020).

Estudos realizados no Brasil (por exemplo, Maia; Justi, 2009, Mendonça; Justi, 2013, Oliveira; Justi; Mendonça, 2015) e no exterior (por exemplo, Acher; Arcà; Sanmartí, 2007, Barab; Hay; Barnett; Keating, 2000, Clement, 2008a, 2008b, Upmeier Zu Belzen; Krüger; Van Driel, 2019) têm evidenciado excelentes resultados de aprendizagem de estudantes que participam de situações de EFM.

2.2.3 Papel do Professor no Ensino Fundamentado em Modelagem

Gilbert e Justi (2016) consideram que professores desempenham um papel fundamental para promover situações de EFM. Assim, em seus planejamentos e ações em sala de aula, professores podem se apropriar do Diagrama Modelo de Modelagem v2 para:

“(i) planejar e roteirizar atividades para a ECFM¹ que serão aplicadas aos estudantes; (ii) pautar suas próprias estratégias de ensino e ações em salas de aula; e (iii) avaliar a aprendizagem dos estudantes envolvidos nos processos pautados na ECFM” (Gilbert; Justi, 2016, *apud* Oliveira, 2022, p. 41).

Para tanto, professores devem não só ter conhecimentos amplos sobre significados e funções de modelos e modelagem na Ciência. É essencial que eles sejam capazes de: identificar quais ideias são apropriadas para serem ensinadas a partir de atividades de modelagem e estar convictos de que tais atividades podem dar

¹ Oliveira (2022) utiliza a expressão mais ampla Educação Científica Fundamentada em Modelagem (ECFM) ao invés de Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM).

suporte à aprendizagem de seus estudantes; identificar as ideias dos estudantes sobre modelos e modelagem; conduzir as atividades de forma a favorecer a vivência de todas as etapas e processos cognitivos inerentes à modelagem; e avaliar conhecimentos e habilidades adquiridos pelos estudantes (Justi; Van Driel, 2005; Nelson; Davis, 2012).

Assim, para desempenhar adequadamente seu papel ao implementar esta abordagem de ensino, professores devem desempenhar ações específicas como:

- (i) favorecer o engajamento dos estudantes na reflexão sobre o sistema ou fenômeno em estudo;
- (ii) ajudar os estudantes a retomar seus conhecimentos ou modelos prévios e a estabelecer relações entre eles e o sistema ou fenômeno em estudo (por exemplo, questionando-os diretamente e/ou solicitando que eles estabeleçam comparações);
- (iii) ajudar os estudantes a analisar criticamente os mapeamentos estabelecidos nas analogias por eles criadas (por exemplo, questionando-os sobre as similaridades e diferenças entre os domínios comparados);
- (iv) favorecer que os estudantes comuniquem seus modelos de forma clara (por exemplo, questionando-os sobre as ideias expressas nos modelos, os modos de representação² utilizados por eles e os códigos de representação usados para cada modo³);
- (v) favorecer a expressão e/ou desenvolvimento da capacidade dos estudantes de conduzir experimentos mentais e/ou empíricos;
- (vi) ajudar os estudantes a analisar os resultados de testes de seus modelos (por exemplo, questionando-os sobre suas previsões iniciais e o significado de tais resultados);
- (vii) ajudar os estudantes a perceber possíveis incoerências entre seus modelos, resultados de testes e seus conhecimentos prévios (por exemplo, questionando-os sobre suas interpretações para os resultados dos testes);
- (viii) ajudar os estudantes a pensar em contextos adequados e a elaborar questões que resultem em avaliações dos modelos;

² Por exemplo, verbal, bidimensional, tridimensional, gestual.

³ Por exemplo, diversas cores utilizadas nos modos bidimensional e tridimensional.

(ix) favorecer a ocorrência de situações argumentativas (por exemplo, solicitando a identificação de evidências relevantes e questionando seus significados no contexto analisado, ajudando os estudantes a diferenciar dados e/ou evidências de causas, solicitando a elaboração de justificativas para as afirmativas dos estudantes, desafiando argumentos dos estudantes, destacando a importância de estudantes escutarem uns aos outros e favorecendo que isto aconteça, destacando a importância de estudantes analisarem criticamente argumentos diferentes sem interferências emocionais e favorecendo que isto aconteça); e

(x) contribuir para que os estudantes ampliem suas visões sobre modelos e modelagem (por exemplo, questionando-os sobre natureza e função de modelos, assim como sobre suas percepções a respeito da função da modelagem na construção de algum conhecimento (Justi; 2009, 2015, Gilbert; Justi, 2016, Williams; Clement, 2015)).

2.3 Integração entre Aprendizagem Baseada em Problemas e Ensino Fundamentado em Modelagem

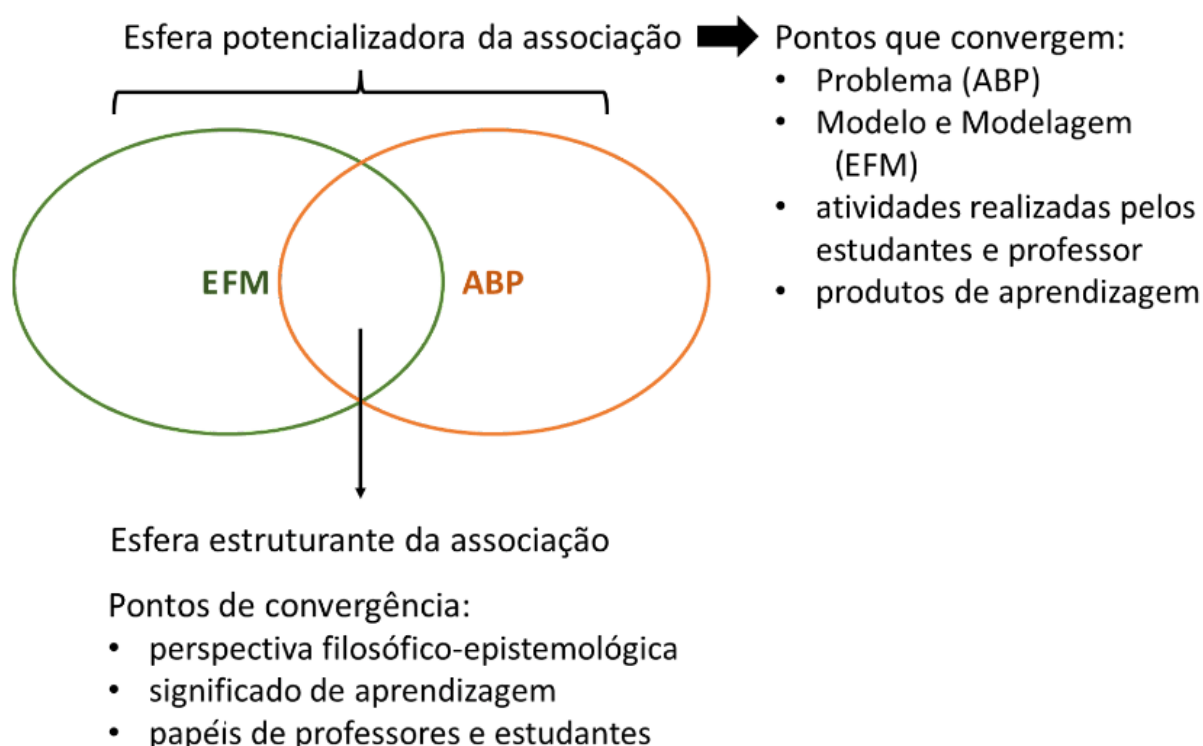
No sentido de apresentar relações entre a ABP e o EFM que permitem a integração dessas abordagens, foi construída essa seção a partir de informações apresentadas no Relatório de Projeto de Pesquisa intitulado “Ensino de Química a partir da Integração de Abordagens Promissoras: Aprendizagem Baseada em Problemas e Projetos e Ensino Fundamentado em Modelagem”, contemplado na chamada MCTIC/CNPq Nº 05/2019 – PROGRAMA CIÊNCIA NA ESCOLA (Corrêa, 2023).

A breve exposição das duas abordagens apresentadas neste capítulo evidencia seu alinhamento com a perspectiva construtivista social (Driver *et al.*, 1999). Ambas valorizam o processo de aprendizagem, a autonomia e criatividade dos estudantes e a construção de significados a partir de atividades de modelagem (EFM) e da resolução de problemas (ABP). Além disso, ambas se baseiam no trabalho em grupo, no compartilhamento de ideias e na construção de consensos, que são mediados e sistematizados pelo professor. Esses pontos de convergência compõem a esfera

estruturante da associação das abordagens, apresentada na Figura 2. Nela, por ser composta por pontos de convergência que estão presentes nas duas abordagens (representadas por duas elipses de cores diferentes), tal esfera estruturante é representada a partir da intersecção do EFM e da ABP.

A esfera potencializadora também é representada na Figura 2. Diferentemente da estruturante, a esfera potencializadora é constituída por elementos característicos de cada abordagem: problema, modelo e modelagem, atividades realizadas pelos estudantes e pelo professor e os resultados de aprendizagem (sendo que esse último compreende os conhecimentos e habilidades que são mobilizados ou desenvolvidos durante o processo).

Figura 2 - Representação da integração da ABP com o EFM: perspectiva teórica.



Fonte: Corrêa (2023, p. 9).

Na esfera potencializadora da integração, os elementos centrais de cada abordagem, ou seja, a resolução de problemas e a elaboração de modelos, têm como ponto de partida objetivos que vão nortear a elaboração do problema que será apresentado aos estudantes no início de todo o processo. Nesse sentido, para atingir

tais objetivos, a construção do problema deve ser realizada de forma criteriosa e cuidadosa, tanto para viabilizar o processo de resolução, via etapas do Ciclo da ABP, quanto para desencadear e dar sentido às etapas do processo de modelagem.

Como destacado, as atividades realizadas pelos estudantes e pelo professor, que no EFM se relacionam às etapas da modelagem (criação, expressão, teste e avaliação), favorecem o desenvolvimento de uma série de habilidades relacionadas ao raciocínio analógico, à experimentação mental, à visualização, e à argumentação. Na ABP, o processo de resolução de problemas ocorre em diferentes etapas, que vão desde a compreensão, análise e resolução até a finalização da resolução – etapa conduzida pelo professor, que tem um papel fundamental na sistematização dos conteúdos abordados. Vivenciar todas as etapas do processo de resolução pode favorecer o desenvolvimento do pensamento crítico, da autonomia e de habilidades interpessoais e relacionadas à resolução de problemas.

A integração das atividades de ambas as abordagens pode potencializar o ensino de Ciências uma vez que a vivência de processos autênticos da Ciência, relacionados às atividades de modelagem, pode ser articulada, por exemplo, ao processo de resolução de um problema sociocientífico. Isto pode contribuir para dar sentido a todas as atividades de análise, levantamento de hipóteses, compreensão de novos conhecimentos e até mesmo às atividades de modelagem – tendendo, portanto, a contribuir para o engajamento dos estudantes.

A natureza dos problemas, que devem apresentar graus de complexidade considerável, porém adequados para o nível de desenvolvimento dos estudantes, pode demandar outras atividades de ensino por parte do professor. Problemas científicos ou sociocientíficos, por envolverem conhecimentos científicos, devem ser abordados no processo de resolução de forma que os estudantes possam construir conhecimentos de forma significativa e possam vivenciar práticas científicas.

Além de trazer um contexto, a partir da apresentação de um problema, para que conteúdos possam ser abordados e compreendidos (English; Kitsantas, 2019), a ABP apresenta atividades que visam contribuir para que os estudantes explicitem o que sabem sobre o contexto apresentado, o que inclui possíveis vivências relacionadas ao tema ou temas abordados, e reconheçam o que precisa ser objeto de estudos e investigação para compreender e resolver o problema. A análise de dados,

elaboração de evidências e construção de justificativas são fundamentais para construção de resoluções respaldadas pelo conhecimento científico.

Quando as etapas do EFM são associadas às etapas da ABP que, por sua vez, são integradas a um tema sociocientífico, o que os estudantes podem aprender, aprender a fazer e as atitudes que podem desenvolver, compreendem os conhecimentos e habilidades sintetizados por Gilbert e Justi (2016):

- Aprendizagem de conhecimentos científicos, mas vistos como amplos, englobando não só o ‘capital cultural’ relevante da Ciência (considerando o contexto dos indivíduos), mas também maneiras de pensar/raciocinar nas Ciências.
- Desenvolvimento de habilidades relacionadas com as maneiras de pensar das Ciências, sendo as principais:
 - trabalhar em grupo: ouvir o outro, analisar ideias diferentes, discutir ideias tendo em vista atingir um consenso etc.;
 - buscar informações, tanto na estrutura cognitiva do sujeito quanto em fontes externas como bibliografia e atividades empíricas;
 - definir e realizar estratégias para a resolução de problemas;
 - elaborar analogias e utilizá-las na proposição de ideias ou na argumentação a seu favor;
 - ser criativo;
 - visualizar entidades e processos abstratos;
 - integrar informações e experiências na resolução de um problema;
 - argumentar, o que implica diferenciar dados e ou evidências de causas, analisar criticamente uma evidência, propor justificativas a partir de relacionamentos claros entre evidências e afirmativas;
 - aceitar a validade de duas ou mais explicações (ou pontos de vista) para uma dada situação, usando uma ou outra dependendo de sua adequação ao contexto;
 - analisar criticamente as soluções propostas e o próprio processo de elaborá-las;
 - identificar limitações em soluções propostas para um problema; e

- convencer outros da validade de uma ideia sem recorrer a recursos emocionais.
- Desenvolver uma visão ampla *sobre* Ciências a partir do desenvolvimento de tais habilidades ao aprender conteúdos (como caracterizados anteriormente). Tal visão deve envolver não só características epistemológicas dos conhecimentos científicos e de seus processos de produção e utilização (diretamente relacionados à História e à Filosofia da Ciência), mas também aspectos relacionados a áreas como Psicologia da Ciência, Antropologia da Ciência, Sociologia da Ciência, Economia da Ciência etc. (Santos; Maia; Justi, 2020).
- Desenvolver habilidades (de raciocínio e sociais) que possam ser utilizadas em contextos profissionais variados (uma vez que quaisquer desses contextos envolvem resolução de problemas).

A mobilização e o desenvolvimento das habilidades e conhecimentos acima identificados dependem, além da integração das abordagens e do tema sociocientífico, de ações realizadas pelo professor. O professor deverá prover condições (incluindo motivacionais) para que estudantes se engajem nas atividades. Isto pode significar produzir e/ou conduzir tais atividades de maneira coerente com as perspectivas filosóficas inerentes a tais abordagens utilizadas na área de Educação em Ciências, incluindo questionar os estudantes em momentos adequados (no sentido de orientá-los na realização de ações importantes no processo). Isto pode ocorrer de forma mais ou menos diretiva, dependendo, principalmente, do nível de desenvolvimento dos estudantes (incluindo suas experiências prévias de participação em atividades dessa natureza e dos objetivos mais amplos de aprendizagem daquele grupo específico de estudantes).

O panorama aqui apresentado sobre relações entre ABP e EFM evidencia que as duas abordagens possuem importantes pontos em comum, ou semelhantes, que permitem a construção de um todo coerente. Como destacado anteriormente, isto pode contribuir para o desenvolvimento de propostas pedagógicas que mobilizam habilidades importantes para o ensino de Ciências, podem favorecer a aprendizagem e permitem ser exploradas em diversos contextos educacionais.

3 OBJETIVOS

No capítulo anterior, discutimos sobre Aprendizagem Baseada em Problemas e Ensino Fundamentado em Modelagem como abordagens para promover aprendizagem de Ciências e mobilizar estudantes para aprender. Também apresentamos alguns aspectos teóricos da integração destas abordagens que podem fundamentar a elaboração de uma sequência didática.

Considerando o ineditismo desta proposta de ensino e seu potencial para favorecer um ensino de Ciências autêntico e que contribua para o desenvolvimento de várias habilidades dos estudantes que a vivenciem, destacamos que um fator crucial para seu sucesso é a atuação do professor. Isto motivou a definição dos objetivos deste estudo como identificar as ações de um professor na condução de uma SD que integra ABP e EFM e analisar como elas podem contribuir para o processo vivenciado pelos estudantes. Tais objetivos podem ser expressos nas seguintes questões de pesquisa:

- Quais ações são realizadas por um professor de Ciências no Ensino Médio ao aplicar uma sequência didática que integra ABP e EFM?
- Como essas ações podem ter afetado o processo vivenciado pelos estudantes?

Vistas essas questões, esta dissertação pretende contribuir para a literatura da área, destacando o papel do professor no contexto de abordagens de ensino integradas. Desse modo, entendemos que também podemos contribuir para aprimorar a formação de professores para que eles sejam capazes de incorporar em suas práticas abordagens autênticas de ensino de Ciências.

4 METODOLOGIA

Na tentativa de contribuir para que o leitor entenda como a pesquisa foi desenvolvida, este capítulo está dividido em algumas seções e subseções. Inicialmente são apresentadas algumas considerações sobre a SD que integra ABP e EFM visando o ensino sobre chuva ácida. As etapas iniciais da elaboração de tal SD não fizeram parte desta dissertação, pois isto aconteceu antes da pandemia e com a participação de membros do Grupo de Pesquisa “REAGIR: Modelagem e Educação em Ciências”, do qual eu não participava na época. Entretanto, a versão da SD utilizada na coleta de dados resultou de discussões e edições realizadas pela autora da dissertação e suas orientadoras, que ocorreram após a construção do referencial teórico de ABP desta dissertação. Dessa maneira, julgamos importante que o leitor tenha uma visão geral sobre as atividades, a fim de que possa entender nossa proposta focada nas ações da professora ao aplicar a SD.

Na sequência, discorreremos sobre a abordagem metodológica que permeou a pesquisa conduzida, caracterizamos o contexto de coleta de dados e apresentamos as metodologias específicas de coleta e análise de dados.

4.1 Sequência Didática

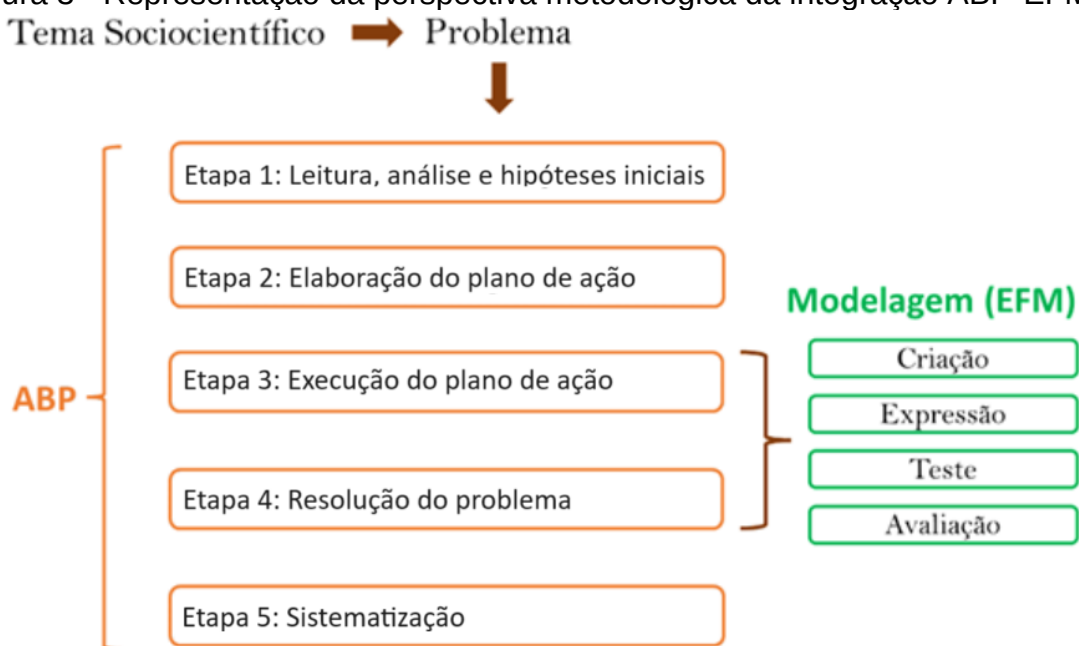
Para a construção desta seção, consultamos o Relatório de Projeto de Pesquisa intitulado “Ensino de Química a partir da Integração de Abordagens Promissoras: Aprendizagem Baseada em Problemas e Projetos e Ensino Fundamentado em Modelagem”, contemplado na chamada MCTIC/CNPq Nº 05/2019 – PROGRAMA CIÊNCIA NA ESCOLA (Corrêa, 2023), a fim de apresentar a SD e os aspectos teóricos considerados em seu desenvolvimento.

4.1.1 Aspectos Teóricos

A integração da ABP com o EFM se iniciou a partir da escolha de um tema sociocientífico e da definição de objetivos que contemplassem a aprendizagem de

conhecimentos científicos e de seus processos de produção e utilização. Este movimento inicial teve como objetivo viabilizar tanto o processo de modelagem quanto a resolução de problemas na medida em que o tema deveria possibilitar a elaboração de um modelo e também representar um desafio exequível, que fizesse sentido e que despertasse o interesse dos estudantes. O tema sociocientífico e o problema estão representados na Figura 3, que apresenta a perspectiva metodológica da integração das abordagens.

Figura 3 - Representação da perspectiva metodológica da integração ABP-EFM.



Fonte: Corrêa (2023, p. 13).

Como evidenciado na Figura 3, a apresentação do problema aos estudantes dá início aos processos de ensino e de aprendizagem e a ela se seguem as etapas 1 e 2 da ABP. A análise e a elaboração de hipóteses iniciais (Etapa 1), a explicitação de o que os estudantes já sabem e a consequente criação de um plano de ação para o processo de resolução (Etapa 2) devem ser realizados pelos estudantes nos grupos. Os estudantes devem ter autonomia para o desenvolvimento das atividades nas duas etapas.

O professor deve acompanhar o desenvolvimento das atividades nos grupos. Tal acompanhamento e orientações que se façam necessárias são fundamentais para

que possíveis ajustes, principalmente na elaboração do plano de ação, possam ser feitos. Questionamentos e orientações do professor são importantes para que o plano de ação, que corresponde à seleção de conteúdos que deverão ser investigados, estudados e discutidos, estejam alinhados aos objetivos de aprendizagem inicialmente definidos.

A execução do plano de ação (Etapa 3), que envolve atividades de estudos individuais, nos grupos e intervenções do professor, também contempla o processo de modelagem. Essa etapa do processo é central para a construção de conhecimentos e vivência em processos autênticos da Ciência, revisão de conhecimentos prévios e das hipóteses inicialmente elaboradas no Etapa 1 da resolução. Nesse sentido, as ações do professor podem incluir, inclusive, o favorecimento da retomada de alguns conteúdos prévios essenciais para a elaboração do modelo em questão.

O processo de resolução (Etapa 4), também está associado à modelagem. A resolução do problema deverá conter, em sua justificativa, os modelos construídos pelos estudantes. Essa etapa, mais uma vez, prioriza as ações dos estudantes (trabalhando em grupos), que têm autonomia para propor soluções para o problema.

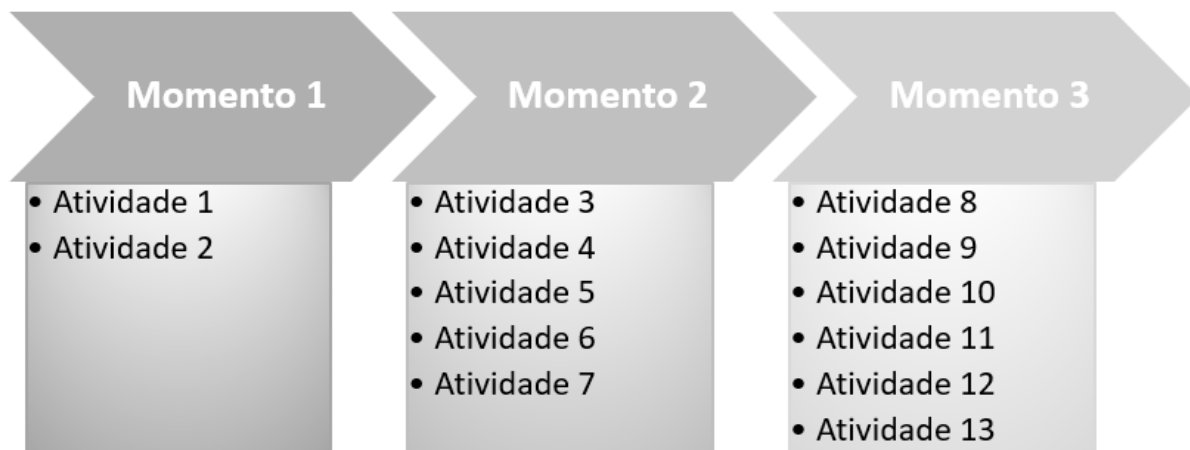
Por fim, a Etapa 5, conduzida pelo professor com participação dos estudantes, corresponde à sistematização dos conteúdos abordados e de todo o processo de resolução realizado. Mais uma vez, os modelos elaborados voltam a ser abordados e discutidos em sala de aula. O objetivo principal desta etapa é a explicitação do modelo consensual da turma e da resolução mais adequada para o problema.

4.1.2 Apresentação da Sequência Didática

A SD completa está apresentada no Apêndice A e engloba 13 atividades que podem ser organizadas em três momentos principais (Figura 4): Momento 1, em que ocorre a análise, a compreensão do caso, a identificação do problema e de suas causas, incluindo as atividades 1 e 2; Momento 2, em que ocorre o aprofundamento do entendimento sobre o problema e suas causas, incluindo as atividades 3 a 7; e

Momento 3, em que ocorre a análise de novas informações e a resolução do problema, o que ocorre nas atividades restantes.

Figura 4 - Esquema da divisão da sequência didática em momentos.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Para que cada um desses momentos atinja os objetivos apresentados, cada atividade da SD foi desenvolvida com uma finalidade diferente, como listado a seguir.

- Atividade 1: Apresentação do caso, formação dos grupos e socialização das ideias iniciais sobre o caso
- Atividade 2: Pesquisa de novos dados fornecidos (papel da chuva) e socialização
- Atividade 3: Modelagem – Criação e Expressão do Modelo
- Atividade 4: Leitura e discussão de texto
- Atividade 5: Experimento – A constituição da chuva
- Atividade 6: Modelagem – Teste do Modelo
- Atividade 7: Elaboração e socialização do *e-mail*
- Atividade 8: Novos dados e discussão (Texto)
- Atividade 9: Experimento – Simulação da chuva ácida
- Atividade 10: Modelagem – Teste do Modelo
- Atividade 11: Modelagem – Avaliação do Modelo
- Atividade 12: Proposta de resolução, elaboração da apresentação e realização da apresentação

- Atividade 13: Sistematização do professor sobre os conceitos abordados e atividades realizadas

O tema escolhido, chuva ácida, foi discutido com certa frequência em sala de aula e nos meios de comunicação, principalmente relacionado à poluição atmosférica (Cardoso; Silingardi; Cardoso, 2020). Para compreender o fenômeno da chuva ácida, conhecimentos sobre ácidos e bases são fundamentais. Tais conhecimentos também estão relacionados a vários outros fenômenos e situações, desde o uso de antiácidos para atenuar a acidez estomacal até questões sociais, políticas e econômicas relacionadas ao desenvolvimento industrial e seus impactos ambientais (Zapp *et al.*, 2015). Ao integrar ABP e EFM no ensino do tema chuva ácida, visamos possibilitar aos estudantes o contato com um problema de origem ambiental que deverá ser compreendido, analisado e resolvido a partir de atividades com características de ambas abordagens.

O problema, apresentado no início do material, no formato de um caso, se relaciona a uma situação em que produtores rurais estão enfrentando uma queda na qualidade da produção de hortaliças. Para compreender e buscar soluções para a queda de produtividade, eles contratam o serviço de uma *startup* da área ambiental. Com o objetivo de promover o engajamento no processo de resolução do caso, os estudantes devem simular o papel de colaboradores (funcionários) da *startup* e, trabalhando em grupos, serem responsáveis pelo processo de resolução do caso.

O professor deve orientar todo o processo acompanhando o que é elaborado em cada um dos grupos e mediar as discussões nas etapas de socialização. Estas envolvem todos os grupos e têm o objetivo de construir uma compreensão consensual na classe.

O processo de compreensão e resolução do caso se inicia por sua leitura e interpretação. A discussão entre os estudantes e o professor deve suscitar um movimento inicial de elaboração de hipóteses baseadas nos conhecimentos prévios dos estudantes. Neste momento, também devem ser identificados pontos que poderão ser objeto de estudos adicionais por parte dos estudantes. É fundamental que esse processo de identificação de “lacunas” seja realizado pelos estudantes em seus grupos, pois assim eles podem identificar tópicos de estudo sobre os quais devem buscar informações adicionais para sua compreensão.

As pesquisas realizadas pelos estudantes devem ser socializadas nos grupos e depois com toda a classe. Cabe ao professor favorecer e sistematizar uma compreensão consensual dos elementos fundamentais para a compreensão do fenômeno da chuva ácida e para o processo de resolução do caso.

Como parte das atividades características da ABP e da Modelagem, a SD apresenta alguns experimentos (Atividades 5 e 9). Todas as atividades foram inseridas para que o processo de resolução do caso se dê a partir do envolvimento ativo dos estudantes, orientado constantemente pelo professor. As atividades foram elaboradas tanto para serem desenvolvidas em sala de aula, em grupo, como também em casa, como tarefa, de forma individual. Porém, mesmo em relação às atividades realizadas em casa, devem ser promovidas socializações e discussões com toda a turma.

Finalmente, para que seja possível acompanhar o desenvolvimento do trabalho nos grupos e as etapas individuais do processo de resolução, cada grupo deverá entregar uma pasta contendo os resultados de todas as atividades realizadas durante o desenvolvimento da SD. As atividades individuais também deverão ser inseridas nas pastas. Desta maneira, o professor pode acompanhar o desenvolvimento do processo em cada grupo.

4.2 Abordagem Metodológica

Visando analisar as ações adotadas por uma professora em uma SD que integra ABP e EFM, optamos por conduzir uma pesquisa de natureza qualitativa, utilizando o estudo de caso como delineamento de pesquisa. A escolha desse delineamento se justifica pela possibilidade de realizar uma investigação aprofundada do caso em questão, enfatizando o contexto em que os fenômenos ocorrem sob uma perspectiva interna, ou seja, do ponto de vista dos sujeitos da pesquisa. Esse delineamento favorece a compreensão do processo investigado (Gil, 2009). Segundo Yin (2001), estudos de caso devem ser adotados sempre que não estiverem claros os limites entre o fenômeno e o contexto, assim como acontece entre o papel da professora e a sequência didática conduzida. A opção pelo estudo de caso único

utiliza o fundamento lógico da raridade (Yin, 2001), uma vez que a utilização de uma abordagem integrada entre ABP e EFM é inédita na Educação Básica brasileira. Além disso, Yin (2001) também defende o uso deste delineamento de pesquisa ao se utilizar questões de pesquisa do tipo “como” ou “por que” em um contexto em que há pouca ou nenhuma possibilidade de manipular os comportamentos relevantes de um acontecimento contemporâneo (caso da segunda questão de pesquisa que orienta este trabalho).

4.3 Contexto de Coleta de Dados

Para apresentar o contexto em que a coleta de dados foi realizada, caracterizamos o sujeito de pesquisa e o contexto de sua atuação nas subseções que seguem.

4.3.1 Sujeito de Pesquisa

Para participar do estudo e conduzir a SD, buscamos um professor que estivesse interessado em participar do estudo e tivesse disponibilidade de aplicar a SD em suas aulas de forma integrada ao conteúdo desenvolvido. Isto resultou na identificação de uma professora licenciada em Química, que chamaremos de Valéria para preservar sua identidade.

Uma vez que entendemos a importância de o professor dominar os conteúdos relacionados pelo problema trabalhado na SD (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019; Zwiep, 2016), foram realizadas várias reuniões com Valéria, visando apresentar a proposta, esclarecer possíveis dúvidas e fazer pequenas adaptações na SD em busca de favorecer sua atuação no contexto de aplicação da SD. Quando convidada a participar do estudo, Valéria havia concluído a Licenciatura em Química há três anos, curso no qual havia cursado uma disciplina optativa que teve como abordagem metodológica a ABP, mas nenhuma disciplina específica sobre EFM. Então, as reuniões também foram utilizadas para esclarecer dúvidas que a professora apresentou sobre a condução das aulas. Antes de concluir a Licenciatura, Valéria

também participou do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid) por 18 meses. Desde 2020, ela vinha atuando como professora designada em escolas públicas, mas tal experiência foi impactada pelo isolamento imposto pela pandemia de COVID-19.

4.3.2 Contexto de Desenvolvimento da Sequência Didática na Sala de Aula

No momento do desenvolvimento da pesquisa, Valéria trabalhava como professora de Química contratada em uma escola estadual de tempo integral em uma zona urbana de Belo Horizonte, em Minas Gerais. Para que a SD fosse trabalhada de maneira que não faltasse pré-requisitos aos estudantes ou que seu conteúdo se distanciasse muito do conteúdo programático da professora, ela foi desenvolvida em suas três turmas da segunda série do Ensino Médio ao longo de aproximadamente 20 aulas⁴ no segundo bimestre de 2022. Vale destacar que, naquele ano, os estudantes voltavam do isolamento imposto pela pandemia de COVID-19 e vinham apresentando uma série de dificuldades em relação à readaptação à rotina escolar e aos conceitos que deveriam ter sido aprendidos no período de aulas remotas. Mesmo considerando o grande número de atividades da SD, entendemos que tal situação contribuiu para o excessivo número de aulas utilizado para a realização das atividades.

Ao longo do desenvolvimento da SD, muitos grupos modificaram a formação dos integrantes, seja pela evasão de estudantes, seja por outros motivos diversos. Por isso, nesse trabalho analisamos os dados das interações de Valéria com dois grupos de uma das turmas que tiveram maior regularidade em sua formação, além de dados de discussões com toda a turma. Além disso, optamos por analisar os dados de dois grupos para tentar evitar enviesamentos devido a particularidades de estudantes específicos que poderiam influenciar a análise dos dados de um único

⁴ As aulas da SD foram realizadas concomitantemente às aulas da professora que visavam cumprir ao planejamento curricular da escola. Por esse motivo, algumas aulas tiveram a duração de 50 minutos, que correspondia a um horário da escola, enquanto outras duraram menos tempo, por a professora ter optado por promover atividades da SD e outras relacionadas ao planejamento curricular no mesmo horário.

grupo. Os integrantes dos dois grupos tinham idade entre 15 e 18 anos e concordaram em participar da pesquisa. Seguindo os princípios éticos da pesquisa com seres humanos, como no caso da professora, os nomes dos estudantes foram substituídos por nomes fictícios.

4.4 Coleta de Dados

Considerando que não havia assistentes de pesquisa disponíveis na época em que os dados foram coletados, a professora foi responsável pelos registros. Por isso, optamos por utilizar apenas gravadores de áudio em cada um dos grupos, além de um gravador que acompanhava a professora (e registrava as discussões gerais com a turma). Como informado anteriormente, dois grupos de uma das turmas mantiveram sua constituição ao longo de todas as aulas e, por isto, seus dados foram selecionados para análise. Todos os áudios referentes aos dois grupos e discussões gerais com aquela turma foram transcritos.

Além disso, os registros escritos e/ou desenhos produzidos pelos estudantes de cada um dos grupos também foram utilizados como dados para essa pesquisa, complementando as transcrições. As duas fontes de dados foram utilizadas pois, segundo Gil (2002), a utilização de diversas formas de coletas de dados contribui para garantir a qualidade dos resultados.

4.5 Análise de Dados

Para construirmos o caso, ordenamos as transcrições de cada grupo (complementadas, quando necessário, por informações advindas dos registros escritos e desenhos), inserindo as transcrições de discussões gerais com a turma (das quais aqueles estudantes também participaram, no mínimo como ouvintes). A partir daí, produzimos um esquema que representa o percurso do raciocínio seguido por cada grupo ao longo das atividades. Isto foi importante para nos auxiliar a analisar a influência das ações da professora no processo vivenciado por cada grupo.

Após a transcrição, fizemos a leitura e seleção de trechos significativos para a análise pretendida, ou seja, trechos contendo interações entre Valéria e os estudantes. Visando identificar as ações da professora, produzimos um sistema de categorias a partir da integração e adaptação das ações requeridas de um professor ao conduzir atividades de ABP e EFM. Ao integrarmos tais ações, levamos em conta os aspectos sobre a própria integração das abordagens apresentados na seção 2.3 desta dissertação. Para integrá-las, modificamos a redação de algumas das ações propostas nos referenciais teóricos de forma a evitar repetições e torná-las mais amplas e coerentes com a integração proposta. Por outro lado, algumas das adaptações feitas decorreram do fato de os estudantes que participaram deste estudo serem do Ensino Médio brasileiro, ao contrário dos estudantes que participaram dos estudos originais da ABP, que eram do Ensino Superior canadense e americano.

Além disso, as categorias de ação foram sendo reformuladas à medida que os dados eram analisados, de forma que representassem de maneira mais adequada as intervenções da professora e para ampliar a abrangência delas. Essas reformulações foram feitas apenas após discussões e consenso entre a autora do trabalho e suas orientadoras. Tal sistema de categorias, como um dos produtos deste trabalho, é apresentado no próximo capítulo, como seu primeiro resultado.

Utilizando nosso sistema de categorias, identificamos as ações executadas pela professora, em especial, nas interações com os dois grupos selecionados na condução da SD naquela turma, além de analisar separadamente as interações ocorridas em cada um dos momentos da SD identificados na Figura 4.

Finalmente, para discutirmos nossa segunda questão de pesquisa, recorremos ao esquema do percurso de raciocínio seguido por cada grupo ao longo das atividades, que apresenta como cada grupo resolveu o problema. Em seguida, analisamos todo o contexto de cada ação da professora identificando o que os estudantes tinham falado/feito antes que motivou aquela ação e o que eles falaram/fizeram depois daquela ação. Finalmente, buscamos identificar se e como tal contexto esteve presente na resolução do problema pelo grupo. Isto nos possibilitou caracterizar possíveis influências daquele contexto no processo de resolução do problema vivenciado pelos dois grupos de estudantes. Algumas dessas situações foram

selecionadas para ilustrar a discussão de tal questão de pesquisa, sendo apresentados em quadros no próximo capítulo.

A análise foi feita pela autora da dissertação e revisada por suas orientadoras. Pontos de discordância foram discutidos até que se fosse obtido um consenso para buscar validade para os dados apresentados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresentamos o sistema geral das categorias construído neste trabalho para analisar as ações de professores na aplicação da SD que integram ABP e EFM, juntamente de algumas considerações sobre as adaptações que foram realizadas. Posteriormente, discutimos quais foram as principais ações realizadas pela professora ao longo do desenvolvimento das aulas da SD e como elas afetaram ações dos estudantes.

5.1 Sistema de Categorias

Conforme apresentado nas seções 4.4 e 4.5 deste trabalho, as gravações dos áudios durante as aulas da SD foram organizadas, transcritas e analisadas, visando identificar os trechos que apresentavam interações entre a professora Valéria e os estudantes sendo, por isso, interessantes para esta pesquisa.

Feito isso, foi preciso construir uma ferramenta de análise para os trechos selecionados, resultando em um sistema de categorias. O Quadro 1 apresenta tal sistema, isto é, as categorias de ações desempenhadas pela professora e seus objetivos. Para a construção da ferramenta, adaptamos e integramos as estratégias realizadas por um professor experiente em ABP listadas por Hmelo-Silver e Barrows (2006), apresentadas na subseção 2.1.2 desta dissertação, às adaptações das ações específicas realizadas por um professor que deseja desempenhar adequadamente seu papel na implementação do EFM baseadas nos trabalhos de Justi (2009, 2015), Gilbert e Justi (2016) e Willians e Clement (2015), que podem ser consultadas na subseção 2.2.3. Na tentativa de explicitar de forma mais pormenorizada possível a ação da professora e suas consequências junto aos estudantes, as categorias foram redigidas como ações desempenhadas pela professora e não como estratégias mais amplas, como no trabalho de Hmelo-Silver e Barrows (2006).

Quadro 1 - Ações de professores de Ensino Médio durante o desenvolvimento de uma sequência didática que integra ABP e EFM (continua).

Ações	Objetivos
1. Favorecer o engajamento dos estudantes na reflexão sobre o sistema ou fenômeno em estudo.	Estimular a participação dos estudantes na análise do sistema ou fenômeno em estudo.
2. Favorecer a exposição de possíveis causas para o problema.	Contribuir para que os estudantes apresentem os motivos que eles acreditam estar causando o problema.
3. Incentivar os estudantes a retomar seus modelos ou conhecimentos prévios e a estabelecer relações entre eles e o problema.	Contribuir para esclarecer ideias apresentadas anteriormente, corrigir afirmações dos estudantes e adequar respostas ao discurso científico.
4. Favorecer a exposição de possíveis soluções para o problema.	Contribuir para que os estudantes apresentem as medidas que podem ser adotadas para resolver o problema.
5. Favorecer que os estudantes percebam possíveis incoerências entre as causas encontradas para o problema e suas possíveis soluções.	Contribuir para que os estudantes analisem as soluções apontadas para o problema, levando em consideração as causas levantadas por eles.
6. Realizar e/ou solicitar uma síntese que expresse o pensamento atual dos estudantes.	Favorecer que todos os estudantes interpretem o problema adequadamente, contribuindo na sintetização dos dados de forma a deixar claro o que os estudantes consideram importante.
7. Favorecer a ocorrência de situações argumentativas e/ou discussões entre os estudantes.	Incentivar situações em que os estudantes precisem defender ou debater ideias.
8. Encorajar o registro de informações relevantes.	Organizar o processo de resolução do problema a partir do registro das ações desenvolvidas em cada grupo, visando assegurar que ideias importantes não sejam perdidas no processo.
9. Incentivar a definição de tópicos de pesquisa/estudo pelos estudantes.	Identificar lacunas de conteúdo dos estudantes e orientar sobre assuntos que eles devem estudar autonomamente.
10. Favorecer que os estudantes analisem criticamente as analogias criadas por eles.	Contribuir para que os estudantes pensem sobre similaridades e diferenças existentes entre os domínios analógicos comparados.
11. Favorecer que os estudantes comuniquem suas ideias ou seus modelos de forma clara.	Incentivar os estudantes a explicar de forma mais clara ou detalhada as ideias ou modelos apresentados anteriormente.
12. Favorecer a manifestação e/ou desenvolvimento da capacidade dos estudantes de conduzir experimentos mentais e/ou empíricos.	Contribuir para que os estudantes realizem testes de seus modelos, sejam eles mentais ou empíricos.
13. Contribuir para que os estudantes analisem os resultados de testes de seus modelos.	Ajudar os estudantes a perceber se o modelo desenvolvido está de acordo com os objetivos para os quais ele foi elaborado.
14. Contribuir para que os estudantes percebam possíveis incoerências entre seus modelos, resultados de testes e seus conhecimentos prévios.	Ajudar na realização de análises dos modelos elaborados, levando em consideração os objetivos para os quais ele foi elaborado, as ideias apresentadas pelos estudantes e os resultados dos testes.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quadro 1 - Ações de professores de Ensino Médio durante o desenvolvimento de uma sequência didática que integra ABP e EFM (continuação).

Ações	Objetivos
15. Contribuir para que os estudantes elaborem questões que resultem em avaliações dos modelos em contextos adequados.	Ajudar os estudantes a perceber as limitações e abrangências do modelo elaborado, quando analisado em diferentes contextos.
16. Incentivar os estudantes a se comprometerem com o desenvolvimento da atividade.	Contribuir para a manutenção da concentração dos estudantes e conduzi-los para a resolução da atividade.
17. Favorecer que os estudantes ampliem suas visões sobre modelos e modelagem e/ou sobre a resolução de problemas.	Contribuir para o entendimento dos estudantes sobre a natureza e a função de modelos e/ou problemas, assim como suas percepções a respeito da função da modelagem e/ou da resolução de problemas na construção de algum conhecimento.
18. Favorecer ou realizar a avaliação das ideias dos estudantes.	Analisar as ideias dos estudantes, tornando-os mais confiantes no processo de resolução do problema, ou tornando-os conscientes da necessidade de reformulação delas.
19. Favorecer que os estudantes compreendam o problema e os conceitos ou ideias relacionadas.	Contribuir para esclarecer ideias às quais os estudantes ainda não tiveram acesso, apresentar novos conceitos e adequar respostas ao discurso científico.
20. Favorecer um ambiente seguro e acolhedor para a aprendizagem.	Realizar uma comunicação empática, respeitosa e aberta à troca de ideias.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As adaptações foram realizadas visando a perspectiva de uma aula construída pela integração de ABP e EFM e levando em conta o contexto aqui analisado: o de ensino de Química na Educação Básica brasileira, no qual os estudantes não tinham tido experiências anteriores com a ABP e o EFM e que a professora tinha tido pouca experiência com ABP e nenhuma com EFM. Nesse contexto, a professora teve que promover intervenções que buscassem organizar a sala, diminuir a conversa ou retomar as discussões dos grupos. Essa se tornou a Ação 16, que foi descrita como: “Incentivar os estudantes a se comprometerem com o desenvolvimento da atividade”.

Além disso, Morey, Silva, Marangon e Miranda (2021) expõem que apesar de a ABP ter sido originalmente proposta para o Ensino Superior, existem vários professores que realizam adaptações em relação aos recursos disponíveis para os estudantes. Pensando nessa possibilidade, criamos a Ação 19: “Favorecer que os estudantes compreendam o problema e os conceitos ou ideias relacionadas”. Nela, quando necessário, o professor faz exposições orais na tentativa de desenvolver

conceitos e/ou ideias aos quais os estudantes não tiveram acesso no decorrer do percurso escolar.

Outra ação que criamos para além dos referenciais teóricos foi a 20: “Favorecer um ambiente seguro e acolhedor para a aprendizagem”. Para desenvolvê-la, consideramos a importância da congruência social (Schmidt; Moust, 1995, *apud* Yew; Yong, 2014), que destaca a relevância das habilidades interpessoais dos professores para criar um ambiente de aprendizagem produtivo com estudantes engajados.

Uma vez que Hmelo-Silver e Barrows (2006) investigaram as estratégias de mediadores no contexto da ABP no Ensino Superior, algumas das estratégias listadas por eles precisaram sofrer alterações mais significativas para que fossem adequadas ao ensino básico, à proposta de integração deste trabalho e à SD desenvolvida. As estratégias: “Verificar se as anotações do quadro (ou o local onde as ideias dos estudantes estão sendo registradas) refletem a discussão realizada por eles até o momento” e “Incentivar a construção de representações visuais” foram fundidas, devido à possibilidade de encontrarmos dificuldade na categorização, no momento da análise dos dados. Isso poderia acontecer principalmente em razão de algumas características trazidas para a SD pelo EFM. Como no EFM, a expressão do modelo pode ser feita por representações visuais ou registros de outro tipo, seria dificultada a diferenciação entre as estratégias. Pelo motivo exposto, optamos por expressar a ideia dessas estratégias apenas na Ação 8: “Encorajar o registro de informações relevantes”.

Ainda no mesmo sentido, a mesma lógica foi seguida para unir as estratégias “Gerar ou avaliar hipóteses elaboradas pelos estudantes” e “Realizar e/ou solicitar a remoção de informações desnecessárias ou discutidas registradas no quadro”, transformando-as na Ação 18: “Favorecer ou realizar a avaliação das ideias dos estudantes”. Desse modo, esperamos minimizar dúvidas na categorização, uma vez que as duas estratégias podem ser usadas concomitantemente.

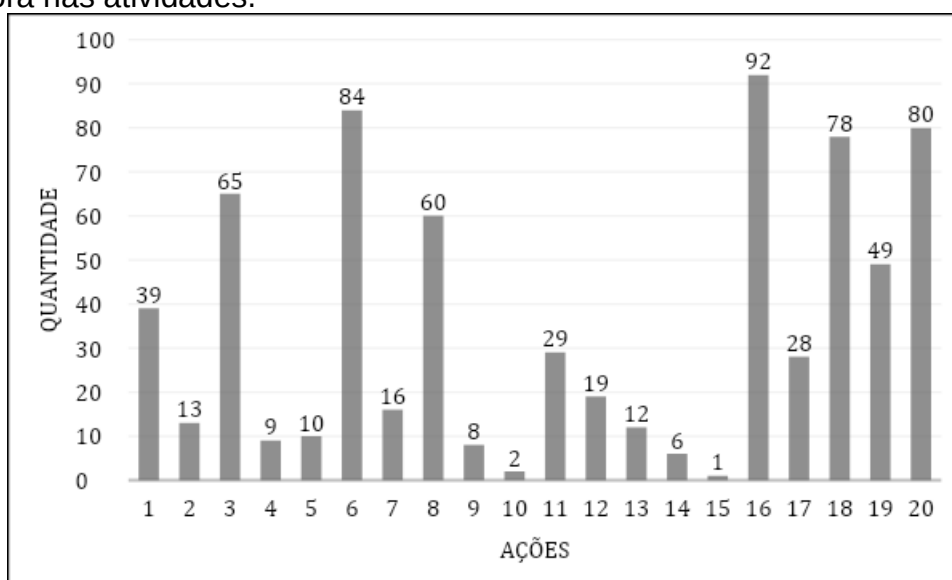
Como última adaptação, optamos por dividir a estratégia “Fazer perguntas abertas e metacognitivas para os estudantes responderem” na Ação 2 (“Favorecer a exposição de possíveis causas para o problema”) e na Ação 4 (“Favorecer a exposição de possíveis soluções para o problema”). Acreditamos que essa divisão pode favorecer uma análise mais minuciosa, gerando resultados que nos permitam

comparar o uso de cada uma dessas ações aos diferentes momentos de desenvolvimento da SD às características esperadas pela ABP e EFM em cada situação.

5.2 Ações Manifestadas na Aplicação da Sequência Didática

Todas as vinte ações constituintes do Quadro 1 foram identificadas no *corpus* de dados analisado, conforme observamos na Figura 5:

Figura 5 - Gráfico da frequência total de manifestação de cada uma das ações da professora nas atividades.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Além de identificarmos a frequência de ocorrência das ações, ao associarmos o contexto de ocorrência de cada ação com as dinâmicas da SD, identificamos que algumas de suas influências foram marcantes. Como este tipo de informação é essencial para discutirmos nossa segunda questão de pesquisa, optamos por comentar conjuntamente as ações mais frequentes e as influências importantes no contexto de aplicação da SD.

No caso da Ação 16 (“Incentivar os estudantes a se comprometerem com o desenvolvimento da atividade”), que teve a maior frequência (92) de manifestação entre todas as ações ao longo da aplicação da SD, por exemplo, identificamos a

professora buscando atingir a meta de desempenho: manter todos os estudantes ativos no processo de aprendizagem (Hmelo-Silver; Barrows, 2006). A professora realizava essa ação nos momentos em que os estudantes começavam a conversar sobre assuntos não relacionados ou realizavam tarefas não vinculadas ao problema estudado. Na maioria das vezes, tal ação era direcionada para toda a turma, mas nem todos os estudantes percebiam a perda de foco ao escutar a professora e retomavam o processo de realização da atividade. Em outros momentos, os próprios estudantes se incomodavam com a perda de foco de seus colegas e pediam a ajuda da professora, como está exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Exemplo de influência da Ação 16.

Contexto da Ação
Na Atividade 9, após realizarem um experimento que simulava a chuva ácida, apenas dois membros de um grupo estavam discutindo a resposta que deveria ser dada para uma questão da atividade, até que um deles diz: “Só nós dois estamos fazendo aqui, professora, não dá ponto para o resto não!”
Síntese da Ação
A professora repreende os estudantes que estavam mexendo no celular e pede para que todos participem da resolução da atividade.
Síntese da influência da Ação
Os estudantes que não estavam envolvidos com a atividade começaram a participar ativamente da discussão.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Acreditamos que a elevada frequência desta ação pode ser explicada principalmente pela falta de experiência dos estudantes em participar de aulas pautadas nas abordagens ABP e EFM, solicitando, portanto, um número maior de intervenções da professora no sentido de mantê-los empenhados na resolução da atividade.

Outra ação que tinha o mesmo objetivo e foi muito utilizada (39) em toda a SD foi a Ação 1 (“Favorecer o engajamento dos estudantes na reflexão sobre o sistema ou fenômeno em estudo”), que foi a oitava mais utilizada por Valéria e um exemplo dela pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Exemplo de influência da Ação 1.

Contexto da Ação
A Atividade 7, em que os estudantes deveriam escrever um <i>e-mail</i> para os donos da propriedade tinha acabado de começar.
Síntese da Ação
Após ler a Atividade 7, Valéria se dirige à turma e faz uma pequena introdução do que é para ser feito: “Vocês estão trabalhando em uma <i>startup</i> . Foram contratados para resolver o problema do seu Genuíno e da D. Maria. Nós ainda não chegamos na etapa final de propor uma solução, mas fizemos muitas coisas. Fizemos modelos, pesquisamos, investigamos um pouco mais as causas. Já sabemos a causa do problema. Então eu quero que vocês relatem tudo isso para eles para contar a que pé estão as nossas atividades e o desenvolvimento da pesquisa. Pensem que eles são pessoas para as quais vocês estão prestando um serviço. Vocês são uma empresa, então tem que ter uma linguagem formal, mas não tão formal que eles não entendam, que seja compreensível sem ser coloquial do dia a dia.”
Síntese da influência da Ação
Repetir o comando da atividade de outra maneira que fosse mais familiar para os estudantes, além de retomar a trajetória dos estudantes, pode ter contribuído para que eles ficassem mais engajados na resolução da atividade, pois logo que ela termina a introdução, todos começam a discutir como fazer.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Segundo Gilbert e Justi (2016), o professor deve motivar os estudantes a participar das atividades e, para que isso aconteça, é fundamental que ele crie um ambiente respeitoso, que valorize as ideias dos estudantes, tornando os estudantes cognitiva e emocionalmente envolvidos na modelagem. Dessa maneira, constatamos que as ações de Valéria estão em conformidade com o defendido por esses autores, o que também fica evidente, quando observamos que a terceira ação mais utilizada (80) foi a Ação 20 (“Favorecer um ambiente seguro e acolhedor para a aprendizagem”). Para Yew e Yong (2014), estudantes habituados a uma abordagem de ensino tradicional, ao iniciarem a vivência em uma abordagem ABP, frequentemente se sentem desconfortáveis e apreensivos. Na tentativa de tornar o ambiente mais favorável para a aprendizagem, muitas vezes Valéria se mostrou disponível para auxiliar os estudantes nas atividades, fez brincadeiras visando deixá-los mais confortáveis com a atividade e incentivou e valorizou as ideias e a participação de todos. No Quadro 4, apresentamos um exemplo de como isso de fato aconteceu ao longo da SD.

Quadro 4 - Exemplo de influência da Ação 20.

Contexto da Ação
A ação aconteceu na Atividade 4, que começava com um texto de aprofundamento sobre vários conceitos. Após a leitura do texto, os estudantes compartilhavam com a turma em quais pontos encontraram dificuldades de entender e a professora explicava cada um desses, na tentativa de nivelar o entendimento da turma sobre o problema
Síntese da Ação
Para introduzir a explicação de o que eram núcleos de condensação de nuvens, a professora buscou uma explicação que uma estudante havia dado na aula anterior de criação de modelos, iniciando sua fala da seguinte maneira: “Como a Alice ⁵ falou brilhantemente no dia que ela estava fazendo o modelo, no ar não tem só vapor de água. Tem várias partículas que a Alice chamou de sujeira”.
Síntese da influência da Ação
Ao retomar e valorizar a contribuição da estudante em outra aula, a professora demonstrou para a turma que existia um ambiente seguro para a expressão de suas ideias, garantindo que elas seriam ouvidas e respeitadas. Isto favoreceu outros estudantes a se sentirem motivados e confiantes para compartilhar suas opiniões.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Dessa maneira, Valéria demonstrou ter algumas das características geralmente atribuídas a um professor mais eficaz, se apresentando de maneira empática e se comunicando de maneira informal para favorecer uma troca aberta de ideias (Schmidt; Moust, 1995, *apud* Yew; Yong, 2014).

Analisando a Figura 5, identificamos que a segunda Ação mais manifestada (84) foi a de número 6 (“Realizar e/ou solicitar uma síntese que expresse o pensamento atual dos estudantes”). Como a ABP e o EFM são centrados nos estudantes, as atividades da SD buscam estimular uma postura ativa e formativa durante o processo de resolução do problema. Para isso, as ações do professor devem fomentar a interação entre os membros de um grupo, a interpretação das informações e o processo argumentativo (Morey; Silva; Marangon; Miranda, 2021). O Quadro 5 apresenta um exemplo desta ação.

⁵ Nome fictício, como todos os demais porventura usados para identificar algum estudante.

Quadro 5 - Exemplo de influência da Ação 6.

Contexto da Ação
Aula destinada à socialização das respostas dos grupos para a Atividade 1.
Síntese da Ação
A professora solicitou que representantes de cada grupo apresentassem um resumo do que haviam respondido na primeira questão. No fechamento da discussão, ela reuniu tudo o que eles haviam respondido e fez uma síntese das ideias dos grupos.
Síntese da influência da Ação
Os estudantes puderam ampliar o entendimento do problema, discutindo com os outros grupos e escutando ideias expressas nas respostas de seus colegas sobre as quais não haviam pensado.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Como evidenciado no Quadro 5, a Ação 6 foi importante para que os estudantes identificassem a essência do raciocínio dos colegas, contribuindo para que eles pudessem ampliar suas próprias propostas. Isto se relaciona ao papel do professor de contribuir para que estudantes sejam capazes de reunir suas ideias, defendido por Hmelo-Silver, Bridges e McKeown (2019).

Também no intuito de fomentar a discussão para revisão de ideias, Hmelo-Silver, Bridges e McKeown (2019) defendem que a repetição de um conteúdo que havia sido previamente exposto é importante para esclarecer as ideias dos estudantes e pode contribuir para torná-los capazes de utilizar os conceitos de maneira mais adequada. Nesse sentido, conseguimos justificar a possível razão da Ação 3 (“Incentivar os estudantes a retomar seus modelos ou conhecimentos prévios e a estabelecer relações entre eles e o problema”) ter sido a quinta mais utilizada (65) em toda a SD. Em alguns momentos, essa ação foi o suficiente para que os estudantes considerassem etapas adicionais para adequar as propostas de solução às conclusões às quais haviam chegado anteriormente, mas não se lembravam. Ao longo da Atividade 5, essa ação foi utilizada algumas vezes, como exemplificado no Quadro 6.

Quadro 6 - Exemplo de influência da Ação 3.

Contexto da Ação
Os estudantes realizaram um experimento em que sopraram a água em um recipiente por certo tempo e mediram o pH resultante dessa interferência para investigar a constituição da chuva.
Síntese da Ação
A professora contribuiu para que os estudantes se lembrassem sobre os processos de inspiração e expiração, refletindo sobre quais são os gases predominantes em cada um desses processos e sobre o caráter ácido desses gases.
Síntese da influência da Ação
Os estudantes conseguiram responder adequadamente à pergunta “Considerando essa explicação, o que você pode dizer sobre a constituição da chuva?” presente na atividade e feita pela professora para o grupo, propondo que os gases do ar tornam a chuva naturalmente ácida.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Neste exemplo, os estudantes parecem ser capazes de utilizar a habilidade de combinar informações e experiências na resolução de um problema (Gilbert; Justi, 2016). Além disso, Justi (2018) afirma que é preciso considerar as ideias prévias dos estudantes como fonte de informações. Considerando a natureza dinâmica da modelagem, esse processo não deve se limitar à etapa de criação do modelo, mas também se estender à sua reformulação e aos testes. Outra ação também foi muito importante no contexto analisado, a de “Favorecer que os estudantes compreendam o problema e os conceitos ou ideias relacionadas” (Ação 19), que foi a sétima mais usada (49) pela professora ao longo da aplicação da SD. Essa ação também contribuiu para que os estudantes esclarecessem suas ideias, mas em vez de recordá-los de um conceito, a professora apresentava um conceito novo, conforme é exemplificado no Quadro 7.

Quadro 7 - Exemplo de influência da Ação 19.

Contexto da Ação
A professora estava promovendo a discussão do texto na aula da Atividade 8, estava esclarecendo dúvidas, e os estudantes estavam socializando as respostas.
Síntese da Ação
Antes de a professora passar para a próxima questão que analisaria um gráfico relacionado à emissão de gases NO _x , ela explicou o que significava esse x, apresentando os óxidos de nitrogênio existentes.
Síntese da influência da Ação
Antes mesmo de os estudantes manifestarem dúvidas, a professora se adiantou e explicou uma informação nova que era importante para a resolução da atividade, possibilitando que eles resolvessem a questão.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Com essa ação, a professora contribuiu para manter o processo de aprendizagem em andamento, o que, segundo Hmelo-Silver e Barrows (2006), é uma importante atividade a ser realizada pelo facilitador na ABP. Outra maneira de manter esse processo em andamento é promover a reformulação das ideias, por meio da Ação 18 (“Favorecer ou realizar a avaliação das ideias dos estudantes”), que foi bastante utilizada, sendo a quarta de maior frequência (78) ao longo de todas as atividades. Quando Valéria agia assim, os estudantes reformulavam suas respostas ou ampliavam seu raciocínio, conforme exemplificado no Quadro 8.

Quadro 8 - Exemplo de influência da Ação 18.

Contexto da Ação
Em certo momento do desenvolvimento da Atividade 1, um integrante de um grupo começou a apresentar possíveis soluções que não estavam relacionadas diretamente ao problema do Sr. Genuíno.
Síntese da Ação
A professora começou a avaliar as ideias apresentadas pelo estudante, apontando a incompatibilidade delas com o problema.
Síntese da influência da Ação
Outro estudante se sentiu confortável para desconsiderar completamente a resposta do colega e direcionar a discussão para outra possibilidade de solução.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

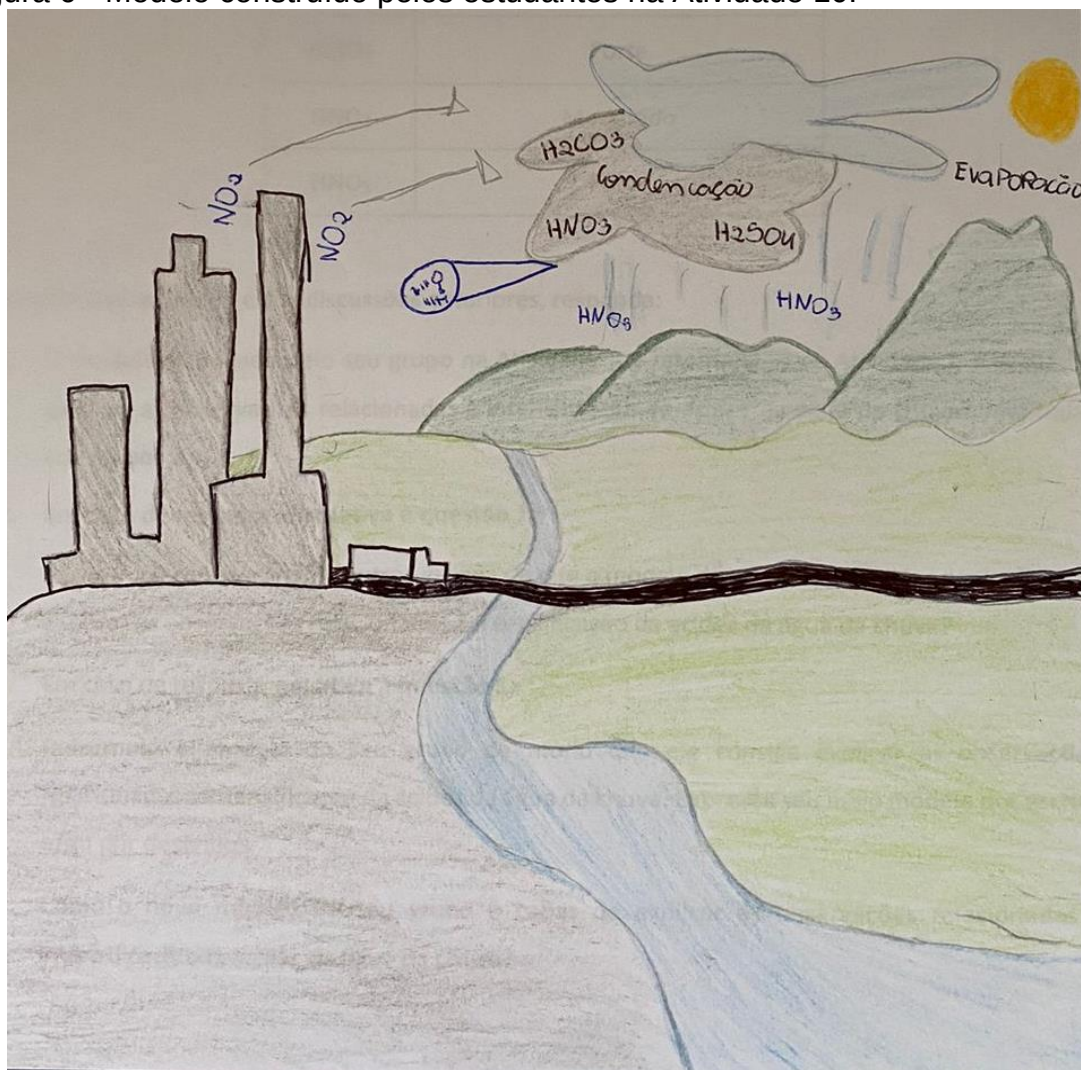
Neste exemplo, podemos identificar como a ação da professora foi importante para que os estudantes compreendessem as limitações dos conhecimentos que possuíam, naquele momento, para análise e resolução do caso, que é um importante objetivo das atividades iniciais da ABP (Morey; Silva; Marangon; Miranda, 2021; Hmelo-Silver; Barrows, 2006). Além de situações como a apresentada no Quadro 8, Valéria também usou essa ação no sentido de validar as ideias dos estudantes, incentivando um aprofundamento em certas possibilidades de resolução.

Por outro lado, algumas ações da professora contribuíram para a dinâmica do processo de resolução do problema por terem favorecido à organização das ideias dos estudantes em um determinado momento ou por terem reunido as informações e ideias obtidas ao longo do processo, como é o caso da Ação 8 (“Encorajar o registro de informações relevantes”). O Quadro 9 apresenta um momento importante que ilustra como essa, que foi a sexta ação mais utilizada (60) pela professora, foi manifestada em sala de aula.

Quadro 9 - Exemplo de influência da Ação 8.

Contexto da Ação
Os estudantes de um dos grupos estavam realizando a Atividade 10 que consistia na reformulação do modelo, de acordo com testes realizados.
Síntese da Ação
Os estudantes começaram a trazer novos elementos que gostariam de acrescentar em seu modelo para representar as reações que acontecem na formação da chuva ácida, mas a professora Valéria falou: "Então, tenta manter as representações das moléculas da água e a forma que elas interagem, as reações que vocês já colocaram. Tipo, tenta adicionar as informações, sem tirar as informações anteriores pra que ele fique mais completo e mais abrangente."
Síntese da influência da Ação
Os estudantes concordaram em registrar todas as informações, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Modelo construído pelos estudantes na Atividade 10.



Fonte: Elaborado por um grupo de estudantes (2022)

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Como afirmado anteriormente, a ABP e o EFM objetivam colocar o estudante no centro do processo de aprendizagem. Assim, as atividades buscam estimular uma postura ativa e formativa durante o processo de resolução do problema. Para isso, as ações do professor devem fomentar tanto a interação entre os membros do grupo, a interpretação das informações e o processo argumentativo (Morey; Silva; Marangon; Miranda, 2021), quanto o envolvimento em atividades que demandam a organização e registro de informações relevantes, de modo a evitar que ideias importantes sejam perdidas ao longo do processo (Hmelo-Silver; Barrows, 2006). Tais aspectos foram observados nos exemplos anteriormente apresentados da atuação de Valéria.

Acreditamos que essas oito ações apresentadas foram as mais utilizadas ao longo das atividades constituintes da SD devido à natureza organizacional e de engajamento inerente às mesmas. Uma vez que os estudantes não possuíam experiências anteriores com as abordagens de EFM e ABP, Valéria pode ter sentido a necessidade de realizar tais ações na tentativa de garantir o sucesso do processo de ensino.

Para além de todas as ações apresentadas anteriormente, também foi possível perceber como o conhecimento e experiência como professora de Química de Valéria possibilitou que ela fosse capaz de definir como mediar discussões ao longo da SD, conforme era esperado por Hmelo-Silver, Bridges e McKeown (2019). Estes autores afirmam que facilitadores que possuem domínio dos conteúdos em questão são melhores em definir quando direcionar o pensamento dos estudantes para certos assuntos devido à importância deles para a compreensão e resolução do problema.

A análise da Figura 5 permitiu identificar que as vinte ações foram manifestadas em exatas 700 situações diferentes. No entanto, assim como observamos que cada ação apresentou uma frequência diferente ao longo da SD, esperávamos que o mesmo ocorresse na análise da manifestação das vinte ações em cada um dos três momentos específicos da SD: Momento 1 (Análise, compreensão do caso e identificação do problema e de suas causas), Momento 2 (Aprofundamento do entendimento sobre o problema e suas causas) e Momento 3 (Análise de novas informações e a resolução do problema) (Figura 4).

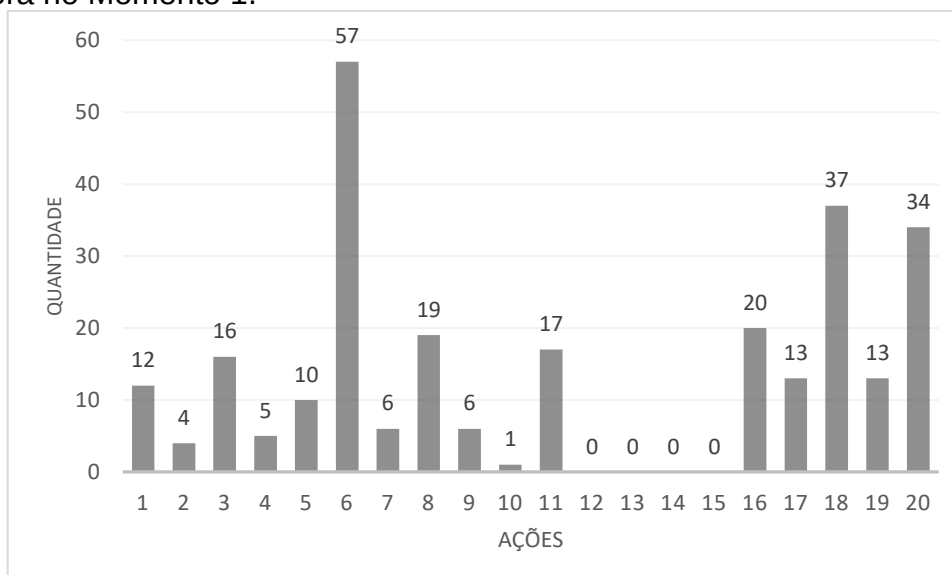
Nas próximas subseções, analisamos detalhadamente quais foram as ações manifestadas com maior e menor frequência em cada um destes momentos,

explorando os possíveis motivos para essas variações de acordo com a natureza de cada momento. Nesta análise, não são comentadas as oito ações analisadas anteriormente nesta seção.

5.2.1 Momento 1: Análise, compreensão do caso, identificação do problema e de suas causas

O Momento 1 compreende o primeiro contato com a SD e, nele, os estudantes têm a oportunidade de vivenciar as etapas iniciais do Ciclo da ABP (Hmelo-Silver, 2004) e a etapa de criação do processo de modelagem (Gilbert; Justi, 2016). Isto significa que os estudantes podem conhecer o problema; identificar os fatos relevantes; elaborar hipóteses iniciais de resolução do problema; definir tópicos de pesquisa e estudos individuais e criar um modelo mental inicial. O contexto apresentado possibilitou que Valéria realizasse várias das ações listadas no Quadro 1. Isto foi observado em 270 diferentes situações ao longo do Momento 1. A frequência de ocorrência delas é apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Gráfico da frequência de manifestação de cada uma das ações da professora no Momento 1.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A Figura 5 diz respeito à SD como um todo. A partir dela, organizamos as ações em ordem decrescente de frequência de manifestações e identificamos as ações 16, 6, 20, 18, 3, 8, 19 e 1. Na Figura 7, estas mesmas oito ações também ficaram entre as dez mais frequentes, alterando apenas a ordem em que elas aparecem (6, 18, 20, 16, 8, 11, 3, 19, 17 e 1). Como discutido anteriormente, as ações destacadas na Figura 5 são de natureza organizacional e de engajamento, sendo, por isso, muito importantes para o primeiro momento da SD, em que os estudantes estavam começando o desenvolvimento de atividades pouco comuns em seu contexto escolar e precisavam ser engajados para participar ativamente.

Outra ação importante no Momento 1 foi a Ação 17 (13) (“Favorecer que os estudantes ampliem suas visões sobre modelos e modelagem e/ou sobre a resolução de problemas”) que foi tão frequente quanto a Ação 19 (13) (“Favorecer que os estudantes compreendam o problema e os conceitos ou ideias relacionadas”) (oitava mais frequente). No início da SD, os estudantes estavam vivenciando seus primeiros contatos com atividades baseadas em ABP e EFM. Nesse sentido, era muito importante que Valéria fizesse intervenções para que eles pudessem entender sobre modelos e modelagem e sobre resolução de problemas. Isto era essencial para que eles ficassem mais conscientes sobre os objetivos das atividades, possibilitando que conquistassem mais autonomia nos momentos seguintes. No Quadro 10, apresentamos uma situação que ilustra um esclarecimento feito pela professora para os estudantes.

Quadro 10 - Exemplo de influência da Ação 17.

Contexto da Ação
Era apenas a segunda aula dos estudantes e eles estavam respondendo às perguntas da Atividade 1, até que um grupo começou a ficar insatisfeito com o outro grupo que estava com respostas semelhantes às dele.
Síntese da Ação
A professora esclareceu que, uma vez que todos estavam trabalhando com o mesmo problema, seria normal grupos diferentes pensarem em respostas iguais.
Síntese da influência da Ação
Mesmo tendo acontecido no início da SD, os grupos não voltaram a discutir em situações em que apresentavam as mesmas respostas nas atividades.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Gilbert e Justi (2016) evidenciam que a participação dos estudantes em atividades de modelagem contribui para que eles comecem a formar uma compreensão abrangente dos modelos. Na situação apresentada no Quadro 10, Valéria demonstrou também estar atenta à necessidade de eles compreenderem como as aulas baseadas em ABP e EFM funcionavam, contribuindo para minimizar a quantidade de dificuldades enfrentadas pelos estudantes nas demais atividades da SD.

Outra ação relevante no contexto do Momento 1 foi caracterizada como “Favorecer que os estudantes comuniquem suas ideias ou seus modelos de forma clara” (Ação 11) (17), conforme exemplificado no Quadro 11.

Quadro 11 - Exemplo de influência da Ação 11.

Contexto da Ação
Na primeira aula, os estudantes estavam respondendo por escrito à Questão 1 na folha da atividade, buscando identificar os pontos importantes do caso.
Síntese da Ação
Valéria se aproximou do grupo e, lendo o que os estudantes haviam escrito na folha de respostas, perguntou: “Por que vocês consideram esses trechos importantes? Vocês responderam: Porque eles são importantes. Vocês precisam responder: por que acham que eles ajudam a resolver o problema?”
Síntese da influência da Ação
Os estudantes discutiram sobre apagar e reescrever a resposta. Então, eles apresentaram uma nova resposta, mais elaborada, contendo uma justificativa estruturada.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ao agir desta maneira, Valéria possibilitou a identificação de possíveis limitações das ideias dos estudantes (Hmelo-Silver; Bridges; McKeown, 2019), contribuindo para que eles tentassem explicitar mais seus pensamentos e, conseqüentemente, o quanto haviam compreendido sobre o problema até aquele momento (Hmelo-Silver; Barrows, 2006). Acreditamos que esse foi um momento propício para que essa ação fosse realizada, uma vez que era muito importante que os estudantes fossem estimulados a registrar suas ideias da maneira mais clara e detalhada possível, para que informações não fossem perdidas no decorrer da SD e para que as limitações de suas ideias pudessem ser explicitadas.

A não ocorrência das Ações 12 (“Favorecer a manifestação e/ou desenvolvimento da capacidade dos estudantes de conduzir experimentos mentais e/ou empíricos”), 13 (“Contribuir para que os estudantes analisem os resultados de

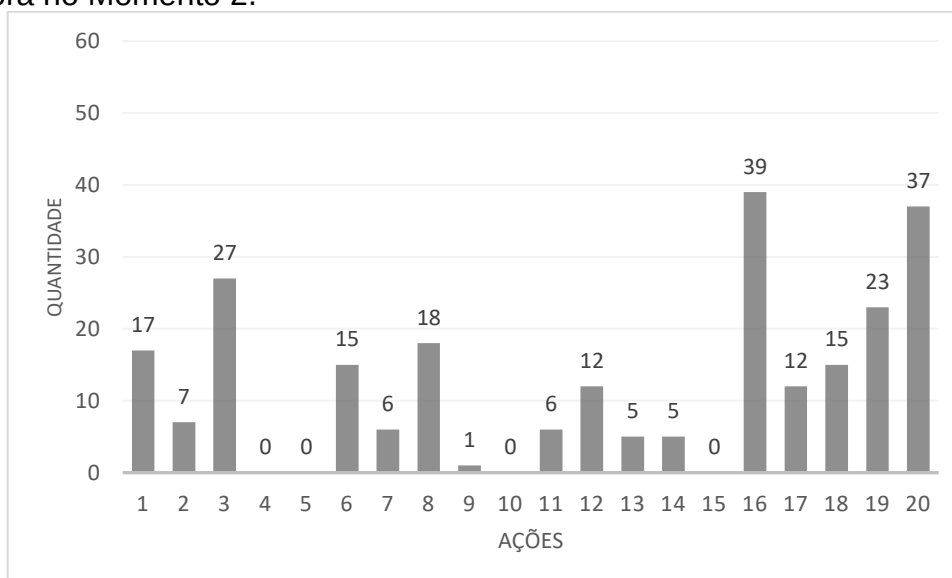
testes de seus modelos”), 14 (“Contribuir para que os estudantes percebam possíveis incoerências entre seus modelos, resultados de testes e seus conhecimentos prévios”), 15 (“Contribuir para que os estudantes elaborem questões que resultem em avaliações dos modelos em contextos adequados”), assim como a pouca ocorrência da Ação 10 (1) (“Favorecer que os estudantes analisem criticamente as analogias criadas por eles”) está relacionada ao fato de essas serem ações mais diretamente relacionadas às etapas de teste e avaliação da modelagem. Uma vez que o Momento 1 configurava apenas o primeiro contato dos estudantes com o problema, era mesmo esperado que não acontecessem situações que favorecessem essas ações. No entanto, esperava-se que as características relacionadas ao Momento 1 resultassem em Valéria realizar as ações 2 (“Favorecer a exposição de possíveis causas para o problema”), 4 (“Favorecer a exposição de possíveis soluções para o problema”) e 9 (“Incentivar a definição de tópicos de pesquisa/estudo pelos estudantes”) mais frequentemente. Contudo, a frequência com que elas foram manifestadas correspondeu a apenas 1,5% (4), 1,9% (5) e 2,2% (6) do total de ações identificadas no Momento 1, respectivamente. Possíveis explicações para o ocorrido podem estar relacionadas ao fato de que Valéria não possuía muita experiência com aulas baseadas em ABP e EFM e a uma tentativa de dar mais liberdade aos estudantes no momento inicial, talvez visando favorecer a autonomia deles. Nossa suposição se baseia nas ideias de Chan (2016), segundo o qual, para que o professor realize uma boa estratégia de facilitação, é importante que ele realize a mediação, intervindo minimamente na construção das respostas dos estudantes.

5.2.2 Momento 2: Aprofundando o entendimento sobre o problema e suas causas

O Momento 2 compreende as etapas que possibilitam que os estudantes explorem mais detalhadamente o problema, expandindo o quanto compreenderam sobre ele no Momento 1 e possibilitando que novas causas e soluções possam ser pensadas. No Ciclo da ABP, essas etapas proporcionam aos estudantes a oportunidade de realizar pesquisas e estudos individuais (estudo autodirigido); de analisar o problema a partir de novos conhecimentos; e de elaborar novas hipóteses

de resolução (Hmelo-Silver, 2004). O EFM compreende as etapas de criação, expressão e teste de modelos, em que os estudantes poderão reelaborar o modelo mental inicial, escolher uma maneira para representá-lo e testar sua adequação aos objetivos que ele buscava atingir (Gilbert; Justi, 2016). Ao longo do Momento 2, identificamos que a professora manifestou ações em 245 situações diferentes, cujas frequências são observadas na Figura 8.

Figura 8 - Gráfico da frequência de manifestação de cada uma das ações da professora no Momento 2.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando a Figura 8, constatamos que, mais uma vez, as ações que foram destaque na SD como um todo (Figura 5), também são as mais frequentes, e aparecem entre as oito primeiras no Momento 2 (16, 20, 3, 19, 8, 1, 6 e 18). Isto se justifica porque sempre será preciso realizar ações que contribuam para a organização dos trabalhos e para o engajamento dos estudantes.

Outra ação que voltou a figurar entre as mais importantes no Momento 2 foi a Ação 17 (12) (“Favorecer que os estudantes ampliem suas visões sobre modelos e modelagem e/ou sobre a resolução de problemas”). Uma vez que ela foi abordada anteriormente, não aprofundaremos a discussão aqui. No entanto, cabe destacar que Millar (2003) ressalta a importância de uma abordagem que proporcione o aprendizado de métodos científicos e da Ciência. Também nesse sentido, é

importante que a Ação 12 (12) (“Favorecer a manifestação e/ou desenvolvimento da capacidade dos estudantes de conduzir experimentos mentais e/ou empíricos”) tenha aparecido na Figura 8 como a décima mais utilizada, uma vez que ela dá suporte para que os estudantes possam vivenciar práticas científicas durante a realização da atividade. O motivo desta ação ter ocorrido com tanta frequência está no fato de ter sido realizada uma atividade experimental sobre a constituição da chuva na Atividade 5, que envolvia um teste empírico para os modelos previamente elaborados. Foi naquele instante que a professora realizou todas as 12 manifestações desta ação. Podemos analisar um exemplo que ilustra uma dessas manifestações no Quadro 12.

Quadro 12 - Exemplo de influência da Ação 12.

Contexto da Ação
Para realizar o experimento da Atividade 5, os estudantes precisavam manusear alguns materiais que nunca tinham utilizado anteriormente.
Síntese da Ação
Quando o roteiro da atividade solicitou que os estudantes utilizassem uma fita universal indicadora de pH, a professora explicou o que era a fita, como ela funcionava e como ela deveria ser utilizada em um experimento.
Síntese da influência da Ação
Todos os estudantes foram capazes de utilizar a fita para medir o pH de seus experimentos, encontrando valores, a partir da comparação das cores, coerentes nas medições.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O Quadro 12 mostra como a professora contribuiu para que os estudantes fossem capazes de realizar o experimento proposto. É importante que professores contribuam para o desenvolvimento da capacidade de estudantes conduzirem experimentos, uma vez que isto contribui para que eles possam explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, podendo favorecer o entendimento de conceitos abstratos (Ferreira; Justi, 2008).

Outro ponto importante levantado pela análise da Figura 8 é a não ocorrência das Ações 4 (“Favorecer a exposição de possíveis soluções para o problema”), 5 (“Favorecer que os estudantes percebam possíveis incoerências entre as causas encontradas para o problema e suas possíveis soluções”), 10 (“Favorecer que os estudantes analisem criticamente as analogias criadas por eles”) e 15 (“Contribuir para que os estudantes elaborem questões que resultem em avaliações dos modelos em contextos adequados”), assim como a pouca ocorrência da Ação 9 (1) (“Incentivar a

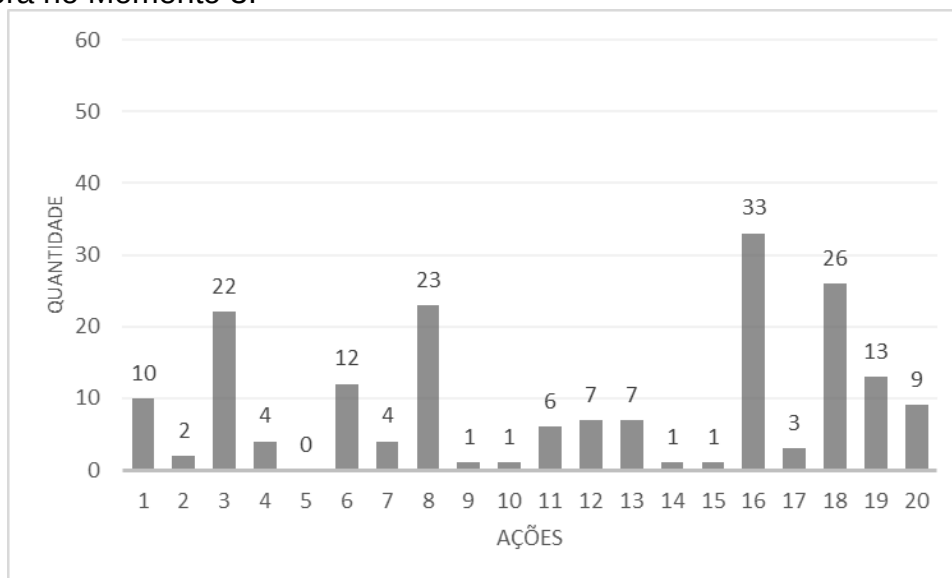
definição de tópicos de pesquisa/estudo pelos estudantes”). Os dados sobre as Ações 9 (relacionada à identificação de tópicos de estudo) e 15 (relacionada à avaliação do modelo em outros contextos) não causam estranhamento, uma vez que as atividades dos Momentos 1 e 3 da SD são mais favoráveis para a ocorrência dessas ações, respectivamente. Acreditamos também que o Momento 3 é o que mais favorece as Ações 4 e 5 (focadas nas causas do problema), mas, como o Momento 2 se relacionava ao aprofundamento do problema e à introdução de novas informações, a inexistência de manifestações destas ações causa preocupação. A nosso ver, possíveis motivos para a não ocorrência das ações podem estar relacionados à pouca experiência da Valéria com a ABP e com o EFM, ou uma estratégia sua para favorecer a autonomia dos estudantes. Finalmente, em termos da Ação 10, sua ausência pode ser explicada pelo fato de os estudantes não terem explicitado que elaboraram alguma analogia durante a proposição de seus modelos.

5.2.3 Momento 3: Análise de novas informações e resolução do problema

O Momento 3 apresenta as atividades de fechamento da SD. Nele, os estudantes devem realizar as etapas de analisar o problema sob outras perspectivas, elaborar a resolução do problema e refletir sobre os conhecimentos e habilidades mobilizados na SD, de acordo com o Ciclo da ABP (Hmelo-Silver, 2004). Em termos do EFM, este momento corresponde às etapas de teste e avaliação, não excluindo a possibilidade de o estudante retornar às etapas de criação ou expressão, caso os resultados dos testes e avaliações que devem ser realizados neste momento apontem para tal necessidade (Gilbert; Justi, 2016).

Na Figura 9, identificamos Valéria manifestando diversas ações por 185 vezes neste momento final.

Figura 9 - Gráfico da frequência de manifestação de cada uma das ações da professora no Momento 3.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Considerando as características relacionadas ao Momento 3, entendemos que as ações 4 e 5 (relacionadas à expressão e análise das soluções gerais propostas para o problema) e 14 e 15 (relacionadas às etapas de teste e avaliação de modelos, essenciais para a proposição de uma solução para o problema) poderiam ser favorecidas. Porém, esses resultados não são observados na Figura 9, uma vez que ela mostra que essas ações tiveram uma baixa frequência de utilização (4, 0, 1 e 1, respectivamente). As hipóteses que levantamos para explicar tais resultados se relacionam à pouca ou nenhuma experiência que Valéria tinha com essas abordagens e ao tamanho da SD. Essa última hipótese foi levantada, porque a análise das gravações de áudio das aulas nos possibilitou perceber que, provavelmente devido à quantidade excessiva de atividades da SD, os estudantes e a professora foram perdendo o engajamento. No entanto, a baixa frequência das Ações 2 (relacionada às ideias iniciais dos estudantes) e 9 (relacionada aos tópicos adicionais de estudo) não causam estranhamento, uma vez que essas ações são favorecidas principalmente no Momento 1.

Assim como aconteceu nos outros dois momentos, as oito ações mais utilizadas em toda a SD também compuseram a lista das mais utilizadas no Momento 3 (Ações 16, 18, 8, 3, 19, 6, 1 e 20). Isto parece validar a hipótese da importância de

a professora realizar ações que contribuíssem para organizar e engajar os estudantes em um contexto em que eles ainda não tinham vivenciado, ou seja, em aulas baseadas em quaisquer das abordagens integradas na SD (EFM e ABP). Além dessas, outra ação que novamente se destacou foi a Ação 12 (7) (relacionada à realização de experimentos e exemplificada no Quadro 12), que foi tão frequente quanto a Ação 13 (7) (focada na análise dos resultados desses experimentos, exemplificada no Quadro 13) como a nona mais utilizada neste momento. Acreditamos que o experimento que simulava a chuva ácida na Atividade 9 é o motivo destas ações terem sido favorecidas, uma vez que todas as suas manifestações aconteceram nesta atividade da SD.

Quadro 13 - Exemplo de influência da Ação 13.

Contexto da Ação
Os estudantes realizaram a queima de enxofre para observar os efeitos da chuva ácida no pH da água e em uma pétala de rosa.
Síntese da Ação
A professora ajudou os estudantes com as instruções da prática e a cada passo realizado, ela contribuía para que os estudantes fossem capazes de interpretar os resultados observados.
Síntese da influência da Ação
Os estudantes participaram ativamente das discussões em torno do experimento e, conforme vemos na Figura 6, que se encontra na seção 5.2 desta dissertação, as informações adquiridas na Atividade 9, foram utilizadas na reformulação do modelo que ocorreu ao longo da Atividade 10.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Gilbert e Justi (2016) destacam que a realização de experimentos tende a ser muito relevante, uma vez que o envolvimento em todo esse processo, incluindo na análise de seus resultados, contribui para que os estudantes avaliem suas próprias hipóteses e modelos, verificando as adequações aos seus objetivos e podendo apontar a necessidade de ajustes ou mesmo apontando para o comportamento do modelo em outros contextos. Como destacado anteriormente, ambas as etapas (teste e avaliação de modelos) são essenciais na proposição de uma solução para o problema que os estudantes estavam analisando na SD.

6 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Construímos esta dissertação orientadas pelas questões de pesquisa: “Quais ações são realizadas por um professor de Ciências no Ensino Médio ao aplicar uma sequência didática que integra ABP e EFM?” e “Como essas ações podem ter afetado o processo vivenciado pelos estudantes?”.

Para responder à primeira questão, construímos uma lista de vinte ações que podem ser realizadas por um professor ao conduzir a aplicação de uma SD que integra ABP e EFM. O contexto de falta de experiência com essas abordagens, tanto dos estudantes quanto da professora, pareceu favorecer a ocorrência das ações que estavam mais relacionadas à organização e ao engajamento dos estudantes (muito frequentes em todos os momentos analisados).

Focando explicitamente nos três momentos em que a SD foi dividida, nossos resultados mostram que, de uma maneira geral, Valéria executou mais ações relacionadas à ABP do que ao EFM. Além disso, algumas das ações relacionadas à ABP não foram executadas em momentos em que isto era esperado. Entendemos que tais resultados decorrem, em grande parte, de sua pouca experiência com utilização da ABP e nenhuma experiência prévia com o EFM.

Além disso, esse “desequilíbrio” na utilização das ações parece ter tido como consequência uma pouca contribuição da professora para que os estudantes percebessem como todo o processo de elaboração de modelos pode ser fundamental na resolução de problemas. Mesmo que as atividades da SD tenham sido construídas buscando favorecer ao máximo a integração das abordagens, talvez até mesmo a professora não tenha internalizado totalmente tal dimensão. Novamente, isto pode ser o resultado de sua falta de experiência prévia com abordagens diferenciadas de ensino. Entretanto, é importante reconhecer que nenhuma orientação teórica sobre uma dada abordagem de ensino se materializa completamente na prática em função de o professor ser autônomo nas decisões sobre quais elementos da abordagem devem ser filtrados e amplificados – e como isto pode ser feito no contexto de cada sala de aula. Valéria conhecia seus estudantes e outros detalhes do contexto (como, por exemplo, o fato de eles estarem regressando à escola depois da pandemia, o que

pode ter contribuído para que o entusiasmo inicial se transformasse ao longo do envolvimento com o grande número de atividades da SD). Assim, ela pode, deliberadamente, ter priorizado mais algumas partes da SD do que outras.

Todos esses aspectos caracterizam um indicativo importante da relevância de se investir na formação de professores, proporcionando-lhes oportunidades de estudar sobre e vivenciar abordagens construtivistas variadas. Além de favorecer uma compreensão maior sobre cada abordagem, isto pode contribuir para que o professor possa definir ênfases em elementos específicos que são essenciais para a adoção da abordagem em seu contexto de ensino.

Em termos da segunda questão de pesquisa, nossos resultados e as conclusões anteriores evidenciam que as influências das ações da professora foram pontuais no sentido de se relacionarem diretamente aos objetivos identificados para cada ação no Quadro 1. Assim, elas contribuíram para que os estudantes se motivassem e performassem muitas das ações relacionadas aos processos epistêmicos e científicos⁶ inerentes a cada uma das abordagens integradas na SD. Retomando as ideias de Schmidt e Moust (1995) *apud* Yew e Yong (2014) sobre um bom facilitador de aprendizagem, podemos afirmar que Valéria:

(i) usou conhecimentos específicos que facilitaram a compreensão dos estudantes em momentos nos quais existia um certo grau de dificuldade para isto (por exemplo, quando ela retomou conceitos que favoreceram aos estudantes construir explicações requeridas pela atividade (Quadro 6) ou quando explicou sobre o funcionamento da fita universal indicadora de pH, possibilitando que eles conseguissem interpretar os resultados de um experimento (Quadro 12);

⁶ Compreendemos os processos epistêmicos e científicos sob a ótica defendida por Jiménez-Aleixandre e Crujeiras (2017), que defendem a existência de diferenças entre esses dois conceitos. Para elas, apesar de existir certa sobreposição entre eles, os processos epistêmicos estão relacionados à maneira como o conhecimento é construído, estando ligados às atividades que envolvem a construção e a avaliação do conhecimento. Por outro lado, os processos científicos estão relacionados às atividades que os estudantes devem realizar para se envolverem de forma ativa na construção do conhecimento científico. Dessa maneira, enquanto os processos epistêmicos se concentram na justificação e avaliação do conhecimento, os processos científicos estão mais relacionados às atividades práticas e interativas que os alunos executam para construir o conhecimento científico.

(ii) demonstrou ter congruência social, uma vez que algumas de suas ações mais frequentes evidenciaram seu ótimo relacionamento com os estudantes, demonstraram que ela criou um ambiente de aprendizagem produtivo e favoreceram o engajamento dos estudantes a partir de uma comunicação empática, respeitosa e aberta à troca de ideias;

(iii) demonstrou congruência cognitiva parcial, uma vez que, ao mesmo tempo em que foi capaz de explicar conteúdos científicos de modo que os estudantes os compreendessem, ela não demonstrou a mesma habilidade em termos de favorecer a compreensão de aspectos metacognitivos que poderiam contribuir para ampliar a visão *sobre* Ciências dos estudantes (como, por exemplo, o significado de modelo como um instrumento de pensamento, a centralidade do processo de modelagem na construção do conhecimento e, conseqüentemente, da resolução de problemas). Tais aspectos são defendidos por autores como Gilbert e Justi (2016) como cruciais na promoção de um ensino de Ciências autêntico.

Mesmo reconhecendo limitações na performance da professora, entendemos que ela foi capaz de favorecer aos estudantes uma situação de aprendizagem diferenciada. Isto aponta para a importância de exemplos de atuação da professora como os destacados nesta dissertação serem inseridos em cursos de formação de professores visando tanto ampliar discussões teóricas sobre abordagens de ensino diferenciadas quanto evidenciar a viabilidade da adoção de tais abordagens em contextos regulares de ensino.

Reconhecemos que as conclusões e implicações desta dissertação possuem um impacto limitado, por se tratar da análise do papel de uma professora em início de carreira. Por isso, entendemos que estudos futuros que investiguem outros professores, com experiências variadas e atuando em outros contextos podem ampliar as discussões aqui realizadas. Apesar disso, acreditamos que, ao destacar a importância do professor para o sucesso de uma sequência fundamentada na integração do EFM com a ABP discutindo as ações de uma professora e como elas interferiram, ou poderiam ter interferido, na dinâmica de atuação e aprendizagem dos estudantes, este trabalho pode contribuir para o avanço da pesquisa na área especialmente no que diz respeito à elaboração e utilização de SD baseadas nesta integração no Ensino Médio e ao papel do professor nesse processo.

Finalmente, como apontado em alguns parágrafos deste capítulo, entendemos que os resultados de um trabalho como este, conduzido em um contexto regular de ensino, podem fundamentar discussões para aprimorar a formação de professores de Ciências em relação a suas possíveis atuações futuras, favorecendo a utilização de abordagens nas quais os estudantes são protagonistas e tendem a se engajar mais intensamente em seus processos de aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHER, Andrés; ARCÀ, María; SANMARTÍ, Neus. Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. **Science Education**, v. 91, n. 3, p. 398-418, 2007.

ALMEIDA, Jeyvson Correia de; CHIARO, Sylvia de. Argumentação e aprendizagem baseada em problemas: processo de construção de conhecimento crítico e reflexivo em sala de aula de física. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p. 462-483, 2023.

BARAB, Sasha A.; HAY, Kenneth E.; BARNETT, Michael; KEATING, Thomas. Virtual solar system project: Building understanding through model building. **Journal of Research in Science Teaching**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 719-756, 2000.

BOROCHOVICIUS, Eli; TORTELLA, Jussara Cristina Barboza. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 83, p. 263–294, 2014.

BOUD, David; FELETTI, Grahame I. Changing problem-based learning. Introduction to the Second Edition. Em: BOUD, David; FELETTI, Grahame I. (org.). **The Challenge of Problem-Based Learning**. 2. ed. London: Routledge, 1997. p. 1-14.

BRASIL, Ministério de Educação e Cultura. Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional. **LDB - Lei nº 9394/96**. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. 20 dez. 1996, Brasília; MEC, 1996.

CARDOSO, Renan Kobal de Oliveira Alves; SILINGARDI, Helena Maura Torezan; CARDOSO, Arnaldo Alves. Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 382-385, 2020.

CEZAR-DE-MELLO, Paula Fernandes Tavares; ROSA-GONÇALVES, Pamela. Grupos sanguíneos a partir da aprendizagem baseada em problemas: elaboração e avaliação de uma proposta didática investigativa. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. 918-936, 2020.

CHAN, Cecilia K. Y. Facilitators' perspectives of the factors that affect the effectiveness of problem-based learning process. **Innovations in Education and Teaching International**, [S. l.], v. 53, n. 1, p. 25-34, 2016.

CHARLOT, Bernard. O Sujeito e a Relação com o Saber. Em: **Relação com o Saber, Formação de Professores e Globalização: Questões para a Educação Hoje**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 160 p.

CLEMENT, John J. **Creative Model Construction in Scientists and Students: the role of imagery, analogy, and mental simulation**. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2008a. 602 p.

CLEMENT, John J. Model Based Learning and Instruction in Science. In: CLEMENT, John J.; REA-RAMIREZ, Mary Anne. **Model Based Learning and Instruction in Science**. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2008b. p. 1-9.

CONRADO, Dália Melissa; NUNES-NETO, Nei F.; EL-HANI, Charbel N. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) na Educação Científica como Estratégia para Formação do Cidadão Socioambientalmente Responsável. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 14, n. 2, p. 77-87, 2014.

CORRÊA, Roberta Guimarães. **Ensino de Química a partir da Integração de Abordagens Promissoras: Aprendizagem Baseada em Problemas e Projetos e Ensino Fundamentado em Modelagem**. Belo Horizonte. 2023.

DIAS, Claudio Mendes; SASAKI, Daniel Guilherme Gomes. Aprendizagem Baseada em Problemas e as Habilidades do Século XXI: revisão sistemática. **Scielo Preprints**, 2023. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/7179/13520>. Acesso em: 14 jan. 2024.

DRIVER, Rosalind; ASOKO, Hilary; LEACH, John; MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Philip. Construindo conhecimento científico em sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 9, p. 31-40, 1999.

ENGLISH, Mary; KITSANTAS, Anastasia. PBL Capstone Experience in Conservation Biology: A Self-Regulated Learning Approach. In: MOALLEM, Mahnaz; HUNG, Woei; DABBAGH, Nada (org.). **The Wiley Handbook of Problem-Based Learning**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019. p. 507-528.

FERREIRA, Poliana Flávia Maia; JUSTI, Rosária. Modelagem e o “fazer ciência”. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 28, p. 32-36, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GIL, Antonio Carlos. **Estudo de caso: fundamentação científica, subsídios para coleta e análise de dados, como redigir o relatório**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 168 p.

GILBERT, John K. Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 115-130, 2004.

GILBERT, John K.; JUSTI, Rosária. **Modelling-based Teaching in Science Education**. 1. ed. Cham: Springer, 2016. 264 p.

GONÇALVES, A.; GOMES, F. Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP): uma possibilidade de formação no curso de Licenciatura em Química. **Revista Insignare Scientia - RIS**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 4-20, 2022.

GRANT, Michael M.; TAMIM, Suha R. PBL in K–12 Education. In: MOALLEM, Mahnaz; HUNG, Woei; DABBAGH, Nada (org.). **The Wiley Handbook of Problem-Based Learning**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019. p. 221-244.

HMELO-SILVER, Cindy E. Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? **Educational Psychology Review**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 235-266, 2004.

HMELO-SILVER, Cindy E.; BARROWS, Howard S. Goals and Strategies of a Problem-based Learning Facilitator. **The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 21-39, 2006.

HMELO-SILVER, Cindy E.; BRIDGES, Susan M.; MCKEOWN, Jessica M. Facilitating Problem-Based Learning. In: MOALLEM, Mahnaz; HUNG, Woei; DABBAGH, Nada (org.). **The Wiley Handbook of Problem-Based Learning**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019. p. 297-320.

HUNG, Woei; MOALLEM, Mahnaz; DABBAGH, Nada. Social Foundations of Problem-Based Learning. In: MOALLEM, Mahnaz; HUNG, Woei; DABBAGH, Nada (org.). **The Wiley Handbook of Problem-Based Learning**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019. p. 51-80.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; CRUJEIRAS, Beatriz. Epistemic Practices and Scientific Practices in Science Education. In: Taber, Keith; Akpan, Ben. **Science Education: An International Course Companion**. 1. ed., Rotterdam: SensePublishers, 2017. p. 69-80.

JUSTI, Rosária. La Enseñanza de Ciencias Basada en la Elaboración de Modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 24, n. 2, p. 173-184, 2006.

JUSTI, Rosária. Learning how to model in science classroom: Key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. **Educación Química**, Cidade do México, v. 20, n. 1, p. 32-40, 2009.

JUSTI, Rosária. Relações entre Argumentação e Modelagem no Contexto da Ciência e do Ensino de Ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, p. 31-48, 2015.

JUSTI, Rosária. Ensino Fundamentado em Modelagem: significado e contribuições para a aprendizagem de e sobre ciências. Em: CUSTÓDIO, JOSÉ FRANCISCO; DA COSTA, DAVID ANTONIO; FLORES, CLAUDIA REGINA; GRANDO, REGINA CELIA

(org.). **Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT): Contribuições para pesquisa e ensino**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2018. p. 271-292.

JUSTI, Rosária; VAN DRIEL, Jan. The development of science teachers' knowledge on models and modelling: Promoting, characterizing and understanding the process. **International Journal of Science Education**, London, v. 27, n. 5, p. 549-573, 2005.

KNUUTTILA, Tarja. **Models as Epistemic Artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific representation**. 2005. 78 p. Tese (Doutorado) - Department of Philosophy, University of Helsinki, Helsinki, 2005.

LOPES, Renato Matos; SILVA FILHO, Moacelio Veranio; ALVES, Neila Guimarães (org.). **Aprendizagem baseada em problemas: fundamentos para a aplicação no ensino médio e na formação de professores**. 1. ed. Rio de Janeiro: Publiki, 2019. 198 p.

MAIA, Poliana Flávia; JUSTI, Rosária. Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching. **International Journal of Science Education**, London, v. 31, n. 5, p. 603-630, 2009.

MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso; JUSTI, Rosária. The Relationships Between Modelling and Argumentation from the Perspective of the Model of Modelling Diagram. **International Journal of Science Education**, London, v. 35, n. 14, p. 2407-2434. 2013.

MILLAR, Robin. Um Currículo de Ciências Voltado para a Compreensão por Todos. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 146-164, 2003.

MOREY, Alexandre Tadachi; SILVA, Daniela Rodrigues da; MARANGON, Tais; MIRANDA, Tauana Rosa de Souza de. A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) na Educação Básica: Análise de Problemas Elaborados Durante um Curso de Formação para Professores de Ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 16, n. 3, p. 457-471, 2021.

NELSON, Michele; DAVIS, Elizabeth. A. Preservice Elementary Teachers' Evaluations of Elementary Students' Scientific Models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. **International Journal of Science Education**, London, v. 34, n. 12, p. 1931-1959, 2012.

OLIVEIRA, Leandro Antonio de. **Conhecimentos Profissionais Docentes Manifestados em Contextos de Educação Científica Fundamentada em Modelagem: Estudo de Caso da Prática de uma Professora Formadora da Área de Educação Química**. 2022. 369 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

OLIVEIRA, Daniela Kênia B. S.; JUSTI, Rosária; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. The Use of Representations and Argumentative and Explanatory Situations. **International Journal of Science Education**, London, v. 37, n. 9, p. 1402-1435, 2015.

PECORE, John L. Beyond Beliefs: Teachers Adapting Problem-based Learning to Preexisting Systems of Practice. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, Purdue, v. 7, n. 2, p. 7-33, 2012.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Angel Gomez. Por que os alunos não aprendem? Em: **A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: Do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

RAIMONDI, Ângela Cristina; RAZZOTO, Eliane Siqueira. Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino de Química Analítica Qualitativa. **Revista Insignare Scientia – RIS**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 36-48, 2020.

ROSA, Manoel dos Santos; LEÃO, Marcelo Franco. Aprendizagem Baseada em Problemas e o Ensino de Ciências: levantamento da produção científica publicada no ENPEC. **Pesquisa em Foco**, São Luís, v. 24, n. 1, p. 83-102, 2019.

SANTOS, Monique Aline Ribeiro dos; MAIA, Poliana Flávia; JUSTI, Rosária. Um Modelo de Ciências para Fundamentar a Introdução de Aspectos de Natureza da Ciência em Contextos de Ensino e para Analisar tais Contextos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 20, p. 581-616. 2020.

SASSERON, Lucia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa De. Alfabetização Científica: Uma Revisão Bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SASSERON, Lucia Helena; DUSCHL, Richard Allan. Ensino de Ciências e as Práticas Epistêmicas: O Papel do Professor e o Engajamento dos Estudantes. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 52-67, 2016.

SAVERY, John R. Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. **The Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 9-20, 2006.

SAVERY, John R. Overview of Problem-Based Learning: definitions and distinctions. In: WALKER, Andrew; LEARY, Leary; HMELO-SILVER, Cindy E.; ERTMER, Peggy A. (org.). **Essential Readings in Problem-Based Learning: exploring and extending the legacy of Howard S. Barrows**. 1 ed. West Lafayette, IN: Purdue University Press, 2015. 398 p.

SAVERY, John R. Comparative Pedagogical Models of Problem-Based Learning. In: MOALLEM, Mahnaz; HUNG, Woei; DABBAGH, Nada (org.). **The Wiley Handbook of Problem-Based Learning**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019. p. 81-104.

SCHMIDT, Henk G.; ROTGANS, Jerome I.; YEW, Elaine H. J. Cognitive Constructivist Foundations of Problem-Based Learning. In: MOALLEM, Mahnaz; HUNG, Woei; DABBAGH, Nada (org.). **The Wiley Handbook of Problem-Based Learning**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019. p. 25-50.

SERVANT-MIKLOS, Virginie F. C.; NORMAN, Geoff R.; SCHMIDT, Henk G. A Short Intellectual History of Problem-Based Learning. In: MOALLEM, Mahnaz; HUNG, Woei; DABBAGH, Nada (org.). **The Wiley Handbook of Problem-Based Learning**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019. p. 3-24.

SILVA, Fabiana Carvalho; CARVALHO, Ana Carolina S. A.; LIGABO, Mateus; RODRIGUES JUNIOR, Durval; RODRIGUES, Rita C. L. B. Proposta para Implementar Avaliação Formativa no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 26, p. 1-17, 2020.

SILVA, Wagner de Jesus; MACEDO, Guadalupe Edilma Liconade. A aprendizagem baseada em problemas (ABP) para o ensino de botânica em aulas de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 16, n. 3, p. 508-519, 2021.

SOUSA, Taize Borges; MALHEIRO, João Manoel Da Silva. Análise das Técnicas Argumentativas da Teoria da Argumentação a partir da Aprendizagem Baseada em Problemas em um Curso de Férias. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 21, p. 1-22, 2019.

SOUZA, Cristina Vieira de; GHIDINI, André Ricardo; MONTYSUMA, Anna Carla da Paz e Paes; PAULA, Marilene Lima de Souza. Levantamento Bibliográfico de Trabalhos sobre a Aplicação da ABP na Educação Básica. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, Rio Branco, v. 8, n. 1, p. 865-879, 2021.

UPMEIER ZU BELZEN, Annette; KRÜGER, Dirk; VAN DRIEL, Jan. **Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education**. Cham: Springer, 2019. 321 p.

WILLIAMS, Grant; CLEMENT, John. Identifying Multiple Levels of Discussion-Based Teaching Strategies for Constructing Scientific Models. **International Journal of Science Education**, London, v. 37, n. 1, p. 82-107, 2015.

YEW, Elaine H. J.; YONG, Janice J. Y. Student perceptions of facilitators' social congruence, use of expertise and cognitive congruence in problem-based learning. **Instructional Science**, [S. l.], v. 42, n. 5, p. 795-815, 2014.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.

ZAPP, Eduardo; NARDINI, Giuliana S.; COELHO, Juliana C.; SANGIOGO, Fábio A. Estudo de Ácidos e Bases e o Desenvolvimento de um Experimento sobre a “Força” dos Ácidos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 278-284, 2015.

ZWIEP, Susan Gomez. Integrated STEM–Problem-Based Learning Curriculum: Implications for Conceptualization and Practice From an Interdisciplinary Professional Development Program. In: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION. Washington, DC Disponível em: <https://www.aera.net/Publications/Online-Paper-Repository/AERA-Online-Paper-Repository>. Acesso em: 8 set. 2020.

APÊNDICE A – Sequência Didática Completa

Ensinando Chuva Ácida a partir das Abordagens Aprendizagem Baseada em Problemas e Ensino Fundamentado em Modelagem

Elaboração: Grupo REAGIR – Modelagem e Educação em Ciências

Uma breve apresentação sobre os princípios norteadores da Sequência Didática

A sequência didática (SD) aborda o tema chuva ácida a partir da integração da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) com a Educação em Ciências Fundamentada em Modelagem (ECFM). O principal objetivo de integrar tais abordagens é possibilitar ao estudante o contato com um problema, neste caso, de origem ambiental que deverá ser compreendido, analisado e resolvido a partir da ABP e da Modelagem.

O problema, apresentado logo no início do material no formato de um caso, apresenta uma situação em que produtores rurais estão enfrentando uma queda na qualidade da produção de hortaliças. Para compreender e buscar soluções para a queda de produtividade, contratam o serviço de uma *startup* da área ambiental. Com o objetivo de promover o engajamento no processo de resolução do caso, os estudantes devem simular o papel de colaboradores (funcionários) da *startup* e, trabalhando em grupos, serão responsáveis pelo processo de resolução do caso.

O professor, fundamental nesse processo, deve orientar todo o processo pois, além de acompanhar o que é elaborado em cada um dos grupos, deve mediar as discussões nas etapas de socialização. Estas envolvem todos os grupos e têm o objetivo de construir uma compreensão consensual de toda a classe.

O processo de compreensão e resolução do caso se inicia pela leitura e interpretação do caso. Isto deve suscitar, a partir da discussão entre os estudantes e o professor, um movimento inicial de elaboração de hipóteses baseadas nos conhecimentos prévios dos estudantes. Neste momento também devem ser identificados pontos que poderão ser objeto de mais estudos por parte dos estudantes. É fundamental que esse processo de identificação de “lacunas” seja realizado pelos

estudantes em seus grupos, pois assim eles poderão identificar os pontos que necessitarão de mais informações para sua compreensão.

As pesquisas que serão realizadas pelos estudantes devem ser socializadas nos grupos e depois com toda a classe. Caberá ao professor favorecer e sistematizar uma compreensão consensual que leve às atividades de ECFM, fundamentais para a compreensão do fenômeno da chuva ácida e para o processo de resolução do caso.

Além das atividades características da ABP e da ECFM, a SD também apresenta experimentos. Todas as atividades foram inseridas para que o processo de resolução do caso se dê a partir do envolvimento ativo dos estudantes, orientado constantemente pelo professor. Espera-se que a SD contribua para a aprendizagem de conceitos de Química e para a mobilização de habilidades relacionadas à resolução de problemas e à modelagem.

Como a SD está estruturada?

A SD está organizada em **Momentos** que contém **Atividades** que devem ser realizadas pelos estudantes e que requerem **Ações** a serem realizadas pelo professor. As **Atividades** foram elaboradas tanto para serem realizadas em sala de aula, em grupo, como também em casa, como tarefa, de forma individual. Porém, mesmo em relação às atividades realizadas em casa, devem ser promovidas socializações e discussões com toda a turma.

As **Ações** a serem realizadas pelo docente têm como objetivo principal orientar o trabalho dos grupos, fornecer novos materiais e elementos para discussão e promover a socialização e construção de visões consensuais dos modelos construídos e das análises e resoluções propostas para o caso. O Quadro 1 apresenta de forma sintética as atividades constituintes da SD, assim como a estimativa total do tempo necessário para a realização de todas as atividades.

Atividades	Número de Aulas (50 min) e Tempo de Estudo
MOMENTO 1	
Atividade 1 – Parte 1: Apresentação do caso, formação dos grupos.	1
Atividade de Pesquisa	Uma semana de estudos (casa)*
Atividade 1 – Parte 2: Socialização das ideias iniciais sobre o caso.	Até 2**
Atividade 2: Pesquisa de novos dados fornecidos (papel da chuva) e socialização.	Até 2
MOMENTO 2	
Atividade 3: Modelagem - Criação e Expressão do Modelo.	1
Atividade 4 – Parte 1: Leitura de texto.	Uma semana de estudos (casa)
Atividade 4 – Parte 2: Discussão do Texto.	1
Atividade 5: Experimento – A constituição da chuva.	1
Atividade 6: Modelagem – Teste do Modelo.	1
Atividade 7 – Parte 1: Elaboração do e-mail.	Uma semana de estudos (casa)
Atividade 7 – Parte 2: Socialização do e-mail.	Até 2
MOMENTO 3	
Atividade 8: Novos dados e discussão (Texto).	Até 2
Atividade 9: Experimento – Simulação da chuva ácida.	1
Atividade 10: Modelagem – Teste do Modelo.	1
Atividade 11: Modelagem – Avaliação do Modelo.	1
Atividade 12: Proposta de resolução, elaboração da apresentação e realização da apresentação.	Até 4***
Atividade 13: Sistematização do professor sobre os conceitos abordados e atividades realizadas.	1
	Número total de aulas: 21

*As Atividades que inicialmente foram atribuídas para serem realizadas em casa podem ser realizadas em sala de aula. Porém, é importante destacar que, em qualquer contexto, elas devem ser realizadas individualmente.

**Nas Atividades de socialização, o tempo de aula deve variar de acordo com o tamanho da turma e, conseqüentemente, com a quantidade de grupos. Por isso, nessas atividades consideramos até 2 aulas.

***A Atividade 12 foi proposta para ser realizada em até 4 aulas, pois consideramos que o desenvolvimento da apresentação também será realizado em sala de aula.

Como será o processo de acompanhamento do trabalho dos estudantes?

Para que seja possível acompanhar o desenvolvimento do trabalho nos grupos e as etapas individuais do processo de resolução, cada grupo deverá entregar uma pasta contendo os resultados de todas as atividades realizadas durante o desenvolvimento da SD. As atividades individuais também deverão ser inseridas nas pastas.

Legenda:

Azul – Material do Aluno (comandos das atividades que deverão ser apresentadas/entregues aos estudantes)

Preto – Material do Professor + reportagens apresentadas em quadros

MOMENTO 1 – ANÁLISE, COMPREENSÃO DO CASO, IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E DE SUAS CAUSAS

O **Momento 1** compreende atividades e ações que deverão ser realizadas no sentido de promover uma análise e compreensão cuidadosa do caso e a identificação do problema que está afetando a produção de hortaliças de Genuíno e D. Maria. Para que isso seja possível, na **Atividade 1 – Parte 1**, os estudantes, considerando seus conhecimentos prévios, deverão fazer a análise inicial do caso, além de explicitarem suas hipóteses iniciais de resolução. Além disso, deverão identificar aspectos que, para serem compreendidos, carecerão de uma pesquisa para obtenção de mais informações. Para realização da Atividade 1 – Parte 1, *estima-se que será necessária*

uma aula 50 de minutos e o período de uma semana entre as aulas para os estudos individuais.

A **Atividade 1 – Parte 2** corresponde à socialização das respostas dadas pelos grupos para as questões que acompanham o caso. Para isto, *estima-se que serão necessárias até duas aulas de 50 minutos (o número de aulas pode variar de acordo com o número de alunos na turma e/ou com o número de grupos formados).*

A **Atividade 2** encerra o Momento 1 e tem como objetivo fornecer mais informações sobre a propriedade de Genuíno de D. Maria. Essas informações serão apresentadas como um relatório técnico sobre a propriedade fornecido pela *startup*. Os dados do relatório deverão ser analisados pelos grupos, sendo as análises socializadas com toda a turma. É muito importante que, ao final da Atividade 2, a turma chegue a um consenso de que será necessário investigar com mais detalhes o papel da chuva no problema. Para realização da Atividade 2, *estima-se que serão necessárias até duas aulas 50 de minutos.*

Atividade 1 – Parte 1 – Apresentação do Caso

Orientações para o Professor: O caso intitulado *O que está acontecendo aqui?* deverá ser lido para toda a turma. Ao final da leitura, o professor deverá destacar qual papel será desempenhado pelos estudantes, ou seja, eles deverão abordar o problema como se fossem colaboradores da *startup*. Espera-se que a simulação de papéis contribua para o engajamento dos estudantes no processo.

Após a leitura inicial, o professor deverá solicitar que os estudantes formem grupos, de quatro a seis integrantes (dependendo do número de alunos da turma e de forma a favorecer a participação de todos nas discussões). Após a formação dos grupos, o professor deverá apresentar e entregar a pasta para todos os grupos.

Com os grupos formados, o professor deverá solicitar que uma nova leitura do caso seja realizada e que as perguntas apresentadas na atividade sejam respondidas. Ao final da aula, espera-se que os estudantes tenham respondido às seis questões apresentadas e que tenham selecionado tópicos/assuntos que deverão ser pesquisados por cada um dos integrantes do grupo em casa. Por fim, o professor deverá explicitar que, na próxima aula, os grupos deverão socializar com toda a turma as respostas dadas e as principais pesquisas realizadas.

Atividade 1: Parte 1 – O que está acontecendo aqui?

Genuíno é um produtor rural que cultiva hortaliças e vegetais (como alface, couve, beterraba, cenoura e repolho) de maneira orgânica. Ele passou a ser responsável pela propriedade rural após o falecimento de seu pai, mas tem encontrado dificuldades para manter a qualidade do que produz. Apesar de cultivar as hortaliças da mesma maneira, isto é, sem uso de defensivos agrícolas e usando somente água da chuva na irrigação, tem enfrentado problemas para manter a produtividade, ainda mais com episódios frequentes de perda de parte da produção de hortaliças.

A mãe de Genuíno, D. Maria, que confia e acredita no trabalho do filho, afirma que esses problemas são resultado de mudanças ocorridas na região da propriedade rural. A instalação de uma grande indústria de fertilizantes, meses antes de o filho assumir a propriedade, segundo D. Maria, mudou a região, até o cheiro do ar e a beleza de outras plantas. O próprio pai de Genuíno já tinha começado a notar diferenças em sua produção de orgânicos.

Genuíno está empenhado em manter sua produção orgânica com a mesma qualidade da época de seu pai para não perder os clientes de vários empórios que revendem seus produtos em cidades grandes. Por isto, ele e sua mãe decidiram buscar ajuda em uma *startup* de pesquisa na área ambiental para entender o que está acontecendo e conhecer possíveis soluções para o problema enfrentado.

Você e seus colegas de grupo constituem uma das equipes de trabalho desta *startup* e, assim, devem apresentar a Genuíno e D. Maria explicações para a causa do problema e uma proposta de como ele pode ser resolvido.

Após a leitura inicial do caso que conta a história de Genuíno e D. Maria, todas as equipes deverão fazer uma primeira reunião com o objetivo de responder às seguintes perguntas:

1. Façam uma nova leitura do caso e identifiquem informações no texto que vocês consideram importantes para sua resolução. Por que vocês consideram cada uma dessas informações importantes?
2. Quais conhecimentos que vocês já possuem poderão ajudar na resolução do caso?

3. Qual(is) é(são) o(s) problema(s) vivenciado(s) pelos produtores rurais?
4. Qual(is) a(s) possível(is) causa(s) desse(s) problema(s)?
5. Considerando o que já sabem em relação ao caso, quais são as hipóteses iniciais de resolução elaboradas por seu grupo? Apresente cada hipótese de forma clara e justificada.
6. O que vocês ainda precisam saber para conhecer melhor o caso e propor uma solução? Como vocês pretendem obter tais informações?

Para responder à pergunta 6, pensem em assuntos que podem estar relacionados ao que está escrito no caso ou mesmo assuntos que vocês identificaram como relevantes. Depois de identificarem tais assuntos, os dividam entre os membros do grupo, para que cada integrante pesquise pelo menos um dos assuntos destacados.

Atividade 1: Parte 2 – Socialização das respostas

Orientações para o Professor: As respostas dadas pelos grupos às perguntas da Atividade 1 deverão ser socializadas com toda a turma. Sugere-se que o professor solicite a síntese das respostas de uma questão por vez, ou seja, que cada questão seja lida e as respostas dadas a essa questão sejam socializadas por todos os grupos. Assim, o professor poderá sintetizar o que foi destacado pelos grupos para, assim, seguir para a pergunta seguinte. Ao final desse processo de socialização e discussão dos trechos de destaque do texto, da identificação de possíveis conhecimentos prévios dos estudantes, das hipóteses explicativas iniciais e da seleção de assuntos que foram foco de mais pesquisas, espera-se que a turma tenha um quadro síntese das ideias que circularam em todos os grupos.

Atividade 2: Novas informações sobre o caso

Orientações para o Professor: Com o objetivo de subsidiar uma nova análise dos grupos sobre o caso, será fornecido um conjunto de dados, reunidos no que será chamado de um relatório técnico da *startup* sobre a propriedade de Genuíno e D. Maria. Serão fornecidos dados como: regime de chuvas, imagens de folhas de hortaliças cultivadas em áreas com cobertura e áreas sem cobertura, dados de acidez do solo, imagens do reservatório de água, dados sobre a acidez da água no

reservatório, forma de irrigação das hortaliças, data do regime irregular de chuvas (que deve corresponder ao final da vida do pai do Genuíno) e informações sobre o processo de preparo do solo (calagem).

Espera-se que, com o fornecimento desses dados, os estudantes selecionem informações que considerem importante para revisar e/ou aprimorar as hipóteses iniciais de resolução do caso. Esse processo de seleção e revisão será norteado por questões que serão apresentadas para as equipes.

De posse das respostas, o professor deverá mediar mais um processo de socialização do que foi produzido pelos grupos. Aqui é importante que a mediação do professor coloque em destaque o papel da chuva no processo. Esse movimento de direcionar a discussão para a chuva será fundamental para as próximas atividades da sequência didática.

Atividade 2: Relatório técnico

Representantes da *startup* visitaram novamente a propriedade de Genuíno e D. Maria para tirar fotos do local, coletar amostras de solo e da água da chuva armazenada e também para conhecer um pouco sobre como Genuíno produz suas hortaliças e vegetais. Essas novas informações serão importantes para conhecer melhor o problema enfrentado pelos produtores e também para definir melhor as causas desse problema.

Relatório Técnico Número 1332		
Colaboradora Responsável pela Visita: Marlene Pitangueiras Silva		
Local: Monte da Sapiência/MG Propriedade Rural de Genuíno Flores Fagundes e Maria dos Santos Fagundes		
Data: 11/11/2019	Horário de Chegada: 9:30h	Horário de Saída: 12:30h
Descrição Geral da Visita: Seu Genuíno e D. Maria estavam presentes na propriedade. Foram retiradas fotos das árvores, do gramado e também das folhagens. As fotos seguem anexas ao relatório. É importante destacar que as fotos, apesar de terem sido tiradas no meio da primavera e na estação chuvosa, revelam uma paisagem característica do outono, com folhas secas e de tom amarelado e restante da vegetação com tons de		

verde opaco. Além das fotos, foram coletadas amostras de água durante a chuva mais recente, no final de semana anterior a visita (09 e 10/11/2019) e também da água do reservatório da propriedade, que contém água coletada das chuvas do final do mês de outubro. No local, foi realizada aferição do pH das amostras, feita com papel indicador de pH universal. Foram realizadas três aferições em cada reservatório, e os resultados encontram-se abaixo:

Água do reservatório da propriedade (Coletada durante a chuva de outubro de 2019)	pH 5	pH 6	pH 6
<i>Capacidade do reservatório 5000 Litros</i>			

Água de bombona (Coletada durante a chuva de novembro de 2019)	pH 4	pH 5	pH 4
<i>Capacidade do reservatório 50 Litros</i>			

Seu Genuíno afirmou que após a chuva do último final de semana, as folhagens das hortaliças apareceram furadas e amareladas. Foi necessário descartar mais da metade das verduras que estavam crescendo fora da região protegida da plantação, já que cerca de 50% das hortaliças e verduras são cultivadas sob a proteção de uma lona, que forma uma grande cobertura, que protege tanto do sol quanto da chuva.

Tanto as hortaliças e verduras que crescem embaixo da proteção da lona quanto as que crescem desprotegidas, ou seja, expostas ao sol e a chuva, são irrigadas por gotejamento. Esse tipo de irrigação consiste em tubulações que saem do reservatório de água de 5000 L, e são distribuídas em toda a extensão da área de produção. Essas tubulações ficam próximas ao solo e apresentam uma série de pequenos furos por onde sai a água. Registros ao longo da tubulação, controlam o fluxo de água. Assim, quando os registros estão abertos, a água cai direto no solo, próximo às raízes das verduras e legumes.

Seu Genuíno também comentou que sempre utiliza calcário dolomítico para preparar o solo para o plantio. Inclusive, disse que ao longo do tempo, tem adicionado mais calcário para preparar o solo.

Reunidos em grupos, ou seja, com suas equipes, analisem as novas informações apresentadas e respondam as seguintes questões:

1. Quais das informações disponibilizadas vocês consideram que são importantes para compreender o caso? Por que vocês consideram essas informações importantes?
2. Considerando esse novo conjunto de informações, qual(is) é(são) o(s) problema(s) vivenciado(s) pelos produtores rurais?
3. Considerando esse novo conjunto de informações, qual(is) a(s) possível(is) causa(s) desse(s) problema(s)?
4. Considerando esse novo conjunto de informações, as hipóteses iniciais de resolução elaboradas por sua equipe mudaram? Se sim, apresente as novas hipóteses de forma clara e justificada.

MOMENTO 2 – APROFUNDANDO O ENTENDIMENTO SOBRE O PROBLEMA E SUAS CAUSAS

O **Momento 2** compreende as etapas de *criação* e *expressão* de um modelo inicial (**Atividade 3**) que tem como objetivo investigar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o processo de formação da chuva. *Estima-se que será necessária uma aula de 50 minutos para a etapa inicial da modelagem.*

A **Atividade 4 – Parte 1** corresponde à leitura de um texto que apresenta informações sobre a formação da chuva. Esse texto deverá ser lido em casa pelos estudantes e, na aula seguinte, deverá ser objeto de discussão (**Atividade 4 – Parte 2**). A divisão da Atividade 4 em duas partes é importante para incentivar a leitura individual do texto pelos estudantes, que deverão ser solicitados a destacar possíveis pontos para discussão em sala de aula, com toda a turma. *Estima-se que será necessária uma aula de 50 minutos para a discussão do texto* (Atividade 4 – Parte 2).

Para aprofundar ainda mais o entendimento sobre o papel desempenhado pela chuva e sua relação com o problema de Genuíno e D. Maria, a **Atividade 5** corresponde a um experimento que deverá ser realizado em sala de aula (*tempo estimado para realização do experimento de 50 minutos*).

Na **Atividade 6**, uma nova etapa de modelagem, mais especificamente a etapa de teste do modelo inicialmente proposto na Atividade 3. Para o teste do modelo (**Atividade 6**), *estima-se que será necessária uma aula de 50 minutos*.

Por fim, a **Atividade 7** compreenderá a elaboração (**Parte 1**) e socialização (**Parte 2**) de um *e-mail*. O objetivo dele é promover a oportunidade de os estudantes construïrem uma sistematização de todas as informações obtidas nas atividades anteriores. A elaboração, que corresponde a **Atividade 7 – Parte 1**, deverá ser realizada pelos estudantes em casa. Para a realização da socialização, que corresponde a **Atividade 7 – Parte 2**, *estima-se que serão necessárias até duas aulas de 50 minutos*.

Atividade 3: Modelagem – Como a chuva é formada?

Orientações para o professor: Espera-se que, ao criar e expressar seus modelos, os estudantes consigam inter-relacionar os três níveis básicos do conhecimento químico representando em seus modelos: (i) elementos *macroscópicos* ou *fenomenológicos* como, por exemplo, nuvens e gotas de água; (ii) elementos *submicroscópicos* ou *teóricos* como, por exemplo, os relacionados ao modelo cinético-molecular; e (iii) elementos *representacionais* ou *simbólicos* como, por exemplo, representação da fórmula molecular da água.

Após os estudantes terminarem a Atividade 3, espera-se que o professor solicite que eles socializem seus modelos para a turma. A discussão deve ter como objetivo a elaboração de um modelo consensual da turma (a partir de elementos de todos os modelos apresentados, desde que eles sejam coerentes).

Atividade 3: Você já pensou em como a chuva é formada?

Elabore um modelo que explique como a chuva é formada. Expresse seu modelo por escrito e/ou por desenhos. Explique todas as características de seu modelo.

Atividade 4: Leitura do Texto – Como a chuva é formada?

Orientações para o professor: Após o término da Atividade 3, o professor deverá apresentar a Atividade 4, que corresponde à leitura de um texto que apresenta

informações sobre como a chuva é formada. O objetivo do texto é proporcionar uma revisão de conhecimentos prévios dos estudantes sobre o ciclo hidrológico e trazer novas informações que serão utilizadas em atividades e discussões posteriores.

A leitura do texto é necessária para que os estudantes relacionem os modelos que foram propostos durante a Atividade 3 com as novas informações que serão exploradas na Atividade 5, uma vez que essas informações serão necessárias para a reformulação dos modelos iniciais na Atividade 6.

O texto deverá ser lido em casa pelos estudantes. Além de fazer a leitura do texto, os estudantes deverão destacar trechos que apresentam possíveis dúvidas, assim como trechos considerados importantes para responder à pergunta de como a chuva é formada.

Atividade 4: Como a chuva é formada?

Leia o texto abaixo e sublinhe/destaque possíveis dúvidas que serão discutidas na próxima aula.

A água é vital para todos os seres vivos, sem ela a existência na Terra não seria possível. A quantidade de água existente na Terra em seus três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) se mantém praticamente constante ao longo dos tempos. Isto porque, como você deve ter representado em seu modelo, a água está em contínua circulação em seus principais reservatórios: a atmosfera, os continentes e os oceanos. O ciclo da água envolve três principais fenômenos: evaporação, condensação e precipitação. Para entender como a chuva é formada vamos falar um pouco mais sobre eles.

Por que a água evapora?

Sabemos que quando a água entra em ebulição (ferve), ela passa da fase líquida para a fase vapor. *Mas, será que a água muda de estado físico apenas quando atinge a temperatura de ebulição?*

É comum esta dúvida! A passagem da água da fase líquida para a fase vapor é observada em qualquer temperatura e, a este processo, damos o nome de *vaporização*. Logo, a água evapora bem antes de atingir a sua temperatura de ebulição.

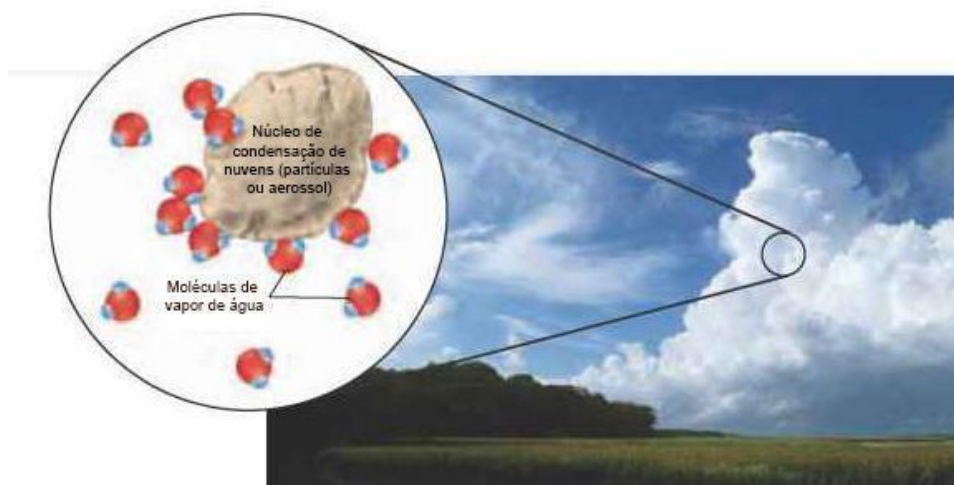
A energia solar que incide na superfície da Terra é parcialmente transformada em energia térmica, que promove a passagem da água da fase líquida para a fase vapor. Dessa maneira, quanto maior a energia térmica, ou seja, quanto maior o grau de agitação das moléculas, que é proporcional ao aumento da temperatura, mais fácil para que as moléculas de água na fase líquida passem para a fase vapor. Isto porque quanto maior for o grau de agitação das moléculas de água, mais fácil será para que elas consigam se afastar, ou seja, consigam romper as interações atrativas que existem entre elas no estado líquido e mudar de fase.

Por que a água condensa?

Analisando a composição química da atmosfera, identificamos a existência de quantidades significativas de partículas de aerossóis, vapor de água e compostos orgânicos que desempenham um papel muito importante na formação das chuvas. Um dos principais biomas responsáveis pela emissão dessas partículas no nível global são as florestas tropicais (como, por exemplo, a Amazônia). Tais Biomas lançam essas partículas em grandes altitudes, o que resulta em elas poderem ser transportadas a longas distâncias, favorecendo seu espalhamento.

As partículas de aerossóis são intimamente ligadas ao ciclo hidrológico porque elas constituem os núcleos de condensação de nuvens (NCN) que, juntamente com o vapor de água, constituem as gotículas nas nuvens (Figura 4.1). Os NCN são partículas microscópicas de aerossol que têm propriedades de condensar a água em sua superfície, tendo a capacidade de controlar os mecanismos de formação de nuvens e a precipitação. Cerca de 60% a 80% das partículas naturais de aerossóis presentes na Amazônia atuam como NCN. Uma vez que a gota é formada, ela começa a crescer através de uma série de mecanismos físicos. Entre o momento em que a gota começa seu processo de crescimento (com um diâmetro típico de 20 micrômetros, isto é 0,02 milímetros) até a sua chegada ao chão como gota de chuva (com um diâmetro típico de 1 a 2 milímetros), vários processos intermediários podem ocorrer.

Figura 4.1 – Formação de uma gotícula de nuvem.



Fonte: Adaptado de <https://www.briangwilliams.us/geology/clouds-and-precipitation.html>.

As correntes de ar que chegam às nuvens, originadas de ar aquecido pelo contato com o chão quente durante o dia, atuam como principal condição física para que nuvens e chuvas sejam formadas. Essas correntes de ar sustentam as gotas de chuva nas nuvens enquanto as gotas são pequenas. No entanto, à medida que essas gotas crescem, torna-se mais difícil sustentá-las e, conseqüentemente, elas caem como chuva. As gotas crescem devido à condensação do vapor de água e, de forma mais eficiente, pelo choque com outras gotas menores que vão se agregando às gotas maiores e aumentando seu volume. No momento em que as gotas atingem volumes e pesos significativos, elas conseguem reduzir o fluxo das correntes ascendentes e, conseqüentemente, caem como chuva pela ação da gravidade.

As gotas sofrem a ação da gravidade puxando-as para baixo enquanto uma corrente quente continuamente as leva para cima e, dessa maneira, a nuvem vai crescendo. Neste ponto do processo, as quantidades de aerossóis e de NCN desempenham um papel importante. Se o ambiente é relativamente limpo, ou seja, não poluído, há poucos NCN. Na disputa pelo vapor de água existente, se houver alguns NCN relativamente grandes ou solúveis em água, estes crescem rapidamente, se chocam com os menores e precipitam como chuva. Caso a atmosfera esteja poluída, com um número muito grande de NCN, como em época de queimadas ou por fatores antrópicos (por exemplo, desmatamento, emissão de gases poluentes por indústrias), a disputa pelo vapor de água disponível aumenta. Dessa maneira, as

gotas crescem pouco e devagar à medida que a nuvem vai crescendo. Algumas vezes, a precipitação não ocorre, pois as gotas presentes na nuvem evaporam ou são levadas por ventos fortes a outros locais.

Por que a água precipita?

Nossa atmosfera é composta por diversos gases como, por exemplo, nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), argônio (Ar) e gás carbônico (CO_2). As porcentagens desses gases são respectivamente cerca de 78,09%, 20,95%, 0,93% e 0,039% do volume de ar da atmosfera.

Além desses gases, ainda temos presente na atmosfera o vapor de água proveniente da evaporação de corpos d'água (como, por exemplo, os rios, lagos, mares). *Mas, se há evaporação de água o tempo todo, por que não chove o tempo todo?*

Isto se deve ao teor de vapor de água na atmosfera que varia de 0% a 4% do volume de ar. Isso quer dizer que em uma dada massa de ar, o máximo de vapor de água possível de ser retido corresponde a 4% de seu volume. Comparando com a quantidade de gases presentes na atmosfera, esse valor é pequeno.

Na situação em que a umidade corresponde a 4% do volume de ar, a taxa de “escape” de moléculas de água de uma superfície líquida para o ar se iguala à taxa de retorno de moléculas de vapor de água do ar para a superfície líquida. Essa taxa é dependente da temperatura do ambiente, a qual determina a capacidade máxima de vapor de água que o ar pode reter. Dessa maneira, chove somente quando a atmosfera atinge tal capacidade máxima ou se satura de vapor.

Atividade 4: Parte 2 – Discussão do texto

Orientações para o Professor: É importante que o professor discuta com os estudantes as possíveis dúvidas com relação ao texto apresentado na Parte 1 da Atividade 4, assim como pontos importantes do texto como a relação entre os NCN e a formação da chuva. Além disso, é importante dar destaque à constituição da atmosfera, ponto que será essencial para a discussão das Atividades 6 e 7.

Para saber mais sobre os NCN o professor pode acessar:

<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/porta/saoluis/curso/rachel/MicrofisicaDasNuvens.pdf>

<https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap6/cap6-2-1.html>

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-15042014-121728/en.php>

Atividade 5: Experimento – Você já pensou na constituição da chuva?

Orientações para o Professor: A Atividade 5 corresponde à realização de um experimento que tem como objetivo observar a interação da água com um dos gases presentes na atmosfera, de forma análoga ao que ocorre com a água da chuva. Ele tem como objetivo favorecer que os estudantes cheguem à conclusão de que a constituição da chuva não é apenas água e de que ela é naturalmente ácida (em função de a água da chuva reagir com o gás dióxido de carbono presente na atmosfera e formar um ácido).

Ao conduzir a Atividade 5, espera-se que, na introdução do experimento, o professor solicite respostas dos estudantes para a questão inicial. Tais ideias podem ser retomadas na discussão final.

Ao realizar os procedimentos, se possível, seria interessante utilizar materiais recicláveis e/ou reutilizáveis.

Na discussão final, espera-se que o professor revise, de maneira geral, o significado da escala de pH, no momento de medição do pH do sistema inicial (água antes de soprar), a partir da fita de pH universal e da caixinha na qual ela é armazenada (Figura 5.1). Isto para que os estudantes cheguem à conclusão de que a substância formada na interação da água da chuva com o gás dióxido de carbono é de caráter ácido, devido à cor observada, que foi atrelada ao valor do pH após soprar dentro da água. Contudo, não é recomendável (nem necessário) que o professor identifique o ácido (nomenclatura e fórmula molecular), pois isto será feito na próxima atividade, mais especificamente, no momento de reformulação dos modelos propostos durante a Atividade 3.

Figura 5.1 – Comparação dos valores de pH medidos antes (direita) e depois (esquerda) do experimento.



Fonte: Os autores.

Para discutir o experimento, é desejável que o professor solicite que os estudantes socializem seus registros. Durante a discussão, o professor pode perguntar aos estudantes qual(is) gás(gases) é(são) expelido(s) durante o sopro. Os estudantes provavelmente responderão que é o gás dióxido de carbono⁷. Dando continuidade, o professor pode chamar a atenção para o fato de o gás dióxido de carbono ser apenas um dos gases presentes na atmosfera (como apresentado no texto).

Após à conclusão por parte dos estudantes (mediada pelo professor), de que o gás presente no sopro que reagiu com a água presente no recipiente e formou um ácido é o dióxido de carbono, o professor pode, juntamente com eles, transpor os resultados do experimento e relacioná-los com a constituição da atmosfera, concluindo que a água da chuva é naturalmente ácida. Caso os estudantes questionem por que a água não reage com os outros gases presentes na atmosfera, o professor pode atribuir isto à baixa reatividade desses gases.

Diante disso, os estudantes serão convidados a testar seus modelos, ou seja, utilizar os modelos propostos durante a Atividade 3, para explicar as observações feitas durante o experimento.

⁷ Apesar de diversos gases serem expelidos ao soprar, o foco nesse momento é realmente a reação com o gás carbônico. A ideia de que apenas gás carbônico é expelido ao expirar constitui uma concepção alternativa que pode ser discutida pelo professor, mas o foco da discussão deve ser retomado para a reação que ocorre entre o gás dióxido de carbono e água.

Atividade 5: Você já pensou na constituição da chuva?

Agora que vocês já pararam para pensar em como a chuva é formada, propuseram um modelo para explicar isso e já sabem mais sobre esse processo, será que já sabem o suficiente para contactar Genuíno e D. Maria e, assim, compartilhar informações que contribuirão para o entendimento do problema vivenciado por eles?

O texto da Atividade 4, assim como o modelo proposto por seu grupo na Atividade 3, tiveram como objetivo explicar como a chuva é formada. Mas, será que a chuva é constituída apenas de água? Pensando nisso, vamos fazer um experimento para nos auxiliar a responder tal questão.

Materiais:

- Recipientes de vidro, de aproximadamente 250 mL (como, por exemplo, béquero ou copo)
- Canudinhos de plástico ou de metal
- Fitas de pH universal
- Água

Procedimentos:

1. Colocar água até aproximadamente a metade do recipiente.
2. Medir o pH da água, com o auxílio de um pedaço de fita de pH universal, e registrar o valor medido antes de soprar dentro da mesma.
3. Colocar o canudinho dentro do recipiente com água.
4. Soprar vigorosamente dentro da água, com o auxílio do canudinho, por cinco minutos.
5. Medir novamente o pH da água, com o auxílio de um pedaço de fita de pH universal, e registrar o valor medido após soprar dentro dela.

Tabela de resultados:

Sistemas	Observações	pH
----------	-------------	----

Inicial (água antes de soprar)		
Final (água depois de soprar)		

Questões para discussão:

1. Ao realizar todos os procedimentos, você observou alguma alteração?
 - a. Em caso afirmativo, qual(is)?
 - b. Como você explica isso?
2. Considerando essa explicação, o que você pode dizer sobre a constituição da chuva?

Atividade 6: Modelagem – Explicando as observações relacionadas à acidez da chuva

Orientações para o Professor: Essa atividade se relaciona à etapa de teste dos modelos propostos pelos estudantes na Atividade 3. Isto será feito não apenas com base nos conhecimentos prévios sobre o processo de formação da chuva, mas também nas informações sobre a constituição da atmosfera apresentadas no texto e nas observações e conclusões feitas pelos próprios estudantes durante o experimento e sua discussão.

Espera-se que, ao testar seus modelos, os estudantes consigam inter-relacionar os três níveis básicos do conhecimento químico representando em seus modelos: (i) *elementos macroscópicos* ou *fenomenológicos* como, por exemplo, nuvens, gotas de água e gases presentes na atmosfera, mais especificamente, o gás dióxido de carbono; (ii) *elementos submicroscópicos* ou *teóricos* como, por exemplo, os relacionados ao modelo cinético-particular; e (iii) *elementos representacionais* ou *simbólicos* como, por exemplo, representações das fórmulas moleculares da água e dos gases presentes na atmosfera, mais especificamente, o gás dióxido de carbono, assim como do ácido carbônico.

Pode ser que os estudantes não recorram aos níveis macroscópico e submicroscópico. Se recorrerem, acreditamos que será para acrescentar informações com relação à constituição da atmosfera. Espera-se que, neste momento, a maioria

dos estudantes recorra ao nível representacional. Isto porque provavelmente eles já terão o conhecimento prévio sobre transformações químicas e sobre características gerais de ácidos. Portanto, acreditamos que o possível modelo será a representação da reação química que pode ocorrer quando a água da chuva (4% de H_2O) reage com um dos constituintes gasosos presentes na atmosfera (0,039% de CO_2).

Após o término da Atividade 6, o professor deve solicitar que os estudantes socializem seus modelos para a turma e, a partir disso, deve auxiliar a turma na elaboração de um modelo consensual que, neste caso, deve se relacionar à ocorrência do processo de formação do ácido carbônico, conforme representado na equação a seguir: $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + \text{CO}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$.

Ao representar no quadro a equação de formação do ácido carbônico, o professor deve questionar os estudantes sobre o significado do termo “ácido” e retomar o conceito científico curricular da teoria de ácido-base proposta por Svante Arrhenius. Também é interessante que o professor comente aspectos históricos importantes como, por exemplo:

- o fato de a maior contribuição de Svante Arrhenius (1859-1927) para a Ciência ter sido a proposição da Teoria da Dissociação Eletrolítica (juntamente com Friederich Willhelm Ostwald, em 1887), que explicava o comportamento de eletrólitos quando dissolvidos em água. Este trabalho foi agraciado com o Prêmio Nobel de Química em 1903;
- como parte desta teoria mais ampla, Svante Arrhenius e Friederich Willhelm Ostwald classificaram compostos como ácidos e bases. Para eles: ácidos seriam substâncias que liberam íons H^+ quando dissolvidas em água; bases seriam substâncias que liberam OH^- quando dissolvidas em água; e uma reação de neutralização seria a reação entre esses dois íons, produzindo água. Tais ideias significavam uma evolução em relação àquelas de Justus von Liebig, aceitas na época, que só classificavam ácidos como compostos que continham átomo(s) de hidrogênio e que podia(m) ser substituído(s) por átomo(s) de um metal; e
- o modelo de Svante Arrhenius recebeu críticas de químicos importantes da época, como Alfred Werner, que dizia que, fora do contexto da dissociação eletrolítica, tal modelo seria igual ao modelo de Justus von Liebig.

Para saber mais informações sobre o desenvolvimento histórico dos conceitos de ácido e base, o professor pode ler o artigo: SILVA, J. L. P. B., & LIMA, C. M. C. F. (2020). Contribuições do Desenvolvimento Histórico-Cultural dos Conceitos de Ácido e de Base para o Ensino de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação em Ciências*, 20(u), 157–191. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u157191>.

Além disso, ao representar no quadro a equação de formação do ácido carbônico, o professor pode também discutir a limitação do modelo. Isto porque os modelos nos níveis macroscópico e representacional ajudam a representar o processo de formação da chuva e a origem do gás dióxido de carbono, porém não ajudam a explicar como o ácido carbônico é formado. No entanto, o modelo consensual no nível submicroscópico (expresso na equação) ajuda a explicar como o ácido carbônico é formado.

Para finalizar, o professor deve informar aos estudantes que a água da chuva tem pH aproximado de 5,6, para que os estudantes possam validar a conclusão a que eles próprios chegaram ao realizar o experimento e/ou durante a discussão do mesmo: de que a água da chuva é naturalmente ácida.

Atividade 6: Explicando as observações relacionadas à acidez da chuva

Na Atividade anterior, concluímos que a chuva é naturalmente ácida. Esta não é uma ideia muito comum. Pensando nela, responda:

1. O modelo elaborado pelo seu grupo na Atividade 3 é capaz de explicar as observações relacionadas à acidez da água da chuva? **Justifique sua resposta.**
2. Em caso de resposta **afirmativa** à **questão 1**:

Como você convenceria os outros grupos de que o modelo do seu grupo é mais adequado para explicar as observações relacionadas à acidez da água da chuva?

3. Em caso de resposta **negativa** à **questão 1**:

Reformule o modelo do seu grupo de modo que ele consiga explicar as observações relacionadas à acidez da água da chuva. **Expresse** seu novo modelo por escrito e/ou por desenhos.

4. Como o novo modelo de seu grupo é capaz de explicar as observações relacionadas à acidez da água da chuva?

Atividade 7: Parte 1 – Síntese do Momento 2 – Redação de e-mails

Orientações para o Professor: A Atividade tem como objetivo sistematizar o que foi discutido e realizado até a Atividade 6. Essa sistematização corresponde a uma atividade para casa que deverá ser realizada por todos os estudantes. É importante destacar que essa sistematização corresponde a um *e-mail*, endereçado para Genuíno e D. Maria, que deverá conter informações sobre o processo de resolução do caso, ou seja, corresponde a um informativo para os clientes da *startup* acompanharem o *status* do processo de resolução.

Atividade 7: Parte 1 – Escrevendo para Genuíno e D. Maria

Após todas as discussões realizadas nos grupos e com o professor, redija um *e-mail* para Genuíno e D. Maria informando o que já foi realizado pela *startup*. Procure apresentar as atividades que foram realizadas e o que foi inicialmente identificado como causa do problema deles. Lembre-se de tomar cuidado com a linguagem utilizada na redação do *e-mail*, ela precisa ser formal, porém compreensível para os donos da propriedade.

Atividade 7: Parte 2 – Socialização dos e-mails

Orientações para o Professor: O professor deverá promover a socialização dos *e-mails* redigidos em casa pelos estudantes. Ao promover a socialização, o professor poderá destacar trechos importantes nas mensagens que deverão compor o *e-mail* consensual de toda turma.

MOMENTO 3 – ANÁLISE DE NOVAS INFORMAÇÕES E RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

O Momento 3 se inicia com o aprofundamento da compreensão do problema, a partir do fornecimento de mais informações que apresentam o agravamento da acidez da chuva por conta da poluição atmosférica causada pela emissão de gases por indústrias. Nesse sentido, a **Atividade 8** apresenta um novo trecho do caso de Genuíno e D. Maria, que aborda uma nova visita realizada pela *startup* à propriedade. Além desse novo trecho, um texto contendo informações sobre o início da industrialização de Cubatão, mapas de emissão de gases e fragmentos de reportagens que abordam vazamentos acidentais de dióxido de enxofre por indústrias de fertilizantes, compõem o material que deverá ser lido pelos estudantes, com a orientação do professor. *Estima-se que serão necessárias até duas aulas 50 de minutos para realização da Atividade 8.*

A **Atividade 9** corresponde a um experimento que, por questões de segurança, deve ser realizado em laboratório ou em um ambiente aberto. O experimento tem como objetivo simular a chuva ácida e abordar os efeitos dela. *Estima-se que a realização do experimento e sua discussão poderão levar até duas aulas (50 minutos cada).* As duas atividades seguintes, **Atividades 10 e 11** correspondem a duas etapas diferentes da modelagem, teste e avaliação do modelo. *Para realização das atividades de modelagem, estima-se que será necessária uma aula de 50 minutos para cada atividade.*

As propostas de resolução do problema serão produzidas na **Atividade 12**. As equipes deverão se organizar para apresentar, não só as propostas de resolução do problema, mas também explicitar elementos importantes do processo de resolução, como a identificação do problema e suas causas, assim como as justificativas e explicações que embasaram suas análises e escolhas. O processo de apresentação é uma etapa muito importante e deverá compreender tanto o tempo de preparo da apresentação, quanto a apresentação em si. Nesse sentido, *estima-se que serão necessárias cerca de quatro aulas de 50 minutos para a realização da Atividade 12.*

Por fim, a sequência didática se encerra com a sistematização do professor (**Atividade 13**). Essa sistematização deverá abranger tanto os conhecimentos

científicos curriculares quanto o processo de resolução do caso. *Estima-se que para a sistematização será necessária uma aula de 50 minutos.*

Atividade 8: Leitura e Discussão – O que aconteceu com minhas hortênsias?

Orientações para o Professor: A atividade visa contribuir para que os estudantes reflitam sobre as possíveis relações que podem haver entre a implantação de indústrias e as características do ambiente. Nesse sentido, sugere-se discutir com os estudantes: *quais os tipos de poluição podem ser causados por indústrias?*

Para que isso aconteça, uma nova visita da *startup*, apresentada para os estudantes no formato de um novo caso intitulado *O que aconteceu com minhas hortênsias?*, destaca as mudanças ocorridas nas hortênsias de D. Maria que eram inicialmente cor-de-rosa e que, agora estão azuis. Essa alteração, também é notada pelos representantes fora da propriedade, no caminho de volta para a empresa. Porém, não só as hortênsias são foco de atenção, a emissão de fumaça pela chaminé da indústria de fertilizantes localizada nas proximidades também chama a atenção dos representantes da *startup*.

Junto ao caso segue um texto que contém trechos de reportagens que abordam o impacto do processo de industrialização de Cubatão, que chegou a ser conhecida mundialmente como o “Vale da Morte” no início da década de 80. Focando na poluição atmosférica, representações gráficas da época apresentam estimativas da emissão de dióxido de carbono e de óxidos de nitrogênio. Também é apresentado um trecho de uma reportagem que apresenta um fato mais recente, acontecido em 2015, de um vazamento de dióxido de enxofre e suas consequências para as pessoas e o meio ambiente. Além da intoxicação causada pelo gás emitido, a chuva que caiu após vazamento, foi considerada ácida pelos especialistas por conta dos danos causados à vegetação local.

Após a leitura dos materiais e respostas às questões, é importante que fique claro para os estudantes quais são os gases envolvidos no processo e a origem deles. A partir daí, o professor pode estabelecer relações com o caso apresentado na Atividade 1, uma vez que a indústria instalada nas vizinhanças da propriedade é similar à de Cubatão. Além disso, o impacto ambiental causado pelo vazamento de dióxido de enxofre reportado em 2015 (última reportagem do texto), é muito

semelhante ao sentido pela propriedade do Genuíno e D. Maria. Assim, pode-se considerar que os gases emitidos são os mesmos e, portanto, os efeitos dessa poluição também são semelhantes. Em relação à questão 7, pode ser que os alunos não a respondam. É papel do professor, então, utilizá-la para introduzir a próxima atividade.

Atividade 8: O que aconteceu com minhas hortênsias?

D. Maria: Que bom que vieram, queria agradecer pessoalmente vocês pelo serviço. Quando vocês mencionaram no e-mail que a chuva poderia estar danificando as folhas, fez todo o sentido, porque foi justamente quando as chuvas começaram esse ano é que começamos a perder uma parte da produção. As folhas da couve e do almeirão ficaram amareladas e com furinhos.... parecia até que tinha dado bicho.

Genuíno: Pois é, mas aí fiquei pensando por que a chuva está causando todo esse estrago agora?

D. Maria toda agitada interrompe o filho: E tem mais, olha lá na frente, tá vendo minhas hortênsias? Elas também já não são as mesmas, elas eram cor-de-rosa e agora estão bem azuis. Será que é a chuva também?

Representante da startup: Nós vamos fazer uma nova sondagem na propriedade de vocês e vamos verificar o entorno. D. Maria, muito importante a senhora ter mencionado sobre suas hortênsias. Nós vamos pesquisar mais e logo traremos as respostas para vocês.

Na volta para a startup os representantes notaram que ao longo da estrada que margeia a propriedade, as hortênsias também estavam azuis. Então, para investigar um pouco mais, pararam o carro no acostamento da estrada e começaram a caminhar por alguns metros a pé. Rapidamente, mais uma coisa chamou a atenção dos representantes: fumaça branca espessa saindo das chaminés da indústria de fertilizantes. Um dos representantes logo falou:

- O que será que tem nessa fumaça?

Chegando à startup toda a equipe se reuniu e o gerente, depois de ouvir o relato dos representantes, perguntou para todos:

- Vocês conhecem a história da cidade brasileira que ficou mundialmente conhecida como “Vale da Morte”?

Como o gerente não teve resposta, saiu da sala de reuniões e voltou minutos depois com um relatório contendo informações sobre Cubatão.

Após a leitura do caso, todas as equipes deverão se reunir para:

- a. Explicar por que as hortênsias de D. Maria mudaram de cor, passando de cor-de-rosa para azul?
- b. Ler o relatório e responder as questões que foram disponibilizadas pelo gerente da *startup*.

Cubatão: passado e presente do primeiro polo de indústrias pesadas do Brasil
A partir da década de 1950, Cubatão se tornou um importante complexo industrial sidero-petroquímico no Brasil. Os prejuízos foram observados ao longo dos anos, com resultados alarmantes identificados no início da década de 1980. Esse é um caso real, que envolve uma cidade com indústrias semelhantes àquelas próximas à horta de Genuíno e D. Maria.

A seguir são apresentados alguns recortes de duas reportagens extraídas do *site* da BBC Brasil abordando o tema:

Quando a reportagem da BBC visitou Cubatão – o primeiro polo de indústrias pesadas do Brasil – em 1981, o mundo testemunhou os efeitos devastadores da poluição atmosférica.

Fumaça preta e amarela saía das chaminés dia e noite. Na Vila Parisi, bairro residencial de baixa renda próximo a indústrias de petróleo, fertilizantes e metais, nasciam crianças com graves malformações nos membros e no sistema nervoso. Pelo menos 37 crianças nasceram mortas devido a problemas como a anencefalia, a falta de cérebro.

Apontada pela ONU como a cidade “mais poluída do mundo”, Cubatão ficou conhecida globalmente como “Vale da Morte”.

(...)

(COSTA, Camila. Mais de 3 décadas após ‘Vale da Morte’, Cubatão volta a lutar contra alta na poluição. **BBC Brasil**, 10 de março de 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-39204054>> Acesso em: 01 de outubro de 2019.)

Em outra reportagem, moradores de Cubatão, que na época ainda eram crianças, relembram os efeitos da chuva:

No final dos anos 1980, quando o engenheiro ambiental Cleiton Jordão, de 33 anos, ainda era um menino, ele aprendeu o que era a “chuva que morde”.

“Me lembro de começar a chover e eu ver uma criança na Vila Parisi correndo e gritando: ‘É a chuva que morde!’. Eu não sabia o que era. Depois me explicaram que era a chuva ácida”, relembra.

Nessa época, a Vila Parisi, bairro pobre em meio ao complexo industrial de Cubatão, no interior de São Paulo, tornou-se referência mundial nos efeitos da poluição atmosférica no ambiente e na população.

Em 1977, a emissão de componentes químicos tóxicos como monóxido de carbono, benzeno, óxidos de enxofre e nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado (partículas de poluentes suspensas no ar) liberados em Cubatão ultrapassava mil toneladas por dia.

A cidade tinha altos índices de doenças respiratórias e, em 1981, dezenas de crianças nasceram com anencefalia e outras malformações do sistema nervoso. Muitas delas naquele bairro.

A chuva ácida, que era frequente na cidade onde cerca de 20 indústrias pesadas eliminavam gases como óxidos de nitrogênio e de enxofre na atmosfera, não chegava a queimar imediatamente a pele, mas contribuía com a degradação da vegetação e das estruturas da cidade.

“Quando eu era criança, a imagem que mais me chocava era a da Serra do Mar, que era toda aberta e rasgada por causa da poluição”, diz Jordão à BBC Brasil.

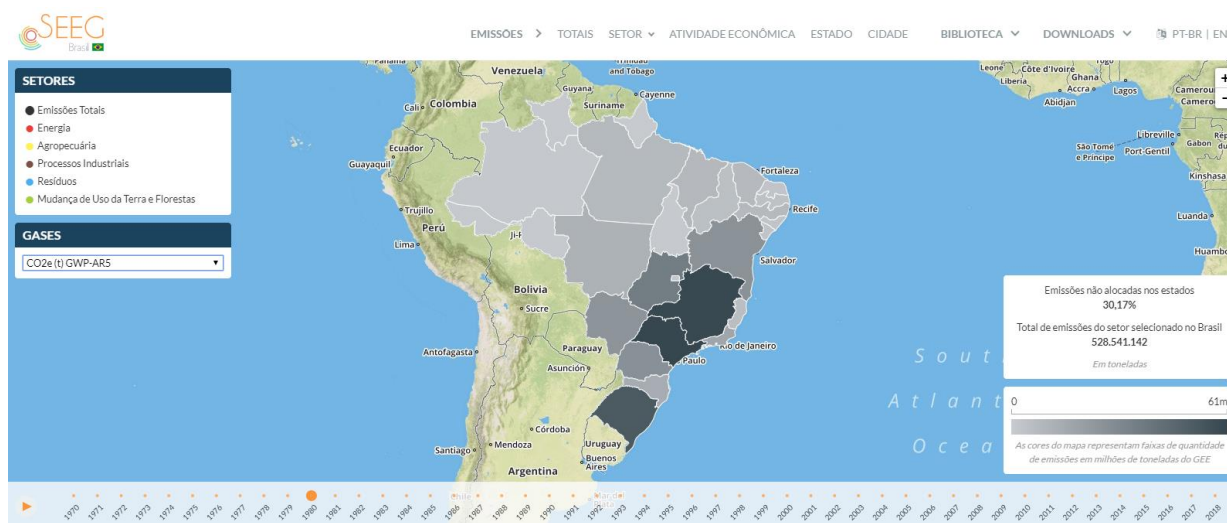
(COSTA, Camila. Eles cresceram sob chuva ácida e hoje lutam como engenheiros pelo meio ambiente. **BBC Brasil**, 10 de março de 2017. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-39186927>> Acesso em: 01 de outubro de 2019.)

No mesmo período em que se observavam os efeitos da industrialização em Cubatão, grandes mudanças ocorriam em todo o Brasil. Tais mudanças geraram emissões de gases poluentes em diversas outras regiões pelo aumento do processo de industrialização, pelas queimadas e desflorestamento, devido à ampliação das cidades, aberturas de rodovias, e à intensificação das atividades agropecuárias.

A Figura 8.1 mostra o índice de emissões de gás dióxido de carbono (CO₂) na década de 1980.

Figura 8.1 – Mapa do Brasil evidenciando índices de emissão de gás dióxido de carbono (CO₂) na década de 1980.



Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/map>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2020

1. A partir desse mapa, quais estados podem ser identificados como aqueles que apresentavam maior emissão de CO₂?
2. Quais as origens da emissão desse gás nesses estados?
3. Apesar de a emissão de CO₂ ser elevada em diversos estados, mesmo onde se sabia que a emissão de CO₂ era semelhante à de Cubatão não foram observados efeitos tão graves quanto naquela cidade. Como isso pode ser explicado?

Uma outra figura, relativa à emissão de gases do tipo óxidos de nitrogênio (NO_x), também em relação à década de 1980, é apresentada a seguir.

Figura 8.2 – Mapa do Brasil evidenciando índices de emissão de gases do tipo óxido de nitrogênio (NO_x) na década de 1980.



Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/map>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2020.

4. Qual estado apresentava maior emissão de gases NO_x naquele ano?
5. Quais as fontes mais prováveis de emissão de gases NO_x ?
6. Qual deve ser o efeito desse gás na água da chuva?
7. Qual(is) outro(s) gas(es) pode(m) ser emitido(s) nos mesmos processos que produzem NO_x ? Por quê?

Os episódios relatados nas duas reportagens acima, que tratam de acontecimentos que impactaram pessoas e o meio ambiente no início dos anos 1980, levaram a imposição de medidas de controle da poluição, que incluíram a instalação de filtros nas chaminés das indústrias. Além dos filtros, o monitoramento constante, realizado por instituições ligadas ao governo (municipal, estadual e federal), foi fundamental para a redução das emissões, que diminuíram ao longo dos anos.

Apesar dos avanços, o monitoramento constante continua sendo fundamental e mesmo com esse acompanhamento, casos como os apresentados abaixo, acendem um sinal de alerta para os impactos que indústrias podem causar a todo ecossistema.

Cetesb confirma que chuva ácida atingiu Cubatão após vazamento – Gás dióxido de enxofre vazou de empresa do Polo Industrial na sexta (23). Cerca de 80 pessoas foram encaminhadas a unidades de saúde da cidade.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) confirmou, nesta quarta-feira (28), que o município de Cubatão (SP) foi atingido por uma chuva ácida após o vazamento tóxico oriundo de uma empresa do Polo Industrial. Os danos ao meio ambiente já começaram a aparecer. Pelo *Twitter*, a prefeita da cidade, Marcia Rosa, já havia manifestado sua preocupação com a situação.

A ruptura em uma tubulação da empresa *Anglo American Fosfatos Brasil* causou o vazamento do gás dióxido de enxofre (SO₂) na sexta-feira (23). Os funcionários foram retirados do local e cerca de 80 pessoas foram encaminhadas ao Pronto Socorro Central e outras unidades de saúde do município com irritação nos olhos, nariz, garganta, mal-estar e tontura. A empresa responsável pelo vazamento foi multada em R\$ 212 mil.

Em algumas áreas da cidade, a vegetação foi alterada e apresenta manchas e perfurações nas folhas. Segundo Murillo Consoli Mecchi, mestre em Biologia Química pela Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), isso é uma evidência da chuva ácida. “O ácido tem a característica de desidratar aos poucos as plantas, vai se espalhando de um ponto a outro, e pode causar perfurações. Já o sol desidrata por igual. São características diferentes”, explica.

(...)

(Cetesb confirma que chuva ácida atingiu Cubatão após vazamento. **G1**

Santos e Região, 29 de janeiro de 2015. Disponível em: <
<https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2015/01/cetesb-confirma-que-chuva-acida-atingiu-cubatao-apos-vazamento.html> > Acesso em: 20 de abril de 2022.)

Vazamento de gás atinge cerca de 100 trabalhadores da Vale.

Um problema no sistema de fornecimento da concessionária de energia, ocorrido na tarde de ontem em Uberaba, provocou a parada geral do Complexo Industrial da Vale Fertilizantes, segundo informou a própria empresa. Ao voltar a operar, por volta das 13h, uma das unidades industriais liberou uma quantidade do gás SO₂ (dióxido de enxofre) para a atmosfera, gás este que ao entrar em contato com a água se transforma em ácido. Cerca de 100 trabalhadores inalaram o gás.

(...) De acordo com a presidente do Sindicato dos Trabalhadores das Indústrias Químicas e Farmacêuticas de Uberaba e Região (Stiquifar), Maria da Graça Carriconde, que esteve no local, mais de 100 trabalhadores inalaram o gás e pelo menos 50 deles precisaram ser atendidos nos hospitais da cidade, o que ainda deve ser investigado. “Esse tipo de vazamento não é comum e é altamente danoso à saúde e à segurança dos trabalhadores”, destaca.

(...) Inúmeras denúncias já foram encaminhadas pelo sindicato ao Ministério do Trabalho, revelando a falta de investimentos em modernização e renovação do complexo, cuja estrutura é antiga, visto que pertencia à Fosfertil. Desde 2013, há uma ação civil pública em andamento, cujo processo tem mais de 6 mil páginas, com pedidos liminares visando coibir problemas como este na fábrica. Uma delas foi concedida recentemente. Uma audiência relativa a este processo está marcada para a próxima quarta-feira (30).

Conforme a assessoria de comunicação da Vale, seguindo as diretrizes de segurança da empresa, houve evacuação imediata da fábrica após o toque do alarme. Todas as pessoas que estavam no complexo portavam uma máscara de fuga e foram direcionadas a lugares seguros, conhecidos como pontos de encontros. A emergência foi completamente controlada por volta das 17h.

(...)

(MACEDO, Thassiana. Vazamento de gás atinge cerca de 100 trabalhadores da Vale. **JM Online**. 23 de setembro de 2015. Disponível em < <https://jmonline.com.br/novo/?noticias,2,cidade,115518> > Acesso em: 01 de maio de 2022.)

Atividade 9: Experimento – Você já pensou nos efeitos da poluição causada por indústrias?

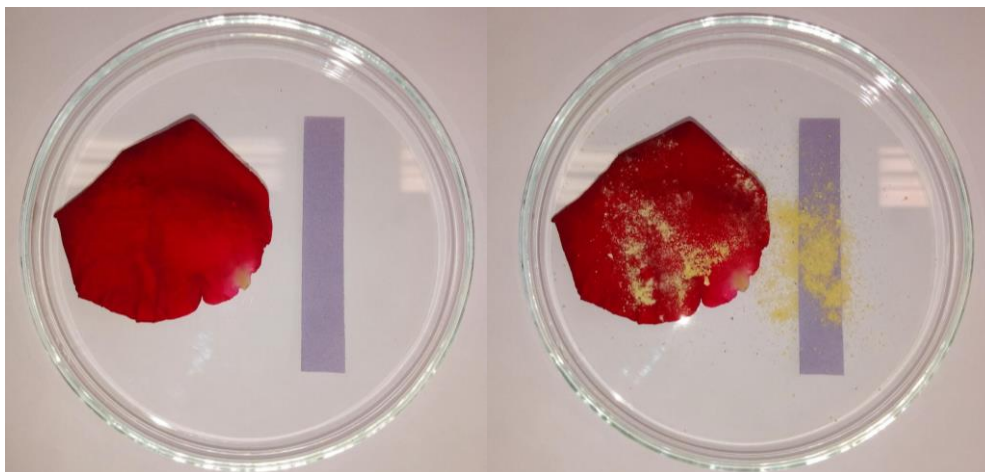
Orientações para o Professor: A Atividade 9 consiste na realização de um experimento que tem como objetivo simular a interação da água da chuva com um dos gases poluentes presentes na atmosfera, o gás dióxido de enxofre, para que os estudantes cheguem à conclusão de que a presença de tal gás contribui para a intensificação da acidez da água da chuva devido à sua reação com a água, que leva à formação de um ácido.

O professor deve discutir os resultados do experimento com o auxílio das questões para que os estudantes cheguem à conclusão de que a presença de gases poluentes (no caso, dióxido de enxofre) contribui para a intensificação da acidez da água da chuva. Essa discussão pode trazer a última reportagem da Atividade 8 para exemplificar em um contexto real, os efeitos da chuva ácida causada pelo dióxido de enxofre liberado pela ruptura da tubulação de uma empresa de fertilizantes de Cubatão. Inclusive, o professor pode enfatizar que os efeitos causados pela chuva ácida nesse acidente, são muito semelhantes aos efeitos que Genuíno e D. Maria perceberam em sua propriedade.

A seguir, estão registrados resultados do experimento que podem ser trabalhados com os estudantes.

Na Figura 9.1 está representado o sistema composto por papel tornassol e pétala de flor antes e após adição de enxofre. Como pode ser observado, não houve alteração no sistema após a adição de enxofre. Os estudantes precisam chegar à conclusão de que apenas o enxofre não causa mudanças na pétala e no papel tornassol.

Figura 9.1 – Sistema composto por papel tornassol e pétala de flor antes e após adição de enxofre.



Fonte: Os autores.

Na Figura 9.2 está representado o sistema composto por papel tornassol, pétala de flor e enxofre após adição de água. Como pode ser observado, não houve alteração no sistema. Os estudantes precisam chegar à conclusão que não há interação entre o enxofre e a água. Isto é importante para que, posteriormente, eles percebam que precisa haver combustão do enxofre para que aconteça uma reação entre o último e a água, provocando mudanças no sistema.

Figura 9.2 – Adição de água ao sistema composto por papel tornassol, pétala de flor e enxofre.

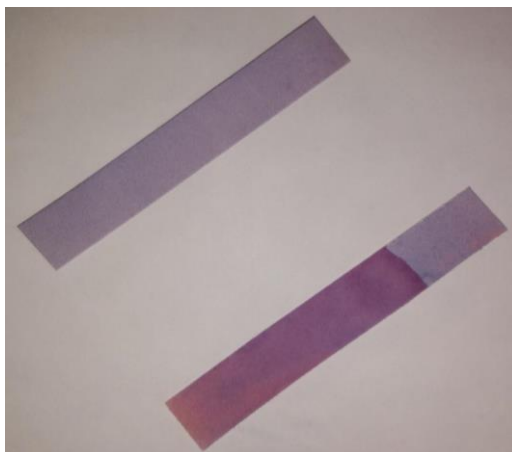


Fonte: Os autores.

A Figura 9.3 mostra o papel tornassol seco e umedecido com água antes da realização do experimento. Como pode ser observado, não houve alteração na coloração do papel (que não a resultante da umidificação do papel). Os estudantes

precisam observar que o meio não estava ácido inicialmente⁸, o que tornará possível fazer uma comparação com a água no final do experimento.

Figura 9.3 – Papel tornassol seco e umedecido com água antes da realização do experimento.



Fonte: Os autores.

A Figura 9.4 mostra o sistema antes (esquerda) e durante (direita) a combustão do enxofre. A Figura 9.5 mostra somente a pétala antes e depois da combustão do enxofre. Como pode ser observado, ocorreram alterações no sistema: a pétala desbotou e o papel tornassol mudou de cor. Os estudantes precisam chegar à conclusão que a combustão do enxofre desencadeou mudanças visuais no sistema. A partir disso, o professor conduzirá a discussão tendo como objetivo que os estudantes identifiquem que houve uma reação química entre água e dióxido de enxofre, que teve como produto um ácido.

Figura 9.4 – Sistema antes (esquerda) e depois (direita) da combustão do enxofre.

⁸ Em alguns casos, pode ser que a água já esteja ligeiramente ácida devido ao processo de tratamento ou alguma contaminação na distribuição dela.



Fonte: Os autores.

Figura 9.5 – Pétala antes (direita) e depois (esquerda) da combustão do enxofre.



Fonte: Os autores.

A Figura 9.6 mostra os resultados da medição do pH do sistema depois da combustão do enxofre. Como pode ser observado, tanto o papel tornassol quanto a fita de pH universal indicam um meio ácido. Essas observações vão auxiliar na conclusão de que houve uma reação química entre água e dióxido de enxofre, produzindo um ácido.

Figura 9.6 – Medição do pH da água depois da combustão do enxofre.



Fonte: Os autores.

O professor deve conduzir a discussão de modo que os estudantes relacionem o experimento com a emissão de gases poluentes na atmosfera, além de relacionar essas emissões com as indústrias presentes no caso. Ao final desta atividade, os estudantes precisam chegar à conclusão de que a interação da água da chuva com gases poluentes presentes na atmosfera contribui para a intensificação de sua acidez.

Atividade 9: Você já pensou nos efeitos da poluição causada por indústrias?

Após pensar sobre os efeitos observados em Cubatão pela poluição causada por indústrias, vamos investigar experimentalmente como esses gases podem contribuir para a acidez da chuva. Assim, teremos mais elementos para responder os questionamentos de Genuíno e D. Maria.

Materiais:

- 1 vidro com tampa (como os de maionese ou café solúvel)
- Enxofre (1 colher de chá cheia)
- 4 fitas de papel tornassol azul (~ 3 cm cada uma)
- Fitas de pH universal
- 2 pétalas de flor colorida
- 1 colher de plástico
- 2 pedaços de fios de cobre (~ 15 cm cada um)
- 1 caixa de fósforos
- 1 lápis ou caneta

Procedimentos:

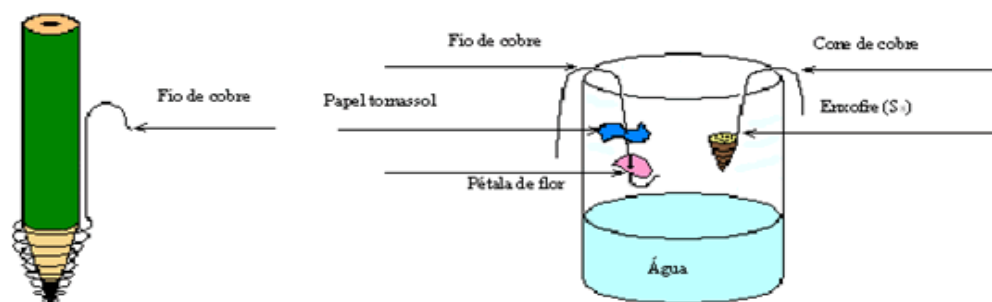
1. Coloque uma fita de papel tornassol e uma pétala de flor na parte de dentro da tampa do vidro. Utilizando a colher de plástico, polvilhe um pouco do enxofre sobre a fita e sobre a pétala (não utilize todo o enxofre, apenas o suficiente para você observar a presença dele no papel tornassol e na pétala de flor). Anote suas observações no quadro de resultados.

2. Coloque cerca de 5 cm de água da torneira dentro do vidro, e com o auxílio da colher (limpa), retire um pouco de água e coloque sobre o enxofre que deve estar sobre o papel tornassol e a pétala de flor. Observe o que acontece com a água em contato com o enxofre. Anote suas observações. Descarte o material sólido contido na tampa e lave-a.

3. Pegue uma nova fita de papel tornassol e a umedeça com água. Anote suas observações.

4. Monte o seguinte esquema: Coloque em uma das extremidades do fio de cobre uma nova pétala e um pouco separado coloque um novo papel tornassol. Na outra extremidade do fio, faça um pequeno gancho e pendure por dentro do vidro que já tem um pouco de água. Tome cuidado para que a pétala ou o papel tornassol não entrem em contato com a água. Pegue o outro fio de cobre e enrole parte deste na ponta do lápis ou da caneta, formando um pequeno cone de cerca de 1 cm. Faça um pequeno gancho na outra ponta do fio, retire a caneta e encha o cone com enxofre em pó, com cuidado (use a colher). Pendure o fio de cobre por dentro do vidro (sem atingir a água). Veja a figura 9.7.

Figura 9.7 – Esquema das montagens do experimento.



Fonte: Os autores.

5. Posicione um fósforo aceso abaixo do cone para iniciar a queima do enxofre e, rapidamente, retire o fósforo e tampe o vidro. Observe se o enxofre está realmente queimando. Aguarde 5 minutos e anote, no quadro de resultados, se houve mudança na pétala e no papel tornassol.

6. Retire os fios de cobre de dentro do vidro rapidamente. Feche o vidro e agite a solução cuidadosamente.

7. Umedeça uma nova fita de papel tornassol no líquido dentro do vidro e anote suas observações. (Informação: O papel tornassol azul é de cor azul em meio neutro e básico e se torna rosa em meio ácido). Além disso, meça o pH da água dentro do vidro, com o auxílio de um pedaço de fita de pH universal, e registre o valor medido.

Quadro de resultados:

Sistemas	Observações
Pétala + enxofre	
Papel tornassol + enxofre	
Pétala + enxofre + água	
Papel tornassol + enxofre + água	
Papel tornassol + água	
Gás + pétala	
Gás + papel tornassol	
Gás + água	

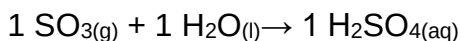
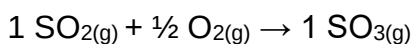
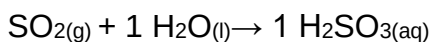
Questões para discussão:

1. Como você explica as diferenças observadas nos sistemas antes e depois da queima do enxofre?
2. O que acontece quando o enxofre é queimado? Represente o fenômeno por meio de uma equação química.
3. Considerando o que você observou em relação ao papel tornassol, o que você pode concluir em relação às características dos sistemas?
4. Quais são as fontes que emitem gases contendo enxofre para a atmosfera?
5. O que a presença desses gases pode provocar na atmosfera? E na água da chuva?
6. Considerando a reação do enxofre observada no experimento, é possível fazer uma relação com o acontecimento relatado em Cubatão no ano de 2015?

Atividade 10: Modelagem – Você já pensou nos efeitos da poluição causada por indústrias na formação da chuva?

Orientações para o Professor: Essa atividade se relaciona à etapa de teste do modelo proposto pelos grupos. Essa atividade permite observar porque especificamente a poluição causada por algumas indústrias que usam combustíveis fósseis e siderúrgicas, liberam gases como óxidos de nitrogênio (NO_x) e de enxofre (SO_x), que causam a intensificação da acidez da água da chuva. Isto difere, por exemplo, do que ocorre em locais que têm muita queimada, mas com produção menor desses gases. Isto contribui para testar o modelo proposto pelos estudantes na Atividade 3 e reformulado na Atividade 6.

Com os dados apresentados no Quadro 10.1, o professor pode discutir a relação entre a maior acidez do ácido, auxiliando os estudantes a concluir que o ácido carbônico (H_2CO_3) é um ácido mais fraco se comparado a ácidos que contêm nitrogênio ou enxofre. O professor pode construir junto dos alunos as equações químicas de formação dos ácidos HNO_3 , HNO_2 , H_2SO_3 e H_2SO_4 .



Atividade 10: Você já pensou nos efeitos da poluição causada por indústrias na formação da chuva?

Vamos considerar agora a acidez de alguns ácidos, o que nos permite identificar quais ácidos são mais fracos ou mais fortes.

Quadro 10.1 – Acidez de alguns ácidos.

Ácido	Classificação segundo sua acidez
H_2CO_3	Fraco
H_2SO_3	Fraco
H_2SO_4	Forte
HNO_2	Moderado
HNO_3	Forte

Fonte: Os autores.

A partir desses dados e das discussões anteriores, responda:

- O modelo elaborado pelo seu grupo na Atividade 3 e reformulado na Atividade 6 é capaz de explicar as observações relacionadas à intensificação da acidez da água da chuva? **Justifique sua resposta.**
- Em caso de resposta **afirmativa** à **Questão 1**:
Como você convenceria os outros grupos de que o modelo do seu grupo é mais adequado para explicar as observações relacionadas à intensificação da acidez da água da chuva?
- Em caso de resposta **negativa** à **Questão 1**:
Reformule o modelo do seu grupo de modo que ele consiga explicar as observações relacionadas à intensificação da acidez da água da chuva. **Expresse** seu novo modelo por escrito e/ou por desenhos.
- Como o novo modelo de seu grupo é capaz de explicar as observações relacionadas à intensificação da acidez da água da chuva?

Atividade 11: Modelagem – Explicando algumas das consequências da poluição de Cubatão

Orientações para o Professor: O objetivo da Atividade é avaliar o modelo reelaborado pelos estudantes (com base no modelo proposto por Arrhenius) durante a Atividade 10. Nesta atividade, os estudantes devem concluir que não é possível

explicar o efeito do gás amônia (neutralização das emissões de gases poluentes que intensificam a acidez da chuva) utilizando os modelos reelaborados durante a Atividade 10, uma vez que o modelo ácido-base proposto por Arrhenius não consegue explicar o comportamento (a basicidade) do gás amônia. A partir disso, o professor pode promover um ambiente favorável para discutir o modelo ácido-base proposto por Brønsted e Lowry, a partir do qual a basicidade do gás amônia pode ser explicada.

Assim espera-se que os estudantes aprendam um novo modelo ácido-base, neste caso, o proposto por Brønsted e Lowry, segundo o qual ácido é uma substância que é capaz de doar um próton e base é uma substância que é capaz de receber um próton. Além disso, o professor pode discutir sobre pares conjugados e seus desdobramentos (por exemplo, força dos ácidos). Para isso, ele pode utilizar o Quadro 11.1, abaixo, que além de apresentar os dados do Quadro 10.1 (Atividade 10), apresenta os valores de K_a dos ácidos apresentados na Atividade 10.

Quadro 11.1 – Valores de K_a de ácidos.

Ácido	Força	K_a
H ₂ CO ₃	Fraco	$4,2 \times 10^{-7}$
H ₂ SO ₃	Fraco	$1,2 \times 10^{-2}$
H ₂ SO ₄	Forte	Muito elevado
HNO ₂	Moderado	$4,5 \times 10^{-4}$
HNO ₃	Forte	Muito elevado

Fonte: Adaptado de KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2012, p. 712.

Atividade 11: Explicando algumas das consequências da poluição de Cubatão

Agora que você já sabe o que intensifica a acidez da chuva, conheceu a história do “vale da morte” e os vazamentos de dióxido de enxofre que ocorreram em 2015 em Cubatão e Uberaba, vamos analisar o processo de emissão dos gases mais detalhadamente.

Nas Atividades 8, 9 e 10, vimos que as emissões dos gases CO₂, NO_x e SO_x são as principais responsáveis pela acidez da água da chuva. Entretanto, paralelamente à emissão destes gases, indústrias siderúrgicas e petroquímicas também emitem gás amônia, NH₃. Este gás exerce um efeito contrário ao dos gases anteriores neutralizando alguns dos ácidos formados por eles.

Questão:

1. O modelo (re)elaborado pelo seu grupo na Atividade 10 é capaz de explicar como o gás amônia pode alterar (talvez até neutralizando) as emissões de gases poluentes que intensificam a acidez da chuva? **Justifique sua resposta.**

Atividade 12: Resolução do problema – O que está acontecendo na propriedade de Genuíno e D. Maria?

Orientações para o Professor: Essa Atividade tem como objetivo aplicar o conhecimento construído (científico curricular e outros como, por exemplo, os de Natureza da Ciência) ao longo da SD na proposição de possíveis soluções para o problema apresentado no início dela. Além disso, a partir dela é possível transitar entre os contextos cotidiano (problema apresentado), científico (conteúdos científicos curriculares) e sociocientífico (aspectos ambientais, econômicos, éticos, sociais etc.). Além dos conhecimentos abordados em sala de aula, pesquisas poderão ser realizadas pelos estudantes, para apoiar o processo de proposição de soluções.

Deve ficar claro para os estudantes que a proposição de soluções para o problema deverá ser realizada em uma apresentação formal para dois públicos distintos, que exigirão diferentes uso da linguagem: para os demais membros da *startup* (cientistas) e para Genuíno e D. Maria. Os estudantes também deverão ser orientados quanto ao conteúdo das apresentações, que deverá ser explícito:

- Descrição do problema: esse item visa retomar o caso de Genuíno e D. Maria, bem como exige dos estudantes a habilidade de sintetizar e explicitar os principais elementos que compõem o caso e que foram considerados relevantes para o processo de compreensão e resolução.
- Apresentação das causas do problema: o impacto da chuva, mais especificamente da chuva ácida formada pela emissão do dióxido de enxofre na empresa de fertilizantes localizada nas proximidades da propriedade. Um elemento que pode ser abordado pelos grupos é que a emissão do dióxido de enxofre pode estar acontecendo por conta de um vazamento, causado por negligência da empresa. Para a apresentação das causas, os estudantes deverão relacionar e aplicar os

conhecimentos que foram construídos ao longo das atividades. O modelo reformulado pelos grupos na Atividade 10 deverá ser apresentado.

- Proposta(s) de solução: a proposta ou propostas de solução deverão ser coerentes com as causas do problema e deverão ser justificáveis. As possíveis soluções poderão envolver propostas que deverão ser executadas por Genuíno e D. Maria, pela empresa que está emitindo o referido gás (não apenas) e também pelos órgãos fiscalizadores do município.

Atividade 12: O que está acontecendo na propriedade de Genuíno e D. Maria?

Após várias semanas de muito trabalho de pesquisa, estudo e discussões na startup, os grupos devem apresentar, tanto para a gerência da startup quanto para Genuíno e D. Maria, o que está acontecendo na propriedade e também propostas para solucionar o problema. Nessas apresentações, cada grupo deverá se organizar para:

- Descrever, de forma sintética, qual é o problema de Genuíno e D. Maria.
- Explicar, utilizando todo o conhecimento construído nas atividades (experimentos, leituras, elaboração de modelos), o que está causando o problema na propriedade rural.
- Apresentar e justificar as propostas de solução para o problema.

Atividade 13: Encerramento da Sequência Didática – Sistematização dos conhecimentos que circularam durante as Atividades

Orientações para o Professor: Para finalizar a SD, o professor deverá fazer uma síntese dos conteúdos científicos curriculares abordados (como conceitos de acidez, basicidade, pH, teorias ácido-base, poluição atmosférica, chuva ácida) e também do processo de resolução vivenciado pelos grupos. Sugere-se que o professor destaque a importância das atividades de modelagem para a construção das novas compreensões sobre a chuva, sua constituição e com isso seu impacto no meio ambiente.

O professor também pode destacar a importância das discussões realizadas entre os membros do grupo, os estudos individuais e também as socializações com toda a turma.

PARA SABER MAIS

Sobre outros gases presentes na atmosfera que podem reagir com a água da chuva:

Caso os estudantes questionem por que a água não reage com os outros gases presentes na atmosfera e o professor não queira atribuir isto apenas à baixa reatividade desses gases sem entrar em detalhes, ele pode fazer uma discussão utilizando as informações apresentadas a seguir:

Caso os estudantes façam o seguinte questionamento:

Por que a água da chuva reage com o gás dióxido de carbono e não com os outros gases presentes na atmosfera (como, por exemplo, gás nitrogênio, gás oxigênio e gás argônio), visto que o mesmo está presente na atmosfera em menor porcentagem?

Caso os estudantes não façam tal questionamento, ele pode ser feito pelo próprio professor. Para responder ao questionamento, o professor deve recorrer às informações sobre a reatividade dos outros gases presentes na atmosfera e justificativas de porque a água da chuva reage com o gás dióxido de carbono e não com os demais gases.

Justificativa 1 (demais gases) – A interação da água da chuva com os demais gases não levaria à formação de ácidos.

Justificativa 2 (gás nitrogênio) – Os estudantes podem pensar que seria possível formar os ácidos nitroso (HNO_2) e nítrico (HNO_3), conforme representado na equação: $2\text{NO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{HNO}_{2(aq)} + \text{HNO}_{3(aq)}$. Ao apresentar essa equação, o professor mostra que o gás nitrogênio (N_2), sozinho, não basta e, por isso, é necessária a presença do dióxido de nitrogênio (NO_2).

Justificativa 3 (gás oxigênio) – Os estudantes podem pensar que seria possível formar algum ácido. O professor pode informar que o gás oxigênio (O_2) sozinho não basta. Mas, caso o gás oxigênio (O_2) reaja com o gás nitrogênio (N_2), o produto dessa reação, conforme representado na equação: $\text{N}_{2(g)} + 2 \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2 \text{NO}_{2(g)}$, seria o gás

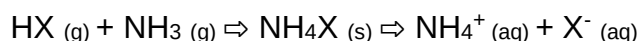
dióxido de nitrogênio (NO₂). Tal produto (NO₂) em contato com a água na fase líquida (H₂O), pode formar os ácidos nitroso (HNO₂) e nítrico (HNO₃), conforme representado na equação: $2 \text{NO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{HNO}_{2(aq)} + \text{HNO}_{3(aq)}$. Porém, o gás nitrogênio (N₂) é pouco reativo e esta reação não aconteceria.

Justificativa 4 (gás argônio) – Achamos improvável que os estudantes pensem que seria possível formar algum ácido com o gás argônio (Ar), pois eles, neste momento, já sabem que se trata de um gás nobre e, portanto, não reage facilmente.

Sobre a ação da amônia⁹:

A amônia atmosférica desempenha um papel de fundamental importância para a Química Ambiental, pois trata-se de um composto capaz de tamponar, em determinada extensão, a acidez provocada por gases e partículas. Uma parte substancial dos ácidos atmosféricos gerados pela oxidação de SO_x e NO_x é neutralizada pela amônia e os produtos finais são os sais de amônio, na forma de material particulado. Reações de neutralização parecem ser, juntamente com as deposições seca e úmida, os meios de remoção mais comuns dos compostos ácidos na atmosfera.

Como a amônia é muito solúvel em água, dissolve-se facilmente nas gotículas formadoras das nuvens e, além de aumentar seu pH, promove a conversão de espécies ácidas gasosas em aerossóis de sulfato e nitrato. Os aerossóis contendo íon amônio formam a fração de menor tamanho do material particulado atmosférico total. Algumas estimativas apontam que a amônia emitida anualmente para a atmosfera pode neutralizar até 32% da produção anual de H⁺ proveniente de fontes naturais e antropogênicas. A reação, conforme representada na equação a seguir, descreve a representação geral desses processos de neutralização:



⁹ FELIX, E., & CARDOSO, A. (2004). Amônia (NH₃) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000100022> Acesso em: 16 de setembro de 2019.