

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE QUÍMICA

GRACIANO PEREIRA PONTES

**ARMAS QUÍMICAS: POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DE UM TEMA  
CONTROVERSO NA ESCOLA BÁSICA**

RIO DE JANEIRO

2023

GRACIANO PEREIRA PONTES

**ARMAS QUÍMICAS: POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DE UM TEMA  
CONTROVERSO NA ESCOLA BÁSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Química apresentado ao Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Waldmir Nascimento de Araujo Neto

RIO DE JANEIRO

2023

GRACIANO PEREIRA PONTES

**ARMAS QUÍMICAS: POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DE UM TEMA  
CONTROVERSO NA ESCOLA BÁSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Licenciatura em Química apresentado ao  
Instituto de Química da Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, como requisito parcial à  
obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Waldmir Nascimento de Araújo Neto

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Waldmir Nascimento de Araujo Neto (UFRJ)

---

Prof. Dr. José Celestino de Barros Neto (UFRJ)

---

Prof. Dr. Felipe Vitorio Ribeiro - (UERJ)

Rio de Janeiro, 11 de dezembro de 2023.

Dedico este trabalho a todos aqueles que utilizam a arte de ensinar como ferramenta de transformação do mundo a sua volta, mudando o futuro de todos que buscam serem transformados pelo ensino.

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de tudo a Deus, concededor de todas as coisas. Aos meus pais e, especialmente, a minha amada mãe, que dedicou a sua vida para que eu pudesse estar entre os melhores. Obrigado Eliana, por tudo, sendo impossível enumerar e mensurar o que fizeste pelo teu filho.

À minha esposa Renata, pela paciência e apoio nessa caminhada. Muitos foram os momentos de ausência, estudando, deixando de participar dos momentos de lazer em diversos momentos. Mas havia um sonho a ser realizado e, sem o teu apoio, o objetivo não teria sido atingido.

Aos meus filhos, Raphael e Laura, que me fizeram mostrar o verdadeiro sentimento de amor. A caminhada foi longa, mas em vocês eu encontrei forças para continuar pensando no legado e no que deixaria para vocês dois.

Aos meus colegas de caserna e aos meus chefes, por acreditarem na minha capacidade. Seus incentivos, sugestões e questionamentos só fizeram com que eu prosseguisse em busca do cumprimento da missão. Vocês foram fundamentais na minha jornada, sendo o combustível para que eu chegasse ao objetivo final.

A todos os professores, que acreditaram nas minhas ideias e no meu potencial, a vocês o meu sincero agradecimento. O ensino é um agente de transformação, e eu sou um produto deste agente transformador. Lecionar é a arte de transformar vidas, convencendo-as de que só existe um único caminho, o saber. E este saber esclarece, emancipa, transforma e sem vocês, as vendas da escuridão, ignorância e falta de conhecimento continuariam cobrindo nossos olhos.

Esta jornada começou em 1996, na Unigranrio, passando pela UFRGS, UFRR, UERJ e UFRJ. Logo, foram muitos agentes de transformação que me ensinaram, lapidaram e sou muito grato a todos, guardando um pouco de cada um comigo.

Aos meus colegas companheiros de disciplinas cursadas, todos batalhadores e em busca dos seus sonhos. Muitas madrugadas foram passadas em claro, trocando conhecimento, tirando dúvidas, resoluções de exercícios, e principalmente nas disciplinas cursadas durante o PLE e EAD, e em especial aos professores Rodrigo Volcan, Ricardo Sposina e Lúcia Paiva, todos do Departamento de Bioquímica.

Houve um esforço sobrenatural, dos professores e alunos, para que as disciplinas fossem ministradas sem perder a qualidade e a excelência do Instituto de Química da UFRJ, durante a pandemia do coronavírus. Muitas vidas foram perdidas, pessoas próximas, alunos, professores, servidores, e estes jamais serão esquecidos.

Ao meu orientador, professor Waldmir Araújo Neto, **o nosso querido professor Barroco**, a quem tive a grata satisfação de assistir diversas disciplinas sob sua regência. Suas aulas nos trazem mais dúvidas e questionamentos, fazendo com que os alunos reflitam sobre a educação e os modelos atuais vigentes. Agradeço pela paciência e ajuda nesta última etapa da minha graduação.

Em especial aos professores Joaquim, a quem me recebeu em 2016, então coordenador do Curso de Licenciatura em Química. Eu, oriundo da segunda transferência ex-officio, vindo da Universidade Federal de Roraima, sendo-me dado todo o apoio e atenção, para que a minha matrícula fosse efetivada com o máximo aproveitamento das disciplinas cursadas, na UFRGS e UFRR.

Aos professores José Celestino de Barros Neto e Raoni Schroeder, do Departamento de Química Orgânica, e professoras Célia Regina Sousa da Silva e Priscila Tamiasso Martinhon que, no único momento em que pensei em desistir, no primeiro semestre de 2019, momento este que fiquei longe das aulas por quarenta e cinco dias, já que minha filha Laura, então com um ano e dez meses, encontrava-se internada, na UTI do Hospital Central do Exército, com a descoberta do quadro de Diabetes Mellitus tipo I, que me deram ânimo e apoio para terminar as disciplinas cursadas.

Só quem cursou Introdução a Química Quântica e Química Orgânica II sabem o quanto é difícil as disciplinas, nas “CNTP”, são. Acrescenta-se a essa dificuldade ter perdido aulas fundamentais por causa da enfermidade da minha amada filha. E mesmo assim obtive apoio, incondicional, para que obtivesse a aprovação e o prosseguimento do curso.

Ao professor Felipe Vitório Ribeiro, do CEDERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro e orientador do meu amigo de caserna Raphael Viana, que se prontificou a me ajudar dando algumas dicas sobre o trabalho final, obrigado pela consideração.

A professora Anita Ferreira do Vale, do Departamento de Bioquímica e Coordenadora do Curso de Licenciatura em Química, pelo “choque de ânimo” dado no final do curso, registro o meu sincero agradecimento.

Por fim, deixo o discurso de Theodore Roosevelt, na Sorbonne em Paris, França, no dia 23 de abril de 1910 intitulado como “Cidadania em uma República”, e popularmente conhecido como “O homem na Arena”:

*“Não é o crítico que importa; nem aquele que aponta onde foi que o homem tropeçou ou como o autor das façanhas poderia ter feito melhor. O crédito pertence ao homem que está por inteiro na arena da vida, cujo rosto está manchado de poeira, suor e sangue; que luta bravamente, que erra, que decepciona, porque não há esforço sem erros e decepções; mas que, na verdade, se empenha em seus feitos; que conhece o entusiasmo, as grandes paixões: que se entrega a uma causa digna; que, na melhor das hipóteses, conhece no final o triunfo da grande conquista e que, na pior, se fracassar, ao menos fracassa ousando grandemente. ”*

“As leis da guerra só funcionam em tempos de paz.”

## RESUMO

O desenvolvimento da sociedade contemporânea foi marcado por inúmeras inovações e mudanças significativas. Ao longo da história, a humanidade se adaptou e evoluiu em resposta a eventos como catástrofes naturais, pandemias, a descoberta de novos territórios, crises alimentares, conflitos bélicos e avanços científicos. Esses eventos influenciaram diretamente no desenvolvimento de medicamentos e no aumento da expectativa de vida. Paralelamente, o progresso da química desempenhou um papel crucial, oferecendo melhorias significativas em diversos setores, incluindo medicina, energia, tecnologia espacial, construção civil, eletrônica, indústria alimentícia e agricultura. A descoberta dos organofosforados, em particular, revolucionou a produção de alimentos, melhorando seu rendimento e durabilidade desde o cultivo até o consumo. No entanto, este avanço na química também trouxe desafios éticos e morais, uma vez que o conhecimento adquirido foi utilizado de maneira destrutiva na produção de agentes químicos de guerra, que causaram mortes e sofrimentos inimagináveis a homens, mulheres, crianças e animais. A guerra, que antes era caracterizada por combates físicos diretos, evoluiu para formas mais letais de confronto com o uso de pólvora, veículos blindados, artilharia e armas químicas. Estas últimas, em particular, causaram danos irreparáveis a pessoas, terras, plantações e fontes de água, além de um impacto psicológico devastador nos campos de batalha. Este estudo visa revisar os registros históricos da guerra química, abrangendo referências bíblicas, civilizações medievais, tribos indígenas, e culminando com o desenvolvimento e uso de gases como o cloro na Primeira Guerra Mundial e os organofosforados durante o Holocausto na Segunda Guerra Mundial. O objetivo é desenvolver um plano de aula que integre temas e conteúdos químicos relacionados às armas químicas, a serem abordados no ensino básico.

**Palavras-chave:** Agentes-químicos de guerra; guerra-química; organofosforados; armas químicas, escola básica.

## ABSTRACT

The development of contemporary society has been marked by numerous innovations and significant changes. Throughout history, humanity has adapted and evolved in response to events such as natural disasters, pandemics, the discovery of new territories, food crises, armed conflicts, and scientific advancements. These events have had a direct influence on the development of medicines and the increase in life expectancy. In parallel, the progress in chemistry has played a crucial role, offering significant improvements in various sectors, including medicine, energy, space technology, construction, electronics, the food industry, and agriculture. The discovery of organophosphates, in particular, revolutionized food production, enhancing its yield and durability from cultivation to consumption. However, this advancement in chemistry also brought ethical and moral challenges, as the acquired knowledge was destructively utilized in the production of chemical warfare agents, causing unimaginable deaths and suffering to men, women, children, and animals. Warfare, which was previously characterized by direct physical combat, evolved into more lethal forms of confrontation with the use of gunpowder, armoured vehicles, artillery, and chemical weapons. These latter, in particular, caused irreparable damage to people, lands, plantations, and water sources, as well as a devastating psychological impact on the battlefields. This study aims to review the historical records of chemical warfare, covering biblical references, medieval civilizations, indigenous tribes, and culminating with the development and use of gases like chlorine in World War I and organophosphates during the Holocaust in World War II. The objective is to develop a lesson plan that integrates chemical themes and content related to chemical weapons, to be addressed in basic education.

**Keywords:** Chemical warfare agents; chemical warfare; organophosphates; chemical weapons, basic school.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tratado da Pedra Filosofal e a arte da Alquimia, de Santo Tomás Aquino	18
Figura 2 – Paracelsus”	19
Figura 3 – The Alchymist, in Search of the Philosopher’s Stone	20
Figura 4 – Robert Boyle, de William Faithorne’s.	21
Figura 5 – The Sceptical Chymist, de Robert Boyle	21
Figura 6 – Óleo sobre tela de Antoine-Laurent Lavoisier e Marie Ann Lavoisier	22
Figura 7 – Traîté Élémentaire de Chimie. Antoine-Laurent Lavoisier	23
Figura 8 – O Fogo Grego	31
Figura 9 – Flor de Heléboro	32
Figura 10 – O Papiro de Ebers	33
Figura 11 – Homem Nukak (Makú) aplicando veneno (curare) nos dardos	34
Figura 12 – A morte de Estácio de Sá, ferido na Batalha de Uruçumirim	34
Figura 13 – Foto aérea da linha alemã no ataque em Ypres	36
Figura 14 – Soldado alemão abrindo o cilindro contendo agente químico	36
Figura 15 – Fritz Harber, o “Pai da Guerra Química”	37
Figura 16 – Fritz Harber chefiando o ataque em Ypres”	38
Figura 17 – Soldado sendo asfixiado por gás	38
Figura 18 – English gasbomb	39
Figura 19 – Soldado atirando granada de mão	39
Figura 20 – Dois soldados e sua mula	40
Figura 21 – Máscara “Véu Negro	41
Figura 22 – Soldados alemães na sua posição	41
Figura 23 – Máscara Hypo Helmut	42
Figura 24 – Projetor Livens inglês	43
Figura 25 – Projetor alemão	43
Figura 26 – Munição do projetor alemão	44
Figura 27 – Ataque com fosgênio na trincheira britânica em Fromelles (1916)	45
Figura 28 – Militares da 55ª Divisão Inglesa cegos por agente químico	47
Figura 29 – Gassed. Óleo sobre a tela de John Singer Sargent (1919)	47
Figura 30 – Militar ferido por agente químico de guerra	48

Figura 31 – Sargento Sawyer Spence do Queen´s Westminster Rifles	49
Figura 32 – Sargento Sawyer Spence do Queen´s Westminster Rifles	49
Figura 33 – Frente Ocidental (1915)	50
Figura 34 – Ampola contendo gás cloro	55
Figura 35 – Fosgênio e difosgênio	57
Figura 36 – Cartaz alertando sobre o fosgênio	58
Figura 37 – Gás mostarda “HD”	60
Figura 38 – Vítima do gás mostarda e suas queimaduras características	61
Figura 39 – Vesicação característica da ação das mostardas	62
Figura 40 – Vesicação característica da ação das mostardas	62
Figura 41 – Cartaz alertando sobre o gás mostarda	63
Figura 42 – Mostardas sulfuradas e nitrogenadas	63
Figura 43 – Fórmula estrutural da levisita	64
Figura 44 – Cartaz alertando sobre o “cheiro de gerânio” da levisita	64
Figura 45 – Zyklon B	66
Figura 46 – Aspecto físico do Zyklon B	67
Figura 47 – Interior de uma câmara de gás em Auschwitz-Birkenau	67
Figura 48 – Paredes arranhas por unhas no interior de uma câmara de gás em Auschwitz- Birkenau	68
Figura 49 – Estruturas dos agentes neurotóxicos	71
Figura 50 – Ataque dos agentes neurotóxicos nas sinapses nervosas	72
Figura 51 – Antídotos usados para o tratamento dos agentes neurotóxicos	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo operacional.....	26
Tabela 2 – Classificação .....	29
Tabela 3 – Uso de agentes químicos de Guerra na Frente Ocidental.....	50
Tabela 4 – Fórmulas estruturais e propriedades físicas dos agentes hemotóxicos...	69
Tabela 5 – Toxicidade estimada dos agentes neurotóxicos .....	71

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1</b> <b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b> <b>ARMAS QUÍMICAS</b> .....	<b>25</b>
2.1      Definição .....	25
2.2      Características.....	26
2.3      Classificação .....	27
2.4      Dosagem e terminologia toxicológica .....	30
<b>3</b> <b>USO DAS ARMAS QUÍMICAS</b> .....	<b>31</b>
3.1      Introdução .....	31
3.2      Desenvolvimento da indústria e da química no século XIX.....	35
3.3      A Primeira Guerra Mundial .....	35
3.4      O período entre guerras .....	51
3.5      A Segunda Guerra Mundial .....	52
<b>4</b> <b>PRINCIPAIS AGENTES QUÍMICOS UTILIZADOS NA 1ª E 2ª GUERRAS</b>	
<b>MUNDIAIS</b> .....	<b>54</b>
4.1      Introdução .....	54
4.1.1      Agentes sufocantes .....	54
4.1.1.1      Cloro .....	54
4.1.1.2      Fosgênio (CG) e difosgênio (DP) .....	56
4.1.2      Agentes vesicantes .....	58
4.1.2.1      Mostardas.....	59
4.1.2.2      Levisita .....	64
4.1.3      Agentes hemotóxicos .....	65
4.1.3.1      Cloreto de cianogênio (CK) .....	68
4.1.3.2      Ácido cianídrico ou cianeto de hidrogênio (AC).....	68
4.1.4      Agentes neurotóxicos .....	69
<b>5</b> <b>PROPOSTA DE AULA SOBRE ARMAS QUÍMICAS</b> .....	<b>74</b>
<b>6</b> <b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>82</b>

## INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, o homem sempre buscou formas de dominar e impor a sua vontade a outros povos e, para que esta dominação se concretizasse, foram utilizados pretextos que pudessem justificar a necessidade de conquistar territórios e recursos.

Citamos como exemplo, o caráter exploratório, o expansionista, o acúmulo de riquezas, a escravista, a religiosa, enfim, o homem sempre buscou a dominação de uma sociedade sobre a outra, organizada ou não, a fim de explorá-la economicamente, subjugando e impondo a sua vontade, religião, dogmas e costumes.

Para que suas aspirações se concretizassem, os povos buscavam diversos recursos e procuravam de alguma forma, utilizar a ciência, mesmo que rudimentar e desenvolvida até determinado momento da evolução, como aliada para que seus propósitos tivessem êxito.

Com a descoberta e o domínio do fogo, o homem deu um grande passo para a o seu desenvolvimento, pois ele conseguiu utilizar o fogo como aliado, na caça, na confecção de alimentos, construção de abrigos, iluminação, construção de armamentos, como lanças, lâminas, uso e manuseio de minerais, e da alquimia.

A guerra química provavelmente começou quando o homem, após descobrir o fogo, passou a utilizá-lo para defender-se dos animais e posteriormente, das tribos hostis. Flechas envenenadas, archotes acesos e fumaça tóxica foram usados muitas centenas de anos antes de Cristo.

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a história das armas químicas, desde as descobertas rudimentares na antiguidade e seu uso até a o desenvolvimento da pesquisa química e descoberta de novos elementos. Trabalhamos em nosso texto, por exemplo o uso do gás cloro como agente asfixiante, utilizado em larga escala na Primeira Guerra Mundial, a descoberta e desenvolvimento dos organofosforados e seu uso nas câmaras de gás da Segunda Guerra Mundial.

Tem-se como objetivo específico a proposição de uma atividade ou aula sobre “armas químicas”, colocando como questão um tema que se considera controverso e pouco mobilizado no ensino médio de química.

Procurou-se fazer uma revisão não sistemática, das diversas fontes existentes, como livros, artigos científicos e pesquisas, com o intuito de mostrar, além da

descoberta, o uso, as características, o mecanismo de ação, os efeitos, as formas de proteção e descontaminação dos principais agentes químicos de guerra e, no final, será proposto um plano de aula sobre o assunto "Armas Químicas".

O ensino de química nas escolas frequentemente foca em fundamentos e aplicações práticas, mas a introdução de temas controversos pode enriquecer significativamente a experiência educacional. Ao abordar assuntos que despertam debates éticos e morais, como o uso de armas químicas, o ensino de química se torna não apenas uma jornada de aprendizado técnico, mas também uma plataforma para discussões críticas sobre a responsabilidade científica e o impacto social da ciência (MAHAFFY, 2004).

Acreditamos que integrar temas controversos no currículo de química desafia os alunos a considerarem a ciência além do laboratório. Essa abordagem promove o desenvolvimento do pensamento crítico, à medida que os estudantes aprendem a avaliar as implicações éticas e morais das descobertas e inovações químicas. Discussões em sala de aula sobre temas polêmicos estimulam a curiosidade e o engajamento dos alunos, incentivando-os a formar suas próprias opiniões fundamentadas e a entender a importância do debate científico na sociedade (WILLIAMS, 2020).

O tema das "armas químicas" é um exemplo poderoso de como a química pode ser utilizada para fins destrutivos, levantando questões importantes sobre ética na ciência. Ao estudar a história e a composição das armas químicas, os alunos não apenas aprendem sobre aspectos técnicos da química orgânica e inorgânica, mas também se deparam com o impacto devastador que certos avanços científicos podem ter sobre a humanidade e o meio ambiente.

A discussão sobre armas químicas em sala de aula permite que os alunos explorem o papel dos cientistas na sociedade e a importância da ética científica. Eles podem examinar casos históricos, como o uso de gás mostarda na Primeira Guerra Mundial ou o ataque com gás sarin no metrô de Tóquio, para entender como decisões científicas podem ter consequências mortais. Esses estudos de caso proporcionam uma oportunidade para debater sobre a responsabilidade dos cientistas e a importância da regulamentação e controle no campo da química (RODDA *et. al.*, 2020).

Além disso, a discussão sobre armas químicas pode ser ampliada para incluir temas atuais e relevantes, como o desarmamento químico e os esforços

internacionais para controlar a proliferação de armas de destruição em massa. Isso permite que os alunos façam conexões entre o conteúdo aprendido em sala de aula e questões globais atuais, destacando a relevância da química no cenário mundial e a sua influência em políticas e tratados internacionais.

A integração de temas controversos, como as armas químicas, no ensino de química oferece uma abordagem mais holística e contextualizada da disciplina. Isso não apenas enriquece o conhecimento técnico dos alunos, mas também os prepara para serem cidadãos conscientes e críticos, capazes de compreender e questionar o papel da ciência e da tecnologia na sociedade contemporânea.

Contudo, o tema das armas químicas, quando abordado no contexto educacional, especialmente no ensino médio, requer uma abordagem cuidadosa e responsável. A complexidade e a sensibilidade deste assunto apresentam várias limitações que devem ser consideradas pelos educadores.

Primeiramente, a abordagem inadequada deste tema pode levar a uma glorificação inadvertida da guerra e da violência. As armas químicas, frequentemente associadas a conflitos globais e atos de terrorismo, carregam um histórico sombrio de morte e destruição. Sem uma contextualização apropriada, a discussão sobre essas armas pode inadvertidamente transmitir a mensagem de que a guerra é uma solução viável para conflitos internacionais, em vez de destacar suas consequências devastadoras.

Além disso, a falta de uma discussão crítica sobre as implicações éticas e morais do uso de armas químicas pode resultar em uma compreensão superficial do assunto pelos alunos. É crucial que a educação em torno deste tema não se limite aos aspectos técnicos e históricos, mas também explore as questões éticas profundas relacionadas ao seu uso. Sem isso, os estudantes podem não desenvolver uma compreensão integral da gravidade e da inumanidade representada pelo uso dessas armas.

Outra limitação é a possibilidade de causar ansiedade e medo entre os alunos. O tema das armas químicas é intrinsecamente ligado a cenários de guerra e terror, o que pode ser perturbador, especialmente para alunos mais jovens. É importante que os educadores sejam sensíveis a essas questões e criem um ambiente de aprendizado que permita aos alunos expressar suas preocupações e medos.

A discussão sobre armas químicas pode ser tecnicamente desafiadora e, sem a devida orientação, pode levar a mal-entendidos ou informações incorretas. A química por trás dessas armas é complexa e pode ser difícil de compreender sem um conhecimento básico sólido. Portanto, é essencial que os professores estejam bem preparados para explicar os conceitos de forma clara e acessível.

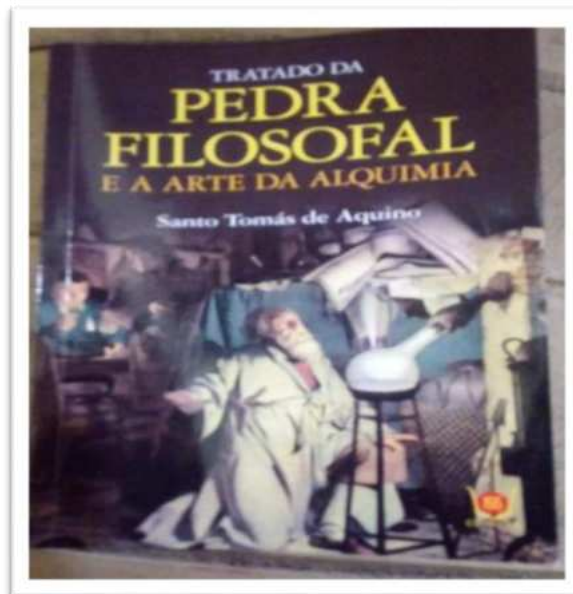
É importante considerar o contexto cultural e histórico da escola e dos alunos ao abordar este tema. Em regiões que sofreram com o uso de armas químicas, como em algumas partes do Oriente Médio, a discussão pode ser particularmente sensível. Professores devem estar cientes dessas nuances e adaptar sua abordagem para garantir que o tema seja tratado com o respeito e a seriedade que merece. Em suma, enquanto o tema das armas químicas pode ser uma adição valiosa ao currículo escolar, é essencial que seja abordado com cuidado, sensibilidade e uma compreensão profunda das suas complexas implicações éticas, técnicas e históricas.

## 1 DESENVOLVIMENTO

A alquimia possui um papel fundamental, no desenvolvimento da ciência e da humanidade. A evolução humana passa pela alquimia, e nela encontramos a necessidade de se descobrir o mundo a sua volta, desde os experimentos rudimentares, na tentativa de se obter a transmutação de qualquer metal em ouro, a chamada “pedra filosofal”, assim como a “panaceia universal”, ou seja, a descoberta da cura e vida eterna, com a participação de cientistas, médicos, filósofos e religiosos.

Podemos citar no século XIII, as obras do Padre italiano Tomás de Aquino (1225-1274) que, entre várias obras publicadas, acerca da ciência e alquimia, tem como escrita de sua autoria os intitulados “Tratado da Pedra Filosofal e a arte da Alquimia” (figura 1), além de “Aurora Consurgens”, sendo conhecido como o “Santo Alquimista”.

Figura 1 – Tratado da Pedra Filosofal e a arte da Alquimia, de Santo Tomás de Aquino



Fonte: o autor, 2022.

Não menos importante, citamos as descobertas do alquimista e médico suíço Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus Von Hohenheim, conhecido como “Paracelso” (Paracelsus), no século XVI (1493-1541). Paracelso (figura 2) rejeitou a concepção aristotélica, onde acreditava-se na ideia dos quatro elementos “terra, ar, água e fogo”, a fim de explicar a composição do universo, conceito defendido por

Empédocles (século V A.C), a teoria humoral galeana das doenças e do corpo, sendo o precursor no uso de elementos químicos, como enxofre, sal e mercúrio, a chamada “tria prima”, contribuindo para a medicina, toxicologia e posteriormente, para a evolução e desenvolvimento da farmacologia, criando assim a “Iatroquímica”. Paracelso, ficou conhecido pelo enunciado “A diferença entre remédio e um veneno está só na dosagem”.

Figura 2 – “Paracelsus”



Fonte: Wagner, 2019.

Ressaltamos a obra do alemão Henning Brand (figura 3) e sua contribuição para o desenvolvimento da química atual. Considerado como “O Último Alquimista”, viveu entre os anos de 1630 a 1710. Ele, na tentativa de se achar a “pedra filosofal” descobriu, em 1669, o elemento químico “Fósforo”, pois ao destilar uma quantidade expressiva de urina (cerca de cinquenta baldes), obteve um material branco que brilhava no escuro e ardia com uma chama brilhante, sendo o capaz de ler suas anotações, mesmo que no escuro. Assim, Brand deu o nome de “phosphorus”, que do grego phos (“luz”) e phoros (“o que dá”).

Henning Brand manteve a sua descoberta em segredo por aproximadamente seis anos, até que em 1675 mostrou seu experimento a amigos próximos, tornando-se notícia em Hamburgo. Para superar dificuldades financeiras, Brand vendeu uma quantidade de fósforo para o comerciante e alquimista alemão Johann Daniel Kraft.

Em 1677, por mediação de filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz, vendeu o segredo da produção em troca de um salário fixo.

Figura 3 – “The Alchemist, in Search of the Philosopher’s Stone”, de Joseph Wright of Derby (1771)



Fonte: Bria, 2020.

Neste período e, notoriamente, nos séculos XVII e XVIII, diversos outros cientistas renomados deram inúmeras contribuições para o desenvolvimento da ciência. Citamos as descobertas do físico, matemático, astrônomo, filósofo e também alquimista inglês Isaac Newton (1643-1727), o filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1746), que contribuíram significativamente, no campo da Física, Astronomia e Matemática.

Já o físico e alquimista irlandês Robert Boyle (1627-1691) fez importantes descobertas no campo da Física, especificamente no estudo do comportamento dos gases, como a “Lei de Boyle-Mariotte”, afirmando que “a temperatura constante para uma quantidade fixa de massa, a pressão absoluta e o volume de um gás são inversamente proporcionais”, ou ainda que “o produto entre a pressão e o volume de um gás é sempre constante” ( $p \times v = K$ ), contribuindo para o avanço na teoria cinética dos gases, além de diversas contribuições no campo da Química.

Robert Boyle, com sua notada contribuição, metodologia e descobertas, é considerado como o fundador da Química, como ciência, já que ele refutava o trabalho dos alquimistas, sem métodos experimentais definidos, com base no empirismo e assim procurou negar qualquer explicação mágica para os fenômenos naturais, sendo

conhecido como pela introdução do uso do “método científico”, já que as hipóteses precisam ser comprovadas cientificamente.

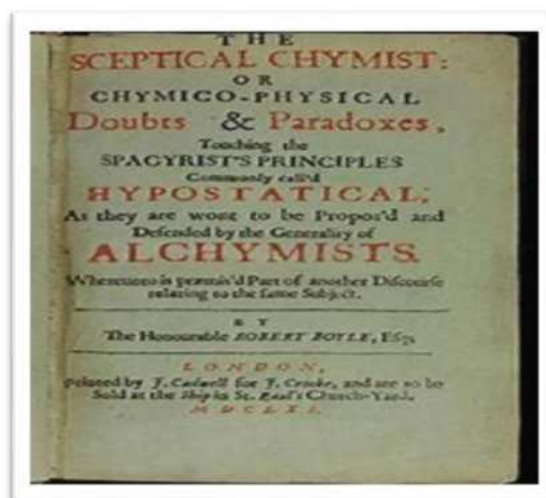
Figura 4 – Robert Boyle, de William Faithorne's



Fonte: Sutherland Collection, Ashmolean Museum, Oxford, 1664.

Robert Boyle publicou, em 1661, o livro “The Sceptical Chymist” - O Químico Cético, ( figura 5), procurando mudar a interpretação da Química, buscando refutar as concepções dos alquimistas e seus ensinamentos, sobre a teoria da transmutação dos metais, sendo o primeiro a citar o conceito de “elemento químico”. Robert Boyle eliminou o prefixo “alchemy”, sendo esse campo de estudo a ser denominado de Química, com uma clareza de métodos para ser considerada como ciência.

Figura 5 – The Sceptical Chymist, de Robert Boyle (1661)



Fonte: Digital Library India, 2017.

Com o avanço da Química como ciência, no século XVIII, houve a necessidade da modernização dos métodos até então desenvolvidos, já que a mesma se encontrava em transição para as descobertas mais precisas, derrubando antigas ideias e descobrindo novas teorias.

Havia a busca da necessidade de se medir os experimentos, a invenção de novos equipamentos e técnicas e, neste momento histórico, surge o francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794).

Lavoisier (figura 6) inaugura uma nova era da Química, com medições mais precisas, utilização de novas técnicas e instrumentos, como a balança de pratos, descobertas de trinta e três novos elementos químicos, a refutação de antigas teorias, como a “teoria do flogisto”, do químico alemão George Ernst Stahl, o papel do oxigênio na combustão, da composição da água, com o hidrogênio e oxigênio, em proporção definida, refutando a ideia de a água ser uma substância indivisível.

Um dos seus principais enunciados, conhecido como a “Lei da conservação das massas”, formulado após experimentos com calcinação de metais, em 1774, resumidamente, é:

“Em um sistema fechado, a massa dos reagentes de uma reação química é igual à massa dos produtos. ”

Figura 6 – Óleo sobre tela de Antoine-Laurent Lavoisier e Marie Ann Lavoisier



Fonte: Jaques - Louis David, 1788.

Pode-se afirmar que Lavoisier deu o pontapé inicial para o desenvolvimento da química moderna, ao trazer os experimentos químicos ao nível da química quantitativa. Uma das suas principais publicações, o Tratado Elementar da Química (Traité Élémentaire de Chimie – 1789, figura 7), fornecia uma nomenclatura moderna para elementos químicos, sendo importante no desenvolvimento da química como ciência, já que a alquimia usava uma linguagem obscura para referir-se aos elementos.

Figura 7 – Traité Élémentaire de Chimie. Antoine-Laurent Lavoisier (1789)



Fonte: Librairie Le Feu Follet, 2022.

No século XVIII, durante o período da Revolução Industrial, houve uma evolução dos meios de produção e modernização da indústria europeia, desencadeadas pelo desenvolvimento da ciência e tecnologia que, antes, rudimentares, abriu espaço para novos meios de produção e pesquisa científica.

Com isso, houve um significativo avanço nas descobertas científicas, com destaque na química e na física, descoberta de novos elementos químicos, síntese de novos compostos e suas propriedades e, surgindo neste ínterim, a Primeira Guerra Mundial.

A Primeira Guerra Mundial foi o conflito ocorrido na Europa, entre os países da Tríplice Aliança, sendo este um pacto militar entre a Alemanha, Império Austro-Húngaro e Itália, contra os países da Tríplice Entente, aliança formada por Rússia, França e o Reino Unido, durante os anos de 1914 a 1918, que causou a destruição de grande parte da Europa, e a morte de aproximadamente 8 a 10 milhões de

soldados, com outros 21 milhões de feridos, além de cerca de 13 milhões de civis que tiveram as suas vidas ceifadas com os horrores da Primeira Grande Guerra.

## 2 ARMAS QUÍMICAS

### 2.1 Definição

Os agentes químicos de guerra são definidos como quaisquer substâncias químicas cujas propriedades tóxicas são utilizadas com a finalidade de matar, ferir ou incapacitar o inimigo na guerra ou em operações (COLASSO, 2017).

A Agência Central de Inteligência Americana (CIA) define ainda armas químicas como “produtos químicos sejam eles gasosos, líquidos ou sólidos que apresentam interesse bélico ou terrorista devido aos seus efeitos tóxicos diretos sobre o homem, animais e plantas”.

As armas químicas podem, através da sua exposição e uso, causar a morte, perda temporária de funções vitais ou prejuízo permanente devido o contato, seja ele humano ou animal, salientando que tanto o agente lançador ou quem sofreu o ataque, possam ser vítimas das sequelas do agente químico de guerra.

As armas químicas são, por sua natureza, especificidade, concentração e exposição, substâncias mais ou menos tóxicas, com alto ou baixo grau de letalidade e nocividade aos processos biológicos. Produz nos seres vivos notáveis efeitos fisiológicos, sejam eles de caráter temporário, permanente ou até mesmo letal.

As armas químicas, tendo em vista o seu potencial lesivo, são classificadas como “armas de destruição em massa”, juntamente com as armas biológicas, radiológicas e nucleares, tendo em vista possuírem a capacidade de matarem grandes contingentes populacionais, em áreas densamente povoadas, e num curto espaço de tempo.

As armas químicas podem ser utilizadas de várias maneiras, sejam para fins táticos, visando a interdição de um determinado local, a iluminação de uma posição, para o atraso do deslocamento de uma tropa, ou a sua eliminação, causar impacto psicológico, a sinalização de uma área de pouso e extração, ou até para o controle de distúrbios.

O uso das armas químicas traz vantagens táticas a quem a utiliza, porém requer o uso de equipamentos específicos, no teatro de operações, seja para a proteção, detecção e descontaminação, sendo o adestramento da tropa fundamental para o êxito do seu emprego.

As armas químicas, assim como as armas biológicas, pela facilidade da sua produção, embora exista a necessidade de se ter um mínimo conhecimento científico, aliada ao seu baixo custo de produção são consideradas junto com as armas biológicas, como “a bomba atômica dos pobres”, já que países de menor poder econômico e restrito parque industrial, são capazes de produzir, estocar e camuflar a sua armazenagem, em detrimento das armas nucleares, onde há necessidade de um maior aparato tecnológico, domínio da ciência aplicada ao enriquecimento do material atômico a ser utilizado nas ogivas nucleares, e maior dificuldade de se obter matéria-prima para a confecção das ditas ogivas nucleares.

Tabela 1 – Custo operacional

Armas	Custo de operação em larga escala contra civis (U\$/km <sup>2</sup> )
Convencionais	2000
Nucleares	800
Químicas	600
Biológicas	1

Fonte: Barros, 2018.

## 2.2 Características

Para um determinado composto ou substância possa ser utilizada como agente químico de guerra, precisa atender a alguns requisitos. Desta forma, o agente químico de guerra poderá ser empregado como arma química, de maneira eficiente, já que poderá obter o êxito desejado.

Sendo assim, é desejável que o composto:

- a) seja de fácil produção e, na medida do possível, ser fabricado em larga escala;
- b) eficiente em baixas dosagens, ao ser aplicado ou exposto ao inimigo;
- c) possua fácil dispersão no campo de batalha ou em outros locais ou, ainda, de fácil disseminação quando aplicada em condições adversas;
- d) seja estável quando armazenado, não se decompondo desde o processo de confecção, envase, armazenamento e utilização;
- e) a proteção contra a sua ação seja difícil, ou custosa.

Durante o processo de pesquisa e desenvolvimento de um agente químico de guerra, são realizados diversos testes, sejam eles químicos, físicos, biológicos, psicológicos, ergométricos e antropométricos, a fim de ser testada a efetividade da substância a ser utilizada, sua letalidade, viabilidade do uso no campo de batalha.

Os estudos químicos são relativos à síntese, decomposição e a viabilidade de fabricação, o processo de descontaminação. Os estudos físicos são relativos à armazenagem e transporte dos agentes químicos, verificando a melhor forma de armazenagem, estocagem e transporte.

Os estudos biológicos levam em conta a ação nos organismos vivos, a que serão submetidos os agentes químicos, a dosagem mínima letal, a concentração de utilização, a cadeia biológica a ser afetada, assim como impactos nas gerações futuras.

Os estudos psicológicos visam avaliar qual seria o impacto psicológico que um determinado indivíduo ou uma determinada população poderá sofrer, ou sua reação ao confinamento para o tratamento.

Os estudos antropométricos e ergométricos visam determinar os impactos relativos ao uso contínuo de proteção individual, como máscaras e roupas especiais, salientando que tais estudos visam estudar os impactos na população submetida ao agente químico de guerra, ao combatente que irá realizar o ataque, ao combatente que deverá estar preparado para se defender do ataque, à equipe médica que irá tratar os feridos, e a equipe de detecção e descontaminação.

Enfim, deve-se estudar toda a gama de possibilidades que possam estar envolvidas na cadeia de eventos do possível ataque químico, e os impactos relativos a curto, médio e longo prazo, além dos fatores ambientais, relativos à fauna e flora e hídricos.

### 2.3 Classificação

Os agentes químicos de guerra podem ser utilizados para várias finalidades, de diversas formas, serem de diversos tipos, possuindo diferentes estados físicos. Desde os fumígenos, utilizados em recipientes tipo cápsula sob pressão, a fim de camuflarem ou sinalizarem uma posição, ao gás SARIN, armazenado nas granadas de artilharia e munições dos jatos da aviação iraquiana utilizadas a mando do Saddam Hussein no ataque a população curda, em 1988, ao NAPALM, que é uma mistura

viscosa de composta de Benzeno ( $C_6H_6$ ) e Poliestireno ( $(C_8H_8)_n$ ), onde sua queima ultrapassa os mil graus celsius, e amplamente utilizado na guerra do Vietnã.

Os agentes químicos podem possuir diversos estados físicos, e com diversas finalidades na sua utilização, lembrando que seu mecanismo de ação difere, dependendo do seu uso, e que nem todos são utilizados para o envenenamento e eliminação de vidas, de animais ou plantações.

Quanto ao estado físico, os agentes químicos podem ser classificados em sólidos, líquidos e gasosos ou ainda podem ser divididos em gases, incendiários ou fumígenos.

Os gases são todos os vapores, mais leves ou mais pesados que o ar, que são empregados contra pessoal e produzem efeitos tóxicos. Os incendiários são os agentes que geram altas temperaturas, provocando incêndios em materiais combustíveis.

Os fumígenos são aqueles que utilizando o processo de queima, de hidrólise ou de condensação produzem fumaça ou neblinas.

Com relação à classificação tática, os agentes químicos podem ser classificados em causadores de baixa, inquietantes, incapacitantes e fumígenos.

São causadores de baixa os agentes que, por seus efeitos sobre o organismo humano, produzem a morte ou a incapacitação prolongada. Os agentes persistentes desse grupo são utilizados, também, para interditar o uso ou emprego do terreno e de material pelo temor da contaminação e conseqüentemente dos efeitos sobre o pessoal que entrar em contato com os mesmos.

Os inquietantes são os agentes de efeitos leves e temporários, porém desagradáveis, que diminuem a capacidade combativa do atacado, ou que o obriga para evitá-la, ao uso da máscara, o que, também diminui sua capacidade de combate.

Por outro lado, os agentes incapacitantes agem sobre as funções psíquicas do homem ocasionando desordem muscular e perturbações mentais são produtos de ação reversível, cessando sua ação dentro de horas ou dias, após a exposição.

Os agentes fumígenos são divididos em fumígenos de cobertura e fumígenos de sinalização. Os de cobertura são empregados normalmente para cobrir com fumaça, movimentos de tropa, pontos vitais, instalações importantes, interferindo com a observação e reduzindo a eficácia dos tiros do inimigo. Os fumígenos de sinalização empregados em operações de desembarque em praias, travessia de cursos d'água,

regulação de tiros de artilharia e operações aeroterrestres, a fim de demarcarem uma determinada posição.

Com relação aos agentes incendiários, estes são empregados para provocar incêndios em instalações e materiais, ou para atacar pessoal pelo fogo. Podem ser intensivos, gerando altas temperaturas sobre áreas limitadas, ou extensivos, que produzem menores temperaturas com um maior alcance em extensão de área.

Tabela 2 – Classificação

<b>Classificação</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
Emprego Fisiológico	Neurotóxicos	Atuam sobre o sistema nervoso
	Vesicantes	Causam queimadura química por contato
	Hemotóxicos	Atrapalham o processo de respiração celular
	Sufocantes	Agem no sistema respiratório
	Vomitivos	Irritam as vias aéreas superiores
	Lacrimogênicos	Irritam as mucosas dos olhos
	Psicoquímicos	Atuam sobre as funções mentais
Emprego Tático	Causadores de baixas	Causam morte ou lesão permanente
	Inquietantes	Causam irritação sensorial
	Incapacitantes	Trazem confusão mental
Persistência	Persistentes	Ficam no ambiente por longo tempo (meia vida longa)
	Não Persistentes	Dispersam rapidamente no ambiente

Fonte: Silva *et al.*, 2012.

## 2.4 Dosagem e terminologia toxicológica

Quando se estudam os agentes químicos, é importante entender os efeitos perigosos destes agentes para o ser humano e demais animais. As terminologias toxicológicas básicas principais para armas químicas são as seguintes (COLASSO, 2018):

- LD<sub>50</sub>: dose letal 50, ou dose letal mediana, é a quantidade de um composto químico que quando aplicado diretamente sobre os organismos de prova, é considerado fatal para 50% de tais organismos submetidos às condições estabelecidas para a prova e por qualquer rota fora da rota de inalação. Em geral a LD<sub>50</sub> é expressa em miligramas ou gramas de substância por quilograma de peso do organismo (mg/kg ou g/kg). Estes dados são usados para estabelecer o grau de toxicidade da substância para o homem.

- LC<sub>50</sub>: concentração letal 50, ou concentração letal mediana, é a concentração de um material no ar (suspenso no ar) considerada capaz de causar a morte 50% do grupo de animais de prova quando se administra com uma só exposição em um intervalo específico, normalmente uma hora, por inalação. A LC<sub>50</sub> é expressa por partes de substância por milhão de partes de ar, em volume (ppm) para gases e vapores e em miligramas de material por litro de ar (mg/dm<sup>3</sup>) para pós e névoas.

- VLU: valor limite de exposição (TLV Threshold Limit Value), se refere às concentrações das substâncias suspensas no ar e representa as condições e concentrações abaixo das quais se acredita que quase nenhum dos indivíduos expostos repetidamente apresentará efeitos adversos à saúde.

- LCt<sub>50</sub>: posologia incapacitante mediana, é a concentração de um agente químico vezes a duração da exposição, que afetará 50% de uma população exposta ao agente químico de guerra ou substância.

### 3 USO DAS ARMAS QUÍMICAS

#### 3.1 Introdução

Existem vários registros onde se é possível notar que o homem, através do domínio, mesmo que rudimentar, dos meios existentes, utilizou da tecnologia e ciência para determinados fins, sejam eles pacíficos ou não, obtendo-se relatos sobre a utilização de substâncias tóxicas nas caçadas, assassinatos e misturas incendiárias.

Registros históricos apontam que o homem primitivo utilizava diversas substâncias encontradas na natureza como agentes químicos de guerra, sendo encontrados relatos em textos de pesquisadores da Idade Antiga e Idade Média, sobre o uso de raízes como venenos, contaminação de aquíferos, venenos em ponta de flechas, uso de substâncias incendiárias e óleos ferventes relatados na Bíblia, e demais elementos e substâncias pesquisadas por alquimistas.

Inicialmente utilizadas pelos bizantinos, o chamado “Fogo Grego”, invenção do arquiteto Calínico de Heliópolis (figura 8), que consistia numa mistura de enxofre, betume e petróleo, sendo citada também, em outras fontes, como uma mistura de nafta, enxofre, resina de pinheiro e cal, era capaz de incendiar navios e de não ser extinto quando se tentava apagá-lo jogando água.

Figura 8 – O Fogo Grego



Fonte: Bria, 2020.

O “Fogo Grego” foi uma arma incendiária usada pela marinha bizantina, que o usavam em batalhas navais para maior efetividade, pois ele podia continuar queimando ao flutuar na água. A arma era uma vantagem tecnológica e foi

responsável por muitas vitórias militares bizantinas importantes, notadamente na salvação de Constantinopla do cerco dos árabes, assegurando assim a sobrevivência do império, nos séculos VIII e IX.

O “Sítio de Délio” pode ser considerado o precursor do lança-chamas, e consistia em um tronco de árvore oco, cuja extremidade inferior era adaptado um recipiente cheio de carvão inflamado, enxofre (sob a forma de anidrido sulfuroso), pez e panos. Uma espécie de fole lançava o material inflamado, sob a forma de jatos provocando incêndios nas fortificações inimigas, auxiliando os sitiados a conquista da cidade. Foi utilizado durante a Guerra do Peloponeso, entre Atenas e Esparta (431 a 404 AC).

Ainda como exemplo do uso das armas químicas, citamos os assassinatos por envenenamento, utilizando uma herbácea pertencente à família Ranunculaceae, a “*Helleborus orientalis*” (figura 9), que do grego significa “comida mortal”, nativa da Grécia e Turquia, sendo uma planta com flores grandes, na cor branca, rosa ou rosa-roxo com estames amarelos, altamente venenosa.

Seu veneno era utilizado em arcos e flechas como meio de abater inimigos, provocando alergias, como espirros e, dependendo da toxicidade e quantidade, levavam a óbito. Se consumido o seu caule, folha e raízes, causavam vômitos, diarreia além de possuir o efeito abortivo (COLASSO, 2018).

Figura 9 – Flor de Heléboro



Fonte: Mundo Ecologia, 2022.

Dentre os registros científicos do uso da ciência, medicina, toxicologia, e do conhecimento da química rudimentar, o “Papiro de Ebers” é um dos mais notadamente conhecidos (figura 10). Sendo escrito no Egito Antigo, e datado por volta 1550 A.C, foi

descoberto com os restos mortais de uma múmia, próximo a Tebas, cidade do Antigo Egito, localizada ao sul de Alexandria, em 1862, sendo adquirido pelo egiptólogo alemão Georg Ebers, em 1872.

Nele, são descritas inúmeras substâncias tóxicas obtidas de fontes vegetais como o ópio, além aproximadamente setecentas fórmulas medicinais, incluindo diversas substâncias, cujos insumos muitas vezes são usados até hoje, como o analgésico feito com casca de salgueiro, rico em salicina precursora do ácido acetil salicílico.

Figura 10 – O Papiro de Ebers



Fonte: World History Encyclopedia, 2022.

Nas Américas, onde existiam vários povos indígenas, espalhando-se da América do Norte, América Central e da América do Sul, têm na sua cultura a utilização de um preparo de plantas com propriedades tóxicas para a guerra e caça (figura 11). Esse preparo, denominado de “Curare”, que é uma mistura de plantas pertencentes às famílias das Loganeáceas e Menispermáceas, sendo utilizados na ponta das flechas, lanças e zarabatanas, causando a morte do animal ou oponente por paralisia muscular (GAUDÊNCIO, 2020).

No Brasil Colônia, durante o século XVI, os índios Tupinambás, desenvolveram uma forma rudimentar de gás lacrimogêneo, através da queima da pimenta, cuja fumaça era utilizada para forçar seus inimigos a sair dos postos onde os mesmos se encontravam, favorecendo assim a vitória indígena (AMORIM *et. al.*, 2014 *apud* PALHARES, 2004; SILVA *et. al.*, 2012).

Na América Central, existem relatos históricos da seiva da árvore mancenilheira “*Hippomane mancinella*” ter sido utilizada como veneno para flechas, sendo a causa

da morte do espanhol Juan Ponce de León, o primeiro governador de Porto Rico, que recebeu uma flechada na tentativa de conquistar a costa da Florida, em 1521. Esta árvore, considerada a mais mortal do mundo, é nativa da Florida (EUA) e costa caribenha, chegando no litoral da Colômbia e Venezuela. Há relatos de que nativos a utilizavam para tortura, amarrando seus inimigos e invasores europeus em baixo dos galhos e troncos, esperando as chuvas que iriam dissolver a seiva, intoxicando as vítimas.

Figura 11 – Homem Nukak (Makú) aplicando veneno (curare) nos dardos



Fonte: Soentgen *et al.*, 2016.

Um exemplo de como as armas químicas foram empregadas na História do Brasil, citamos também a morte de Estácio de Sá, ocorrida em 1567, na Batalha do Uruçumirim, atual praia do Flamengo. Estácio de Sá acabou atingido por uma flecha envenenada (figura 12), próximo de onde encontra-se hoje o Outeiro da Glória, falecendo em 20 de fevereiro de 1567, dando fim a França Antártica e a expulsão dos franceses da cidade do Rio de Janeiro.

Figura 12 – A morte de Estácio de Sá, ferido na Batalha de Uruçumirim, (óleo sobre tela de 1911)



Fonte: Museu Antônio Parreiras - Niterói, 2022.

Temos registrado na história uma infinidade de acontecimentos onde o emprego da alquimia e do conhecimento rudimentar sobre a natureza, seus elementos e propriedades foi utilizado, de certa forma, como uma arma química.

### 3.2 Desenvolvimento da indústria e da química no século XIX

Com o desenvolvimento da química, como ciência, atrelada ao desenvolvimento da indústria no século XIX, surgiram propostas para o uso de armas químicas, em conflitos que antecederam a Primeira Guerra Mundial.

Na guerra da Criméia (1853-1856) houve a proposta para o uso de bombas contendo compostos organoarsênicos, e durante a Guerra Civil Americana (1861-1865), foi proposto o uso de projéteis contendo cloro (FARIAS, 2017).

Na França, em 1912, foi utilizado o bromoacetato de etila, um conhecido agente lacrimogênico, dentro de granadas, para a captura de assaltantes de banco, sendo o agente químico que facilitaria a captura dos meliantes, que se abrigavam em casamatas e cavernas (FARIAS, 2017).

Do ponto de vista histórico do uso de agentes químicos de guerra, citamos a preocupação do uso das nações em evitar emprego de munições com substâncias químicas venenosas. Assim, em 1675, França e Alemanha assinaram o Tratado de Estrasburgo, que estabelecia que nenhuma das ditas nações empregaria munições com substâncias químicas venenosas.

### 3.3 A Primeira Guerra Mundial

A Primeira Guerra Mundial foi, de longe, o conflito onde as armas químicas foram, de fato, mais empregadas, dada a descoberta de novos elementos, a modernização industrial que ocorria na época da guerra, novos métodos de fabricação, a necessidade da indústria de voltar sua produção para os países em conflito, e o emprego no teatro de operações europeu de todo o aparato tecnológico em desenvolvimento.

O primeiro emprego, em larga escala da guerra química, foi o uso do gás cloro pelos alemães na região de Ypres, na Bélgica, em abril de 1915, onde aproximadamente quinze mil militares foram vítimas diretamente do ataque, sendo que cerca de cinco mil soldados vítimas fatais atingidos diretamente pelo lançamento

de cerca de cento e sessenta e oito toneladas de gás cloro, armazenados em mil e seiscentos grandes cilindros de gás, e quatro mil cento e trinta pequenos cilindros de gás (FARIAS, 2017).

O ataque cobriu uma frente de aproximadamente seis quilômetros de extensão, sendo o ataque executado pelo Regimento Trinta e Cinco, do Exército Alemão, tendo sido iniciado por volta das dezessete horas, momento em que as condições climáticas favoreciam a abertura dos cilindros contendo o gás cloro.

Figura 13 – Foto aérea da linha alemã no ataque em Ypres (1915)



Fonte: Bria 2020.

Pela aparência de nuvem cinza esverdeada que o gás cloro adquiria (figura 13), espalhando-se sobre o solo, seus contornos e penetrando nas trincheiras junto com seus efeitos asfixiantes, trazendo agonia nas linhas de frente dos campos de batalha, a nuvem de gás cloro ficou conhecida como o “sopro do dragão”.

Figura 14 – Soldado alemão abrindo o cilindro contendo agente químico



Fonte: Ensinando História, 2018.

O ataque não obteve maior êxito tendo em vista o descrédito do Exército Alemão, em relação à efetividade do ataque, já que foram realizados anteriormente, testes com o brometo de xilila, utilizado como agente lacrimogêneo, na Polônia, em janeiro de 1915 contra os russos. Porém, a condição climática do ataque, com o intenso frio e somado a baixa volatilidade do agente químico, fez com que os chefes militares se opusessem contra o uso dos agentes químicos de guerra, tendo em vista a sua baixa efetividade.

Posteriormente, os ingleses também realizaram ataques sendo ao todo cerca de cem mil soldados mortos por armas químicas, como o gás cloro, o gás fosgênio e o gás mostarda, no decorrer da Primeira Guerra Mundial, de ambos os lados.

Figura 15 – Fritz Harber, o “Pai da Guerra Química”



Fonte: Nascimento *et al.*, 2021.

Fritz Harber, (1868-1934), o notável químico polonês que ganhou o Prêmio Nobel de Química em 1918 (figura 15), por suas contribuições nos estudos relativos à síntese da amônia a partir da reação  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ , importante para o uso de fertilizantes na agricultura, criou o Departamento de Guerra Química da Alemanha, e citado por diversas vezes como o “Pai da Guerra Química”, chefiou diretamente o ataque em Ypres, na Bélgica.

Figura 16 – Fritz Harber chefiando o ataque em Ypres”



Fonte: Bria, 2020.

Com o ataque em Ypres, os aliados foram obrigados a desenvolver novas tecnologias, a fim de empregá-las no teatro de operações, na mesma proporção para atacar as tropas alemães desdobradas no terreno. Assim, em setembro de 1915, os britânicos despejaram aproximadamente cento e quarenta toneladas do gás cloro sobre o inimigo entrincheirado, na região de Loos, na França.

Figura 17 – Soldado sendo asfiziado por gás (1915)



Fonte: Everett Collection Historical, 2023.

Porém o ataque não surtiu o efeito esperado, já que as condições climáticas mudaram, fazendo com que o vento levasse o gás cloro para o lado da tropa britânica,

totalizando cerca de duas mil e quinhentas baixas, que só não foram maiores devido ao uso das máscaras já desenvolvidas conforme o desenrolar da guerra química.

Desta forma, os britânicos desenvolveram um novo tipo de ataque com o gás cloro, sendo armazenados em granadas de mão e com maior precisão (figura 18), lançando um ataque na frente ocidental contra as posições alemãs.

Figura 18 – English gasbomb (1915)



Fonte: Christoph Herrmann, 2023.

Essa nova forma de ataque permitia o alcance a longas distâncias e com maior precisão, diminuindo a probabilidade de erros em relação a direção do vento, aumentando significativamente o poder letal do gás cloro como agente químico de guerra.

Figura 19 – Soldado atirando granada de mão (1915)



Fonte: Revista Carta Capital, 2018.

Após a batalha de Loos na frente ocidental, a guerra foi marcada pelo acelerado desenvolvimento de técnicas ofensivas e defensivas, tanto pelo lado alemão, quanto pelo lado dos países aliados.

De forma acelerada, máscaras contra gases e novos filtros foram criados, além de novos agentes químicos de guerra, com novas características e peculiaridades: não ficassem retidos nos filtros das máscaras, destruindo-os ou saturando-os, fossem de fácil penetração nas vestes militares, possuísem uma fácil absorção pela pele, ou toda e qualquer parte exposta pelo militar em campanha, além de um alto poder de toxicidade.

Com o uso frequente dos agentes químicos de guerra, houve a necessidade, tanto do lado dos aliados quanto dos alemães, de utilizarem seu parque industrial como indústria voltada para a guerra. Os países voltaram-se para o desenvolvimento e produção de materiais de emprego militar.

Foi essencial pensar na proteção do soldado no campo de batalha, e de equipá-lo com algo que lhe dessem proteção, pelo menos inicialmente, ao primeiro sinal de ataque com gás, além da população civil dos países onde se travava a guerra de trincheiras. Idosos, mulheres e crianças, também foram expostas aos horrores da guerra e suas consequências, sendo também fundamental pensar na proteção da população civil, além dos animais (figura 20).

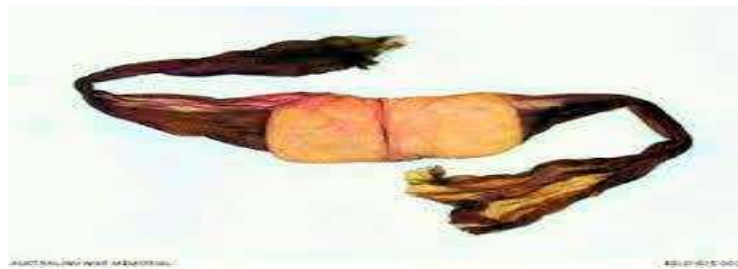
Figura 20 – Dois soldados e sua mula



Fonte: Farias, 2017.

Assim, surgiram as primeiras máscaras contra gases, utilizadas pelos civis, combatentes, e animais que os apoiavam no campo de batalha. Inicialmente, foram utilizadas as máscaras conhecidas como “Véu Negro” (figura 21), criada pelo fisiologista escocês John Scott Haldane (1860-1936), que consistia numa espécie de esponja ou almofada banhada em solução alcalina composta de hipossulfito de sódio com glicerina, que protegia inicialmente contra o ataque com gás cloro, ou banhada também com bicarbonato de sódio, sobrepostas ao nariz e a boca.

Figura 21 – Máscara “Véu Negro”



Fonte: Australian War Memorial, 2021.

O carvão ativado foi o principal material adsorvente utilizado nas máscaras produzidas, tanto pela indústria alemã quanto pelos aliados. Porém, o carvão ativado não era muito eficiente para uso com gases mais voláteis, como o fosgênio e o difosgênio, já que era necessário além de adsorver o gás, degradá-lo em produtos menos tóxicos. Para isso, foram utilizados agentes oxidantes como o permanganato de potássio, nos filtros das máscaras.

Figura 22 – Soldados alemães na sua posição



Fonte: Otto Bettmann Archive Foundation, 1936.

Foram desenvolvidos vários modelos, como os Hypo Helmut (figura 23), os britânicos P e PH, os modelos franceses M-2 e Tissot, além dos modelos americano e alemão.

Figura 23 – Máscara Hypo Helmut



Fonte: Otto Bettmann Archive Foundation, 1936.

Com a superioridade alemã demonstrada durante a guerra, e de forma a contrapor-se a guerra química alemã bastante desenvolvida, os ingleses procuraram recrutar homens com experiência na indústria química, como químicos ou aqueles com alguma experiência na indústria, sendo os primeiros a formarem Unidades especializadas em guerra química no mundo, além dos alemães (FARIAS, 2017).

Estas primeiras unidades, com cerca de mil e quatrocentos homens, foram chefiadas inicialmente pelo Tenente-Coronel Charles Folkes, que trabalharam para desenvolver e aplicar tecnologias capazes de superar, ou igualar o poderio alemão na guerra química, sendo uma das contribuições aliadas para o desenvolvimento desta nova modalidade de Guerra “o Projeter”.

“O Projeter” (figura 24) era uma espécie de tubo fixado numa escavação, em terra ou estrutura de argamassa capaz de lançar, a longas distâncias, cilindros contendo agentes químicos de guerra.

Dentro do tubo era inserida uma pequena carga explosiva para projetar o cilindro contendo gás (figura 28), e uma pequena corda que rompia o lacre do cilindro lançado. Assim, o gás era liberado durante lançamento, caindo em terreno inimigo

liberando todo seu conteúdo, aumentando ainda mais a eficácia do uso das armas químicas no teatro de operações.

Figura 24 – Projeter Livens inglês



Fonte: Farias, 2017.

Tanto os alemães, quanto os aliados desenvolveram diversos tipos de projetores de gás (figura 25). O capitão britânico William Howard Livens criou em 1917 um dispositivo bastante eficiente e de fácil operação, que consistia num tubo de vinte e cinco centímetros de diâmetro, afundado no chão no ângulo desejado para o tiro parabólico, onde um propulsor era aceso por um sinal elétrico, disparando por até dois quilômetros cilindros contendo até 18 quilos de gás.

Figura 25 – Projeter alemão

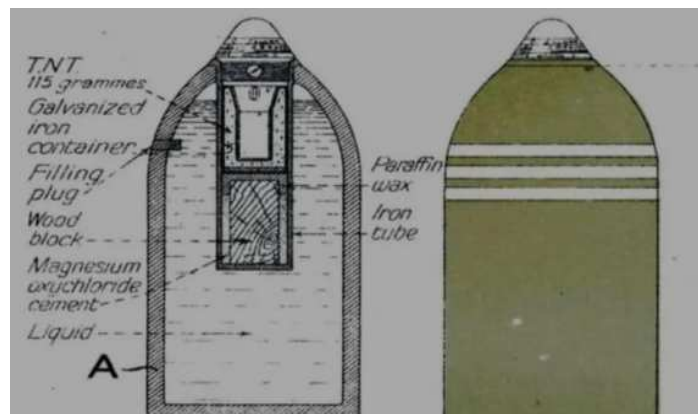


Fonte: US National Archives, 2023.

Com uma bateria de diversos destes projetores operando e disparando simultaneamente, uma densa concentração de gás podia ser conseguida. Os projetores Livens foram usados pelos ingleses pela primeira vez em Arras, na França, em 4 de abril de 1917. Em 31 de março de 1918 os britânicos realizaram seu maior ataque com projetores de gás, lançando 3.728 cilindros sobre os alemães em Lens, na França.

Assim como o projetor de gás, a artilharia alemã, já desenvolvida, utilizava seus canhões e obuses com munições de artilharia contendo gases da guerra química. Porém a artilharia alemã acertava alvos a longas distâncias, próximo dos dez quilômetros, em detrimento de que o projetor alcançava alvos a dois quilômetros de distância, em média.

Figura 26 – Munição de 18 cm do projetor alemão

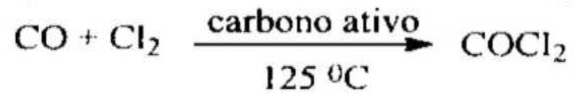


Fonte: Simon Jones Historian (2023).

Com a eficiência comprovada das máscaras no campo de batalha, e verificada a eficácia da guerra química, pesquisas foram feitas com o propósito de se criarem novas moléculas para serem utilizadas como agentes químicos de guerra. Surgiu assim, o emprego do gás fosgênio ( $\text{COCl}_2$ ), difosgênio ( $\text{ClCOOCCl}_3$ ), cianeto de hidrogênio ( $\text{HCN}$ ) e cloreto de cianogênio ( $\text{CNCl}$ ) como armas da guerra química, aumentando assim o terror no campo de batalha.

O gás fosgênio (cloreto de carbonila), foi descoberto por um grupo de químicos franceses liderados por Victor Grignard, é um gás incolor, com um cheiro de feno cortado recente. É obtido pela reação do monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) com o cloro ( $\text{Cl}_2$ ), usando a luz como catalisador e em presença de carbono (equação 1).

Ao ser absorvido pelo organismo, hidrolisa-se lentamente nos tecidos, libertando ácido clorídrico, que é o verdadeiro agente tóxico para as células.



Equação 1 – obtenção do foscênio

O foscênio era mais perigoso que o cloro, tendo em vista que, por ser incolor e por causar menos tosse, era pouco notado quando liberado no campo de batalha. Com isso, era inalado em maior quantidade, além dos efeitos serem sentidos dias após a inalação. O gás foscênio também misturado ao cloro, já que o cloro possuía uma maior volatilidade, sendo levado a maiores distâncias pela mistura das nuvens compostas dos agentes químicos de guerra.

Foi introduzido inicialmente no campo de batalha pelos alemães, em dezembro de 1915 na região Ypres, contra as tropas britânicas localizadas em Wiltje, na Bélgica. Foram despejadas cerca de oitenta e oito toneladas de foscênio com cloro, armazenados em cilindros e em granadas de artilharia, ferindo cerca de mil e sessenta e nove militares britânicos, e vitimando cerca de setenta. O sucesso do ataque só não foi maior pois as tropas inglesas já utilizavam os filtros das máscaras impregnados com fenolato de sódio, que era eficaz contra o foscênio.

Figura 27 – Ataque com foscênio na trincheira britânica em Fromelles, (1916)



Fonte: Otto Bettmann Archive Fundation (1936).

Também foi utilizado na Batalha de Somme, em 1916, e ao todo trinta e seis mil toneladas de fósforo foram usadas até o final da guerra, sendo metade pelos alemães.

O gás mostarda, descoberto e descrito pela primeira vez em 1822 por César-Mansuète Despretz (1798-1863), e sintetizado em 1860 por Frederick Guthrie, a partir da reação entre eteno ( $C_2H_2$ ) e o monocloreto de enxofre ( $SCl_2$ ), foi o mais temido agente químico utilizado na Primeira Guerra Mundial, devido a diferente forma de ação, até então não experimentada durante o emprego agentes químicos de guerra.

Antes sufocativos e asfixiantes, onde era possível atenuar os efeitos com o uso das máscaras e filtros já desenvolvidos até então, o teatro de operações europeu contava com um agente altamente vesicante, que provocava queimaduras severas, cegueira, e a morte agonizante, trazendo o pavor para os soldados que estavam entinchados, já que ele não era notado nos campos de batalha, quando dispersado.

Com o desenvolvimento da indústria química alemã, mais precisamente na química orgânica e em especial na fabricação de corantes, a Alemanha tornava-se líder na produção e desenvolvimento de novas armas químicas, tendo em vista possuir um parque industrial mais desenvolvido em relação aos países europeus.

Em contrapartida a Inglaterra, que em posição de inferioridade, concentrava-se na química inorgânica, sendo a descoberta do gás mostarda um exemplo desta diferença tecnológica, já que a rota sintética alemã, para a produção do gás mostarda, utilizava um subproduto da indústria de corantes, o tioglicol, e o ácido clorídrico, com abundância do tioglicol na indústria alemã, em altas quantidades e baixo custo de produção.

No esforço da equiparação tecnológica com os alemães, os cientistas britânicos tiveram que explorar uma diferente rota de síntese, a partir da reação entre o monocloreto de enxofre e eteno, rota já explorada por Despretz em 1822 e por Guthrie em 1859, que notou os efeitos tóxicos da substância na sua própria pele.

O gás mostarda (1,1-tio-bis-2-cloroetano) de fórmula  $C_4H_8Cl_2S$ , é um líquido oleoso, de ponto de ebulição igual a  $217^\circ C$ , com um cheiro de alho quando impuro, ou odor levemente ocre. Por ser incolor e inodoro na sua forma pura, não alertava sobre a sua presença, e seus sintomas de intoxicação apareceriam horas depois da exposição no campo de batalha.

Por ser uma substância altamente vesicante, isto é, causa queimaduras com formação de bolhas na pele e nas mucosas do trato respiratório, o gás mostarda levava os soldados a morte por asfixia, já que reage com a água dos tecidos (hidrólise) em processo que envolve um cátion sulfônio cíclico altamente reativo, formando ácido clorídrico e 1,4-tioxano, dois produtos irritantes que originam as bolhas observadas. O gás mostarda também causava a cegueira, sendo considerado um agente mutagênico do DNA humano e dos animais, causando mutações que levam ao câncer e deformações nos órgãos e tecidos.

Figura 28 – Militares da 55ª Divisão Inglesa cegos por agente químico



Fonte: Universal History Archives/CNN 2023.

De forma a retratar o uso das armas químicas no teatro de operações europeu durante a Primeira Guerra Mundial, foi encomendado pelo Comitê Inglês de Memória das Guerras, ao pintor italiano John Singer Sargent (1856-1925), o quadro “Gassed”, que mostra uma fila de soldados cegos andando, feridos pelo uso de gases durante a Primeira Guerra Mundial (figura 29).

Figura 29 – Gassed. Óleo sobre a tela de John Singer Sargent (1919)



Fonte: Calasans, 2014.

Os alemães foram os primeiros a utilizarem o gás mostarda no campo de batalha, na Terceira Batalha de Ypres, ocorrida em julho de 1917, obtendo uma larga vantagem tática no emprego deste novo agente químico de guerra, já que mesmo adaptados com o uso das máscaras contra gases, os aliados não haviam experimentado um agente químico de guerra que penetrava em suas vestimentas, além de não terem percebido que se tratava de um ataque com gás, já que não havia cor ou cheiro característico de qualquer agente químico de guerra usado até aquele momento.

Figura 30 – Militar canadense ferido por agente químico de guerra



Fonte: Bria, 2020.

Após alguns meses do ataque com o gás mostarda na Terceira Batalha de Ypres, ambos os lados atacaram mutuamente com esta nova arma química, sendo ela responsável por aproximadamente 70% das vítimas de armas químicas na Primeira Guerra Mundial, e o restante das vítimas pelo gás cloro e o gás fosgênio.

Em outubro de 1918, durante um ataque inglês ao sul de Wernik, o Cabo Adolf Hitler foi ferido, junto com os seus companheiros do 16º Regimento Bávaro de Infantaria, por uma granada de gás mostarda, ficando cego temporariamente, sendo evacuado para tratar de ferimentos provocados pela nuvem de gás.

Importante salientar que os alemães, através do químico Albert Niemann (1834-1861), o primeiro a isolar a molécula da cocaína em sua tese de doutorado em 1859, na Universidade de Gottingen, seria o primeiro a descrever as propriedades tóxicas do gás mostarda. Os britânicos haviam testado, em 1916, o gás mostarda. Porém, os

militares britânicos não conseguiram ser convencidos pelos técnicos e cientistas de que essa nova descoberta seria útil na guerra química.

O gás mostarda entrava no teatro de operações europeu como algo a ser estudado: seus gases atravessavam os filtros das máscaras anti-gás, desenvolvidas até então, e também pelo fato de causar queimaduras graves e dolorosas quando em contato com a pele.

Figura 31 e 32 – Sargento Sawyer Spence ferido por gás mostarda



Fonte: Blog Pessoal Jon Spence, 2023.

Tornou-se fundamental o desenvolvimento de filtros que impedissem a ação do gás mostarda, além do uso de um traje impermeável, incômodo e dificultoso para a mobilidade e o deslocamento do soldado no campo de batalha.

A ação vesicante do gás mostarda poderia ser atenuada com a cloração da sua molécula, sendo o banho com hipoclorito de sódio 5% um dos poucos tratamentos utilizados em pacientes sob efeito do gás mostarda.

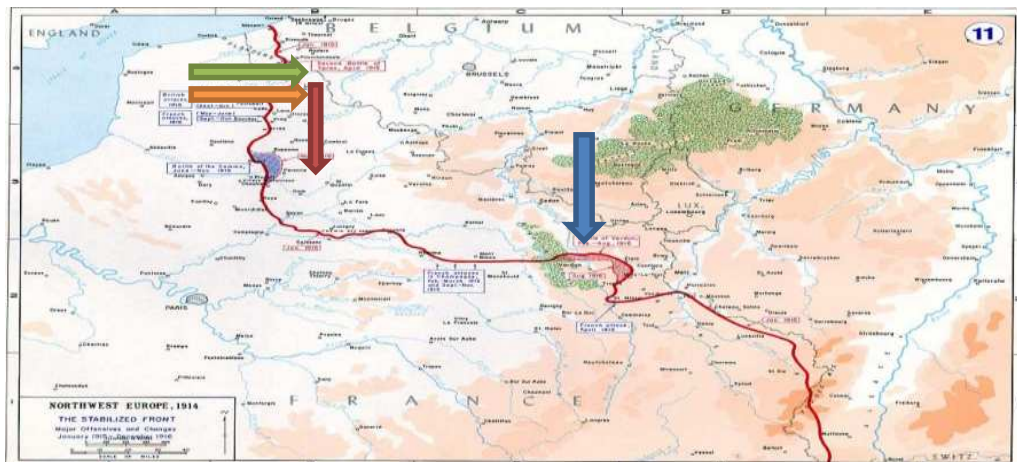
Estima-se que, aproximadamente, dos cento e oitenta mil soldados britânicos vítimas das armas químicas, cento e sessenta mil foram vítimas, exclusivamente, da ação do gás mostarda, sendo que quatro mil foram vítimas fatais. Dos cerca de trinta e seis mil soldados americanos vítimas de armas químicas, aproximadamente vinte sete mil foram vítimas do gás mostarda.

Por um longo período, os sobreviventes tiveram que receber tratamento médico devido a exposição e sequelas apresentadas após o gás mostarda, mostrando a eficácia e eficiência do que foi considerado o “rei dos gases da guerra”. Sua mortalidade foi

considerada baixa, na ordem dos 3% dos atingidos pelo gás (ROCHA SILVA *et. al.*, 2012).

Durante a Primeira Guerra Mundial foram lançadas mais de 124 mil toneladas de 21 agentes tóxicos diferentes, provocando cerca de 1,3 milhão de baixas e 100 mil mortes. Considerando que o conflito teve 9,45 milhões de mortos, 21 milhões de feridos dos quais 6 milhões de mutilados, as baixas provocadas pelos ataques de gases não foram determinantes para o resultado da Primeira Guerra Mundial, sendo estes utilizados para fins táticos e estratégicos. Podemos afirmar ainda que nenhum dos lados ganhou como o uso dos agentes químicos de guerra, durante o conflito.

Figura 33 – Frente Ocidental (1915)



Fonte: adaptado da Revista Carta Capital, 2023.

Tabela 3 – uso de agentes químicos de Guerra na Frente Ocidental

Cor	Data	Local e Batalha	Tipo de agente químico usado
Verde	Abril de 1915	Ypres (Bélgica) – 2ª Batalha de Ypres	Gás cloro em forma de nuvem
Azul	Fevereiro de 1916	Verdun (França) - Batalha de Verdun	Gás fosgênio e difosgênio em forma de granadas de mão
Vermelho	Julho de 1916	Somme (França) - Batalha de Somme	Gás cloro em forma de obus (projeter)
Mostarda	Julho de 1917	Ypres (Bélgica) - 3ª Batalha de Ypres	Gás Mostarda em forma de granadas de mão e obus

Fonte: elaboração própria, 2023.

### 3.4 O período entre guerras

Após o horror provocado pelo uso, em larga escala, das armas químicas, tanto pelos países aliados da Inglaterra, quanto pelos países aliados aos alemães, o mundo se viu num novo paradigma, sendo necessário discutir, após o fim da Primeira Guerra Mundial, novas regras e convenções que pudessem “frear” o uso dos agentes químicos de guerra, tendo em vista a alta letalidade, o sofrimento imposto aos soldados atingidos no campo de batalha, a facilidade em que eram produzidos e o terror psicológico imposto aos combatentes que participavam das linhas de frente dos campos entrincheirados na Europa.

Surgiu assim, a necessidade de se criarem regras para o uso das armas químicas e, neste contexto, foi assinado em 17 de junho de 1925 o Protocolo de Genebra, que proibia o uso de gases venenosos, asfixiantes e métodos de guerras bacteriológicas.

O Protocolo de Genebra entrou em vigor em fevereiro de 1928. Entretanto, o Tratado assinado pelos países signatários, não incluíam o desenvolvimento, produção e estocagem, sendo que alguns países que ratificaram o Tratado, o fizeram com a adição de cláusulas de reserva, dentre os quais a utilização dos agentes químicos de guerra contra países não signatários do Tratado, ou em revidade a um ataque com agentes químicos de guerra, além de que países como os Estados Unidos não o assinaram.

Apesar de bastante limitado, o Protocolo de Genebra pode ser considerado como o primeiro esforço mundial dos países, na luta pela proibição, ou pela mitigação do uso dos agentes químicos de guerra, em escala mundial, mesmo com a ressalva de países, em relação ao texto inicial.

A primeira quebra do protocolo ocorreu no conflito Espanha-Marrocos (1927), na Guerra do Rife, sendo registrado o uso de gás mostarda pelas tropas espanholas. Na tomada da Absínia, atual Etiópia, Benito Mussolini autorizou o uso de gás mostarda e fogsênio, na Segunda Guerra Ítalo-Etíope (1935-1936), sendo o primeiro registro de armas químicas usadas como aerossol disperso por aeronave (COLASSO, 2014).

O Japão, não sendo signatário da Convenção de 1925, utilizou os agentes químicos de guerra (gás mostarda), contra a China, além de agentes bacteriológicos (cólera e peste bubônica), entre os anos de 1937 e 1945, na Segunda Guerra Sino-

Japonesa, autorizados pelo General Japonês Shiro Ishii, comandante da Unidade 731, criada a mando do Império Japonês, a partir de 1934.

### 3.5 A Segunda Guerra Mundial

Durante a Segunda Guerra Mundial, os países beligerantes frearam o uso dos agentes químicos de Guerra no teatro de operações europeu. Isso se explica pelo fato de os países terem assinado, em 1925, a Convenção de Genebra, que daria o direito dos países agredidos por armas químicas responderem ao agressor, da mesma forma.

Também citamos o desenvolvimento de técnicas de defesa, como roupas impermeáveis e máscaras, além de que o conflito ocorreu de maneira “não estática”, ou seja, as tropas de ambos os lados dispunham de meios de locomoção, que faziam o uso de agentes químicos de guerra ineficientes, em sua maioria, excetuando-se os fumígenos.

Sabe-se, porém, que durante a Segunda Guerra países como os EUA, Alemanha e União Soviética investiram em pesquisa e produção de novos agentes químicos, como os pesticidas organofosforados, e em especial o Zyklon B, utilizado nas câmaras de gás do regime nazista.

Somente um caso de uso de armas químicas foi relatado durante a Segunda Guerra, sendo este o bombardeio, em 1943, do navio norte-americano SS John Harvey, ancorado no porto de Bari, na Itália, pela Marinha alemã.

O bombardeio atingiu o navio que transportava uma carga de duas mil munições contendo gás mostarda, provocando um incêndio a bordo do navio, liberando uma fumaça tóxica pelo porto e cidade, vitimando 617 vítimas, entre tripulantes do navio e demais tripulantes dos navios atracados no porto (SILVA *et al*, 2012).

Ao longo de toda a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), o regime nazista desenvolveu e utilizou um pesticida criado no controle de pulgas e piolhos tendo na sua composição o ácido cianídrico, conhecido como Zyklon B.

O Zyklon B foi utilizado em câmaras especialmente preparadas para exterminar socialistas, comunistas, democratas, homossexuais, ciganos, dissidentes do Reich, além dos prisioneiros judeus, sendo que cerca de seis mil seres humanos foram

assassinados diariamente, nas câmaras de gás de Auchwitz-Birkenau (Polônia), no auge do regime nazista.

Após a Segunda Guerra, os Estados Unidos e a União Soviética continuaram suas pesquisas e investimento nos programas de desenvolvimento de armas químicas, biológicas, radiológicas e nucleares, não significando que outros países também não tivessem feito pesquisas sobre o desenvolvimento de armas de destruição em massa.

Com a Europa em declínio, devido à destruição de sua infraestrutura, tendo em vista que, durante os combates, estradas, portos, ferrovias, fábricas e cidades inteiras foram completamente destruídos, os Estados Unidos e União Soviética emergiram como as duas principais potências mundiais.

Tendo em vista não passaram pelo processo de reconstrução tão profundo, como na maioria dos países europeus, Estados Unidos e União Soviética surgem como protagonistas no cenário mundial, dando início ao processo de bipolarização mundial. O mundo passou, então, a ser dividido em duas grandes áreas de influência: a do bloco capitalista, liderado pelos Estados Unidos, e a do bloco socialista, liderado pela União Soviética.

## 4 PRINCIPAIS AGENTES QUÍMICOS UTILIZADOS NA 1ª E 2ª GUERRAS MUNDIAIS

### 4.1 Introdução

Desde a sua utilização na Primeira Guerra Mundial, descobriu-se o grande potencial destrutivo dos agentes químicos de guerra. Durante o conflito, mais de três mil substâncias foram pesquisadas pelos países beligerantes, como potenciais agentes químicos de guerra, sendo que somente doze conseguiram obter o potencial desejado no Teatro de Operações europeu (BRIA, 2020).

Será descrito neste tópico os principais agentes químicos utilizados na Primeira e Segunda Guerras Mundiais, suas características e efeitos toxicológicos. Para melhor compreensão, os agentes químicos de guerra foram separados em quatro grupos principais: sufocantes, vesicantes, hemotóxicos e neurotóxicos. Não serão descritos os gases lacrimogênicos, os incendiários e os fumígenos.

#### 4.1.1 Agentes Sufocantes

São substâncias gasosas ou líquidas, que se volatizam facilmente. Os agentes sufocantes, ou pneumotóxicos, produzem lesões irreversíveis no sistema respiratório, além de afetarem a visão. Quando aspiradas, irritam e ferem gravemente as vias respiratórias, provocando sensação de aperto, tosse violenta e expectorações, misturadas com sangue e secreção (edema grave), com a secreção de líquidos nos pulmões e vias respiratórias, causando assim morte por asfixia.

##### 4.1.1.1 Cloro

O elemento químico cloro (número atômico  $Z=17$ , símbolo Cl, p.m 35,5g/mol), descoberto em 1774 pelo químico sueco Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), acreditava-se inicialmente ser um composto com oxigênio (óxido), sendo que o químico inglês Humphry Davy (1778-1829) isolou-o em 1810.

Pertence à família dos halogênios (grupo 17 ou 7ª), no terceiro período da tabela periódica, e o décimo nono elemento mais abundante na natureza. Seu nome deriva do grego “khlórós”, que significa “esverdeado”.

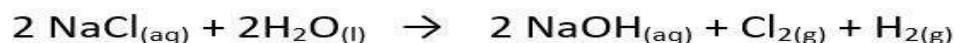
É um forte agente oxidante, na forma de gás possui coloração amarelo esverdeada, mais pesado que o ar e muito asfixiante, com um cheiro similar ao da água-régia. É encontrado em abundância nos minerais halita (sal-gema), silvita (cloreto de potássio), e na carnalita (hidrato de cloreto de magnésio e potássio duplo), na água dos oceanos e outros sais da crosta terrestre, além dos gases das erupções vulcânicas.

Figura 34 – Ampola contendo gás cloro



Fonte: CRQ-SP, 2022.

Por ser bastante reativo, dificilmente é encontrado isolado na natureza, sendo obtido pela eletrólise da salmoura, processo comumente utilizado na indústria cloro-álcalis, onde uma corrente elétrica é usada para obter a partir das salmouras o gás cloro (Cl<sub>2</sub>), hidróxido de sódio (NaOH) aquoso e gás hidrogênio (H<sub>2</sub>), conforme a reação abaixo:



Equação 2 – obtenção do gás cloro por eletrólise (presença de corrente elétrica)

É bastante utilizado na indústria química como agente desinfetante e branqueador, também utilizado na indústria de plásticos na fabricação do policloreto de vinila (PVC).

O gás cloro, ao reagir com água presente nos fluídos corporais, forma o ácido clorídrico (HCl), que é um ácido forte, causando queimaduras e bastante irritabilidade

nos tecidos corporais, como a pele, olhos e mucosas. Ao ser inalado, o gás forma uma grande quantidade de fluídos nos pulmões, fazendo com que a vítima “se afogue” no próprio líquido secretado (MARTINS, 2017).

Como meio de tratamento tem-se a inalação de oxigênio e busca imediata por socorro médico “[...] não se conhece nenhum antídoto para inalação do cloro gás, o alívio imediato e efetivo dos sintomas é o objetivo principal. Terapia por esteróides, se dada logo, tem sido eficaz em prevenir edema pulmonar” (DE ALMEIDA, 2014).

Foi utilizado pelos alemães, inicialmente, em janeiro de 1915, num ataque contra os russos, na Batalha de Bolimov. Porém as baixas temperaturas do local fizeram com que o gás congelasse, não obtendo êxito neste ataque (FARIAS, 2017).

Já em 22 de abril de 1915, os alemães utilizaram como sucesso o gás cloro em larga escala, como arma de guerra, na Segunda Batalha de Ypres, nas proximidades de Langemarck, vitimando cerca de cinco mil soldados britânicos, numa frente de aproximadamente seis quilômetros de extensão, fazendo com que a tropa aliada entrincheirada, abandonasse a sua posição, abrindo assim uma lacuna nas linhas de defesas inglesas, não muito bem aproveitadas pelo Exército Alemão.

Os aliados foram expostos a concentrações de 1000 ppm de gás cloro, sendo que 30 ppm possui efeito irritante para as mucosas e pele. É classificado como um agente químico de guerra da categoria sufocante.

#### 4.1.1.2 Fosgênio (CG) e difosgênio (DP)

O fosgênio (cloreto de carbonila, fórmula  $\text{CCl}_2\text{O}$ , p.m 98,92 g/mol), é um composto organoclorado altamente tóxico e corrosivo, que foi amplamente utilizado na Primeira Guerra Mundial como agente químico de guerra. O fosgênio foi sintetizado pela primeira vez pelos Ingleses em 1812, e usado pelos alemães, juntamente com o gás cloro, a fim de melhorar a sua eficiência no teatro de operações europeu.

Nas CNTP, é um gás incolor, com ponto de ebulição  $8,2^\circ\text{C}$  e com odor similar ao feno mofado. Quando absorvido pelo organismo, hidrolisa-se lentamente nos tecidos, liberando o ácido clorídrico, sendo este o verdadeiro agente tóxico para as células, causando irritação nos olhos, constrição no peito, tosse, respiração difícil, graves danos aos pulmões e conseqüentemente levando a morte do indivíduo atingido.

O fosgênio é utilizado na fabricação de polímeros, policarbonatos, corantes, defensores agrícolas e na indústria farmacêutica. Ele possui uma degradação lenta na atmosfera, por reação com radicais hidroxila e tem meia-vida de 44 anos (CETESB, 2012). É um agente químico altamente poluente, podendo poluir rios, solos e vegetação.

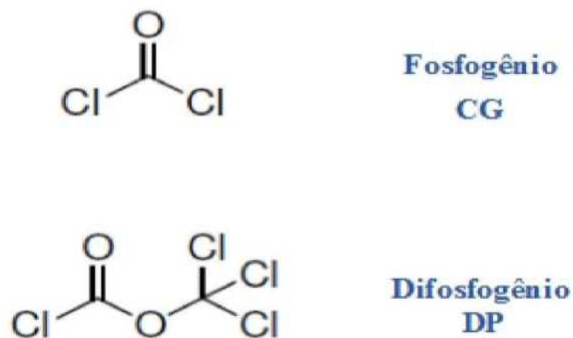
Pode ser obtido através de algumas rotas de síntese, dentre elas podemos destacar três possibilidades:

- $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{COCl}_2$
- $\text{CO} + \text{NO}_2\text{Cl} \rightarrow \text{COCl}_2$
- $\text{CCl}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{COCl}_2$

A ação irritante do fosgênio não é imediata, ainda que venha ser absorvido pelo corpo em altas concentrações, aparecendo os sintomas somente 48 horas após a sua inalação (FARIAS, 2017). Apresenta dose letal  $\text{LC}_{50} = 3200 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ .

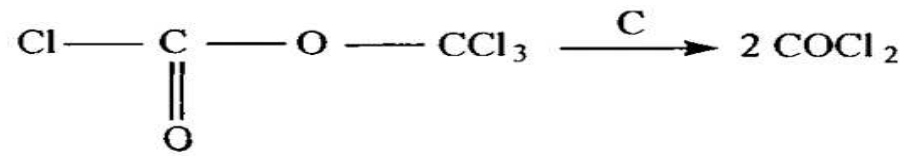
O difosgênio (triclorometil cloroformiato ou cloroformiato de triclorometila, (fórmula  $\text{C}_2\text{Cl}_4\text{O}_2$ , p.m 197,82 g/mol) é um composto líquido com ponto de ebulição igual a  $127^\circ\text{C}$ .

Figura 35 – Fosgênio e difosgênio



Fonte: França *et al.*, 2010.

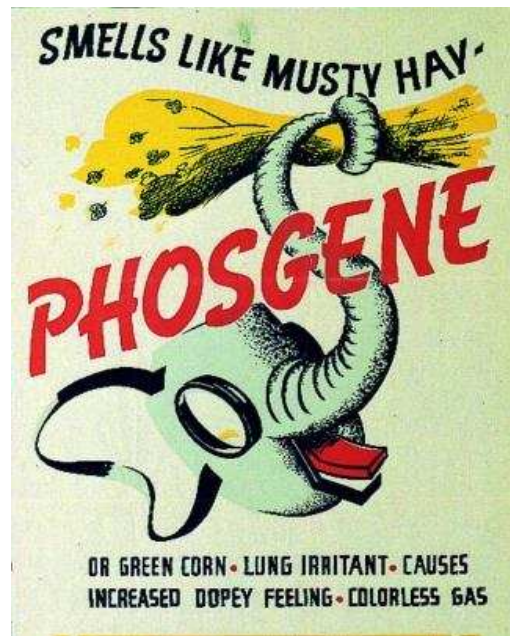
Foi descoberto através do fosgênio, também utilizado como agente químico de guerra, com o objetivo de destruir os filtros das máscaras já adaptadas para o gás fosgênio, tendo em vista que o difosgênio, na presença do carvão ativo sofre decomposição produzindo o fosgênio, que também é um agente químico de guerra pneumotóxico, saturando assim os filtros das máscaras com gás fosgênio.



Equação 3 – decomposição do difosgênio em presença de carvão

Tanto o fosgênio, quanto o difosgênio são armas químicas consideradas na categoria dos gases sufocantes.

Figura 36 – Cartaz alertando sobre o fosgênio



Fonte: Laranjeira *et al.*, 2020.

#### 4.1.2 Agentes Vesicantes

Os agentes vesicantes, ou dermatóxicos, são os agentes químicos de guerra que reagem com a pele e tecidos do indivíduo, provocando bolhas, urticárias, queimaduras graves e, por conseguinte, infecções cutâneas que se não tratadas, levam a morte. Seus efeitos tóxicos podem aparecer imediatamente, ou horas após sua exposição.

Os vesicantes foram os agentes químicos de guerra mais empregados durante a Primeira Guerra Mundial, sendo os que causaram mais baixas do que qualquer outro

agente químico utilizado. Podem ser divididos em duas principais categorias: os derivados de arsênio e os do tipo mostarda.

São substâncias persistentes, não voláteis, que após disseminados, permanecem em campo por longos períodos, impedindo ou atrasando manobras no Teatro de Operações, incapacitando as tropas contaminadas, e interditando longas áreas que sofreram sua dispersão. Em altas concentrações, os agentes vesicantes são letais se absorvidos pela pele, ou inalados pelo sistema respiratório, além de causarem lesões nos olhos da vítima, provocando cegueira permanente.

Os vesicantes penetram nas roupas, tecidos e vestes das vítimas, podendo serem absorvidos tanto no estado líquido, ou em forma de vapor, atacando as células dos vivos dos organismos através do tecido epitelial, e são capazes de alterar o RNA e o DNA da vítima, trazendo mutações e alterações genéticas significativas, como a inibição da citocromoxidase, enzima responsável pela respiração celular.

Os agentes químicos de guerra vesicantes tiveram um papel fundamental no desenvolvimento da quimioterapia, já que foi evidenciado uma diminuição dos leucócitos nas medulas ósseas e no sistema linfático dos soldados expostos aos vesicantes. Com isso, abriu-se a possibilidade de serem utilizadas as mostardas sulfuradas ou algum outro derivado, no combate a leucemia.

#### 4.1.2.1 Mostardas

Podem ser de vários tipos:

O-mostarda:

Pertencentes ao grupo das mostardas de enxofre. Possuem dois grupos cloroetila ( $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{-Cl}$ ) ligados ao átomo de enxofre, podendo ou não apresentar átomos a mais de oxigênio ou enxofre em sua estrutura. Na temperatura ambiente, é um líquido incolor e de alta toxicidade, com baixa solubilidade em água e que em contato com a pele, penetra e provoca graves lesões, inflamações e pústulas.

A o-mostarda foi empregada militarmente com o gás mostarda, dando origem ao chamado composto "HT", possuindo uma toxicidade muito maior que cada composto sendo empregado de maneira isolada.

### Gás Mostarda (HD):

Conhecida como iperita, o gás mostarda [sulfeto de bis(-2-cloroetil)] ou (dicloro-dietil-sulfeto), é um líquido oleoso incolor de odor adocicado quando puro, e amarelo a marrom, quando impuro (figura 37), possuindo um leve odor de alho. É pouco solúvel em água, mas facilmente solúvel em solventes orgânicos. Possui ponto de ebulição 227 °C, densidade 1,27g/cm<sup>3</sup>, LC<sub>50</sub> = 1500 mg.min.m<sup>-3</sup> (vapor), LD<sub>50</sub> = 100 mg/kg (líquido).

Este agente químico de guerra quando exposto no campo de batalha, geralmente não é notado, sendo percebido seus efeitos após algumas horas do início da exposição (efeito retardado). Embora provoque mudanças celulares em pouco tempo após a exposição, dores e outros efeitos clínicos demoram cerca de 24 horas para aparecer, sendo que nas primeiras 12 horas surgem edema das pálpebras, eritema da pele e prurido intenso.

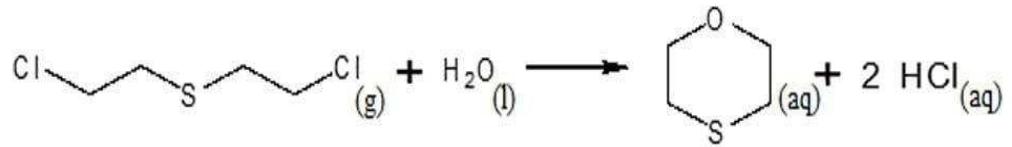
Figura 37 – Gás mostarda “HD”



Fonte: Library of Congress Prints and Photographs Division EUA, 2023.

O gás mostarda causa sérios danos ao organismo da vítima, além de lesões na pele, queimaduras graves, as características vesículas pustulentas, comparadas a lesões provocadas por queimaduras de segundo grau. Infiltra-se na pele da vítima, além das mucosas e olhos, na forma de vapor ou aspergido como líquido.

Produz a necrose do trato respiratório e da pele exposta, sendo a cegueira causada pelo contato da vítima principalmente com o gás mostarda em forma de líquido. A seguinte reação mostra o produto de formação do gás mostarda:



Equação 4 – decomposição da mostarda de enxofre

Podemos observar que o produto da hidrólise da mostarda sulfurada é o ácido clorídrico (HCl), ácido altamente corrosivo e irritante para pele e mucosas, e o 1,4 – tioxano (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>OS), que também é tóxico e irritante para o organismo da vítima.

Figura 38– Vítima do gás mostarda e suas queimaduras características



Fonte: Chemical Risk. Adaptado de Colasso, 2015.

Não há antídoto para tratamento das vítimas, somente tratamento dos sintomas pós-exposição. A descontaminação da área deve ser imediata, com a retirada das vestes e todos os equipamentos que a vítima estiver portando.

A pele deverá ser lavada com água em abundância, e os olhos como soro fisiológico, e a administração de analgésicos para redução das dores e uso de bronco

dilatadores a fim de retomar a atividade pulmonar e antibióticos para tratarem as infecções cutâneas causadas pelas feridas provenientes das queimaduras.

Figura 39 e 40 – Vesicação característica da ação das mostardas

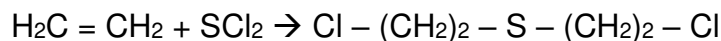


Fonte: Colasso *et. al*, 2014.

Para a descontaminação do ambiente e equipamento, usa-se hipoclorito de sódio (NaClO) e hipoclorito de cálcio [Ca(OCl)<sub>2</sub>], o que leva a formação de compostos não tóxicos e desativação do composto.

Pode ser sintetizado por dois processos:

- Método de Levistein (equação 5):



- Processo alemão (equação 6):



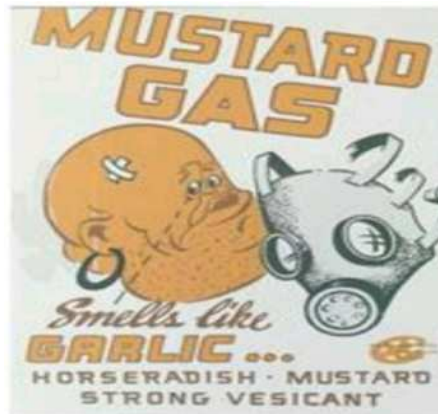
Mostardas nitrogenadas (HN):

As mostardas nitrogenadas são agentes capazes de fazerem alterações no DNA das células, evitando a sua replicação. Com isso, foram as substâncias precursoras no estudo da quimioterapia, devido a sua capacidade citotóxica e empregadas como agentes alquilantes das bases nitrogenadas do DNA celular.

Podemos como exemplo, citar a metil – bis – (2 – cloroetil) amina, conhecida também como clormetina ou HN-2, que é um derivado do gás mostarda e irritante da

pele e das mucosas. Descobriu-se em 1942 que o cloridrato de clorimetina possuía ação como droga antineoplásica, sendo empregada posteriormente no tratamento de pacientes com linfossarcoma, sendo a primeira droga anticâncer usada na medicina. Porém, com a descoberta de drogas mais toleráveis para os pacientes, o uso de tal molécula se tornou mais restrito.

Figura 41 – Cartaz alertando sobre o gás mostarda



Fonte: Laranjeira *et al.*, 2020.

Ainda como exemplo, citamos a tris (2-cloroetil) amina, ou a HN-3. A vítima exposta a HN-3 apresenta sintomas semelhantes ao gás mostarda, com manifestações dos sintomas entre quatro a seis horas da exposição inicial, com lacrimação, fotofobia e irritação dos olhos como sintomas imediatos.

Figura 42 – Mostardas sulfuradas e nitrogenadas



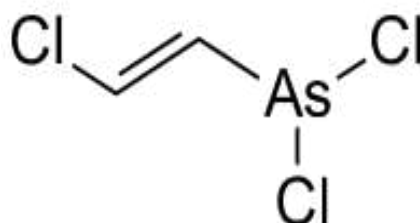
Fonte: Bria, 2020.

Após o período de seis horas da exposição inicial, sintomas como espasmos musculares, descoloração hemorrágica da íris, inflamação da traqueia, tosse e morte por pneumonia são comuns em pacientes contaminados pela HN-3 no teatro de operações.

#### 4.1.2.2 Levisita

A levisita (2-clorovinil dicloroarsina, fórmula  $C_2H_2AsCl_3$ , p.m 207,32 g/mol) é um agente químico de guerra também classificada como vesicante e que atua em com maior velocidade aos sintomas iniciais, que o gás mostarda. Foi descoberta em 1918, nos Estados Unidos, e assim denominada em homenagem ao capitão do Exército Americano, integrante do Chemical Warfare Service, Winford Lee Lewis (1878-1943) (FARIAS, 2017).

Figura 43 – Fórmula estrutural da levisita



Fonte: Farias, 2017.

A levisita possui odor semelhante ao gerânio (aroma doce semelhante ao de rosas) e quando pura, é um líquido incolor oleoso e quando impura, varia de âmbar a preto, sendo os principais sintomas a irritação dos olhos, pele, respiração ofegante e lesões nos pulmões, sendo as lesões nos olhos e pele sendo sentidas instantaneamente pela vítima, podendo ser neutralizada pelo uso do hipoclorito de sódio ( $NaClO$ ).

Figura 44 – Cartaz alertando sobre o “cheiro de gerânio” da levisita



Fonte: Laranjeira *et al.*, 2020.

Provoca lesões na pele semelhantes às lesões causadas pelo gás mostarda, embora o mecanismo da lesão seja diferente e envolva efeitos sobre os grupos sulfidrilo e glutatona nas enzimas, bem como inibição da piruvato desidrogenase.

No trato respiratório, a fração arsênica da levisita leva ao extravasamento dos capilares pulmonares e a edema pulmonar; com doses elevadas pode ocorrer hipotensão sistêmica—o chamado choque por levisita. Ao contrário das mostardas, a Levisita não causa imunossupressão (MSD. 2022)

Possui ponto de ebulição igual a 190 °C, LC<sub>50</sub> 1200 – 1500 mg.min.m<sup>-3</sup> (vapor) e LD<sub>50</sub> 40 – 50 mg/kg (líquido). A hidrólise da levisita gera os gases cloro (Cl<sub>2</sub>), eteno (CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>) e hidróxido de arsênio [As(OH)<sub>3</sub>] como produtos, sendo estes os responsáveis por inibir a oxidase do ácido pirúvico, além de produzir diversas espécies arsênicas inorgânicas, grupos alquila e ácido lipóico.

Os principais antídotos usados para neutralizar a ação da levisita são o 2,3 dimercapto-1-propanol, chamado também de British antilewisite – BAL) e o propanosulfonato de sódio, utilizados diretamente sobre a pele da vítima.

Em climas frios, a levisita é mais volátil e mais persistente do que as mostardas e se mantém na forma líquida mesmo em temperaturas baixas, o que a torna um composto perfeito para dispersão em climas frios. Todavia sofre rápida hidrólise em climas úmidos, o que diminui sua atividade biológica (COLASSO, 2018).

#### 4.1.3 Agentes Hemotóxicos

Os agentes hemotóxicos são substâncias que reagem com o sangue da vítima, ligando-se ao ferro presente na hemoglobina, atuando na respiração celular e na utilização do oxigênio pelos tecidos, bloqueando a circulação do oxigênio no sistema circulatório.

Dependendo da concentração do agente e do tempo de exposição, causam dispneia, perda dos sentidos, colapso nervoso e morte. Possuem cheiro de amêndoas e a principal via de absorção dos agentes hemotóxicos é o sistema respiratório, mas podem ser absorvidos pela pele, sistema digestivo, mucosa e olhos das vítimas.

A maioria dos agentes hemotóxicos possui um grupo cianeto (-CN) em sua molécula (XCN, onde X é um metal da família IA ou IIA), ou um halogeneto de cianogênio (CNX, onde X é um elemento do grupo 17 – flúor, cloro, bromo iodo ou astato). Por serem de fácil obtenção, purificação e rápida ação, os agentes

hemotóxicos foram bastante utilizados na Segunda Guerra Mundial, como o composto pesticida Zyklon B (figura 45), um potente agente hemotóxico, utilizado para exterminar judeus, prisioneiros soviéticos, ciganos, além de outros seres humanos nas câmaras de gás do regime nazista.

Figura 45 –Zyklon B



Fonte: Jewish Memory and Holocaust in Ukraine, 2023.

Fritz Haber chefiou uma equipe de pesquisadores, dentre eles os químicos Walter Heerdts, Bruno Tesch e Gerhard Peters do Instituto Kaiser Wilhelm de Físico-Química e Eletroquímica em Dahlem, no início dos anos 1920, a fim de desenvolverem um pesticida, chamado de “Zyklon A” (ciclone A) que continha o “ácido prússico” ou ácido cianídrico (HCN) na sua formulação.

Com a ascensão do Partido Nazista na Alemanha e a chegada de Adolf Hitler ao poder, em 1933, Haber, por ser judeu, viu-se obrigado a abandonar a Alemanha, dirigindo-se a Inglaterra e morrendo na Basiléia – Suíça, em janeiro de 1934.

Com o desenvolvimento deste pesticida, e a saída de Fritz Haber da Alemanha, os nazistas passaram a utilizar uma variação da fórmula do pesticida desenvolvido por Haber e equipe, com o nome de Zyklon B, que era uma mistura contendo 98% de ácido cianídrico (HCN), cloro e nitrogênio (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Era fabricado em cápsulas brancas pela indústria química de pesticida alemã Tesch e Stabenow (figura 46), com o conglomerado de indústrias IG Farben detentora da patente. As cápsulas, ao entrarem em contato com o a umidade do ar, rapidamente

se decompõem em gás cianídrico, este ligando-se a hemoglobina do sangue e impedindo o transporte de oxigênio para as células e tecidos, matando em poucos minutos as vítimas por asfixia.

Figura 46 – Aspecto físico do Zyklon B



Fonte: Jewish Memory and Holocaust in Ukraine, 2023.

Inicialmente, o Zyklon B foi utilizado nos campos de concentração nazistas para eliminar piolhos e evitar o tifo, até que em 1941 os nazistas resolveram realizar experiências com esse inseticida para extermínio em massa de seres humanos, matando cerca de 600 prisioneiros soviéticos em Auschwitz-Birkenau (BRIA, 2020).

Figura 47 – Interior de uma câmara de gás em Auschwitz-Birkenau



Fonte: Jewish Memory and Holocaust in Ukraine, 2023.

Foram exterminados nas câmaras de gás do regime nazista, por este método, cerca de 1,1 milhões de judeus e inimigos do Reich Alemão. Dentro das câmaras de gás cabiam aproximadamente 800 seres humanos, entre idosos, crianças, doentes,

deficientes físicos, dentre outros. As vítimas eram atraídas para as câmaras, sem roupas, com a promessa de tomarem banho e serem higienizadas.

As sessões duravam cerca de trinta minutos e os indivíduos mais altos morreriam primeiro, já que o Zyklon B, ao ser introduzido pelas chaminés das câmaras de gás, rapidamente se decompõe num gás altamente letal (HCN, já citado anteriormente), este por ser mais leve que o ar, permaneceria nas partes altas da câmara de gás, atingindo primeiramente os mais altos.

Cerca de 6 mil vidas foram ceifadas diariamente nas câmaras de gás dos campos de concentração de Auschwitz-Birkenau, Majdanek, Mauthausen, Dachau, Buchenwald, na chamada “Solução Final” para os judeus, incluindo os parentes próximos de Fritz Haber.

Figura 48 – Paredes arranhadas por unhas no interior de uma câmara de gás em Auschwitz



Fonte: Jewish Memory and Holocaust in Ukraine, 2023.

Os principais agentes hemotóxicos são:

#### 4.1.3.1 Cloreto de cianogênio (CK)

É um agente hemotóxico organoclorado (fórmula  $CNCl$ , p.m 61,46 g/mol), altamente irritante para os olhos e pele. É um gás incolor a 25° C, que penetra no organismo por inalação e ingestão. Possui ponto de ebulição igual 12,8° C e  $LC_{50}$  igual a 11.000 mg.min.m<sup>-3</sup>.

#### 4.1.3.2 Ácido cianídrico ou cianeto de hidrogênio (AC)

O cianeto de hidrogênio, ou ácido cianídrico (fórmula  $HCN$ , p.m 27,02 g/mol) é uma substância incolor quando pura. Foi descoberto em 1782 pelo químico e

farmacêutico sueco Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), no Reino da Prússia, que o sintetizou a partir do pigmento sintético ferrocianeto férrico, fórmula  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ , apelidado de “Azul da Prússia”.

Apresenta ação muito rápida, com os sintomas da intoxicação começando em concentrações de cianeto no sangue de, aproximadamente,  $40 \mu\text{mol/L}$ . A vítima pode chegar a óbito após a exposição da dose letal igual a  $200\text{mg}$ , em aproximadamente dez minutos de exposição. Possui ponto de ebulição igual a  $25,7^\circ \text{C}$ , LCt50 de  $2500\text{-}5000 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$  e LD50 de  $100 \text{ mg/kg}$  (absorção pela pele).

Tabela 4 – fórmulas estruturais e propriedades físicas dos agentes hemotóxicos

Estrutura	Nome e/ou código	Ponto de ebulição ( $^\circ\text{C}$ )	Ponto de Fusão ( $^\circ\text{C}$ )
$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$ 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 *et al.*, 2010.

Pode apresentar a forma gasosa ou líquida, quando borbulhado em água. O seu contato com os tecidos, olhos e trato respiratório gera irritação, queimação e vermelhidão, apresentando como evolução da contaminação o quadro de confusão mental, tontura e dificuldade de respiração, chegando ao colapso e óbito, pela deficiência funções circulatórias e respiratórias (BARRETO, 2022).

#### 4.1.4 Agentes neurotóxicos

Os agentes neurotóxicos, agentes nervosos ou também chamados de agentes químicos tóxicos de nervos, foram desenvolvidos a partir de estudos na Primeira Guerra Mundial. Os compostos organofosforados são substâncias que contém ligações químicas entre o átomo de carbono e fósforo.

Estes compostos são conhecidos desde a Idade Média pelo homem, sendo preparados pelos alquimistas, que conheciam as suas propriedades químicas. Em 1820 os estudos sobre os compostos organofosforados começaram a se desenvolver,

quando o químico francês Jean Louis Lassaigne (1800-1859) sintetizou o trietil fosfato (fórmula  $C_6H_{15}O_4P$ , p.m 182,15 g/mol), a partir da reação do etanol ( $C_2H_5OH$ ) com o ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ).

Após os estudos de Lassaigne, diversos outros pesquisadores estiveram interessados na síntese, estudo e investigação das propriedades dos compostos de fósforo, e dos pesticidas organofosforados.

Em 1934, foi iniciado pela IG Farben um projeto de pesquisa a fim de serem descobertos novos inseticidas sintéticos. Em 1936 o cientista alemão, Gerhard Schraeder, ao pesquisar organofosforados que pudessem agir como substâncias inseticidas, chegou a estrutura do o-etil-N,N-dimetil-fosforamido-cianidato (fórmula  $C_5H_{11}N_2O_2P$ ), que o chamou de "Tabun".

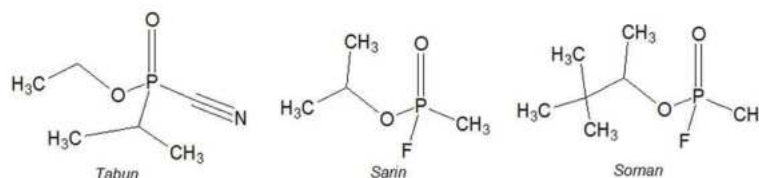
O Tabun é um gás transparente miscível em água, de leve odor frutal, altamente letal para os mamíferos, tendo em vista que testes comparativos realizados entre o gás mostarda, gás fosgênio e o Tabun, mostrou que esta substância demorava 20 minutos para matar os animais testados, e as primeiras substâncias citadas levavam horas ou dias. Devido à sua alta letalidade para os mamíferos, o Tabun foi dispensado para ser usado como inseticida.

Já em 1938, Schraeder também sintetiza outra substância organofosforada, cinco vezes mais tóxica que o Tabun, chamada o-isopropil- metil-fosfono-fluoridato (fórmula  $C_4H_{10}FO_2P$ ), conhecido como gás "Sarin", em homenagem aos seus descobridores. O seu emprego como pesticida também foi descartado, devido à alta toxicidade, assim como aconteceu com o Tabun, sendo que os militares alemães tiveram interesse na substância recém-descoberta, produzindo em larga escala e acondicionando o gás Sarin nas munições empregadas no campo de batalha.

Em 1944, Richard Kuhn sintetizou o "Soman" (o-pinacolil-metil-fosfono-fluoridato, fórmula  $C_7H_{16}FO_2P$ ), que não foi produzido em larga escala, pois sua descoberta ocorreu próxima do final da Segunda Guerra Mundial.

Ao todo, os alemães possuíam estoques de agentes químicos de guerra neurotóxicos, entre dez mil a trinta mil toneladas de Tabun e cinco a dez mil toneladas de Sarin (SILVA *et al*, 2012), que só não foram empregados tendo em vista acreditar-se que os aliados também o produziram e estocaram em grandes quantidades, além do previsto no Protocolo de Genebra, já que países atacados por armas químicas poderiam revidar aos ataques, da mesma forma do agressor.

Figura 49 – Estruturas dos agentes neurotóxicos



Fonte: Bria, 2020.

Ao final da Segunda Guerra e captura do estoque de munições dos alemães pelos aliados, descobriu-se a grande quantidade de agentes químicos de guerra em mãos dos alemães. Procurou-se também cooptar os pesquisadores alemães para estudos sobre a síntese e antídotos dos novos agentes químicos recém-descobertos, pelos países aliados. A Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) atribuiu os códigos de identificação para os agentes químicos Tabun (GA), Sarin (GB) e Soman (GD).

Os agentes neurotóxicos são classificados como os agentes químicos de guerra de maior toxicidade já desenvolvidos pelo homem. Os agentes neurotóxicos, ao atacarem o sistema nervoso central com uma dose muito baixa, interrompem funções vitais no corpo humano, como a respiração e o sistema circulatório, provocam visão turva, fala enrolada e alucinações, se absorvido em baixas dosagens.

Pesquisas demonstraram a alta toxicidade dos agentes neurotóxicos, já que apenas uma gota (cerca de 0,03 mL) é suficiente para matar em cerca de vinte minutos (FARIAS, 2017).

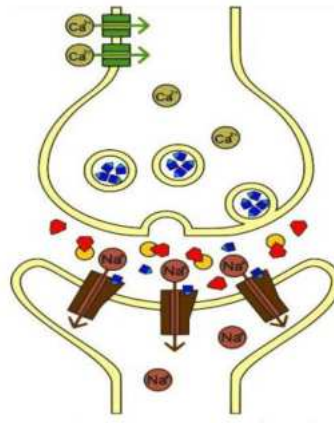
Tabela 5 – Toxicidade estimada dos agentes neurotóxicos

AGENTE	LC <sub>150</sub> (inalação) mg min/m <sup>3</sup>	LD <sub>50</sub> (pele) (mg)
TABUN (GA)	400	1000
SARIN (GB)	100	1700
SOMAN (GD)	50	350
VX	10	6-10
Cianeto de Hidrogênio	2500-5000	-

Fonte: Barros, 2018.

Os agentes neurotóxicos causam excitação contínua, que afeta o sistema respiratório, digestivo, muscular e circulatório pois, ao atacarem o sistema nervoso, impedindo o transporte correto de mensagens entre o cérebro e os músculos do corpo, os neurotóxicos afetam o funcionamento do coração e diafragma, impedindo a respiração da vítima e conseqüentemente levando a vítima a óbito. Eles inibem a ação de diversas enzimas presentes no organismo, em especial a acetilcolinesterase.

Figura 50 – Ataque dos agentes neurotóxicos nas sinapses nervosas



Fonte: Barros, 2018.

Esta enzima controla a hidrólise da acetilcolina, um importante neurotransmissor. Quando a acetilcolinesterase é afetada pelo agente nervoso, ela não mais promove a hidrólise da acetilcolina. Assim, esse neurotransmissor liberado acumula-se, evitando a transmissão suave dos impulsos nervosos através da fenda sináptica da junção nervosa. Isso provoca um colapso no sistema nervoso central cujos sintomas são angústia, rigidez e perda da coordenação muscular, depreciação mental, convulsões e a morte em situação extrema.

Figura 51 – Antídotos usados para o tratamento dos agentes neurotóxicos



Fonte: Barros, 2018.

No caso de contaminação por agentes neurotóxicos, o tratamento para a vítima atingida deverá ser imediato, com a retirada das vestes, a descontaminação, a administração de atropina (droga anticolinérgica), a fim de serem reduzidos os efeitos do excesso de acetilcolina, com a posterior administração de Diazepam (previne convulsões e espasmos) e a Pralidoxima (2 PAM), usada para a reativação da enzima acetilcolinesterase.

## 5 PROPOSTA DE AULA SOBRE ARMAS QUÍMICAS

“A exigência que Auschwitz não se repita é a primeira de todas para a educação” (ADORNO, 1974).

Muitos professores se furtam a explicar, em sala de aula, aos alunos do segundo seguimento do ensino fundamental e aos alunos do ensino médio, sobre as atrocidades sofridas pela humanidade e ocorridas durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) e Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

São vários motivos que podem ocasionar a não abordagem mais “profunda” sobre os períodos vivenciados pela humanidade. Dentre eles podemos destacar a imaturidade dos alunos em relação ao tema proposto, a sensibilidade de alguns em relação aos episódios das barbáries ocorridas nos campos de batalha da Europa, África, Ásia, Oceania e América, questões religiosas, desconhecimento do próprio professor sobre o tema, entre outras.

Mas, como agentes de transformação, o tema deve ser abordado de maneira clara, objetiva e concreta, mostrando aos alunos os motivos que levaram aos fatos ocorridos, e que se estes não forem corretamente compreendidos, a humanidade poderá repeti-los no futuro.

Ainda assim, o tema “Armas Químicas” pode ser abordado de diversas maneiras. Uma delas é fazer com que o ensino da química venha acompanhado de outras disciplinas, como física, biologia, geografia, história e matemática, tirando-as das “caixinhas de isolamento”, e mostrando aos alunos que as competências estudadas se interligam, fazendo com que o ensino se torne mais prazeroso e interessante.

Vejamos o que diz a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, p. 321, 2017):

Ao longo do Ensino Fundamental, a área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências. Em outras palavras, apreender ciência não é a finalidade última do letramento, mas, sim, o desenvolvimento da capacidade de atuação no e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania. Nessa perspectiva, a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos do Ensino Fundamental o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica.

O professor de química pode explorar o tema de diversas formas. Uma delas é trazer ao conhecimento dos alunos as funções químicas das diversas armas químicas mostradas durante as aulas. Estudar suas características físico-químicas, propriedades organolépticas, ligações, sínteses, efeitos, são alguns dos temas facilmente exploráveis em sala de aula.

Sendo assim, será proposto um plano de aula abaixo, sobre o tema a “Armas Químicas”, para os alunos do terceiro ano do ensino médio, tendo em vista acreditar-se que os alunos possuem maturidade suficiente para discutirem sobre o tema, além de terem conhecimento básico sobre química orgânica, já que esta disciplina faz parte do rol de disciplinas previstas para o terceiro ano do ensino médio, além de também já terem estudado sobre as grandes guerras, nas aulas de história, o que torna fundamental o conhecimento adquirido pelo seguimento proposto.

### **PLANO DE AULA**

Professor(a). Turma: 3º ano do Ensino Médio. Data: 10/09/2023 Cronograma: Duração de dois encontros contendo uma hora e meia, cada.
Tema ou conteúdo:  A Química orgânica a partir de uma abordagem histórica envolvendo as armas químicas.
Objetivos Específicos: <ul style="list-style-type: none"><li>• Estimular um pensamento crítico ao apresentar um tema delicado - mas necessário - aos alunos, uma vez que a educação é a base para torná-los pessoas conscientes e engajadas;</li><li>• Promover o diálogo entre os estudantes e o docente, permitindo assim a criação de um ambiente amigável e acolhedor;</li><li>• Apresentar uma interdisciplinaridade com o enfoque na não fragmentação das disciplinas;</li></ul>

- Identificar características gerais das cadeias carbônicas, além de suas funções orgânicas;
- Possibilitar que os alunos façam uma correlação entre as funções orgânicas com os itens do cotidiano.

#### Caracterização das Atividades/Metodologia:

a) O primeiro encontro iniciará com uma notícia envolvendo uma acusação dos EUA ao governo da Síria por ter utilizado os gases sarin e cloro contra a cidade de Duma, nos arredores de Damasco. Desta forma, será possível a introdução da temática armas químicas. Neste momento, os alunos serão questionados sobre o conhecimento prévio relativo ao tema, uma vez que algumas perguntas serão feitas: “

- Em algum momento vocês já ouviram falar sobre a utilização de armas químicas em guerras?

- Vocês sabem quando foi o início da utilização dessas armas?

- Quais os principais efeitos das armas químicas no organismo? “

- Quais os efeitos das armas químicas, para os animais e para o meio ambiente?

Esta abordagem permitirá analisar o domínio do tema de acordo com as dúvidas e inseguranças da turma.

Em seguida, ocorrerá a apresentação do histórico das armas químicas, enfatizando que historicamente o ato de envenenar o inimigo não é algo recente, visto que já na Índia de 2000 a. C. era comum utilizar nas guerras os vapores de fumaça, dispositivos incendiários e cortinas de fumaça. Entretanto, a Primeira Guerra Mundial marcou a entrada da química nos campos de batalha, uma vez que o cientista alemão Fritz Haber espalhou o gás cloro num front perto da cidade Ypres, na Bélgica. Toda a devastação e os efeitos provocados no organismo serão trabalhados na aula. A atitude tomada na época pela Liga das Nações – a precursora da ONU – contra o uso de gases asfixiantes, tóxicos e até mesmo bacteriológicos também será mencionada, sendo possível a elaboração de um diálogo com o enfoque nos Direitos Humanos. A utilização deste tema em uma sala de aula pode ser vista como algo muito pesado ou até mesmo inapropriado, entretanto, segundo Theodor Adorno, no texto **“Educação após Auschwitz”**, é necessário falarmos sobre isso com os nossos educandos para que não ocorra mais essas barbáries nas próximas gerações.

A seguir, outras armas químicas serão apresentadas à turma com as suas respectivas estruturas químicas presentes no quadro branco, tais como: o gás mostarda, O-mostarda, o agente laranja, o VX e o soman (ambos são conhecidos como gases dos nervos), além do gás sarin e gás cloro. Juntamente com as estruturas, serão apresentados os problemas e as características destes gases em slides, deste modo será possível abordar os efeitos e os antídotos, os tratamentos utilizados em cada situação e os impactos para o meio ambiente. A diferença entre as armas químicas das armas convencionais ou nucleares também será apresentada aos discentes.

A partir das estruturas químicas dos compostos será feito uma comparação entre as cadeias carbônicas e, principalmente, os elementos em sua constituição. Com isso será possível a introdução de características primordiais às cadeias, tais como: se é aberta ou fechada, ramificada ou não ramificada, saturada ou insaturada e aromática ou não aromática. O instrumento avaliativo nesta aula será desenvolvido pela turma em pequenos grupos – no máximo quatro alunos – e envolverá a análise de três moléculas. Os alunos escreverão em uma folha de papel as características das cadeias carbônicas que foram vistas anteriormente na aula, posteriormente, a folha com as respostas será entregue à mediadora.

b) O segundo encontro contará com a retomada do conteúdo acerca das cadeias carbônicas para que um novo tópico seja introduzido – as funções orgânicas. O mediador iniciará com o estudo dos hidrocarbonetos envolvendo os alcanos, alcenos, alcinos, alcadienos e aromáticos (o estudo dos tipos de insaturações realizado na aula anterior será primordial neste momento). Em seguida, serão abordadas as características dos haletos orgânicos, exemplos e a sua fórmula geral. As funções oxigenadas também serão trabalhadas em sala de aula, tais como: os álcoois, enóis, fenóis, aldeídos, cetonas, éteres, ácidos carboxílicos e ésteres. Essa parte da matéria será trabalhada em slides devido ao volume de conteúdo, entretanto os alunos receberão uma folha contendo um resumo sobre a nomenclatura e características das funções oxigenadas mencionadas em sala de aula.

A aula terminará com uma atividade envolvendo diferentes tipos de itens presentes no cotidiano da turma. Deste modo, será possível mostrar o quão próximo a química está

dos alunos. A atividade será desenvolvida da seguinte forma: a turma será dividida em grupos de no máximo seis alunos, e cada grupo receberá um envelope com três fotos de itens com as suas estruturas abaixo, como por exemplo um saco de jujuba de morango com a estrutura do butanoato de etila (em relação ao aroma de morango). Após, a proposta será correlacionar a estrutura com a nomenclatura e função orgânica. O mediador passará em cada grupo para tirar as dúvidas dos alunos.

#### Recursos:

- Quadro branco
- Caneta para quadro branco
- Datashow
- Folha de resumo de nomenclatura e característica das funções orgânicas
- Envelopes com itens do cotidiano dos alunos.

#### Avaliação:

O instrumento avaliativo da primeira aula envolverá a análise de três moléculas em pequenos grupos (máximo quatro integrantes), o qual os alunos escreverão em uma folha de papel as características das cadeias carbônicas que foram vistas na aula, as suas estruturas e funções orgânicas e, posteriormente, a folha com as respostas será entregue ao mediador.

A segunda avaliação contará com a separação dos grupos em no máximo seis integrantes. Em seguida, os alunos vão receber um envelope contendo três figuras com as suas respectivas estruturas, eles vão correlacionar as cadeias carbônicas com sua nomenclatura e função orgânica. As respostas serão entregues em folhas destacadas ao mediador.

## 6 CONCLUSÃO

A guerra é, desde as épocas mais remotas, intrínseca ao desenvolvimento da humanidade. Sabemos que durante a história, grupos de indivíduos lutavam entre si, com diferentes propósitos, seja para ampliação e domínio territorial, busca de riquezas, escravização de outros povos, ou pela sobrevivência do seu reinado.

Em todos os conflitos relatados na história, aquele que estiver melhor preparado tecnologicamente, melhor capacitado belicamente, ou que melhor fizer suas alianças políticas e estiver adaptado aos fatores e mudanças que o conflito lhe causa, provavelmente obterá vitória e logrará êxito no campo militar.

Podemos considerar que, de todos os argumentos possíveis que uma nação dispõe, a militar, sem dúvida, é uma das mais eficazes para um governo. Ela é responsável pelas garantias territoriais a uma possível agressão estrangeira, alinhada a tecnologia desenvolvida pelos cientistas e colocada à disposição das suas Forças Armadas, capaz de possuir eficiente arsenal até para a dissuasão de futuros agressores.

Muitos conflitos durante a história, ocorreram devido a disputa de territórios considerados estratégicos. Estes territórios, possuidores de recursos minerais, terras férteis ou fontes de combustíveis que possibilitam a exploração da sua matriz energética, sempre serão cobiçados pelas grandes potências globais, já que muitos destes países ocupam grandes territórios e tem sob sua posse uma gigantesca fonte de recursos naturais.

Já outros, pelo fato de não possuírem grandes territórios, ou territórios pobres em recursos naturais, ou até terem explorado de maneira não sustentável os seus recursos, carecem de meios essenciais ao seu desenvolvimento. Para estes países, a guerra torna-se um meio justificado e eficaz para resolver essa carência de recursos.

Para que isso se concretize, para muitas nações o poderio bélico-militar é o fator decisivo na conquista do poder. Os países sempre procuraram uma forma de desenvolverem a sua capacidade de defesa ou ataque, e para isso tornou-se necessário prepararem seus exércitos, desenvolvendo a melhor tecnologia bélica da época. O avanço da ciência sempre estará atrelado ao desenvolvimento bélico das nações, e as armas de destruição em massa fazem parte desse desenvolvimento científico.

Podemos considerar que a utilização dos agentes químicos de guerra como armas de destruição em massa é, notavelmente uma forma de persuadir os possíveis agressores, já que ela é facilmente produzida pelos países, independente de possuírem ou não uma complexa matriz industrial, com alto ou baixo poderio econômico. Muitos países possuem esta tecnologia que, muitas das vezes, caem nas mãos de grupos terroristas e extremistas.

O seu uso foi amplamente difundido no decorrer da história da humanidade, produzindo efeitos devastadores nos indivíduos a que foram submetidos tal brutalidade como, por exemplo, o uso dos agentes químicos de guerra no extermínio de vidas nos campos de concentração da Europa. O uso destes agentes nos países vítimas dos ataques, além de contaminar a fauna, flora, recursos minerais e ter provocado efeitos físicos, através de mutações genéticas, e efeitos psicológicos irreversíveis na população atingida, perduram por gerações e décadas.

A necessidade de se promover o desarmamento por parte dos países grandes produtores de agentes químicos de guerra, sempre foi um tema muito sensível e complexo. Sabemos que as grandes potências mundiais nunca irão abrir mão dos seus estoques, tendo em vista a possibilidade de usarem os agentes químicos de guerra para uma possível retaliação ou como poder de persuasão.

Grandes potências mundiais, como os EUA, mantêm programas de desenvolvimento de armas químicas, que envolvem gastos vultuosos. Isto se dá pelo fato se também outros países rivais, no cenário mundial, como a Rússia e a China, por exemplo, manterem os programas de desenvolvimento de armas químicas.

Os tratados referentes a proibição de uso e estocagem, e a não proliferação das armas de destruição em massa, e em especial as armas químicas, buscam frear a produção, estocagem, e o conseqüente uso, pelos países que são signatários dos tratados. Porém, países não signatários continuam a produzir e a usar os agentes químicos de guerra, além de que países signatários dos acordos de proibição de fabricação de e estocagem dificultam as inspeções e mascaram seus estoques de armas químicas, mostrando que os acordos são ineficientes.

Em relação a educação, é possível utilizarmos as aulas de química como ferramenta, e os diversos acontecimentos envolvendo a pesquisa e desenvolvimento dos agentes químicos de guerra, como instrumento de aprendizado, **no modelo Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente**, fazendo com que as aulas se integrem a outras disciplinas, como história, física, biologia e geografia, tornando a

disciplina de química mais próxima do aluno, mais interdependente das outras disciplinas, com maior interesse dos discentes em aprendê-la, já que ele verá sentido no aprendizado não isolado, mas interligado da disciplina de química em relação as outras disciplinas.

É importante, também, mostramos aos alunos os horrores que as armas químicas produziram, no decorrer do desenvolvimento da humanidade. A ciência deve sempre ser exaltada e usada para o desenvolvimento da sociedade, sendo importante passarmos, como professores e agentes transformadores da educação, valores como respeito, empatia, civilidade e amor ao próximo, mostrando que no decorrer da história da humanidade, quando tais valores são abandonados, a barbárie impera, ceifando a vida de inocentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, T. W. Erziehung nach Auschwitz, In: –. **Stichworte; kritische Modelle 2**. Frankfurt, Suhrkamp, 1974. Trad. por Aldo Onesti. Disponível em: <https://campuscastanha.ufpa.br/wpcontent/uploads/2018/arquivospdf/02.fevereiro/txto-1.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2023.

BARRETO, R.V. **Reconhecendo as funções orgânicas, associações ao cotidiano e uma breve apresentação sobre agentes químicos de guerra**. UENF. Licenciatura em Química a distância. 2022. Dissertação (Graduação em Química).

BARROS, J. C. de. **A face mais cruel da Química**. UFRJ. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DA DEFESA. EXÉRCITO BRASILEIRO. COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES. **Manual de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear nas Operações**. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA DEFESA. EXÉRCITO BRASILEIRO. COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES. **Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear – EB70- MC-10.233**. Brasília, 2016.

BRIA, M. B. V. **50 Baldes de Urina e os Compostos Organofosforados: Senta Que Lá vem História**. Câmara Brasileira do Livro, 2020.

CAVALCANTI, L. P. A. N.; AGUIAR, A. P.; LIMA, J. A.; LIMA, A. L. S. Intoxicação por Organofosforados: Tratamento e Metodologias Analíticas Empregadas na Avaliação da Reativação e Inibição da Acetilcolinesterase. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 739-766, 11 fev. 2016. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/1301>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

CETESB. Tabun, Sarin, Soman e VX (Agentes Neurotóxicos). **CETESB**, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/agentes-neurotoxicos-1.pdf>. Acesso em: 23 de novembro de 2022.

COELHO, P. **Gás da morte – Ácido Cianídrico**. Engquimicasantosp, 4 de abril de 2015. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/04/gas-da-morte-acido-cianidrico.html>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

COLASSO, C. G; TANOS, C. C. Agentes Vesicantes. **Revista Virtual da Química**. UFF, 2014, v. 6, n. 3 (2014). (Defesa Química) Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/737>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

COLASSO, C. G. Impacto das armas químicas nas Relações Internacionais. In: Anais... **FESPSP**, Incertezas do trabalho, 02 a 05 out. 2017, GT 15 Relações Internacionais: os desafios do sistema internacional perante as mudanças globais, 2017. Disponível em:

[https://www.fespsp.org.br/seminarios/anaisVI/GT\\_15/Camilla\\_Colasso\\_GT15.pdf](https://www.fespsp.org.br/seminarios/anaisVI/GT_15/Camilla_Colasso_GT15.pdf)  
Acesso em: 14 de abril de 2023.

FARIAS, R. F. de. **História das Armas Químicas**. Editora Soares, 2017.

HILBERT, K; SOENTGEN, J. A química dos povos indígenas da América do Sul. **Química Nova**, v. 39, n. 9, 1141-1150, 2016. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/qn/a/rYR3xpPFSBFnLJZ4KkSTZ9w/?format=pdf&lang=pt>.  
Acesso em: 16 de maio de 2022.

GAUDÊNCIO, Jéssica da Silva; RODRIGUES, Sérgio Paulo Jorge; MARTINS, Décio Ruivo. Indígenas brasileiros e o uso das plantas: saber tradicional, cultura e etnociência. **Khronos**, v. 9, p. 163-182, 2020

MAHAFFY, P. The future shape of chemistry education. **Chemistry Education research and Practice**, v. 5, p. 229-245, 2004.

MEC. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

MARTINS, L. J. M. A classificação dos gases químicos e a sua implicação no Corpo Expedicionário Português. **Revista de Ciências Militares**, novembro de 2014 II (2), pp. 157-188.

RODDA, K. E.; OMBERG, K. M.; BROWN, L.; RICE, D. Tools and Incentives for Implementing Codes of Ethics to Help Prevent the Reemergence of Chemical Weapons. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 7, p. 1731-1738, 2020.

SILVA, G. R. *et al.* Defesa química: histórico, classificação dos agentes de guerra e ação dos neurotóxicos. **Química Nova**, v. 35, n. 10, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/H9JXbsRj9fGznjW9PHbZP6G/>. Acesso em: 15 de novembro de 2022.

TANOS, C. C.; SILVA, G. R.; CASTRO, A. T. de. Defesa Química: uma nova disciplina no ensino de química. **Revista Virtual de Química**, v. 2, n. 2, 2010. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/58/128>. Acesso em: 17 de abril de 23.

UFPE. CAA, Licenciatura em Química. Ataque Químico: Uma ameaça silenciosa. **JQI**, Caruaru. Ano V, nº 01. Disponível em:  
<https://www.ufpe.br/documents/39102/0/Ed1-AnoV.pdf/1b389363-a787-43d8-abf6-ce3a30bc52e1>. Acesso em: 26 de junho de 22.

UFPE. CAA, Licenciatura em Química. Ataque Químico: Uma ameaça silenciosa – Parte II. **JQI**, Caruaru. Ano V, nº 02. Disponível em:  
[https://www.ufpe.br/documents/39102/1899826/Edi%C3%A7%C3%A3o+2\\_ano+V\\_+JQI\\_Armas+Quimicas.pdf/8c45b9c1-a26a-4903-bb0f-abf4714efd4e](https://www.ufpe.br/documents/39102/1899826/Edi%C3%A7%C3%A3o+2_ano+V_+JQI_Armas+Quimicas.pdf/8c45b9c1-a26a-4903-bb0f-abf4714efd4e). Acesso em: 26 de junho de 22.

WILLIAMS, U. J. Chemical Weapons Education in the Analytical Chemistry Curriculum: A Case-Based, Active-Learning Approach. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 7, p. 1775-1778, 2020.