

JORNAL DA QUÍMICA INORGÂNICA

Nesta Edição

- Tipologia de armas químicas.
- A linha do tempo e os fundamentos da Ciência toxicológica.
- Armas químicas como tema transversal no contexto interdisciplinar..
- Charges e tirinhas.

ATAQUE QUÍMICO: UMA AMEAÇA SILENCIOSA – PARTE II

Tipologia e classificação das armas químicas e a ciência toxicológica

Editorial

Nesta segunda edição sobre a temática “Armas Químicas” a Equipe Editorial do JQI aborda as principais tipologias deste tipo de artefato bélico, sua classificação de acordo com critérios estabelecidos e os efeitos deletérios decorrentes destes agentes químicos no organismo. O texto foi elaborado a partir dos trabalhos publicados por vários autores para permitir ao leitor e leitora do JQI uma compreensão sobre a classificação e a finalidade destas armas devastadoras. Aborda ainda o contexto histórico da toxicologia e os fundamentos desta ciência e destaca o potencial da temática “Armas Químicas” para ser explorada, como um tema transversal, no ensino interdisciplinar nas ciências exatas e naturais. **Desejamos a todos e todas uma boa leitura enfatizando que esta viagem é sobretudo encantadora e envolvente.**



Fonte: <https://br.sputniknews.com/russia/2018040510913943-armas-quimicas-urss-armazens/>

Tipologia das Armas Químicas

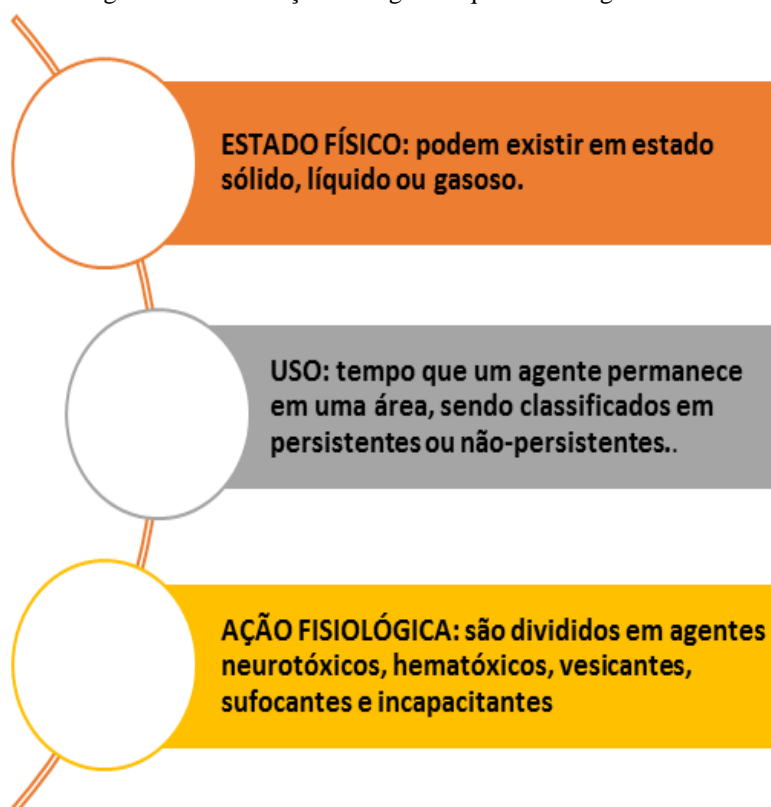
Nesta reportagem da segunda edição sobre a temática “Armas Químicas” o JQI apresenta, para seus leitores e leitoras, uma discussão sobre os principais agentes químicos de guerra e sua classificação com base nos seus mecanismos de ação tendo como referência os artigos: “Defesa química: uma nova disciplina no ensino de química” de França e colaboradores (2010) e “Defesa química: histórico, classificação dos agentes de guerra e ação dos neurotóxicos” de Silva e colaboradores (2012) com maior atenção aos agentes químicos neurotóxicos. Faz ainda uma articulação com o ensino de Química através da exploração dos grupos funcionais, orgânicos e inorgânicos, presentes nas estruturas destes compostos.

Segundo o Manual de Campanha do Ministério de Defesa do Brasil (BRASIL, 2016) a existência de arma de destruição em massa é uma ameaça potencial em diferentes áreas no mundo. A proliferação destas armas possui obstáculos técnicos de diferentes graus. No caso dos agentes químicos torna-se possível o seu uso por meio de uma infraestrutura industrial pouco desenvolvida.

De acordo com este referencial são consideradas agentes químicos de guerra “as substâncias químicas destinadas a causar baixas, ferimentos graves ou incapacitar, principalmente, por meio de efeitos psicológicos”. No âmbito militar exclui os agentes químicos para controle de distúrbios, quando utilizados por Forças de Segurança Pública e nas operações de Garantia da Lei e da Ordem, bem como os herbicidas, os fumígenos, os iluminativos além de um rol de compostos químicos que potencialmente não causam mal à saúde.

Ainda segundo este Manual os agentes químicos de guerra são classificados de acordo com os seguintes critérios: (i) Estado físico. (ii) Uso e (iii) Ação fisiológica, descritos no diagrama da Figura 2:

Figura 2: Classificação dos agentes químicos de guerra



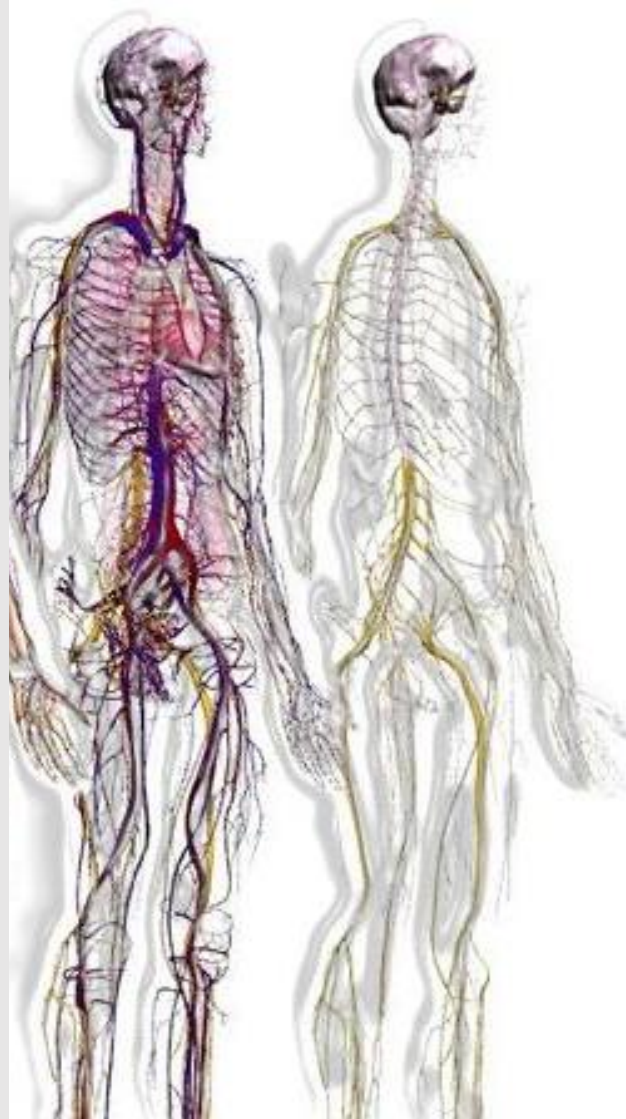
Fonte: Elaboração própria com dados de Brasil (2016)

Um **agente químico de guerra persistente** pode causar baixas imediatamente e sua ação, conforme o agente, pode permanecer durante vários dias no ambiente. Já um **agente químico de guerra não-persistente** também pode causar baixas de imediato, mas a sua ação no ambiente se dissipa num período curto, na faixa de 10 a 15 minutos, aproximadamente. O Quadro 1 apresenta uma síntese das diferentes tipologias destes agentes com base nos seus efeitos, citando alguns dos mais conhecidos e que exemplificam cada uma destas categorias:

Quadro 1: Tipologias de agentes químicos de guerra

AGENTES CAUSADORES DE BAIXA

Os agentes químicos causadores de baixa, por seus efeitos, incapacitam de maneira prolongada ou causam a morte. Neste grupo estão incluídos os agentes: (i) **NEUROTÓXICOS** (ou tóxico aos nervos) entre os quais os agentes gasosos denominados de **Sarin** ($C_4H_{10}FO_2P$) e **VX** ($C_{11}H_{26}NO_2PS$). Estes agentes, que foram produzidos originalmente como defensivos agrícolas, são altamente tóxicos quando inalados, ingeridos ou em contato com a pele. (ii) **VESICANTES** são substâncias químicas, como o **Gás mostarda** ($C_4H_8C_{12}S$) e **Lewisita** ($C_2H_2AsCl_3$), que em contato com a pele e as mucosas produzem irritações e bolhas cutâneas que podem variar desde a irritação leve até ulceração e queimaduras graves com destruição dos tecidos. (iii) **SUFOCANTES** tais como: **Cloro** (Cl_2) e **Dicloreto de carbonila ou Fosgênio** ($COCl_2$). Quando inalados estes agentes químicos causam irritação e ressecamento das vias respiratórias provocando edemas com o acúmulo de fluídos nos pulmões e matando a pessoa por asfixia. Diferentemente do cloro, cujos efeitos são quase imediatos, os efeitos do fosgênio podem surgir em até 48 horas após a inalação. (iv) **HEMOTÓXICOS** (tóxicos ao sangue) entre os quais o **Cianeto de Hidrogênio** (HCN) e o **Cloreto de Cianogênio** ($CICN$). São compostos derivados do enxofre (S) e do nitrogênio (N), que em contato com a pele forma bolhas e provoca queimaduras além de danificar as células sanguíneas quando absorvidos por via respiratória.



Fonte: https://4.bp.blogspot.com/-6er2XupDm0I/VzafFvuFUml/AAAAAAAAJOI/_ioApvnt3UiUrD7tcyD4rT7L8EMCcTDQCLcB/s640/body-2.jpg
(Editado)

AGENTES INQUIETANTES

Esta tipologia de agentes químicos produzem irritação temporária ou efeitos de incapacidade fisiológica. Entre eles estão as seguintes substâncias: **Adamsita** ($C_{12}H_9AsClN$), **Cloroacetofenona** (C_8H_7ClO), **Cloro** (Cl_2), **Ortochlorobenzilmalononitrilo** ($C_{10}H_5ClN_2$).

AGENTES INCAPACITANTES

Os agentes incapacitantes (psicoquímicos) foram desenvolvidos visando atenuar os efeitos graves e o risco de morte. Produzem incapacidade temporária e permitem a recuperação da pessoa atingida. Entre eles está o **Ácido Lisérgico Destilado – LSD-25** ($C_{16}H_{16}N_2O_2$).

AGENTES FUMÍGENOS

São agentes que por **hidrólise** (reação química de decomposição ou alteração de uma substância pela água) ou **combustão** (reação química entre dois ou mais reagentes com grande liberação de energia na forma de calor) produzem fumaça branca e densa que quando inalada provoca efeitos fisiológicos adversos. Entre eles estão: **Fósforo Branco** (P_4), **Hexacloretano** (C_2Cl_6), **Trióxido de Enxofre** (SO_3) e **Ácido Clorosulfônico** (HSO_3Cl).

AGENTES INCENDIÁRIOS

São divididos em dois grupos: (i) **intensivos** (temperaturas altas, em locais de extensão reduzida) e (ii) **extensivos** (temperaturas menores, em áreas de grande extensão que também tem como finalidade ser um agente causador de baixas). Entre eles os principais são: a **Gasolina Gelatinosa** e a **Thermita** (reação altamente exotérmica com a oxidação de um pó metálico pelo óxido de outro metal).



Fonte: https://pt.pngtree.com/freepng/rusty-brain_1441870.html (Editado).

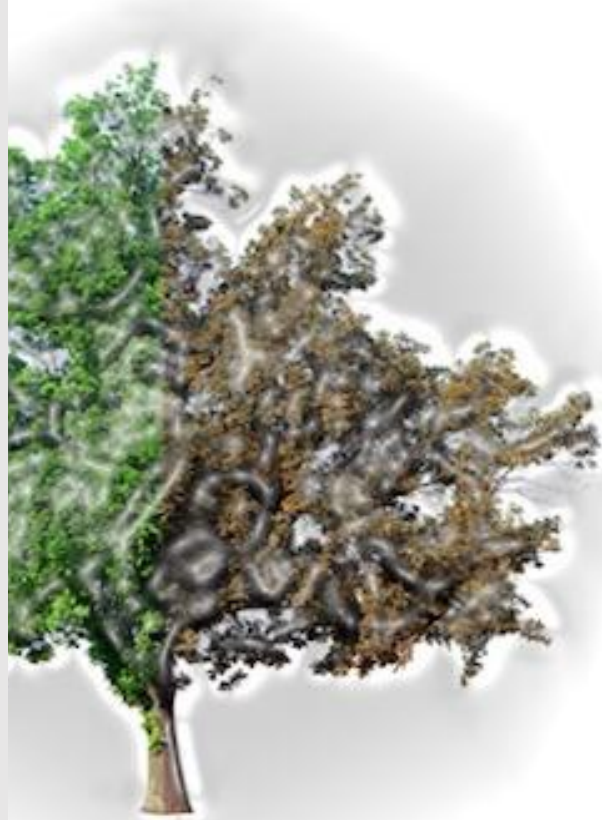


Fonte: <https://pngimage.net/incendio-png-4/> (Editado).

AGENTES HERBICIDAS

O uso dos herbicidas têm como finalidade atacar plantas, esterilizar o solo e destruir as plantações que possam servir tanto de alimento como de abrigo aos combatentes. Destacam-se neste grupo o **Agente Laranja e o Napalm**. Ambos foram amplamente utilizados durante a guerra do Vietnã. O Agente Laranja é uma mistura dos ácidos 2,4-diclorofenoxiacético (2,4D); 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5T) e de dioxidinas. O Napalm é uma mistura de petróleo e de reagentes químicos, em forma de gel, que provoca queimaduras de até quinto grau atingindo músculos e ossos com comprometimento severo dos membros e dos órgãos.

Neste mesmo conflito também foi usado o **Agente Azul** (que contém arsênio e inibe a absorção do ácido fólico) com capacidade de matar de fome o inimigo.



Fonte: <https://www.mrtreeservices.com/blog/can-trees-die-from-the-top-down/> (Editado)

Silva e colaboradores (2012, p. 2083) fazem citação à definição dos agentes químicos de guerra da Organização Mundial de Saúde (OMS), segundo a qual são: “substâncias empregadas por causa dos efeitos tóxicos provocados em homens, animais e plantas” e destacam a Guerra Química como uma das formas mais letais das atividades bélicas, proibida pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Conforme já mencionado anteriormente, após a utilização destes agentes químicos durante a I Guerra Mundial e com o registro de inúmeros acontecimentos com o uso destes agentes para fins bélicos, foi assinada, no ano de em 1993 em Paris, a **Convenção de Proibição de Armas Químicas** (CPAQ).

A CPAQ foi liderada pela **Organização de Proibição de Armas Químicas** (OPAQ) e entrou em vigor, no ano de 1997, proibindo “o desenvolvimento, a produção, a estocagem e o uso de armas químicas além de promover a eliminação de estoques existentes de tais armas” (SILVA et al., 2012, p. 2084).

Segundo o site da RTP Notícias a OPAQ supervisiona a adesão dos países signatários, atualmente com 192 membros. Apenas Egito, Israel, Coreia do Norte e Sudão do Sul não aderiram. O Brasil é signatário desta Convenção desde o dia de sua abertura, em 1993.

O Quadro 2 apresenta um resumo da classificação dos agentes químicos de guerra quanto: ao emprego tático, ao efeito fisiológico e a persistência dos mesmos com finalidades e efeitos específicos.

Quadro 2: categorias de agentes químicos de guerra - critérios de classificação

I. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO EMPREGO TÁTICO

- ✂ CAUSADORES DE BAIXA: causam a morte ou lesões permanentes.
- ✂ INQUIETANTES: causam irritação sensorial.
- ✂ INCAPACITANTES: causam confusão mental.

II. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO EMPREGO FISIOLÓGICO

- ✂ NEUROTÓXICOS: atuam sobre o sistema nervoso.
- ✂ VESICANTES: causam queimaduras químicas por contato.
- ✂ HEMOTÓXIDOS: interferem com o processo de respiração celular.
- ✂ SUFOCANTES: atuam sobre o sistema respiratório.
- ✂ VOMITIVOS: causam irritação das vias aéreas superiores.
- ✂ LACRIMOGÊNIOS: causam irritação às mucosas dos olhos.
- ✂ PSICOQUÍMICOS: atuam sobre as funções mentais.

III. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À PERSISTÊNCIA

- ✂ PERSISTENTES: persistem no ambiente por longos períodos
- ✂ NÃO PERSISTENTES: dispersam rapidamente

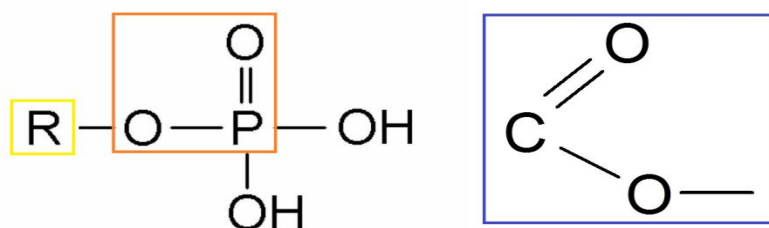
Fonte: Elaboração própria adaptado de França (2010); Silva (2012) e colaboradores

A seguir o JQI irá dar uma atenção especial à classificação dos agentes químicos de guerra de acordo com seus efeitos fisiológicos, destacando suas propriedades físico-químicas e estruturais com a descrição dos grupos funcionais que caracterizam cada agente químico específico, possibilitando aos leitores e leitoras do JQI a compreensão de que é possível, introduzir “armas químicas” como um tema transversal e unificador da organização dos componentes curriculares, de modo coordenado mas não descontextualizado dos conceitos formais abordados em sala de aula. O que é importante neste contexto formativo é permitir aos estudantes a possibilidade de construir significados e dar sentido àquilo que aprendem.

Agentes Químicos Neurotóxicos

De acordo com França e colaboradores (2010), os agentes químicos neurotóxicos são ésteres do ácido fosfórico semelhantes aos pesticidas organofosforados, porém com maior toxicidade. São líquidos e incolores a temperatura ambiente, bastante voláteis, mas que podem ter a sua volatilidade (facilidade com que uma substância vaporiza) reduzida pelo uso de espessantes. A Figura 7 mostra uma representação da fórmula estrutural genérica de um éster de ácido fosfórico, com o grupo funcional característico da função éster destacado na imagem em vermelho, o radical orgânico R destacado em amarelo além do grupo funcional éster, característico desta classe de compostos orgânicos, destacado em azul, para que o leitor e a leitora possam fazer uma análise comparativa destas estruturas químicas.

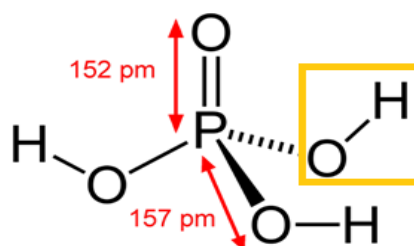
Figura 7: Fórmula estrutural e grupamento funcional do éster de ácido fosfórico



Fonte: elaboração própria com dados da <https://www.wikipremed.com/>

A representação da fórmula estrutural do ácido fosfórico (H_3PO_4) está mostrada, na Figura 8. Nesta estrutura, com geometria tetraédrica, o elemento químico central (P) faz quatro ligações covalentes (quatro sigmas e uma pi) com os quatro ligantes (um oxigênio e três hidroxilas). Os hidrogênio ionizáveis, ou seja com caráter ácido, são aqueles que participam das ligações O-H, destacado com a cor amarela na imagem. O ácido fosfórico (ou ortofosfórico) é um ácido fraco ($\text{pK}_{\text{a}1} = 2,14$) cuja base conjugada é o íon dihidrogeno fosfato (H_2PO_4^-) que, por sua vez, tem como base conjugada o íon hidrogeno fosfato (HPO_4^{2-}) com $\text{pK}_{\text{a}2} = 7,20$ e cuja base conjugada o íon fosfato (PO_4^{3-}) com $\text{pK}_{\text{a}3} = 12,37$.

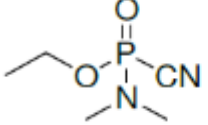
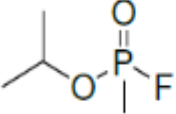
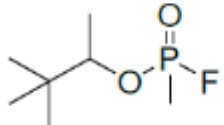
Figura 8: Representação da fórmula estrutural do ácido fosfórico.



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Phosphoric_acid

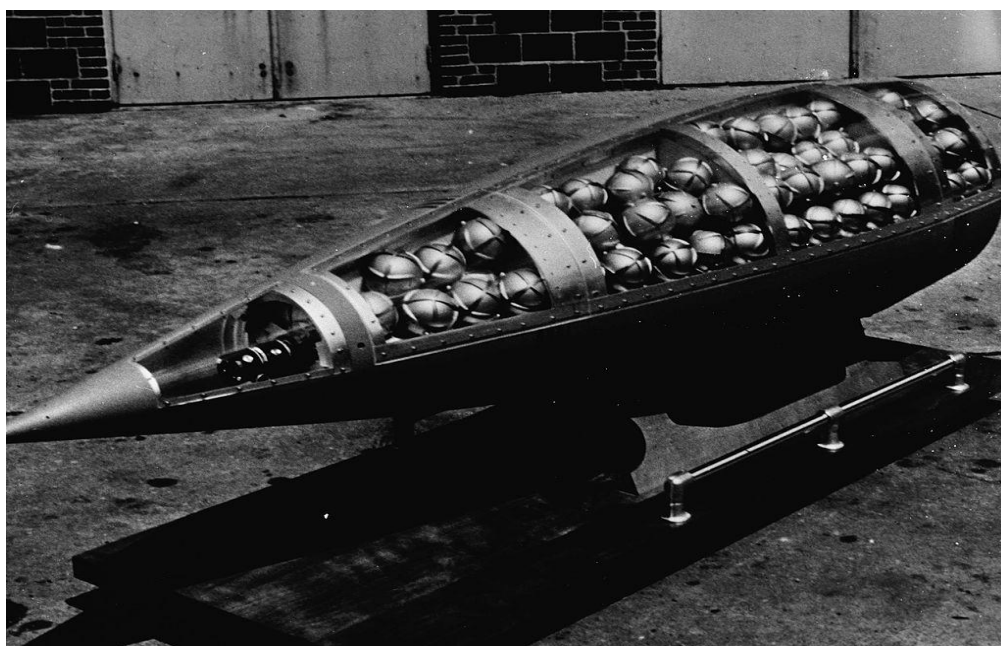
Os agentes químicos neurotóxicos apresentam em suas estruturas químicas a função éster derivada do ácido fosfórico, denominados, de uma forma geral, como éster fosfato (ou organofosfato). Os ésteres fosfatos são, provavelmente, os mais difundidos dos compostos orgânicos contendo fósforo. Muitos dos mais importantes compostos bioquímicos são ésteres fosfatos, incluindo o DNA e RNA assim como muitos cofatores que são essenciais à vida. Na Tabela 1 estão destacados os principais agentes químicos neurotóxicos com seus respectivos nomes, códigos de identificação, estruturas e temperaturas de mudanças de fases que sinalizam para o estado físico destes agentes nas condições ambientais.

Tabela 1: Estrutura e algumas propriedades dos neurotóxicos.

Estrutura	Nome e/ou código	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de Fusão (°C)
	Tabun GA	247,5	-50
	Sarin GB	158	-56
	Soman GD	198	-42

Fonte: Adaptado de França e colaboradores (2010)

Figura 9: Ogiva do míssil norte-americano "Honest John" com bombas contendo sarin, 1960.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sarin>

Agentes Químicos Vesicantes

Segundo França e colaboradores (2010) nesta categoria de agentes químicos se incluem os compostos derivados do: **enxofre (S)** e **nitrogênio (N)**, conhecidos como **mostardas**, e **arsênio (As)**, conhecidos como **lewisitas**. São substâncias químicas que em contato com a pele e as mucosas produzem queimaduras químicas. Alguns destes agentes estão destacados na Tabela 2, pelos respectivos nomes, códigos de identificação, estruturas e temperaturas de mudanças de fases que sinalizam o seu estado físico nas condições ambientais.

Tabela 2: Estrutura e algumas propriedades dos vesicantes

Estrutura	Nom e/ou código	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de Fusão (°C)
	Mostarda de enxofre HD	215	14,5
	Etil-bis- (2-cloroetil) amina - HN1	194	-34
	Lewisita L	190	-18

Fonte: Adaptado de França e colaboradores (2010)

No HN1, por exemplo, pode-se visualizar a função amina – caracterizada por ter um átomo de nitrogênio (N) ligado a radicais (**alquila ou arila**) ou a átomos de hidrogênio (H). Na Lewisita L destaca-se a insaturação (presença de dupla ligação C=C) além da ligação com um átomo de arsênio (As). Também se verifica a presença do elemento químico cloro (Cl) na estrutura dos três compostos.

Figura 10: Cartaz da II Guerra alertando sobre o Lewisite

Este cartaz da época da Segunda Guerra Mundial alertava para o perigo da Lewisite, uma arma química que em alguns casos poderia ter um odor parecido com gerânios. Os vapores da Lewisite são extremamente tóxicos e causam queimaduras na pele e olhos - com a formação de bolhas - dor intensa no sistema respiratório e em altas concentrações é fatal em apenas 10 minutos. Felizmente a substância foi raramente usada em campo de batalha - com nenhuma ocorrência durante a Segunda Guerra.

Lewisite

Fonte: <https://twitter.com/emsintese>. Originalmente publicado no Instagram: <https://t.co/90NNKZSWpO>.

Agentes Químicos Hemotóxicos

Ainda de acordo com França e colaboradores (2010), o **cianeto de hidrogênio (HCN)** e **halogenetos de cianogênio (CNX)** onde X é um elemento do grupo 17 (X= F; Cl; Br; I; At) são tradicionalmente conhecidos como agentes hemotóxicos, agindo no nosso organismo a partir da interferência da respiração celular. Alguns destes agentes químicos estão apresentados na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Estrutura e algumas propriedades dos Hemotóxicos

Estrutura	Nome e/ou código	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de Fusão (°C)
$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$ HCN	Ácido cianídrico AC	25,7	-14
$\text{N}\equiv\text{C}-\text{Cl}$ CNCl	Cloreto de cianogênio CK	12,8	-7

Fonte: Adaptado de França e colaboradores (2010)

Curiosidade

O químico e farmacêutico Alemão **Carl Wilhelm Scheele**, como a maioria de seus contemporâneos numa época em que havia poucos métodos de caracterização química, cheirava e experimentava qualquer nova substância descoberta. A exposição cumulativa aos metais: arsênio (As), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e seus compostos e talvez ao ácido fluorídrico (HF), ou mesmo cianídrico (HCN), que Ele obteve pela primeira vez, a partir do azul da Prússia – $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ – contribuiu para a sua morte precoce, em 21 de maio de 1786, com 43 anos de idade. Os médicos atestaram como causa da morte o envenenamento por mercúrio.

Figura 11: Karl Scheele



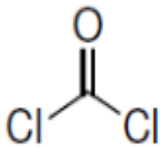
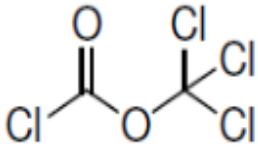
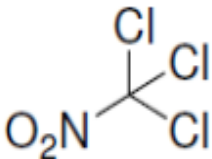
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Wilhelm_Scheele

Agentes Químicos

Sufocantes

Entre os principais agentes químicos sufocantes utilizados como armas químicas se destacam: **Cloro** (Cl_2), **Fosgênio** (COCl_2), **Difosgênio** ($\text{C}_2\text{Cl}_4\text{O}_2$), **Cloropicrina** (CCl_3NO_2) apresentados na Tabela 4. Segundo França e colaboradores (2010) estes agentes são chamados de sufocantes porque atuam diretamente sobre o sistema respiratório causando edema pulmonar e morte por sufocamento. É possível observar, a partir das estruturas destes compostos, o **grupo carbonila** ($\text{C}=\text{O}$) no CG, a função orgânica éster (RCOOR') no DP, e o **grupo Nitro** (NO_2) no PS além do radical cloro presente em todos eles.

Tabela 4: Estrutura e algumas propriedades dos sufocantes

Estrutura	Nom e e/ou código	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de Fusão (°C)
	Fosgênio CG	8,3	-128
	Difosgênio DP	127	-57
	Cloropicrina PS	--*	-69

Fonte: Adaptado de França e colaboradores (2010)

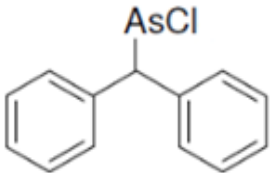
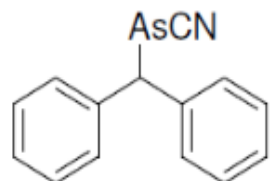
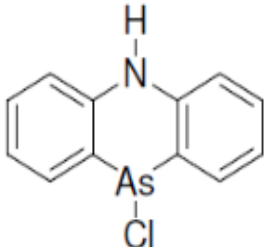
Legenda: --* Dado não disponível

Agentes Químicos

Vomitivos

Os agentes químicos vomitivos, destacados na Tabela 5, são compostos derivados do arsênio (As), com propriedades semelhantes aos vesicantes arsenicais e possuindo, em alguns casos, ação vesicante secundária. Esses agentes provocam irritação nos olhos e das membranas mucosas, seguida de corrimento nasal e espirros. França e colaboradores (2010) destacam os sintomas de dor aguda, dor de cabeça forte, sentimento de constrição no peito seguidos de náusea e vômitos.

Tabela 5: Estrutura e algumas propriedades dos vomitivos

Estrutura	Nome e/ou código	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de Fusão (°C)
	Difenilcloroarsina DA	--*	44
	Difenilcianoarsina DC	--*	30
	Adamsita DM	--*	195

Fonte: Adaptado de França e colaboradores (2010)

Legenda: --* Dado não disponível

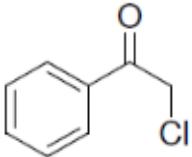
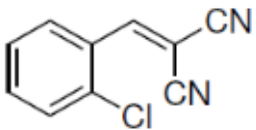
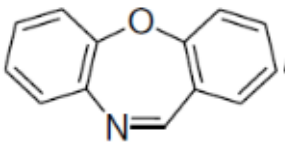
Verifica-se a presença dos radicais: halogênio – **cloro (Cl) no DA** – ou **cianeto (CN)**, ligados ao **arsênio (As)**, em todos estes compostos, bem como a presença da **função amina (R₂NH)** no DM. Todos estes compostos apresentam também, na sua estrutura química, a presença de dois anéis benzênicos (C₆H₆).

Agentes Químicos

Lacrimogênicos

Segundo França e colaboradores (2010) os agentes químicos lacrimogênicos (Tabela 6) são capazes de provocar forte irritação nas vias aéreas superiores e nos olhos. Aqueles que atuam nas vias aéreas superiores são conhecidos como **esternutatórios**, enquanto que os que atuam nos olhos são conhecidos como **lacrimogênicos**. Os sintomas da exposição a estes agentes são: irritação sensorial intensa nas áreas expostas, mesmo em concentrações pequenas, rápido surgimento de dor nos olhos acompanhada por conjuntivite, blefarospasmo (contração involuntária da pálpebra) e lacrimação. Também causam sensação de queima na boca e nas mucosas próximas além de dor, coceira, corrimento no nariz, constrição no peito acompanhada de tosse, espirros e aumento nas secreções na traqueia e nos brônquios.

Tabela 6: Estrutura e algumas propriedades dos lacrimogênicos

Estrutura	Nome e/ou código	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de Fusão (°C)
	Cloroacetofenona CN	--*	55
	2-clorobenzelideno Molonitrila CS	--*	95
	dibenz-1:4-oxazepina CR	--*	--*

Fonte: Adaptado de França e colaboradores (2010)

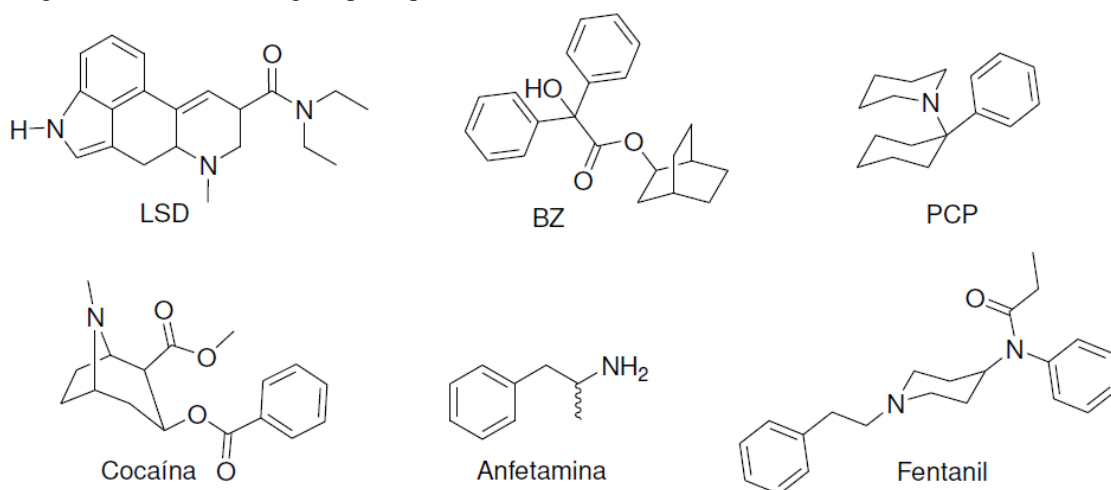
Legenda: --* Dado não disponível

Dentre as funções orgânicas presentes nestes agentes lacrimogênicos pode-se destacar: (i) O grupo funcional **cetona (R-CO-R')** com uma carbonila, **C=O**, ligada a dois radicais orgânicos (**R; R'**) no CN. (ii) A função **éster (R-O-R')** no CR, com o oxigênio entre os dois radicais orgânicos (**R; R'**). (iii) O anel aromático (**C₆H₆**) em todos estes agentes.

Agentes Químicos Psicoquímicos

Conforme França e colaboradores (2010), os agentes psicoquímicos, cujas formulas estruturais de alguns deles estão mostrados Figura 12, são aqueles com potencial para incapacitar um indivíduo através de uma ação reversível em suas funções mentais. Podem atravessar facilmente a barreira hematoencefálica e interferir nas funções superiores do sistema nervoso central tais como: atenção, orientação, percepção, memória, motivação, pensamento conceitual, planejamento e julgamento.

Figura 12: Estrutura de alguns psicoquímicos.



Fonte: França e colaboradores (2010)

Verifica-se nas estruturas químicas destes agentes psicoquímicos uma grande variedade de funções orgânicas, tais como: **amida, amina, éster, álcool, cadeias cíclicas saturadas, insaturadas e aromáticas**. Levando-se em consideração a problemática exposta nestas duas edições temáticas do JQI sobre o uso de agentes em conflitos bélicos, mundiais e atuais, além do consumo das drogas na nossa sociedade, que constitui um dos principais problemas de saúde pública e de violência social, fica evidenciada a importância desta discussão como tema transversal no Ensino de Química, numa abordagem interdisciplinar possibilitando uma discussão ampla na comunidade escolar nas áreas de conhecimento (história, política, ética, bioquímica) e temas diversos (violência, saúde, segurança, efeitos deletérios dos agentes químicos e redução de riscos, impactos ambientais nos ecossistemas, entre outros). Portanto, pode-se ultrapassar os limites da sala de aula e dos livros de Química através da abordagem interdisciplinar trazendo a realidade dos estudantes e os problemas da sociedade global para o foco de discussão.

Ciência Toxicológica

Nesta reportagem da segunda edição temática sobre “Armas Químicas” o JQI apresenta, para seus leitores e leitoras, uma breve explanação sobre a **Ciência Toxicológica** com enfoque no seu objeto de estudo e desenvolvimento histórico, além da definição e classificação dos principais agentes químicos e dos seus mecanismos de ação e de inibição que tem permitido o uso destas substâncias químicas, puras ou misturadas, com finalidades diversas, inclusive como artefato bélico e com impactos severos para a humanidade.

O modelo conceitual e o contexto histórico da evolução da ciência toxicológica

Esta abordagem, conceitual e histórica, sobre a ciência toxicológica se baseou no trabalho de **Fausto Antonio de Azevedo** intitulado “A Toxicologia e o Futuro”, publicado na *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade* (São Paulo, v.3, n.3, 2010). Azevedo tem graduação em farmácia e bioquímica, especialização em Saúde Pública e mestrado em Análises Toxicológicas pela Universidade de São Paulo. É professor do curso de pós-graduação em Ciências Toxicológicas das Faculdades Oswaldo Cruz (SP).

A equipe Editorial também destacou (em **negrito e itálico**) os conceitos da toxicologia que podem ser abordados no ensino e aprendizado de Química de forma interdisciplinar. A interdisciplinaridade é definida nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) como a dimensão que (...) “questiona a segmentação entre os diferentes campos do conhecimento produzida por uma abordagem que não leva em conta a interrelação e a influência entre eles. Questiona a visão compartimentada (disciplinar) da realidade sobre a qual a escola, tal como é conhecida, historicamente se constituiu” (BRASIL, 1998, p. 30).



Fonte <https://osmurosdascola.wordpress.com/2011/07/06/multi-pluri-trans-e-interdisciplinaridade-em-graficos-e-esquemas/>

A interdisciplinaridade só ocorrerá quando houver uma fusão dos conteúdos das disciplinas, trabalhando em conjunto para a compreensão de uma determinada importância social.
Franco Araujo

Além disto esta área do conhecimento trata de temáticas atuais, interessantes, importantes no contexto histórico, político, socioambiental, ético e de saúde da nossa sociedade e que podem ser trabalhadas como tema transversal e de maneira interdisciplinar no ensino de Química. De acordo com os PCNs “a transversalidade diz respeito à possibilidade de se estabelecer, na prática educativa, uma relação entre aprender conhecimentos teoricamente sistematizados (aprender sobre a realidade) e as questões da vida real e de sua transformação (aprender a realidade da realidade)” (BRASIL, 1998, p. 30).

No seu artigo Azevedo (2010, p.04) define a Ciência Toxicologia como “o estudo dos tóxicos, palavra de origem grega (τοξικός) que designava “o produto intencionalmente obtido e adequado para se lambuzar pontas de flechas e lanças, com finalidade bélica ou de caça”. Ainda segundo este Autor, na atualidade, usa-se este termo para caracterizar qualquer “substância química isolada (ou mistura de substâncias) com propriedade de causar doença ou morte em seres vivos” ressaltando que “causar intoxicação por conta de seu potencial tóxico” tem o mesmo significado de “toxicidade”. Cita dados da Associação Brasileira da Indústria

Química (Abiquim apud Azevedo, 2010) que informam para a existência de mais de 23 milhões de substâncias químicas conhecidas, das quais cerca de 200 mil são usadas mundialmente, principalmente como misturas, em cerca de dois milhões de produtos comerciais. Também faz referência aos dados da Sociedade Americana de Química (apud Azevedo, 2010) que contabilizam cerca de 62 milhões de substâncias, inorgânicas e orgânicas, das quais 44 milhões são comercialmente disponíveis mas apenas 281 mil são regulamentadas. A ordem de grandeza destes números, mesmo sendo divergentes, aponta que o maior desafio dos cientistas e dos governos tem sido a obtenção de informações críveis para a regulamentação destes produtos no contexto mercadológico da sociedade atual.

Azevedo (2010, p.5) descreve ainda a linha do tempo do conhecimento toxicológico, desde os povos mais antigos até os dias atuais, ressaltando que “a história da Toxicologia é muito longa, bem conhecida e documentada, fascinante e confunde-se com a história da humanidade”. Esta edição do JQI apresenta uma síntese desta narrativa nos destaques apresentados no Quadro 3 a seguir:

Quadro 3 – Evolução do conhecimento Toxicológico

OS POVOS MAIS ANTIGOS

No início da civilização humana foi construída a ideia daquilo que é **venenoso** (ou **tóxico**), pois a ingestão de certos tipos de alimentos ceifava vidas. Desta forma, a toxicologia surgiu a partir do uso de **venenos**, de **origem animal e vegetal**, com a finalidade de auxiliar a caça, a pesca e nas atividades de guerra, justamente a partir do conhecimento de que os tóxicos ceifavam vidas. Neste contexto histórico, foram realizados estudos sobre venenos específicos em muitas culturas antigas, tais como o estudo: dos **glicosídeos** cardíacos pelos egípcios; dos **alcaloides** do **ópio** pelos chineses; dos alcaloides da **coca** e da **estricnina** pelos incas e da **cicuta** pelos gregos.

OS POVOS MAIS ANTIGOS

Em torno de 1500 a.C. foi escrito, no Egito Antigo, o “Papiro de Ebers”, um dos tratados médicos mais antigos e importantes que se conhece, com informações toxicológicas que são preservadas até os dias de hoje. Este importante documento em **papiro** traz um vasto relato da história da medicina do Antigo Egito com dados sobre o **organismo humano**, a **estrutura vascular e cardíaca** além de prescrições de **substâncias curativas** para várias **enfermidades** causadas por **agentes tóxicos de origem animal, vegetal e mineral**.

Imagem do papiro de Ebers, em escrita hierática, conservado atualmente na **Universitätsbibliothek de Leipzig**.

Fonte:

<https://tudosobreplantas.wordpress.com/2011/09/15/o-papiro-de-ebers/>



OS MUNDOS: GREGO E ROMANO

Na Grécia Antiga, Homero descreveu em suas obras (“A Odisseia” e “A Ilíada”) a utilização de venenos em pontas de flechas. Sócrates, filósofo grego, foi condenado a morrer bebendo **cicuta**, um **alcaloide vegetal** com grande poder tóxico. Outro caso foi o de Alexandre O Grande, rei do antigo reino da Macedônia, que também se especula, até os dias atuais, que morreu envenenado.



A morte de Sócrates

Fonte: <http://cicutatoxi.wixsite.com/cicuta/historia>

OS MUNDOS: GREGO E ROMANO

Em Roma os envenenamentos também se tornaram frequentes com vários filósofos fazendo referência ao assunto em suas obras, tais como a citação de Lucrecio – poeta e filósofo latino que viveu de 94 a 50 a.C. – afirmando: “o que é **alimento** para um homem pode ser veneno para outro” (apud AZEVEDO 2010, p.06).

Foi neste contexto histórico e geográfico que surgiu a ideia atual sobre “**fármaco e tóxico**” com a descoberta feita por Diógenes de Enoanda, discípulo de Epicuro, de um “**tetrafarmaco**” com **propriedades analgésicas** e que continha: **cera, sebo, pez e resina** na sua **composição**.

Também foi nesta época que Mitrídates VI desenvolveu o “mitridato”, uma **mistura de substâncias orgânicas**, de **origem animal e vegetal**, responsável pela sua resistência ao veneno. O fato desta descoberta ter sido resultado de **experimentações**, que foram realizadas com delinquentes presos e consigo mesmo, sobre os efeitos dos tóxicos na busca por um **antídoto** que o mantivesse a salvo de supostas tentativas de assassinato demonstra um certo conhecimento sobre toxicologia.

IDADE MÉDIA

Neste período histórico muitos estudiosos árabes pesquisaram as propriedades tóxicas de plantas e de outros produtos. É nesta época que se tem notícias sobre as primeiras **atividades periciais** sendo este o marco inicial para o desenvolvimento do **tratamento de intoxicação**.

Um pesquisador importante que revolucionou a toxicologia foi Paracelsus – pseudônimo de “superior a Celsus” (um médico romano importante) – ao estabelecer a **dose** como sendo a “diferença entre o que cura e o que envenena” definindo-se, desta forma, os referenciais teóricos para a toxicologia como **disciplina científica**. Foi no final desse período que surgiram os tóxicos de origem americana tais como: **o tabaco, a coca e o grupo dos alucinógenos**.

Paracelsus

Fonte:
<http://broughttolife.sciencemuseum.org.uk/broughttolife/people/paracelsus>



SÉCULO XVII

Neste Século despontam os primeiros sinais de uma **abordagem científica** para a toxicologia, devido ao que ocorreu no panorama filosófico e europeu, com a iniciação de estudos sobre essa ciência como **disciplina científica** e de descobertas referentes a intoxicação e a novos tóxicos. Nesta época ganhou celebridade alguns episódios de envenenamento tais como o da marquesa de Brinvillier apontada por estudiosos como a primeira mulher da história a cometer envenenamentos em série e de Cathérine Voisin, suposta feiticeira francesa que também teve participação nestes casos de envenenamento, em Paris no Sec. XVII.

SÉCULO XVIII

Deste Século em diante houve uma enorme contribuição para o desenvolvimento da toxicologia sendo referenciados os textos de RICHARD MEAD e a obra de BERNARDO RAMAZZINI como marco inicial da **Toxicologia Ocupacional**. Na Europa surgem estudos na Alemanha, Itália, França e Inglaterra com destaque para: (i) O estudo dos venenos das serpentes por FONTANA, que é considerado um dos “fundadores” da Toxicologia Moderna. (ii) A pesquisa, realizada por PLENCK, sobre **agentes tóxicos em tecidos** para comprovar a causa de envenenamentos que representa um marco inicial da **Toxicologia Forense**. (iii) ACCUM fez uso de **métodos analíticos** para detecção de **contaminantes em alimentos e medicamentos**. ORFILA publicou o Tratado de Toxicologia e estudou as **lesões** produzidas por tóxicos em tecidos de autópsia, associando-as à **análise química**.

SÉCULO XIX

Neste século, a toxicologia configura-se como ciência moderna atrelada as transformações sociais e nos avanços científicos que ocorreram na Europa neste período com destaque para o desenvolvimento da **ciência Química** e o **isolamento de alcaloides** com a Toxicologia deixando de ser uma **ciência descritiva e analítica** para ser uma **ciência experimental**. É neste período que se firma a **Toxicologia Industrial** e que ocorre o crescimento **das adições** por ópio, *Cannabis*, álcool, e coca e ganha impulso as pesquisas voltadas para a utilização dos tóxicos na **guerra química**. O termo **“adição”** se refere à “atividade compulsiva e envolvimento excessivo em uma atividade específica ou ao uso de qualquer substância”.

SÉCULO XX

Foi neste século que se fortaleceu e ganhou impulso a Toxicologia: (i) INDUSTRIAL, OU OCUPACIONAL, em decorrência do crescimento exponencial da **indústria** e da **síntese química de fármacos, de aditivos alimentares – conservantes, corantes, flavorizantes – e de produtos agrícolas – inseticidas, herbicidas**. (ii) DE GUERRA, tema desta e da edição anterior do JQI. (iii) AMBIENTAL: voltada para compreender a **contaminação química ambiental**. Outro ponto característico do Século XX foi a chegada e a consolidação de todo arcabouço da **análise de risco toxicológico dos medicamentos** com suas notáveis aplicações em defesa da vida e da **ética**.

Nesta época também ocorreram grandes episódios tóxicos decorrentes do uso de medicamentos não devidamente avaliados ou de **acidentes com vazamentos e derrames de produtos químicos**. A **drogadição** – toda e qualquer modalidade de adição bioquímica por parte de um ser humano ou a alguma droga (**substância química**) ou à superveniente interação entre drogas (substâncias químicas), que seja causada ou precipitada por um complexo de fatores (genéticos, biofarmacológicos, sociais, econômicos e políticos) – torna-se um problema de proporções gigantescas a nível mundial, com o uso dos **psicofármacos**, das **drogas de síntese** e do ressurgimento da coca.

Após 1960, a Toxicologia envereda pelo estudo de **segurança e risco do uso das substâncias** com o surgimento: (i) Dos protocolos para os testes de **carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade**. (ii) Da obrigatoriedade de estudos de toxicidade de **medicamentos** antes do devido registro para uso dos mesmos. (iii) Da base para o controle regulatório de substâncias, tais como os: **aditivos alimentares, os domissanitários, os praguicidas, etc.**

Na década de 60 são registrados dois marcos no campo da **Ecotoxicologia** com: (i) A **Water Quality Act** (EUA) definindo, em 1960, os **padrões de qualidade das águas** e de **proteção dos ecossistemas aquáticos**; (ii) A publicação, em 1969, do estudo do professor RENÉ TRUHAUT sobre os efeitos nocivos das substâncias químicas nos ecossistemas. Desta forma tem-se, no século XX, a institucionalização definitiva da Toxicologia e da consolidação de seu aparato operacional.

Segundo Azevedo (2010) numa visão futurística, haverá um favorecimento da economia em contraste com a toxicologia considerando os fatores que sinalizam para uma demanda considerável no mercado toxicológico, entre eles: a produção em larga escala de **resíduos**, a intensa **contaminação química** e **degradação ambiental**, o consumo elevado de drogas e medicamentos.

Os limites e padrões em Toxicologia e avaliação de risco toxicológico

O trabalho de Azevedo (2010, p.10) também faz uma abordagem comparativa entre a “velha” e a “nova” toxicologia. Segundo este referencial a “velha” toxicologia tinha como objetivo estudar os efeitos tóxicos dos alimentos, pois como foi abordado na linha do tempo apresentada anteriormente, havia uma preocupação inicial sobre o que se podia comer ou não. Com o passar dos anos, os estudos sobre as condições específicas de exposição a determinado agente tóxico e o tipo de organismo vivo exposto a este agente tóxico específico, levaram a uma variada gama de aplicações e interesses nesta área de conhecimento.

Desta forma, este Autor se refere à Toxicologia Moderna como sendo a “Ciência dos Limites” considerando a sua amplitude de interesses e de aplicações, entendendo-se por limite “o grau máximo de exposição a que um organismo vivo pode se submeter sem que disso decorra prejuízo para sua saúde”.

Ainda de acordo com este mesmo referencial, a partir dos estudos sobre as relações dose-efeito e dose-resposta para um dado agente tóxico num organismo vivo específico foi possível estabelecer os critérios de aceitabilidade ou de tolerância à exposição. No entanto o mesmo faz ponderações sobre as vantagens e desvantagens, em termos éticos e morais, considerando como:

- **VANTAGENS:** o esclarecimento sobre a fenomenologia da exposição-intoxicação, dando suporte para decifrar o mecanismo de ação do agente e a possibilidade de reversão da intoxicação.
- **DESVANTAGENS:** a possibilidade de que as relações dose-efeito e dose-resposta sejam usadas unicamente em processos industriais objetivando ganhos econômicos atrelados ao fervor do mercado deixando assim de contemplar o seu objetivo principal na modernidade que é a análise do risco toxicológico.

Figura 17: Charge do cartunista Amarildo sobre um suposto uso excessivo de "agrotóxicos" no País



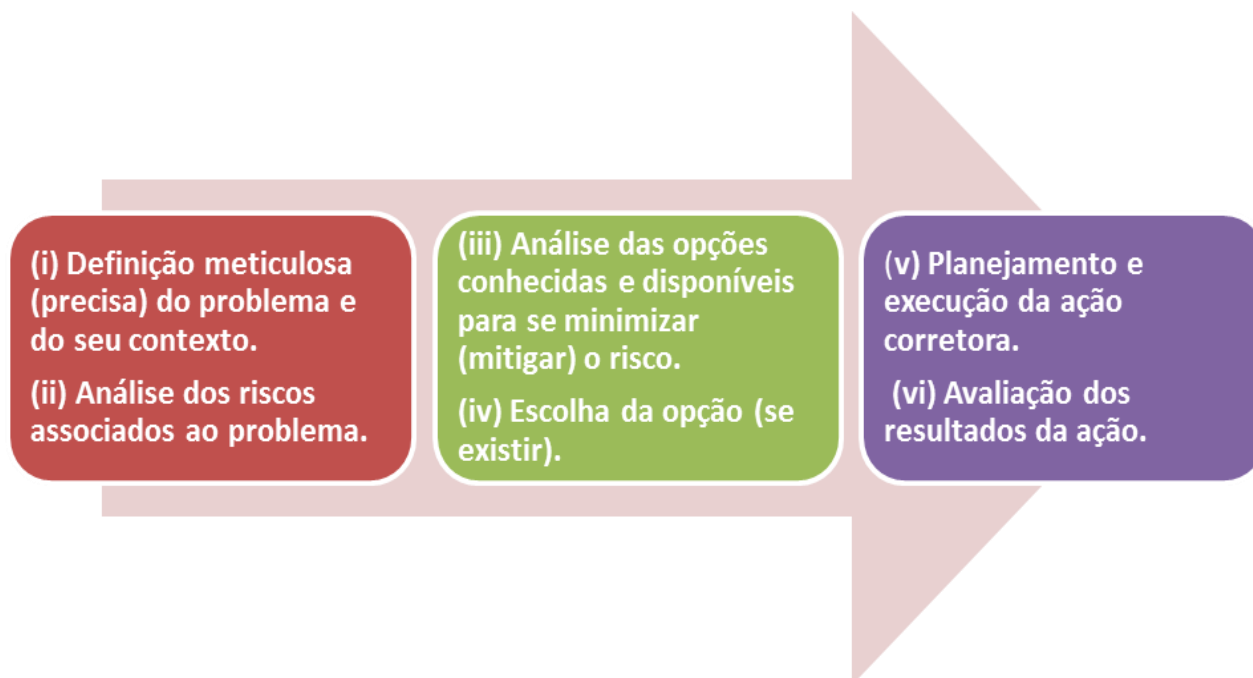
AMARILDO. Disponível em: www.amarildo.com.br. Acesso em: 3 mar. 2013.

Fonte: <https://descomplica.com.br/gabarito-enem/questoes/2015/primeiro-dia/na-charge-ha-uma-critica-ao-processo-produtivo-agricola-brasileiro-relacionada-ao/>

Análise (Avaliação) de risco toxicológico

Segundo Azevedo (2010, p.10), a Análise de Risco (AR), feita com base nos fundamentos da Toxicologia e com recursos de modelos matemáticos e computacionais, nada mais é do que “uma maneira de organizar a informação científica disponível e atual para subsidiar decisões sobre: o uso ou não de processos, o lançamento ou não de produtos, a fixação ou não de limites e padrões legais, a autorização ou não de licenças”. Mas ressaltando que “esta competência é de domínio de poucos especialistas” e deve obedecer aos seguintes pressupostos e etapas de elaboração, sintetizadas na representação esquemática apresentada na Figura 18:

Figura 18: Pressupostos e Etapas de elaboração de uma Análise de Risco (AR)



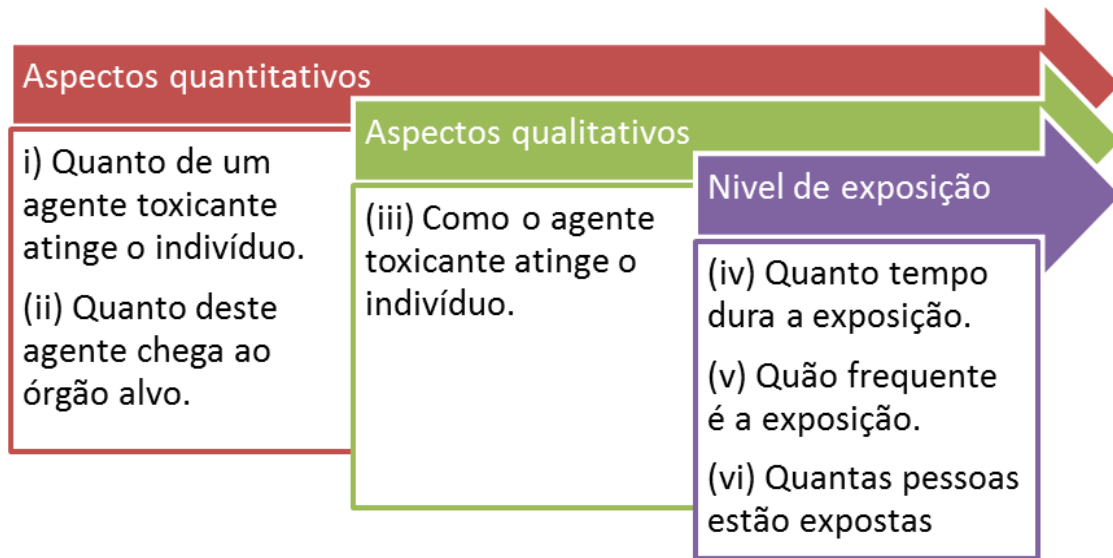
Fonte: Elaboração própria tendo como referência Azevedo (2010)

Neste sentido, Azevedo (2010, p.11) aponta que a AR necessariamente conduz às atividades de gerenciamento do risco que envolvem decisões individuais com ponderação sobre a redução dos riscos e os recursos necessários para sua implementação (ou seja de custo versus benefício, comentário da Equipe Editorial do JQI). O objetivo sempre é identificar e lidar primeiramente com os riscos de maior potencial seguidos daqueles que são mais controláveis ou de menor potencial. Ainda segundo este Autor “a caracterização perfeita do risco está condicionada a carac-

-terização perfeita da exposição com o conhecimento intrínseco da relação dose-resposta em seus aspectos qualitativos e quantitativos. O resultado final será a avaliação da quantidade de risco associada a uma dada exposição ressaltando que será “a exposição com suas características específicas que irá determinar a dose absorvida”.

Este Autor relaciona também quais são as características fundamentais da exposição e que estão resumidas na representação esquemática apresentada na Figura 19, a seguir:

Figura 19: Características Fundamentais da exposição toxicológica



Fonte: Elaboração própria tendo como referência Azevedo (2010).

A quantificação do risco toxicológico indicará a “dose segura” para determinado agente toxicológico definida como sendo “a quantidade da substância que pode ser ingerida, inalada, absorvida pela pele diariamente, sem observação de efeito adverso” (AZEVEDO, 2010, p.11). Ainda segundo este Autor a quantificação do risco mede a probabilidade do uso seguro de uma dada substância, de acordo com os procedimentos recomendados e avaliado à luz dos estudos atuais.

Portanto a partir desta abordagem sobre a ciência toxicológica e a linha do tempo do seu desenvolvimento, desde a antiguidade até o presente século, com destaque para alguns marcos históricos das descobertas que foram marcantes para aprofundamento dos estudos nesta área do conhecimento humano é possível inferir sobre a sua relevância na formação cidadã podendo contribuir na prevenção e mitigação dos danos sociais relacionados com: acidentes de contaminação toxicológica; patologias decorrentes do consumo de substâncias tóxicas – inclusive aquelas presentes na composição de alimentos processados e ultraprocessados – tentativas

de envenenamento por substâncias tóxicas; o mercado e o consumo amplo das drogas na sociedade moderna, observando-se, dessa forma, a extrema relevância desta ciência para a sociedade vigente a partir destas suas diversas aplicações legais, tecnológicas e de controle.

Além disto, o desenvolvimento da Química Analítica, a partir do Sec. XVIII, tem permitido a utilização de *métodos analíticos* que fornecem resultados com *exatidão e precisão*, na determinação de substâncias tóxicas desconhecidas (*analitos*). A toxicologia analítica, segundo Azevedo (2010, p.16), trabalha com a detecção do agente tóxico ou com a determinação de algum parâmetro relacionado à exposição através da análise de fluidos e de matrizes – *fluidos orgânicos*, alimentos, *ar, água, solo, sedimentos* – com o objetivo de reconhecer, diagnosticar e/ou prevenir intoxicações.

Para que sejam desenvolvidos trabalhos ou investigações no escopo da toxicologia analítica é inevitável o trabalho de profissionais oriundos de diversas áreas de formação tais como: farmacêuticos, bioquímicos, químicos através das atividades descritas no Quadro 4 a seguir:

Quadro 4: Escopo do Toxicologia Analítica



- Realização de análises toxicológicas no contexto das ocorrências policiais – Toxicologia Forense.
- Monitoramento terapêutico – determinação de fármacos em material biológico, correções de doses, efeitos adversos.
- Monitoramento biológico e químico em exposições ocupacionais e ambientais.
- Controle antidopagem em competições esportivas.

Fonte: Elaboração própria tendo como referência Azevedo (2010)

Fonte das imagens: Farmacêutico: <http://sequipe.com.br/site/noticias/detalhe/169/>

Químico: <http://www.bioforense.com.br/web/?product=toxicologia-forense>

Ao finalizar a leitura desta segunda edição temática de 2018, enfocando a Ciência Toxicológica e os aspectos históricos do seu desenvolvimento, os leitores e leitoras do JQI podem observar claramente o caráter interdisciplinar desta área do conhecimento com a ciência Química permeando amplamente vários contextos (técnicos, éticos, sociais, políticos, científicos, de saúde) destacados em *itálico e negrito* ao longo desta edição.

Esperamos, a partir desta leitura, motivar os professores e as professoras para explorar estas temáticas no processo de ensino-aprendizagem de Química, contextualizado e interdisciplinar, na perspectiva do desenvolvimento histórico das diversas áreas do conhecimento, com exemplos e estudos de casos permeando as discussões. Desta forma será possível despertar o interesse e a curiosidade dos estudantes e favorecer a participação mais efetiva dos mesmos como sujeitos ativos e responsáveis pela própria construção do conhecimento.

Charges e Tirinhas



Fonte: <https://br.sputniknews.com/charges/2018041010952022-douma-siria-ataque-quimico-investigacao/>



Fonte: <https://br.sputniknews.com/charges/2018040910943403-siria-douma-ataque-quimico-cloro-encenacao/>



Fonte: <http://domtotal.com/charge/1137/2015/04/crianca-siria-confunde-camera-fotografica-com-arma/>

Referências

- AZEVEDO, Fausto Antônio de. **A toxicologia e o futuro**. Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade, São Paulo, v. 3, nº3, 2010.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Manual de Defesa química, biológica, radiológica e nuclear nas operações**. Brasília, 2016. p.85.
- FRANÇA, T.C.C et al. Defesa química: uma nova disciplina no ensino de química. **Revista virtual de Química**, v. 2, n.2, p. 84-104, 2010.
- PORTUGAL. Convenção sobre a Proibição do Desenvolvimento, Produção, Armazenagem e Utilização de Armas Químicas e sobre sua Destruição. Versão portuguesa. Disponível em https://www.anpaq.mne.pt/images/CWC_vers%C3%A3o_portuguesa.pdf. Acesso em 17 de agosto de 2018.
- RTP Notícias. https://www.rtp.pt/noticias/mundo/armas-quimicas-tipos-e-efeitos_i1072214. Acesso em: 09 de agosto de 2018.
- SILVA, G. R. et al. **Defesa química: histórico, classificação dos agentes de guerra e ação dos neurotóxicos**. Revista Química Nova, v. 35, n.10, 2012.

Equipe Editorial

Editor Chefe:

- ❖ Jane Maria Gonçalves Laranjeira

Equipe de Edição:

- ❖ Caio César de Oliveira Vilela
- ❖ Djalma Alves de Oliveira
- ❖ Eunice Samara Rocha Chagas
- ❖ Herick Ribeiro Torres
- ❖ Ítalo Macêdo Gonçalves
- ❖ Julio Cesar da Silva
- ❖ Klebson Nelson da Silva
- ❖ Thais de Sá Tenorio