

Universidade Estadual Paulista  
Instituto de Química de Araraquara

Guilherme Salvador Peres Neto

*UMA PROPOSTA DE UNIDADE DIDÁTICA MULTISTRATÉGICA PARA ENSINAR  
SOBRE POLUIÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS NO ENSINO DE  
QUÍMICA AMBIENTAL NA PERSPECTIVA DA CIÊNCIA-TECNOLOGIA-  
SOCIEDADE-AMBIENTE*

Araraquara

2022

GUILHERME SALVADOR PERES NETO

*UMA PROPOSTA DE UNIDADE DIDÁTICA MULTISTRATÉGICA PARA ENSINAR  
SOBRE POLUIÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS NO ENSINO DE  
QUÍMICA AMBIENTAL NA PERSPECTIVA DA CIÊNCIA-TECNOLOGIA-  
SOCIEDADE-AMBIENTE*

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Instituto de Química de Araraquara, Universidade  
Estadual Paulista, como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de Licenciado em Química

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Denise Bevilaqua

Coorientador: Prof. Dr. Vagner Antonio Moralles

Araraquara

2022

P437p Peres Neto, Guilherme Salvador  
Uma proposta de Unidade Didática Multiestratégica para ensinar sobre poluição e recuperação de metais pesados no ensino de química ambiental na perspectiva da Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente / Guilherme Salvador  
Peres Neto. -- Araraquara, 2022  
146 f. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura - Química) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Química, Araraquara  
Orientadora: Denise Bevilaqua  
Coorientador: Vagner Antonio Moralles

1. Planejamento educacional. 2. Didática. 3. Química ambiental. 4. Metais pesados. 5. Pedagogia crítica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Química, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Guilherme Salvador Peres Neto

**UMA PROPOSTA DE UNIDADE DIDÁTICA MULTIESTRATÉGICA PARA ENSINAR  
SOBRE POLUIÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS NO ENSINO DE  
QUÍMICA AMBIENTAL NA PERSPECTIVA DA CIÊNCIA-TECNOLOGIA-  
SOCIEDADE-AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Universidade Estadual  
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Licenciado em Química

Araraquara, 16 de dezembro de 2022

**Banca examinadora**

DENISE  
BEVILAQUA:08134772803

Assinado de forma digital por  
DENISE BEVILAQUA:08134772803  
Dados: 2023.01.03 15:04:44 -03'00'

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Denise Bevilaqua

Documento assinado digitalmente  
 MILENA ALVES  
Data: 27/12/2022 07:31:43-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Ma. Milena Alves

Documento assinado digitalmente  
 CINTIA DUARTE DE FREITAS MILAGRE  
Data: 28/12/2022 18:50:36-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cintia Duarte de Freitas Milagre

## **DADOS CURRICULARES**

### **IDENTIFICAÇÃO**

**Nome:** Guilherme Salvador Peres Neto

**Nome em citações:** NETO, G. S. P.

### **FORMAÇÃO ACADÊMICA/ TITULAÇÃO**

Graduação em Licenciatura em Química - Instituto de Química UNESP - Araraquara/SP

### **ATIVIDADES ACADÊMICAS RELEVANTES**

Programa de Educação Tutorial (PET). 2018 - 2020.

Iniciação Científica (Fapesp). 2020 - 2022.

XXXII Congresso de Iniciação Científica da Unesp - 1ª Fase. 2020. (Apresentação de painel)

XXXII Congresso de Iniciação Científica da Unesp - 2ª Fase. 2020. (Apresentação de painel)

28º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP - 1ª Etapa. 2020. (Apresentação de painel)

28º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP - Etapa Internacional. 2020. (Apresentação de painel)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, por terem me concedido a vida e pelo amor e suporte imensurável que me deram para que eu pudesse estar aqui!

Dedico este trabalho também aos meus avós paternos, não mais entre nós, mas que foram as pessoas mais importantes da minha vida!

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço minha família por serem um dos pilares da minha vida, me mantendo firme e com foco.*

*Agradeço minha namorada Ariane por todo suporte, amor, afeto e preocupação!*

*Agradeço imensamente minha orientadora Denise, desde 2018 sendo mais do que uma professora!*

*Agradeço ao Instituto de Química da Unesp Araraquara e toda comunidade desse, pela contribuição para minha formação acadêmica e social!*

*Aos meus colegas de curso que fizeram os momentos aqui serem mais leves e felizes.*

*Agradeço grandemente meu coorientador Vagner, sua competência, dedicação e suporte foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.*

*Faça o teu melhor, na condição que você tem,  
enquanto você não tem condições melhores, para  
fazer melhor ainda!*

*Mário Sergio Cortella.*

## RESUMO

A partir do período Antropoceno o homem passou a impactar negativamente o meio ambiente, provocando mudanças climáticas, poluição das águas e do solo, uma série de desastres naturais, extinção de espécies animais e vegetais, entre outros. Nesse contexto, a Química Ambiental se apresenta como uma importante ferramenta para compreender tais transformações e propor caminhos para mitigação dos impactos causados pelas ações humanas na Terra. A educação ambiental, portanto, se apresenta como uma importante vertente para a formação de cidadãos críticos e capazes de interferir em sua realidade. O que se busca é uma sociedade preocupada com o desenvolvimento sustentável, com vistas a manter um meio ambiente saudável para as gerações futuras. Dentro das áreas de interesse da Química Ambiental destaca-se, nesta proposta didática, o tema da poluição causada por metais pesados. Essa temática foi articulada com os demais elementos do planejamento didático-pedagógico de acordo com as premissas teórico-metodológicas da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente e desenvolvida por meio do modelo formativo de implementação de uma Unidade Didática Multiestratégica.

**Palavras-chave:** Planejamento didático-pedagógico; Unidade Didática Multiestratégica; Química Ambiental; Metais pesados; Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente.

## **ABSTRACT**

From the Anthropocene period man began to negatively impact the environment, causing climate change, water and soil pollution, a series of natural disasters, extinction of animal and plant species, and others. With this context, Environmental Chemistry presents itself as an important tool to understand both transformations and promote ways to mitigate the impacts caused by human actions on Earth. Therefore, Environmental Education emerges as an important strand for the formation of critical citizens capable of interfering in your reality. What is desired is a society concerned with sustainable development, with a view to maintaining a healthy environment for future generations. Within the areas of interest of Environmental Chemistry, the topic of pollution caused by heavy metals stands out in this didactic proposal. This theme was articulated with the other elements of the didactic-pedagogical planning according to the theoretical-methodological premises of the Science-Technology-Society-Environment approach and developed through the formative model of implementation of a Multistrategic Didactic Unit.

**Keywords:** Didactic-pedagogical planning; Multistrategic Didactic Unit; Environmental Chemistry; Heavy metal; Science-Technology-Society-Environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo de implementação de uma UDM. ....	25
Figura 2. Sistematização do planejamento de uma Unidade Didática Multiestratégica. ....	26
Figura 3. Focos de interesse da Química. ....	29
Figura 4. Aspectos do conhecimento químico. ....	30
Figura 5. Caráter bidimensional da Taxonomia de Bloom. ....	34
Figura 6. Estrutura do processo cognitivo na taxonomia de Bloom. ....	35
Figura 7. Atividades envolvidas na segunda etapa de implementação de uma UDM. ....	37
Figura 8. Temáticas de interesse da Química Ambiental. ....	42
Figura 9. Caminho das SD na perspectiva do ensino CTSA. ....	47
Figura 10. Sequência de passos a ser adotada no Jigsaw. ....	51
Figura 11. Rio Tinto na Espanha. ....	67
Figura 12. Formação de uma substância insolúvel. Iodeto de chumbo(II), $PbI_2$ - sólido insolúvel amarelo. ....	68
Figura 13. Esta peça de chumbo foi achatada por um martelo, porém os cristais cor de laranja do composto iônico óxido de Chumbo (II) se quebraram. ....	69
Figura 14. (a) Solução saturada de acetato de zinco em água. (b) Quando íons acetato são adicionados, na forma de um cristal de acetato de sódio sólido na espátula mostrada na parte (a), a solubilidade do acetato de zinco é reduzida significativamente e mais acetato de zinco precipita. ....	70
Figura 15. Quando uma pequena quantidade de glicose é agitada em 100 mL de água toda a glicose se dissolve (à esquerda). Quando uma grande quantidade de glicose é adicionada, parte dela não se dissolve e a solução fica saturada de glicose (à direita). ....	71
Figura 16. Fontes não pontuais de poluição das águas. ....	73
Figura 17. Absorção da radiação eletromagnética na atmosfera. ....	75
Figura 18. Modelos explicativos dos processos e compostos químicos atmosféricos envolvidos na formação da deposição ácida. ....	77
Figura 19. Modelo explicativo da irradiação da radiação infravermelha terrestre por gases do efeito estufa. ....	79
Figura 20. Representação da grande circulação oceânica, com a cor clara representando temperaturas mais elevadas na superfície das águas, enquanto a cor escura representa a circulação profunda, com temperaturas mais baixas. ....	81
Figura 21. Possíveis rotas de fármacos no meio ambiente. ....	82
Figura 22. Regras de solubilidade de alguns compostos inorgânicos. ....	98
Figura 23. Quando os cátions de um metal são deslocados por uma martelada, os elétrons móveis podem responder imediatamente e seguir os cátions até suas novas posições, o que torna o metal maleável. ....	101
Figura 24. Retículo cristalino do NaCl. ....	102
Figura 25. a) Estrutura cristalina cúbica de empacotamento compacto. (b) estrutura cristalina hexagonal e empacotamento compacto. ....	103

Figura 26. Variação, com a temperatura, das solubilidades de seis substâncias em água. ....	104
Figura 27. Estrutura do Estearato de sódio, com sua “cabeça” polar em vermelho e sua cauda apolar em branco. ....	105
Figura 28. Esquema para representar a interação intermolecular dipolo-dipolo. ....	105
Figura 29. Esquema da interação intermolecular dipolo induzido - dipolo induzido. ....	106
Figura 30. Esquema da ligação de hidrogênio em átomos de F, O e N. ....	107
Figura 31. A intersecção entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e o aluno. ....	120
Figura 32. Sequência da estrutura dos materiais de CTS. ....	125
Figura 33. Esquema para introdução da seringa com $ZnCl_2$ no reator. ....	144

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Objetivos e procedimentos das tarefas para o planejamento de uma UDM. .....	26
Quadro 2. Matriz da tarefa 1 - Contexto de atuação. ....	28
Quadro 3. Matriz da tarefa 2 - análise Científico-Epistemológica.....	30
Quadro 4. Matriz da tarefa 3 - Análise didático-pedagógica.....	32
Quadro 5. Matriz da tarefa 4 - Abordagem metodológica.....	33
Quadro 6. Recursos e materiais de aprendizagem. ....	36
Quadro 7. Objetivos geral e específicos da UDM.....	44
Quadro 8. Dimensões do conhecimento e do processo cognitivo de cada objetivo proposto. ....	46
Quadro 9. Categorias e descrições da classificação do ensino CTS. ....	122
Quadro 10. Solubilidade das substâncias em água. ....	138
Quadro 11. Solubilidades das substâncias em heptano.....	139

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fluxos globais de energia.....	88
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABRACO = Associação Brasileira de Saúde Coletiva

AMB = Divisão da Química Ambiental

BRS = Bactérias Redutoras de Sulfato

CFCs = Clorofluorcarbonetos

CTS = Ciência-Tecnologia-Sociedade

CTSA = Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente

DDT = Diclorodifeniltricloroetano

ETEs = Estações de Tratamento de Esgoto

GV/GO = Grupo de Verbalização/Grupo de Observação

OMS = Organização Mundial da Saúde

ONU = Organização das Nações Unidas

PCBs = Bifenila Policlorada

PET = Programa de Educação Tutorial

RIPEQ = Rede de Inovação e Pesquisa em Ensino de Química

SBQ = Sociedade Brasileira de Química

SEMA = Secretaria do Meio Ambiente

SUS = Sistema Único de Saúde

TDIC = Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

UDM = Unidade Didática Multiestratégica

UNESP = Universidade Estadual Paulista

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1 A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO DIDÁTICO-PEDAGÓGICO.....	18
1.2 A IMPORTÂNCIA DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL .....	19
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 O MODELO DE UNIDADES DIDÁTICAS MULTIESTRATÉGICAS .....	24
3.1.1 <i>Primeira etapa da implementação da UDM: O planejamento didático-pedagógico</i> .....	26
3.1.2 <i>Segunda etapa da implementação da UDM: intervenção didático-pedagógica</i> .....	36
3.1.3 <i>Terceira etapa de implementação da UDM: replanejamento da UDM</i> .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1 FUNDAMENTAÇÃO DAS ESCOLHAS REALIZADAS NAS TAREFAS 1, 2, 3 E 4.....	39
4.2 ESTRUTURAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS PROPOSTAS PARA UDM (TAREFAS 5, 6 E 7).....	44
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE A– UNIDADE DIDÁTICA MULTIESTRATÉGICA .....</b>	<b>63</b>

## MEMORIAL ACADÊMICO

Acredito que para iniciar a história da minha trajetória acadêmica, preciso falar sobre meu avô que, sem dúvidas, foi uma das pessoas mais influentes em minha vida. Autodidata, afastou-se da escola para trabalhar ainda na 4ª série e foi militar no período de ditadura. Após sua vinda para Araraquara começou a trabalhar como pedreiro (faz-tudo).

Meu avô era apaixonado por livros, passava entre oito e doze horas por dia lendo e, desde que me lembro, contava-me histórias sobre os livros que lia, sobre as fábulas de Esopo, Sócrates, Platão, etc. Isso me levou a ler desde cedo e gostar de aprender coisas novas, das mais simples até as mais complexas.

Além disso, meu avô gostava de animais. Íamos à fazenda de um amigo onde pegávamos frutas direto do pé e eu brincava no meio do mato. Ele também cuidava da horta e gostava de pescar, atividades que eu sempre o acompanhava. Acredito que essas influências me levaram a ter uma proximidade grande com a natureza, não à toa, meus pais sempre acharam que eu seria biólogo.

No ensino fundamental, dentre as várias ideias de curso que passaram pela minha cabeça (História, odontologia e engenharia mecânica), a Química veio para ficar. Já na primeira aula, meu professor André, muito fã de *Star Wars* me escolheu para ser seu Padawan aquele ano, palavra essa que significa aprendiz/aluno, segundo os filmes. Meu papel era auxiliá-lo nas aulas, buscar materiais e organizar o laboratório. No último ano do colegial, participei do Ciência nas Férias, evento promovido pelo Programa de Educação Tutorial (PET) Química para alunos do Ensino Médio, no qual são dadas palestras, aulas e algumas atividades. A aula desta edição sobre carboidratos foi promovida pela professora Dra. Denise Bevilaqua. Ver como era uma aula na universidade e os conceitos que eu poderia aprender, me fizeram ter certeza que queria estudar no Instituto de Química.

Para o vestibular minha ideia era prestar Engenharia Química, entretanto, meu pai não foi simpatizante dessa ideia. Segundo ele, eu não poderia cursar engenharia por se tratar de um curso integral, no qual eu não teria tempo para trabalhar. Para meu pai o trabalho era a coisa mais importante e não o fazer, desde cedo, seria uma afronta.

Com isso, o ingresso no curso de licenciatura foi um pouco frustrante para mim. Contudo, quando mais novo sempre pensava em ser pesquisador e o primeiro doutor da família, portanto, a ideia de ser professor universitário sempre se mostrou uma possibilidade. Acredito, também, que devemos olhar o lado bom das coisas e a licenciatura sem dúvidas me trouxe ensinamentos que, provavelmente, eu não teria em outros cursos. Além disso, por se tratar de um curso noturno, pude utilizar mais tempo em atividades extracurriculares que acrescentaram muito na minha vida pessoal e profissional.

No segundo ano de graduação, após minha reprovação em cálculo II, percebi que estava na hora de levar as coisas mais a sério. Desde então, comecei a participar mais da universidade e não somente frequentar as aulas. Entrando como bolsista do PET e sendo tutorado pela professora Denise, acabei me aproximando e criando um vínculo com a professora. Após quase 2 anos no PET novas frustrações vieram e resolvi tentar uma bolsa de IC, sendo orientado pela professora. Meus pais me apoiaram e ficaram extremamente exultantes com a ideia de fazer uma pesquisa. O projeto estava inserido na área ambiental, focado no tratamento de águas residuárias. Durante os dois anos como bolsista me senti realizado em saber que estava propondo uma estratégia que poderia de fato levar a mitigação de impactos ambientais causados pelo homem.

Para o projeto de TCC, vimos que algumas noções de educação ambiental faltavam em alunos e inclusive professores. Para reverter isso, conscientizar e ajudar na educação desses alunos, escolhemos trabalhar com a temática da poluição por metais pesados e a possibilidade de recuperá-los. O desenvolvimento de uma Unidade Didática Multiestratégia (UDM) e o ensino por meio da Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) vieram como ideias do orientador que faz parte do projeto, que propôs uma possível unidade didática para o ensino superior. Acredito que a educação ambiental seja de grande importância, vide as mudanças climáticas, desastres naturais, contaminações e desaparecimento de espécies que se agravam a cada ano. Tratando-se de uma universidade de renome como a Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho (UNESP), é importante que os alunos aqui formados apresentem um domínio sobre esse tipo de conteúdo. Como químicos e/ou

professores, esses poderão gerar mudanças que levem a sociedade à uma melhora nas questões socioambientais. Desta forma, espero que meu trabalho possa gerar uma conscientização e a formação de profissionais e alunos críticos perante os problemas ambientais que enfrentamos.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 A importância do planejamento didático-pedagógico

O desenvolvimento do planejamento didático-pedagógico pressupõe uma previsão, ainda que rudimentar, dos acontecimentos ligados às complexas relações de ensino e aprendizagem que emergem do ambiente de sala de aula. O professor se propõe a planejar ações e procedimentos, buscando atingir seus objetivos de ensino, que devem ser explícitos e declarados (HAYDT, 2001). Ainda para Haydt (2001, p. 73) planejar é:

[...] analisar as características da clientela (aspirações, necessidades e possibilidades dos alunos); refletir sobre os recursos disponíveis; definir os objetivos educacionais considerados mais adequados para a clientela em questão; selecionar e estruturar os conteúdos a serem assimilados, distribuindo-os ao longo do tempo disponível para seu desenvolvimento; prever e organizar os procedimentos do professor, bem como as atividades e experiências de construção do conhecimento consideradas mais adequadas para a consecução dos objetivos estabelecidos; prever e escolher os recursos de ensino mais adequados para estimular a participação dos alunos nas atividades de aprendizagem; e prever os procedimentos de avaliação mais condizentes com os objetivos propostos.

Um bom planejamento deve: *I)* apresentar coerência e articulação entre os objetivos de ensino, os conteúdos, a abordagem metodológica, as estratégias didáticas, a avaliação, os materiais e recursos de ensino; *II)* ter continuidade e sequência, garantindo um trabalho integral do começo ao fim; *III)* ter flexibilidade, isto é, deve ser possível realizar mudanças durante a implementação, desde que, satisfaçam os interesses e necessidades dos alunos e apresente estreita relação com a abordagem metodológica; *IV)* ser objetivo e funcional, os conhecimentos que serão trabalhados devem estar de acordo com as necessidades e interesses dos alunos, bem como enquadrados no tempo, recursos e estrutura disponíveis; *V)* ter precisão e clareza, transmitindo uma linguagem clara e simples; *VI)* estar articulado com as regulamentações oficiais do ensino nas diferentes esferas educacionais (HEYDT, 2001; MORALLES, 2021).

Uma das possibilidades de planejamento didático-pedagógico, principalmente na área de ensino de química, é o modelo de Unidades Didáticas Multiestratégicas (UDM). A UDM impõe: um planejamento intimamente articulado com a abordagem metodológica, entendida aqui como um eixo axial que une e ressignifica os elementos do planejamento; uma estrutura multiestratégica que busque abranger a natureza dos

conteúdos da química e os diferentes modos de aprender dos alunos; e uma estreita relação com planejamento escolar e educacional (ALVES; BEGO, 2020; BEGO, 2016; BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2020; MORALLES, 2021). Uma explicação mais minuciosa sobre os princípios e as seções do modelo da UDM pode ser encontrada na seção 3.1.

## 1.2 A importância da educação ambiental

A UDM proposta neste trabalho de conclusão de curso enfatizou a temática da química ambiental. O foco de interesse se justifica nas interferências negativas da ação humana no meio ambiente. O homem tem e teve uma grande influência nas mudanças climáticas, desastres naturais e extinções de espécies ao longo da história. Um, dentre os grandes problemas enfrentados, é a contaminação por metais pesados. Assim, os impactos causados pela poluição por metais pesados e as possibilidades de mitigação e recuperação são aspectos centrais explorados no planejamento desenvolvido nesse trabalho (Anexo A).

Os metais pesados apresentam grande importância socioeconômica, estão presentes em construções, equipamentos eletrônicos, automóveis, celulares, entre outros. No entanto, o tema metais pesados, muitas vezes, é discutido de forma superficial e errônea em sala de aula, articulando apenas uma vertente de que esses são indubitavelmente tóxicos e prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (LIMA; MARÇON, 2011). Destaca-se que alguns metais - como o manganês, cálcio, cobalto e molibdênio - desempenham funções vitais nos organismos animais e vegetais, participando de processos metabólicos essenciais para a produção de energia. Nesse sentido para Lima e Marçon (2011, p. 202): “[...] o ensino de química deve contribuir para uma visão mais ampla do conhecimento científico, de forma a melhorar a compreensão do mundo e contribuir para a formação da cidadania dos alunos”. Portanto, uma educação que possa trazer reflexões e esclarecimentos sobre questões ambientais é de extrema importância. Com essa finalidade, defende-se a importância da educação ambiental em todos os níveis de ensino. Nas palavras de Medeiros e Mendonça (2011, p. 15):

[...] através da educação ambiental é que se chegará ao desenvolvimento sustentável, e se perceberá que é possível haver a proteção ambiental lado a lado com o desenvolvimento. Superando o

analfabetismo ambiental, percebe-se que não é necessária a dilapidação dos recursos naturais para haver desenvolvimento, e que deve haver respeito ao meio e que este é finito. Portanto para se ter um ambiente desejado é necessário que o indivíduo aprenda a sobreviver bem com o meio ambiente, equilibrando as suas necessidades de modo que não venham lhe faltar subsídios no futuro. Um local onde todos os indivíduos se preocupam com a limpeza, descartando o lixo no recipiente correto para reutilização do mesmo para o mundo, ou seja, você usa, descarta e empresas responsáveis reciclam e outro indivíduo usa, descarta e começa o ciclo novamente.

A relevância da educação ambiental vai além da simples aprendizagem de conteúdo. Por meio desta, pode-se auxiliar na formação de cidadãos críticos, que repensam suas atitudes e buscam alternativas para manter o meio ambiente íntegro para gerações futuras. A presente proposta didática surge como uma inovação em relação aos planejamentos baseados na UDM, por ser inédito na temática de poluição e recuperação de metais pesados, contribuindo para pesquisas futuras dentro dessa temática.

Para contemplar os aspectos citados, a abordagem metodológica utilizada para planejar a UDM foi a Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA). Essa abordagem busca associar esses 4 tópicos refletindo na formação de cidadãos ativos e que reconhecem seus papéis dentro da sociedade, e que buscam o bem-estar social. A abordagem CTSA está descrita com mais detalhes na tarefa 4 da UDM **“Química ambiental: poluição e recuperação de metais pesados”** (Apêndice A).

Corroborando com a abordagem CTSA, as sequências didáticas (SD) foram construídas com o objetivo de mobilizar os alunos em relação à necessidade de uma participação cidadã ativa, favorecendo subsídios para o entendimento da ciência como uma construção humana, histórica e com fortes influências sociais. Dentro das possibilidades para ensinar o conteúdo na CTSA, como trazido por Santos e Schnetzler (2010) a seguinte abordagem foi usada: *I*) introdução de uma questão social; *II*) analisa-se uma tecnologia relacionada ao tema social; *III*) o conteúdo científico é definido em função do problema social e da tecnologia; *IV*) utiliza-se o conteúdo científico para compreender a tecnologia; *V*) a questão social, abordada no início do processo, é novamente discutida e resolvida. Destaca-se que cada SD foi construída como um momento da abordagem em questão, inclusive a resolução da problemática inicial. A problemática evidenciada foi sobre os problemas causados pela mineração, somados aos impactos causados pelos metais na saúde humana e no meio ambiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desta pesquisa foi propor para o Ensino Superior uma Unidade Didática Multiestratégica sobre poluição por metais pesados na perspectiva da Química Ambiental, utilizando como abordagem metodológica a Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA).

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para operacionalizar a execução do objetivo geral de pesquisa desdobrou-se esse em três objetivos específicos:

I) Organizar um planejamento didático-pedagógico, fundamentado no modelo formativo de implementação de uma UDM, para contextualizar e ensinar a química ambiental, por meio de discussões sobre poluição e recuperação de metais pesados;

II) Propor quais elementos do planejamento, dentro do rol de possibilidades, são mais adequados para se desenvolver uma UDM com foco em poluição e recuperação de metais pesados;

III) Elaborar atividades que envolvam trabalhar o processo de ensino e aprendizagem utilizando diferentes estratégias didáticas sobre o tema e que tenha articulação com a abordagem metodológica.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 O modelo de Unidades Didáticas Multiestratégicas

As primeiras discussões sobre modelo formativo de implementação de uma Unidade Didática Multiestratégica (UDM), na literatura, aparecem nos artigos de Bego (2016) e de Bego e Sgarbosa (2016). A proposta está pautada em um planejamento didático-pedagógico refletido, flexível e autoral. Como afirmam Bego, Ferrarini e Morales (2021, p. 13) desde a primeira proposta:

[...] a RIPEQ<sup>1</sup> tem reelaborado, ampliado e assumido a definição de uma UDM como um modelo de planejamento que abrange a integração, de modo organizado e sequenciado, de um conjunto de estratégias didáticas e de avaliação de acordo com objetivos de aprendizagem previamente definidos e delimitados a partir de uma dada abordagem metodológica. Concernente à proposta de implementação são consideradas 3 etapas que se coadunam: o planejamento da UDM; a intervenção didático-pedagógica; e o replanejamento da UDM a partir da crítica sobre a intervenção realizada.

Essas 3 etapas da implementação são tratadas como um processo reflexivo, colaborativo e dinâmico, que possibilita que o professor desenvolva seu conhecimento prático-profissional ou, nas palavras de Porlán e Rivero (1998), o conhecimento profissional desejado (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021; MORALLES, 2021; FERRARINI, 2020). A UDM como um processo de desenvolvimento de conhecimentos práticos-profissionais, em professores de química, já foi investigada pela RIPEQ, na formação inicial de professores (FERRARINI, 2020; BEGO, 2017), na formação continuada de professores da educação básica (MORALLES, 2021) e na educação continuada de professores do ensino superior (ZOCA, 2021).

Três elementos que se destacam como basilares para uma UDM: *I*) a abordagem metodológica como eixo central; *II*) a perspectiva multiestratégica; *III*) e a necessidade de adequação do planejamento de modo que contemple o planejamento escolar e educacional (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021; MORALLES, 2021; FERRARINI, 2020; BEGO, 2016).

Para justificar a abordagem metodológica como tarefa axial da UDM, Alves e Bego (2020, p. 71) argumentam que:

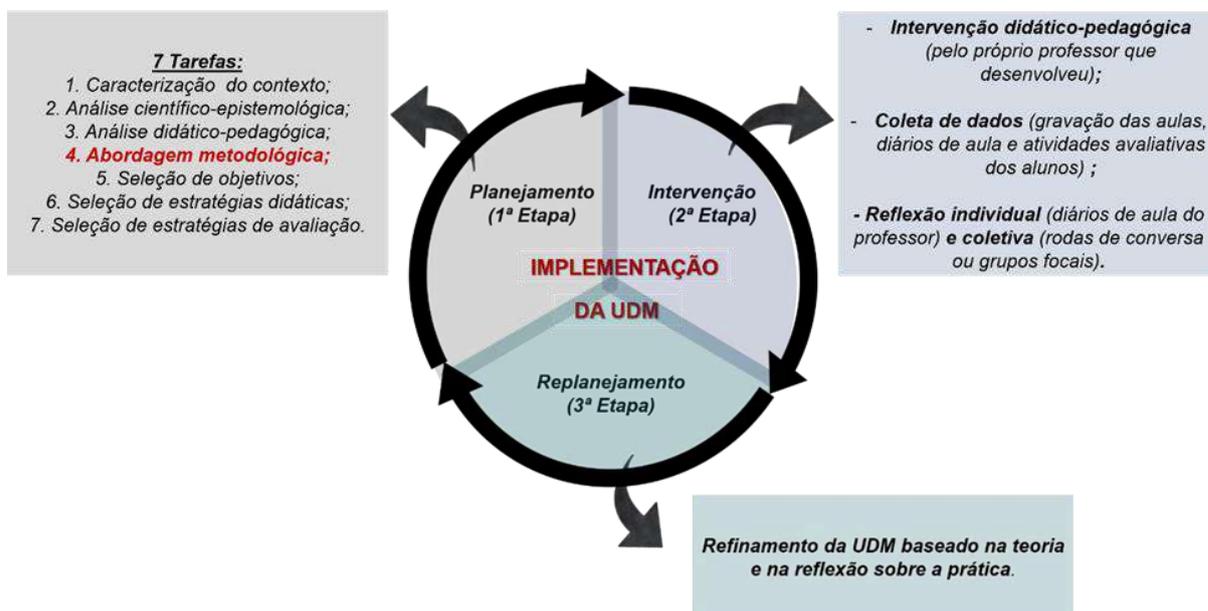
---

<sup>1</sup> A sigla RIPEQ significa Rede de Inovação e Pesquisa em Ensino de Química. É um grupo de pesquisa que trabalha várias vertentes relacionadas ao ensino de química.

[...] a abordagem metodológica orienta o processo de ensino e aprendizagem e consiste em um elemento essencial do planejamento, que envolve a explicitação de concepções de fundo sobre o ensino e a aprendizagem, a natureza da ciência e o papel social da educação escolar. Por isso, o planejamento necessita ser um ato consciente do professor, em que ele explicita e se conscientiza sobre a abordagem metodológica a ser adotada. Essa abordagem orientará a delimitação dos objetivos de aprendizagem, a seleção e a estruturação das estratégias didáticas e de avaliação, bem como os recursos didáticos e materiais de aprendizagem demandados.

A exigência de se utilizar múltiplas estratégias didáticas se fundamenta na necessidade de se contemplar, no planejamento didático-pedagógico, os diferentes interesses e formas de aprender dos alunos em sala de aula. Ademais, Bego (2017) argumenta que a própria natureza do conteúdo deve ser levada em conta ao se escolher a estratégia didática, ou seja, algumas estratégias são mais adequadas para se trabalhar determinado conteúdo, do que outras (FERRARINI, 2020; MORALLES, 2021; BEGO, 2017).

Na Figura 1 apresenta-se um esquema síntese das 3 etapas da implementação da UDM e as ações associadas a elas.



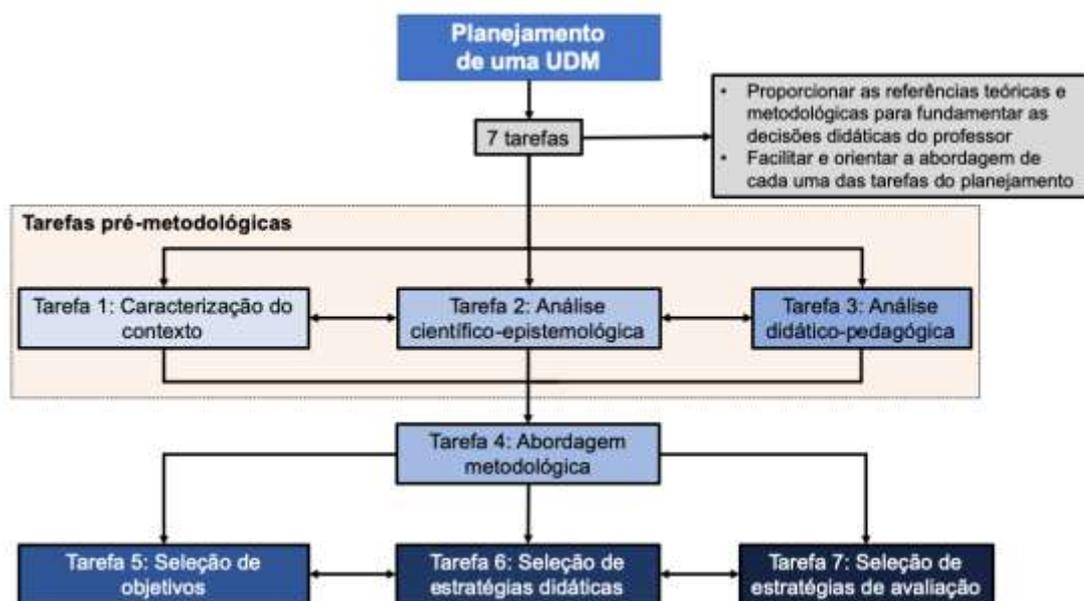
**Figura 1.** Processo de implementação de uma UDM.

**Fonte:** Morales (2021, p. 192).

Nas próximas seções apresenta-se, com detalhes, as três grandes etapas de implementação da UDM.

### 3.1.1 Primeira etapa da implementação da UDM: O planejamento didático-pedagógico

A primeira etapa, o planejamento didático-pedagógico, está pautada na fundamentação teórica e metodológica do professor. Salienta-se o foco dado à autonomia profissional, ao estimular a dimensão autoral de forma orientada e sistemática (BEGO, 2021). No planejamento da UDM o professor se torna o agente ativo, criativo e autônomo em relação a sua prática educativa, deixando de lado a ideia de um profissional que apenas reproduz *design* e instruções de terceiros (BEGO, 2021). O planejamento da UDM é feito por meio de 7 tarefas interligadas, representadas na Figura 2.



**Figura 2.** Sistematização do planejamento de uma Unidade Didática Multiestratégica.

**Fonte:** Ferrarini (2020, p. 121).

Os objetivos e os procedimentos de cada tarefa estão explicados no Quadro 1.

**Quadro 1.** Objetivos e procedimentos das tarefas para o planejamento de uma UDM.

Tarefa	Objetivos	Procedimentos
<b>Caracterização do contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Racionalização do contexto de atuação</li> <li>- Identificação de condicionantes da prática pedagógica</li> <li>- Identificação de problemas práticos</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caracterização da unidade escolar</li> <li>2. Caracterização da turma</li> <li>3. Caracterização dos estudantes</li> </ol>

<b>Análise científicoepistemológica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estruturação dos conteúdos de ensino</li> <li>- Atualização científica do professor</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecionar os conteúdos</li> <li>2. Identificar o perfil conceitual ou histórico de desenvolvimento do(s) conceito(s) principal(is)</li> <li>3. Definir o esquema conceitual da unidade</li> </ol>
<b>Análise didáticopedagógica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Delimitação dos condicionantes de aprendizagem: adequação ao estudante</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Levantamento das concepções prévias</li> <li>2. Delimitar os obstáculos epistemológicos</li> <li>3. Explicitar as implicações para o ensino</li> </ol>
<b>Abordagem metodológica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conscientização sobre a concepção de ensino e aprendizagem a ser adotada</li> <li>- Explicitação de uma visão de ciência</li> <li>- Definição dos propósitos e expectativas para o ensino de química em determinado nível de ensino</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explicitar os princípios psicopedagógicos da abordagem metodológica adotada</li> <li>2. Delimitar os papéis desempenhados por professor e alunos no processo de ensino e aprendizagem</li> <li>3. Definir a finalidade do ensino de química na educação formal</li> <li>4. Descrever a visão de ciência assumida e suas implicações para o ensino</li> </ol>
<b>Seleção dos objetivos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reflexão sobre as potenciais aprendizagens dos alunos</li> <li>2. Estabelecimento de referências para o ensino e a avaliação</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Considerar conjuntamente as Tarefas de 1 a 5.</li> <li>2. Definir e delimitar prioridades e hierarquizá-las</li> </ol>
<b>Seleção das estratégias didáticas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinação das estratégias e da melhor forma de sua estruturação e sequenciamento</li> <li>2. Definição das tarefas a realizar por professor e estudantes</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Considerar a abordagem metodológica e os objetivos de aprendizagem delimitados</li> <li>2. Planejar a sequência global de ensino</li> <li>3. Selecionar as estratégias didáticas</li> <li>4. Elaborar materiais de aprendizagem</li> <li>5. Prever recursos didáticos necessários</li> </ol>
<b>Seleção de estratégias de avaliação</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Avaliação das aprendizagens dos alunos</li> <li>2. Referências para ajustes e reorganizações do processo de ensino</li> <li>3. Avaliação da própria UDM</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar o conteúdo da avaliação</li> <li>2. Determinar atividades e momentos de atividades avaliativas e devolutivas para os estudantes</li> <li>3. Planejar instrumentos para a coleta de informações sobre o</li> </ol>

		processo de ensino e aprendizagem
--	--	-----------------------------------

**Fonte:** Bego, Ferrarini e Morales (2021, p. 18).

A tarefa 1, o contexto da intervenção didático-pedagógica, busca caracterizar a unidade escolar, a disciplina a ser ministrada bem como os estudantes que fazem parte do contexto específico da intervenção. Cada escola, turma e sala de aula representa um contexto único. Os alunos apresentam informações conceituais e bagagem culturais prévias próprias, havendo a necessidade de considerar tais singularidades (MORALLES, 2021). Bego (2016, p. 14) corrobora com essa visão ao afirmar que “[...] o trabalho docente é sempre singular, dinâmico, relacional, multidimensional, institucional, social e historicamente situado”. Para o cumprimento dessa tarefa, utiliza-se a matriz do Quadro 2.

**Quadro 2.** Matriz da tarefa 1 - Contexto de atuação.

<b>CONTEXTO DA INTERVENÇÃO DIDÁTICO-PEDAGÓGICA</b>	
<b>Nome da unidade escolar</b>	
<b>Endereço completo</b>	
<b>Site e e-mail</b>	
<b>Caracterização da unidade escolar</b>	
<b>Disciplina</b>	
<b>Ano/turma</b>	
<b>Professor responsável</b>	
<b>Número de estudantes</b>	
<b>Caracterização dos estudantes</b>	

**Fonte:** Adaptado de Bego (2016) e Ferrarini (2020).

A tarefa 2, a análise científico-epistemológica, configura-se em um momento em que o docente busca estruturar os conteúdos de ensino e atualizar-se cientificamente sobre o assunto a ser ensinado (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021). Salienta-se, também, que diante da inserção do professor em uma rede de ensino mais ampla, o currículo oficial deve ser levado em conta no momento de concretizar a Tarefa 2. As diretrizes e orientações contidas nos currículos oficiais servem como um guia para conectar o planejamento didático-pedagógico com as exigências educacionais em nível estadual e nacional (FERRARINI, 2020).

Ainda na análise científico-epistemológica, deve-se apresentar os pré-requisitos que os alunos precisam para aprendizagem dos novos conteúdos a serem

trabalhados na UDM (MORALLES, 2021). As especificidades do conhecimento químico, bem como os conteúdos conceituais a serem tratados devem ser detalhados nesta etapa. A Figura 3 apresenta os focos de interesse da química que devem ser explorados pelo professor.



**Figura 3.** Focos de interesse da Química.

**Fonte:** Mortimer, Machado e Romanelli (2000, p. 276).

A Figura 3 apresenta a importância de se relacionar os 3 vértices do conteúdo químico, para que seja possível compreender diferentes tópicos de interesse da química (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000). Para o entendimento das substâncias e dos materiais é necessário conhecer suas propriedades como dureza, temperatura de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e outras propriedades que podem apresentar ligações com o uso desses materiais (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000). A constituição das substâncias e dos materiais, como a organização e as interações entre íons, moléculas e átomos numa visão atômico-molecular, auxiliam na compreensão desses conceitos. Em conjunto, deter esses conhecimentos auxilia na compreensão, planejamento e execução das transformações dos materiais (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000).

Outro aspecto importante é tratar o conhecimento químico inter-relacionando os três diferentes aspectos: o fenomenológico, o teórico e o representacional. Abordando os três aspectos, o docente pode tornar a aprendizagem do conteúdo químico mais completa. A Figura 4 mostra a relação entre os três aspectos. O fenomenológico envolve os sentidos humanos e informações que podem ser medidas com auxílio de equipamentos. As teorias e modelos usados para explicar o fenomenológico, encontram-se no aspecto teórico. As teorias e modelos são

explicados por uma linguagem específica da química (fórmulas, equações, símbolos, entre outras) que estão no aspecto representacional (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000).



**Figura 4.** Aspectos do conhecimento químico.

**Fonte:** Morales (2021, p. 170) adaptado de Leal (2010, p. 17) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000, p. 277)

Ainda nessa etapa da UDM, é importante trazer o perfil conceitual do conceito a ser abordado e, caso não seja possível identificá-lo na literatura, deve-se apresentar o desenvolvimento ao longo da história desse mesmo conceito (MORALLES, 2021). Por fim, a tarefa é finalizada com um mapa conceitual para esquematizar o conteúdo, na perspectiva do professor (BEGO, 2016). O Quadro 3 mostra a estrutura a ser preenchida para realizar essa tarefa.

**Quadro 3.** Matriz da tarefa 2 - análise Científico-Epistemológica.

ANÁLISE CIENTÍFICO-EPISTEMOLÓGICA	
Conteúdo programático da UDM	
Pré-requisitos para a UDM	

<b>Orientações curriculares oficiais sobre o tema</b>	
<b>Conteúdos conceituais</b> - <b>Identificação</b> dos fatos e/ou fenômenos de interesse (aspecto fenomenológico) - <b>Interpretação</b> dos fatos ou fenômenos de interesse (aspectos teórico e simbólico)	
<b>Desenvolvimento histórico do conceito principal da UDM</b> (perfil conceitual)	
<b>Esquema conceitual científico sobre os conteúdos da UDM</b> (mapa conceitual)	
<b>Referências</b>	

**Fonte:** Adaptado de Bego (2016) e Ferrarini (2020).

A tarefa 3, análise didático-pedagógica, objetiva a delimitação dos condicionantes de aprendizagem, adequando-se aos estudantes. A matriz para sua realização está representada no Quadro 4.

O professor deve levantar as concepções prévias e os obstáculos epistemológicos, discutidos na literatura especializada, sobre o tema a ser abordado, bem como explicitar as implicações que esses fatores têm para o processo de ensino e aprendizagem. As concepções alternativas podem ser entendidas como associações equivocadas que ocorrem na assimilação de um conceito e que, portanto, distanciam os alunos do conhecimento científico vigente (MORALLES, 2021). Tendo conhecimento dessas concepções, o professor pode delinear estratégias para trabalhar adequadamente o conteúdo e contrapor essas concepções (MORALLES, 2021).

Na mesma ótica, os obstáculos epistemológicos também podem dificultar o processo de ensino e aprendizagem do conhecimento científico. Portanto, reconhecendo os principais obstáculos epistemológicos que envolvem o conteúdo, um

melhor planejamento pode ser idealizado com a finalidade de superar e/ou evitar os obstáculos (MORALLES, 2021).

O último processo, a ser realizado nessa tarefa, é refletir sobre as implicações que as concepções alternativas e os obstáculos epistemológicos têm no processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos escolhidos (MORALLES, 2021). Para Moralles (2021 p. 176) além de ajudar a identificar o que os alunos sabem:

[...] essa tarefa da UDM pode auxiliar a identificar os principais problemas que os alunos podem encontrar ao interagir com determinado conteúdo. Outro fator importante da análise é identificar as demandas cognitivas de determinados conteúdos e compará-los com as habilidades intelectuais necessárias.

**Quadro 4.** Matriz da tarefa 3 - Análise didático-pedagógica.

<b>ANÁLISE DIDÁTICO-PEDAGÓGICA</b>	
<b>Concepções alternativas dos alunos sobre os conteúdos da UDM</b>	
<b>Obstáculos epistemológicos particulares relacionados aos conteúdos da UDM</b> Obstáculo da experiência primeira Obstáculo verbal Obstáculo substancialistas Obstáculo realista Obstáculo animista	
<b>Implicações para o ensino dos conteúdos da UDM</b> Aspectos a evitar e a reforçar	
<b>Referências</b> (de acordo com ABNT NBR 6023)	

**Fonte:** Adaptado de Bego (2016) e Ferrarini (2020).

A tarefa 4 da UDM, a abordagem metodológica ou metodologia, busca a conscientização do professor sobre a abordagem de ensino que será adotada. Busca-se, também, explicitar sua visão de ciência e definir seus propósitos e expectativas

para o processo de ensino e aprendizagem de Química. Uma das premissas fundamentais da UDM é que todas as tarefas devem apresentar articulação direta com os princípios fundamentais da abordagem metodológica (ALVES; BEGO, 2020; BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021; MORALLES, 2021). A proposta do modelo de implementação da UDM é que os esforços do professor em articular os elementos do planejamento didático-pedagógico entre si e com a abordagem metodológica, fazem com que ele ressignifique e desenvolva o conhecimento profissional desejável, proposto por Porlán e Rivero (1998) (MORALLES, 2021).

Importante salientar que, a escolha da abordagem metodológica é feita pelo próprio professor, sem nenhuma espécie de predileção. O formato de planejamento da UDM não prevê a utilização de uma abordagem em específico (MORALLES, 2021).

Ainda em relação à tarefa 4, Bego (2016, p. 62) argumenta que “[...] o docente deve explicitar os princípios metodológicos que orientarão a definição dos objetivos de aprendizagem, o planejamento das estratégias didáticas e de avaliação”. O Quadro 5 apresenta a matriz a ser preenchida para concretizar essa tarefa.

**Quadro 5.** Matriz da tarefa 4 - Abordagem metodológica

<b>ABORDAGEM METODOLÓGICA</b>	
<b>Princípios teórico-metodológicos da abordagem escolhida</b>	
<b>Referências</b>	

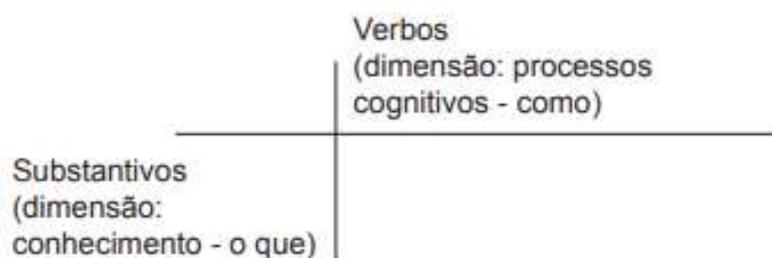
**Fonte:** Adaptado de Bego (2016) e Ferrarini (2020).

Na tarefa 5, o professor deve refletir sobre as potenciais aprendizagens dos seus alunos. Cada sequência didática deve conter um objetivo específico, que oriente o professor a utilizar uma avaliação formativa durante todo o processo de intervenção (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021). Os objetivos devem trazer o que se espera dos alunos, deixando explícitas as intenções do processo de ensino e aprendizagem, sem subjetividade, estabelecendo o papel dos alunos e vislumbrando as condições necessárias para atingi-los. Os objetivos específicos devem servir como patamares que, ao serem cumpridos, levem ao objetivo geral da UDM.

Para desenvolver os objetivos, o modelo da UDM propõe a utilização da Taxonomia de Bloom Revisada (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021; FERRAZ; BELHOT, 2010). Essa permite a hierarquização dos objetivos, do mais simples ao mais complexo. Os níveis de complexidade do domínio cognitivo apresentados em

ordem crescente por Ferraz e Belhot (2010) são: lembrar, entender, aplicar, analisar, sintetizar e criar.

Na Taxonomia de Bloom Revisada é utilizada uma estrutura bidimensional para articulação dos objetivos, levando em conta a dimensão do conhecimento que busca explicar “o que” (conteúdo) e a dimensão cognitiva que apresenta o “como” (como aprender o conteúdo) (FERRAZ; BELHOT, 2010). A Figura 5 apresenta o esquema da bidimensionalidade em questão.



**Figura 5.** Caráter bidimensional da Taxonomia de Bloom.

**Fonte:** Ferraz e Belhot (2010, p. 425).

A dimensão conhecimento pode ser dividida em quatro vertentes: A) conhecimento efetivo; B) conhecimento conceitual; C) conhecimento processual; D) conhecimento metacognitivo. Na Figura 6 detalha a dimensão processo cognitivo na Taxonomia de Bloom revisada, demonstrando os gerúndios associados a cada verbo ou substantivo, para que em cada objetivo seja possível evidenciar o conteúdo, como alcançá-lo e os instrumentos de avaliação (FERRAZ; BELHOT, 2010).

- 1. Lembrar:** Relacionado a reconhecer e reproduzir ideias e conteúdos. Reconhecer requer distinguir e selecionar uma determinada informação e reproduzir ou recordar está mais relacionado à busca por uma informação relevante memorizada. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Reconhecendo e Reproduzindo.
- 2. Entender:** Relacionado a estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido. A informação é entendida quando o aprendiz consegue reproduzi-la com suas “próprias palavras”. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Interpretando, Exemplificando, Classificando, Resumindo, Inferindo, Comparando e Explicando.
- 3. Aplicar:** Relacionado a executar ou usar um procedimento numa situação específica e pode também abordar a aplicação de um conhecimento numa situação nova. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Executando e Implementando.
- 4. Analisar:** Relacionado a dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes, importantes e menos importantes e entender a inter-relação existente entre as partes. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Diferenciando, Organizando, Atribuindo e Concluindo.
- 5. Avaliar:** Relacionado a realizar julgamentos baseados em critérios e padrões qualitativos e quantitativos ou de eficiência e eficácia. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Checando e Criticando.
- 6. Criar:** Significa colocar elementos junto com o objetivo de criar uma nova visão, uma nova solução, estrutura ou modelo utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos. Envolve o desenvolvimento de ideias novas e originais, produtos e métodos por meio da percepção da interdisciplinaridade e da interdependência de conceitos. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Generalizando, Planejando e Produzindo.

**Figura 6.** Estrutura do processo cognitivo na taxonomia de Bloom.

**Fonte:** Ferraz e Belhot (2010, p. 429).

Por fim, é importante salientar que os objetivos de aprendizagem devem estar atrelados com todas as demais tarefas da UDM, principalmente com a abordagem metodológica. Determinando os objetivos específicos e o geral, o professor deve determinar o conteúdo e o tempo de cada atividade dentro das SD propostas.

Nas tarefas 6 e 7 são realizadas as seleções das estratégias didáticas e das estratégias de avaliação. A seleção das estratégias didáticas<sup>2</sup> têm como objetivo a estruturação, sequenciamento e detalhamento das tarefas que o professor e os alunos devem desenvolver (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021). Levando em conta todas as outras tarefas da UDM, o professor deve selecionar dentro da vasta literatura existente, quais estratégias se adequa melhor com seus objetivos (tarefa 5). Deve-se ainda, elaborar os materiais de aprendizagem, recursos didáticos necessários (Quadro 6) e a organização da sala em cada etapa (FERRARINI, 2020; BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021). Na tarefa 7 o professor deve evidenciar suas estratégias de avaliação (MORALLES, 2021).

<sup>2</sup> Conjunto de ações intencionadas e planejadas do professor para a consecução dos objetivos de aprendizagem propostos, ou seja, trata-se do elemento do planejamento responsável pela consecução dos objetivos, como exemplos têm-se uso de jogos, *jigsaw*, experimentação, estudos de caso etc. (ALVES; BEGO, 2020)

**Quadro 6.** Recursos e materiais de aprendizagem.

<b>Recursos Didáticos</b>	São meios físicos que dão suporte e são veículos de algum conteúdo	Dão suporte para o desenvolvimento das estratégias didáticas e não são produzidos necessariamente pelo professor	Lousa; giz; tabela periódica; revistas; jornais; datashow; notebooks; internet; vídeo; filme; vidrarias e reagentes
<b>Materiais de aprendizagem</b>	Materiais preparados por professor e/ou alunos para a realização de atividades específicas na sala de aula	Elaborados por professor e/ou alunos	Um mapa conceitual; um roteiro experimental; uma lista de exercícios; uma apresentação de slides etc.

Fonte: adaptado de Alves e Bego (2020, p. 90)

### 3.1.2 Segunda etapa da implementação da UDM: intervenção didático-pedagógica

A segunda etapa da implementação de uma UDM busca a intervenção no ambiente escolar real (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021). Segundo Bego, Ferrarini e Moralles (2021, p. 20) essa etapa: “[...] envolve atividades formativas que têm o objetivo de provocar, intencional e sistematicamente, a tensão dialética entre os propósitos educativos planejados pelos professores e a ação profissional”.

Para que seja possível criar essa tensão, destaca-se a importância dos registros das aulas por meios de gravações, diários de aula, atividades avaliativas, trabalhos, relatórios, entre outros. Visando a utilização da UDM como um processo de desenvolvimento de saberes docentes, tanto na formação inicial como na continuada, as reflexões sobre a intervenção podem ocorrer em duas dimensões: nível individual (produção de diários de aula) e nível coletivo (reuniões de orientação e/ou grupos focais) (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2021). A Figura 7 resume as atividades envolvidas na etapa de intervenção da UDM.



**Figura 7.** Atividades envolvidas na segunda etapa de implementação de uma UDM.

**Fonte:** Bego, Ferrarini e Moralles (2021, p. 20).

Fundamentados na importância dos diários de aula, a RIPEQ<sup>3</sup> tem desenvolvido um modelo de diário adaptado para o formato da UDM. Para Zabalza (2004) os diários de aulas são documentos usados pelo professor para registrar suas expectativas, impressões, frustrações e outras ideias sobre sua experiência em sala de aula.

Já no nível coletivo, surgem os espaços de formação, onde a partilha de experiência age como forma de reflexão por parte do licenciado, bem como seus colegas participam como interlocutores e aprendizes (ALBUQUERQUE; GALIAZZI, 2011; BABOUR, 2009). Destaca-se aqui a importância dos princípios da abordagem metodológica escolhida previamente, uma vez que as discussões acerca dos problemas enfrentados, atividades eficientes ou que devem ser repensadas, são feitas com base nesses princípios (BEGO, 2017; FERRARINI, 2020). Essas duas dimensões de reflexão sobre a etapa de intervenção prática segundo Bego, Ferrarini e Moralles (2021, p. 22):

[...] possibilitam variados momentos-chave para a identificação de problemas e dilemas relevantes enfrentados durante a prática profissional em um processo investigativo, colaborativo e dinâmico. Nesses momentos podem ser identificadas e explicitadas as diversas tendências-obstáculos. Em que pese as tarefas exigidas no

<sup>3</sup> Mais detalhes sobre a estrutura dos diários desenvolvida podem ser encontrados em Moralles (2021).

planejamento da UDM, a incidência e resistência das teorias e crenças dos licenciandos influenciam suas ações em sala de aula durante a etapa de intervenção. Essa explicitação das tendências-obstáculos de forma deliberada fornece abundante material sob o qual o professor formador pode utilizar com vistas a promover a crítica, fundamentada nas teorias pedagógicas de referência, acerca das ações levadas a cabo em sala de aula e, posteriormente, orientar o processo de replanejamento das UDM.

### **3.1.3 Terceira etapa de implementação da UDM: replanejamento da UDM**

Para iniciar essa discussão tem-se no lexema de Bego, Ferrarini e Moralles (2021, p. 22) que a UDM:

[...] compreende um trabalho coletivo estabelecido em percurso formativo e continuado por meio de parcerias entre licenciandos e professor formador, cujas bases dinâmicas de operação assentam-se na crítica da própria ação e no direcionamento a análises capazes de abastecer com elementos subjetivos e objetivos possíveis propostas de reelaborações do planejamento. A intenção, por fim, é a formação de um olhar crítico sobre a prática educativa na busca de reelaborar e integrar diferentes saberes.

Assim, essa etapa final da implementação da UDM busca que os licenciandos identifiquem e explicitem os principais problemas surgidos durante sua prática docente. Dessa forma, é possível evoluir gradualmente as concepções acríticas e simplistas para outras mais complexas autônomas e fundamentadas (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2022). Após toda a reflexão sobre a intervenção em sala de aula e sobre como se articularam os vários elementos do planejamento na ação educacional, o professor deve replanear a sua UDM. A ideia é que a UDM fique mais ajustada ao contexto real para o qual foi desenhada (BEGO; FERRARINI; MORALLES, 2022).

Moralles (2021, p. 191) sintetiza a implementação da UDM como um processo que:

[...] ocorre em 3 etapas (Figura 1), que visa uma estruturação coerente e contextual dos vários elementos do planejamento, com a abordagem metodológica como o eixo central (tarefa 4, destacada em vermelho). Essas 3 etapas - planejamento, intervenção e replanejamento da UDM - além de auxiliar para o processo de ensino e aprendizagem, podem contribuir para a formação do próprio docente. Na 1ª etapa, o professor é instruído a construir um planejamento autoral e multiestratégico, por meio de 7 tarefas. Esse planejamento deve ser balizado pelo contexto real onde será aplicado na 2ª etapa. Durante a 2ª etapa deve-se ter um registro sistemático de informações sobre o processo de ensino e aprendizagem, que servirão como fontes de informação para os momentos de reflexão individual e coletiva. Por fim, na 3ª etapa, depois de uma reflexão teoricamente embasada sobre a prática, o professor é convidado a propor uma nova versão UDM, a qual

contemple todas as reflexões e críticas realizadas a partir dos problemas identificados na prática.

Tendo-se apresentado toda a fundamentação teórico-metodológica do modelo formativo de implementação da UDM, na próxima seção discute-se uma proposta de planejamento de uma UDM fundamentada na temática de poluição e recuperação de metais pesados, na perspectiva da química ambiental. Para articular os diferentes elementos do planejamento foi selecionada a abordagem metodológica do CTSA.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na seção anterior foi apresentado todo o processo envolvido na implementação de uma UDM, que consiste em 3 grandes etapas, a se citar: o planejamento didático-pedagógico, a intervenção no contexto real de sala de aula e o replanejamento baseado na reflexão crítica e teoricamente fundamentada. Para fins de cumprir as exigências de um trabalho de conclusão de curso, nesta seção se apresenta o design desenvolvido para a UDM **“Química ambiental: poluição e recuperação de metais pesados”** (Apêndice A). Assim, a intervenção didático-pedagógica e o replanejamento da UDM são etapas a serem desenvolvidas após a validação do planejamento frente a banca examinadora do trabalho de conclusão de curso.

Para organizar a apresentação dos resultados, optou-se por dividir essa seção em duas subseções: fundamentação das escolhas realizadas nas tarefas 1, 2, 3 e 4 (tarefas pré-metodológicas e metodológica) e estruturação das sequências didáticas propostas para UDM, tarefas pós-metodológicas (5, 6 e 7). O que se pretende nessas subseções é apresentar as principais ideias e justificá-las. O desenvolvimento detalhado de cada tarefa do planejamento didático-pedagógico pode ser consultado no apêndice A.

### **4.1 Fundamentação das escolhas realizadas nas tarefas 1, 2, 3 e 4.**

A tarefa 1 da UDM foi pensada de forma genérica, uma vez que o trabalho se baseia apenas no desenvolvimento da primeira versão do planejamento e, portanto, não há previsão de uma classe específica da instituição de ensino superior. Desta forma, a tarefa se baseou nas experiências do primeiro autor, o qual detalhou uma instituição de ensino superior do Estado de São Paulo que serviu como contexto

de intervenção de modo idealizado. A UDM foi direcionada a alunos do ensino superior visto a importância de se discutir as questões ambientais nesse nível de ensino. Além disso, por tratar-se de uma universidade de ensino superior, alunos formados com esse conhecimento podem influenciar a sociedade à sua volta. Assim, é possível levar esse conhecimento para diferentes públicos e trabalhar questões extremamente relevantes.

Em relação à tarefa 2, a UDM foi idealizada para se trabalhar o conteúdo relacionado ao impacto dos metais pesados na saúde humana e no meio ambiente, na perspectiva da química ambiental. A ideia central é conscientizar os alunos e estimulá-los a promover alguma ação social que busque discutir sobre os impactos da ação humana na nossa qualidade de vida.

Para salientar como a ação humana vem modificando a vida na Terra, pesquisadores cunharam o termo Antropoceno<sup>4</sup>, que pode ser traduzido como época dos humanos. O Antropoceno tem seu início demarcado no fim do século XVIII, devido a identificação do aumento significativo nas concentrações dos gases carbônico (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) no planeta. Coincidentemente, foi nessa época que ocorreu a invenção da máquina a vapor, por James Watt (1736 - 1819) (CRUTZEN, 2002; SILVA; ARBILLA, 2018).

O Antropoceno pode ser entendido como uma nova época geológica, na qual os humanos são a força geofísica do planeta, levando a mudanças drásticas nos ecossistemas da Terra (CRUTZEN, 2002). Dentro do período Antropoceno os problemas ambientais se agravaram devido à interação do homem com recursos naturais e fontes de energia não renováveis (ALI; KHAN, 2017). Nas palavras de Silva e Arbilla (2018, p. 1621) essa época geológica evidencia uma:

[...] modificação na relação entre a espécie humana e o meio ambiente: além das mudanças climáticas, novos materiais, como plástico, concreto e alumínio, tem-se espalhado na superfície da Terra e nos oceanos, o uso de fertilizantes tem incrementado as concentrações de fósforo e nitrogênio, a mineração tem modificado e poluído o ambiente, e os testes nucleares têm deixado marcas nos sedimentos e no gelo. O Antropoceno (a “época dos humanos”) pode ser visto desde um ponto de vista apenas geológico ou, em uma forma mais ampla, como um conceito que envolve o meio ambiente, a

---

4 O termo “antropoceno” surgiu na década de 1980 como biólogo Eugene F. Stoemer (1934 - 2012) e foi popularizado em uma publicação conjunta de Eugene e o prêmio Nobel de Química de 1995, Paul Crutzen (1933 - 2021), na *Newsletter do International Geosphere Biosphere Programme* (CRUTZEN, 2002; SILVA; ARBILLA, 2018).

química, a biologia, a cultura, a economia e as relações políticas e econômicas.

Atualmente, a sociedade do século XXI se vê, cada vez mais, impactada pelo aumento dos problemas ambientais, como mudanças climáticas, poluição e extinção da fauna e da flora (ALI; KHAN, 2017). Claro que, conforme apontado na citação de Silva e Arbilla (2018), todos os impactos positivos e negativos, da ação do homem na natureza estão entremeados por inter-relações complexas entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

Preocupada em entender como todas essas mudanças, sejam elas causadas pelo homem ou não, impactam na saúde humana, a Sociedade Brasileira de Química (SBQ) criou, em 1994, a divisão da Química Ambiental (AMB). Segundo a AMB:

A Química Ambiental estuda os processos químicos que ocorrem na natureza, sejam eles naturais ou ainda causados pelo homem, e que comprometem a saúde humana e a saúde do planeta como um todo. Assim, dentro desta definição, a Química Ambiental não é a ciência da monitoração ambiental, mas sim da elucidação dos mecanismos que definem e controlam a concentração das espécies químicas candidatas a serem monitoradas. (SBQ, online<sup>5</sup>).

A Química Ambiental é uma ciência relativamente nova e que aborda as mais diferentes temáticas: concentração de contaminantes, sedimentos, gelo, biota, bioacumulação, toxicidade, poluição, entre outros (ALI; KHAN, 2017). Em função de seu caráter multidisciplinar, o estudo dessa ciência exige o domínio de diferentes campos científicos, como a física, a geologia, a biologia e a química. Na Figura 8 é apresentado um esquema que sumariza os pontos de preocupação da Química Ambiental, segundo Ali e Khan (2017).

---

<sup>5</sup> Sobre a Divisão de Química Ambiental. Sociedade Brasileira de Química. Disponível em: <http://www.s bq.org.br/ambiental/pagina/sobre-divisao-de-quimica-ambiental>. Acesso em: 07 maio. 2022.



**Figura 8.** Temáticas de interesse da Química Ambiental.

**Fonte:** Adaptado de Ali e Khan (2017, p. 331, tradução livre).

Cada temática de interesse destaca na figura 8 é trabalhada com mais detalhes na análise científico-epistemológica da UDM (Apêndice A). Dentre essas várias temáticas, optou-se por trabalhar, na UDM, especificamente com a área relacionada aos metais pesados. Dessa forma, elencou-se como conteúdos programáticos para serem trabalhados os conceitos de: I) química ambiental; II) metais pesados; III) poluição e recuperação de metais pesados; IV) propriedades de metais; V) solubilidade; e VI) precipitação.

Para conseguir assimilar esses conteúdos, os alunos devem apresentar como conhecimentos prévios os conceitos de: I) Poluição; II) Substâncias e misturas; III) Quantidade de matéria IV) Solvatação V) Saturação VI) Ácidos e bases; VII) Reação de neutralização VIII) Solubilidade de compostos inorgânicos IX) Concentração de soluções; X) Grupos da tabela periódica e periodicidade das propriedades; XI) interações intermoleculares.

Em relação à tarefa 3, foi desenvolvida uma busca na literatura científica sobre as concepções alternativas e os obstáculos epistemológicos sobre os temas abordados na UDM. Estabelecer esses aspectos sobre cada temática é essencial para que sejam discutidas as implicações dessas concepções ou obstáculos para o processo de ensino e aprendizagem de cada conteúdo.

Destaca-se, portanto, que para a UDM em questão é importante trabalhar a ligação metálica evidenciando a formação do arranjo tridimensional existente entre os cátions e os elétrons, bem como a atração e repulsão que ocorre nesse arranjo o que se relaciona com a liberdade de movimento dos elétrons. A explicação sobre metais está pautada, principalmente, no obstáculo da experiência primeira. Metais são descritos como duros, sólidos, inquebráveis e resistentes (SOARES; SILVEIRA, 2007). Geralmente a informação está correta, entretanto, essa explicação não carrega o conhecimento científico do porquê grande parte desses materiais apresentarem tais características. Bem como não explica o fato de o mercúrio ser líquido a temperatura ambiente. Portanto, é necessário salientar a teoria do mar de elétrons que explica esses vários fenômenos, para que seja evidenciado o aspecto submicroscópico dos metais. Sobre a extração dos metais, deve-se realçar que estes não estão presentes de forma pura na natureza, mas como diferentes substâncias em diferentes minerais que são extraídos, tratados e purificados.

Em relação à solubilidade, os alunos parecem compreender os fenômenos, contudo, de forma geral, sem associá-los com o conceito de interações intermoleculares. Os alunos explicam a solubilidade como tudo que é solúvel em determinado solvente. Grande parte das explicações estão relacionadas ao fenomenológico (AZZOLIN *et al.*, 2013). Deve-se fazer uma conexão entre o macroscópico e o submicroscópico, para que se evidencie os fenômenos que devem ocorrer entre átomos e moléculas para a dissolução.

A escolha da abordagem metodológica (tarefa 4) é central para UDM, visto que, todas as outras tarefas devem ser articuladas e ressignificadas por esta. A escolha do ensino CTSA está diretamente associada à tarefa 2, que evidencia os impactos antropológicos ampliados, principalmente, após a revolução industrial. Buscou-se uma abordagem metodológica que pudesse levar a um ensino ativo e crítico, no qual os alunos fossem contemplados não somente com a aprendizagem do conteúdo, mas principalmente com uma visão crítica da realidade ambiental e social que vivemos. Para a CTSA a ciência deve ser ensinada como uma atividade histórica, social, crítica e que leva a mudanças. A ideia é capacitar os estudantes para que levem alternativas para utilização diária da ciência e tecnologia, buscando o bem-estar social.

Dentro dos níveis para o ensino CTSA (Quadro 9), destaca-se que esta UDM modelada pode ser posicionada entre os níveis 4 e 5. Isto é, os conteúdos de ciência são organizados pelo CTSA, porém a escolha destes é feita por uma disciplina, ainda que assim, dentro de uma temática interdisciplinar.

Tendo-se justificado as escolhas das tarefas 1, 2, 3 e 4, a próxima seção discute os demais passos para se desenvolver um planejamento didático-pedagógico na perspectiva da UDM.

#### 4.2 Estruturação das seqüências didáticas propostas para UDM (Tarefas 5, 6 e 7).

O Quadro 7 mostra o objetivo geral da UDM e os objetivos específicos propostos para cada SD. Salienta-se que os objetivos específicos devem, de alguma forma, levar ao objetivo geral, ou seja, ao cumprir vários objetivos específicos durante a intervenção com a UDM o aluno atingiria, conseqüentemente, o objetivo geral.

**Quadro 7.** Objetivos geral e específicos da UDM.

OBJETIVO	PROPOSTA
Objetivo Geral da UDM	Criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamentada.
Objetivo específico 1	Entender os principais conceitos da química ambiental e os impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana, resumindo os principais conteúdos discutidos em aula.
Objetivo específico 2	Entender possíveis tecnologias para tratamento e recuperação de metais pesados, comparando as técnicas por meio de um texto dissertativo-argumentativo.
Objetivo específico 3	Aplicar os conceitos de concentração, solubilidade, precipitação, nucleação e aglomeração, implementando-os em um relatório químico tradicional.

Objetivo específico 4	Entender as tecnologias associadas ao tratamento dos resíduos da mineração, explicando-as com o auxílio dos conhecimentos químicos.
Objetivo específico 5	Criar uma proposta de intervenção social, produzindo um texto de divulgação científica explicitando uma possível alternativa para resolver o problema com resíduos de metais pesados.

**Fonte:** elaboração própria.

Os objetivos devem estar em ordem hierárquica em relação a dimensão conhecimento, ou seja, caso o primeiro objetivo esteja no nível conceitual, os objetivos seguintes não podem constar no nível efetivo. O Quadro 8 apresenta os níveis dos objetivos específicos tanto na dimensão conhecimento, quanto na dimensão processo cognitivo. No entanto, a dimensão processo cognitivo não exige esse crescimento hierárquico (FERRAZ; BELHOT, 2010). Importante salientar, que o objetivo geral da UDM deve, preferencialmente, apresentar-se em um nível de complexidade, em relação à dimensão processo cognitivo, maior ou igual ao objetivo específico mais complexo (MORALLES, 2021).

Os objetivos específicos 1 e 2 da UDM encontram-se no nível conceitual da dimensão conhecimento e no nível “Entender” da dimensão processo cognitivo. Neste nível os alunos devem fazer inter-relações de conceitos básicos dentro de um contexto mais complexo, a ideia é que conhecimentos mais básicos tenham sido abordados e agora os alunos devem conectá-los (DRISCOLL, 2000; KRATHWOHL, 2002; FERRAZ; BELHOT, 2010). Os discentes devem apresentar conhecimento de princípios, generalizações, teorias, modelos e estruturas (DRISCOLL, 2000; KRATHWOHL, 2002; FERRAZ; BELHOT, 2010).

O objetivo específico 3 está na dimensão processo cognitivo no nível do “Aplicar” e no nível do conhecimento também conceitual. O Objetivo 4 está na dimensão do “Entender”, entretanto, encontra-se na intersecção entre as dimensões do conhecimento conceitual e procedimental. Portanto, além do já descrito sobre o nível conceitual, no objetivo 4 os alunos devem relacionar o conhecimento de “como realizar alguma tarefa”. Deve-se pensar na utilização de métodos, critérios e técnicas; o conhecimento abstrato é estimulado dentro de um contexto exclusivo e não interdisciplinar. Os alunos devem apresentar conhecimento de técnicas e métodos

específicos, habilidades e algoritmos e identificar quando usar determinado procedimento (DRISCOLL, 2000; KRATHWOHL, 2002; FERRAZ; BELHOT, 2010).

Por fim, no objetivo específico 5 que se encontra na dimensão do processo cognitivo “Criar” e na dimensão do conhecimento metacognitivo, os discentes devem obter uma consciência mais geral e profunda sobre determinado conteúdo. O conhecimento aqui é interdisciplinar e os alunos devem utilizar os conhecimentos assimilados previamente em diferentes contextos, escolhendo a melhor técnica, métodos ou teoria para resolvê-lo (DRISCOLL, 2000; KRATHWOHL, 2002; FERRAZ; BELHOT, 2010). O conhecimento neste nível deve ser estratégico, promovendo atividades cognitivas e situações de aprendizagem, bem como o autoconhecimento dos alunos (DRISCOLL, 2000; KRATHWOHL, 2002; FERRAZ; BELHOT, 2010).

Destaca-se, ainda, ainda que o objetivo geral da UDM está, assim como o objetivo específico 5, na dimensão do processo cognitivo “Criar”, estando de acordo com a Taxonomia de Bloom Revisada.

**Quadro 8.** Dimensões do conhecimento e do processo cognitivo de cada objetivo proposto.

Dimensão conhecimento	Dimensão processo cognitivo					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Efetivo /Factual						
Conceitual/ Princípios		Objetivos 1, 2 e 4	Objetivo 3			
Procedimental		Objetivo 4				
Metacognitivo						Objetivo 5

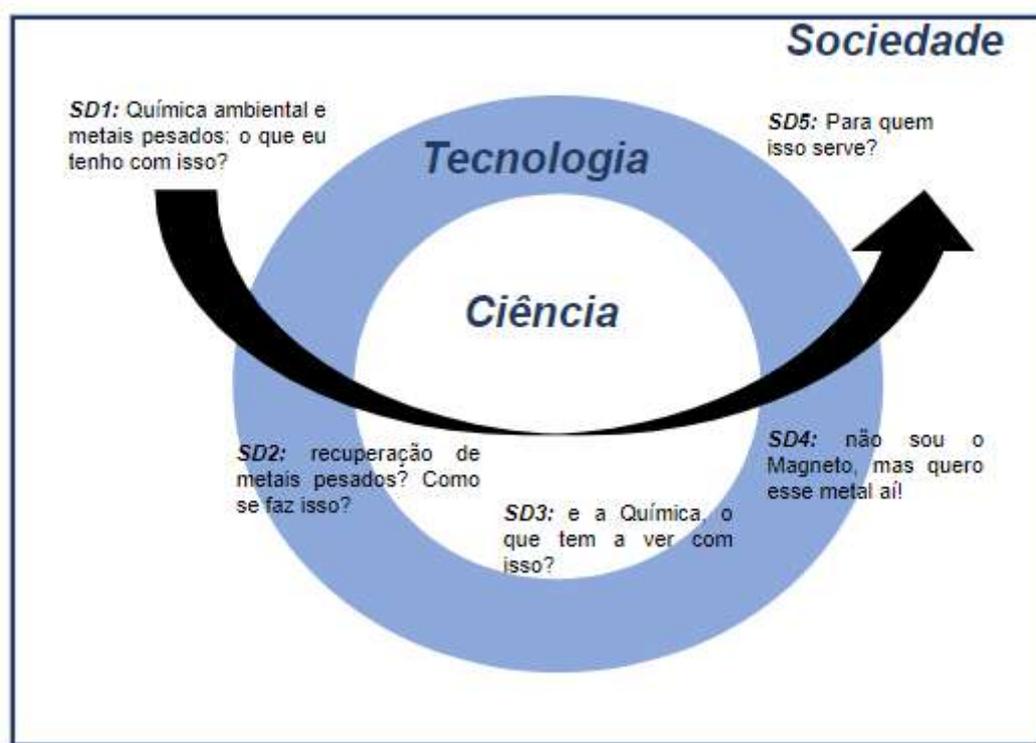
**Fonte:** Elaboração própria.

As tarefas 6 e 7 estão diretamente associadas à tarefa 5, afinal, o professor deve estabelecer estratégias didáticas e avaliações que possam de fato medir se os alunos foram capazes de alcançar os objetivos propostos. Ao final da UDM, portanto, é de interesse que os alunos criem uma nova visão sobre a recuperação e impacto

dos metais pesados na natureza, o que será medido a partir das estratégias de avaliação propostas.

As duas últimas tarefas foram construídas em uma das várias possibilidades de se desencadear as ações na abordagem CTSA (Figura 32). A estrutura adotada, sugerida na literatura especializada (SANTOS; SCHNETZLER, 2010), tem a seguinte organização: I) introdução de uma questão social; II) análise de uma tecnologia relacionada ao tema social; III) o conteúdo científico é definido em função do problema social e da tecnologia; IV) o conteúdo científico deve ser utilizado para compreender a tecnologia; V) a questão social inicial é novamente discutida e resolvida (SANTOS; SCHNETZLER, 2010). Com base nisso, cada sequência didática da UDM foi construída como uma etapa da abordagem CTSA e cada etapa apresenta seu próprio objetivo de ensino e avaliação associada, como evidencia a Figura 9.

**Objetivo geral :** Criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamental.



**Figura 9.** Caminho das SD na perspectiva do ensino CTSA.

**Fonte:** elaboração própria.

As estratégias didáticas foram escolhidas de forma a considerar os mais diversos perfis de alunos. A execução da tarefa 1 permite que o professor conheça seu contexto de atuação e, sabendo que cada aluno possui um universo em si mesmo,

é importante que sejam utilizadas estratégias didáticas que busquem abranger os diferentes modos de aprender de uma sala de aula singular e plural. Desta forma, alunos mais reclusos e quietos podem aprender melhor nas aulas expositivas e dialogadas, enquanto alunos mais extrovertidos podem aprender melhor nas discussões orais. Os trabalhos em grupo podem ajudar os alunos nas suas interações, criando conexões e fazendo com que os alunos escutem uns aos outros, discutam entre si e se ajudem no processo de ensino e aprendizagem.

As estratégias de avaliação estão relacionadas às estratégias didáticas e ambas se articulam à abordagem metodológica. Ademais, foram pensadas para que o professor consiga verificar se os objetivos estão sendo cumpridos. Por se tratar de uma metodologia ativa, é importante que os alunos participem ativamente das discussões e, como objetivos do CTSA, desenvolvam a capacidade de tomada de decisão e compreendam a natureza da ciência, bem como seu papel na sociedade (SANTOS; SCHNETZLER, 2010).

Na **SD1 - Química ambiental e metais pesados: o que eu tenho com isso?** Propõe-se a abordagem dos conceitos gerais que fazem parte da UDM (química ambiental, metais pesados, resíduos da mineração) em uma problematização social relevante (primeira fase do CTSA). O problema social será utilizado como ponto de partida para as discussões e, ao final das SD, deve ser solucionado pelos alunos. Como estratégias didáticas selecionou-se aulas expositivas e dialogadas, Grupo de Verbalização/ Grupo de Observação (GV/GO), Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) e apresentação oral.

Com a aula expositiva e dialogada, é de interesse que o professor mobilize as estruturas mentais dos estudantes, apresentando os objetivos de estudo, a relação com a disciplina e os critérios de avaliação. A exposição deve ser bem preparada e os alunos devem interagir com a dinâmica da aula de forma ativa (ANASTASIOU; ALVES, 2005). O diálogo é o ponto chave da estratégia, deste modo a participação dos alunos deve ser considerada, avaliada e respeitada (ANASTASIOU; ALVES, 2005). As aulas expositivas foram usadas na UDM como forma de introduzir conteúdos e, também, para abordar conteúdos mais complexos. Como nesse tipo de estratégia o professor quer que os alunos mantenham a atenção nele, se propôs a disposição da sala de aula em carteiras enfileiradas.

A estratégia didática GV/GO foi pensada para abordar a temática dos impactos dos metais pesados. A ideia é dividir a sala em dois grupos, um com foco nos impactos

dos metais no meio ambiente e outro centrado nos impactos na saúde humana. O texto de Muniz e Oliveira-Filho (2006) será dividido para que os alunos foquem na temática do impacto dos metais à saúde humana e o texto de Souza e colaboradores (2018) será usado com foco no impacto dos metais no meio ambiente. Desta forma, em conjunto, a sala abordaria as duas perspectivas. Essa estratégia é comumente utilizada para construção de conhecimento com uso de leitura, estudos preliminares e contatos iniciais com temáticas (ANASTASIOU; ALVES, 2005).

Nas palavras de Anastasiou e Alves (2005, p. 95) a dinâmica do GV/GO dever cumprir os seguintes passos:

1. Dividir os estudantes em dois grupos, um para verbalização de um tema/problema e outro para observação;
2. Organizá-los em dois círculos, um interno e outro externo, dividindo o número de membros conforme o número de estudantes da turma. Em classes muito numerosas o grupo de observação será numericamente maior que o de verbalização.
3. Num primeiro momento, o grupo interno verbaliza, expõe e discute o tema; enquanto isso, o GO observa, registra conforme a tarefa que lhe tenha sido atribuída. Em classes muito numerosas, as tarefas podem ser diferenciadas para grupos destacados na observação.
4. Fechamento: O GV passa a oferecer sua contribuição, conforme a tarefa que lhe foi atribuída, ficando o GV na escuta.
5. Em classes com menor número de estudantes, o grupo externo pode trocar de lugar e mudar de função - de observador a verbalizador.
6. Divide-se o tempo conforme a capacidade do tema em manter os estudantes mobilizados.
7. O fechamento, papel fundamental do docente, deve contemplar os objetivos, portanto, incluir elementos do processo e dos produtos obtidos.

A TDIC foi utilizada com o intuito de apresentar de forma mais concreta e visual os problemas causados pela atividade mineradora, causando um maior impacto nos alunos. As TDIC apresentam grande potencial quando utilizadas para apresentar fenômenos de difícil visualização, podendo ajudar na interpretação, construção do sentido e representação de conceitos (LEUHMANN; FRINK, 2012; MCCROY, 2008).

Nas apresentações orais os alunos devem fazer análise e interpretação dos fatos, críticas, levantar hipóteses, organizar e comparar dados (ANASTASIOU; ALVES, 2005). Nessa atividade o professor deve apresentar a temática, mostrando sua importância e mostrando formas de pesquisar sobre o tema, além de desafiar os alunos (ANASTASIOU; ALVES, 2005). É importante que o professor faça breves sínteses após a apresentação de cada grupo, complementando e corrigindo para que seja possível alcançar os objetivos propostos para a dinâmica (ANASTASIOU;

ALVES, 2005). Na SD em questão os alunos precisam demonstrar domínio sobre as temáticas abordadas como os conceitos da química ambiental e os impactos dos metais pesados no meio ambiente e na saúde humana. A avaliação deve estar associada aos objetivos propostos, mas é necessário que os alunos tenham domínio, clareza e de fato participem da discussão (ANASTASIOU; ALVES, 2005).

Na **SD2 - Recuperação de metais pesados? Como se faz isso?**

Apresentam-se algumas das principais tecnologias envolvidas no tratamento dos resíduos da mineração, salientando-se a tecnologia desenvolvida durante a iniciação científica do primeiro autor desta UDM (NETO, 2020) (segunda fase da CTSA). A primeira etapa do processo trata-se de uma leitura de texto seguida de um *Brainstorm* (tempestade cerebral), para que os alunos tenham um primeiro contato com o tratamento das Drenagens Ácidas de Minas (DAM). As temáticas abordadas consistem em conteúdos mais conhecidos pelos alunos como neutralização, precipitação e teoria de ácidos e bases. Segundo Anastasiou e Alves (2005, p. 89) no *Brainstorm* os alunos devem:

1. expressar em palavras ou frases curtas as ideias sugeridas pela questão proposta.
2. evitar atitude crítica que levaria a emitir juízo e/ou excluir ideias.
3. registrar e organizar a relação de ideias espontâneas.
4. fazer a seleção delas conforme critérios seguintes ou a ser combinado:
  - ter possibilidade de ser postas em prática logo;
  - ser compatíveis com outras ideias relacionadas ou enquadradas numa lista de ideias;
  - ser apreciadas operacionalmente quanto à eficácia a curto, médio e longo prazo.

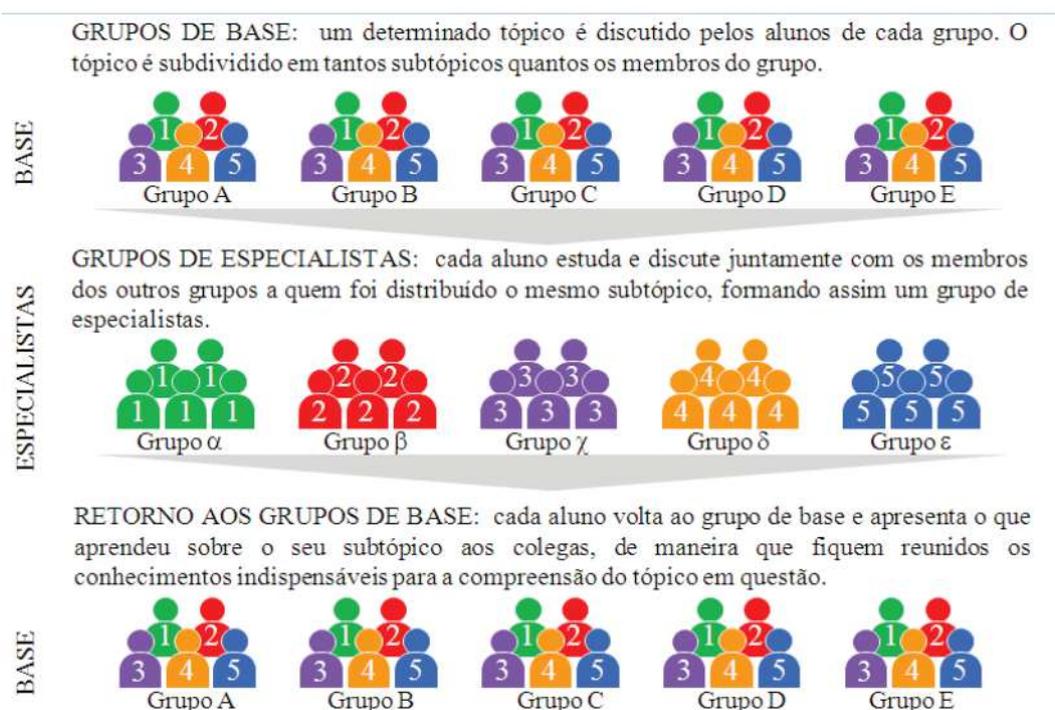
Para avaliação desse *Brainstorm*, torna-se necessária a discussão dos alunos referente à palavra que destacaram, dessa forma o professor pode avaliar a capacidade criativa, a concisão, a logicidade, a aplicabilidade e pertinência das propostas dos alunos (ANASTASIOU; ALVES, 2005). No segundo momento, por se tratar de uma tecnologia mais recente e menos conhecida, surge novamente a ideia da aula expositiva e dialogada, para que o professor exponha essa nova abordagem para o tratamento das DAM. A avaliação surge por meio de um texto dissertativo-argumentativo, no qual os alunos devem abordar as duas tecnologias e destacar os principais pontos de cada uma, vantagens e desvantagens.

A **SD3 - E a Química, o que tem a ver com isso?** Aborda conceitos importantes para o entendimento das tecnologias (terceira fase da CTSA) como os

conteúdos de: metais pesados, concentração, solubilidade, precipitação, nucleação e aglomeração. Como os conceitos de concentração e solubilidade de compostos inorgânicos são pré-requisitos para a UDM, esses foram usados apenas na perspectiva do relembrar, para que fosse possível compreender as principais temáticas abordadas.

Na primeira aula da SD3, para abordar o conteúdo de metais pesados, a estratégia didática utilizada foi o *Jigsaw*. Seria possível formar grupos de especialistas para cada tópico a ser estudado sobre metais pesados, suas principais propriedades físicas, usos, importância econômica e social.

Fatareli e colaboradores (2010, p. 162) propõe como sequência de atividades no *Jigsaw* o esquema da Figura 10.



**Figura 10.** Sequência de passos a ser adotada no Jigsaw.

**Fonte:** Fatareli e colaboradores (2010, p. 162).

Essa estratégia didática surge como forma de aprendizagem cooperativa, na qual os alunos aprendem de forma individual e mútua, a aprendizagem ocorre de forma particular, desenvolvendo-se habilidades intelectuais e interpessoais (FATARELI *et al.*, 2010). O professor age apenas determinando os objetivos da atividade, distribui os grupos, explica a atividade, garante a efetividade e participa apenas quando necessário para manter a ordem e eficiência (FATARELI, *et al.*, 2010).

A avaliação nesta etapa da UDM é o resumo criado pelos grupos originais após toda a discussão.

A segunda parte da SD trata-se de uma experimentação, os alunos poderão relembrar os conceitos de solubilidade, concentração e precipitação. A ideia é ligar esses conceitos ao pilar fenomenológico e representacional da química. Entende-se que com a prática os alunos podem se familiarizar com as tecnologias reais envolvidas no tratamento e recuperação dos metais presentes nas DAM. A avaliação será feita por meio de um relatório químico tradicional sobre a prática, no qual o professor pode avaliar se houve de fato compreensão dos fenômenos observados, bem como firmar uma revisão dos conteúdos.

A **SD4 - Não sou o Magneto, mas quero esse metal aí!** - marca a volta para a tecnologia, momento envolvida no caminho do conteúdo no CTSA (quarta fase) - os alunos revisitam as tecnologias, contudo, agora possuem os conhecimentos químicos necessários para compreender de forma mais completa. Nesta SD4, os alunos tornam-se ainda mais ativos e terão a liberdade intelectual de desenvolver seus argumentos e explicações, que serão compartilhados com o resto da sala por meio de uma apresentação oral. A ideia é gerar discussões entre toda a turma, para que seja possível evidenciar obstáculos/dificuldades e reforçar os conteúdos abordados.

Com o domínio dos conceitos químicos, os alunos devem compreender as tecnologias como um todo, evidenciando a importância de se saber a solubilidade dos metais que podem ser recuperados, chegarem à ideia da precipitação seletiva, compreenderem importância de diferenciar a nucleação da aglomeração de cristais. A avaliação ocorre pela coerência dos grupos em suas colocações, ou seja, as explicações devem estar de acordo com o conteúdo discutido em sala. Será avaliado o quão completo foi seu entendimento das tecnologias, por meio de suas conclusões sobre qual tecnologia se mostra superior a outra, no quesito tratamento e recuperação de metais presentes em DAM.

A **SD5 - Para quem isso serve?** Denota o fim da **UDM - Química ambiental: poluição e recuperação de metais pesados**. Como fim da articulação do ensino CTSA, deve-se retornar à sociedade produzindo uma solução para o problema inicial (quinta fase da CTSA). Dessa forma, inicialmente os alunos devem apresentar uma proposta de solução para mitigar os impactos gerados pela mineração. Uma apresentação oral será usada para avaliar se as propostas são coerentes e podem ser usadas no trabalho final. Como ação social, os alunos devem criar um texto de

divulgação científica que possa ter um impacto na comunidade, tornando a população mais alerta sobre os problemas gerados pela mineração e algumas possíveis estratégias para que isso seja solucionado ou ao menos mitigado. É importante que os textos dos alunos ressaltem os principais conteúdos e as técnicas abordadas de forma interdisciplinar, indo ao encontro do nível do conhecimento metacognitivo. Os textos devem salientar os impactos dos metais no meio ambiente e na saúde humana, evidenciar a técnica existente para tratar e recuperar esses metais (reatores sulfetogênicos) e demonstrados a importância socioeconômica dos metais para a sociedade.

Por meio das SD apresentadas, é de interesse que alunos alcancem o objetivo geral da UDM. Com a SD1 os alunos devem entender os principais conceitos envolvidos na química ambiental e na discussão sobre metais pesados, assim como a problemática associada. Na SD2 os alunos devem entender algumas das técnicas envolvidas no processo de tratamento e recuperação de metais pesados. A SD3 busca a aplicação dos conceitos para que os alunos coloquem em prática alguns conhecimentos necessários para compreender as tecnologias. A SD4 marca a volta para as tecnologias, contudo, os alunos apresentam nesse momento um domínio dos conceitos, possibilitando um entendimento mais profundo das tecnologias. Na SD5 os alunos criam um material de divulgação científica abordando os principais tópicos aprendidos na UDM. Ou seja, os alunos ao avançarem nos objetivos específicos devem criar uma nova visão sobre os impactos dos metais na natureza e as possíveis técnicas para recuperá-los e produzir um texto que leve esse conhecimento até a sociedade externa ao meio acadêmico. Evidencia-se que a organização atribuída para as SD propõe um planejamento que esteja de acordo com as premissas da metodologia CTSA.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A discussão desenvolvida na seção anterior, mostra a importância de se trabalhar o conceito da poluição por metais pesados e, principalmente, as tecnologias que podem ser usadas para recuperá-los. Como explicitado, a mineração é uma atividade de extrema importância socioeconômica, garantindo avanços científicos e tecnológicos para a sociedade. Por outro lado, é importante salientar que é uma atividade causadora de grandes impactos socioambientais. Nessa perspectiva,

trabalhar com essa temática pode fomentar a formação de alunos mais capacitados para compreender a problemática que envolve a atividade de mineração e, principalmente, buscar por ações sociais relevantes que possam mitigar esses impactos.

A abordagem metodológica CTSA vai ao encontro dos dizeres anteriores, pois auxilia a formação de cidadãos críticos e ativos, que não somente entendem os problemas sociais, mas que busquem de alguma forma resolvê-los ou atenuá-los. O ensino CTSA parece uma boa forma de conduzir o ensino e a aprendizagem dos alunos, uma vez que busca tratar os conteúdos científicos de forma totalmente associada às questões sociais, econômicas, ambientais e às tecnologias envolvidas, promovendo, assim, alunos que possuam capacidade de tomada de decisão, que buscam ações que levem de fato a mudanças, compreendendo seu papel como cidadão e o papel da ciência no meio social.

A abordagem metodológica (tarefa 4) dentro do CTSA foi a quarta tarefa a ser concretizada. Para o planejamento didático-pedagógico, na perspectiva da UDM, a abordagem metodológica é extremamente importante, pois essa articula e ressignifica todos os elementos do planejamento. Desta forma, ao escolher uma abordagem, o professor explicita sua visão de mundo, o papel da educação, seus objetivos e crenças. Com todas as sete tarefas que fazem parte da UDM, o professor obtém um planejamento completo, que o ajuda a compreender quem são seus alunos, para que os objetivos e as estratégias estejam de acordo com o perfil desses. A revisão do conteúdo possibilita que o professor domine a temática que será abordada, o que também é fundamental para evitar improvisos e explicações equivocadas (tarefa 2). Com a análise dos obstáculos epistemológicos e das concepções prévias o professor compreende o que deve ser evitado e o que deve ser evidenciado para que isso maximize o processo de ensino e aprendizagem (tarefa 3).

A UDM apresentada neste trabalho (Apêndice A) buscou avançar dentro da temática ambiental, focando na poluição e recuperação de metais pesados. Pode-se destacar, também, a estrutura utilizada para construir as sequências didáticas, na qual cada SD trata-se de um momento do CTSA, que foi desenvolvida seguindo precisamente a premissa dessa abordagem metodológica.

Como perspectivas futuras sugere-se uma intervenção utilizando o planejamento desenvolvido nesse trabalho, dentro de alguma disciplina de um curso superior relacionado à química. Além disso, há expectativa de desenvolvimento de

novos planejamentos focados em outros eixos da química ambiental e para outros níveis de ensino.

## REFERÊNCIAS

- AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? 1994. *In*: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. **STS Education: International Perspectives on Reform**. New York: Teachers College Press, p. 47 – 59.
- AKCIL, A.; KOLDAS, S. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 12 - 13, p. 1139 – 1145, 2006.
- ALBUQUERQUE, F.; GALIAZZI, M. C. A formação do professor em rodas de formação. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 92, n. 231, p. 386 - 398, 2011.
- ALI, H.; KHAN, E. Environmental chemistry in the twenty-first century. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, n. 2, p. 329 – 346, 2017.
- ALVES, M; BEGO, A. M. A celeuma em torno da temática do planejamento didático-pedagógico: Definição e caracterização de seus elementos constituintes. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, p. 71 - 96, 2020.
- ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. *In*: **Processos de ensinagem na universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula**. 10. ed. Joenville: Editora Unville, 2005. Cap. 2, p. 74 – 107.
- AZZOLIN, K. *et al.* Solubilidade: concepções prévias de estudantes do ensino médio. **Revista Ciências & Idéias**, v. 4, n. 2, p. 95 - 105, 2014.
- CUBA, A. M. Educação Ambiental nas Escolas. **Revista de Educação, Cultura e Comunicação**, v. 1, n. 2, p. 23 – 31, 2010.
- ARRAES, M. C. G. A.; VIDEIRA, M. C. M. C. Breve histórico da Educação Ambiental no Brasil. **Revista de Psicologia**, v. 13, n. 46, p. 101 – 118, 2019.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- ATKINS, P. W. *et al.* **Química inorgânica**. 4a edición. Porto Alegre: Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores SA, 2008.
- BABOUR, R. **Grupos focais**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- BACH, W. Fossil fuel resources and their impacts on environment and climate. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 6, n. 2, p. 185 - 201, 1981.
- BARRENTINE, C. D. Science education: Education in, or about science?. **Science education**, v. 70, n. 5, p. 497 - 499, 1986.
- BBC. **Brumadinho: o documentário da BBC**. Youtube, 2019. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=YIN02W40UTE&lc=Ugy1D6kt6vzMwsLmOQ94AaABA&ab\\_channel=BBCNewsBrasil](https://www.youtube.com/watch?v=YIN02W40UTE&lc=Ugy1D6kt6vzMwsLmOQ94AaABA&ab_channel=BBCNewsBrasil). Acesso em: 24 set. 2022.

BEGO, A. M. A implementação de unidades didáticas multiestratégicas na formação inicial de professores de Química. **Coleção Textos FCC**, v. 50, p. 55 - 72, 2016.

BEGO, A. M.; SGARBOSA, E. C. Transitando entre o planejamento teórico e a realidade do cotidiano escolar: vivências, desafios e aprendizados. **Núcleos de Ensino da UNESP**, v. 2, p. 8 - 32, 2016.

BEGO, T. M. **Conhecimentos implícitos e explícitos de professores de química em formação inicial: a implementação de unidades didáticas multiestratégicas como percurso formativo**. 2017. 225f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2017c.

BEGO, A. M.; FERRARINI, F. O. C.; MORALLES, V. A. Resignificação dos estágios curriculares supervisionados por meio da implementação de Unidades Didáticas Multiestratégicas. **Educação Química em ponto de vista**, v. 5, p. 5 – 28, 2021.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523 – 530, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei n. 9.795/1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=321>. Acesso em: 13 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei n. 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 13 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 9.795**, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/l10406compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm). Acesso em: 13 mar. 2022.

CAMPOS, M. L. A.; JARDIM, W. F. Aspectos relevantes da biogeoquímica da hidrosfera. **Química Nova na escola**, n.5, p. 18 – 27, 2003.

CARVALHO, N. B.; JUSTI, R. S. Papel da analogia do " mar de elétrons " na compreensão do modelo de ligação metálica. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1 - 4, 2005.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

COSTA, C. B. B; GIULIETTI, M. **Introdução à cristalização**: princípios e aplicações. São Carlos: EDUFSCar, 2011.

DAVIS JR, R. A. et al. Rio Tinto estuary (Spain): 5000 years of pollution. **Environmental Geology**, v. 39, n. 10, p. 1107 - 1116, 2000.

DE MELLO, J. W. V; DUARTE, H. A.; LADEIRA, A. C. Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. **Cadernos Temáticos de Química nova na escola**, v. 8, p. 24 - 29, 2014.

DE OLIVEIRA, M. J. *et al.* Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do

clima. **Terrae didática**, v. 13, n. 3, p. 149 - 184, 2017.

DIAS, G. F. **Educação ambiental**: princípios e práticas. 9.ed. São Paulo: Gaia, 2004.

DO CARMO, M. P.; MARCONDES, M. E. R. Abordando Soluções em Sala de Aula – uma Experiência de Ensino a partir das Idéias dos Alunos. **Química Nova na Escola**, n. 28, p. 37 - 41, 2008.

DUARTE, H. A. Ligações químicas: ligação iônica, covalente e metálica. **Cadernos temáticos de Química nova na escola**, v. 4, 2001.

DUFFUS, J. H. " Heavy metals" a meaningless term?(IUPAC Technical Report). **Pure and applied chemistry**, v. 74, n. 5, p. 793 - 807, 2002.

DURUIBE, J. O. et al. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. **International Journal of physical sciences**, v. 2, n. 5, p. 112-118, 2007.

EUGENIO, N.R; MCLAUGHLIN, M; PENNOCK, D. 2018. **Soil Pollution**: a hidden reality. Rome: FAO, 2016.

FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gest. Prod.**, v.17, n. 2, p.421 - 431, 2010.

FERRARINI, F. O. C. **Desenvolvimento do conhecimento prático-profissional no processo de implementação de unidades didáticas multiestratégicas para o ensino de Química no contexto da formação inicial de professores**. Orientador: Amadeu Moura Bego. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2020.

FATARELI, E. F. *et al.* Método cooperativo de aprendizagem Jigsaw no ensino de cinética química. **Química nova na escola**, v. 32, n. 2, p. 161 - 168, 2010.

FIGUEIRA, R. C. L; CUNHA, I. I. L. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. **Química Nova**, v. 21, p. 73 - 77, 1998.

FORNARO, A. Águas da chuva:conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. **Revista USP**, n. 70, p. 78 - 87, 2006.

GALLI, A. *et al.* Utilização de técnicas eletroanalíticas na determinação de pesticidas em alimentos. **Química Nova**, v. 29, p. 105 - 112, 2006.

GRIMM, A. M.; ACEITUNO, P. El niño, novamente! **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 351 - 357, 2015.

HAWKES, S. J. What is a " heavy metal"? **Journal of chemical education**, v. 74, n. 11, p. 1374, 1997.

HAYDT. R. C. C. **Curso de didática geral**. São Paulo: Ática, 2001

HOUGHTON, J. Global warming. **Reports on Progress in Physics**, v. 68, n. 6, p. 1343 – 1403, 2005.

IUPAC. **Gold Book**: Compendium of chemical terminology. v. 528, 2014.

JIANG, L. *et al.* Impacts of Cd (II) on the conformation and self-aggregation of Alzheimer's tau fragment corresponding to the third repeat of microtubule-binding domain. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics**, v. 1774, n. 11, p. 1414 - 1421, 2007.

JONES, C. J. **A química dos elementos dos blocos d e f**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

KAKSONEN, A. H.; PUHAKKA, J. A. Sulfate reduction based bioprocesses for the treatment of acid mine drainage and the recovery of metals. **Engineering in Life Sciences**, v. 7, n. 6, p. 541 – 564, 2007.

LENS, P. N. L.; VISSER, A.; JANSSEN, A. J. H.; POL, L. W. H.; LETTINGA, G. Biotechnological Treatment of Sulfate-Rich Wastewaters. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 28, n. 2014, p. 41 – 88, 1998.

LEWIS, A. E. Review of metal sulphide precipitation. **Hydrometallurgy**, v. 104, n. 2, p. 222 – 234, 2010.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. **Química nova na escola**, v. 33, n. 4, p. 199 - 205, 2011.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v. 36, p. 1248 - 1255, 2013.

MCKAVANAGH, C.; MAHER, M. Challenges to science education and the STS response. **Australian Science Teachers Journal**, v. 28, n. 2, p. 69 - 73, 1982.

MEDEIROS, A. B.; JOSÉ, M.; MENDONÇA, L. The importance of environmental education in School inicial series. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 4, n. 1, p. 1 – 17, 2011.

MEYER, A.; SARCINELLI, P. N.; MOREIRA, J. C. Estarão alguns grupos populacionais brasileiros sujeitos à ação de disruptores endócrinos? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 15, n. 4, p. 845 – 850, 1999.

MORALLES, V. A. **Vamos modelar, professor Hélio?**: Desenvolvimento do conhecimento prático-profissional por meio da implementação de uma Unidade Didática Multiestratégica. Orientador: Amadeu Moura Bego. Tese (Doutorado) – Curso de Química, Universidade Estadual Paulista – Instituto de Química Araraquara, Araraquara, 2021.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 273 - 283, 2000.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da saúde**, v. 4, n. 1, p. 83 - 100, 2006.

NETO, G. S. P.; BEVILAQUA, D.; COSTA, R. B. BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR COMO SUBSTRATO PARA RECUPERAÇÃO DE METAIS... In: Anais do XXXIII Congresso de Iniciação Científica da Unesp: Agenda 2030 e as Perspectivas da Iniciação Científica da Unesp., 2020. **Anais [...]** São Paulo, 2020.

PACEY, A. **La cultura de la tecnología**. México: Fondo de Cultura Económica, 1990.

PASSOS, P. N. C. A Conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais e Democracia**, v. 6, n. 6, 2009.

PERUZZO, T.; CANTO, E. **Química na Abordagem do Quotidiano**. São Paulo: Moderna, 2006. v. 3.

PORLÁN, R.; RIVERO, A. **El conocimiento de los profesores**. Sevilla: Díada, 1998.

PRADO, A. G. S. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Química Nova**, v. 26, p. 738 - 744, 2003.

PRIOR, T.; DALY, J.; MASON, L.; GIURCO, D. Resourcing the future: Using foresight in resource governance. **Geoforum**, v. 44, p. 316 – 328, 2013.

RAYNER-CANHAM, G.; OVERTON, T. **Química Inorgânica Descritiva**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

REHMAN, K. et al. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. **Journal of cellular biochemistry**, v. 119, n. 1, p. 157 - 184, 2018.

SÁNCHEZ-ANDREA, I.; SANZ, J. L.; BIJMANS, M. F. M.; STAMS, A. J. M. Sulfate reduction at low pH to remediate acid mine drainage. **Journal of Hazardous Material**. v. 269, n. 3, p. 98 – 109, 2014.

SANMARTÍ, N. Organización y secuenciación de las actividades de enseñanza/aprendizaje. In: **Didáctica de las ciencias em la educación secundaria obligatoria**. Madrid: Editorial Síntesis, 2009. cap. 8, p. 169 - 204.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em educação em ciências**, v. 2, n. 2, p. 1 - 23, 2000.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 1, p. 95 - 111, 2001.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. Ensino de Ciências com enfoque ciência, tecnologia e sociedade-CTS. *In:\_\_\_\_\_*. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. 4. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010. Cap. 3, p. 59 – 95.

SILVA, C. M.; ARBILLA, G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1619 - 1614, 2018.

SILVA, L. A.; MARTINS, C. R.; ANDRADE, J. B. Por que todos os nitratos são solúveis? **Química nova**, v. 27, n. 6, p. 1016 - 1020, 2004.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural \* O efeito estufa na Terra. **Terræ Didática**, v. 5, n. 1, p. 42 – 49, 2009.

SIMATE, G. S.; NDLOVU, S. Acid mine drainage: Challenges and opportunities. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 3, p. 1785 – 1803, 2014.

SOARES, M. A. C. P.; DA SILVEIRA, M. P. Metais: uma proposta de abordagem com enfoque ciência/tecnologia/sociedade. **Secretaria de Estado da Educação**, p. 1 - 24, 2007

SOLOMON, J. Science technology and society courses: Tools for thinking about social issues. **International Journal of Science Education**, v. 10, n. 4, p. 379 - 387, 1988.

SOUZA, A. K. R *et al.* Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95 - 106, 2018.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental**. Porto Alegre: Pearson Prentice-Hall, 2009.

TAVARES, S. R. L. Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: conceitos básicos e fundamentos. Joinville: **Clube de Autores**, 2013. cap. 2, p. 61 - 90.

THOMAS, I. D. Assessing student understanding of science-technology-society interactions. **Australian Science Teachers Journal**, v. 31, n. 1, p. 33 - 37, 1985.

VEIGA, J. E.. Saúde e sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 34, p. 303 - 310, 2020.

YAGER, R. E.; MCCORMACK, A. J. Assessing teaching/learning successes in multiple domains of science and science education. **Science education**, v. 73, n. 1, p. 45 - 58, 1989.

ZABALZA, M. A. **Diários de aula: um instrumento de pesquisa e desenvolvimento profissional**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

ZOCA, C.C. **Transformação da prática pedagógica e identidade profissional de um professor universitário de química**: o caso da implementação de uma Unidade Didática Multiestratégica. Orientador: Amadeu Moura Bego. 2021. 192f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, 2021.

## APÊNDICE A– Unidade Didática Multiestratégica

### INSTRUMENTO PARA PLANEJAMENTO DE UNIDADE DIDÁTICA MULTIESTRATÉGICA (UDM)

IDENTIFICAÇÃO DO TRABALHO	
<b>Instituição</b>	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Química, campus de Araraquara
<b>Curso</b>	Licenciatura Química
<b>Disciplina</b>	Trabalho de Conclusão de Curso
<b>Professor</b>	Orientadora: Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> . Denise Bevilaqua Coorientador: Prof. Dr. Vagner Antonio Morales
<b>Autor da UDM</b>	Guilherme Salvador Peres Neto
<b>Data e versão da UDM</b>	01 de novembro de 2022 - Primeira versão

CONTEXTO DA INTERVENÇÃO DIDÁTICO-PEDAGÓGICA	
Nome da unidade escolar	Instituição de Ensino Superior do Estado de São Paulo
Endereço completo	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Site e e-mail	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Caracterização da unidade escolar	<b>A instituição foi pensada de forma genérica de acordo com experiências do primeiro autor.</b> Instituição de Ensino Superior do Estado de São Paulo, normalmente são instituições contendo laboratórios didáticos, laboratório de microbiologia, química e química analítica. Espaço amplo para os alunos estudarem, conversarem e se alimentarem ao ar livre, biblioteca com uma grande diversidade de livros possibilitando estudos no local ou em casa com empréstimos. Apresentam salas de aulas e anfiteatros para aulas ou palestras, diretoria, secretaria, seção de graduação e de pós graduação.
Disciplina	Optativa - Química Ambiental/Tratamento de resíduos
Ano/turma	Ensino Superior
Professor responsável	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Número de estudantes	Entre 30 e 50 alunos
Caracterização dos estudantes	Estudantes que em sua maioria moram próximos ao campus, com algumas exceções de alunos que são de outras cidade ou moram em bairros mais distantes. De forma geral possuem celular, computadores e internet. Recursos como computadores e internet são disponibilizado pela própria instituição.

<b>ANÁLISE CIENTÍFICO-EPISTEMOLÓGICA</b>	
<b>Conteúdo programático da UDM</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Química Ambiental;</li><li>• Metais pesados;</li><li>• Poluição e recuperação de metais pesados;</li><li>• Principais propriedades dos metais;</li><li>• Solubilidade de compostos inorgânicos;</li><li>• Precipitação;</li><li>• Concentração.</li></ul>
<b>Pré-requisitos para a UDM</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Poluição;</li><li>• Conceitos de substâncias e misturas;</li><li>• Quantidade de matéria;</li><li>• Solvatação;</li><li>• Saturação;</li><li>• Conceito de ácido e base;</li><li>• Reação de neutralização;</li><li>• Solubilidade de compostos inorgânicos;</li><li>• Concentração de soluções;</li><li>• Interações intermoleculares.</li><li>• Blocos da tabela periódica e periodicidade das propriedades.</li></ul>

<p><b>Orientações curriculares oficiais sobre o tema</b></p>	
--	--

### Conteúdos conceituais

- **Identificação** dos fatos e/ou fenômenos de interesse (aspecto fenomenológico)

- **Interpretação** dos fatos ou fenômenos de interesse (aspectos teórico e simbólico)

### Fenomenológico

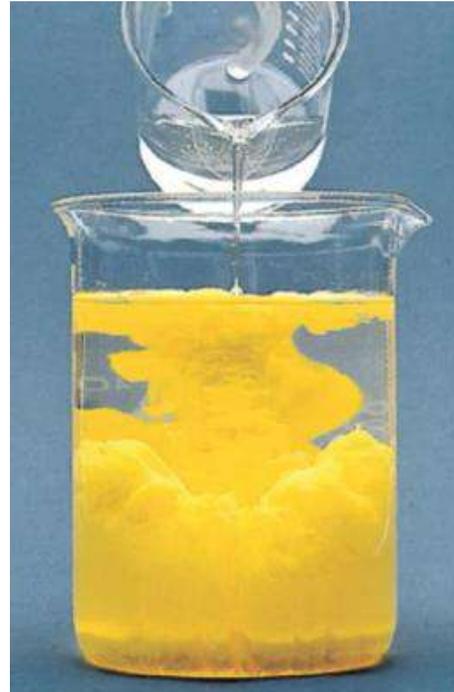
Em relação a poluição por metais pode-se observar a mudança da coloração das águas pelo acúmulo de cátions metálicos como ocorre, por exemplo, no Rio Tinto na Espanha (Figura 11). Os metais podem ser identificados por suas características como brilho, dureza (exceção de alguns metais como o ouro), condução de corrente elétrica e condução térmica.



**Figura 11.** Rio Tinto na Espanha.

**Fonte:** Davis *et al.* (2000, p. 1112).

A Figura 12 mostra a precipitação de uma substância amarela, a formação do iodeto de chumbo (substância insolúvel) permite sua visualização.



**Figura 12.** Formação do iodeto de chumbo(II), uma substância amarela insolúvel.

**Fonte:** Atkins e Jones (2018. p. 52)

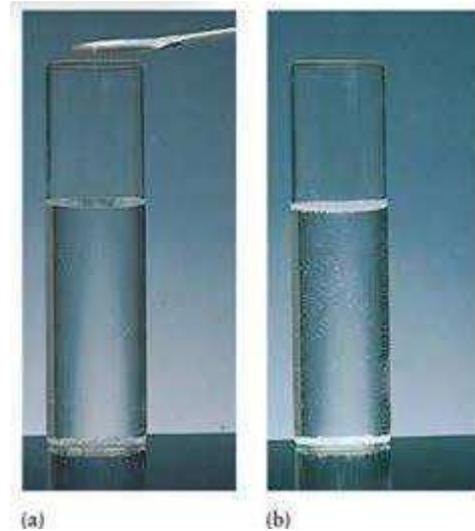
A Figura 13 demonstra a diferença que um impacto causa em um metal e em uma substância iônica, fator que pode ser explicado pelo mar de elétrons. É possível ver o metal brilhante amassado e sem falhas, enquanto o sólido iônico vermelho está em pó.



**Figura 13.** A peça de chumbo foi achatada por um martelo, porém os cristais cor de laranja do composto iônico óxido de chumbo(II) se quebraram.

**Fonte:** Atkins e Jones (2012, p. 207)

Em relação a precipitação é possível visualizar a formação de um sólido em uma fase líquida, como por exemplo na formação de acetato de zinco tem-se a produção de um precipitado branco como mostra a Figura 14.



**Figura 14.** (a) Solução saturada de acetato de zinco em água. (b) Quando íons acetato são adicionados, na forma de um cristal de acetato de sódio sólido, a solubilidade do acetato de zinco é reduzida significativamente e mais acetato de zinco precipita.

**Fonte:** Atkins e Jones (2012, p. 500)

A Figura 15 mostra duas diferentes soluções com glicose, na primeira imagem, à esquerda, toda a glicose está dissolvida e na imagem à direita, a solução está saturada sendo possível observar o corpo de fundo.



**Figura 15.** Quando uma pequena quantidade de glicose é agitada em 100 mL de água toda a glicose se dissolve (à esquerda). Quando uma grande quantidade de glicose é adicionada, parte dela não se dissolve e a solução fica saturada de glicose (à direita).

**Fonte:** Atkins e Jones (2012, p. 344).

### Teórico

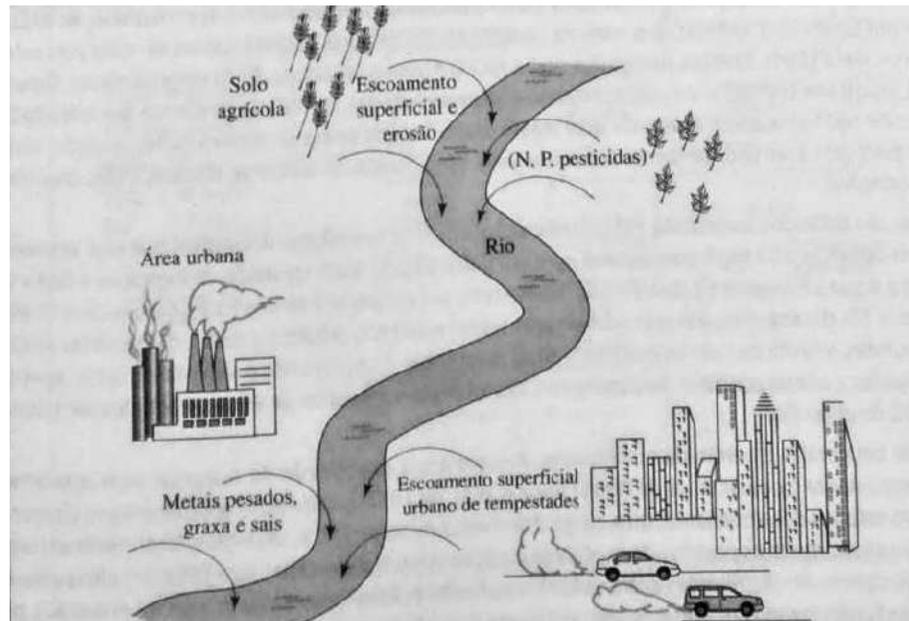
As próximas subseções apresentam, com riqueza de detalhes, algumas das temáticas de interesse da Química Ambiental, com destaque para os metais pesados.

#### **1.1 Poluição do solo, água e ar.**

De acordo com Spiro e Stigliani (2009) a poluição do ar está associada às substâncias que, em escala local ou regional, afetam o ar atmosférico, refletindo em danos ao meio ambiente, animais, plantas, seres

humanos e objetos. Os principais causadores dessa poluição são: o gás monóxido de carbono (CO), o gás dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), substâncias orgânicas tóxicas e/ou voláteis, materiais particulados, o gás óxido de nitrogênio (NO) e o gás dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Em relação às fontes de poluição das águas, pode-se dividir em duas grandes categorias, sendo elas: as fontes pontuais e as não pontuais. As fontes pontuais são as fábricas, instalações industriais ou comerciais que despejam substâncias tóxicas diretamente na água. As não pontuais (Figura 16) correspondem a liberação de poluentes por veículos de transporte; escoamento superficial da agricultura que carregam nutrientes, pesticidas e iodo; escoamento superficial urbano que pode conter metais pesados e substâncias orgânicas (SPIRO; STIGLIANI, 2009).



**Figura 16.** Fontes não pontuais de poluição das águas.

**Fonte:** Spiro e Stigliani (2009, p. 235).

A poluição do solo refere-se a presença de substâncias ou elementos que não são encontrados naturalmente naquele lugar ou que apresentam concentrações maiores que o normal e que afetam os organismos presentes (EUGENIO; MCLAUGHLIN; PENNOCK, 2018). Grande parte dos poluentes são de origem antropogênica, entretanto, podem surgir de forma natural, sendo tóxicos em altas concentrações (EUGENIO; MCLAUGHLIN; PENNOCK, 2018). Industrialização, guerras, agrotóxicos e expansão urbana são

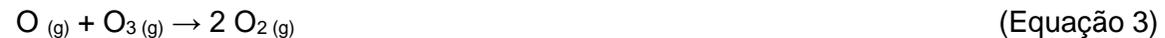
alguns dos fatores que levaram à intensificação da poluição do solo (EUGENIO; MCLAUGHLIN; PENNOCK, 2018).

### 1.2 Reações atmosféricas, depleção do ozônio e precipitação ácida.

As substâncias que causam a poluição atmosférica podem participar de algumas reações químicas levando à depleção da camada de ozônio, a precipitação ácida e alguns outros fenômenos. No caso do ozônio ( $O_3$ ) este pode sofrer reações catalíticas que o decompõem em gás oxigênio ( $O_2$ ). As principais espécies químicas que podem acelerar essa decomposição são o radical hidroxila ( $HO\cdot$ ), o monóxido de nitrogênio (NO), os átomos de cloro (Cl) e bromo (Br) (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Essas espécies geram um caminho alternativo para decomposição do ozônio ( $O_3$ ), que elimina a necessidade de interação com a radiação ultravioleta. As reações 1 e 2 a seguir representam o processo de decomposição do ozônio, na qual X são as espécies que podem induzir a catálise (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

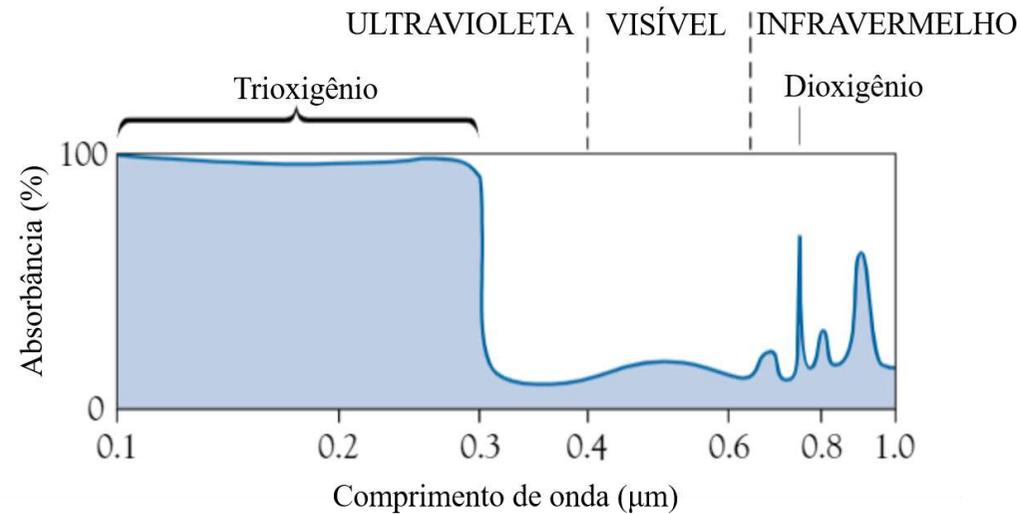


Portanto, a equação líquida do processo é (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015):



O grande problema desse processo de catálise é que o ozônio da atmosfera é responsável por proteger os seres vivos da radiação ultravioleta de baixo comprimento de onda. A transformação do ozônio em oxigênio

gasoso, faz com que a atmosfera perca a capacidade de absorção dessa radiação (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015). Na Figura 17 é apresentado um gráfico que relaciona a absorção da radiação ultravioleta pelo ozônio ( $O_3$ ), na atmosfera, em função do comprimento de onda do espectro eletromagnético.

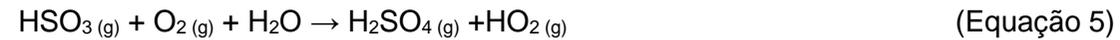
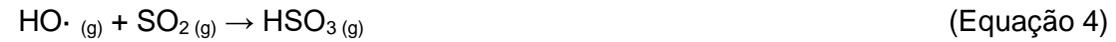


**Figura 17.** Absorção da radiação eletromagnética na atmosfera.

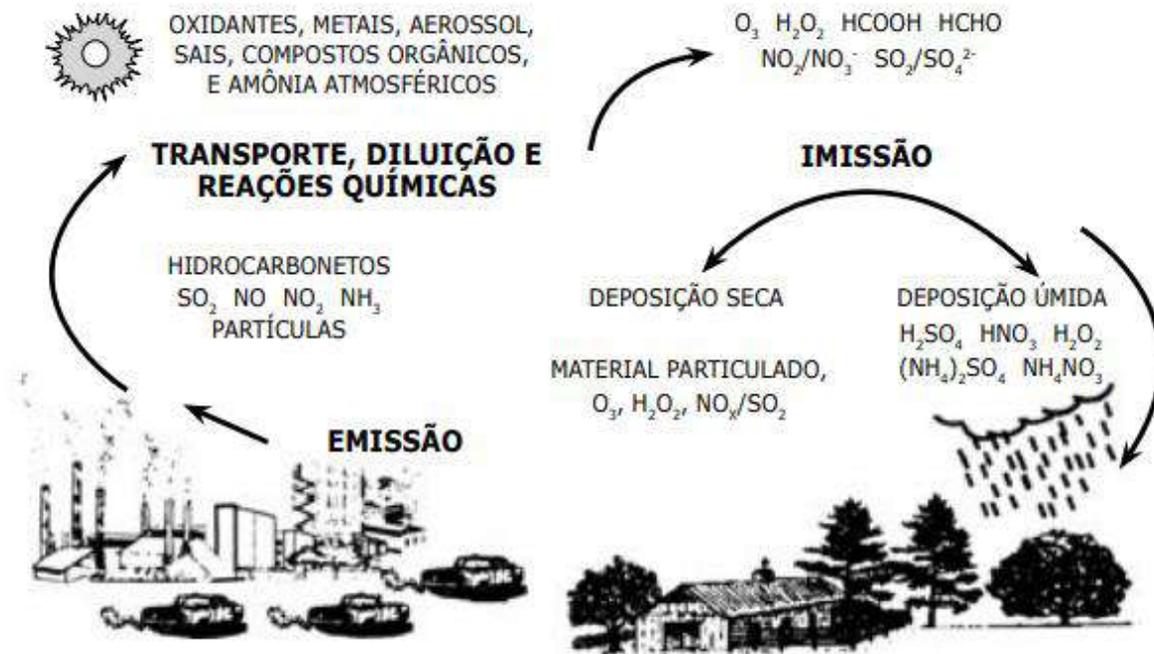
**Fonte:** Rayner-Canham e Overton (2015, p. 318).

Um dos principais componentes da chuva ácida ou precipitação ácida ocorre pela oxidação do dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), proveniente principalmente da queima de carvão mineral, o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) (SPIRO;

STIGLIANI, 2009). A oxidação ocorre devido a interação de moléculas de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) gasoso com o radical hidroxila (HO·), conforme apresentado nas reações 4 e 5 (SHRIVER; ATKINS, 2008).



Segundo Fornaro (2006), as reações atmosféricas que podem levar a precipitação ácida são complexas e baseiam-se em emissão, transporte, diluição, transformação química e emissão de poluentes (Figura 18). Diante disso, a precipitação ácida pode ocorrer como deposição seca ou úmida e não necessariamente apenas nas chuvas, tornando o termo “deposição ácida” mais coerente (FORNARO, 2009).



**Figura 18.** Modelos explicativos dos processos e compostos químicos atmosféricos envolvidos na formação da deposição ácida.

**Fonte:** Fornaro (2009, p. 81).

Na atmosfera, as moléculas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) podem formar partículas da ordem de  $2,5 \mu\text{m}$  ou menos, por meio da associação com óxidos metálicos e gases. Ao entrar em contato com as vias

respiratórias essas partículas podem aumentar a chance de se desenvolver doenças pulmonares e cardíacas (SHRIVER; ATKINS, 2008).

Quando em contato com o solo o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) pode contribuir para a diminuição de nutrientes essenciais para as plantas como os cátions de metais alcalinos (principalmente  $Na^+$  e  $K^+$ ) e alcalinos-terrosos (principalmente  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ). Em contato com os sistemas aquáticos, um ácido forte como este pode acidificar a água levando a morte de peixes, por exemplo. Ademais, a chuva ácida também é responsável pelo processo de erosões em construções nas cidades (SHRIVER; ATKINS, 2008).

### **1.3 Aquecimento global e mudanças climáticas.**

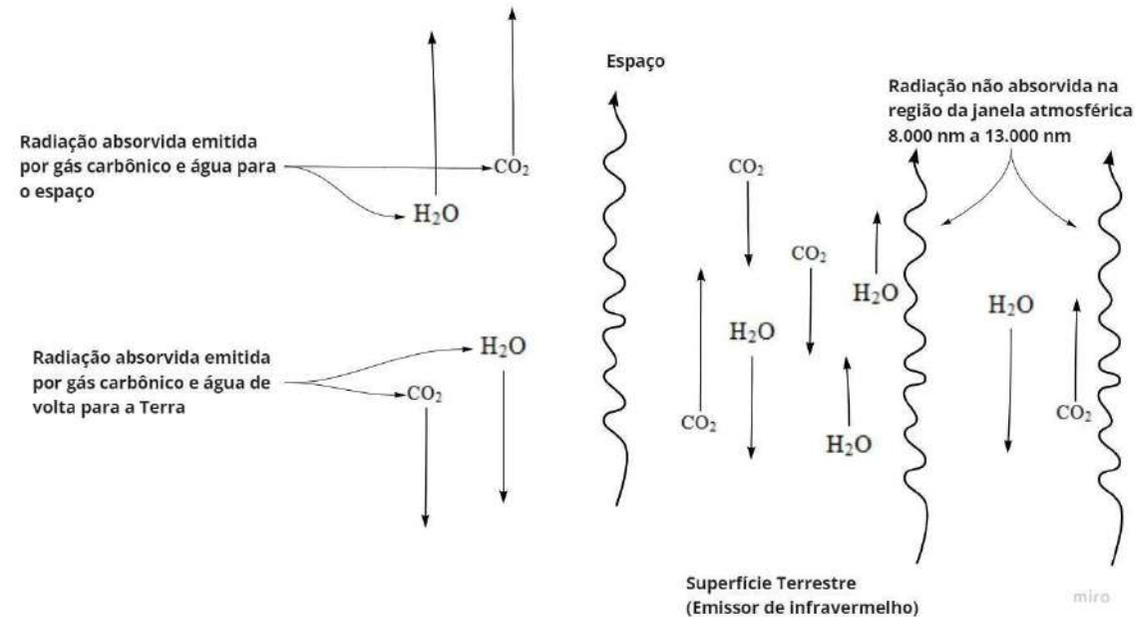
O aquecimento global surge da junção de vários fatores, a radiação do sol que incide na Terra, a própria radiação térmica da Terra e da atmosfera que são irradiadas para o espaço (HOUGHTON, 2005). Trata-se de um fenômeno climático de larga extensão provocado por fatores internos e/ou externos (SILVA; PAULA, 2009).

Fatores internos são associados a atividades inconstantes como atividade solar, composição atmosférica, tectonismo<sup>6</sup> e vulcanismo, enquanto os externos estão associados a causas antropogênicas (SILVA; PAULA, 2009).

Destaca-se, por fim, que a existência do efeito estufa é de extrema importância, sem esse fenômeno a vida como conhecemos não poderia existir (SILVA; PAULA, 2009). O problema ocorre, no entanto, quando esse efeito estufa se intensifica, porque a maior concentração desses gases faz com que uma maior quantidade de energia térmica emitida pela superfície terrestre seja reabsorvida pela atmosfera, funcionando como uma espécie de cobertor refletor (HOUGHTON, 2005). As moléculas dos gases do efeito estufa absorvem a radiação infravermelha e, posteriormente, a irradiam em todas as direções, aumentando a temperatura da atmosfera

<sup>6</sup> Movimento das placas tectônicas que podem formar ou separar continentes, alterar ação de vulcões e o clima terrestre. (DE OLIVEIRA et al., 2017)

inferior e diminuindo a da superior (SPIRO; STIGLIANI, 2009). A Figura 19 apresenta um modelo que explicativo para demonstrar como ocorre a absorção e irradiação da radiação infravermelha por gases do efeito estufa.



**Figura 19.** Modelo explicativo da irradiação da radiação infravermelha terrestre por gases do efeito estufa.

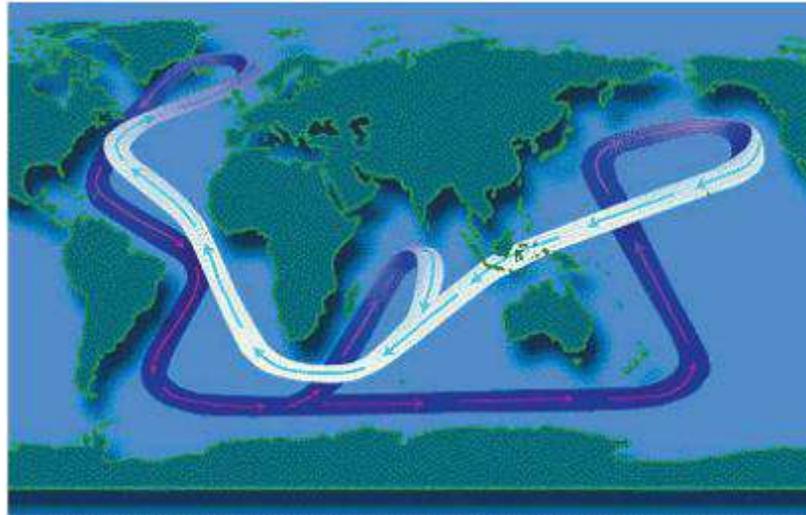
**Fonte:** adaptado de Spiro e Stigliani (2009, p. 115).

Dentre as moléculas causadoras do efeito estufa destacam-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de nitrogênio ( $\text{NO}$ ), o dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e os clorofluorcarbonetos (CFCs). Pode-se destacar o dióxido de carbono como a principal molécula causadora do efeito estufa, sendo o responsável por 70% no agravamento do efeito estufa (HOUGHTON, 2005). A concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), após

as revoluções industriais, vem crescendo a cada ano, o que está agravando as consequências do efeito estufa (HOUGHTON, 2005).

Sobre as mudanças climáticas podemos destacar o próprio aumento da temperatura média da Terra, que pode fazer com que os países do sul europeu, América central, sul do continente africano e Austrália passem a ter verões mais secos (HOUGHTON, 2005). O fenômeno do *El Niño*, por exemplo, está associado às secas na Austrália e algumas partes da África e ao mesmo tempo a inundações em regiões da América (HOUGHTON, 2005). O *El Niño* é um fenômeno atmosférico que ocorre no oceano pacífico, onde uma interação oceano-atmosfera causa aumentos na temperatura, levando a impactos em todo o planeta (GRIMM; ACEITUNO, 2015).

A longo prazo uma das preocupações é a mudança na circulação termohalina dos oceanos, que é responsável por transferir calor de uma região do globo para outra, como sugerido no esquema da Figura 20 (CAMPOS; JARDIM, 2003). Com o aumento da temperatura média do planeta e, conseqüentemente, com o derretimento das geleiras, as concentrações de sais no oceano podem diminuir. Essa diminuição alteraria a densidade das águas, afetando a circulação termohalina, ocasionando mudanças drásticas na temperatura do globo (CAMPOS; JARDIM, 2003). Como os autores salientam, fundamentados em modelos matemáticos, caso haja um colapso na circulação termohalina, regiões frias do globo podem se tornar ainda mais frias.



**Figura 20.** Representação da grande circulação oceânica, com a cor clara representando temperaturas mais elevadas na superfície das águas, enquanto a cor escura representa a circulação profunda, com temperaturas mais baixas.

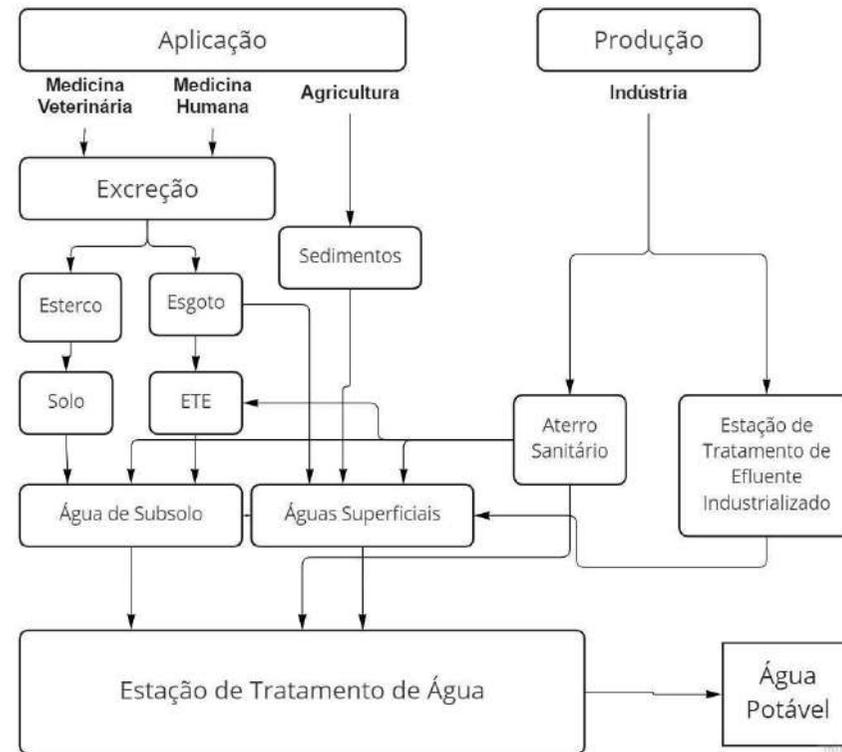
**Fonte:** Campos e Jardim (2003, p. 21).

### 1.5 Fármacos.

O monitoramento de fármacos residuais no meio ambiente ganhou destaque pelo fato de diversas substâncias serem encontradas em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) (BILA; DEZOTTI, 2003). No mundo todo, antibióticos, hormônios, anestésicos, anti-inflamatórios, entre outros, são detectados no esgoto doméstico, em águas superficiais e subterrâneas (BILA; DEZOTTI, 2003).

Os antibióticos são objetos de grande preocupação, uma vez que, podem além de contaminar os ambientes aquáticos, levar ao surgimento de bactérias resistentes ao medicamento, impactando a saúde animal

e humana diretamente (BILA; DEZOTTI, 2003). A Figura 21 esquematiza uma possível rota de contaminação de recursos hídricos por fármacos.



**Figura 21.** Possíveis rotas de fármacos no meio ambiente.

**Fonte:** Bila e Dezotti (2003, p. 524).

A presença dessas substâncias na água pode ser prejudicial em diferentes níveis biológicos, agindo como perturbadores endócrinos, substâncias cancerígenas, redutor da fertilidade masculina, entre outros (BILA; DEZOTTI, 2003). Torna-se necessário, portanto, uma avaliação criteriosa dos riscos e concentrações tóxicas, para um tratamento de efluentes seguro e eficaz que possa de fato remover essas substâncias nas ETEs (BILA; DEZOTTI, 2003).

### **1.6 Saúde humana e dos ecossistemas.**

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a saúde pode ser definida como: “um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não somente ausência de afecções e enfermidades”. No Brasil, a constituição de 1998 considera saúde como um direito de todos e dever do Estado. Com esta finalidade o Sistema Único de Saúde (SUS) foi criado baseando-se em três pilares fundamentais: universalidade, igualdade de acesso e integralidade no atendimento. Ainda dentro dos anos 1990, a OMS legitima a “saúde ambiental” como aspecto inerente à “saúde pública”, envolvendo os fatores físicos, químicos e biológicos externos a uma pessoa, bem como os fatores relacionados que afetam os comportamentos (VEIGA, 2020). Uma diferenciação que surge nas terminologias usadas é entre os conceitos de “saúde pública” e “saúde coletiva”, segundo Veiga (2020, p. 304):

Na perspectiva assumida pela Associação Brasileira de Saúde Coletiva (Abrasco) a Saúde Pública toma como objeto de trabalho os problemas de saúde, definidos em termos de mortes, doenças, agravos e riscos em suas ocorrências no nível da coletividade. Nesse sentido, o conceito de saúde que lhe é próprio é o da ausência de doenças. Já a Saúde Coletiva, por sua vez, toma como objeto todas as condições requeridas não apenas para evitar a doença e

prolongar a vida, mas também para melhorar a qualidade de vida e, no limite, permitir o exercício da liberdade humana na busca da felicidade.

A Saúde Pública se associa a mobilização da epidemiologia tradicional, planejamento normativo e administração com base no taylorismo, com uma concepção biologista da saúde, com ações isoladas da vigilância epidemiológica e sanitária, bem como alguns programas especiais (VEIGA, 2020). A saúde coletiva, por sua vez, busca associar a epidemiologia social ou crítica com as ciências sociais, os estudos de determinação social e desigualdade em saúde, o planejamento estratégico e comunicativo e a gestão democrática. Levando dessa forma ao desenvolvimento da saúde, cidades saudáveis, políticas públicas saudáveis e saúde em todas as políticas que a envolvem.

### **1.7 Disruptores endócrinos.**

Os disruptores endócrinos são substâncias naturais ou artificiais capazes de perturbar o funcionamento do sistema endócrino de animais, inclusive dos seres humanos. As substâncias naturais que possuem propriedades endócrinas não são tão maléficas para a saúde como as sintéticas, que são utilizadas principalmente na indústria e na agricultura (MEYER; SARCINELLI; MOREIRA, 1999).

As substâncias sintéticas podem ser carregadas pela atmosfera e pela cadeia trófica. Por serem bioacumulativas em tecidos ricos em lipídios contaminam os seres humanos (MEYER; SARCINELLI; MOREIRA, 1999). Alguns exemplos desses compostos são os PCBs (Bifenila Policlorada), Bisfenol A, DDT (Diclorodifeniltricloroetano), entre outros.

Os compostos xenobióticos, substâncias químicas externas ao corpo humano, podem funcionar como anti-hormônios, desequilibrando as funções bioquímicas dos organismos (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Outros

podem causar atrofia nos órgãos sexuais, câncer, diminuição da contagem de espermatozoides e até mesmo características de intersexo (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

### **1.8 Radionuclídeos.**

Os radionuclídeos são responsáveis pela poluição radioativa que compreende mais de 200 nuclídeos<sup>7</sup>, dentre esses, os mais impactantes ao meio ambiente, devido ao longo tempo de meia-vida e ao alto rendimento de fissão, são o cézio - 137 e o estrôncio - 90 (FIGUEIRA *et al.*, 1998). Por possuírem similaridades com os átomos de potássio (K) e cálcio (Ca), podem se acumular nos músculos e ossos (FIGUEIRA *et al.*, 1998).

Outro radionuclídeo maléfico aos ecossistemas é o plutônio - 239, proveniente de combustíveis nucleares ou bombas termonucleares, apresentam tempo de meia-vida de 24.000 anos (FIGUEIRA *et al.*, 1998). Ainda segundo Figueira e colaboradores (1998, p. 76):

O meio marinho é continuamente contaminado com rejeitos nucleares provenientes de diversas fontes e por fragmentos de fissão que no meio aquático podem se acumular nos organismos e serem transferidos através da cadeia alimentar, chegando ao homem pelos alimentos que consome. Esses radionuclídeos mesmo em baixas concentrações são tóxicos, podendo causar danos ao ecossistema e ao homem.

### **1.9 Pesticidas.**

Os pesticidas são substâncias bioativas e que possuem a capacidade de prevenir, destruir ou combater espécies que sejam indesejáveis, pela possibilidade de interferir no processamento, armazenamento, transporte e estocagem de alimentos ou produtos agrícolas em geral (GALLI *et al.*, 2006). Substâncias usadas para combater insetos domésticos ou vetores de doenças, reguladoras do crescimento vegetal, agentes

<sup>7</sup> É uma espécie de átomo, caracterizado pelo seu número de massa, número atômico e estado de energia nuclear, com tempo de meia vida longo suficiente para ser observado. Compendium of Chemical Terminology Gold Book.

desfolhantes e dessecantes também são denominados pesticidas (GALLI *et al.*, 2006). Segundo Galli e colaboradores (2006, p. 105) os pesticidas:

[...] compreendem uma larga variedade de substâncias químicas com diferentes grupos funcionais e, conseqüentemente, com diferentes modos de ação, biotransformação e eliminação. Algumas classes químicas são compostas por organoclorados, carbamatos, organofosforados, piretróides, derivados de uréia, bupiridílios e nitrocompostos, sendo que alguns deles podem causar riscos à saúde e ao meio ambiente.

Dentro da definição dos pesticidas podemos destacar os inseticidas, que apresentam um papel importante na agricultura mundial. Conjectura-se que aproximadamente 30% das plantações agrícolas sejam consumidas por insetos (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Entretanto, a problemática que surge é a bioacumulação, fazendo com que a substância em questão passe pela cadeia alimentar eliminando algumas espécies e causando desbalanços no ecossistema (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

### **1. 10 Fontes de energia.**

A produção e o consumo de energia de forma vertiginosa levaram a diversos desastres ambientais na história da humanidade. Esses desastres estão associados, principalmente, ao uso de fontes não renováveis de combustível e a queima da madeira como fonte de energia. Com o advento da revolução industrial passamos a substituir a queima da madeira, como fonte de energia, pelo carvão mineral (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

No caso do carvão mineral a combustão leva à liberação de diversos compostos na atmosfera (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), além dos impactos da sua mineração que pode levar a geração de drenagens ácidas de minas (BACH, 1981).

Atualmente, as principais fontes de energia utilizadas são os combustíveis fósseis e nuclear (SPIRO; STIGLIANI, 2009). A extração de petróleo, por exemplo, pode levar a contaminação dos oceanos por derramamento do material durante a drenagem. Já durante a queima, o petróleo leva a liberação de contaminantes, assim como o carvão (BACH, 1981). O gás natural também pode levar a contaminação do ar, água e poluição por calor<sup>8</sup>. Outro fator de risco dessa energia é o seu potencial para causar explosões e incêndios (BACH, 1981).

De forma mais limitada temos as fontes renováveis de energia: eólica, solar, hídrica e biomassa. Na Tabela 1 apresenta-se os fluxos globais de energia, salientando o potencial energético das fontes renováveis de energia.

Fontes	Taxas ( $10^{26}$ kJ.ano <sup>-1</sup> )
Energia irradiada pelo Sol no espaço	$1,17 \times 10^{11}$
Energia solar incidente na Terra	54,4
Energia solar que afeta o clima e a biosfera terrestre	38,1
Energia consumida pela evaporação global de água	12,5
Energia eólica	0,109
Energia solar consumida pela fotossíntese	0,0850
Energia consumida na produção primária líquida	0,0430
Energia conduzida no interior da Terra para a superfície	0,0100
Energia primária total consumida pelos seres humanos (2000)	0,00430
Energia de combustíveis fósseis consumida (2000)	0,00369
Energia das marés e ondas	0,00130

<sup>8</sup> Aumento da temperatura do ar ou da água que pode levar a diversos problemas ambientais ou à saúde humana. (HARLAN; RUDEL, 2011)

Total de energia consumida nos EUA (2000)	0,00104
Conteúdo energético de alimentos consumidos por humanos (2000)	0,000260

**Tabela 1.** Fluxos globais de energia.

**Fonte:** adaptado de Spiro e Stigliani (2009, p. 7).

### 1.11 Remediação ambiental.

Trata-se das técnicas utilizadas para remediar áreas contaminadas como solo, recursos hídricos, sedimentos, atmosfera, entre outros. A forma de tratamento depende de fatores como a matriz contaminada, a natureza do contaminante, o nível de contaminação e a disponibilidade dos recursos (TAVARES, 2013).

Dentro das técnicas utilizadas atualmente no mundo, destaca-se a remediação *in situ*, na qual o tratamento é feito no próprio local contaminado. Isso representa menor custo e eliminação da contaminação secundária (TAVARES, 2013). Na remediação *ex situ* o material precisa ser transportado até o local de tratamento, gerando maior custo e possibilidade de contaminação (TAVARES, 2013). Algumas técnicas de remediação que podem ser citadas são *pump and treat*, barreiras reativas permeáveis, fitorremediação, biorremediação, entre outras. Vale ressaltar que no tratamento das drenagens ácidas de minas o uso de reatores *ex situ* leva a melhor remediação das águas e também à possibilidade de recuperação dos metais (SÁNCHEZ-ANDREA *et al.*, 2014).

### 1.12 Química Verde

Os avanços científicos, tecnológicos e econômicos promovem danos ao meio ambiente e ao homem. A produção química, por sua vez, reflete na formação de subprodutos tóxicos e a contaminação do ambiente e do próprio homem expostos a estes xenobióticos (PRADO, 2003).

Algumas estratégias para mitigar os impactos gerados pela química podem ser delineadas pela química verde, que está focada em desenvolver tecnologias e processos que não causem poluição (PRADO, 2003). Os doze princípios da química verde surgem para evidenciar a preocupação com a qualidade de vida e com o meio ambiente, são eles: 1) prevenção; 2) economia de átomos; 3) sínteses com compostos de menor toxicidade; 4) desenvolvimentos de compostos seguros; 5) diminuição de solventes auxiliares; 6) eficiência energética; 7) uso de substâncias recicladas; 8) redução de derivativos; 9) catálise; 10) desenvolvimento de composto para degradação; 11) análise em tempo real para prevenção de poluição; 12) química segura para a prevenção de acidentes (PRADO, 2003).

Destaca-se, ainda, que a química verde não apresenta um caráter de preocupação exclusivamente ambiental, seus impactos podem ser associados a questões econômicas, sociais, educacionais e científicas, nas palavras de Prado (2003, p. 738):

O questionamento global sobre os danos gerados ao planeta por uma miríade de atividades humanas tem se apresentado cada vez mais em destaque na mídia. A resposta encontrada para ajudar na solução destes problemas está baseada em uma combinação de fatores, entre os quais destacam-se os econômicos, científicos, bem como os sociais. Assim, a adoção da química verde é só mais uma das iniciativas para a prevenção da poluição desenfreada. Este novo pensamento científico incentiva tal combinação e a implantação da química verde nos currículos e na prática científica, bem como aplicá-la em escala comercial e industrial.

#### **1.14 Metais pesados tóxicos.**

Os metais pesados ocorrem de forma natural na crosta terrestre, principalmente na forma de minérios em rochas nas mais diferentes formas, como sulfetos e óxidos (DURUIBE; OGWUEGBU; EGWURUGWU, 2000). A emissão de metais ao ambiente pode ocorrer de forma natural ou antropogênica. No segundo caso, principalmente pela atividade mineradora (DURUIBE; OGWUEGBU; EGWURUGWU, 2000). Alguns desses elementos apresentam importância biológica para os humanos, sendo necessários para funções vitais, contudo mesmo nesses casos o consumo desses metais deve ser regulado (DURUIBE; OGWUEGBU; EGWURUGWU, 2000).

#### **1.14.1 Cádmio**

O cádmio (Cd) é um metal pesado amplamente utilizado como estabilizador de corantes, ligas metálicas e produtos relacionados ao *PVC (Polyvinyl chloride* ou policloreto de vinila) (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018). Quando resíduos contendo Cádmio são incinerados, levam a grandes impactos ambientais. O uso de fertilizantes e lodo de esgoto contendo esse metal são comuns em plantações e podem ser absorvidos por vegetais, sendo consumidos pelos humanos. A inalação dos vapores desse metal pode levar a danos sérios ao sistema respiratório, edemas nos pulmões e pneumonia (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018). O cádmio pode também penetrar a barreira placentária causando danos ao feto, podendo também ser excretado no leite materno. Adultos expostos por longos períodos tempo ao metal podem levar a danos neurológicos. estudos recentes reconhecem o Cd como um dos grandes causadores do Parkinson e Alzheimer (JIANG et al., 2007).

#### **1.14.2 Chumbo**

O chumbo (Pb) é bastante utilizado na agricultura e nas indústrias em geral. Diversos processos antropogênicos causam o aumento na exposição a esse metal, como o processo de mineração, processos industriais e a queima de combustíveis fósseis (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018).

No corpo humano os efeitos neurotóxicos do chumbo podem causar danos no processo de sinapse. Ademais, a substituição de cálcio e zinco pelo chumbo pode levar a problemas nos neurotransmissores (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018). Problemas de memória e na capacidade de leitura, também, foram relacionados à exposição ao chumbo.

#### **1.14.3 Níquel**

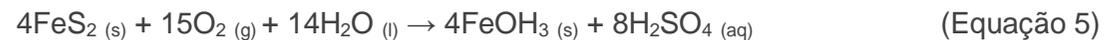
O níquel apresenta grande importância nas funções vitais, contudo a exposição a grandes concentrações pode torná-lo tóxico (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018). Os efeitos tóxicos deste elemento são avaliados pelo tempo de exposição. Exposições de 24 horas levam a toxicidade aguda, enquanto mais de 100 dias podem levar a efeitos crônicos. A exposição ao níquel, após algumas horas, pode causar vômito, irritação, dor de cabeça e insônia (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018). Após alguns dias sintomas como vertigem, palpitações, tosse, cianose e aperto no peito podem aparecer (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018).

Trabalhadores de indústrias de soldagem, com grande exposição, podem contrair problemas respiratórios. Alguns estudos mostraram a capacidade carcinogênica do níquel, além de impactos ao fígado, rins, pulmões e efeitos neurotóxicos (REHMAN; FATIMA; WAHEED, 2018).

#### **1.15 A mineração e seus impactos**

A demanda por metais a partir das revoluções industriais (séculos XVIII-XIX) e, mais recentemente, na revolução eletrônica, levou à intensificação da atividade mineradora (PRIOR *et al.*, 2013). Um dos rejeitos desses processos são as Drenagens Ácidas de Minas (DAM), que causam diversos impactos ambientais, como o acúmulo de metais pesados que, em altas concentrações, são tóxicos aos seres vivos em diferentes níveis tróficos (AKCIL; KOLDAS, 2006).

A formação da DAM ocorre a partir da oxidação das rochas contendo minerais com sulfetos de metais pesados. Quando o minério entra em contato com o oxigênio atmosférico (O<sub>2</sub>) e a água da superfície, os metais são solubilizados e há liberação de íons hidrônio (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>), o que aumenta a acidez do meio e intensifica a lixiviação de outros compostos (KAKSONEN; PUHAKKA, 2007; LENS *et al.*, 1998). A equação (5) apresenta a reação química a partir da qual se forma a DAM, utilizando o minério pirita<sup>9</sup> como exemplo. Nesse caso, há formação de hidróxido de ferro(III) e ácido sulfúrico.



As estratégias mais utilizadas para o tratamento dos resíduos da DAM baseiam-se em processos químicos como, por exemplo, a adição de cal (Ca(OH)<sub>2</sub>) ao meio ácido. Esse processo é altamente custoso e apresenta como resíduo a formação de lodo químico <sup>10</sup>(KAKSONEN; PUHAKKA, 2007; SIMATE; NDLOVU, 2014).

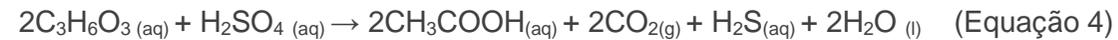
O uso de processos biológicos é outra estratégia frequentemente utilizada. Esse processo depende da redução biológica de sulfato, realizada pelas bactérias redutoras de sulfato (BRS) (KAKSONEN; PUHAKKA, 2007; SÁNCHEZ-ANDREA *et al.*, 2014). Nesse processo o sulfato é reduzido a sulfeto e há produção de pH

<sup>9</sup> Mineral de ferro comum em amostras naturais, representado pela fórmula química (FeS<sub>2</sub>).

<sup>10</sup> O lodo químico se forma quando CaCO<sub>3</sub> é adicionado na DAM para elevar o pH, gerando um resíduo contaminado com hidróxidos e metais pesados. (SÁNCHEZ-ANDREA *et al.*, 2014)

alcalino (equação 4), que leva à neutralização do pH da DAM (SÁNCHEZ-ANDREA *et al.*, 2014; SIMATE; NDLOVU, 2014)

O sulfeto produzido pode se ligar ao íon metálico e formar um composto sólido insolúvel que precipita em solução (equação 5) (SÁNCHEZ-ANDREA *et al.*, 2014; SIMATE; NDLOVU, 2014), já que a maioria dos sulfetos são insolúveis (LEWIS, 2010). Diferentemente do processo químico, o processo biológico não produz o lodo químico e permite que os metais sejam removidos e recuperados. Assim, o processo biotecnológico permite a diminuição dos impactos ambientais negativos provocados pela DAM e uma maior lucratividade da mineração, visto que, os metais presentes nesse tipo de drenagem são de grande importância para atividades humanas e de grande valor agregado (SIMATE; NDLOVU, 2014).



Onde M é um símbolo genérico utilizado para se referir aos metais.

### 1.15 Ligação metálica e propriedades dos metais

A ligação metálica é formada entre átomos de metais. Dessa forma, a diferença de eletronegatividade entre os átomos da ligação é aproximadamente zero (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015).

Nos sólidos metálicos os cátions formam uma estrutura de empacotamento compacto, isto é, uma estrutura empilhada com o mínimo de espaços livres entre eles. Essa estrutura é formada pela interação dos

cátions com o “mar de elétrons<sup>11</sup>” que circundam os átomos metálicos (ATKINS; JONES, 2012). Os elétrons, nesse modelo, estão livres para se mover por toda a estrutura metálica (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015).

Na teoria do “mar de elétrons” cada átomo metálico compartilha os elétrons de valência com todos os vizinhos mais próximos. Portanto, nesses materiais não são formadas unidades moleculares discretas como ocorre em ligações covalentes, por exemplo (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015).

Em uma perspectiva mais qualitativa, a teoria do “mar de elétrons” ajuda a explicar uma série de propriedades dos metais. A condução elétrica e térmica, por exemplo, é reflexo da resposta a tensões aplicadas sobre os elétrons que se movem livremente entre os cátions da estrutura. O brilho dos metais se dá, porque a luz que incide no metal (campo magnético oscilante) move os elétrons. A oscilação dos elétrons emite luz, a qual vemos como brilho. A falta de ligação direcional ajuda a explicar a maleabilidade e ductilidade, uma vez que, os átomos metálicos podem deslizar livremente uns sobre os outros (ATKINS; JONES, 2012; RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015). Os elétrons em movimento dão estabilidade suficiente para que os cátions metálicos se movam sem aumentar a repulsão eletrônica, permitindo que os metais sejam moldados (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015).

Dentre todas as características citadas para os metais, a mais representativa é a condutividade elétrica em três dimensões. É essa propriedade que realmente separa os metais dos demais elementos, uma vez que, as demais propriedades também podem ser encontradas em outros compostos. Iodo e silício sólidos, por exemplo, apresentam superfície brilhante. O diamante, apesar de não ser um sólido metálico, apresenta alta condutividade térmica. Ademais, em metais a condutividade elétrica diminui com o aumento da temperatura, enquanto em não metais o efeito é contrário (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015).

---

<sup>11</sup> Alguns autores preferem se referir a essa teoria de ligação como “gás de elétrons” (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015)

Salva a exceção do mercúrio, que é líquido, todos os metais são sólidos à temperatura ambiente. Ao analisar o modelo de ligação discutido acima, pode-se concluir que o estado de agregação também é um componente importante para as propriedades apresentadas pelos metais. Prova disso, é que átomos em fase gasosa perdem suas características metálicas (RAYNER-CANHAM; OVERTON, 2015).

Os metais na tabela periódica são encontrados no bloco S (metais alcalinos e alcalinos terrosos), no bloco D (metais de transição), alguns elementos no bloco P e os elementos do bloco F (metais de transição interna). Alguns autores preferem, ainda, classificar alguns metais como pesados (JONES, 2002). A definição de metais pesados passa por diversas discussões, as principais definições para o termo foram em relação a massa específica, que para os metais pesados deve ser elevada (entre 3,5 e 7,0 g.cm<sup>-3</sup>)(LIMA; MERÇON, 2011). A massa atômica e o número atômico também devem ser elevados. Há discussão se todos os metais devem ser considerados pesados, diante dessa definição, ou apenas os metais de transição. Ademais, alguns autores discutem se outras características como formação de sabões ou uso em armas de fogo devem ser levados em consideração (LIMA; MERÇON, 2011).

Hawkes (1997) discute sobre outras características dos metais pesados como formação de sulfetos e hidróxidos insolúveis, sais que geram soluções coloridas e formação de complexos coloridos. Atualmente, ocorre a discussão sobre a necessidade de uma relação interdisciplinar para a definição de metal pesado, associando o termo aos impactos ambientais e à saúde humana (LIMA; MERÇON, 2011).

### **1.16 Solubilidade**

A composição analítica de uma solução saturada, expressa em termos da proporção de um determinado soluto em um determinado solvente, é a solubilidade desse soluto. A solubilidade pode ser expressa como uma concentração, molalidade, fração molar, razão molar, entre outras (BOOK, 2014).

Nas palavras de Silva, Martins e Andrade (2004, p. 1016) solubilidade pode ser definida como:

[...] a concentração de soluto dissolvido em um solvente em equilíbrio com o soluto não dissolvido à temperatura e pressão especificadas, ou seja, é a medida da quantidade máxima de soluto que pode ser dissolvida em um determinado solvente. O tamanho molecular (ou iônico), a polaridade (ou carga), forças dispersivas e dipolares, ligações de hidrogênio e a temperatura são fatores que se destacam na determinação da solubilidade e devem ser considerados no seu entendimento.

O soluto pode afetar as propriedades físico-químicas do solvente, como quando se coloca sal no gelo. Essa mistura promove o abaixamento da temperatura de congelamento da água, porque o gelo fundido forma uma solução salina (ATKINS; JONES, 2012). Um aspecto importante é o limite de solubilidade. Quando se coloca açúcar (glicose) em água, submicroscopicamente o que ocorre é a aproximação das moléculas de água que interagem formando ligações de hidrogênio com a glicose. Quando a interação água-glicose supera a interação glicose-glicose, as moléculas do soluto são totalmente envolvidas pelo solvente (ATKINS; JONES, 2012). Contudo, esse processo ocorre quando a massa de soluto utilizada é igual ou menor ao limite de solubilidade. Caso a massa utilizada seja superior a esse valor, teremos então uma solução saturada, na qual a concentração do soluto alcançou a maior concentração possível, naquelas condições, e mais nenhum soluto pode se dissolver (ATKINS; JONES, 2012).

Pensando na solubilidade de composto orgânicos, pode-se discutir e a regra “semelhante dissolve semelhante”. Ou seja, para dissolver um composto iônico ou polar, deve-se utilizar um solvente também polar, bem como, solventes apolares são melhores empregados para dissolver óleos, gorduras (apolares). Essa regra

pode ser explicada de acordo com as interações que ocorrem entre as moléculas. Se o soluto em questão for polar, como a glicose que possui um grupo -OH capaz de formar ligações de hidrogênio, esse soluto será solúvel em solventes capazes de também formar ligações de hidrogênio (ATKINS; JONES, 2012). O soluto será dissolvido apenas quando as ligações de hidrogênio soluto-soluto forem substituídas por ligações de hidrogênio soluto-solvente. E o mesmo ocorre com substâncias apolares que são estabilizadas por forças de London.

Soluções formadas por solutos e solventes apolares são consideradas as mais simples em relação ao processo de dissolução (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). Afinal, as forças envolvidas nas interações soluto-soluto, solvente-solvente e soluto-solvente são forças de dispersão de London (ligações fracas) (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). A mistura formada possui uma única fase onde a entalpia da solução é igual a 0 (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). A insolubilidade de solutos apolares em solventes apolares pode ser explicada pela fraca interação soluto-solvente neste caso, o que não resulta em energia suficiente para que as próprias moléculas do solvente sejam separadas (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013)

No caso de solutos polares sendo solubilizados em água, por exemplo, a ligação de hidrogênio é um fato determinante (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). Ela melhor explica a solubilidade de compostos polares uma vez que a regra semelhante dissolve semelhante não é sempre coerente. O etanol ( $C_2H_5OH$ ) mistura-se totalmente com a água, enquanto o cloreto de etila ( $C_2H_5Cl$ ) é praticamente insolúvel em água mesmo tendo momento dipolar similar ao etanol (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). À medida que o número de grupos hidroxila aumentam, como no caso dos açúcares, a solubilidade também aumenta (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013).

Geralmente, ao se trabalhar com a solubilidade de compostos inorgânicos, no ensino de química, se utiliza algumas regras de solubilidade (Figura 22). Esse tipo de quadro é muito comum tanto em textos destinados ao ensino médio, quanto ao ensino superior (SILVA; MARTINS; ANDRADE, 2004).

<b>Compostos solúveis</b>	<b>Exceções</b>
Quase todos os sais de $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$	
Haletos: sais de $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ e $\text{I}^-$	Haletos de $\text{Ag}^+$ , $\text{Hg}_2^{2+}$ e $\text{Pb}^{2+}$
Fluoretos	Fluoretos de $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$
Sais de $\text{NO}_3^-$ , $\text{ClO}_3^-$ , $\text{ClO}_4^-$ , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^{2-}$	
Sulfatos	Sulfatos de $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ e $\text{Ca}^{2+}$
Ácidos inorgânicos	
<b>Compostos insolúveis</b>	<b>Exceções</b>
Sais de $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ e $\text{CrO}_4^{2-}$	Sais de $\text{NH}_4^+$ e de cátions de metais alcalinos
Sulfetos	Sais de $\text{NH}_4^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ e de cátions de metais alcalinos
Hidróxidos e óxidos metálicos	Hidróxidos e óxidos de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ e os cátions de metais alcalinos

**Figura 22.** Regras de solubilidade de alguns compostos inorgânicos.

**Fonte:** Silva, Martins e Andrade (2004, p. 1016).

O quadro de solubilidade pode ser explicado por algumas conclusões gerais, a se citar: I) sais compostos por cátions e ânions com tamanhos diferentes são, geralmente, solúveis em solvente polares, devido à baixa energia de rede; II) o aumento do tamanho de cátions e ânions aumenta a solubilidades, pois gera uma entropia de solvatação mais favorável; III) sais formados por íons de carga baixa são, geralmente, solúveis; IV) sais de ânions com carga elevadas só são solúveis quando associados à cátions univalentes; V) sais de ânions com relação carga/raio reduzida são solúveis (SILVA; MARTINS; ANDRADE, 2004).

No caso dos metais pesados, que formam sais pouco solúveis, é possível determinar também seus produtos de solubilidade ( $K_{ps}$ ), isto é, o equilíbrio entre um sólido e seus íons dissolvidos. Para isso, é necessário medir a solubilidade molar dos compostos em uma solução saturada. Contudo, os valores da solubilidade molar são tabelados por técnicas mais avançadas (ATKINS; JONES, 2012). Esses dados são importantes para o tratamento de efluentes contendo metais pesados, utilizando-se o efeito do íon comum (princípio de Le Chatelier) (ATKINS; JONES, 2012). Ao adicionar um segundo sal ou um ácido que fornece um íon comum, em relação a um sal de interesse, o equilíbrio é reajustado e a solubilidade do sal de interesse é reduzida, fazendo com que ele precipite mais facilmente (ATKINS; JONES, 2012). Na recuperação de metais, a precipitação seletiva também é usada. É possível separar, por exemplo, o magnésio da água do mar adicionando-se íons hidróxido. Contudo, outros cátions podem também precipitar. Desta forma, é importante saber as concentrações e as solubilidades relativas, para predizer qual hidróxido precipita primeiro (ATKINS; JONES, 2012).

**Precipitação:** É a sedimentação de um material sólido (um precipitado) a partir de uma solução líquida, na qual o material está presente em quantidades maiores que sua solubilidade no líquido. (BOOK, 2014).

**Nucleação:** formação de corpos cristalinos a partir de uma solução supersaturada. Em condições de supersaturação<sup>12</sup> há um equilíbrio dinâmico entre agregados quase-líquidos que se formam e que se desintegram (*Clusters*) (COSTA; GIULIETTI, 2011). Esses *clusters* são moléculas unidas por forças intermoleculares fracas e organizadas de modo regular. Quando esses *clusters* vencem a barreira energética existente para que a nucleação ocorra, forma-se o núcleo crítico (COSTA; GIULIETTI, 2011).

**Aglomerção:** encontrada principalmente em ambientes de alta supersaturação e com cristais relativamente pequenos (20 µm). Ocorre quando entre dois ou mais cristais há uma força de coesão e estes permanecem unidos por um determinado período para que cresçam na forma de uma entidade cristalina estável, com propriedades e estrutura irregulares (COSTA; GIULIETTI, 2011). Essa união dos cristais é de extrema importância na recuperação dos metais.

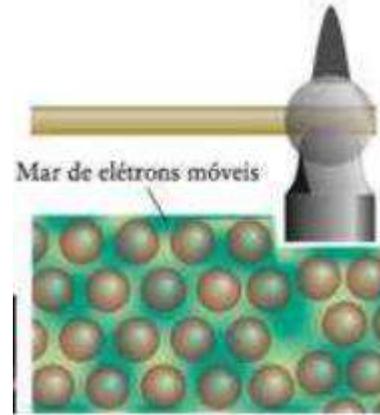
#### Representacional (simbólico)

Em relação ao nível representacional, pode-se destacar a reação genérica da formação de uma drenagem ácida de minas utilizando-se a pirita como mineral sulfetado:



No aspecto representacional, quando atingimos uma peça de metal com um martelo, deslocamos os cátions metálicos, contudo, o movimento dos elétrons no mar de elétrons estabiliza e não permite que a repulsão entre os cátions quebre o material como apresenta a Figura 23.

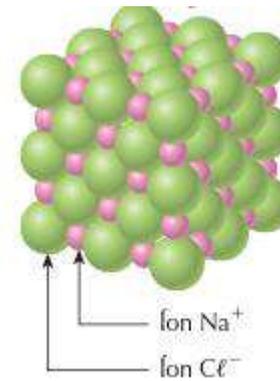
<sup>12</sup> Em química, trata-se de um sistema instável que possui uma concentração maior de material em solução do que seria possível em um equilíbrio. BOOK, Gold. Compendium of chemical terminology. International Union of Pure and Applied Chemistry, v. 528, 2014.



**Figura 23.** Quando os cátions de um metal são deslocados por uma martelada, os elétrons móveis podem responder imediatamente e seguir os cátions até suas novas posições, o que torna o metal maleável.

**Fonte:** Atkins e Jones (2012, p. 207)

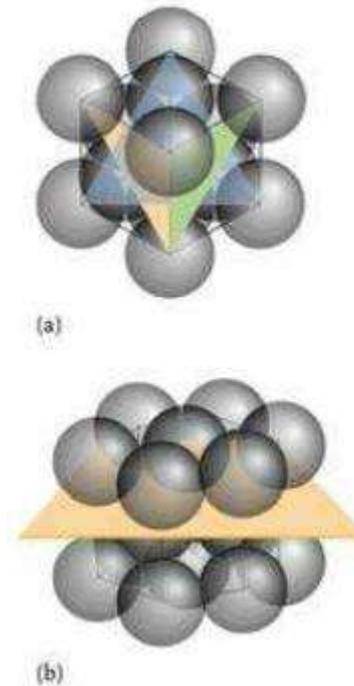
A Figura 24 representa o retículo cristalino do NaCl ou a estrutura que é formada pela ligação iônica entre os íons de  $\text{Na}^+$  e de  $\text{Cl}^-$ .



**Figura 24.** Retículo cristalino do NaCl.

**Fonte:** Tito e Canto (2006, p. 146).

As estruturas dos metais podem se formar em diferentes empacotamentos, a Figura 25 representa algumas das possibilidades de organização dos cátions metálicos em duas diferentes estruturas de empacotamento.

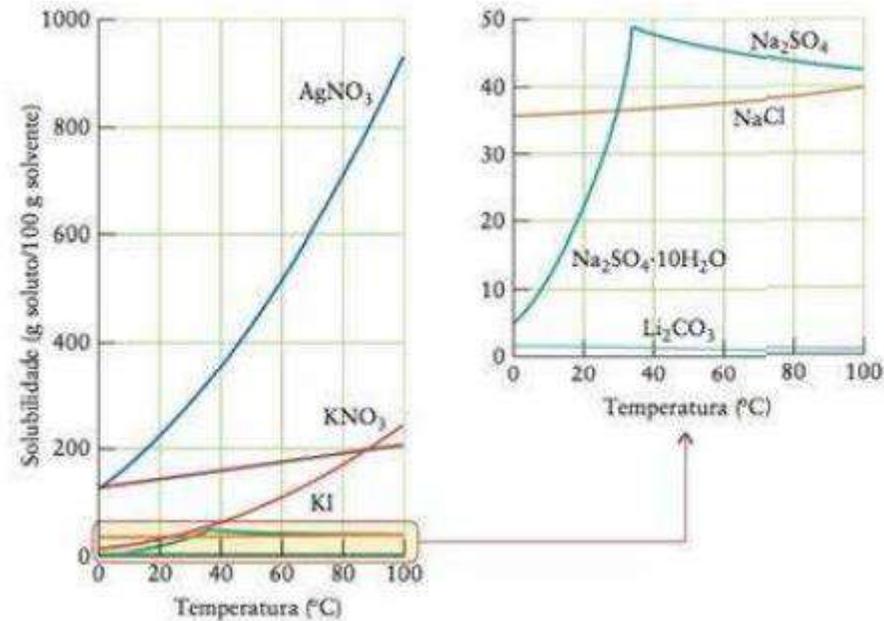


**Figura 25.** a) Estrutura cristalina cúbica de empacotamento compacto. (b) estrutura cristalina hexagonal de empacotamento compacto.

**Fonte:** Atkins e Jones (2012, p. 207).

A solubilidade das substâncias pode variar com a temperatura, a Figura 26 sistematiza alguns exemplos de variação da solubilidade de sais em água. Como pode ser visto na figura, a maioria dos sólidos iônicos são mais solúveis em alta temperatura,  $\text{AgNO}_3$  e  $\text{KI}$ , por exemplo. Já outros sais, como o  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , são mais solúveis em baixa temperatura (ATKINS; JONES, 2012). O comportamento muito diferente da solubilidade

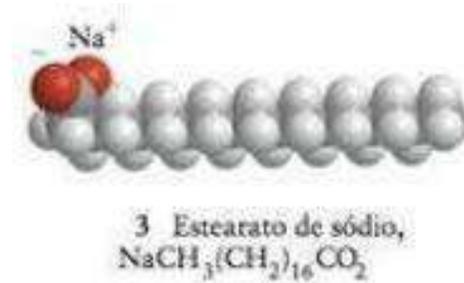
de sais em diferentes temperaturas permite a separação de uma substância de uma mistura, técnica chamada de cristalização fracionada (CHANG; GOLDSBY, 2013).



**Figura 26.** Variação, com a temperatura, das solubilidades de seis substâncias em água.

**Fonte:** Atkins e Jones (2012, p. 348).

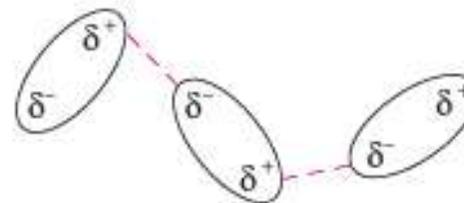
A Figura 27 representa o estearato de sódio, é possível diferenciar as duas extremidades da molécula, a representada em vermelho sendo a parte polar e a cauda em branco sendo apolar.



**Figura 27.** Estrutura do Estearato de sódio, com sua “cabeça” polar em vermelho e sua cauda apolar em branco.

**Fonte:** Atkins e Jones (2012, p. 346)

A Figura 28 apresenta um esquema para explicar a interação intermolecular dipolo permanente – dipolo permanente, na qual a extremidade negativa de uma molécula é atraída pela positiva de outra, e a extremidade positiva da mesma molécula é atraída pela negativa de outra molécula.



**Figura 28.** Esquema para representar a interação intermolecular dipolo permanente – dipolo permanente.

**Fonte:** Tito e Canto (2006, p. 179).

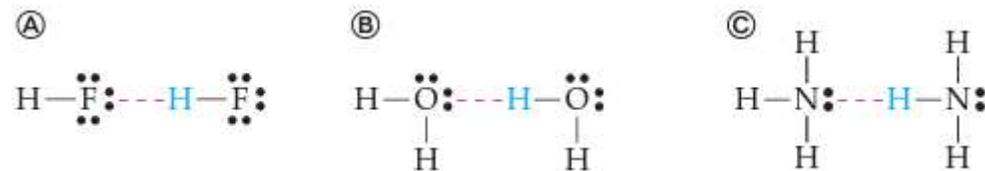
A Figura 29 apresenta um esquema para explicar a interação intermolecular dipolo induzido - dipolo induzido. Em moléculas apolares, a densidade eletrônica está distribuída uniformemente, contudo se por uma fração de tempo a nuvem eletrônica se deslocar para uma extremidade, é criado um dipolo. Nesse instante é possível que a extremidade positiva seja atraída para a extremidade de outra molécula, induzindo a criação de uma carga parcial negativa. E a negativa para uma extremidade com carga parcial positiva de outra molécula.



**Figura 29.** Esquema da interação intermolecular dipolo induzido - dipolo induzido.

**Fonte:** Tito e Canto (2006, p. 181).

Em moléculas que apresentam em sua estrutura átomos de F, O e/ou N ligados a átomos de hidrogênio, ocorre uma grande polarização das moléculas, a densidade eletrônica fica próxima aos átomos de F, O e N deixando o hidrogênio com carga parcial positiva. Desta forma o polo positivo formado é atraído para o polo negativo (densidade eletrônica) de outras moléculas (Figura 30).



**Figura 30.** Esquema da ligação de hidrogênio em átomos de F, O e N.

**Fonte:** Tito e Canto (2006, p. 179).

<p><b>Desenvolvimento histórico do conceito principal da UDM</b> (perfil conceitual)</p>	<p>Pode-se dizer que o grande marco que iniciou as discussões sobre o meio ambiente e sua importância foi a 1ª Conferência Mundial de Meio Ambiente Humano, realizada na Suécia em 1972 (ARRAES; VIDEIRA, 2019). Alguns pontos de extrema importância foram votados na conferência, entre eles, a Declaração de Estocolmo. Essa obra apresenta sete pontos destacados e vinte e seis princípios (PASSOS, 2009), todos referentes aos comportamentos e responsabilidades que devem nortear as decisões em relação às questões ambientais, garantindo qualidade de vida e cuidados com os recursos naturais (PASSOS, 2009). A Conferência de Estocolmo foi de extrema importância pelo modo como o homem se porta diante da natureza, ainda nas palavras de Passos (2009, p. 12):</p> <p>[..] é notório que o planeta vive uma intensa crise ambiental, decorrente do modelo de desenvolvimento adotado pela sociedade contemporânea, mais especificamente pós Revolução Industrial, bem como da concepção de progresso que hoje prevalece, segundo a qual o homem deve dominar a natureza, o que acarreta uma voraz e incontrolada exploração dos recursos naturais, aliada ao crescimento acelerado dos centros urbanos e as formas de gestão econômica da sociedade, como já se frisou. Fatos reveladores da vulnerabilidade do meio ambiente permitem chegar-se a essa conclusão, tornando imperativo à sobrevivência, não apenas a adoção de uma postura crítica para a defesa do meio ambiente, como promover medidas de educação voltadas ao respeito à natureza, ao meio ambiente e à garantia de atendimento das necessidades das futuras gerações.</p> <p>Por fim, pode-se dizer que o século XX, principalmente após a década de 60, foi um marco temporal em relação às questões ambientais, no qual o meio ambiente passou a ser visto como parte fundamental da sociedade. A Conferência de Estocolmo aproximou os Estados à essa visão, fazendo com que reconhecessem a importância de cuidar do meio ambiente (PASSOS, 2009).</p>
--	---

No Brasil, as preocupações com as questões ambientais começam mais tardiamente. Segundo Cuba (2010, p. 26):

Chegamos à década de 1970 em ritmo de "milagre econômico". Contrariando as tendências internacionais de proteção ao meio ambiente, o regime militar deu sustentação para o crescimento econômico a qualquer custo, sem nenhuma preocupação ambiental. Isto abrangia alguns megaprojetos, como a Usina Nuclear de Angra, no estado do Rio de Janeiro, a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, a Transamazônica e o Projeto Carajás, na Amazônia. Em resposta, o Brasil recebeu várias críticas.

Mesmo com essa vertente de crescimento econômico, sem levar em conta as questões ambientais, o Brasil assinou a Declaração da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente Humano (CUBA, 2010 *apud* DIAS<sup>13</sup>, 2004). Em 1973 é criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), sendo este, o primeiro órgão nacional do meio ambiente (CUBA, 2010 *apud* DIAS, 2004). Na década de 80, promulga-se a lei 6.902/1981 (BRASIL, 1981), estabelecendo novos tipos de áreas de preservação ambiental e estações ecológicas destinadas à realização de pesquisa e à Educação Ambiental.

No mesmo ano promulgou-se a primeira lei que colocou a Educação Ambiental como um instrumento para ajudar e solucionar os problemas ambientais (CUBA, 2010). Em 1988, a constituição surge com um capítulo específico sobre meio ambiente, trazendo sua importância e a necessidade de preservá-lo (MEDEIROS; JOSÉ; MENDONÇA, 2011).

Pouco foi feito nos anos seguintes para promover uma educação ambiental de qualidade no país, entretanto, em 1999 com a publicação da Lei 9.9795 (BRASIL, 1999) as questões ambientais tomaram mais força (CUBA, 2010). Nessa lei destaca-se o 1º e o 2º artigos (BRASIL, 1999, Art. 1 e Art. 2):

---

13 DIAS, G. F. **Educação ambiental**: princípios e práticas. 9.ed. São Paulo: Gaia, 2004

Art 1. Entendem-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Art 2. A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal.

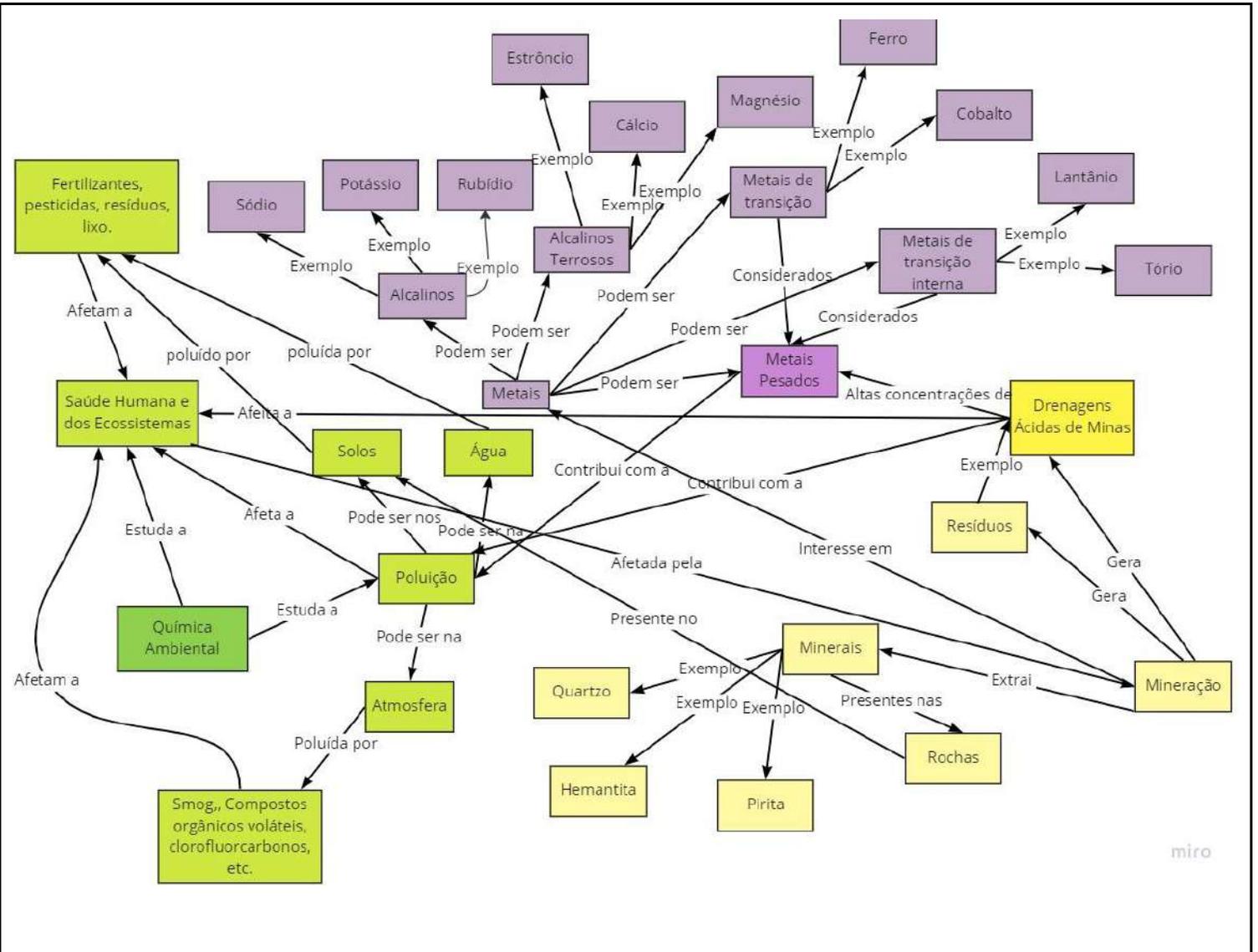
Em relação aos metais pesados, o termo passou a ser muito utilizado a partir da década de 80, referindo-se a metais e semimetais que estavam associados a contaminação, toxicidade e ecotoxicidade (DUFFUS, 2002). Para Duffus (2002) há uma problemática e uma falta de coerência nas definições encontradas em publicações e relatórios para o termo metais pesados, o que pode levar a confusões. Alguns autores defendiam o termo metal pesado, aos metais que tinham a propriedade de formar sabões. Algumas definições que datam de antes da década de 30, atrelam a definição para metais usados em armas de fogo (LIMA; MARÇON, 2011). Após a década de 30, as definições de metais pesados passaram a ser principalmente em relação a densidade dos metais,  $7 \text{ g/cm}^3$ , passando para  $4 \text{ g/cm}^3$  na década de 80, sendo que mesmo entre os cientistas não havia consenso (DUFFUS, 2002). Percebendo a ineficiência de se usar a densidade como parâmetro para caracterizar um metal como metal pesado, alguns autores passaram a utilizar peso atômico ou massa. Algumas problemáticas foram surgindo, como considerar o magnésio como metal pesado, associando o “pesado” com a toxicidade e não considerar o escândio como um metal pesado, apenas por ter relativamente uma baixa densidade (DUFFUS, 2002). Hawkes (1997) coloca como parâmetros para definição de metais pesados, a formação de sulfetos e hidróxidos insolúveis, formação de sais que geram soluções coloridas e formação de complexos coloridos. Duffus (2002) defende que o termo “metais pesados” não seja empregado, mas que seja criado uma forma de

classificação com base nas propriedades químicas dos metais. Lima e Marçon (2011, p. 200) reflete sobre Duffus (2002) dizendo que os impactos ao ambiente:

[...] e à saúde humana decorrentes do descarte de metais fizeram com que fatores ambientais e toxicológicos fossem associados à definição de metal pesado. Esses argumentos indicaram a necessidade de uma articulação multi/interdisciplinar de conceitos para melhor descrever a atual compreensão dos metais pesados.

As tentativas para descrever a estrutura dos metais surgiram a partir da descoberta do elétron, por Thomson. A primeira delas foi de Drude em 1900, o qual sugeriu que os metais eram como um gás uniforme de elétrons. Aplicando a teoria cinética dos gases conseguiu resultados sobre a condução térmica e elétrica, tidos como razoáveis para a época (DUARTE, 2001).

Esquema conceitual científico sobre os conteúdos da UDM (mapa conceitual)



Link para acessar o mapa: [https://miro.com/app/board/uXjVPUzRRMI=?share\\_link\\_id=324437856737](https://miro.com/app/board/uXjVPUzRRMI=?share_link_id=324437856737)

Uma atividade humana que apresenta grande importância econômica e social é a **mineração**. Entretanto, essa atividade favorece a geração de **resíduos** que são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Um desses resíduos, causadores de grandes impactos ambientais e tóxicos em diferentes níveis tróficos são as **drenagens ácidas de minas**. As drenagens ácidas de minas são formadas quando **rochas** contendo **minérios** que apresentam sulfetos metálicos, que se oxidam na presença de oxigênio e água. Esse resíduo é formado principalmente na mineração de **metais pesados**. Os metais podem ser divididos em **metais alcalinos, alcalinos terrosos, metais de transição** e de **transição interna**. Divisões nas quais as características e propriedades variam. As consequências da **mineração** e seus **resíduos**, como **poluição das águas, do ar** e do **solo**, bem como seus impactos para a **saúde humana e dos ecossistemas** e como mitigar esses impactos, são estudados pela **química ambiental**.

**Referências**  
(de acordo com ABNT NBR 6023)

- AKCIL, A.; KOLDAS, S. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 12 - 13, p. 1139 - 1145, 2006.
- ALI, H.; KHAN, E. Environmental chemistry in the twenty-first century. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, n. 2, p. 329 – 346, 2017.
- ANTONIO CUBA, M.. Educação Ambiental nas Escolas. **Revista de Educação, Cultura e Comunicação**, v. 1, n. 2, p. 23 – 31, 2010.
- ARRAES, M. C. G. A.; VIDEIRA, M. C. M. C. Breve histórico da Educação Ambiental no Brasil. **Revista de Psicologia**, [ v. 13, n. 46, p. 101 – 118, 2019.
- BACH, W. Fossil fuel resources and their impacts on environment and climate. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 6, n. 2, p. 185 - 201, 1981.
- BILA, Daniele Maia; DEZOTTI, Márcia. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523 – 530, 2003. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei n. 9.795/1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=321>. Acesso em: 13 mar. 2022.
- BOOK, Gold. **Compendium of chemical terminology**. International Union of Pure and Applied Chemistry, v. 528, 2014
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei n. 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 13 mar. 2022.
- BRASIL. **Lei n. 9.795**, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/l10406compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm). Acesso em: 13 mar. 2022.
- CAMPOS, M. L. A.; JARDIM, W. F. Relevantes Da Biogeoquímica Da. **Terra**, p. 18 – 27, 2003.
- CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- COSTA, C. B. B; GIULIETTI, M. **Introdução à cristalização**: princípios e aplicações. São Carlos: EDUFSCar, 2011.
- DAVIS JR, R. A. *et al.* Rio Tinto estuary (Spain): 5000 years of pollution. **Environmental Geology**, v. 39, n. 10, p. 1107 - 1116, 2000.
- DUARTE, H. A. Ligações químicas: ligação iônica, covalente e metálica. **Química nova na escola**, v. 4, 2001.
- DUFFUS, J. H. " Heavy metals" a meaningless term?(IUPAC Technical Report). **Pure and applied chemistry**, v. 74, n. 5, p. 793 - 807, 2002.

DURUIBE, J. O. et al. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. **International Journal of physical sciences**, v. 2, n. 5, p. 112-118, 2007.

EUGENIO, N.R; MCLAUGHLIN, M; PENNOCK, D. 2018. **Soil Pollution: a hidden reality**. Rome, FAO. 142 pp.

FIGUEIRA, R. C. L.; RADIOQUÍMICA, Supervisão De; CP, Ipen-cnen S. P.; PAULO, São. **Hundreds of Artificial Radionuclides Are Produced As the Result of Human Activities** , Such As the, p. 73 – 77, 1962.

FORNARO, A. Águas da chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. **Revista USP**, n. 70, p. 78 - 87, 2006.

HAWKES, S. J. What is a "heavy metal"?. **Journal of chemical education**, v. 74, n. 11, p. 1374, 1997.

HOUGHTON, J. Global warming. **Reports on Progress in Physics**, v. 68, n. 6, p. 1343 – 1403, 2005.

KAKSONEN, A. H.; PUHAKKA, J. A. Sulfate reduction based bioprocesses for the treatment of acid mine drainage and the recovery of metals. **Engineering in Life Sciences**, v. 7, n. 6, p. 541 – 564, 2007.

JIANG, L. et al. Impacts of Cd (II) on the conformation and self-aggregation of Alzheimer's tau fragment corresponding to the third repeat of microtubule-binding domain. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Proteins and Proteomics**, v. 1774, n. 11, p. 1414 - 1421, 2007.

JONES, C. J. **A química dos elementos dos blocos d e f**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LENS, P. N. L.; VISSER, A.; JANSSEN, A. J. H.; POL, L. W. H.; LETTINGA, G. Biotechnological Treatment of Sulfate-Rich Wastewaters. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 28, n. 2014, p. 41 – 88, 1998.

LEWIS, A. E. Review of metal sulphide precipitation. **Hydrometallurgy**, v. 104, n. 2, p. 222 – 234, 2010.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v. 36, p. 1248 - 1255, 2013.

MEDEIROS, A. B.; JOSÉ, M.; MENDONÇA, L. The importance of environmental education in School inicial series. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 4, n. 1, p. 1 – 17, 2011.

MEYER, A.; SARCINELLI, P. N.; MOREIRA, J. C. Estarão alguns grupos populacionais brasileiros sujeitos à ação de disruptores endócrinos? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 15, n. 4, p. 845 – 850, 1999.

PASSOS, P. N. C. A Conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais e Democracia**, v. 6, n. 6, 2009.

PRIOR, T.; DALY, J.; MASON, L.; GIURCO, D. Resourcing the future: Using foresight in resource governance. **Geoforum**, v. 44, p. 316 – 328, 2013.

RAYNER-CANHAM, G.; OVERTON, T. **Química Inorgânica Descritiva**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

	<p>REHMAN, K. et al. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. <b>Journal of cellular biochemistry</b>, v. 119, n. 1, p. 157 - 184, 2018.</p> <p>SÁNCHEZ-ANDREA, I.; SANZ, J. L.; BIJMANS, M. F. M.; STAMS, Al. J. M. Sulfate reduction at low pH to remediate acid mine drainage. <b>Journal of Hazardous Materials</b>, .v. 269, n. 3, p. 98 – 109, 2014.</p> <p>SILVA, C. M.; ARBILLA, G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. <b>Revista Virtual de Química</b>, v. 10, n. 6, p. 1619 - 1614, 2018.</p> <p>SILVA, L. A.; MARTINS, C. R.; ANDRADE, J. B. Por que todos os nitratos são solúveis? <b>Química nova</b>, v. 27, n. 6, p. 1016 - 1020, 2004.</p> <p>SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global : antropogênica versus natural * O efeito estufa na Terra. <b>Terræ Didática</b>, v. 5, n. 1, p. 42 – 49, 2009.</p> <p>SIMATE, G. S.; NDLOVU, S. Acid mine drainage: Challenges and opportunities. <b>Journal of Environmental Chemical Engineering</b>, v. 2, n. 3, p. 1785 – 1803, 2014.</p> <p>TAVARES, S. R. L. <b>Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados</b>: conceitos básicos e fundamentos. Joinville: Clube de Autores, 2013. Cap. 2, p. 61 - 90</p>
--	---

ANÁLISE DIDÁTICO-PEDAGÓGICA	
<p>Concepções alternativas dos alunos sobre os conteúdos da UDM</p>	<p>Em relação a solubilidade, Azzolin e colaboradores (2013) destaca as seguintes concepções alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solubilidade é a afinidade química entre diferentes substâncias, havendo dissolução;</li> <li>• É quando há um soluto e um solvente com afinidade química entre si.</li> </ul> <p>Destaca-se que os estudantes citam a afinidade química, mas não a relacionam com as interações intermoleculares (AZZOLIN <i>et al.</i>, 2013). Há também sugestões de que a solubilidade é tudo que seja solúvel em um solvente e não compreendem a relação que deve haver entre soluto e solvente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Algo que é solúvel;</li> </ul>

- Tudo que é solúvel em determinado líquido;
- Solubilidade é a capacidade de uma substância se dissolver em outra;
- É quando um soluto se dissolve no solvente;
- É quando uma substância se mistura com outra;
- Capacidade de substâncias se misturarem com facilidade ou não.

Os estudantes consideram apenas a mistura de um ou mais componentes, sem considerar a homogeneidade ou heterogeneidade do sistema (AZZOLIN *et al.*, 2013). Nota-se, também, que os estudantes não consideram a temperatura como um fator importante para a solubilidade e suas respostas estão pautadas principalmente nas observações acrílicas do aspecto fenomenológico.

No trabalho de Do Carmo e Marcondes (2008), que focaram nas concepções alternativas de substâncias e misturas, é possível extrair algumas informações sobre a concepção dos alunos sobre solubilidade:

- Associam a solubilidade/dissolução à densidade das substâncias;
- Apresentam explicações baseadas apenas no fenomenológico.

Oliva (2019) constatou em seu trabalho algumas concepções alternativas dos estudantes sobre a concentração:

- Concentração é uma mistura;
- Concentração é quando existe menor quantidade de água;
- Concentração é quantidade de substância;
- Quão forte ou fraca uma solução está em excesso de soluto;
- Concentração é algo que não está dissolvido.

A autora relata que os alunos conseguiram compreender a concentração ao tratá-la de forma macroscópica com soluções de suco, algumas mais concentradas (escuras) e outras menos concentradas (claras). Grande parte dos alunos sabia como calcular a concentração, entretanto muitas vezes não utilizavam as unidades (OLIVA, 2019).

Soares e Silveira (2007) apresentam as concepções alternativas dos estudantes sobre os metais e sua obtenção:

- Os metais são materiais duros;
- Metais são sólidos, duros e não quebram;
- Metais enferrujam;
- Os metais são bons condutores de energia;
- Conduzem calor, eletricidade e são sensíveis à presença de água.
- Metais são resistentes e duráveis.

Nota-se, mais uma vez, explicações pautadas nas observações dos estudantes e não no conhecimento científico em si. Sobre a origem e obtenção dos metais tem-se as seguintes afirmativas:

- Os metais são extraídos pelos garimpeiros;
- Os metais são extraídos através do uso de mercúrio;
- As indústrias extraem metais das rochas;
- Os garimpeiros e as siderúrgicas extraem os metais das rochas.

As explicações não se pautam no conhecimento científico, a obtenção dos metais é tida como sendo diretamente extraída da rocha sem levar em consideração as técnicas utilizadas para obtenção dos materiais metálicos como pirometalurgia, eletrólise, hidrometalurgia, entre outras.

<p><b>Obstáculos epistemológicos particulares relacionados aos conteúdos da UDM</b>  Obstáculo da experiência primeira  Obstáculo verbal  Obstáculo substancialistas  Obstáculo realista  Obstáculo animista</p>	<p><b>Obstáculo a experiência primeira:</b>  Os metais são materiais duros; metais são sólidos, duros e não quebram; metais enferrujam.</p> <p><b>Obstáculo verbal:</b>  Carvalho e Justi (2005) destacam que os alunos tendem a aceitar a ideia do “Mar de elétrons” sem críticas, e ficam com a ideia de que os elétrons estariam flutuando ou nadando entre os cátions metálicos.</p>
<p><b>Implicações para o ensino dos conteúdos da UDM</b>  Aspectos a evitar e a reforçar</p>	<p>A solubilidade necessita ser trabalhada levando em consideração as interações intermoleculares, explicando, submicroscopicamente, os fenômenos associados à solubilização. Deve ser mostrado que, a depender da solubilidade, há formação de misturas homogêneas ou heterogêneas. A concentração precisa ser trabalhada como uma quantidade de matéria em determinado volume, levando em consideração suas unidades e seus aspectos macroscópicos.</p> <p>Na explicação da ligação metálica deve-se destacar a formação do arranjo tridimensional dos cátions; a existência de forças atrativas entre cátions e elétrons como responsável pela união dos mesmos e estabilidade da estrutura. Ao contrário, a ênfase na liberdade dos elétrons parece fazer com que seja difícil para os alunos conciliar essa ideia com a da existência de forças de atração; e a existência de forças de repulsão entre os cátions e entre os elétrons, assim como a importância das mesmas para a definição e manutenção da estrutura tridimensional (CARVALHO; JUSTI, 2005). Sobre a obtenção dos metais deve-se argumentar que na natureza os metais não estão dispostos de forma pura e pronta para uso da sociedade. É necessário trabalhar as tecnologias envolvidas na purificação dos minérios para obter os metais.</p>
<p><b>Referências</b>  (de acordo com ABNT NBR 6023)</p>	<p>AZZOLIN, K. <i>et al.</i> Solubilidade: concepções prévias de estudantes do ensino médio. <b>Revista Ciências &amp; Idéias</b>, v. 4, n. 2, p. 95 - 105, 2014.</p> <p>CARVALHO, N. B.; JUSTI, R. S. Papel da analogia do " mar de elétrons" na compreensão do modelo de ligação metálica. <b>Enseñanza de las Ciencias</b>, n. Extra, p. 1 - 4, 2005.</p>

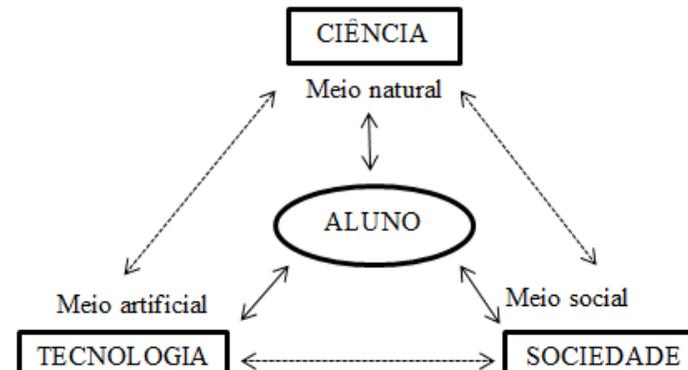
DO CARMO, M. P.; MARCONDES, M. E. R. Abordando Soluções em Sala de Aula – uma Experiência de Ensino a partir das Idéias dos Alunos. **Química Nova na Escola**, n. 28, p. 37 - 41, 2008.  
 SOARES, M. A. C. P.; DA SILVEIRA, M. P. Metais: uma proposta de abordagem com enfoque ciência/tecnologia/sociedade. **Secretaria de Estado da Educação do Paraná**, p. 1 - 24, 2007

### ABORDAGEM METODOLÓGICA

**Princípios teórico-metodológicos da abordagem escolhida** (teoria psicológica, teoria pedagógica, visão de ciência, função do sistema educacional e forma de organização do ensino - funções que professor e aluno desempenham no processo de ensino e aprendizagem)

**Abordagem metodológica escolhida: Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) ou Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA).**

O ensino CTS está vinculado à educação científica do aluno entendido como um cidadão, para caracterizá-lo, Hofstein e colaboradores (1988) sugerem as interfaces apresentadas na Figura 31. Para os autores, o ensino CTS significa o ensino do conteúdo de ciência no seu contexto autêntico e historicamente situado. Os alunos tendem a integrar a sua compreensão pessoal do mundo natural (conteúdo de ciência), com o mundo construído pelo homem (tecnologia) e o seu mundo social do dia-a-dia (sociedade).



**Figura 31.** A intersecção entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e o aluno.

**Fonte:** adaptado de Hofstein *et al* (1988).

Uma das críticas enfrentadas pelo modelo CTS é a de que essa abordagem apresenta uma visão reducionista focada apenas nas tecnologias e não nas suas implicações sociais e ambientais. O termo Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) surge para contrapor essa ideia e resgatar as questões ambientais, muitas vezes, esquecidas pelos seus adeptos (SANTOS; SCHNETZLER, 2010).

Roby (1981) sugere como enfoque dos cursos CTS a emancipação dos estudantes com conhecimentos que os levem a participar da sociedade moderna, buscando alternativas para aplicações da ciência e tecnologia, com vistas ao bem-estar social.

Solomon (1988), por sua vez, aborda os três componentes do CTS de forma isolada. Em relação a ciência, deve-se ensinar sobre o caráter provisório e incerto das teorias científicas. Desta forma, os alunos podem avaliar as aplicações da ciência, além de não terem dificuldades em aceitar a possibilidade de mais de uma alternativa para determinado problema (SOLOMON, 1988).

Em relação à tecnologia, esta deve ser apresentada como aplicação das diferentes formas de conhecimento, para atender necessidades sociais (SOLOMON, 1988). Assim, é possível transmitir para o aluno a ideia de que as inovações tecnológicas estão diretamente influenciadas por uma pressão social e que a tecnologia é um processo de produção social e historicamente situado. Ademais, o aluno pode reconhecer a dependência da sociedade em relação aos produtos tecnológicos gerados.

Para Vargas (1994, p. XX) “[...] a tecnologia consiste em um conjunto de atividade humanas, associadas a sistemas de símbolos, instrumentos e máquinas, visando à construção de obras e à fabricação de produtos”. Pacey (1990) apresenta três aspectos centrais da tecnologia: *I*) aspecto técnico - envolve conhecimentos, habilidades, instrumentos, ferramentas, máquinas, entre outros; *II*) aspecto organizacional - envolve a atividade econômica e industrial, a atividade

dos profissionais da área; *III*) aspecto cultural - envolve os objetivos, valores e ética, crença sobre progresso, consciência e criatividade.

Por fim, em relação à sociedade, Solomon (1998) considera que o CTS deve levar os alunos a perceberem o poder e a influência que têm como cidadãos. Desta forma, os alunos seriam mais estimulados a participarem democraticamente da sociedade expressando suas opiniões e demandas. Ainda segundo o autor, é importante que os alunos compreendam como a sociedade atua no poder legislativo e que reflitam sobre os seus problemas éticos.

Sobre a caracterização do ensino CTS, pode-se destacar a ideia de interdisciplinaridade existente. O aluno deve compreender a interdependência que há entre o estudo da natureza da ciência, da tecnologia do ambiente e da sociedade sob uma perspectiva crítica (SANTOS; SCHNETZLER, 2010). Dentro das variadas formas de se caracterizar o ensino CTS, destaca-se o modelo proposto por Aikenhead (1994) representado no Quadro 9, no qual o currículo de ensino de ciências é classificado de acordo com a ênfase dada às inter-relações CTS.

**Quadro 9.** Categorias e descrições da classificação do ensino CTS.

<i><b>Categorias</b></i>	<i><b>Descrição</b></i>
1. Conteúdo CTS como elemento de motivação.	Ensino tradicional de ciências acrescido da menção ao conteúdo de CTS como a função de tornar as aulas mais interessantes.
2. Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de pequenos estudos de conteúdo de CTS incorporados como apêndices aos tópicos de ciência. O conteúdo de CTS não é resultado do uso de temas unificadores.

	3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrados aos tópicos de ciências, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS. Esses conteúdos formam temas unificadores.
	4. Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo CTS.	Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e a sua sequência, mas a seleção do conteúdo científico ainda é feita a partir de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros é muito semelhante àquela da categoria 3, embora a sequência possa ser bem diferente.
	5. Ciências por meio de conteúdo de CTS.	CTS organiza o conteúdo e sua sequência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo de CTS. A lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes a partir de uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.
	6. Ciência com conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem.
	7. Incorporação das Ciências ao conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do currículo. O conteúdo relevante de ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da ciência.
	8. Conteúdo de CTS.	Estudo de uma questão tecnológica ou social importante. O conteúdo de ciências é mencionado somente para indicar uma vinculação com as ciências.

**Fonte:** Aikenhead (1994, p. 55 - 56). Tradução de Santos e Mortimer (2000, p. 15 - 16).

### **Objetivos do ensino CTS**

Segundo Santos e Schnetzler (2010) o objetivo mais encontrado, nas pesquisas que usam essa metodologia, refere-se ao desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão do aluno, no qual os problemas da vida real são solucionados envolvendo aspectos sociais, tecnológicos, econômicos e políticos. Para Zoller (1982) desenvolver essa habilidade é fundamental para construir um cidadão que participe ativamente da sociedade democrática, buscando a solução de problemas sociais, políticos, econômicos, entre outros. Como indicam Santos e Mortimer (2001), para a CTS a tomada de decisão necessita ser vista como um processo participativo democrático, não sendo reduzida a uma visão técnica de decisão. Um segundo objetivo, ainda destacado, é a compreensão da natureza da ciência e seu papel na sociedade, compreensão esta, que necessita de conhecimentos básicos sobre Filosofia e História da Ciência (SANTOS; SCHNETZLER, 2010). Uma vez que alunos, e o público em geral, apresentam visões distorcidas da ciência, conhecer a natureza da ciência torna-se necessário para que os alunos possam compreender as limitações e potencialidades do conhecimento científico (SANTOS; SCHNETZLER, 2010).

### **Conteúdos da CTS**

Os conteúdos específicos de CTS são os chamados temas sociocientíficos, tais temas são referentes a questões ambientais, políticas, econômicas, éticas, sociais e culturais, relativas à ciência e à tecnologia. Santos e Schnetzler (2010) apontam três critérios para identificar um tema sociocientífico: *I*) deve ser um problema com opiniões distintas a seu respeito; *II*) tema deve ter significado social; *III*) tema deve ter dimensões relativas à ciência e a tecnologia.

### Abordagem dos conteúdos



**Figura 32.** Sequência da estrutura dos materiais de CTS.

**Fonte:** adaptado de Aikenhead (1994, p. 54).

Como pode ser visto na Figura 32 existe uma sequência que deve ser adotada pelo professor, sendo ela: *I*) introdução de uma questão social; *II*) analisa-se uma tecnologia relacionada ao tema social; *III*) o conteúdo científico é definido em função do problema social e da tecnologia; *IV*) utiliza-se o conteúdo científico para compreender a tecnologia; *V*) a questão social, abordada no início do processo, é novamente discutida e resolvida (SANTOS; SCHNETZLER, 2010).

Outras formas de abordagem são introduzidas por Lowe (1985), uma delas consiste no ensino de um conteúdo da Ciência com aspectos relevantes compreendidos como próprios da CTS. A segunda abordagem, trata-se da introdução de uma aplicação tecnológica de forma introdutória levando aos conceitos científicos antes de, de fato, discutir questões mais amplas. A terceira e última abordagem proposta seria iniciar com um problema central e a partir deste problema, estuda-se os conceitos científicos necessários para avançar contra o problema.

**Estratégia de Ensino**

Como resumo do 4º Simpósio Internacional sobre Tendências Mundiais em Ciência e Educação Tecnológica, Hofstein e colaboradores (1988) argumentam que:

Nos cursos CTS, várias estratégias de ensino têm sido utilizadas. Elas vão além das práticas atuais de palestras, demonstrações, sessões de questionamentos, soluções de problemas e experimentos no laboratório. O ensino de CTS inclui jogos de simulação e desempenho de papéis, fóruns e debates, projetos individuais e de grupo, redação de cartas para autoridades, pesquisa no campo do trabalho, palestrantes convidados e ação comunitária. Geralmente, a mudança nas estratégias muda o papel do professor para o de administrador de classe (gerenciando o tempo, os recursos humanos e o ambiente emocional da classe), além do papel do responsável pela sala de aula (p.362, tradução Santos e Schnetzler, 2010, p. 91)

Alguns autores também defendem o uso de estudos de caso, visitas a indústrias, entrevistas, jogos, *etc.* De forma geral, é importante que as estratégias estejam de acordo com os objetivos do CTS, isto é, desenvolver nos alunos a tomada de decisão (SANTOS; SCHNETZLER, 2010).

**Avaliação**

A avaliação é um problema no ensino CTS. Segundo Thomas (1985) as principais dificuldades estão relacionadas com os empecilhos de avaliar a natureza do comportamento, a mensuração e a dificuldade de propor situações reais para o contexto acadêmico. Yager e McCormack (1989) apresentam cinco aspectos que devem ser avaliados e enfatizam que no ensino CTS o último aspecto - uso e aplicação - deve ser o mais explorado pois será possível avaliar as interrelações entre ciências, tecnologia e sociedade, porém eles não propõem uma estrutura de avaliação. Os 5 aspectos relevantes são: conhecimento e compreensão; exploração e descoberta; imaginação e criação; sensibilização e valorização; uso e aplicação (YAGER; MCCORMACK, 1989).

**Referências**  
(de acordo com ABNT  
NBR 6023)

- AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? 1994. *In*: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. **STS Education: International Perspectives on Reform. Ways of Knowing Science Series. Teachers College Press**, 1234 Amsterdam Ave. New York: Teachers College Press, p.47 - 59.
- BARRENTINE, C. D. Science education: Education in, or about science?. **Science education**, v. 70, n. 5, p. 497 - 499, 1986.
- MCKAVANAGH, C.; MAHER, M. Challenges to science education and the STS response. **Australian Science Teachers Journal**, v. 28, n. 2, p. 69 - 73, 1982.
- PACEY, A. **La cultura de la tecnología**. México: Fondo de Cultura Económica, 1990.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em educação em ciências**, v. 2, n. 2, p. 1 - 23, 2000.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 1, p.95 - 111, 2001.
- SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. Ensino de Ciências com enfoque ciência, tecnologia e sociedade-CTS. *In*:\_\_\_\_\_. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. 4. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010. Cap. 3, p. 59 – 95.
- SOLOMON, J. Science technology and society courses: Tools for thinking about social issues. **International Journal of Science Education**, v. 10, n. 4, p. 379 - 387, 1988.
- THOMAS, I. D. Assessing student understanding of science-technology-society interactions. **Australian Science Teachers Journal**, v. 31, n. 1, p. 33 - 37, 1985.
- YAGER, R. E.; MCCORMACK, A. J. Assessing teaching/learning successes in multiple domains of science and science education. **Science education**, v. 73, n. 1, p. 45 - 58, 1989.

<b>TÍTULO, OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM E SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS</b>			
<b>Título da UDM</b>	<b>Química ambiental: poluição e recuperação de metais pesados</b>		
<b>Objetivos previstos em Orientações Curriculares Oficiais</b>			
<b>Objetivo da UDM</b>	Criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamentada.		
<b>Título das SD*</b>	<b>Objetivo das SD</b>	<b>Conteúdo Programático das SD</b>	<b>Tempo Aproximado (em aulas)</b>
SD1 - Química ambiental e metais pesados: o que eu tenho com isso?	Entender os principais conceitos da química ambiental e os impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana, resumindo os principais conteúdos discutidos em aula.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Momento 1: Química ambiental, com um recorte para metais pesados;</li> <li>● Momento 2: Impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana;</li> <li>● Momento 3: A geração de resíduos de metais pesados na mineração;</li> <li>● Momento 4: O caso Brumadinho;</li> <li>● Momento 5: Apresentação dos alunos;</li> <li>● Momento 6: Problematização.</li> </ul>	4 aulas.
SD2 - Recuperação de metais pesados? Como se faz isso?	Entender possíveis tecnologias para tratamento e recuperação de metais pesados, comparando as técnicas por meio de um texto dissertativo-argumentativo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Momento 7: Neutralização com base e redução biológica de sulfato;</li> <li>● Momento 8: Reatores sulfetogênicos.</li> </ul>	2 aulas.

SD3 - E a Química, o que tem a ver com isso?	Aplicar os conceitos de concentração, solubilidade, precipitação, nucleação e aglomeração, implementando-os em uma lista de questões.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Momento 9: Concentração de soluções e solubilidade de compostos inorgânicos;</li> <li>• Momento 10: Precipitação, nucleação e aglomeração.</li> </ul>	4 aulas.
SD4 - Não sou o Magneto, mas quero esse metal aí!	Entender as tecnologias associadas ao tratamento dos resíduos da mineração, explicando-as com o auxílio dos conhecimentos químicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Momento 11: Retomada da tecnologia articulada com os conceitos de química estudados e lembrados.</li> </ul>	2 aulas.
SD5 - Para quem isso serve?	Criar uma proposta de intervenção social, produzindo um texto de divulgação científica explicitando uma alternativa para resolver o problema com resíduos de metais pesados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Momento 12: Apresentar uma proposta de resolução para o problema inicial;</li> <li>• Momento 13: Desenvolver uma ação social crítica.</li> </ul>	2 aulas.

### SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS E DAS ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO

<b>Título da SD1</b>	Química ambiental e metais pesados: o que eu tenho com isso?				
<b>Objetivo da SD</b>	Entender os principais conceitos da química ambiental e os impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana, resumindo os principais conteúdos discutidos em aula.				
<b>Estratégia de Avaliação</b>	Apresentação oral.				
<b>Dia/Aula*</b>	<b>Estratégia Didática</b>	<b>Conteúdos de ensino</b>	<b>Tempo / Descrição das Atividades / Organização da Sala de Aula</b>	<b>Recursos Didáticos</b>	<b>Materiais de Aprendizagem/ Instrumento de avaliação</b>

1ª aula	Aula expositiva e dialogada	Química ambiental com recorte para metais pesados.	10 min para os alunos chegarem na sala e preencher a lista de presença; 50 min para aula expositiva e dialogada (alunos dispostos em fileiras)	Projetor, computador, lousa e canetões.	Slides com conteúdo programático.
2ª aula	Grupo de verbalização/ grupo de observação	Impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana.	10 min para organizar da atividade (aluno sentados em fileiras); 25 min para ler o texto e discutir dentro dos grandes grupos (sala dividida em dois grandes grupos circulares); 25 min dinâmica de explicação do GV/GO (sala dividida em dois grandes grupos circulares).	Cópias dos textos para cada aluno (SOUZA <i>et al.</i> , 2018; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006), folhas de rascunho para síntese dos alunos e lápis ou caneta.	Avaliação concentrada nas discussões dos textos na estratégia didática do GV/GO.
3ª aula	Aula expositiva e dialogada.	A geração de resíduos de metais pesados na mineração.	10 min para os alunos chegarem na sala após intervalo; 50 min para desenvolvimento do tema (alunos sentados em fileiras).	Projetor, computador, lousa e canetões	Slides com conteúdo programático.
4ª aula	TIC e apresentação oral	O Caso Brumadinho e problematização sobre a importância do tratamento e recuperação de metais pesados em resíduos da mineração.	25 min para assistir um vídeo (alunos sentados em fileiras); 25 min apresentação dos alunos sobre os principais assuntos trabalhados na SD; 10 min problematização sobre as consequências da mineração, os impactos dos metais pesados no meio ambiente e na saúde humana (alunos sentados em fileiras).	Vídeo (Brumadinho: o documentário da BBC), projetor, computador, lousa e canetões	Avaliação concentrada nas discussões durante a apresentação.

<b>Referências</b> (fundamentação das estratégias didáticas e de avaliação escolhidas)	ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. <i>In: Processos de ensinagem na universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula</i> . 10. ed. Joenville: Editora Unville, 2005. BBC. Brumadinho: o documentário da BBC. Youtube, 2019. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=YIN02W40UTE&amp;lc=Ugy1D6kt6vzMwsLmOQ94AaABA&amp;ab_channel=BBCNewsBrasil">https://www.youtube.com/watch?v=YIN02W40UTE&amp;lc=Ugy1D6kt6vzMwsLmOQ94AaABA&amp;ab_channel=BBCNewsBrasil</a> . Acesso em: 24 set. 2022. MUNIZ, D. H. F; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. <b>Universitas: Ciências da saúde</b> , v. 4, n. 1, p. 83 - 100, 2006. SOUZA, A. K. R <i>et al.</i> Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. <b>Acta Biomedica Brasiliensia</b> , v. 9, n. 3, p. 95 - 106, 2018.
---	---

SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS E DAS ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO					
Título da SD2	Recuperação de metais pesados? Como se faz isso?				
Objetivo da SD	Entender duas possíveis tecnologias para tratamento e recuperação de metais pesados, comparando as duas técnicas por meio de um texto dissertativo-argumentativo				
Estratégia de Avaliação	Texto Dissertativo-argumentativo				
Dia/Aula*	Estratégia Didática	Conteúdos de ensino	Tempo / Descrição das Atividades / Organização da Sala de Aula	Recursos Didáticos	Materiais de Aprendizagem/ Instrumento de avaliação
5ª aula	Leitura de texto e <i>Brainstorm</i>	Neutralização com base e redução biológica de sulfato	10 min para os alunos chegarem na sala e preencher a lista de presença; 30 minutos para leitura do texto (sentados em fileiras); 20 minutos para o <i>Brainstorm</i> e síntese das discussões.	Texto (Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina), canetões e lousa	Avaliação: discussões durante o <i>Brainstorm</i> .
6ª aula	Aula expositiva e dialogada	Reatores sulfetogênicos	50 min para aula expositiva e dialogada; 10 min para explicar a atividade para a casa.	Projetor, lousa, canetões, computador, folha para rascunho,	Slides com conteúdo programático. Avaliação: textos dissertativos-

				caneta ou lápis.	argumentativos entregues pelas duplas.
<b>Referências</b> (fundamentação das estratégias didáticas e de avaliação escolhidas)	ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. <i>In: <b>Processos de ensinagem na universidade</b></i> : pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 10. ed. Joenville: Editora Unlville, 2005. DE MELLO, J. W. V; DUARTE, H. A.; LADEIRA,A. C. Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. <b>Cadernos Temáticos de Química nova na escola</b> , v. 8, p. 24 - 29, 2014.				

SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS E DAS ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO					
<b>Título da SD3</b>	E a Química, o que tem a ver com isso?				
<b>Objetivo da SD</b>	Aplicar os conceitos de concentração, solubilidade, precipitação, nucleação e aglomeração, implementando-os na explicação de práticas experimentais.				
<b>Estratégia de Avaliação</b>	Relatório da prática.				
<b>Dia/Aula*</b>	<b>Estratégia Didática</b>	<b>Conteúdos de ensino</b>	<b>Tempo / Descrição das Atividades / Organização da Sala de Aula</b>	<b>Recursos Didáticos</b>	<b>Materiais de Aprendizagem/ Instrumento de avaliação</b>
7ª e 8ª aulas	<i>Jigsaw</i>	Definição de metais pesados, suas principais propriedades físicas, usos, importância econômica e social.	10 min para os alunos chegarem no laboratório e preencher a lista de presença; 10 min para explicar o funcionamento do <i>jigsaw</i> (alunos em fileiras); 25 min leitura do texto nos grupos de especialistas (alunos em grupos de especialista); 20 min discussão do texto dentro dos grupos de especialistas (alunos em grupos de especialista); 30 min para a discussão nos grandes grupos originais (alunos nos grupos originais); 25 min discussão do professor com toda a sala (alunos em fileiras).	Texto para o <i>Jigsaw</i> , lousa, canetões, papel e lápis ou caneta.	Avaliação: resumos sobre a temática que os alunos produziram nos grupos originais.
9ª aula	Aula expositiva e dialogada e experimental	Concentração de soluções e solubilidade	20 min de aula expositiva e dialogada para relembrar os conceitos de solubilidade e	Lousa, canetões, roteiro da prática, lápis ou caneta e	Avaliação: discussões dos alunos no relatório da prática experimental (articulação dos 3

		compostos inorgânicos;	concentração. (alunos sentados ao redor das bancadas do laboratório) 10 min para explicar as práticas que serão realizadas e organizar os alunos em grupos. (alunos sentados ao redor das bancadas do laboratório) 30 min início da experimentação sobre solubilidade e concentração (alunos em grupos nas bancadas)	vidrarias de laboratório.	aspectos do conhecimento químico).
10ª aula	Experimentação	Precipitação, nucleação e aglomeração.	50 min para realização da prática; 10 min para discutir os principais aspectos que devem constar nos relatórios (alunos sentados ao redor das bancadas);	Lápis ou caneta e vidrarias de laboratório.	Roteiro da prática experimental. Avaliação: discussões dos alunos no relatório da prática experimental (articulação dos 3 aspectos do conhecimento químico)
<b>Referências</b> (fundamentação das estratégias didáticas e de avaliação escolhidas)	ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. <i>In: Processos de ensinagem na universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula.</i> 10. ed. Joenville: Editora Unlville, 2005. DUARTE, H. A. Ligações químicas: ligação iônica, covalente e metálica. <b>Cadernos temáticos de Química nova na escola</b> , v. 4, 2001. LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. <b>Química nova na escola</b> , v. 33, n. 4, p. 199 - 205, 2011.				

### SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS E DAS ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO

<b>Título da SD4</b>	Não sou o Magneto, mas quero esse metal aí!
----------------------	---

<b>Objetivo da SD</b>	Entender as tecnologias associadas ao tratamento dos resíduos da mineração, explicando-as com o auxílio dos conhecimentos químicos.				
<b>Estratégia de Avaliação</b>	Coerência nos argumentos na apresentação oral.				
<b>Dia/Aula*</b>	<b>Estratégia Didática</b>	<b>Conteúdos de ensino</b>	<b>Tempo / Descrição das Atividades / Organização da Sala de Aula</b>	<b>Recursos Didáticos</b>	<b>Materiais de Aprendizagem/ Instrumento de avaliação</b>
11ª Aula	Trabalho em grupo	Retomada da tecnologia articulada com os conceitos de química estudados.	10 min para os alunos chegarem na sala e preencher a lista de presença; 10 min da demonstração do crescimento dos cristais referentes a aula prática. (alunos em fileiras) 40 min discussão dentro dos grupos sobre a articulação entre os conhecimentos químicos e a tecnologia associada (alunos divididos em grupos).	Materiais e reagente pra experimento de demonstração de cristais, papel, lápis ou caneta.	-
12ª Aula	Apresentação oral	Apresentação da síntese dos alunos e discussão.	60 min apresentação dos grupos e discussão orientada pelo professor (alunos em grupos).	Computador, projetor e apresentação de slides.	Coerência na argumentação durante a apresentação.
<b>Referências</b> (fundamentação das estratégias didáticas e de avaliação escolhidas)	ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. <i>In: Processos de ensinagem na universidade</i> : pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 10. ed. Joenville: Editora Unlville, 2005.				

SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS E DAS ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO					
<b>Título da SD5</b>	Para quem isso serve?				
<b>Objetivo da SD</b>	Criar uma proposta de intervenção social, produzindo um texto de divulgação científica que descreva uma possível alternativa para resolver o problema com resíduos de metais pesados.				
<b>Estratégia de Avaliação</b>	Texto de divulgação científica para redes sociais.				
<b>Dia/Aula*</b>	<b>Estratégia Didática</b>	<b>Conteúdos de ensino</b>	<b>Tempo / Descrição das Atividades / Organização da Sala de Aula</b>	<b>Recursos Didáticos</b>	<b>Materiais de Aprendizagem/ Instrumento de avaliação</b>
13ª Aula	Trabalho em grupo.	Apresentar uma proposta de resolução para o problema inicial;	30 min para os alunos organizarem as ideias para resolver o problema (alunos organizados em grupos)	Papel, lápis ou caneta	-
	Apresentação oral.	Proposta para resolver o problema.	30 min apresentação das propostas de cada grupo (alunos organizados em fileiras).	-	-
14ª Aula	Trabalho em grupo e Tecnologia digital da informação e comunicação (TDIC).	Desenvolver uma ação social crítica.	60 min para alunos desenvolverem um texto de divulgação sobre o assunto para as redes sociais (alunos organizados em grupos). A atividade inicia-se em aula e termina em casa.	Computador com acesso à internet.	O texto final apresentado pelos alunos.
<b>Referências</b> (fundamentação das estratégias didáticas e de avaliação escolhidas)	ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. <i>In: Processos de ensinagem na universidade</i> : pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 10. ed. Joenville: Editora Unville, 2005.				

Observações (se necessário):

*Apêndice B - Roteiro prática sobre solubilidade*

**Prática sobre solubilidade - Material adaptado das aulas de Laboratório de Ensino de Química Geral da UNESP- Instituto de Química de Araraquara**

**Materiais e reagentes necessários:**

- Suporte para tubos de ensaio e 10 tubos de ensaio;
- 1 proveta com tampa;
- 1 pipeta de 2 mL e outra de 5 mL;
- Fio de solda de estanho-chumbo;
- Sal e açúcar de cozinha;
- Iodo e Naftalina sólidos;
- Heptano.

**Objetivos**

Relacionar a solubilidade das substâncias com os tipos de ligação química e as forças intermoleculares.

*Testando a solubilidade de substâncias*

***Procedimento experimental***

1. Adicione as substâncias nas quantidades indicadas no Quadro 10 abaixo em tubos de ensaio. Em seguida, com auxílio de uma pipeta, adicione 2 mL de água destilada. Agite **intensamente por cerca de 2 minutos** e anote o observado.

**Quadro 10.** Solubilidade das substâncias em água.

Solução	Solubilidade			
	Não dissolveu	Pouca dissolução	Grande dissolução	Dissolveu totalmente

Pedaço de fio de solda				
Ponta de espátula de NaCl				
Ponta de espátula de açúcar				
Ponta de espátula de iodo sólido				
Pedaço de naftalina				

**Fonte:** roteiro de aulas Laboratório de Química Geral.

2. Em uma capela exaustora, adicione as substâncias nas quantidades indicadas no Quadro 11 em tubos de ensaio. Em seguida, com auxílio de uma pipeta, adicione 2 mL de heptano. Agite, dentro da capela, **intensamente por cerca de 3 minutos** e anote o observado.

**Quadro 11.** Solubilidades das substâncias em heptano.

Solução	Solubidade			
	Não dissolveu	Pouca dissolução	Grande dissolução	Dissolveu totalmente
Pedaço de fio de solda				
Ponta de espátula de NaCl				
Ponta de espátula de açúcar				
Ponta de espátula de iodo sólido				

Pedaço de naftalina				
---------------------	--	--	--	--

**Fonte:** roteiro de aulas Laboratório de Química Geral.

Apêndice C - Roteiro prática sobre concentração

## Prática sobre concentração

### Materiais e reagentes necessários

- Suporte para tubos de ensaio e 8 tubos de ensaio com rosca;
- Micropipetas;
- Reagentes HACH® para sulfeto;
- 8 balões de 10 mL;
- Cubeta de quartzo;

Espectrofotômetro.

### Objetivos

Relacionar a concentração com a intensidade das cores das soluções e com a absorção no espectrofotômetro;

Associar as tecnologias estudadas com a prática.

### *A concentração das soluções*

Para a prática será realizado o método do azul de metileno para quantificação de sulfeto. Também com a utilização do espectrofotômetro é possível analisar a concentração de sulfetos totais a partir da absorbância medida na solução formada. Para tal método foi preparada uma solução mãe contendo  $1000 \mu\text{g S}^{-2} \cdot \text{L}^{-1}$ .

### ***Procedimento experimental***

Adicione diferentes alíquotas da solução mãe 0 (branco), 800, 2000, 3200, 4400, 5600, 6800 e 8000  $\mu\text{l}$  que em diferentes balões de 10 ml com o posterior ajuste do volume. As concentrações estimadas para cada balão foram 80, 200, 320, 440, 560, 680 e 800  $\mu\text{g S}^{-2} \cdot \text{L}^{-1}$  respectivamente.

Transfira 10 ml das soluções já diluídas para tubos de ensaio com tampa de rosca, e adicione 400  $\mu\text{l}$  de cada reagente de sulfeto (Reagentes HACH® para sulfeto), e homogenize suavemente por inversão.

Após 10 minutos de reação transfira cada solução para uma cubeta e análise no espectrofotômetro com comprimento de onda ajustado para 665 nm e com o prévio ajuste do zero do equipamento com o branco feito ao mesmo tempo que as soluções contendo amostra.

Anote os valores de absorbância em cada leitura.

Apêndice D - Roteiro prática sobre nucleação

## Prática sobre cristais e nucleação

### Utensílios e reagentes necessários

- Reatores sulfetogênicos;
- Seringa de 1 mL;
- Agulha;
- Béquer de 200 mL;
- Proveta de 100 mL;
- Cloreto de Zinco ( $ZnCl_2$ ).

### Objetivos

Compreender a precipitação que ocorre nos reatores sulfetogênicos como forma de recuperar metais;

Analisar a nucleação na formação do sulfeto de zinco.

### *Procedimento experimental*

#### ***PARTE A: Obtenção da solução de cloreto de zinco 1%***

Pesar em uma balança 1 g de Cloreto de Zinco em um béquer de 200 mL.

Adicionar 100 mL de água destilada com auxílio de uma proveta.

#### ***PARTE B: Precipitação do sulfeto de zinco***

Com auxílio da seringa com agulha, pegar 1 mL da solução de Cloreto de zinco 1%.

(Figura 33)

Cuidadosamente perfurar a tampa de borracha do reator com a agulha.

Aspergir o conteúdo da seringa vagarosamente no reator.

Anotar o que foi observado.



**Figura 33.** Esquema para introdução da seringa com  $\text{ZnCl}_2$  no reator.

**Fonte:** elaboração própria.

Apêndice E - Roteiro prática sobre aglomeração dos cristais

## **Prática sobre aglomeração - Material adaptado das aulas de Laboratório de Ensino de Química Geral da UNESP- Instituto de Química de Araraquara**

### **Utensílios e reagentes necessários**

- Sistema de filtração simples;
- Sistema de aquecimento: bico de Bunsen, tripé de ferro e tela de amianto;
- 2 béqueres;
- Sulfato de alumínio e potássio dodeca-hidratado (alúmen comum);
- Tartarato de Sódio e Potássio (Sal de Seignette ou de Rochelle);
- Sulfato de cobre penta-hidratado;
- Fosfato diácido de potássio,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ;
- Linha de costura;
- Palitos de sorvete.

### **Objetivos**

Compreender a aglomeração dos cristais.

Obter cristais.

### ***Procedimento experimental***

#### ***PARTE A: Obtenção dos cristais de partida***

O procedimento em todos os casos consiste em dissolver certa quantidade do sal em água, até que se forme um corpo de fundo. Em seguida, a solução saturada será separada do excesso de sal por filtração simples. A solução saturada será coberta com um papel de filtro, para protegê-la da poeira e deixada em repouso durante alguns dias para cristalizar.

- a) Sulfato de alumínio e potássio dodeca-hidratado (alúmen comum).

Misture 30 g de alúmen com 100 mL de água destilada, em um béquer. Misture bem e filtre para outro béquer, para separar do sal não dissolvido. Cubra-o com um papel de filtro e deixe em repouso para cristalizar.

b) Tartarato de Sódio e Potássio (Sal de Seignette ou de Rochelle).

Misture 20 g do sal com 100 mL de água. Proceda como em (a).

c) Sulfato de cobre penta-hidratado.

Misture 30 g de sulfato de cobre com 100 mL de água destilada. Proceda como em (a).

d) Fosfato diácido de potássio,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

Misture 30 g do sal com 100 mL de água. Aqueça a  $50^\circ\text{C}$  e filtre. Proceda como em (a).

### **PARTE B: Obtenção do germe e crescimento cristalino**

Essa etapa será apenas explicada para os alunos, mas será realizada pelos professores e os cristais serão mostrados ao fim das SD.