

UFRRJ
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROFQUI - PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM
QUÍMICA EM REDE NACIONAL

DISSERTAÇÃO

**Elaboração do Livro Paradidático “50 Baldes de Urina e os Compostos
Organofosforados: senta que lá vem história”**

Marcelo Beni Vieira Bria

2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM
REDE NACIONAL**

**ELABORAÇÃO DO LIVRO PARADIDÁTICO “50 BALDES DE URINA E OS
COMPOSTOS ORGANOFOSFORADOS: SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA”**

MARCELO BENI VIEIRA BRIA

Sob a Orientação do(a) Professor(a)
João Batista Neves da Costa

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Química, no Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional - Profqui, Área de Concentração em Química.

Seropédica-RJ
02 de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B849e Bria, Marcelo Beni Vieira, 1986-
Elaboração do Livro Paradidático "50 Baldes de Urina
e os Compostos Organofosforados: Senta Que Lá Vem
História" / Marcelo Beni Vieira Bria. - Rio de Janeiro,
2020.
69 f.: il.

Orientador: João Batista Neves da Costa.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, PROFQUI - Programa de Mestrado
Profissional em Química em Rede Nacional, 2020.

1. livros paradidáticos. 2. fósforo. 3. ensino de
química. I. Costa, João Batista Neves da, 1956-,
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. PROFQUI - Programa de Mestrado Profissional
em Química em Rede Nacional III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE
NACIONAL

MARCELO BENI VIEIRA BRIA

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Química, no Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, Área de Concentração em Química

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/02/2020

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Membros da banca:

João Batista Neves da Costa
(Dr.) UFRRJ (Orientador) Presidente da Banca

Marcelo Hawrylak Herbst
(Dr.) UFRRJ

Vitor Sueth Santiago (**em memória**)
(Dr.) IFRJ

Roberto Barbosa de Castilho
(Dr.) UFRRJ- Coordenador do PROFQUI



Emitido em 2022

TERMO Nº 332/2022 - PPGQ (12.28.01.00.00.60)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 01/04/2022 08:11)

JOAO BATISTA NEVES DA COSTA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DQO (11.39.00.23)

Matrícula: 980939

(Assinado digitalmente em 01/04/2022 09:23)

MARCELO HAWRYLAK HERBST

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DQF (11.39.00.25)

Matrícula: 1475121

(Assinado digitalmente em 01/04/2022 09:03)

ROBERTO BARBOSA DE CASTILHO

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DQF (11.39.00.25)

Matrícula: 1714151

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número:
332, ano: **2022**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **31/03/2022** e o código de verificação: **73cd1d88dc**

“O fazer deve coincidir com o saber servir-se daquilo
que se faz” - **Platão**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao programa de pós-graduação do PROFQUI, pela elaboração do curso e oportunidade dada para que nós professores atuantes na Educação Básica, pudéssemos aprimorar os nossos conhecimentos técnicos. Sem a elaboração e implementação do programa, nada disso seria possível.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e o corpo docente da instituição envolvido no programa de pós-graduação, por aceitar fazer parte do curso e compartilhar os seus conhecimentos com todos os alunos. Como todos os docentes desempenharam papel fundamental para que fosse possível alcançar novos conhecimentos, como forma de agradecimento, deixo registrado neste humilde trabalho os vossos nomes: Dr. André M. dos Santos, Dra. Andressa E. S. Santos, Dr. Aurelio B. B Ferreira, Dr. Carlos Maurício R. Sant'Anna, Dr. Glauco F. Bauerfeldt, Dr. João Batista N. da Costa, Dr. Marcelo H. Herbst, Dr. Marco Edilson F. de Lima, Dr. Roberto B. de Castilho e Dra. Rosane N. Castro.

Registro um agradecimento especial para o orientador deste trabalho, Dr. João Batista N. da Costa, pois seus ensinamentos à conclusão deste não seria possível, e outro agradecimento especial para o coordenador do curso, Dr. Marcelo H. Herbst pelo empenho no andamento do curso e recomendações de leituras para este trabalho.

Agradeço aos meus familiares: Rosa Maria (mãe), Wagner do Couto (pai) e Lucilene Beni (esposa) por todo apoio e paciência para que fosse possível cursar e concluir a pós-graduação.

Agradeço aos discentes do curso pela companhia e ajuda durante toda essa etapa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO:

BRIA, Marcelo Beni Vieira. **Elaboração do livro paradidático “50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: senta que lá vem história”**: Rio de Janeiro, RJ. 2019. 69 p Dissertação (PROFQUI – Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional). Instituto de Química. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Livros paradidáticos constituem um dos elementos que podem ser utilizados como aliados no processo de ensino-aprendizagem. O presente trabalho discorre sobre a elaboração de um livro paradidático de química, onde foram abordados diversos tópicos de uma classe de substâncias conhecidas como compostos organofosforados, servindo-se dos aspectos históricos, econômicos, químicos e biológicos, para o desenvolvimento do tema com alunos do Ensino Médio, professores e o público em geral. Para tal, utilizou-se como metodologia a transposição didática e revisão da literatura científica.

Palavras-chave: Livros paradidáticos, fósforo, ensino de química.

ABSTRACT

Paradidactic books (or supplementary educational materials) are one of the elements that can be used in association in the teaching learning process. The present work discusses the elaboration of a paradidactic book of chemistry, where several topics of a class of substances known, as organophosphate compounds were approached, using the historical, economic, chemical and biological aspect for the development of the theme with high school students, teachers and the general public. For this purpose, the didactic transposition and review of the scientific literature were used as methodology.

Key words: Paradidactic books; phosphor; chemistry teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplos de Compostos Organofosforados (MAZZACURATI, 2007)	16
Figura 2: Estrutura Geral dos Compostos Organofosforados em Inseticidas (COSTA, 2017)	17
Figura 3: Estrutura do Tabun, Sarin e Soman (SILVA, BORGER JR., FIGUEROA-VILLAR & CASTRO, 2012).....	18
Figura 4: Estrutura Química do Glifosato (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).....	19
Figura 5: Síntese e Hidrólise da ACh (ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016).....	19
Figura 6: Reação de Hidrólise da Acetilcolina (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).....	20
Figura 7: Desenho Esquemático da AChE. Adaptado de Patrick, G. L. (2009; apud ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016).....	20
Figura 8: Mecanismo de Hidrólise da Acetilcolina (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).....	21
Figura 9: Mecanismo Clássico de Inibição da AChE por Inseticidas Organofosforados (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).....	22
Figura 10: Estrutura geral de um bifosfonato.....	23
Figura 11: Estrutura do N, N', N''- trietilenotiofosforamida (DEMLOWICZ, RACHON, DÁSKO & KOZAK, 2013).....	24
Figura 12: Estrutura geral dos complexos RAPTA (APPELT, 2013).....	24
Figura 13: Estrutura do Tenofovir (DEMLOWICZ, 2013)	25

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

ACh
AChE
CTS
OF

Acetilcolina;
Acetilcolinesterase;
Ciência, Tecnologia e Sociedade
Organofosforados;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO:.....	11
2 OBJETIVOS:.....	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 O Fósforo	14
3.2 Compostos Organofosforados: Histórico e Características	16
3.3 Compostos Organofosforados e Atividade Inseticida	19
3.4 Compostos Organofosforados, Aplicações na Medicina e Outras Áreas.....	23
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 Livro Didático e Paradidático.....	26
4.2 Contextualização no Ensino de Química.....	28
4.3 Transposição Didática	29
4.4 Aprendizagem Significativa	33
4.5 A História da Ciência e o Ensino de Química.....	36
4.6 “QuimiGui@: Uma Estratégia Para Elaboração de Materiais Didáticos Textuais de Química”.....	39
4.7 Revisão da Literatura Científica.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO:

Atualmente, espera-se que dentro do processo de ensino-aprendizagem, as práticas pedagógicas possam condizer com a contextualização, evitando assim uma abordagem puramente conteudista, sem ter conexões com o que o aluno vivencia em seu cotidiano (WARTHA, SILVA & BEJARANO, 2013).

Diante de uma necessidade que garanta ao aluno um ensino que consiga trazer sentido para a sua vida, podemos remeter ao fato que os livros paradidáticos constituem um dos aliados do ensino, e que este consiga, através de uma linguagem assimilável ao aluno, promover a contextualização e interdisciplinaridade, que de acordo com Sá e Silva (2008), são abordagens que se alimentam mutuamente dentro da prática pedagógica:

“Na prática pedagógica, a interdisciplinaridade e a contextualização alimentam-se mutuamente, pois o tratamento das questões trazidas pelos temas sociais expõe as inter-relações entre os objetos de conhecimento, de forma que não é possível fazer um trabalho contextualizado tomando-se uma perspectiva disciplinar rígida. Ou seja, a busca de temas que propiciem um ensino contextualizado, no qual o aluno possa vivenciar e aprender com a integração de diferentes disciplinas pode possibilitar ao aluno a compreensão tanto dos processos químicos em si, quanto de um conhecimento químico sem fronteiras disciplinares.” (SÁ & SILVA, 2008)

De acordo com as orientações contidas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM (BRASIL, 2002), temos um conjunto de habilidades e competências diretamente relacionadas à escrita e à leitura. Nesse sentido, traçando um paralelo entre o texto contido no PCNEM e a possibilidade de utilização do livro paradidático visando cumprir tais orientações, temos que:

“As competências gerais a serem desenvolvidas na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias dizem respeito aos domínios da representação e comunicação, envolvendo a leitura e interpretação de códigos, nomenclaturas e textos próprios da Química e da Ciência, a transposição entre diferentes formas de representação, a busca de informações, a produção e análise crítica de diferentes tipos de textos; da investigação e compreensão, ou seja, o uso de ideias, conceitos, leis, modelos e procedimentos científicos associados a essa disciplina; e da contextualização sociocultural, ou seja, a inserção do conhecimento disciplinar nos diferentes setores da sociedade, suas relações com os aspectos políticos, econômicos e sociais de cada época e com a tecnologia e cultura contemporâneas.” (PCNEM, 2002)

O livro paradidático pode promover a sensação de fazer com que o aluno se sinta dentro da história que é contada, promovendo dessa forma, um embarque na aventura contida neste, trazendo um significado mais efetivo para o aprendizado e fazendo com que o educando deixe de ser um mero agente passivo no processo. Além disso, o livro paradidático quase sempre traz ao longo de sua narrativa, conteúdos que o aluno já tenha visto, “fazendo-o repassar, ou até mesmo reconstruir seu significado em um contexto mais amplo” (PINTO, 2013).

Diante da possibilidade de desconhecimento de parte da população (em especial dos agentes envolvidos no processo de escolarização) a respeito dos agrotóxicos, e suas características, e que apresentam como uma das possibilidades de utilização substâncias denominadas “compostos organofosforados”, o presente trabalho discorre sobre a elaboração de um livro paradidático contendo tópicos dessa classe de compostos, que vão muito além da aplicação exclusiva como agrotóxicos, de acordo com o seu levantamento histórico (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

Esse livro paradidático é resultado do trabalho de conclusão de curso do Programa de Mestrado Profissionalizante em Química (PROFQUI), pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), onde utilizou-se a abordagem dos compostos organofosforados, tema que constitui uma das linhas de pesquisa da instituição.

Os compostos organofosforados, muito presentes (mesmo que de forma indireta) no nosso cotidiano, apresentam como característica estrutural a presença do átomo de fósforo, elemento que possui versatilidade na constituição de diversos compostos orgânicos (organofosforados) e inorgânicos, onde essa versatilidade, pode ser explicada pelo fato de apresentarem níveis de energia acessíveis, que prontamente aceitam elétrons de qualquer bom doador (MAZZACURATI, 2007).

Essencial à vida, o fósforo pode ser encontrado nos mais diversos locais: DNA, dentes, ossos, rochas, acidulantes de refrigerantes à base de cola, inseticidas, medicamentos, armas químicas, etc (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

Diante da riqueza de aplicações, histórico e importância, pouco desenvolvidos durante o Ensino Médio (especialmente nos livros didáticos), o livro paradidático “50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: sinta que lá vem história”, apresenta como uma de suas propostas, ser um aliado ao processo de ensino-aprendizagem, atuando como um material que possa ser empregado de forma independente ao professor, tendo em vista as suas características de dialogar com o leitor.

Alguns exemplos de livros paradidáticos serviram como inspiração para a construção do presente trabalho, tendo em vista o sucesso que estes alcançaram com o público. Dentre os exemplos, temos: “*Os Botões de Napoleão*” de Le Couteur e Burreson (2013), “*A Colher que Desaparece*” de Sam Kean (2011), “*O Sonho de Mendeleiev*” de Paul Strathern (2002), além de outros não mencionados.

As características químicas e históricas envolvendo os compostos organofosforados servem como “roupagem” para abordar boa parte do conteúdo programático do Ensino Médio. Estes, desenvolvidos através de uma linguagem que possam propiciar a contextualização e interdisciplinaridade, podem ser um aliado para garantir a construção e reconstrução de significados dentro do processo de escolarização.

2 OBJETIVOS:

2.1 Objetivo Geral

Divulgar o tema compostos organofosforados para alunos do Ensino Médio, professores e o público em geral, através de uma abordagem diferente do convencional de exposição do conteúdo, facilitando a compreensão do tema e o ensino de química.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisão da literatura científica sobre o tema “Compostos Organofosforados”, com ênfase nos principais aspectos históricos, econômicos, químicos e biológicos, para a produção de livro paradidático sobre o tema, para alunos do Ensino Médio, professores e o público em geral;
- Reconhecer a importância dos Compostos Organofosforados para a sociedade;
- Contribuição no processo de ensino/aprendizagem, utilizando do tema para despertar o interesse do público-alvo sobre a importância dos Compostos Organofosforados para a sociedade;
- Estimular o pensamento crítico acerca dos Compostos Organofosforados, enquanto a sua utilização em diferentes contextos;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O Fósforo

Como elemento químico que figura como principal deste trabalho, temos o elemento fósforo (do latim *phosphorus*, que significa “portador de luz”), que possui número atômico 15, massa atômica aproximada equivalente a 30,97 u, e é representado através do símbolo “P”. Foi descoberto pelo alquimista alemão Henning Brand, em 1669, onde o seu objetivo era o de encontrar ouro na urina, e partindo de um resíduo obtido através da evaporação da urina, presente em 50 baldes, chegou a tal descoberta (MAZZACURATI, 2007).

Usualmente, o fósforo na forma pura se apresenta semitransparente, brilha no escuro, de consistência mole, podendo entrar em combustão de forma espontânea quando exposto ao ar, gerando uma fumaça branca de óxidos de fósforo que por sua vez podem formar ácidos, através do contato com o vapor de água presente no ar (PEIXOTO, 2002).

O átomo de fósforo apresenta polarizabilidade, tendo a sua eletronegatividade classificada como baixa a média. O seu número de coordenação, usualmente, é igual a três, onde essa configuração vai de acordo com a regra do octeto, compreendida como um “(...) guia útil para fazer previsões sobre ligação e estequiometria em muitos compostos. Há, entretanto, várias exceções” (RUSSELL, 1994). Dentre essas exceções, temos que o fósforo pode se apresentar, em sua forma pentavalente, com três átomos ligados por ligações simples e uma ligação dupla com outro átomo bivalente, dentre eles o oxigênio. Outras exceções, são os sais fosfônicos quaternários ($R_4P^+X^-$) e as fosforanas ou ilídeos (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

A versatilidade desse elemento pode ser explicada pelo fato de apresentar níveis eletrônicos de energia acessíveis (MAZZACURATI, 2007).

A produção de fósforo elementar ocorre industrialmente em fornos elétricos, onde a matéria-prima consiste em pedaços de sílica (SiO_2), coque e rocha de fosfato natural, que são aquecidos até a produção de fósforo em vapor, monóxido de carbono e um resíduo contendo silicato de cálcio impuro. O vapor de fósforo produzido é resfriado, obtendo-se fósforo líquido ou sólido, que por sua facilidade de reagir com o oxigênio do ar, é guardado embaixo da água visando evitar tal reação (PEIXOTO, 2002).

Há cerca de 10 variedades alotrópicas do fósforo, que podem ser classificadas dentro de 3 categorias principais: preta, vermelha e branca. Os alótropos correspondentes a essas categorias, possuem como características, de acordo com Peixoto (2002):

“O fósforo branco possui duas variedades alotrópicas: a *alfa*, que é estável à temperatura ambiente e tem estrutura cristalina cúbica, e a *beta*, que é estável somente abaixo de -78 °C e tem estrutura cristalina hexagonal. O fósforo branco é venenoso; quando exposto à luz solar ou ao calor, ele é convertido na variedade vermelha, que é mais inerte quimicamente. Aliás, esta variedade não só não fosforesce (não brilha no escuro) como também não queima pela simples exposição ao ar, à temperatura ambiente. O fósforo *preto*, a forma menos reativa, tem uma estrutura lamelar, semelhante à do grafite. Para obtê-la, submete-se o fósforo *branco* a altas pressões. Por sua vez, o fósforo *branco* é a forma mais reativa quimicamente; infelizmente, por esta mesma razão, tem sido usado pelas grandes potências na fabricação de artefatos militares para produzir uma cortina de fumaça, e, o que é pior, para fabricar granadas e bombas incendiárias. Quando uma pessoa é atingida por uma bomba incendiária, o fósforo adere à sua pele; esta, é destruída pela alta temperatura gerada inicialmente pela oxidação do fósforo, em seguida pelo calor desprendido com a hidratação dos óxidos formados e finalmente pelo ataque direto dos ácidos fosfóricos assim formados agindo sobre o tecido da pele. É uma verdadeira arma de tortura produzida pelas nações “desenvolvidas” com o consentimento da sociedade. Por outro lado, o fósforo vermelho é de grande utilidade prática pois é usado no fabrico das lixas de caixas de fósforos de segurança.” (PEIXOTO, 2002)

É um elemento essencial à vida, e pode ser encontrado nos compostos orgânicos e inorgânicos, estando presente nos mais diversos locais: DNA, inseticidas, dentes, ossos, armas químicas, rochas, acidulantes de refrigerantes à base de cola, medicamentos, etc (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

Diante da versatilidade do fósforo, vários compostos contendo esse elemento, principalmente os inorgânicos, possuem grande importância comercial. Porém, é crescente a utilização de compostos orgânicos contendo fósforo, os compostos organofosforados, tendo aplicações que englobam, de acordo com Santos, Donnici, Da Costa e Caixeiro (2007):

“Eles são usados como antioxidantes e estabilizantes para plásticos e óleos industriais, e em diversas áreas de aplicação, assim como resistência à corrosão, extração e complexação e como agroquímicos (inseticidas, fungicidas, herbicidas). Entre as diversas aplicações industriais pode ser citado o uso como reagente de flotação, matéria-prima na síntese de plásticos não inflamáveis, antioxidantes, plastificantes, aditivo para óleos lubrificantes e combustíveis hidrocarbônicos, solventes aplicados em extrações seletivas e, principalmente, como inseticidas e agentes antitumorais. As aplicações industriais, junto com o aumento do uso de compostos de fósforo em síntese orgânica e na química de compostos organometálicos, têm adquirido um rápido aumento na literatura da química de organofosforados.” (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007)

3.2 Compostos Organofosforados: Histórico e Características

Dentre os compostos de fósforo, têm-se que os que apresentam o fósforo trivalente são bons redutores, tendo em vista a forte reatividade pela presença do par eletrônico não ligante, que por sua facilidade de formar a ligação P=O, podem ser oxidados com rapidez, por oxigênio, ozônio, peróxidos, além de outros oxidantes. Nos compostos organofosforados, a força da ligação fósforo-carbono é similar à da ligação carbono-carbono, apresentando maior resistência à oxidação e hidrólise (FISCHER & WAZER, 1897; *apud* SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

A versatilidade da atividade dos compostos organofosforados, relaciona-se com o fato que, características em suas estruturas como: o tipo de heteroátomo presente, tipo de grupo funcional ligado ao fósforo e estado de oxidação do fósforo; acabam por criar uma grande variedade desses compostos (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

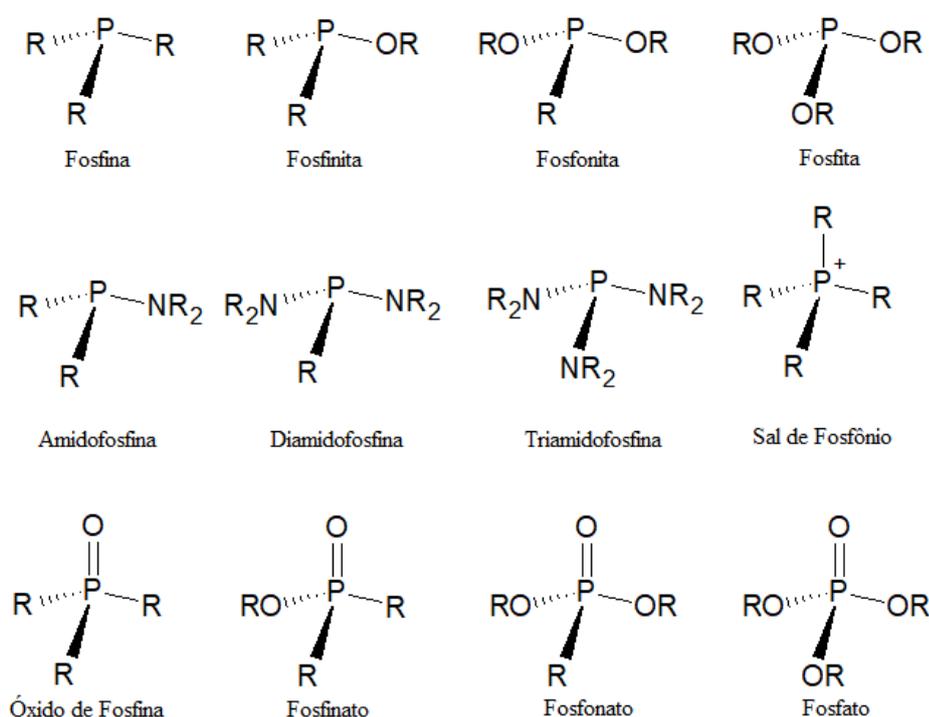


Figura 1: Exemplos de Compostos Organofosforados (MAZZACURATI, 2007)

Os compostos organofosforados foram inicialmente preparados na Idade Média por alquimistas, e através do trabalho do químico francês Jean Louis Lassaigne, em 1820, reagiu etanol com ácido fosfórico para obter trietilfosfato, processo nomeado como esterificação (COSTA, 2017; SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

Cerca de 25 anos mais tarde, Thnard e colaboradores produziram uma série de derivados de fosfinas, e a partir destes trabalhos, pode-se perceber que o progresso de investigação dos compostos de fósforo evoluiu rapidamente (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

Na segunda metade do século XIX, o desenvolvimento de compostos de fósforo foi dominado por Michaelis, sendo sucedido por A. E. Arbuzov, e posteriormente, pelo seu filho B. A. Arbuzov, além de pesquisadores alemães e britânicos (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

Entre a primeira e a segunda guerra mundial, a química dos compostos de fósforo foi exaustivamente investigada. e nesse cenário, temos importante contribuição do pesquisador alemão Gerhard Schrader, químico da IG Farben (*Interessengemeinschaft Farbenindustrie Aktiengesellschaft*), ao qual é considerado responsável pela descoberta das propriedades tóxicas e inseticidas dos organofosforados, além de ser o primeiro a indicar a estrutura geral desses compostos em inseticidas, na década de 1930, que eram (COSTA, 2017).

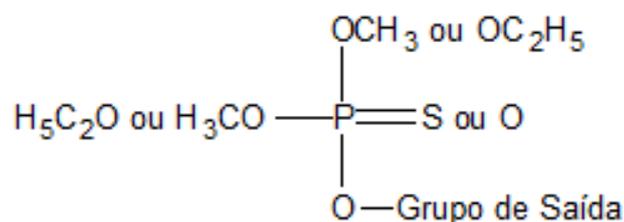


Figura 2: Estrutura Geral dos Compostos Organofosforados em Inseticidas (COSTA, 2017)

No ano de 1934, um projeto de pesquisa de novos inseticidas sintéticos foi iniciado pela IG Farben, onde Schrader, dois anos depois, ao tentar produzir um inseticida baseado em uma estrutura organofosforada, acabou acidentalmente descobrindo uma substância altamente letal para mamíferos, que acabou sendo descartado na utilização como inseticida. Essa substância, denominada *tabun* (o-etil-N,N-dimetil-fosforamido-cianidato), acabou trazendo uma nova era para o capítulo de substâncias químicas em guerra: “os agentes nervosos”. Em 1938, Schrader descobre outra substância, cerca de cinco vezes mais tóxica que o tabun, que acabou recebendo o nome de sarin (o-isopropil- metil-fosfono-fluoridato), e mais uma vez, descartada para o uso como inseticida (SILVA, BORGER JR., FIGUEROA-VILLAR & CASTRO, 2012).

Em 1944, outra substância altamente tóxica acabou sendo sintetizada por Richard Kuhn, que recebeu o nome de *soman* (o-pinacolil-metil-fosfono-fluoridato), e na década de 1950, outros agentes neurotóxicos passaram a ser produzidos na Inglaterra, Rússia e Estados Unidos.

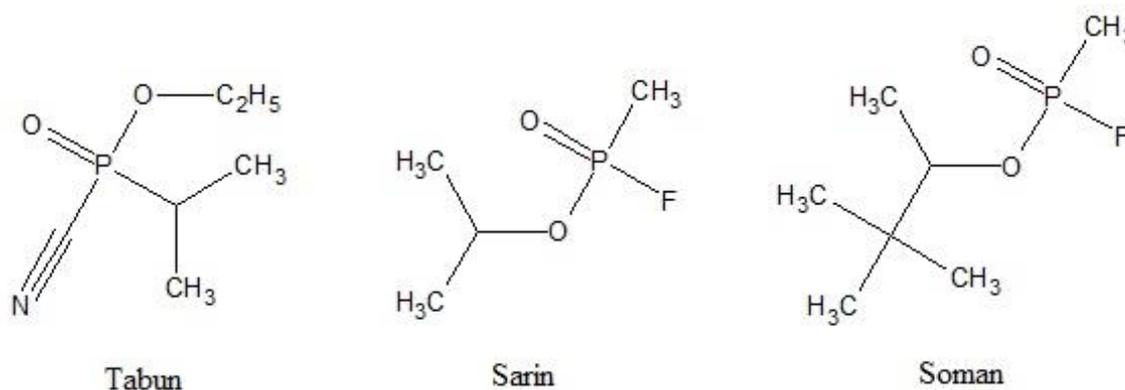


Figura 3: Estrutura do Tabun, Sarin e Soman (SILVA, BORGER JR., FIGUEROA-VILLAR & CASTRO, 2012)

Em 1949, G. M. Kosolapoff estudou a química dos compostos organofosforados, e na literatura de Coffey é possível encontrar trabalhos mais recentes de revisão (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007). Durante a segunda guerra mundial, não houve registros da utilização dos agentes neurotóxicos em batalhas (COSTA, 2018).

Desde o final da década de 1930, centenas de compostos organofosforados com atividade inseticida, foram fabricados e comercializados em todo mundo, em uma grande variedade de formulações (COSTA, 2018).

A utilização desses compostos atingiu o pico na década de 1970, quando começaram a ocorrer a restrição e banimento de inseticidas organoclorados (como por exemplo, o caso do DDT – *dicloro-difeniltricloroetano*), tendo em vista a sua persistência no meio ambiente (COSTA, 2018; BARBOZA, NASCIMENTO, FREITAS-SILVA, SOARES & DA COSTA, 2018).

O sucesso dos organofosforados no combate às pragas, fez com que surgisse uma nova geração desses compostos, com propriedades menos tóxicas, o que fortaleceu a indústria de defensivos agrícolas, dentre eles, o glifosato, principal ingrediente ativo presente no *Roundup* (Monsanto Co., St. Louis, MO, EUA). Em 2001, o glifosato correspondia ao herbicida mais utilizado no EUA (MARTIN & LATHEEF, 2017; BRIDI *et al.*, 2017; *apud* BARBOZA, NASCIMENTO, FREITAS-SILVA, SOARES & DA COSTA, 2018).

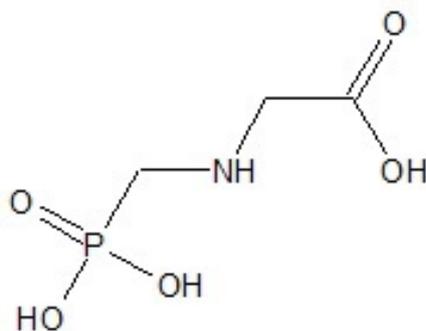


Figura 4: Estrutura Química do Glifosato (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007)

3.3 Compostos Organofosforados e Atividade Inseticida

Os compostos organofosforados são amplamente utilizados como inseticidas, pois são inibidores da enzima acetilcolinesterase (AChE), responsável por hidrolisar o neurotransmissor acetilcolina (ACh) nas sinapses colinérgicas, que estão distribuídas nos sistemas nervosos de vertebrados e invertebrados (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007; ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016).

A ACh é uma molécula que possui uma amina quaternária e um grupo éster, e é sintetizada no neurônio pré-sináptico a partir da acetilcoenzima A (Acetil-CoA) e colina, sob catálise da enzima colina acetiltransferase. Uma vez formada, a ACh fica depositada em vesículas até que ocorra estímulos que resultem na sua liberação na fenda sináptica, onde a ACh se liga ao receptor pós-sináptico propagando a informação (ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016).

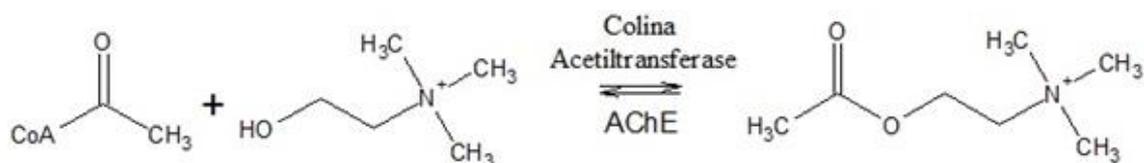


Figura 5: Síntese e Hidrólise da ACh (ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016)

Uma vez a informação propagada, a ACh retorna à fenda sináptica, sofrendo hidrólise da AChE, que é um dos tipos de colinesterases, classe de enzimas que catalisam a hidrólise da ACh, em ácido acético e colina na fenda sináptica, fazendo com que o neurônio colinérgico possa retornar ao seu estado de repouso após ser ativado. Dessa forma, uma vez inibida, a transmissão dos impulsos nervosos nas sinapses dos neurônios colinérgicos dos sistemas

nervosos central e periférico, acabam sendo interrompidos (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007; ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016).

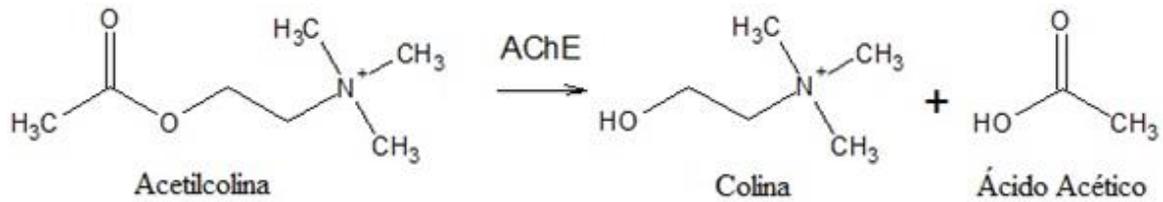


Figura 6: Reação de Hidrólise da Acetilcolina (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007)

Uma vez inibida a AChE, temos como resultado a paralisia e morte de insetos (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

A AChE apresenta três ramificações, onde cada ramificação corresponde a uma unidade enzimática constituída por quatro subunidades proteicas, capazes de hidrolisar a ACh, dessa forma resultando em 12 sítios ativos por enzima. Ligadas por pontes dissulfeto, as ramificações da AChE são fixadas à membrana celular pela proteína colágeno (ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016).

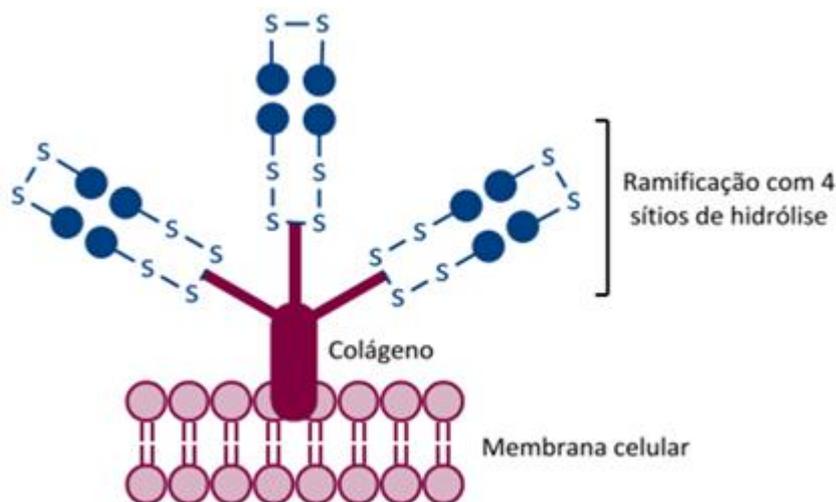


Figura 7: Desenho Esquemático da AChE. Adaptado de Patrick, G. L. (2009; apud ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016)

Aminoácidos, como a histidina (HIS) e serina (SER), constituintes das subunidades catalíticas da AChE, são fundamentais para a hidrólise da ACh. Pontos que são considerados de fundamental importância para a interação da enzima com o neurotransmissor, são descritos em Araújo e Gonsalves (2016):

“Existem também dois pontos essenciais para a interação do neurotransmissor com a enzima. O primeiro é o sítio iônico, onde há uma interação entre a carga positiva do nitrogênio da ACh e a carga negativa produzida pelo resíduo de aspartato da AChE. O segundo é o sítio esteárico, onde o grupo éster da ACh faz ligação de hidrogênio com o resíduo de tirosina da AChE.” (ARAÚJO & GONSALVEZ, 2016)

Dessa forma, Santos, Donnici, Da Costa e Caixeiro (2007) destacam que “o mecanismo de hidrólise catalisado pela AChE depende da adição de um resíduo de serina à carbonila do substrato ACh”, que de acordo com Silva (2009), tem-se um ataque nucleofílico resultando em um “intermediário tetraédrico estabilizado por ligações hidrogênio com grupos NH peptídicos de 3 resíduos (a cavidade do oxianion), o qual produz colina livre e serina acetilada. Ao final, a hidrólise do grupo acetila da serina por meio de uma molécula de água recupera o sítio catalítico da enzima.

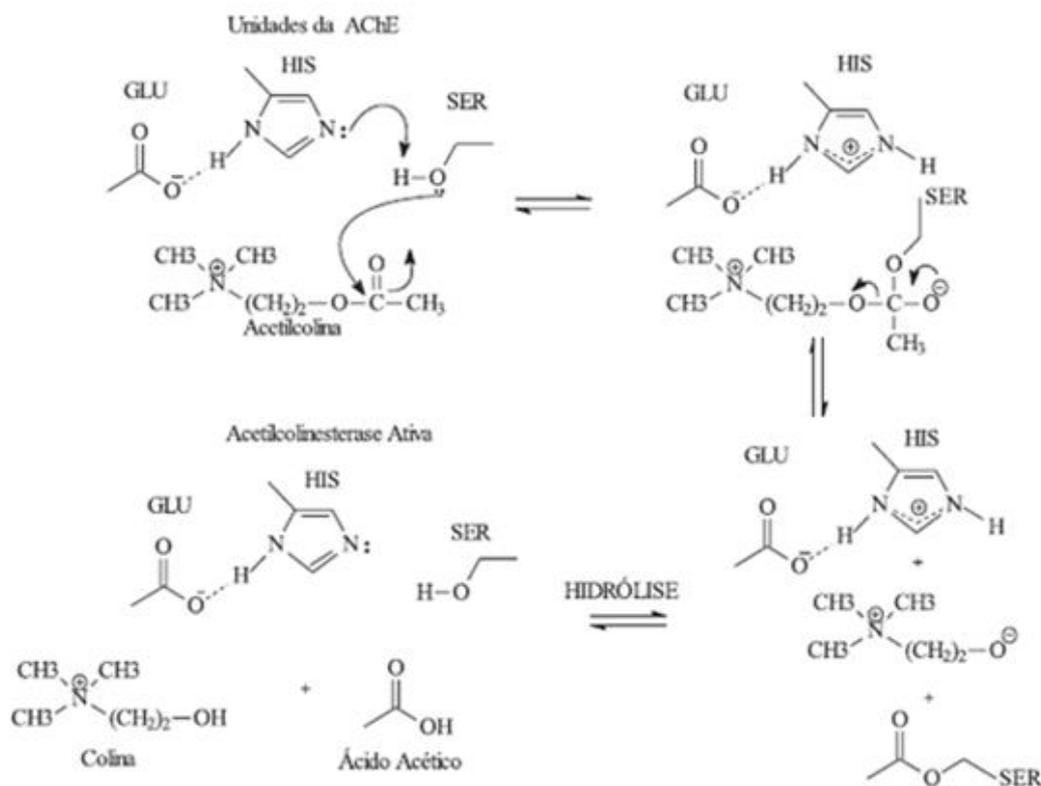


Figura 8: Mecanismo de Hidrólise da Acetilcolina (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007)

Na presença dos compostos organofosforados, tem-se uma reação entre estes e a serina do sítio ativo. Em uma primeira etapa, o grupo hidroxila da serina, de natureza nucleofílica, estabelece uma ligação covalente com o átomo de fósforo do organofosforado. Através de um grupo de saída presente na estrutura química do organofosforado, representado por “X” (cuja estabilidade auxilia na sua eliminação e inibição da enzima,

apresentando menor caráter energético na quebra da ligação X – P), uma vez deslocado, tem-se a formação da enzima fosforilada (SILVA, 2009).

Como segunda etapa, após o bloqueio efetivo do sítio ativo, tem-se a desalquilação do organofosforado, onde há a eliminação de um substituinte alquila na forma de carbocátion (processo denominado “envelhecimento”), resultando na formação de um átomo de oxigênio de carga negativa, originando uma forte ligação entre o resíduo da histidina protonada (carga positiva) com o inibidor, que resulta na sua desativação como reativante da AChE (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007; SILVA, 2009).

Esse processo de inibição, depende da estrutura do organofosforado empregado, pois a interação entre AChE e inibidor, parece envolver somente o sítio esterásico, que forma um complexo estável, e essa estabilidade se relaciona diretamente com a estrutura química do inibidor (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

Uma vez inibida, tal processo torna-se irreversível. A AChE se acumula no local onde é liberada, resultando em todo o processo de intoxicação por acetilcolina, resultante da ação dos compostos organofosforados (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

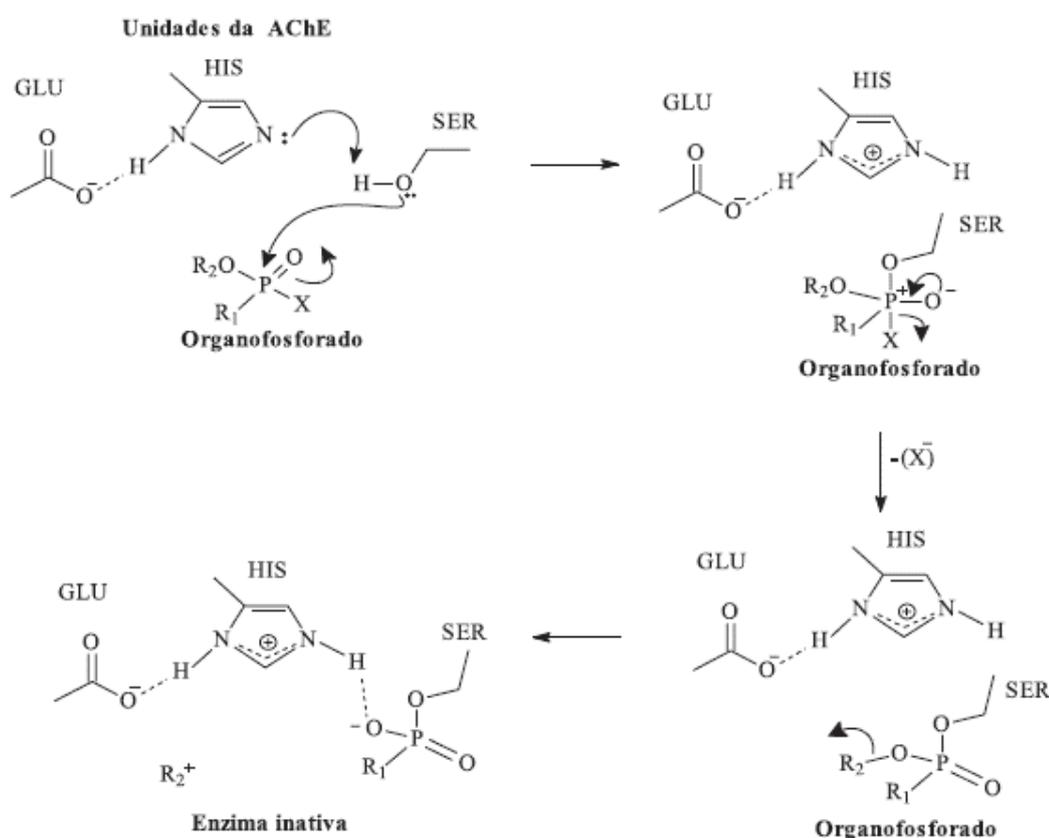


Figura 9: Mecanismo Clássico de Inibição da AChE por Inseticidas Organofosforados (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007)

3.4 Compostos Organofosforados, Aplicações na Medicina e Outras Áreas

É inegável que os compostos organofosforados são bastante conhecidos pela sua atividade inseticida e o seu histórico envolvendo armas químicas desenvolvidas durante a Segunda Guerra Mundial, como o soman, sarin e tabun. Mas essa classe de compostos possui outras possibilidades de aplicações, conforme já citado no trabalho de Santos, Donnici, Da Costa & Caixeiro (2007): “reagente de flotação, matéria-prima na síntese de plásticos não inflamáveis, antioxidantes, plastificantes, aditivo para óleos lubrificantes e combustíveis hidrocarbônicos, solventes aplicados em extrações seletivas e, principalmente, como inseticidas e agentes antitumorais”.

As aplicações diversas desses compostos, principalmente na Medicina, de certa forma constituem um antagonismo à fama de vilão desses compostos, principalmente pelo fato que, os organofosforados contribuíram substancialmente para a produção eficiente de alimentos, e foram utilizados na luta contra muitas doenças graves, como: malária, tifo, varíola ou febre amarela.

Na medicina, os organofosforados podem ser utilizados no tratamento da osteoporose, câncer, em complexos metálicos, análogos de aminoácidos e peptídeos, e antivirais.

A osteoporose é considerada um dos grandes problemas de saúde, e bifosfonatos constituem um dos mais importantes medicamentos que foram desenvolvidos para o tratamento dos distúrbios ósseos metabólicos associados ao aumento da reabsorção óssea mediada por osteoclastos, tendo em vista que estes possuem alta afinidade por cálcio, sendo capazes de atuar como inibidores da destruição óssea induzida por tumor, reduzindo a incidência de complicações esqueléticas devido a metástases de várias formas de câncer (DEMKOWICZ, RACHON, DÁSKO & KOZAK, 2013).

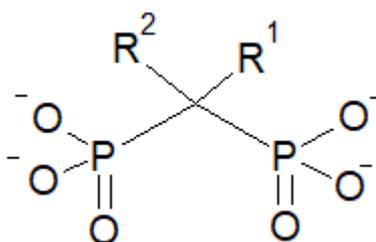


Figura 10: Estrutura geral de um bifosfonato.

No tratamento do câncer, os organofosforados são usados (ou possuem potencial) como drogas que atuam como agentes alquilantes quimioterapêuticos, reagindo com DNA, RNA e algumas enzimas. Um exemplo, é o “tiotepa” (N, N', N''-trietilenotiofosforamida), utilizado no tratamento do câncer de mama, ovário, bexiga, linfossarcoma e doença de Hodgkin. Esse composto é capaz de se ligar ao DNA, realizando uma ligação cruzada e capaz de impedir a duplicação celular (DEMKOWICZ, RACHON, DÁSKO & KOZAK, 2013; SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007).

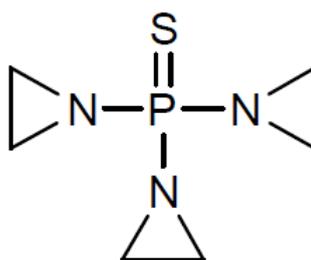


Figura 11: Estrutura do N, N', N''- trietilenotiofosforamida (DEMKOWICZ, RACHON, DÁSKO & KOZAK, 2013)

Dentre os diversos métodos de quimioterapia, há a utilização e o planejamento de novos fármacos baseados em complexos metálicos, que são capazes de desempenhar papel importante nos processos de divisão celular e expressão gênica, bem como processos de carcinogenicidade ou toxicidade (DEMKOWICZ, RACHON, DÁSKO & KOZAK, 2013). Vários destes complexos são baseados em organofosforados, como por exemplo, o “RAPTA-T” ($[\text{RuCl}_2(\eta^6\text{-p-cimeno})(\text{pta})]$) e “RAPTA-C” ($[\text{RuCl}_2(\eta^6\text{-tolueno})(\text{pta})]$), que são complexos organometálicos de Ru (II), e que apresentam bom efeito em metástase do pulmão (APPELT, 2013).

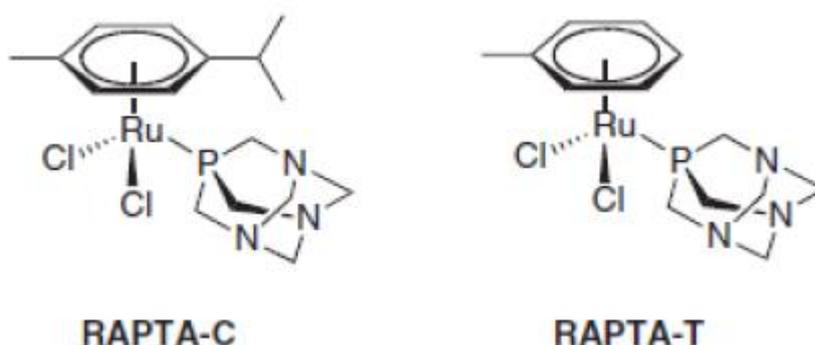


Figura 12: Estrutura geral dos complexos RAPTA (APPELT, 2013)

Outra classe promissora de fármacos, são os ácidos aminofosfínicos e aminofosfônicos, classificados como antimetabólitos que competem com os seus análogos de aminoácidos em sítios ativos de enzimas e outros receptores celulares. Um exemplo, é o “fosinopril” ((2S,4S) - 4-cicloexil-1- (2-{[2-metil-1-(propanoiloxi)propoxi] (4-fenilbutil) fosforil} acetil) ácido pirrolidina-2-carboxílico), medicamento do tipo inibidor da enzima de conversão da angiotensina, indicado para tratamento da hipertensão arterial (DEM KOWICZ, 2013).

O desenvolvimento de novas terapias antivirais visando combater diversos tipos de doenças, dentre elas a AIDS causada pelo HIV, é um dos grandes problemas médicos, e constitui grande interesse em pesquisa. Um exemplo de composto organofosforado utilizado para essa finalidade, é o “tenofovir” ((R)-1-(6-aminopurin-9-il) ácido propan-2- iloximetilfosfônico), medicamento utilizado no coquetel anti-HIV, e que apresenta atividade na inibição da enzima transcriptase reversa nucleotídeo (DEM KOWICZ, 2013).

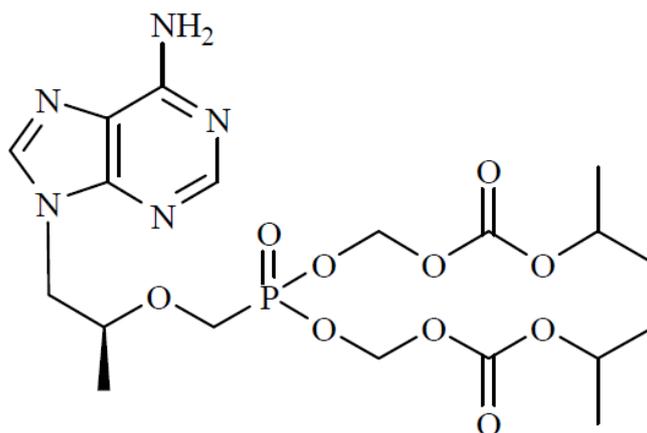


Figura 13: Estrutura do Tenofovir (DEM KOWICZ, 2013)

4 METODOLOGIA

4.1 Livro Didático e Paradidático

Visando uma melhor compreensão sobre o livro paradidático “50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: senta que lá vem história” apresentado neste trabalho, torna-se necessário demonstrar as diferenças conceituais entre “livro didático” e “livro paradidático”, termos discutidos na literatura que serviu como base a essa pesquisa, e que são essenciais para que não haja confusão quanto às pretensões do produto proposto.

A literatura apresenta diversas definições para o que pode ser compreendido como “livro didático”. De acordo com Oliveira *et al* (1984; *apud* MUNAKATA, 1997), um livro didático é compreendido “como um material impresso, estruturado, destinado ou adequado a ser utilizado num processo de aprendizagem ou formação”, enquanto Moreira Leite (1980; *apud* MUNAKATA, 1997) define como uma “tentativa de condensar e simplificar num espaço mínimo e portátil o que se teria necessidade de conhecer e utilizar na atividade escolar.”

Ainda na década de 1980, temos a definição proposta por Takahashi (*apud* Munakata, 1997):

“(…) o livro didático é um instrumento auxiliar do professor e do aluno no processo de aprendizagem, veiculando o conteúdo da disciplina, de acordo com uma determinada metodologia.” (TAKAHASHI, 1980, p. 23; *apud* MUNAKATA, 1997)

E definição mais detalhada, temos apresentada através da tese de doutorado de Munakata (1997):

“Em suma, o livro didático deve ser produzido em adequação a parâmetros que se imagina constitutivos de um instrumento auxiliar do processo de ensino e aprendizagem. Isso implica uma série de critérios já apontadas: conteúdo adequado ao currículo, legibilidade e inteligibilidade apropriados ao público-alvo; subdivisão da obra em partes, como texto propriamente dito, boxes, resumos, glossário, bibliografia, atividades e exercícios etc., segundo uma estrutura de organização adequada à aprendizagem; e, sobretudo, subordinação do estilo do texto e da arte gráfica a esse objetivo de servir de instrumento auxiliar de ensino/aprendizagem.” (MUNAKATA, 1997)

Apresentadas as definições para o que seria considerado um “livro didático”, temos que a terminologia “livro paradidático”, tem a sua origem no Brasil, muito embora a existência e criação, do material considerado “paradidático” exista em outros países, estes

não utilizam tal terminologia. Há um mito em torno de sua origem, conforme aponta Munakata (1997):

“Reza a lenda que o termo paradidático foi cunhado pelo saudoso Professor Anderson Fernandes Dias, diretor-presidente da Editora Ática, no início da década de 70. Afinal, foi a Ática que criou a primeira coleção de alcance nacional destinada a apoiar, aprofundar, fazer digerir a disciplina muitas vezes aridamente exposta no livro didático.” (*Lecionare*, ano 1, nº 1, set./1993, p. 9.; *apud* MUNAKATA, 1997)

Muito embora não tenhamos uma exatidão sobre a origem da terminologia, de acordo com Lima (2012), podemos perceber que o que é relevante mesmo, é considerar que o caminho tomado desde a criação dessa terminologia, culminou em uma aproximação para com os livros didáticos:

“Independente de quem tenha sido o real autor do termo paradidático, é notório que o termo se incorporou ao meio editorial e educacional até os dias de hoje. Para entender a razão da criação do termo paradidático, Borelli (1996) apresenta o sentido do termo paraliteratura, a partir da interpretação da formação da palavra com “o prefixo para denotar tanto o significado de proximidade – ao lado de, ao longo de – quanto a conotação de acessório, subsidiário, e, também, o sentido de funcionamento desordenado ou anormal.” (BORELLI, 1996, p.111). Imaginamos que a opção de nomear esses livros de paradidático e não paraliteratura, ou outro termo qualquer tenha se dado pelo primeiro termo sugerir uma aproximação com os livros didáticos.” (LIMA, 2012)

Algumas definições para o que pode ser considerado como “livro paradidático”, podem ser encontradas através do trabalho de Yasuda e Teixeira (1995; *apud* MUNAKATA, 1997):

“São consideradas paradidáticas as obras produzidas para o mercado escolar sem as características funcionais e de composição do manual didático.” (YASUDA & TEIXEIRA, 1995, p. 145; *apud* MUNAKATA, 1997)

E através de Munakata (1997):

“Livros paradidáticos talvez sejam isso: livros que, sem apresentar características próprias dos didáticos (seriação, conteúdo segundo um currículo oficial ou não etc.), são adotados no processo de ensino e aprendizagem nas escolas, seja como material de consulta do professor, seja como material de pesquisa e de apoio às atividades do educando, por causa da carência existente em relação a esses materiais.” (MUNAKATA, 1997, p.101).

4.2 Contextualização no Ensino de Química

A proposta apresentada com o produto desenvolvido, possui como um dos objetivos despertar o interesse do público-alvo, sobre os compostos organofosforados. Nesse sentido, tem-se que a contextualização possa ser um aliado para promover tal objetivo.

Novamente, faz-se necessário definir qual a concepção acerca da terminologia “contextualização”, empregada no presente trabalho, visando eliminar eventuais dúvidas, tendo em vista a existência de perspectivas diferentes.

De acordo com Wartha, Silva e Bejarano (2013), o termo “contextualização” no ensino de química, apresenta perspectivas diferentes, conforme apontado anteriormente, onde os autores fazem uma análise de diferentes textos visando obter esclarecimentos acerca dos pressupostos epistemológicos e pedagógicos relacionados ao ensino de química.

Os autores discutem sobre a terminologia, apresentando o fato que tal termo é novo na língua portuguesa, e que o mais adequado seria a utilização do termo “contextuação”, derivado do verbo contextualizar, que possui como significado, de acordo com Machado (2005, p.51, *apud* WARTHA, SILVA & BEJARANO, 2013), “etimologicamente, contextualizar significa enraizar uma referência em um texto, de onde fora extraída, e longe do qual perde parte substancial de seu significado”. Com isso, temos que contextualizar seria uma estratégia de fundamental importância visando construir significados à medida em que há uma incorporação de relações implicitamente percebidas.

“O enraizamento na construção dos significados constitui-se por meio do aproveitamento e da incorporação de relações vivenciadas e valorizadas no contexto em que se originam na trama de relações em que a realidade é tecida, em outras palavras, trata-se de uma contextuação. Frequentemente usa-se o termo contexto para se referir a uma dada situação. Conhecer o contexto significa ter melhores condições de se apropriar de um dado conhecimento e de uma informação, por exemplo.” (MACHADO, 2005, *apud* WARTHA, SILVA & BEJARANO, 2013).

Ainda de acordo com Wartha, Silva e Bejarano (2013), os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), dão significado para a terminologia “contextualização”:

“De acordo com os PCNEM, contextualizar o conteúdo nas aulas com os alunos significa primeiramente assumir que todo conhecimento envolve uma relação entre sujeito e objeto. Nesses documentos, a contextualização é apresentada como recurso por meio do qual se busca dar um novo significado ao conhecimento escolar, possibilitando ao aluno uma aprendizagem mais significativa.” (BRASIL, 1999, *apud* WARTHA, SILVA & BEJARANO, 2013)

Uma vez expostas as suas diferentes vertentes, evidenciadas com a revisão da literatura, tem-se que não cabem nesse trabalho um aprofundamento de todas essas discussões, em função do espaço e objetivo do mesmo. Visando estabelecer parâmetro para dar suporte teórico ao presente trabalho, optou-se por utilizar da conclusão do artigo, onde os autores sugerem:

“Falar em contextualização, portanto, também requer cuidados dos pesquisadores e professores. Aponta-se que há diversas perspectivas colocadas quando se fala em contextualização: a contextualização não redutiva, a partir do cotidiano; a contextualização a partir da abordagem CTS; e a contextualização a partir de aportes da história e da filosofia das ciências. (...) Já em relação a abordagens referentes à contextualização, nosso entendimento é que, por haver diversas possibilidades de se falar legitimamente em contextualização, o pesquisador enuncie de forma clara a que perspectiva de contextualização seu trabalho se filia.” (WARTHA, SILVA & BEJARANO, 2013)

Dessa forma, utilizou-se como eixo norteador à “contextualização” nesse trabalho, uma perspectiva híbrida entre a contextualização e aportes da História e da Filosofia das Ciências, tendo em vista que o produto apresentado como conclusão do curso, possui uma relação histórica com o desenvolvimento das ciências e está inserido em diversos setores da sociedade.

4.3 Transposição Didática

A abordagem do tema compostos organofosforados, principalmente no que tange aos seus mecanismos de reações, aplicabilidades e diferenças estruturais, em muito torna-se desafio para se estabelecer um diálogo com o público-alvo, dada a especificidade do assunto. Visando alcançar os objetivos deste trabalho, utilizou-se como referencial teórico para a construção do mesmo, a transposição didática.

A transposição didática em nível conceitual, tem sua origem na França, em 1975, através da publicação da tese de doutorado do sociólogo Michel Verret, intitulada “*Le temps des études*”, que desenvolveu a sua pesquisa apontando para a necessidade de se reorganizar e reestruturar saberes e materiais culturais de uma sociedade, no sentido de torná-los transmissíveis e assimiláveis entre os participantes da educação escolar, no caso os alunos (FORQUIN, 1992).

Tem-se que a Ciência em nível acadêmico, muitas vezes não se torna algo diretamente compreensível para os alunos, dessa forma tendo-se a necessidade da construção de dispositivos mediadores que possam propiciar a construção dessa conexão, conforme aponta Verret (1975; *apud* FORQUIN, 1992): “Toda prática de ensino de um objeto pressupõe a transformação prévia deste objeto em objeto de ensino”.

Em 1982, Yves Chevallard e Marie-Alberte Joshua, publicam o trabalho “*Un exemple d’analyse de la transposition didactique – La notion de distance*”, baseado no trabalho de Verret, para “analisar e discutir as transformações sofridas com a noção matemática de distância, entre o momento de sua introdução em 1906, por Fréchet, no ‘saber sábio’, e o momento de sua introdução em 1971 nos programas de geometria da sétima série, em relação com a reta”. Dessa forma, o trabalho consistiu na análise de como o conhecimento científico foi transformado, visando torná-lo algo que seja assimilável para os alunos (ASTOLFI & DEVELAY; *apud* SIQUEIRA & PIETROCOLA, 2006).

Em 1985, Chevallard organiza e estrutura o conceito de transposição didática, através da publicação “*La transposition didactique*”, que culminou em algumas críticas e polêmicas, que acabaram por motivar o autor a produzir uma segunda edição, acrescentada de um “Posfácio”, no ano de 1991 (PINHO ALVES, 2001).

Dessa forma, podemos inferir que a transposição didática pressupõe que há um processo envolvido nessa transformação dos objetos, que possuirá características adaptativas, conforme apontado por Chevallard: “um conteúdo do saber tendo sido designado como saber a ensinar quando sofre, a partir daí, um conjunto de transformações adaptativas que o levam a tomar lugar entre os objetos de ensino. O trabalho em tornar um objeto do saber a ensinar em objeto do saber ensinado é denominado transposição didática”. (CHEVALLARD, 1991, p.45; *apud* SIQUEIRA & PIETROCOLA, 2006).

De acordo com Chevallard, há três diferentes tipos de saberes envolvidos no processo da transposição didática, compreendidos como forma de etapas: o “saber científico” ou “saber sábio” (*savoir savant*), que corresponde ao conhecimento obtido por cientistas, desenvolvido em centros de pesquisa ou por membros da academia; o saber a ensinar (*savoir à enseigner*), que corresponde à prática em sala de aula, desenvolvido a partir de transformações no “saber científico”; e o saber ensinado (*savoir enseigné*), que corresponde à construção do conhecimento por parte do aluno (CHEVALLARD, 1991; *apud* SILVA, SOUZA, SILVA & SIMÕES-NETO, 2016).

Conforme Pinho Alves (2001, p.225) aponta, a adaptação do saber científico para o ambiente escolar, muitas vezes pode ser interpretada como uma mera simplificação do conhecimento, o que constitui erro: “No ambiente escolar o ensino do saber sábio se apresenta no formato do que se denomina de conteúdo escolar ou conhecimento científico escolar. Este conteúdo escolar não é o saber sábio original, isto é, ele não é ensinado no formato original publicado pelo cientista, como também não é uma mera simplificação deste. O conteúdo escolar é um “objeto didático” produto de um conjunto de transformações” (PINHO ALVES, 2001).

A transformação dos diferentes tipos de saberes ocorre através de duas etapas: transposição didática externa (TDE) e transposição didática interna (TDI). Durante a TDE, temos que esse processo é desenvolvido por uma comunidade composta por pessoas e/ou instituições responsáveis por estabelecer o que deve ser ensinado nas escolas, conhecida como “noosfera”, que negociam seus interesses, e atuam no sentido de transformar o “saber científico”, para o “saber ensinar”, e conseqüentemente, o “saber ensinado” (BRITO MENEZES, 2006; *apud* SILVA, SOUZA, SILVA & SIMÕES-NETO, 2016).

“Na noosfera, pois, os representantes do sistema de ensino, com ou sem mandatos (desde o presidente de uma associação de professores até um simples professor militante), se encontram, direta ou indiretamente, (...), com os representantes da sociedade (os pais dos alunos, os especialistas das disciplinas que militam em torno de seus ensinamentos, os emissários de órgãos políticos).” (CHEVALLARD, 1991, p.28; *apud* SILVA, SOUZA, SILVA & SIMÕES-NETO, 2016)

Dentro da TDE, podemos observar que na produção dos manuais escolares e livros textos, temos um objeto concreto e palpável dessa etapa.

Durante a TDI, temos o desenvolvimento da construção do conhecimento dentro de sala de aula, onde atuam professores e alunos nessa etapa, transformando o “saber ensinar” em saber ensinado (SILVA, SOUZA, SILVA & SIMÕES-NETO, 2016).

Para o processo de transposição didática, temos os trabalhos de Astolfi e Develay (1990) e Astolfi (1997), baseado no trabalho inicial de Chevallard e Joshua (1982; *apud* ASTOLFI, 1997), que apresentam de forma didática que a transposição didática apresenta como eixo norteador cinco regras, sendo elas: modernizar o saber escolar, atualizar o saber escolar, articular o saber novo com o antigo, transformar um saber em exercícios e problemas, e tornar um conceito mais compreensível.

De acordo com Astolfi (1997), para a primeira regra, temos que: “Em diferentes disciplinas, parece ser necessário aos especialistas “colocar em dia” os conteúdos de ensino para aproximá-los dos conhecimentos acadêmicos. Neste caso, frequentemente criam-se comissões que tomam por base vários trabalhos e proposições anteriores difundidos na noosfera”.

A primeira regra, sobre modernizar o saber escolar, pode ser justificada pelo fato que, o avanço do conhecimento científico produz novas tecnologias, que por sua vez são rapidamente incorporadas na sociedade. Nesse sentido, é extremamente necessária uma constante atualização dos materiais didáticos, visando uma modernização do saber a ensinar.

A segunda regra, sobre atualizar o saber escolar, justifica-se pelo fato que com o avanço da ciência, é necessário não somente uma introdução dos novos conhecimentos, mas eliminar conhecimentos que possam estar banalizados, já agregados a cultura geral e que dispensam o formalismo escolar, ou que se tornaram obsoletos, de acordo com Astolfi (1997): “Para esta renovação, julgada necessária do lado do saber sábio, se soma uma necessidade de renovação curricular do lado do ambiente do sistema educativo.”

Ainda de acordo com Astolfi (1997), temos para a terceira regra, sobre articular o saber novo com o antigo, o seguinte: “Entre os vários ‘objetos’ do saber sábio suscetível a modernização e para diminuir à obsolescência, alguns são escolhidos porque permitem uma articulação mais satisfatória entre o ‘novo’ que se tenta introduzir, e o ‘velho’ já provado no sistema e do qual será necessário conservar alguns elementos reorganizados.” Podemos compreender a terceira regra, pois a assimilação de novos conhecimentos ocorre melhor, se forem articulados com conhecimentos antigos.

Para a quarta regra, sobre transformar o saber em exercícios e problemas, Astolfi (1997) menciona: “A seleção vai ocorrer a partir da facilidade particular de certos conteúdos para gerar um número grande de exercícios ou atividades didáticas, até mesmo quando estes são nitidamente descontextualizados quanto a sua função, em relação ao conceito original.” De fato, podemos perceber que no espaço escolar, os objetos que geram exercícios e problemas, costumam ser mais valorizados do que aqueles que se restringem à argumentação teórica.

Na quinta regra, sobre tornar um conceito mais compreensível, temos em Chevallard e Johsua (1982; *apud* ASTOLFI, 1997):

“Um conceito (...) é visto como capaz de diminuir as dificuldades conhecidas como as que os alunos se encontram. (...) A ‘coisa’ do professor é um texto do saber. É então ao texto do saber que ele devolve a etiologia (ciência das causas) o fracasso e, por conseguinte, será nas variações do texto do saber que irá encontrar uma arma terapêutica para as dificuldades encontradas. Podemos aqui medir o caminho do que vai da primeira justificação que introduz o conceito, tal qual como aparece nas instruções, ao interesse que leva conscientemente o professor (diferentes daquele do programa) este mesmo conceito.” (CHEVALLARD & JOSHUA, 1982; *apud* ASTOLFI, 1997)

Dessa forma, a transformação do saber sábio em saber a ensinar resulta em uma adaptação da linguagem original, gerando com isso, perdas que possam fazer com que a linguagem utilizada possa ser compreendida pelas pessoas que não fazem parte do patamar do saber sábio, no caso os alunos.

4.4 Aprendizagem Significativa

Dentro dos objetivos traçados para a construção de um livro paradidático sobre os compostos organofosforados, escolheu-se construir uma ferramenta que pudesse contribuir para o processo de ensino/aprendizagem. Dados os referenciais teóricos utilizados na elaboração do mesmo, inevitavelmente se esbarrou numa necessidade de construção e reconstrução de significados em química, conforme a escolha do público-alvo. Partindo desse princípio, utilizou-se os referenciais sobre a aprendizagem significativa, com o objetivo de atender às propostas do presente trabalho.

A aprendizagem escolar e o ensino partindo de uma origem distanciada dos princípios conteudistas, tiveram sua origem através dos trabalhos do psicólogo norte-americano D. P. Ausubel, na década de 60. A teoria da aprendizagem significativa, resultado de tais trabalhos, aborda que durante o processo de aprendizagem, as novas informações adquiridas interagem através de uma estrutura específica, onde essa nova informação se agrega ao cérebro, que possui uma grande organização e detém uma hierarquia conceitual que guarda os conhecimentos prévios. Tal estrutura, de acordo com Ausubel, é chamada de “subsunçor”. Assim, o fator que influencia de forma mais efetiva a aprendizagem, é o que o aluno já sabe (PELIZZARI, KRIEGL, BARON, FINCK & DOROCINSKI, 2002; OLIVEIRA, CACURO, FERNANDEZ & IRAZUSTA, 2016; SILVA & SCHIRLO, 2014).

“A aprendizagem é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimento de um aluno e adquire significado para ele a partir da relação com seu conhecimento prévio. Ao contrário, ela se torna mecânica ou repetitiva, uma vez que se produziu menos essa incorporação e atribuição de significado, e o novo conteúdo passa a ser armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva.” (PELIZZARI, KRIEGL, BARON, FINCK & DOROCINSKI, 2002)

Dentro dessa teoria, a exposição aos conteúdos escolares que não consigam se ligar a algo já conhecido pelo aluno, Ausubel chama tal tipo de aprendizagem, de “aprendizagem mecânica”, que pode ser compreendida como as informações aprendidas que não estabelecem interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, resultando em situações como, por exemplo: decorar fórmulas que logo após uma avaliação, são esquecidas (PELIZZARI, KRIEGL, BARON, FINCK & DOROCINSKI, 2002).

No processo de escolarização, Ausubel compreendia que, em alguns momentos a aprendizagem mecânica se torna necessária para os estudantes, caso em que novos conceitos são apresentados. Porém, o processo deve seguir no sentido de transformar tais conhecimentos, para que posteriormente a aprendizagem possa ser significativa (SILVA & SCHIRLO, 2014).

A necessidade da existência de um conhecimento prévio, visando a aquisição de novos conhecimentos de forma significativa, não é um processo estático e feito passivamente pelo estudante. Tal processo apresenta dinamismo, onde podemos observar um envolvimento e participação por parte do estudante, onde o mesmo conciliará o novo conhecimento com o que já se sabe, encontrando semelhanças e diferenças entre os conteúdos, estabelecendo assim um pensamento crítico sobre o assunto (OLIVEIRA, CACURO, FERNANDEZ & IRAZUSTA, 2016).

De acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p.34; *apud* SILVA & SCHIRLO, 2014), os resultados das experiências de aprendizagem, estão organizados em blocos de conhecimento, que seguem uma determinada hierarquia.

“(…) a aprendizagem significativa envolve a aquisição de novos significados e estes, por sua vez, são produtos da aprendizagem significativa”. Ou seja, a manifestação de novos significados no educando ajuíza o complemento de um processo de aprendizagem significativa. Nessa linha de raciocínio, Ausubel (1973) entende que a aprendizagem é uma organização e uma integração do material na estrutura cognitiva, por meio de uma estrutura hierárquica de conceitos e dividida em três fases.” (SILVA & SCHIRLO, 2014)

Na primeira fase, Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p.34; *apud* SILVA & SCHIRLO, 2014), sugerem que se utilize da estratégia de manipular a estrutura cognitiva, baseado no uso de organizadores prévios, “quando o aluno não dispõe de subsunçores para ancorar as novas aprendizagens”, ou quando os subsunçores já existentes não são estáveis e satisfatórios para essa função de ancoragem (SILVA & SCHIRLO, 2014).

De acordo com Moreira (2011), podemos compreender como organizadores prévios:

“São materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Sua principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber a fim de que o novo material possa ser aprendido de maneira significativa (ibid.). Seriam uma espécie de “ancoradouro provisório”. Organizadores prévios podem ser usados também para “reativar” significados obliterados (isso é perfeitamente possível se a aprendizagem foi significativa), para “buscar” na estrutura cognitiva do aluno significados que existem, mas que não estão sendo usados há algum tempo no contexto da matéria de ensino. E principalmente para estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem.” (MOREIRA, 2011)

De acordo com Moreira e Masini (2006, *apud* SILVA & SCHIRLO, 2014), os organizadores prévios podem se apresentar das seguintes formas: mapas conceituais, perguntas, fotos, desenhos, esquemas, filmes e textos; que por sua vez, não deve ser um resumo do que será visto pelo estudante, e conforme aponta Ausubel (1973, *apud* SILVA & SCHIRLO, 2014), “ele deve estar em um grau de abstração ou de generalidade capaz de facilitar a integração da nova ideia, atuando como elo entre a estrutura hierárquica de conhecimento e o conhecimento que já existe.”

Na segunda fase, Ausubel (1973, *apud* SILVA & SCHIRLO, 2014) sugere que o material adotado tenha um grande potencial significativo, visando fazer com que o estudante tenha o interesse de relacionar o novo material “de maneira substantiva e não arbitrária à sua estrutura cognitiva”. Dessa forma, ao receber uma informação nova, o estudante tenta relacionar essas informações com as já existentes.

Nesse sentido, Silva e Schirlo (2014) apontam que “o professor deve conduzir o estudante a identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva, explicando-lhe a importância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material”.

Na terceira fase, Moreira (1999, *apud* SILVA & SCHIRLO, 2014) destaca que, tendo em vista a relação entre os conhecimentos novos e os já existentes, os saberes serão remodelados, ou terão novos significados, tornando-se dessa forma mais importantes, atuando como conhecimentos prévios para o estudo de novos conceitos.

Conforme aponta Silva e Schirlo (2014), atribui-se à escola:

“A sociedade tem atribuído à escola o desafio de preparar, com qualidade, o cidadão para resolver os problemas que a cada dia se lhe apresentam. Espera-se que a escola forme estudantes capazes de compreender o mundo e dele participar de forma crítica e criativa. Logo, é preciso que sejam reforçadas as reflexões que valorizam as iniciativas de ruptura paradigmática nos processos de ensinar e aprender; acima de tudo, devem ter compromisso com a formação de cidadãos reflexivos, críticos e com condições de continuar a aprender e a produzir conhecimentos socialmente relevantes.” (SILVA & SCHIRLO, 2014)

Tem-se que a utilização do livro paradidático proposto, pode contribuir no sentido de facilitar o processo de aprendizagem significativa.

4.5 A História da Ciência e o Ensino de Química.

As pesquisas dentro da área de ensino de química apontam que a valorização da História da Ciência, é uma componente importante na formação tanto dos alunos, quanto a dos professores, de acordo com Schnetzler (2002, p.17 *apud* BELTRAN, 2013):

“Mesmo com relação ao conhecimento ou domínio do conteúdo a ser ensinado, a literatura revela que tal necessidade docente vai além do que habitualmente é contemplado nos cursos de formação inicial, implicando conhecimentos profissionais relacionados à história e filosofia das ciências, a orientações metodológicas empregadas na construção de conhecimento científico, as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, e perspectivas do conhecimento científico.” (SCHNETZLER, 2002, p.17 *apud* BELTRAN, 2013)

Dentro da proposta de elaboração do livro paradidático “*50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: senta que lá vem história*”, a abordagem da história faz-se necessária para a compreensão da importância dos compostos organofosforados, e dessa forma, inevitavelmente se esbarra numa necessidade de se compreender as orientações metodológicas empregadas na área que tange à História da Ciência, bem como a sua visão envolvendo as relações entre diferentes aspectos envolvidos: Ciência, Tecnologia e Sociedade, e perspectivas do conhecimento científico, para que os objetivos propostos com esse trabalho pudessem ser alcançados.

Antes de iniciarmos a revisão de literatura sobre os benefícios que o estudo da História da Ciência pode trazer para o processo de ensino-aprendizagem, faz-se necessário traçar uma definição sobre “História da Ciência”, visando eliminar eventuais dúvidas sobre como tal conceito fora empregado na produção deste trabalho.

Muito embora a terminologia “História da Ciência” possa parecer algo de fácil compreensão, Martins (2005) destaca:

“Muitos estudiosos vêm tentando definir o que é História da Ciência ou discutindo se seria preferível a denominação História da Ciência ou Histórias das Ciências. Tratam-se de discussões complexas sobre as quais não existe um consenso e não pretendemos nos concentrar nelas. Em um nível fundamental, os filósofos da ciência vêm debatendo há muito tempo acerca dos critérios que vão delimitar o que é ciência e o que não é ciência e ainda não chegaram a um acordo. Podemos, entretanto, fazer algumas afirmações a respeito da História da Ciência. Em primeiro lugar, que se trata de um estudo metacientífico ou de segundo nível, uma vez que se refere a um estudo de primeiro nível que é a ciência. (...) A História da Ciência, em um primeiro nível, é descritiva, porém deve utilizar a terminologia adequada que normalmente ela retira da Filosofia da Ciência. Entretanto, não deve permanecer somente na descrição, mas deve ir além, oferecendo explicações e discutindo cada contribuição dentro de seu contexto científico.” (MARTINS, 2005)

Tendo como base o referencial teórico exposto, o presente trabalho não visa adentrar as discussões teóricas acerca das possibilidades de terminologia e definições. Assume-se que dentro da construção do mesmo, a roupagem utilizada na discussão de História da Ciência, enquanto vertente para a composição do produto de conclusão de curso, é aquela que possui característica descritiva, explicativa e capaz de causar a reflexão no aluno, dessa forma, sendo um aliado no processo de ensino-aprendizagem.

De acordo com Mortimer e Santos (2008, p.99; *apud* BELTRAN, 2013), temos que os PCNEM da área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, “possibilitou que alguns temas, como a contextualização sociocultural dos conteúdos, a natureza das ciências e seus aspectos históricos, [...] passassem a fazer parte do universo das preocupações dos professores de química”.

Callegario, Hygino, Alves, Luna e Linhares (2015), apontam que “a inserção da História da Ciência no ensino de Química vem crescendo nos últimos anos, principalmente no que se refere à formação de professores e aplicação de estratégias diferenciadas em sala de aula”.

O histórico do papel da história no ensino de química, remonta desde o primeiro livro didático de química brasileiro, com várias edições entre os anos 1875 e 1931, conforme aponta Teixeira (1885, p. 282; *apud* SCHNETZLER, 1981, *apud* BELTRAN 2013):

“Para bem apreciar o valor e superioridade das doutrinas que hoje transmitem os mestres, é necessário conhecer a história da química, que é ao mesmo tempo a história dos sacrifícios empregados para conquistá-las. Eis a razão por que, chegando ao término deste trabalho, achei conveniente aproveitar o ensejo para dar este pequeno complemento: elletem por fim mostrar o berço de que sahia a nossa ciência moderna, e dar alguns ligeiros traços de sua passagem através dos séculos, mostrando os pontos mais culminantes, que significam outros tantos marcos fincados na longa estrada de seu progresso.” (TEIXEIRA, 1885, p. 282; *apud* SCHNETZLER, 1981, *apud* BELTRAN 2013)

De acordo com Callegario, Hygino, Alves, Luna e Linhares (2015), o uso da história da ciência em sala de aula, é “uma alternativa que vem se destacando no meio acadêmico e que tem atingido proporções relevantes nos últimos anos”. Os autores apontam para a questão de a História ser capaz de motivar e seduzir os alunos, fazendo com que as aulas possam ser mais interessantes, humanizando assim a visão da Ciência, “mostrando-a como processo e não como um produto acabado e promover uma compreensão melhor da construção do conhecimento científico ao longo do tempo e sua dinamicidade”.

“Dessa maneira, utilizar o passado como uma ferramenta para a compreensão do presente pode ser uma alternativa pedagógica eficaz na busca de tornar as aulas de química mais estimulantes e desafiadoras para os alunos.” (CALLEGARIO, HYGINO, ALVES, LUNA & LINHARES, 2015)

O trabalho de Callegario, Hygino, Alves, Luna e Linhares (2015), apresenta uma pesquisa qualitativa de cunho bibliográfico, onde foram adotados como fonte de consulta, diversos periódicos da área de Ensino de Ciências, entre os anos 2003 e 2013, e nesses periódicos, foram selecionados os artigos que abordaram o uso da História no Ensino de Química.

Dentre os resultados da pesquisa relatados no artigo, destacamos um que relata a utilização do livro paradigmático “Os Botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história”, de Le Couteur e Burreson (2003), onde são descritas 17 substâncias ou grupos delas, explicitando seus efeitos químicos e consequências históricas. Através da leitura e discussão de capítulos da obra e com a realização de práticas experimentais, os alunos puderam compreender a estrutura química de algumas moléculas e identificar os impactos da descoberta de novos compostos e sua importância histórica na sociedade”.

Conforme aponta Santos e Porto (2013), a utilização da História da Ciência, pode contribuir para a melhoria da aprendizagem:

“A História da Ciência pode ajudar a compreender aspectos da complexidade do conhecimento químico e de seu processo de construção, auxiliando na compreensão de algumas das dificuldades enfrentadas pelos estudantes, e assim oferecendo contribuições para a melhoria da aprendizagem. A análise do processo histórico do desenvolvimento da ciência pode auxiliar o estudante a dar significado ao conhecimento químico, ao vislumbrar as questões que motivaram a proposição de conceitos e do olhar característico que o químico lança sobre a realidade.” (SANTOS & PORTO, 2013)

4.6 “QuimiGui@: Uma Estratégia Para Elaboração de Materiais Didáticos Textuais de Química”

Para a confecção do produto de conclusão de curso, além dos referenciais teóricos já abordados, foi utilizado como referencial para a sua elaboração o trabalho de Alencar (2014), que consiste em uma dissertação de mestrado baseado em um estudo sobre o desenvolvimento de meios alternativos para a elaboração de materiais didáticos textuais de apoio, no curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Mato Grosso, onde uma ferramenta chama “QuimiGui@” foi construída dando o suporte teórico para que outros professores possam confeccionar seus próprios materiais didáticos.

Escolheu-se esse referencial para a confecção do produto, pois o mesmo apresentava as orientações necessárias, tendo como base pesquisas que foram realizadas para a produção do guia, para que o produto pudesse ter a sua construção feita da melhor forma possível.

De acordo com Alencar (2014), seu trabalho foi estruturado através de etapas que seguiram a seguinte sequência: caracterização da pesquisa, sujeitos da pesquisa, investigação e a realidade estabelecida, instrumentos da investigação, e por último, análise de dados.

Como caracterização da pesquisa, a autora escolheu a metodologia de pesquisa qualitativa, por meio de um estudo de caso, onde dados foram obtidos e analisados visando validar a ferramenta proposta em seu trabalho.

“À medida que os dados advindos das entrevistas e defesa dos respectivos mda (materiais didáticos de apoio) feitos pelos estudantes para a professora Ana na presença da pesquisadora foram recolhidos e tomados como objetos de estudo. De forma indutiva, aberta e experimentalista a pesquisadora promoveu a análise dos dados com o objetivo de reconhecer a viabilidade, aplicabilidade, sugestões e críticas da ferramenta *QuimiGui@* como material de apoio para a elaboração de materiais didáticos textuais de Química.” (ALENCAR, 2014)

Os sujeitos da pesquisa envolvidos foi uma professora da área de Ensino Superior de Química da Universidade Federal do Mato Grosso (identificada pelo codinome Ana) e uma turma composta por três estudantes da Disciplina de Estágio Supervisionado II (identificados

pelo codinome Aldo, Clara e Vitor), do segundo semestre de 2012, do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Mato Grosso.

Dentro da etapa de investigação e a realidade estabelecida, a autora dividiu essa etapa em três outras, onde inicialmente a mesma estabeleceu contato com a Ana, que por sua vez, selecionou os alunos Aldo, Clara e Vitor, para participar da pesquisa aplicando a mesma com alunos do Ensino Médio, seguido da apresentação e orientação sobre a ferramenta “QuimiGui@”, e por último, entrevista com os participantes visando validar ou não tal ferramenta.

O instrumento da investigação consistiu na entrevista, estruturada pela pesquisadora, que culminou no eixo orientador para levantar a sua opinião sobre a ferramenta, em três aspectos: técnico, pedagógico e comparativo.

A análise de dados deu-se “de forma indutiva, aberta e experimentalista a pesquisadora promoveu a análise dos dados com o objetivo de reconhecer a viabilidade, aplicabilidade, sugestões e críticas da ferramenta QuimiGui@ como possível material de apoio para a elaboração de materiais didáticos textuais de Química”.

De acordo com a autora, o referencial teórico utilizado na elaboração da ferramenta, baseou-se no conceito de material didático de Borges (2000, *apud* ALENCAR, 2014):

“(…) material didático precisa indicar que tipo de auxílio ele pode prestar, para quem, como e com que objetivos. Ou seja, o conceito deve expressar ou articular-se com o contexto de sua utilização. Isto significa que: a) material didático não é o suporte físico – por exemplo, o filme, o papel, a fita de vídeo, etc.; b) material didático não é apenas o formato com que se codifica a mensagem; c) material didático não é apenas o conteúdo, isto é, não é apenas a mensagem que se quer veicular ou transmitir; d) material didático é expressão da relação forma/contéudo, definidos a partir de concepções de ensino e aprendizagem. Assumir a ideia do material didático como expressão de concepções de ensino e aprendizagem, significa um avanço em relação à concepção de material auxiliar. O material didático não é um mero auxiliar; ele pode interferir de forma intensa e intencional na relação professor/aluno/conhecimento.” (BORGES, 2000, p. 179, *apud* ALENCAR, 2014).

Dentre as características apresentadas, destacamos a de que o “material didático é expressão da relação forma/contéudo, definidos a partir de concepções de ensino e aprendizagem”, cujo produto se encaixa nessa concepção.

Além de utilizar do mesmo trabalho, Alencar (2014), novamente baseia-se na concepção de Borges (2000), para expressar as características que foram utilizadas na produção da ferramenta:

a) ser mediador no processo ensino-aprendizagem, favorecendo as relações professores, alunos e conhecimentos; b) dirigir-se fundamentalmente ao aluno, mas não deixar de apontar alternativas para o trabalho e formação docente, o que significa considerar a prática social de ambos; c) estar comprometido com um processo de formação de um aluno crítico, favorecendo o seu envolvimento na construção do conhecimento; d) favorecer o processo de reflexão crítica por parte do aluno e do professor; e) expressar uma dada realidade física e social e o contexto mais geral que a determina; f) ser inovador na forma e no conteúdo mas, sobretudo, na proposta pedagógica que utiliza; g) incorporar conteúdos que permitam discutir princípios fundamentais das ciências: relações entre ciência, tecnologia e sociedade, formas de produção de conhecimento científico e contexto histórico dessa produção. (BORGES, 2000, p. 190, apud ALENCAR, 2014)

Conforme aponta em seu trabalho, Alencar (2014) defende o valor da produção de materiais didáticos pelo próprio professor:

“A elaboração dos próprios materiais é significativa por que oferece condições de expressar fielmente os objetivos do que se propõe de maneira mais eficiente, colaborando para a construção de conhecimentos. Torna-se capaz de articular questões ambientais vivenciadas pela comunidade escolar, aproximando a escola nesse aspecto, dos problemas da sociedade. Quando elabora-se os próprios materiais didáticos encontra-se um mecanismo que intercederá a favor do processo educativo. É o material que dialoga com os alunos conforme as pretensões do elaborador. Isso faz com que sua eficiência seja maior que a eficiência dos livros didáticos. (...) Vale ressaltar que, de forma individualizada, não é uma tarefa fácil. Exige perseverança, estudo, envolvimento, dedicação. A escrita dos materiais didáticos desmistifica o trabalho do professor de química como ser apenas professor. Provoca-se uma conotação de respeito à produção de conhecimento.” (ALENCAR, 2014)

O livro paradidático, dentre as características gerais apresentadas, Alencar (2014) destaca que um material deve atender:

- Podem ser utilizados para contextos específicos;
- Oferecem condições de se escolher o caminho que se quer seguir de acordo com os interesses e as experiências, resultando em melhor aceitação por parte dos alunos;
- São mais críticos que os livros didáticos; [...]
- Ocorrem de maneira mais abrangente com o conteúdo que se deseja contemplar;
- Apresentam ar de criticidade de acordo com fatores sociais, políticos, econômicos, ambientais; [...]
- Têm sintonia com os paradigmas emergentes; [...]
- Permitem a utilização de textos menos comprometidos com o isolamento e fragmentação cartesiana, tornando-se mais significativos;
- Podem dialogar de forma interdisciplinar apresentando os conteúdos com um trânsito fluente entre as disciplinas; [...]
- Fortalecem um diálogo pedagógico diferenciado;
- São mais flexíveis quanto as modificações e atualizações necessárias;
- Correspondem melhor aos alunos a quem se destinam. (ALENCAR, 2014)

Como resultado desse trabalho, a ferramenta “QuimiGui@” apresenta os conhecimentos necessários para a elaboração de um material didático. Dentre eles: adequação da linguagem química, utilização de figuras e imagens, contextualização, uso de

cores, além de diversos outros conhecimentos necessários para a construção de um material efetivo, dentro das conclusões de sua pesquisa.

4.7 Revisão da Literatura Científica

Para a realização do presente trabalho, foi necessário recorrer à revisão da literatura científica, que consiste na revisão da literatura científica, com o objetivo primário de organizar, esclarecer e resumir os diversos trabalhos selecionados, servindo como base para a realização do mesmo. Procura-se dessa forma, construir um panorama histórico sobre o tema, visando a construção de um diálogo direcionado (VOSGERAU & ROMANOWSKI, 2014).

Inicialmente, o trabalho consistiu em um levantamento bibliográfico, que teve como finalidade o levantamento das principais referências sobre o tema. Dessa forma, foram selecionados em fontes diversas como livros, sites, revistas e periódicos, contribuições para um primeiro contato com o objeto de estudo.

Após o levantamento das principais referências sobre o tema, a metodologia de pesquisa utilizada foi a de revisão bibliográfica, que pode ser compreendida como uma organização da procedência do material coletado na etapa de levantamento bibliográfico, visando construir uma contextualização para o assunto a ser abordado, bem como permitir a análise de possibilidades para a construção do referencial teórico da pesquisa. Assim, possibilitou-se a etapa de aprofundamento da análise, visando delimitar, clarificar e caracterizar o objeto de investigação, conforme as necessidades do presente trabalho.

Também foram analisados outros livros paradidáticos de química, visando identificar se já existia a abordagem do compostos organofosforados, como: “A Colher que Desaparece” (KEAN, 2011), “Os Botões de Napoleão” (Le COUTEUR & BURRESON, 1943) e “O Sonho de Mendeleiev” (STRATHERN, 1940).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A abordagem dos compostos organofosforados através de um livro paradidático, visando atender às expectativas de se estabelecer um diálogo entre este e o seu público de interesse, inicialmente, teve como eixo norteador o que foi exposto na etapa de apresentação dos referenciais teóricos contidos no item 4.5: “História da Ciência e o Ensino de Química”.

Como forma de ilustrar a aplicação no livro paradidático do que foi exposto na etapa mencionada, tem-se como exemplo o seguinte trecho:

“Haber foi premiado com o Nobel de Química de 1918, por conta do desenvolvimento do processo de síntese da amônia, que culminaria no avanço da produção agrícola. Mas após a divulgação do prêmio, muitos protestos foram realizados, tendo em vista as ações de Haber durante a guerra, que inclusive, lhe rendeu a acusação de crime internacional.

Sabemos que a Alemanha sofreu com penalizações severas, e visando pagar a sua dívida com os Aliados, concentrou-se durante seis anos, em achar um processo viável para extrair o ouro dissolvido nos oceanos.

Com a ascensão do partido Nazista, Haber (que possuía origens judaicas) sofreu perseguição, e não viu alternativa a não ser fugir da Alemanha. Chegou a negociar com os soviéticos o posto de assessor de guerra (que acabou não dando certo), e ironicamente, morreu em 1934 enquanto viajava para a Inglaterra (aquela que sofreu horrores com as armas de Haber) em busca de exílio.

E pra encerrarmos a história desse personagem, antes da guerra, Haber tinha desenvolvido um inseticida denominado Zyklon A. Após a sua saída da Alemanha, os nazistas acabaram desenvolvendo uma variação desse inseticida, chamado de Zyklon B, que acabou sendo utilizado nas câmaras de gases, matando milhões de judeus, incluindo parentes de Haber.

Após a primeira guerra, em 1925 foi assinado o Protocolo de Genebra, que basicamente seria uma tentativa de proibir a utilização de armas químicas e biológicas, mas que em nada se referia a sua pesquisa, produção e armazenamento. Com isso, a participação das armas químicas acabou ganhando novo capítulo, com a Segunda Guerra Mundial.

Durante a Segunda Guerra Mundial, as atividades de pesquisa e produção de armas químicas eram bem mais intensas. A Alemanha configurava centro tecnológico e armamentista da Europa, e as principais companhias químicas sediadas em seu país, que tinham passado por grandes dificuldades econômicas após a fim da Primeira Guerra, se associaram através de uma grande corporação, conhecida como IG Farben (Interessen-

Gemeinschaft Farbenindustrie Aktiengesellschaft), como proposta de retomar o crescimento da indústria química.

A IG Farben aglomerava grandes empresas como a Bayer, Hoechst e Basf, e em seus times, era possível perceber que contavam com a mente de grandes pesquisadores. Não demorou muito para que essa organização alcançasse o posto de maior cartel químico do mundo, fazendo com que os lucros obtidos se traduzissem no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias.

Vendo a ascensão do Partido Nazista, a IG Farben passou a ser um dos seus importantes patrocinadores, o que culminou posteriormente com o aumento dos seus lucros à medida que o exército alemão avançava em solo europeu: a IG Farben assumia o controle das novas fábricas localizadas nos territórios conquistados.

Em 1934, um projeto de pesquisa de novos inseticidas sintéticos foi iniciado pela IG Farben, onde o pesquisador alemão, Gerhard Schrader, dois anos depois, ao tentar produzir um inseticida baseado em uma estrutura organofosforada, acabou acidentalmente descobrindo uma substância altamente letal para mamíferos, que acabou sendo descartado na utilização como inseticida. Essa substância, denominada tabun, acaba trazendo uma nova era para as armas químicas: “os agentes nervosos” ou “agentes neurotóxicos”.

Mas é legal que você saiba, que os compostos organofosforados não surgem do nada. Antes de Schrader, outros cientistas tiveram grande importância no desenvolvimento no conhecimento desses compostos.

Desde a Idade Média, os compostos organofosforados já eram conhecidos e preparados pelos Alquimistas, mas tem-se que somente por volta de 1820 que o seu estudo começou a tomar fôlego, quando um químico francês chamado Jean Louis Lassaigne, produziu trietilfosfato, a partir de ácido fosfórico (H_3PO_4) e etanol (C_2H_5OH , também chamado de álcool etílico).

A partir de Lassaigne, vários outros cientistas estiveram envolvidos na investigação dos compostos de fósforo, mas tem-se que a descoberta das propriedades tóxicas e inseticidas dos organofosforados, foi mérito de Schrader, por volta de 1930.

Em 1938, Schrader descobre outra substância, cerca de cinco vezes mais tóxico que o tabun, que acabou recebendo o nome de sarin, e mais uma vez, descartada para o uso como inseticida. Os militares nazistas logo se interessaram por essas substâncias. Como você deve estar imaginando, esse interesse não se dava na utilização como inseticidas, mas sim como armas químicas!

Até o final da Segunda Guerra Mundial, os nazistas acumularam estoques estimados entre 10000 a 30000 toneladas de tabun, e cerca de 5 a 10 de sarin.

Em 1944, outra substância altamente tóxica acabou sendo sintetizada por Richard Kuhn, que recebeu o nome de soman, e diferentemente do tabun e sarin, esta acabou não sendo produzida em grandes quantidades pois a guerra logo estava em seu fim.

Só para você ter uma ideia do quão potente são os agentes nervosos, o tabun, que é o agente neurotóxico mais moderado dentre os citados, é cerca de 4 vezes mais tóxico que o gás mostarda. Tendo em vista isso, é de se esperar que a Segunda Guerra Mundial, tenha sido muito mais ofensiva na guerra química, se comparada com a Primeira Guerra Mundial, você não acha?

Só que, por incrível que pareça, essas novas substâncias não foram utilizadas pelo exército alemão. No início da guerra, era esperado que fossem utilizados novamente os gases tóxicos. Os países Aliados apostavam que Hitler as usaria. Não se tinham dúvidas que a Alemanha estava desenvolvendo e estocando armas químicas. Mas especificamente a síntese e estocagem dos agentes nervosos, eram algo que a Grã-Bretanha e os Estados Unidos não tinham conhecimento durante essa época.

E fica a pergunta no ar: qual a razão de Hitler não utilizar esse tipo de arma contra os seus inimigos?

Existem duas hipóteses que podem responder essa pergunta.

A primeira delas, diz que pelo fato de Hitler ter lutado na Primeira Guerra Mundial (Hitler participou das batalhas em Ypres), e ter sido uma das vítimas da guerra envolvendo os gases, ele sabia bem do potencial destrutivo dessas armas, e com isso, esse recurso acabou sendo deixado como última opção.

No famoso livro 'Mein Kampf', Hitler relata essa experiência. Separamos um trechinho do livro, para que você entenda a origem dessa hipótese:

'Na noite de 13 a 14 de outubro, começou o bombardeio a gás na frente sul de Ypres. Empregava-se um gás cujo efeito ignorávamos ainda. Nessa mesma noite, eu devia conhecê-lo por experiência própria. Estávamos ainda numa colina ao sul de Werwick, na noite de 13 de outubro, quando caímos sobre um fogo de granadas que já durava horas e que se prolongou pela noite a dentro, de maneira mais ou menos violenta. Lá por volta de meia-noite, já uma parte de nossos companheiros tinha sido posta fora de combate, alguns para sempre. Pela manhã senti também uma dor que de 15 em 15 minutos se tornava mais aguda e, às 7 horas da manhã, trôpego e tonto, com os olhos ardendo, eu me retirava levando

comigo a minha última mensagem da guerra. Já algumas horas mais tarde, os meus olhos tinham se transformado em carvão incandescente. Em torno de mim tudo estava escuro.'

Mas não se iluda. Sabemos que os alemães não mediram esforços na utilização do Zyklon B nos campos de concentração, conforme mencionei anteriormente.

A segunda hipótese, diz que Hitler acreditava que, da mesma forma que a Alemanha tinha conseguido sintetizar os agentes nervosos, seus inimigos também tinham realizado tal feito. Com medo de retaliação, já que o Protocolo de Genebra permitia a utilização das mesmas armas químicas por parte de países atacados, como forma de revidar os ataques, sabemos que Hitler não quis colocar essas peças no tabuleiro da guerra.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, sabemos que os Aliados tiveram acesso não somente aos armamentos e tecnologias, mas sim, aos cientistas que ajudaram no desenvolvimento da Alemanha nazista. E adivinha que cientista acabou sendo "capturado" pelos Aliados?

Vou te dar uma dica: essa pessoa trabalhava na IG Farben. Já sabe quem é?

Pois bem, ele mesmo... Gerhard Schrader!

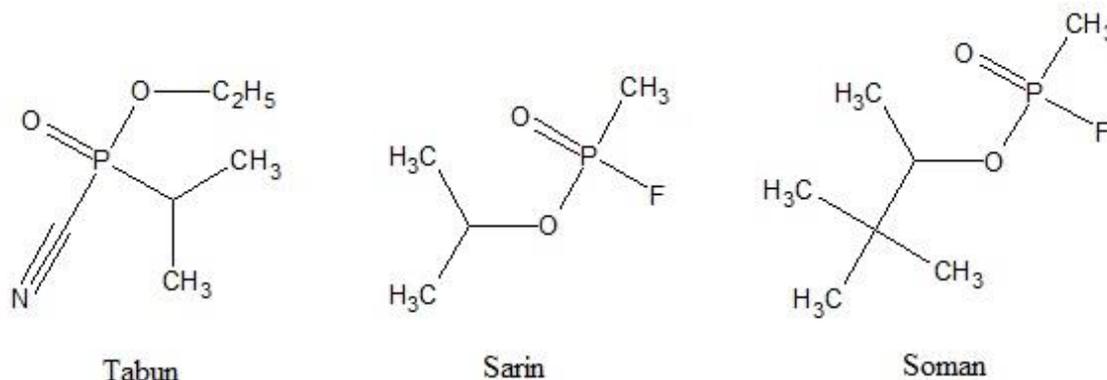
Schrader estava motivado em descobrir novos inseticidas que pudessem auxiliar a agricultura, e dessa forma, contribuir para que a luta contra a fome no mundo pudesse progredir. As coisas não saíram bem como era esperado, e sabemos do tabun e sarin.

Os britânicos tentaram recrutar Schrader, para que ele pudesse auxiliar no desenvolvimento de armas químicas no Reino Unido. O cientista acabou escolhendo permanecer na Alemanha, trabalhando para a Bayer. Em sua carta, escreveu:

'Estou feliz por estar totalmente engajado novamente no campo da proteção de plantas. Meu trabalho durante a guerra no campo de substâncias tóxicas nunca cumpriu meus desejos. (...) Eu gostaria para ajudar a melhorar a nutrição, mas não para infligir novas feridas.'

Schrader, acidentalmente acabou ficando conhecido na história como o 'pai dos agentes nervosos'.

Logo abaixo, temos as estruturas do tabun, sarin e soman.



Observe que todas as estruturas apresentam certa semelhança com relação ao fósforo. Em todas, podemos observar que o fósforo se encontra com o seu octeto expandido (você se lembra dessa discussão no início do livro?) e que em todos os casos, há uma ligação $P = O$ e $P - O$.

No nosso próximo capítulo, dedicado à discussão dos compostos organofosforados como defensivos agrícolas, vamos compreender de uma forma mais detalhada, como esses compostos atuam no sentido de serem considerados agentes inseticidas. Tenho certeza que ao final deste, você encaixará as peças do quebra-cabeça, e dessa forma o termo ‘agentes nervosos’, fará sentido na sua cabeça.

Mas ainda assim, eu gostaria que você soubesse (de uma forma resumida) que esses agentes nervosos atuam no sentido de inibir uma enzima chamada acetilcolinesterase, que está presente no controle da movimentação muscular. Uma vez inibida, tem-se uma hiperatividade nervosa, seguida de colapso do sistema nervoso, responsável pela execução de todos os movimentos do organismo, incluindo os voluntários e involuntários. O sistema de funcionamento do sistema nervoso de um inseto, é bastante semelhante ao de um mamífero. Por conta disso, agentes inseticidas neurotóxicos, podem não somente causar a mortalidade de insetos, mas a de humanos também.

É muito importante que você entenda, que a história dos compostos organofosforados como inseticidas está intimamente ligada ao histórico de desenvolvimento dos gases de guerra.”

Com base no exposto, tem-se que o livro paradigmático “50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: senta que lá vem história”, pode ser um aliado no processo de ensino e aprendizagem, conforme apontado por Santos e Porto (2013), pois cumpre com a função de servir como componente na formação de alunos e professores, conforme apontado por Schnetzler (2002, p.17; *apud* BELTRAN, 2013), possibilita a “contextualização sociocultural dos conteúdos, a natureza das ciências e seus aspectos históricos”, conforme

apontado por Mortimer e Santos (2008, p.99; *apud* BELTRAN, 2013), atende à tendência de “inserção da História da Ciência no ensino de Química (...), principalmente no que se refere à formação de professores e aplicação de estratégias diferenciadas em sala de aula”, além de ser fator motivador para tornar a abordagem do conteúdo mais interessante, “mostrando-a como processo e não como um produto acabado e promover uma compreensão melhor da construção do conhecimento científico ao longo do tempo e sua dinamicidade”, conforme apontado por Callegario, Hygino, Alves, Luna e Linhares (2015).

Ainda sobre o trecho do livro paradidático “*50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: senta que lá vem história*” destacado, tem-se que o mesmo tem potencial para atender ao que foi apresentado na revisão de literatura, acerca da “Contextualização no Ensino de Química”, item 4.2 do presente trabalho, onde Machado (2005, p.51, *apud* WARTHA, SILVA & BEJARANO, 2013), apontam que a contextualização seria uma estratégia de fundamental importância para construir significados à medida em que as relações com a realidade são tecidas. Além disso, tem-se a possibilidade de cumprir com o recomendado pelos PCNEM (BRASIL, 1999, *apud* WARTHA, SILVA & BEJARANO, 2013), onde o livro paradidático constitui recurso “por meio do qual se busca dar um novo significado ao conhecimento escolar, possibilitando ao aluno uma aprendizagem mais significativa.”

Outro eixo norteador para a construção do livro paradidático, foram os referenciais teóricos contidos no item 4.3: “Transposição Didática”. Como forma de ilustrar a aplicação destes, podemos destacar a necessidade que deu-se durante o processo de produção do produto, de se ter um eixo norteador para ser possível construir uma ponte entre o público-alvo e a linguagem acadêmica, que aborda através de uma construção técnica, inacessibilidade em termos de compreensão (dados os pressupostos limitantes do processo de escolarização básica) sobre como se dá o mecanismo de inibição da acetilcolinesterase, que é de fundamental importância para a compreensão de como agem os compostos organofosforados.

Esse tópico, discutido no capítulo (do livro paradidático) dedicado à construção da relação entre os compostos organofosforados e defensivos agrícolas, teve como base o exposto no trabalho de Santos, Donnici, Da Costa e Caixeiro (2007), presente no item 3.3 desse trabalho. Visando demonstrar como a “transposição didática” foi aplicada, e a objetividade na discussão do referencial, objetivo desta etapa, optou-se por repetir somente a parte do texto presente na literatura, deixando de fora os esquemas 19 e 20, já inseridos no item 3.3.

“O mecanismo de hidrólise catalisado pela AChE depende da adição de um resíduo de serina à carbonila do substrato ACh (Esquema 19). Na presença de organofosforados, este resíduo é prontamente fosforilado (Esquema 20). Ao contrário da enzima acetilada, a enzima fosforilada reage lentamente com água, o que permite a desalquilação do substituinte alcóxila ligado ao átomo de P (processo conhecido como “envelhecimento”). Os compostos organofosforados inativam a acetilcolinesterase pela fosforilação no sítio ativo da enzima. O resultado é o surgimento de uma forte ligação entre um resíduo da histidina protonada do sítio catalítico e o átomo de oxigênio negativamente carregado do inibidor. A histidina protonada não pode funcionar como um catalisador básico geral para a hidrólise da enzima fosforilada, necessária para areativação da AChE. Evidências experimentais para a inserção da ligação P-O – no sítio ativo de adutos “envelhecidos” entre AChE e organofosforados foram obtidas por espectroscopia de RMNP. O processo de inibição da AChE depende muito da estrutura química do organofosforado inibidor. A interação entre a acetilcolinesterase e seu inibidor organofosforado parece envolver somente o sítio esterásico, formando um complexo bastante estável, sendo esta estabilidade relacionada fundamentalmente com a estrutura química do inibidor. A inibição da acetilcolinesterase é irreversível; desta forma, a acetilcolina é impedida de reagir com o sítio esterásico, ocorrendo um acúmulo da mesma onde é normalmente liberada, resultando, toda a sintomatologia da intoxicação por acetilcolina ocasionada por compostos organofosforados (Esquema 20).” (SANTOS, DONNICI, DA COSTA & CAIXEIRO, 2007)

No livro paradigmático “50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: senta que lá vem história”, visando alcançar os objetivos propostos, a abordagem culminou no seguinte texto:

“Depois de toda essa discussão histórica sobre os compostos organofosforados, vamos encaixar as peças do quebra-cabeça (que falamos no capítulo anterior) e entender o porquê de serem chamados de agentes nervosos, bem como o funcionamento da sua atividade inseticida.

Já falamos sobre os catalisadores, você se lembra? Pois bem, agora vamos falar de uma enzima chamada “acetilcolinesterase”. Para facilitar a nossa conversa, vou utilizar a representação ‘AChE’ sempre que falar dessa enzima, tá?

A AChE é responsável por realizar a hidrólise (significa a quebra de uma molécula pela água) de um neurotransmissor chamado ‘acetilcolina’. Mais uma vez, vou utilizar uma representação para facilitar a nossa conversa. Você já sabe que ‘AChE’ é a acetilcolinesterase, e agora, apresento a novidade: “ACh” será a “acetilcolina”. Lembre-se disso, tá?

Talvez você não saiba o que é um neurotransmissor, ou talvez saiba... Como não queremos arriscar, é melhor a gente ver (ou rever) o que é isso.

Resumidamente, os neurotransmissores são substâncias produzidas pelos neurônios, funcionam como uma espécie de ‘mensageiros’, e são fundamentais para o funcionamento do sistema nervoso. Após produzidos, são armazenados em vesículas neuronais, e quando

um impulso nervoso chega até esse local, essas substâncias são liberadas para que o impulso nervoso possa ser transmitido.

A ACh é um neurotransmissor famoso, mas tem outro que provavelmente você já deve ter escutado alguém falar: Serotonina.

A Serotonina é um neurotransmissor relacionado com estímulos dos batimentos cardíacos, regulação do humor e sono. Para você ter uma ideia da importância dessa substância para o nosso organismo, nos tratamentos da depressão, os médicos costumam receitar medicamentos que possam aumentar os níveis deste neurotransmissor.

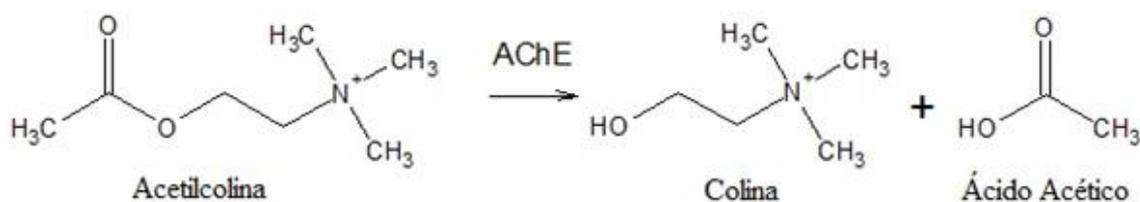
Mas e a ACh, relaciona-se com o quê?

Esse neurotransmissor possui como função estimular a propagação dos impulsos nervosos das células nervosas para músculos esqueléticos e células motoras, ou seja, controla as áreas cerebrais relacionadas ao controle do relaxamento muscular, atenção, aprendizagem, memória, digestão e performance sexual.

Não sei se você percebeu, mas a ACh (bem como outros neurotransmissores) é muito importante!

No processo de transmissão do impulso nervoso, a ACh é liberada pelos neurônios, estimula as células musculares esqueléticas, e depois precisa ser inativada. Eu gostaria que você prestasse muita atenção nisso: a ACh precisa ser inativada! Quem realiza esse processo de inativação, é a AChE, através do processo de hidrólise que mencionei, e os produtos são outras duas substâncias: colina e ácido acético. Vale ressaltar que esse processo é reversível, pois outra enzima realiza a “reciclagem” da ACh, porém, tendo em vista os nossos objetivos, vamos focar apenas na hidrólise, tá?

Logo abaixo, temos essa reação:



Agora eu gostaria de fazer uma pergunta pra você.

O que você acha que aconteceria se por alguma razão a AChE “falhasse” nesse processo?

Já sabe a resposta? Aliás, não sei se você já percebeu que estamos juntando as peças do quebra-cabeça.

Vou lhe fazer mais uma pergunta.

Você já reparou que ao jogar um inseticida em um inseto, como uma mosca ou barata, momentos depois esse inseto fica se debatendo até morrer?

É aqui que entram os compostos organofosforados!

Esses compostos são capazes de inibir a AChE, fazendo com que a ACh não seja hidrolisada, resultando em todos os sintomas que levam à morte dos insetos expostos.

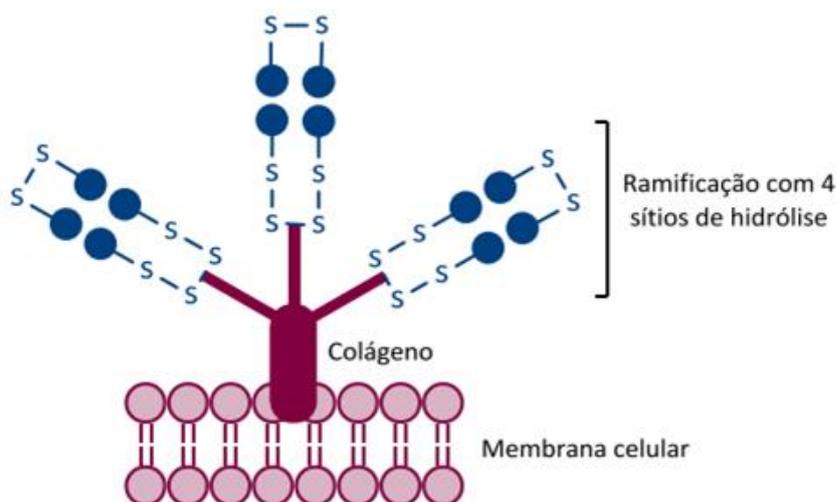
Agora a grande questão é: como os organofosforados inibem a AChE?

Visando a sua compreensão, vou explicar o processo através de algumas etapas, mas antes, precisamos entender como é a estrutura da AChE.

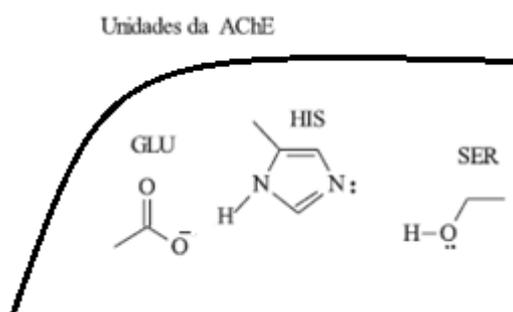
Essa enzima apresenta três ramificações, onde cada ramificação possui 4 sítios ativos (local onde acontecerá a reação química) de hidrólise. Com isso, temos um total de 12 sítios ativos por enzima, conforme representado logo abaixo:



Ligadas por pontes dissulfeto (ocorre quando temos uma ligação covalente simples entre dois átomos de enxofre, e é uma das forças que estabilizam uma proteína), as ramificações da AChE são fixadas à membrana celular pela proteína colágeno, conforme demonstrado na imagem abaixo:

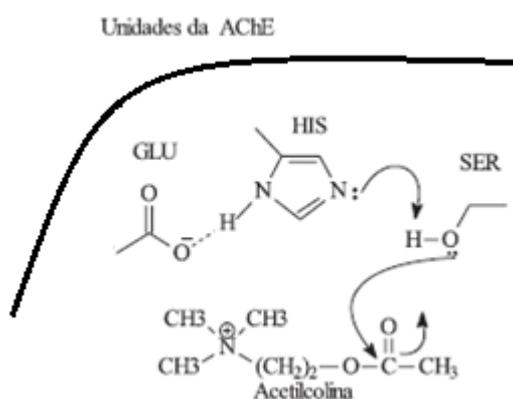


A AChE possui subunidades catalíticas, que contém resíduos de aminoácidos acoplados, como a histidina (HIS), glutamato (GLU) e serina (SER), fundamentais para que ocorra a hidrólise da ACh. A imagem abaixo, contém uma representação simplificada da AChE com esses aminoácidos acoplados:

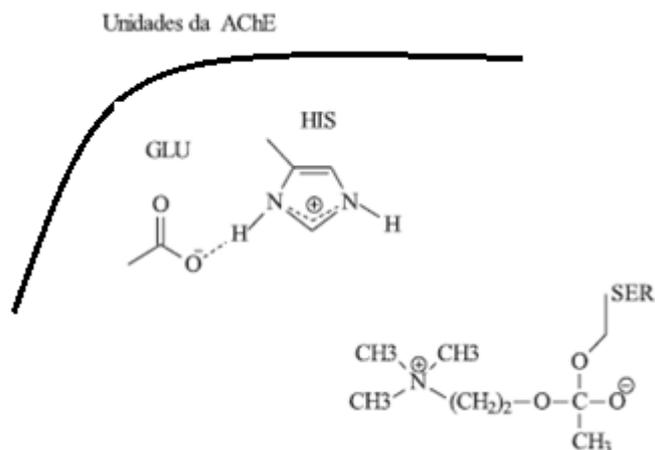


Observe que a imagem evidencia um par de elétrons livres no nitrogênio da histidina e no oxigênio da serina. E agora vamos explicar de uma forma simplificada o mecanismo de hidrólise da ACh pela AChE, para que você entenda como os compostos organofosforados conseguem desativar essa enzima.

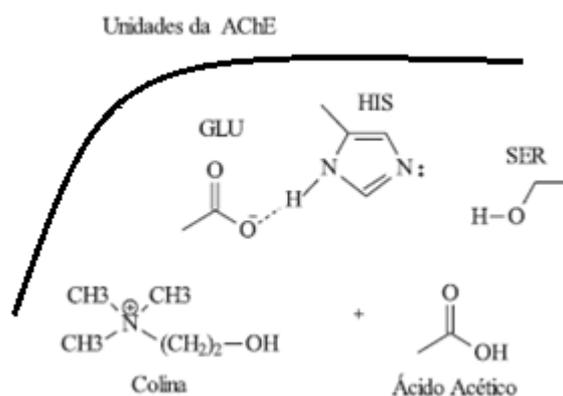
Na presença da ACh, o par de elétrons livres no nitrogênio da histidina acaba por reagir com o hidrogênio (que apresenta certa afinidade a regiões negativas) ligado ao oxigênio da serina, fazendo com que seja formada uma nova ligação química entre nitrogênio e hidrogênio. Na região que contém o oxigênio carregado negativamente do glutamato, teremos uma interação (representada através de pontos) com o outro hidrogênio da histidina. Na serina, a região contendo o oxigênio e seu par de elétrons livres, acaba por reagir com a região que contém o carbono (que também apresenta certa afinidade a regiões negativas) ligado diretamente aos oxigênios da acetilcolina. Evidenciamos essa etapa, com setas que indicam o local que você deve observar:



Como resultado dessa etapa, teremos:

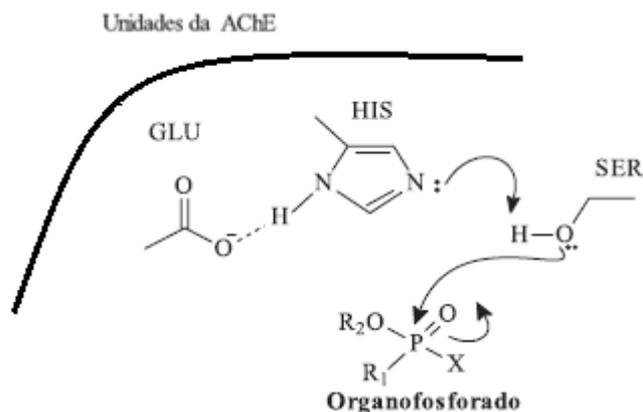


A estrutura que contém a serina ligada a ACh, apresenta certa instabilidade, e após mais algumas etapas de modificações, a hidrólise acaba acontecendo, fazendo com que a colina e o ácido acético sejam formadas, além de reciclar a serina e a unidade ativa da AChE.

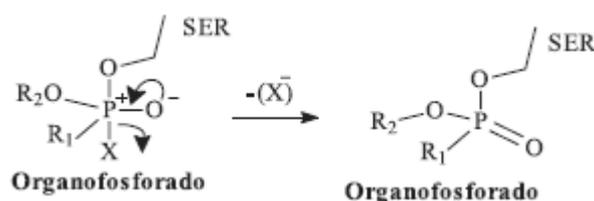


Não sei se você percebeu, mas a serina presente na AChE é de fundamental importância nesse processo. É aqui que os compostos organofosforados vão agir, caso um organismo seja exposto a essas substâncias.

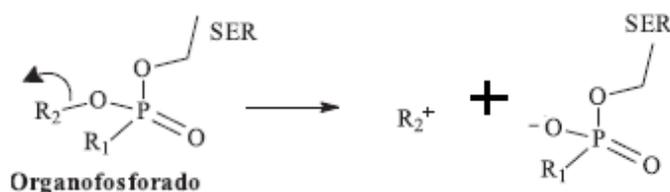
No lugar da acetilcolina, colocamos a estrutura geral de um organofosforado. Observe através das setas que ilustramos, que o mecanismo é similar ao demonstrado anteriormente:



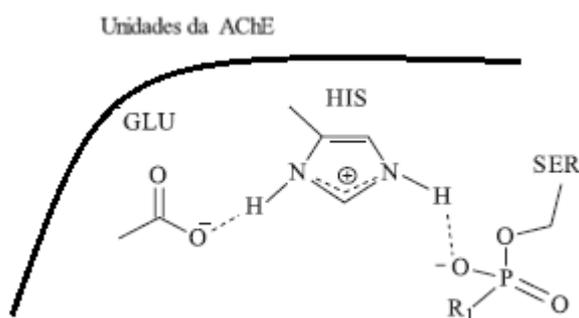
Uma vez ligada ao organofosforado, o átomo “X” ligado ao organofosforado acaba sendo deslocado, formando-se um complexo entre organofosforado e serina.



O grupo “R₂” presente na estrutura do organofosforado, chamado de grupo de saída (ou abandonador), acaba se desligando da estrutura, e a ruptura dessa ligação faz com que o oxigênio diretamente ligado, adquira carga negativa, tendo em vista que essa ruptura se dá de forma que o oxigênio fique com os elétrons do compartilhamento (daí a sua carga negativa).



Esse oxigênio carregado negativamente, acaba interagindo com o hidrogênio da histidina, e essa interação resulta na inativação da AChE, pois esse processo não pode ser revertido.



Com isso, o organofosforado acaba fazendo com que a AChE se acumule no local onde é liberada, resultando em todo o processo de intoxicação por acetilcolina.”

Com base no exposto, a necessidade de se reorganizar e reestruturar o conhecimento, discutidos no trabalho de Verret (1975), no sentido de torná-los transmissíveis e assimiláveis entre o público-alvo, teve-se a transformação do objeto, no caso, o conhecimento acadêmico acerca dos compostos organofosforados, representado pelo trabalho de Santos, Donnici, Da Costa e Caixeiro (2007), para o saber a ensinar e o saber ensinado, conforme apontado por Chevallard, (1991; *apud* SILVA, SOUZA, SILVA & SIMÕES-NETO, 2016).

Tomou-se como liberdade neste trabalho, colocar em um mesmo patamar o saber ensinado e o saber a ensinar, tendo em vista os objetivos do livro paradidático.

Como é possível perceber, o texto presente no produto não corresponde ao saber sábio, e nem pode ser reduzido a uma mera simplificação deste. Utilizou-se de adaptações na linguagem e imagens, com o objetivo de adaptar o conhecimento técnico ao conhecimento científico escolar, encontrando com o apontado por Pinho Alves (2001).

Há de se considerar que, determinados assuntos desenvolvidos no livro paradidático, como por exemplo, o mecanismo de hidrólise da acetilcolinesterase, acabam possibilitando a utilização de meios alternativos para atender ao público que tenha interesse em um aprofundamento da abordagem (caso dos professores do Ensino Médio) tendo em vista que o texto apresentado resume algumas etapas intermediárias, bem como utiliza caminhos alternativos para a construção do conhecimento. Dentre os meios alternativos, uma das possibilidades seria a produção de vídeos que abordem estes temas, apresentados através de uma linguagem dentro do conhecimento acadêmico, visando criar uma ponte para o saber a ensinar.

Alguns aspectos envolvendo a transposição didática, como as etapas de transposição didática externa (TDE) e transposição didática interna (TDI), conforme apontado por Brito Menezes, (2006, *apud* SILVA, SOUZA, SILVA & SIMÕES-NETO, 2016)), naturalmente não foram atendidas, tendo em vista que a dimensão de construção do livro paradidático, se dá em uma esfera em que este é fruto de um trabalho de conclusão de curso.

Durante o desenvolvimento do referencial teórico desse trabalho, o item 4.4 dedicou-se a revisar os conceitos acerca da aprendizagem significativa. Tendo em vista que dentro dos objetivos traçados para a construção do livro paradidático sobre os compostos organofosforados, disponibilizar um material que possa contribuir para o processo de ensino e aprendizagem que seja capaz de construir e reconstruir significados em química, dialogando

com o público-alvo, uma exemplificação do texto do livro paradidático que pode justificar o referencial teórico apresentado no item 4.4 sobre aprendizagem significativa, com o objetivo de atender às propostas do presente trabalho, destacamos parte do capítulo introdutório:

“Os químicos, a muito tempo atrás, perceberam que havia uma relação entre um grupo de elementos químicos, denominados gases nobres, e a maneira como os átomos se ligavam. Esses gases nobres possuem a característica de apresentar oito elétrons (partícula subatômica) em sua camada de valência (nível de energia contendo os elétrons mais afastados do núcleo atômico). Esse grupo de elementos químicos podem ser encontrados na famosa Tabela Periódica, ferramenta de enorme utilidade para a compreensão de diversas características e propriedades dos elementos conhecidos.

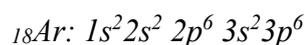
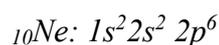
1																		2																	
1 H hidrogênio 1,008																	2 He hélio 4,0026																		
3 Li lítio 6,94	4 Be berílio 9,0122													5 B boro 10,81	6 C carbono 12,011	7 N nitrogênio 14,007	8 O oxigênio 15,999	9 F flúor 18,998	10 Ne néon 20,180																
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio 24,305													13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,085	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argônio 39,948																
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,887	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromio 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(3)	30 Zn zinc 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptônio 83,798(2)																		
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircônio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio [98]	44 Ru rutênio 101,07(2)	45 Rh ródio 102,91	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,80(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenônio 131,29																		
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57 a 71	72 Hf háfnio 178,49(2)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungstênio 183,84	75 Re rênio 186,21	76 Os ósmio 190,23(3)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	81 Tl tálio 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio [209]	85 At astato [210]	86 Rn radônio [222]																		
87 Fr frâncio [223]	88 Ra rádio [226]	89 a 103	104 Rf rutherfordório [261]	105 Db dúbnio [268]	106 Sg seabórgio [269]	107 Bh bóhrnio [270]	108 Hs hássio [269]	109 Mt metelório [278]	110 Ds darmstádio [281]	111 Rg roentgênio [281]	112 Cn copernício [285]	113 Nh nihônio [286]	114 Fl fleróvio [289]	115 Mc moscóvio [288]	116 Lv ivermório [293]	117 Ts tenessino [294]	118 Og oganessônio [294]																		
57 La lantânio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd neodímio 144,24	61 Pm promécio [145]	62 Sm samário 150,36(2)	63 Eu europio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(3)	65 Tb térbio 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm túlio 168,93	70 Yb itérbio 173,05	71 Lu lutécio 174,97																					
89 Ac actínio [227]	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np netúnio [237]	94 Pu plutônio [244]	95 Am américio [243]	96 Cm cúrio [247]	97 Bk berquélio [247]	98 Cf califórnio [251]	99 Es einstênio [252]	100 Fm fémio [257]	101 Md mendelévio [268]	102 No nobélio [269]	103 Lr laurêncio [262]																					

3 — número atômico
Li — símbolo químico
 lítio — nome
 [6,938 - 6,997] — peso atômico (ou número de massa do isótopo mais estável)

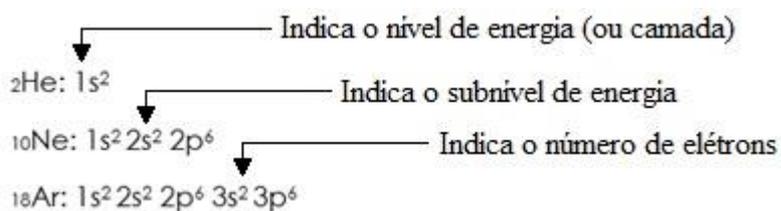
Alguns alunos, mais desatentos, acreditam que é necessário decorar toda a tabela, mas a gente quer que você observe atentamente alguns detalhes importantes, que vão ser bastante úteis nesse livro. Inicialmente, vamos analisar a localização dos gases nobres, bem como as suas características:

1												
1 H hidrogênio 1,008										18 He hélio 4,0026		
5 B boro 10,81		6 C carbono 12,011		7 N nitrogênio 14,007		8 O oxigênio 15,999		9 F flúor 18,998		10 Ne neônio 20,180		
13 Al alumínio 26,982		14 Si silício 28,085		15 P fósforo 30,974		16 S enxofre 32,06		17 Cl cloro 35,45		18 Ar argônio 39,948		
31 Ga gálio 69,723		32 Ge germânio 72,630(8)		33 As arsênio 74,922		34 Se selênio 78,971(8)		35 Br bromo 79,904		36 Kr criptônio 83,798(2)		
49 In índio 114,82		50 Sn estanho 118,71		51 Sb antimônio 121,76		52 Te telúrio 127,60(3)		53 I iodo 126,90		54 Xe xenônio 131,29		
81 Tl tálio 204,38		82 Pb chumbo 207,2		83 Bi bismuto 208,98		84 Po polônio [209]		85 At astato [210]		86 Rn radônio [222]		
113 Nh nihônio [286]		114 Fl fleróvio [289]		115 Mc moscóvio [288]		116 Lv livermório [283]		117 Ts tenessino [284]		118 Og oganessônio [294]		

Na figura acima, assinalamos os gases nobres: hélio, neônio, argônio, criptônio, xenônio, radônio e oganessônio. Para todos eles, com exceção do elemento químico hélio, pode-se constatar a presença de oito elétrons na camada de valência. Utilizaremos da distribuição eletrônica (representação da forma como os elétrons estão distribuídos ao redor do núcleo) dos elementos hélio, neônio e argônio, para compreendermos algumas particularidades do tema:



Para que você não fique perdido(a), vamos resumir o que está representado:



Observe que, de acordo com a representação, temos um nível de energia para o elemento hélio, dois níveis de energia para o elemento neônio, e três níveis de energia para o elemento argônio. Dentro de cada nível de energia, temos diferentes subníveis, representados pelas letras “s”, “p”, “d” ou “f”, que possuem um significado, baseados em

experimentos envolvendo a espectroscopia. Preferimos não nos aprofundar nesse tema, para não perder o nosso foco agora: relacionar os gases nobres com a regra do octeto.

Se eu lhe perguntar: com base na distribuição eletrônica representada, temos quantos elétrons na camada de valência do argônio?

Se você observou atentamente a distribuição eletrônica, percebeu que a camada de valência do argônio se encontra representada através de “ $3s^23p^6$ ”, ou seja, o argônio possui 3 níveis de energia, e na sua camada de valência, há 8 elétrons distribuídos nos subníveis “s” e “p”.

Podemos estender a análise para o hélio e neônio.

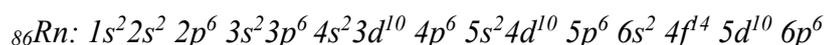
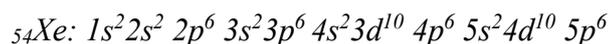
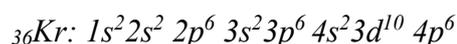
No caso do hélio, teremos apenas um nível de energia, contendo 2 elétrons no subnível “s”, e no neônio, 2 níveis de energia, contendo 8 elétrons na camada de valência, distribuídos nos subníveis “s” e “p”.

Temos dois questionamentos:

1° Existe algum limite de elétrons que “podemos colocar” em cada subnível?

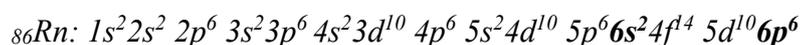
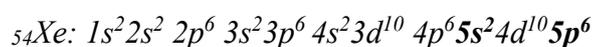
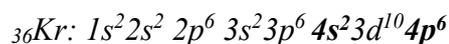
2° Mencionamos os subníveis “d” e “f”, mas eles não apareceram nas distribuições demonstradas. Como esses subníveis se apresentariam em uma distribuição?

Para responder a esses questionamentos, vamos demonstrar a distribuição eletrônica dos elementos criptônio, xenônio e radônio:



Calma, não se assuste! Sabemos que aumentamos um pouco a complexidade do tema, e provavelmente você achou “bagunçado” essa representação. Mas ainda assim, preciso que você me dê a oportunidade de explicar o porquê de estar dessa forma: as representações seguem uma ordem crescente dos subníveis de energia, por isso está daquele jeito.

Mas se prestarmos bastante atenção, poderemos identificar que, para os três elementos químicos, temos 8 elétrons na camada de valência:

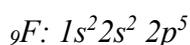
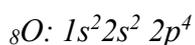
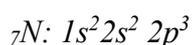
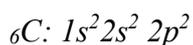


E ainda não respondemos aos questionamentos anteriores... Vamos trabalhar em cima disso agora.

O nosso primeiro questionamento era se existia algum número máximo de elétrons em cada subnível, lembra? E a resposta é: sim! Para o subnível “s”, o máximo é 2, para o subnível “p” o máximo é 6, para o subnível “d” é 10, e para o subnível “f”, o máximo é 14. Observe que há uma diferença de 4 elétrons entre cada subnível.

Sobre o nosso segundo questionamento, creio que ficou evidente a presença dos subníveis “d” e “f”.

Aproveitando esse assunto de distribuição eletrônica, vamos agora nos concentrar nos elementos químicos: hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio e flúor. O nosso objetivo será verificar a distribuição eletrônica de cada um deles.



Com base no que foi demonstrado, podemos identificar que o hidrogênio possui 1 elétron em sua camada de valência, o carbono possui 4, o nitrogênio possui 5, o oxigênio possui 6, e o flúor possui 7. Além disso, observe que os subníveis do tipo “p” para o carbono, nitrogênio, oxigênio e flúor, não estão completamente ocupados, e no caso do hidrogênio, observe que o mesmo acontece com o subnível “s”.

Vamos deixar uma pergunta no ar: existe alguma relação entre estabilidade e camada de valência?

Antes de prosseguirmos, eu quero lhe mostrar novamente um “pedaço” da tabela periódica:

					18
					2 He hélio 4,0026
5 B boro 10,81	6 C carbono 12,011	7 N nitrogênio 14,007	8 O oxigênio 15,999	9 F flúor 18,998	10 Ne neônio 20,180
13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,085	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argônio 39,948
31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptônio 83,798(2)
49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenônio 131,29
81 Tl tálio 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio [209]	85 At astato [210]	86 Rn radônio [222]
113 Nh nihônio [284]	114 Fl fleróvio [289]	115 Mc moscóvio [288]	116 Lv livermório [293]	117 Ts tenessino [294]	118 Og oganessônio [294]

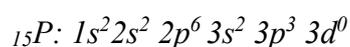
A minha pergunta para você é:

Com base na abordagem dos gases nobres, você pode perceber que todos aqueles elementos, que estavam na mesma coluna (chamamos tecnicamente de grupo), possuíam o mesmo número de elétrons na camada de valência (com exceção do hélio). Tente me responder: quantos elétrons na camada de valência podem ser encontrados nos elementos silício, fósforo, enxofre e cloro?

Conseguiu achar a resposta?

Vou tentar adivinhar o seu pensamento: provavelmente você pensou que os elementos químicos que se encontram em um mesmo grupo (já estamos usando o nome técnico, tá?) possuem o mesmo número de elétrons na camada de valência, ou seja, o silício possui 4 elétrons (assim como o carbono), o fósforo possui 5 elétrons (assim como o nitrogênio), o enxofre possui 6 elétrons (assim como o oxigênio), e o cloro possui 7 elétrons (assim como o flúor)... Acertei?

Como o nosso livro visa trabalhar com os compostos organofosforados, eu preciso demonstrar a distribuição eletrônica do fósforo para você. Observe:



Eu gostaria de chamar a atenção para um detalhe: reparou que na camada de valência do Fósforo há o subnível “d”, mas esse subnível está vazio? Pois bem, isso é um detalhe importante, que mais à frente retomaremos.

Ainda estamos com duas perguntas sem resposta. A primeira delas, é sobre o significado dos traços que ligam os átomos representados nas estruturas, e a segunda, é sobre a relação entre a estabilidade e camada de valência.

Acredite: as duas se relacionam.

Sabemos que na natureza, temos um grupo de elementos químicos cujos átomos são estáveis na forma isolada. Adivinha que grupo de átomos estamos falando? Pense um pouco. Posso falar a resposta?

Gases Nobres!

Provavelmente, você está pensando agora que, o que pode nos explicar essa estabilidade se encontra na configuração eletrônica. Acertei? Espero que sim.

De qualquer forma, foi dentro dessa linha de raciocínio que dois químicos (Gilbert N. Lewis e Irving Langmuir) propuseram que:

‘Os átomos dos diferentes elementos estabelecem ligações, doando, recebendo ou compartilhando elétrons para adquirir uma configuração eletrônica igual à de um gás nobre no estado fundamental: 8 elétrons no nível de energia mais externo ou, então, 2 elétrons se o nível mais externo for o primeiro.’

Tal ideia é conhecida como regra do octeto. Vale ressaltar que, sempre escutamos alguém falar: toda regra tem as suas exceções, e aqui não será diferente.”

O trecho destacado, presente no capítulo introdutório, visa construir significados (pensando no público que nunca estudou química) através de um diálogo entre o livro e o leitor, onde procura-se abordar os conhecimentos prévios necessários para a compreensão plena do que é desenvolvido no livro, ao mesmo tempo em que dá a oportunidade de reconstruir significados, onde a discussão da expansão do octeto que ocorre com o fósforo, faz com que seja possível fazer com que o leitor possa refletir sobre o que foi aprendido no estudo das ligações químicas, dessa forma, indo ao encontro com o referencial contido no trabalho de Oliveira e colaboradores (2016), onde existe uma necessidade da existência de um conhecimento prévio, visando a aquisição de novos conhecimentos de forma significativa, sendo este um processo que não é estático e feito passivamente pelo estudante.

Assumindo que tal processo apresenta dinamismo, onde observa-se que deve ocorrer um envolvimento e participação por parte do estudante, onde o mesmo conciliará o novo conhecimento com o que já se sabe, encontrando semelhanças e diferenças entre os conteúdos, estabelecendo assim um pensamento crítico sobre o assunto, o diálogo entre livro e leitor visa fazer com que o dinamismo desse processo possa se tornar realidade.

Outro aspecto importante que culminou na proposta de formulação de um livro paradidático, é mostrar que os compostos organofosforados, bem como outras substâncias, podem desempenhar um papel de herói, ou vilão, conforme a forma pela qual são empregadas. Um espaço que seja possível construir um diálogo entre leitor e livro, onde provocações que possam causar a reflexão em quem está lendo, podem ser benéficas ao indivíduo. Levando-se em consideração que a reflexão é algo intrinsecamente ligado ao processo de escolarização, outro trecho do livro que destaca bem esse tipo de ambientação, pode ser:

“O gás mostarda, especificamente a mostarda de enxofre (daqui a pouco falarei sobre outro tipo de “mostarda”, que é a mostarda de nitrogênio), é classificada como um agente vesicante (substância que em contato com a pele e mucosas provocam irritações e bolhas cutâneas).

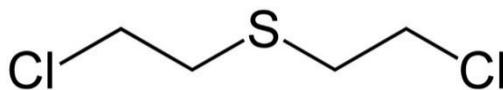
Diferentemente do gás cloro, essa produzia danos que não poderiam ser protegidos somente com a utilização de máscaras. Além disso, esse agente é líquido em temperatura ambiente (mas possui volatilidade relevante), apresenta consistência oleosa, solubilidade em água reduzida, é incolor, e consegue se dispersar facilmente em condições de temperaturas elevadas e baixa umidade. O nome “gás mostarda” acabou surgindo, por conta da presença de impurezas que conferem odor característico.

Se tratando de um gás incolor, um fato curioso é que na sua primeira utilização pelos alemães (os alemães chamavam o gás mostarda de “Yellow Cross” pois as granadas eram marcadas com uma cruz amarela) em batalha contra os britânicos, há relatos que os britânicos achavam que as explosões contendo essa nova arma, não passava de um blefe, e nesse evento os soldados acabaram não colocando as suas máscaras.

E realmente tudo parecia apontar para um blefe do exército alemão, pois a exposição ao gás mostarda não possui ação imediata. No geral, os efeitos começam a aparecer depois de algumas horas, e por ser incolor, normalmente as vítimas não possuem dimensão de como se deu essa exposição.

E o resultado não poderia ser diferente: horas depois, as tropas britânicas começaram a relatar os sintomas referentes à exposição ao agente vesicante: dor nos olhos,

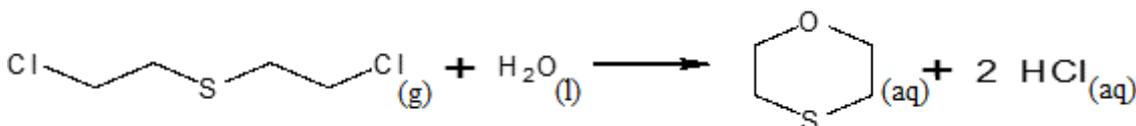
garganta, pulmões (lembre-se que eles não utilizaram as máscaras), e logo depois, bolhas começaram a aparecer na pele dos soldados.



Estrutura da mostarda sulfurada

Por se tratar de um composto com baixa solubilidade em água, acaba sendo um pouco complicado removê-lo das vítimas. Além disso, temos que considerar que, por conta do seu aspecto oleoso, ao penetrar na pele, acaba concentrando-se no tecido adiposo, o que dificulta ainda mais reverter esse processo de exposição.

Gostaríamos que você observasse a equação abaixo com bastante atenção, pois ela vai nos demonstrar de uma forma resumida, o porquê dos resultados no organismo de quem sofre exposição ao gás mostarda.



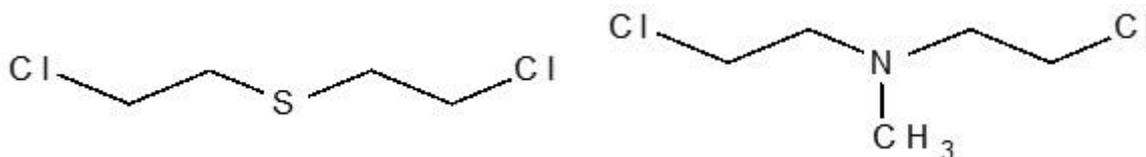
Observe que o produto de hidrólise da mostarda sulfurada é o ácido clorídrico (HCl)¹, e o 1,4-tioxano, que é um composto altamente irritante para o organismo. Não sei se você se lembra, mas eu mencionei da mostarda nitrogenada. E onde ela entra nessa história?

Com a grande fama do “Rei dos Gases”, pesquisas médicas sobre esse gás acabaram identificando que os soldados expostos ao gás mostarda, apresentavam uma redução dos leucócitos nas medulas ósseas e no sistema linfático, o que dava margem à possibilidade de utilizar a mostarda sulfurada, ou algum derivado, no combate à leucemia (resumidamente, a leucemia é um tipo de câncer que se inicia na medula óssea).

Logo no início da Segunda Guerra Mundial, pesquisadores chegaram em um derivado nitrogenado, que substituíu o átomo de enxofre, por um átomo de nitrogênio ligado a um grupo metil (CH₃), que acabou dando origem a uma revolução na quimioterapia, dando origem a novos compostos capazes de auxiliar no tratamento contra o câncer. Logo abaixo,

¹ O termo ácido clorídrico é empregado quando o HCl se encontra dissolvido em água, estabelecendo assim uma solução aquosa. Sob forma pura, nomeamos de cloreto de hidrogênio, e em condições ambientes se encontra no estado gasoso.

segue um comparativo entre a estrutura da mostarda sulfurada, e a estrutura da mostarda nitrogenada.



Dessa forma, vemos que dos malefícios causados na Primeira Guerra, o gás mostarda acabou sendo modificado, constituindo assim algo que ficou como um benefício para a humanidade.”

Muito embora o trecho acima não aborda compostos organofosforados, mas ilustra uma das potencialidades do material: contextualizar os compostos organofosforados, com outros tipos de compostos que estão relacionados quimicamente, ou historicamente.

“A diferença entre um remédio e um veneno está só na dosagem” (Paracelso, Séc XVI).

6 CONCLUSÕES

O livro paradidático apresentado como produto de conclusão de curso, visa atender às necessidades de se desenvolver o conteúdo de química, mantendo através de um diálogo interessante para o leitor (principalmente os alunos da Educação Básica), a possibilidade de construção do pensamento crítico deste, utilizando como plano de fundo as histórias e as características do fósforo, elemento que apresenta grande versatilidade, ao ponto de conseguir se inserir em grande parte dos conteúdos desenvolvidos no Ensino Médio. A sociedade atribui à escola a preparação de cidadãos que possam compreender o mundo, e dele participar de forma crítica e criativa.

A escolha do fósforo como protagonista deste livro, reside no fato deste apresentar níveis de energia acessíveis, em se tratando de promoção de elétron de um nível para outro, o que faz com que um único elemento, no caso o fósforo, represente quase todo os outros. Desta forma, parte-se da apresentação de um conceito mais complexo para o entendimento dos elementos mais simples, utilizando de um elemento que apresenta bastante versatilidade. Assim, torna-se possível criar as condições necessárias para que, através da revisão da literatura e emprego da transposição didática, a aprendizagem possa ser significativa.

Além disso, o elemento fósforo está presente no cotidiano de todos nós, sendo um potencial agente motivador para o aprendizado e compreensão do mundo, o que vai de encontro às necessidades de contextualização no processo de ensino e aprendizagem.

Tendo em vista a quase inexistência da abordagem dos compostos organofosforados no Ensino Médio, e a sua grande relevância no cotidiano, tem-se que o livro paradidático possa servir como aliado durante o processo de escolarização.

Inicialmente, pretende-se disponibilizar ao público, o livro paradidático em versão digital, e posteriormente uma versão impressão. Também é considerado a produção de materiais complementares a este trabalho, como a produção de vídeos e podcasts, para que assim seja possível se alcançar o maior número possível de leitores, bem como novas edições do material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Sônia Biaggi Alves de Alencar. **QuimiGui@: uma estratégia para elaboração de materiais didáticos textuais de química.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014

ALVES-FILHO, José de Pinho. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

APPELT, Patrícia. **Complexos de Rutênio (II) contendo ligantes N-S doadores: síntese, caracterização, reatividade e atividade biológica.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ARAÚJO, Cleônia R. M.; SANTOS, Victória L. A.; GONSALVES, Arlan A. **Acetilcolinesterase – AChE: uma enzima de interesse farmacológico.** Rev. Virtual Quim., 2016, 8(6), 1818 – 1834. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v8n6a04.pdf> Acesso em: 28/09/2019

ARAÚJO, Ronielson F. G. **A utilização do material paradidático no ensino de conceitos iniciais de Óptica Geométrica.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

ASTOLFI, Jean Pierre et al. **Mots-clés de la didactique des sciences.** Pratiques Pédagogies, De Boeck & Larcier S. A. Bruxelas, 1997.

ASTOLFI, Jean-Pierre e DEVELAY, Michel. **A Didática das Ciências.** Campinas, Papirus, São Paulo, 1990.

BARBOZA, Henriqueta T. G.; NASCIMENTO, Xênia P. R.; FREITAS-SILVA, Otaniel; SOARES, Antônio G.; DA COSTA, João B. N. **Compostos Organofosforados e seu papel na agricultura.** Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (1), 172 – 193. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/BarbozaNoPrelo.pdf> Acesso em: 28/09/2019

BELTRAN, Maria H. R. **História da Química e Ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares.** Abakós, Belo Horizonte, maio 2013. v. 1, n. 2, 67 – 77. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/abakos/article/view/5371> Acesso em: 28/09/2019

BRASIL. MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e Suas Tecnologias.** Brasília, 2002. 144 p

CALLEGARIO, Laís J.; HYGINO, Cassiana B.; ALVES, Vanessa L. O.; LUNA, Fernando J.; LINHARES, Marília P. **A História da Ciência no Ensino de Química: uma revisão.** Rev. Virtual Quim., 2015, 7 (3), 977 – 991. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v7n3a16.pdf> Acesso em: 28/09/2019

COSTA, Lucio G. **Organophosphorus Compounds at 80: some old and new issues.** *Toxicological Sciences*, 162 (1), 2018, 24 – 35. Disponível em: <https://academic.oup.com/toxsci/article/162/1/24/4706006> Acesso em: 28/09/2019

COUTEUR, Penny Le; BURRESON, Jay. **Os botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história.** Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

DEMKOWICZ, Sebastian; RACHON, Janusz; DÁSKO, Mateusz; KOZAK, Witold. **Selected organophosphorus compounds with biological activity. Applications in medicine.** *Royal Society Chemistry Adv*, 2013, 00, 1-3. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/getauthorversionpdf/C5RA25446A> Acesso em: 28/09/2019

FORQUIN, Jean-Claude. **Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais.** *Teoria & Educação*, Porto Alegre, Pannonica, v. 1, n. 5, p. 28 - 49, 1992.

FRACISCO JÚNIOR, Wilmo E. **Estratégias de leitura e educação química: que relações?** *Química Nova na Escola*, vol. 32, n° 4, nov. 2010. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_4/03-EA5809.pdf Acesso em: 28/09/2019

KLEIN, Claudia; AGNE, Sandra A. A. **Fósforo: de nutriente à poluente!** *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental/UFESM*. 2012, v. 8, n° 8, 1713 – 1721. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/reget/article/viewFile/6430/pdf> Acesso em: 28/09/2019

LIMA, Andréa P. M. **Acervos complementares do PNLD 2010: um estudo sobre a relação entre matemática e gêneros textuais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr P. **História da Ciência: objetos, métodos e problemas.** *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 305 – 317, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n2/10.pdf> Acesso em: 28/09/2019

MAZZACURTI, Marzia. **Advanced studies on the synthesis of organophosphorus compounds.** Tese de Doutorado, Università di Bologna, Bolonha, 2007. Disponível em: http://amsdottorato.unibo.it/470/1/Tesi_Dottorato.pdf Acesso em: 28/09/2019

MOREIRA, Marco A. **Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente.** *Aprendizagem Significativa em Revista*. V1 (3), pp. 25 - 46, 2011.

MUNAKATA, Kazumi. **Produzindo livros didáticos e paradidáticos.** Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, Rosemeire; CACURO, Thiago A.; FERNANDEZ, Senira, IRAZUSTA, Silvia P. **Aprendizagem Significativa, Educação Ambiental e Ensino de Química: uma experiência realizada em uma escola pública.** *Rev. Virtual Quim.*, 2016, 8 (3), 913 – 925. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v8n3a25.pdf> Acesso em 28/09/2019

PEIXOTO, Eduardo M. A. **Fósforo.** *Química Nova na Escola*, n° 15, 2002. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc15/v15a12.pdf> Acesso em: 28/09/2019

PELIZZARI, Adriana; KRIEGL, Maria de L.; BARON, Márcia P.; FINCK, Nelcy T. L.; DOROCINSKI, Solange I. **Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel**. Rev. PEC, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf> Acesso em: 28/09/2019

PINTO, Anildo Gonçalves. **Uma proposta de livro paradidático como motivação para o ensino de Matemática**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

RUSSEL, John B. **Química Geral**. 2ª ed, v.1, p.376. São Paulo: Makron Books. 1994.

SÁ, Helena C. A.; SILVA, Roberto R. **Contextualização e Interdisciplinaridade: concepção de professores no ensino de gases**. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química -ENEQ. Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, PR, 2008. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0621-1.pdf> Acesso em: 28/09/2019

SAM, Kean. **A colher que desaparece: e outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

SANTOS, Viviane M. R.; DONNICI, Claudio L.; DA COSTA, João B.; CAIXEIRO, Janaína M. R. **Compostos organofosforados pentavalentes: histórico, métodos sintéticos de preparação e aplicações como inseticidas e agentes antitumorais**. Química Nova, Vol. 30, n° 1, 159 – 170, 2007. Disponível em: <http://ref.scielo.org/gcrhz3> Acesso em: 28/09/2019

SANTOS, Wildson L. P.; PORTO, Paulo A. **A pesquisa em Ensino de Química como área estratégica para o desenvolvimento da química**. Química Nova, vol. 36, n° 10, 1570 – 1576, 2013. Disponível em: <http://ref.scielo.org/w9v598> Acesso em: 28/09/2019

SILVA, Daniel R. **Estudo teórico do mecanismo de inibição da acetilcolinesterase de *Torpedo californica* por novos fosforamidatos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, Gustavo R.; BORGES JR., Itamar; FIGUEROA-VILLAR, José D.; CASTRO, Alexandre T. **Defesa química: histórico, classificação dos agentes de guerra e ação dos neurotóxicos**. Química Nova, vol. 35, n° 10, 2083 – 2091, 2012. Disponível em: <http://ref.scielo.org/6qvwx> Acesso em: 28/09/2019

SILVA, Priscila N. S.; SOUZA, Larissa O.; SILVA, Flávia C. V.; SIMÕES-NETO, José E. **A Transposição Didática do conteúdo propriedades periódicas dos elementos químicos**. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química, Florianópolis, SC. 2016. Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0122-2.pdf> Acesso em: 28/09/2019

SILVA, Sani C. R.; SCHIRLO, Ana C. **Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: reflexões para o Ensino de Física ante a nova realidade social**. Imagens da Educação, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. **A Transposição Didática aplicada a Teoria Contemporânea: a Física de partículas elementares no Ensino Médio.** Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, X, 2006, Londrina, PR. Anais, v.1. Disponível em: <https://bit.ly/2nB867y> Acesso em: 28/09/2019

STRATHERN, Paul. **O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química.** Rio de Janeiro: Zahar, 2002

VOSGERAU, Dilmeire S. R.; ROMANOWSKI, Joana P. **Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas.** Rev. Diálogo Educ., Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-189, jan./abr. 2014.

WARTHA, Edson J.; SILVA, Erivanildo L.; BEJARANO, Nelson R. R. **Cotidiano e Contextualização no Ensino de Química.** Química Nova na Escola, vol. 35, nº 2, 84 – 91, 2013. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/04-CCD-151-12.pdf Acesso em: 28/09/20