



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**THAYSA GABRYELLY OLIVEIRA SANTOS DE SOUZA**

**OS PRINCIPAIS ACONTECIMENTOS DA QUÍMICA ORGÂNICA: uma  
revisão da literatura**

**Recife**  
**2024**

**THAYSA GABRYELLY OLIVEIRA SANTOS DE SOUZA**

**OS PRINCIPAIS ACONTECIMENTOS DA QUÍMICA ORGÂNICA: uma  
revisão da literatura**

Monografia apresentada a coordenação do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado (a) em Química.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Nascimento de Oliveira.

Co-orientadora: Dr<sup>a</sup>. Bruna Martins Guimarães

**Recife**

**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S729p SOUZA, THAYSA GABRYELLY OLIVEIRA SANTOS DE SOUZA  
OS PRINCIPAIS ACONTECIMENTOS DA QUÍMICA ORGÂNICA: uma revisão da literatura / THAYSA  
GABRYELLY OLIVEIRA SANTOS DE SOUZA SOUZA. - 2024.  
66 f. : il.

Orientador: Ronaldo Nascimento de Oliveira..  
Coorientadora: Bruna Martins Guimaraes.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Licenciatura em Química, Recife, 2024.

1. História. 2. Química Orgânica. 3. Século XIX. 4. Século XX. I. Oliveira., Ronaldo Nascimento de.,  
orient. II. Guimaraes, Bruna Martins, coorient. III. Título

---

CDD 540

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**THAYSA GABRYELLY OLIVEIRA SANTOS DE SOUZA**

**OS PRINCIPAIS ACONTECIMENTOS DA QUÍMICA ORGÂNICA: uma  
revisão da literatura**

Aprovado em: 19 de Fevereiro de 2024.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr.<sup>o</sup> Ronaldo Nascimento de Oliveira - Orientador  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Dr.<sup>a</sup> Bruna Martins Guimarães– Co-Orientadora  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr.<sup>o</sup> João Rufino de Freitas Filho – 1<sup>o</sup> avaliador  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Mestre Pedro Ramos de Souza Neto – 2<sup>o</sup> avaliador  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho as mulheres da minha vida,  
Cristina Oliveira, Nadja Santos, Inês Conceição e  
Luiza Santos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus por ter me dado forças para chegar até aqui. A universidade, aos meus orientadores Dr<sup>a</sup> Bruna Martins Guimarães e Professor Dr<sup>o</sup> Ronaldo Nascimento de Oliveira e a todos os pesquisadores do LSCB. A todos os meus amigos que fiz nesse percurso, principalmente, a Maxwell Renan por me emprestar um computador para digitar meu trabalho, Andreza Gomes e Raphaela Sales por serem tão presentes e me ajudarem tanto e, Wendel Martins por todos os dias que me fez sorrir com suas histórias muito loucas. Agradeço também a minha amiga que fiz nos últimos tempos, Ingrid Coimbra, com quem eu já dei muitas risadas e me aconselha bastante. Agradeço aos meus irmãos Thiago Souza, por me ajudar com cálculo, e Gabryel Souza por me auxiliar emocionalmente. A minha avó Nadja Santos que sempre cuidou de mim, ao meu avô Iranildo Souza, que cuidou de mim como um pai. Aos meus avôs maternos João Oliveira e Inês Conceição, que eram agricultores e não tiveram a oportunidade de estudar, mas com certeza estariam muito felizes por mim. A minha bisavó Luiza Santos, que sempre me esperava voltar das aulas durante a noite. Aos meus pais, Jefferson Souza e Cristina Oliveira, por me amarem. Meus tios e tia Fernando Oliveira, José Oliveira, Manoel Oliveira e Edjane Silva. Agradeço ao meu primo Nicolás Henrique, que muitas vezes me emprestou o computador para eu fazer meus trabalhos, além de me dá uma força em cálculo e ao meu amor que conheci no final da graduação Gabriel Silva. Agradeço a todas as pessoas que contribuíram diretamente e indiretamente, para que eu conseguisse chegar até aqui. Muito obrigado.

Eu vejo o futuro repetir o passado.  
Eu vejo um museu de grandes novidades.  
O tempo não para não para, não para.  
(Cazuza, 1988)

## RESUMO

A história da química orgânica é uma narrativa fascinante que se estende por séculos, marcada por descobertas cruciais, avanços teóricos e transformações fundamentais na compreensão da matéria orgânica. Para este trabalho, houve uma revisão da literatura por meio de livros, dissertações, teses e artigos para identificar, apresentar e compreender quais são os principais acontecimentos da química orgânica. Pode-se afirmar que a química orgânica teve início no século XIX, por meio da síntese de Wöhler, que realizou a síntese da ureia a partir de uma substância inorgânica. No século XIX, a compreensão sobre compostos aumentou bastante, graças às contribuições de August Kekulé e Archibald Scott Couper. A teoria da valência, proposta por Kekulé, foi muito significativa já que sugeriu que os átomos de carbono podem formar ligações múltiplas e criar cadeias complexas. No século XX, ocorreram avanços notáveis na área de síntese orgânica e modelagem molecular. A descoberta dos compostos organometálicos, para além dos catalisadores, permitiu que os químicos realizassem avanços na área de síntese, auxiliando no desenvolvimento de novos materiais e medicamentos.

**Palavras-chave:** História. Química Orgânica. Século XIX. Século XX.



## ABSTRACT

The history of organic chemistry is a fascinating narrative that spans centuries, marked by crucial discoveries, theoretical advancements, and fundamental transformations in the understanding of organic matter. For this work, a literature review was conducted through books, dissertations, theses, and articles to identify, present, and comprehend the key events in organic chemistry. It can be asserted that organic chemistry began in the 19th century with Wöhler's synthesis, who successfully produced urea from inorganic substances. In the 19th century, understanding of compounds significantly expanded, thanks to the contributions of August Kekulé and Archibald Scott Couper. Kekulé's valence theory was particularly significant as it suggested that carbon atoms could form multiple bonds and create complex chains. In the 20th century, notable advancements occurred in the field of organic synthesis and molecular modeling. The discovery of organometallic compounds, in addition to catalysts, enabled chemists to make strides in synthesis, contributing to the development of new materials and medicines.

**Keywords:** History. Organic Chemistry. 19th Century. 20th Century.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Propaganda para a venda do álcool no Brasil.....	21
Figura 2. Estrutura da penicilina (a), eritromicina (b) e nistatina (c). .....	22
Figura 3. Flor da papoula, espécie: <i>Papaver somniferum</i> .....	23
Figura 4. Estrutura da Morfina.....	24
Figura 5. Estrutura neutra da glicina .....	26
Figura 6. Equipamento para obtenção de éter sulfúrico.....	28
Figura 7. Equipamento de Lavoisier para estudar fermentação. ....	28
Figura 8. Equipamento de Lavoisier para estudar combustão de óleos.....	29
Figura 9. Imagem do livro publicado "Elementos de química agrícola em um curso". .....	30
Figura 10. Propaganda sobre o "Extrato de Carne de Liebig".....	32
Figura 11. Empresa de pneus Goodyear fundada por Charles Goodyear. ....	33
Figura 12. Estrutura cristalina e atividade ótica.....	36
Figura 13. Estrutura dos isômeros da talidomida. ....	37
Figura 14. Criança com má formação devido ao uso da talidomida.....	37
Figura 15. Estruturas de ressonância do benzeno .....	39
Figura 16. Teorias de Vant Hoff publicadas em Chemistry in Space.....	41
Figura 17. Estrutura da Tiamina .....	47
Figura 18. Embalagem de OSCODAL.....	47
Figura 19. Ocupação de 6 elétrons .....	50
Figura 20. Sistema Aromático .....	50
Figura 21. Representação de uma proteína com o sistema helicoidal.....	51

## LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1. Síntese de Whöler .....	27
Esquema 2. Reação de Berthelot.....	38
Esquema 3. Reação de organometálicos feita por Frankland .....	43
Esquema 4. Exemplo de Reação de Grignard .....	44
Esquema 5. Representação da síntese da amônia por meio do processo de Haber-Bosch .....	45
Esquema 6. Formação do Nylon .....	53

## Sumário

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 OBJETIVOS .....	19
2.1 Geral.....	19
2.2 Específicos .....	19
3 METODOLOGIA.....	20
4 ASPECTOS HISTÓRICOS AO LONGO DA HUMANIDADE.....	21
4.1 Química orgânica na pré-história e antiguidade .....	21
4.1.1 Fermentação na história da humanidade .....	21
4.1.3 Óleos essenciais .....	24
4.2 QUÍMICA ORGÂNICA NA MODERNIDADE E CONTEMPORANEIDADE .....	26
4.2.1 Biomassa vegetal e seu uso .....	26
4.2.2 Início da química orgânica .....	27
4.2.3 Primeiros laboratórios de química .....	27
5 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO .....	30
5.1 Século XIX e suas inovações na química orgânica.....	30
5.1.1 Tratado de Química Aplicada à Agricultura .....	30
5.1.2 Vulcanização .....	32
5.1.3 Descoberta da quiralidade .....	35
5.1.4 Berthelot.....	37
5.1.5 Estrutura do benzeno .....	38
5.1.6 Estereoquímica .....	39
5.1.7 Desenvolvimento de Tecidos .....	41
5.2 Século XX e suas inovações na química orgânica.....	43
5.2.1 Organometálicos .....	43
5.2.2 Síntese catalítica do amoníaco .....	45

5.2.3 Vitaminas .....	46
5.2.4 Contraceptivos hormonais.....	48
5.2.5 Instaurações e a proposta de Hückel .....	49
5.2.6 $\alpha$ -hélice das proteínas .....	50
5.2.7 Síntese do nylon.....	52
5.2.8 De Gennes: Prêmio Nobel de Física e suas contribuições para compreensão dos polímeros .....	53
5.2.9 Síntese total da clorofila .....	54
5.2.10 Woodward-Hoffmann .....	56
5.2.11 Polímeros .....	57
5.2.12 Hidrogenação Catalítica .....	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
REFERÊNCIAS .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

A Química é uma ciência que foi construída por meio de várias descobertas e teorias ao longo do tempo e, que foi desenvolvida por meio de discussões. Como podemos observar, a química está em tudo. Na alimentação, fármacos, cosméticos, combustível dentre tantas outras aplicações no mundo. Assim, é possível compreender que a química estuda e explica as transformações da matéria (Zucco,2011).

A química vem se destacando na contemporaneidade por contemplar as áreas básicas da necessidade humana, como alimentação, higiene e saúde. No que se refere à alimentação, está ligada diretamente ao controle de qualidade dos alimentos e no processo de conservação. Quando observamos o quesito higiene é possível ver o tratamento de águas e questões de saneamento, produção de detergentes e desinfetantes. Para a saúde tem relação com a produção de fármacos, já que é possível constatar que a química também contribui ininterruptamente com a evolução da química medicinal e desenvolvimento de compostos biologicamente ativos (Rodrigues,2022). Desde o aparecimento de linhagens patogênicas, como os vírus do gênero Betacoronavirus, que causam síndromes respiratórias graves como a Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS, em inglês), a Síndrome Respiratória do Oriente Médio (MERS) e, mais recentemente, o vírus SARS-CoV-2, responsável pela pandemia de Covid-19, houve um aumento significativo na busca por novas moléculas dessa categoria. Durante a pandemia de Covid-19, a comunidade científica dedicou esforços sem precedentes para compreender não apenas o processo patológico e suas consequências clínicas, mas também para encontrar alternativas de prevenção e vacinas. No campo da Química, vários grupos de pesquisa conduziram estudos que abrangem desde ensaios pré-clínicos de novos candidatos a fármacos até a prospecção de moléculas de fármacos comerciais utilizando estratégias como o reposicionamento de fármacos. Entre os compostos promissores, destacam-se os análogos de nucleosídeos, como o Remdesivir, Tenofovir e, mais recentemente, o Molnupiravir (Braga, *et. al.* 2022).

Contudo a química no início era bem diferente do que se apresenta atualmente. No princípio, o pensamento aristotélico, que deu base a Teoria do Flogisto, fez com que houvesse a disseminação da ideia que água, ar, fogo e terra eram todas substâncias simples. Essa teoria teve maior domínio durante 1723-1730 devido ao químico Georg Stahl (Thagard; Silva; Giro,2010). No entanto, o desejo pelo conhe-

cimento foi maior e logo ganharam destaques Lavoisier e Priestley. Tomando como referência os estudos de Priestley entre 1776 e 1777, Lavoisier escreveu um livro discutindo o conceito de ar desflogisticado proposto por Priestley. Ao conduzir experimentos com chamas, ele demonstrou que o ar atmosférico é, na verdade, uma mistura de gases (Camel; Moura; Guerra, 2019).

Destacando a importância do trabalho de Lavoisier, que foi fundamental na criação de uma nomenclatura e sistematização da química. Esse seu trabalho foi publicado durante o ano de 1789, que tinha por nome o Tratado Elementar de Química (*Traité élémentaire de chimie*). Essa obra apresenta seu trabalho realizado durante vinte anos no seu laboratório (Carvalho, 2012).

Dentro dessa perspectiva, Berzelius, por meio dos estudos de Lavoisier, desenvolveu e completou a Teoria Dualista, a partir de suas conclusões imediatistas, com respaldo nos seus trabalhos em eletroquímica, durante o ano de 1803 (Pulido, 2016). Berzelius propôs que os átomos quando separados na forma de corpos simples, tinham a tendência de se ligar e formar compostos de primeira ordem, e estes iriam se unir em proporções simples e formar compostos de segunda ordem. Berzelius acreditava que as ligações químicas aconteciam apenas pela atração eletrostática. Sendo assim, átomos de cargas opostas se atraem. No entanto, Amedeo Avogadro, realizou uma pesquisa que consistia em uma análise das leis ponderais de Gay-Lussac e Dalton. Com isso, foi possível chegar à conclusão que, o número de moléculas inteiras de um gás qualquer presente em um volume é sempre o mesmo para volumes iguais. Por conseguinte, é possível compreender que não existe apenas uma única forma de ligação química e, começou a ser aceito o conceito de covalência (Wisniak, 2000).

Porém, é inevitável falar que Berzelius deu contribuições para o estudo da eletronegatividade, mesmo que pregasse a Teoria da força vital. Essa teoria afirmava que os compostos orgânicos viriam apenas dos seres vivos (Buonfiglio, 2011).

Finalmente, a química orgânica, na forma que se apresenta hoje, teve início quando ocorreu o fim da teoria da força vital. Isso aconteceu devido à síntese da ureia, por meio do cianato de amônio ( $\text{NH}_4\text{OCN}$ ), um composto inorgânico. Esse procedimento foi realizado por Friedrich Wohler em 1828 (Sangi, 2016).

Ao final do século XIX, com o advento da revolução científico tecnológica, na química ganham destaque Kekulé e Frankland. Ambos realizaram grandes inovações. Kekulé elaborou a Teoria dos Tipos com aplicações em compostos orgânicos e, as formas de valência. Frankland desenvolveu a Teoria dos Radicais, como também contribuiu diretamente na área de notações e na compreensão da valência de compostos orgânicos saturados e insaturados (Nogueira; Porto, 2019). Ademais, Kekulé propôs o conceito de ligações múltiplas. Trazendo a ideia de uma estrutura hexagonal para o benzeno, logo após ter um sonho com uma cobra mordendo a própria cauda (Zhang; Eastmond; Smith, 2022).

E com todos esses trabalhos sendo desenvolvidos, em química orgânica, para o benefício da sociedade, houve então uma grande contribuição dada pelo engenheiro Vladimir Shukhov, que realizou uma patente na área de craqueamento do petróleo (English, 2005). Por seguinte, o meio de síntese orgânica teve amplo desenvolvimento, destacando-se as reações de cicloadição, mais precisamente, Reações de Diels-Alder. Esse procedimento foi importante para se produzir esteroides e rendeu a Hermann Diels e Kurt Alder um Prêmio Nobel em 1950 (Nicolaou, *et al.* 2002).

Para além, é razoável compreender a natureza e comportamento dos compostos orgânicos, em alusão a isso se pode citar o trabalho realizado pelo físico Arthur Hückel. Ele desenvolveu estudos na área de química quântica, para descrever as ligações covalentes, através dos Orbitais Moleculares (OM). Segundo o modelo de Hückel, há a separação  $\sigma/\pi$  para explicar a rotação restrita de ligações insaturadas entre carbonos (Nordholm; Bäck; Bacskay, 2007).

É inegável os avanços na química orgânica, mas nem todos ocorrem de maneira programada, como por exemplo, foi o caso da biossíntese da penicilina, o primeiro antibiótico do mundo. O qual ocorreu por meio de um processo de fermentação. Contudo, esse procedimento não havia sido planejado. O médico Alexander Fleming, observou um fungo numa placa de Petri que era capaz de inibir a proliferação e destruir bactérias (Calixto e Cavalheiro, 2012). De uma maneira mais ampla, é possível observar que feitos realizados ao longo dos anos, dentro da química orgânica, são utilizados atualmente. Como também podemos citar os Reagente de Grig-



nard que podem vir a substituir compostos orgânicos voláteis, promovendo reações mais seguras e ecológicas. (García-Álvarez; Hevia; Capriati, 2018).

Em alusão a tudo que foi citado anteriormente e da importância da química orgânica moderna na sociedade e sua relevância, esse trabalho tem por objetivo trazer uma revisão bibliográfica, a fim de descrever os principais acontecimentos na história da química orgânica e sua evolução para o que conhecemos hoje.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Desenvolver uma revisão da literatura, sobre os principais acontecimentos da química orgânica e seus benefícios para a sociedade.

### **2.2 Específicos**

- Identificar os principais fatos da química orgânica e suas aplicações.
- Apresentar os fatos históricos associados às descobertas de química orgânica.
- Compreender a evolução da química orgânica e sua importância.

### 3 METODOLOGIA

Uma vez que a Química estuda a matéria e suas transformações, normalmente os conteúdos científicos transitam no campo submicroscópico (visto que não enxergamos a olho nu a dimensão dos átomos), enquanto os fenômenos observáveis estão no campo macroscópico. Assim, um dos obstáculos no processo de ensino-aprendizagem é dissociar esses dois campos, os quais são concomitantes. Deste modo, é preciso compreender a esfera da Química como uma Ciência voltada para a solução de problemas ou de prestação de melhorias para a sociedade. Nessa perspectiva, é fundamental conhecer a História da Química e compreender os contextos históricos, sociais e tecnológicos associados a cada descoberta ou acontecimento dentro desta Ciência.

A realização desta monografia para o curso de Licenciatura Plena em Química, dada à relevância do tema, deu-se por meio de uma pesquisa bibliográfica envolvendo a História da Química Orgânica, através de trabalhos publicados em periódicos científicos, como também a consulta de acervos de dissertações, trabalhos apresentados em congressos e livros. As fontes escolhidas tinham por base a apresentação de fatos históricos da química orgânica, além de trazer os benefícios sociais dos feitos realizados. Como também, escolher fontes recentes que, preferencialmente, estivessem entre os anos de 2012 e 2023.

A pesquisa foi realizada nos bancos de dados da Scielo, Science Direct, Elsevier, Web of Science e também no Portal de Periódicos da CAPES, além do uso da plataforma Scifinder e Google acadêmico, o que pode garantir a relevância das fontes.

## 4 ASPECTOS HISTÓRICOS AO LONGO DA HUMANIDADE

### 4.1 Química orgânica na pré-história e antiguidade

#### 4.1.1 Fermentação na história da humanidade

Há aproximadamente 10.000 anos, quando a humanidade transitou do nomadismo para um estilo de vida sedentário, atividades como agricultura e criação de animais começaram a se destacar. Dentro desse contexto, métodos para a preservação de alimentos foram desenvolvidos. A fermentação emerge como um desses métodos capaz de gerar ácidos com sabor e aroma agradáveis. Destaca-se, nesse cenário, a produção de cerveja na região onde atualmente se localiza a Síria, com registros arqueológicos datados de 5.000 anos antes de Cristo (a.C.). Outros povos, como os romanos, também utilizavam a fermentação para a produção de vinhos. O processo de fermentação podia ser observado devido à liberação de uma fumaça durante sua execução, posteriormente identificada como gás carbônico. (Duar-te,2014).

No mais, a fermentação alcoólica é uma atividade pelo qual os microrganismos, bactérias e leveduras convertem açúcares em álcool. Todo este procedimento ocorre na ausência de oxigênio (Madigan *et. al.* 2016). Durante a década de 70, com a criação do Programa do Álcool (Proálcool), os processos fermentativos para obtenção de álcool são aprimorados, já que o Brasil fica entre um dos maiores produtores e consumidores de álcool do mundo (Figura 1) (Silva, *et. al.* 2008).

**Figura 1.** Propaganda para a venda do álcool no Brasil

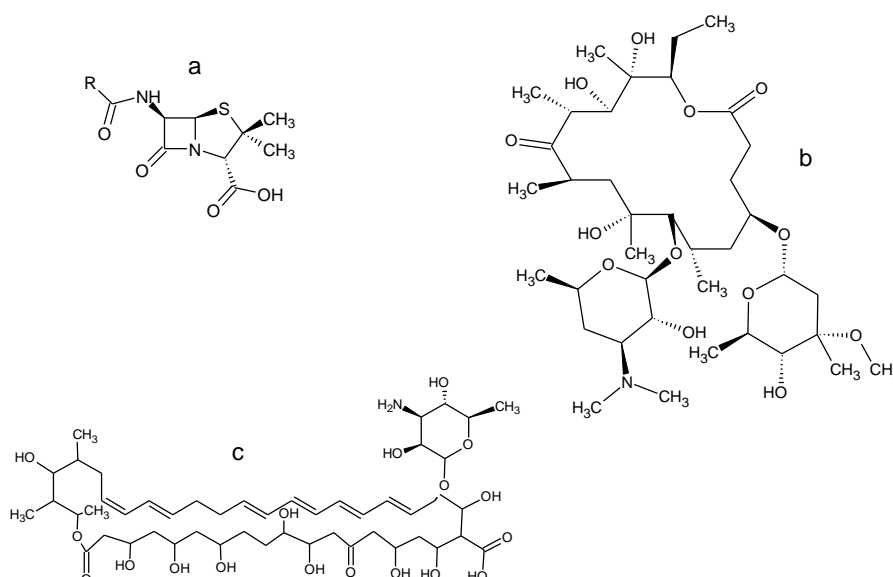


**Fonte:** O combustível que mudou nossa história - ISTOÉ DINHEIRO (istoedinheiro.com.br)

Além disso, outra prática de produção bastante antiga é a do pão. Assim como no caso da cerveja, o processo de fabricação do pão ocorre por meio da fermentação, sendo os microrganismos presentes nos grãos responsáveis por conduzir esse procedimento. Atualmente, devido à diversidade cultural, existem diversas abordagens para a produção de pão. Por exemplo, na América do Norte, destaca-se o modelo de massa esponjosa, enquanto na França é comum o uso de massa fermentada, conhecida como "pain au levain". Ambos os processos, massa esponjosa e "pain au levain", são caracterizados por demandarem um tempo considerável para a realização do processo fermentativo (Luiz; Vanin, 2022).

Os processos fermentativos foram e são de suma importância para a produção de fármacos, um exemplo seria a biossíntese de penicilina (a), primeiro antibiótico do mundo (Calixto e Cavalheiro, 2012). O uso de processos fermentativos vem sendo utilizado atualmente para a produção de novos fármacos com propriedades antifúngica e antibacteriana (Lima; Trevisan, 2021). O exemplo de antibióticos produzidos em processos fermentativos tem o eritromicina (b) (Enid, *et. al.* 2020) e a nistatina (c), como exemplo de antifúngico (Figura 2) (Ujikawa, 2003).

**Figura 2.** Estrutura da penicilina (a), eritromicina (b) e nistatina (c).



Fonte: O Autor

#### 4.1.2 Obtenção de alcaloides vegetais e suas aplicações

Os alcaloides são uma classificação de compostos orgânicos naturais, que se caracteriza por possuir propriedades alcalinas. Apresentando nitrogênio em sua composição e com atividade biológica comprovada, podem ser encontrados em plantas, ainda que haja alcaloides derivados de animais e microrganismos. Tais compostos ao longo da história foram e são alvo de estudos, devido às suas propriedades terapêuticas (Lacerda,2017).

Nesse Panorama, um dos alcaloides mais antigos obtido são os sais de ópio, pois estudos arqueológicos demonstram que durante a Era Neolítica, mais precisamente, onde hoje é a Suíça, há resquícios de papoula, de onde o ópio era extraído (Figura 3). Em linhas gerais, as plantações mais antigas foram feitas pelos povos sumérios e esta era descrita como a “planta da alegria”. Contudo, o ópio também foi descrito na Antiga Grécia com propriedades hipnóticas (Duarte, 2005).

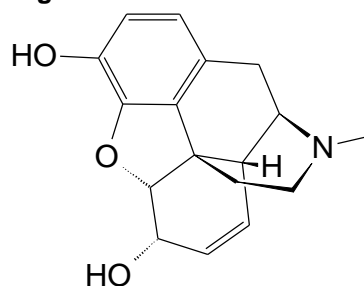
**Figura 3.** Flor da papoula, espécie: *Papaver somniferum*



**Fonte:** <http://www.jardimcor.com/catalogo-de-especies/papaver-somniferum/>

Existem relatos que o uso do ópio para tratamento de diarreia ocorreu por volta de 3 anos antes de cristo (a.C.). Com os avanços na química, verificou-se que os sais de ópio são uma mistura de 25 alcaloides diferentes e, esses alcaloides são análogos ou derivados da morfina. A codeína é um exemplo de derivado da morfina, que ocorre na papoula. Os derivados não possuem semelhança estrutural à morfina (Costa, 2017). A morfina é um alcaloide fenantrênico, além de um dos fármacos mais importantes da atualidade, por sua ação analgésica (Figura 4). Atualmente, a morfina vem sendo utilizada para aliviar fortes dores em pacientes portadores de doenças oncológicas (Nunes; Garcia; Sakata, 2013). A sua extração acontece nas cápsulas da papoula (Vale,2002).

**Figura 4.** Estrutura da Morfina



**Fonte:** O Autor

No presente momento, existem várias técnicas de extração de alcaloides, mas o método mais tradicional é a extração ácido-base. Inclui a extração líquido-líquido através de solventes orgânicos, como hexano, diclorometano e clorofórmio (Mateus,2021).

#### **4.1.3 Óleos essenciais**

Os óleos essenciais são produtos naturais, que têm como maior característica serem uma mistura diversificada de 20 a 60 componentes, em concentrações variadas. Além disso, são considerados metabolitos secundários. Os metabolitos secundários são substâncias químicas produzidas por organismos vivos, como plantas, micro-organismos e alguns animais, que não desempenham um papel direto nas funções básicas de crescimento, desenvolvimento ou reprodução do organismo produtor. Em geral, os óleos essenciais apresentam uma mistura principalmente de terpenóides, monoterpenos e sesquiterpenos, embora também possam estar presentes diterpenos (Olinto *et al.* 2021). Os terpenóides, monoterpenos e sesquiterpenos, são subclasses dos terpenos. Monoterpenos consistem em duas unidades de isopreno ( $C_{10}H_{16}$ ); sesquiterpenos consistem em três unidades de isopreno ( $C_{15}H_{24}$ ) e os diterpenos são uma classe de terpenos compostos por quatro unidades de isopreno ( $C_{20}H_{32}$ ) (Bruice, 2006).

Ao olharmos para a história o uso de óleos essenciais é bem antigo, pois na cultura egípcia, os mesmos eram utilizados no processo de embalsamento dos mortos. Atualmente, devido à atividade antibacteriana e antifúngica comprovada, estes vêm sendo utilizados em hospitais para desinfetar o ambiente (Pereira, *et al.* 2006).

Ademais, o uso dos óleos essenciais é empregado na indústria farmacêutica, alimentícia e cosmética. Para a extração dos óleos essenciais alguns métodos são comumente empregados, porém os mais utilizados são: hidrodestilação, extração com solvente orgânico, destilação a vapor, extração com fluido supercrítico, enflorescência, prensagem a frio, entre outros (Silveira, *et. al.* 2012).



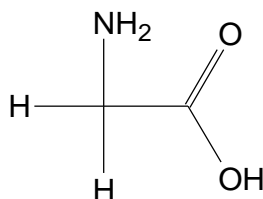
## 4.2 QUÍMICA ORGÂNICA NA MODERNIDADE E CONTEMPORANEIDADE

### 4.2.1 Biomassa vegetal e seu uso

As biomassas entram no contexto de serem capazes de produzir energia sem gerar tantos impactos na natureza. Com isso, durante o ano de 1819, o francês Henri Braconnot, foi um dos pioneiros a trabalhar com biomassa. Em seu trabalho, desenvolveu uma forma de hidrolisar açúcares, providos da celulose, por meio do ácido sulfúrico. Ainda assim, a comercialização de biocombustíveis teve início durante o ano de 1898 (Schlittler; Antunes; Pereira Júnior, 2018).

Ao observarmos a história, é possível saber que Henri Braconnot, foi um dos primeiros a trabalhar com polímeros, mais precisamente, carboidratos. Diante disso, Braconnot realizou trabalhos com açúcares, para posterior hidrólise química, os açúcares foram isolados da beterraba e de fungos comestíveis. Após a realização sistemática para isolar e obter as substâncias, por meio do ácido sulfúrico, Braconnot chegou à glicina, um aminoácido (Figura 5) (Muzzarelli, *et al.*, 2012).

**Figura 5.** Estrutura neutra da glicina

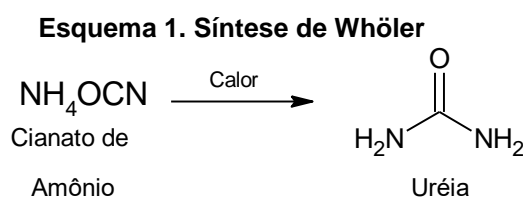


**Fonte:** o Autor

No entanto, durante o século XX, combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) passaram a ser utilizados como fonte de energia, o que totalizava aproximadamente cerca de 80% da energia global produzida (Goldemberg, 2009). Contudo, a procura por fontes energéticas diversificadas vem crescendo, pelo fato das nações se preocuparem com uma possível crise pela escassez dos combustíveis fósseis (Cuchi; Galão, 2022). Nesse contexto, o uso da biomassa se tornou uma necessidade mundial e o Brasil tem grande destaque frente a outros países, já que é um dos maiores produtores de energia renovável, representando 31% da sua matriz energética (Silva *et. al.* 2017)

### 4.2.2 Início da química orgânica

Durante o século XVIII, a Teoria da Força Vital tinha uma grande influência no meio acadêmico, principalmente, devido ao prestígio do químico sueco Jakob Berzelius. Essa teoria afirmava que, toda e qualquer matéria orgânica teria origem apenas de seres vivos. No entanto, durante o ano de 1828 o químico alemão Fredrich Wöhler sintetizou a ureia a partir do cianeto de amônio, o qual é um composto inorgânico (Esquema 1). A ureia pode ser encontrada na urina e no suor de seres vivos. Inicialmente, esta não era a sua intenção, pois a sua ideia era de produção do cianato de amônio. Ademais, o procedimento feito por Wöhler ficou conhecido por Síntese de Wöhler, o que possibilitou a produção de compostos orgânicos de maneira artificial. Essa produção trouxe grandes benefícios, o que possibilitou a descoberta do éter. Com isso, 14 anos após o trabalho de Whöler, ocorreu o primeiro relato de um médico que utilizou uma anestesia de éter, para fazer a primeira cirurgia com uso de anestésico (Neto, *et al.* 2013).



**Fonte:** O Autor

Com o passar do tempo um número maior de compostos orgânicos passou a ser conhecidos, conceitos como isomeria e estereoquímica passaram a ser construídos (Raupp *et al.*, 2021).

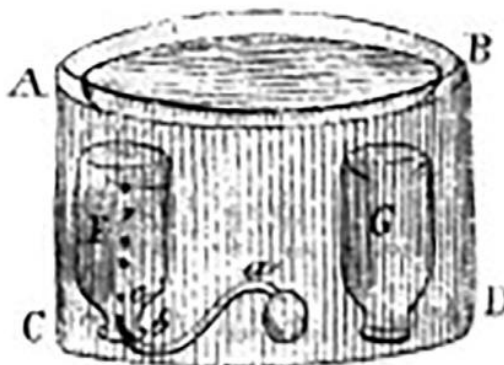
### 4.2.3 Primeiros laboratórios de química

Ao olharmos para a história, sabemos que Antonie Lavoisier foi um dos primeiros a ter um laboratório de química. Nesse contexto, os equipamentos utilizados eram simples, pois a química feita por Lavoisier tinha por base as três formas de existência dos corpos, sólido, líquido e aeriforme (Alston, 2017)

Como por exemplo, temos o trabalho utilizando a obtenção do vapor de éter sulfúrico. O vapor foi recolhido através de dois frascos de vidros que estavam de

cabeça para baixo em que estavam mergulhados em água quente. As bolhas emergiam e eram capturadas dentro da garrafa, conforme a figura 6 (Alston, 2017).

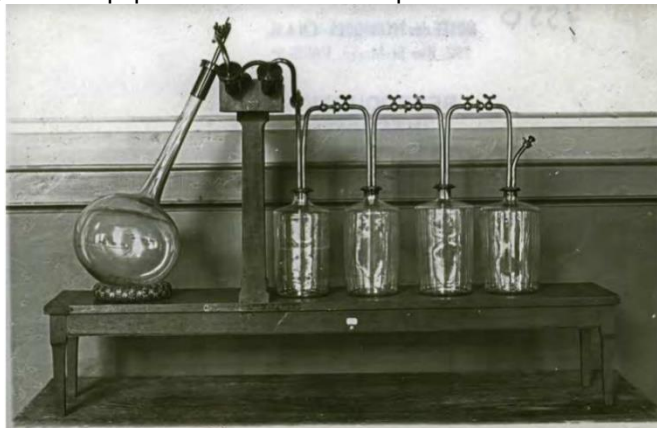
**Figura 6.** Equipamento para obtenção de éter sulfúrico



**Fonte:** (Theodore, 2017).

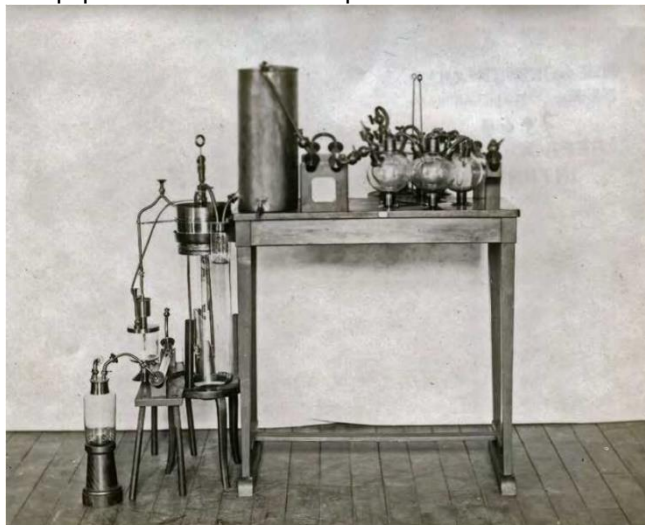
Após a morte de Lavoisier, houve uma exposição dos equipamentos presentes em seu laboratório, no rés do chão do Conservatório Nacional de Artes e Ofícios, durante o ano de 1882. No que esteve exposto foi possível a presença de instrumento para realizar fermentação e para a combustão de óleos (Beretta; Brenni, 2022).

**Figura 7.** Equipamento de Lavoisier para estudar fermentação.



**Fonte:** (Beretta; Brenni, 2022).

**Figura 8.** Equipamento de Lavoisier para estudar combustão de óleos.



**Fonte:** (Beretta; Brenni, 2022).

## 5 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

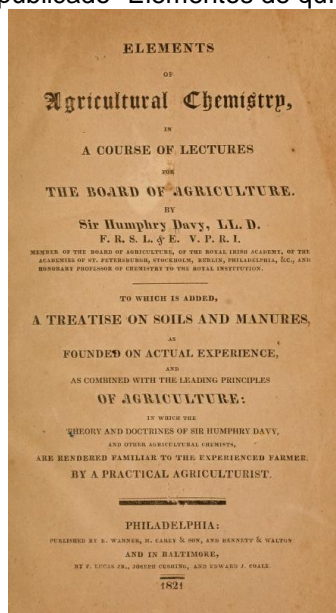
### 5.1 Século XIX e suas inovações na química orgânica

#### 5.1.1 Tratado de Química Aplicada à Agricultura

Justus Von Liebig, afirmava que uma sociedade que não cuida do próprio solo, irá tender ao declínio por inanição do solo ou pela busca de novas terras. Dentro dessa perspectiva, os trabalhos de Humphry Davy e Liebig ganham destaque na área de química agrícola (Capilé; Santos, 2011).

Assim, com a finalidade de produzir um melhoramento das lavouras, o governo britânico passou a realizar investimentos nos trabalhos de Davy. Como consequência houve a publicação de Elementos de Química Agrícola em um Curso de Palestras (Elements of Agriculture Chemistry In a Course of Lectures), no ano de 1813. (Figura 9). É inegável as contribuições de Davy, porém é necessário compreender que havia limitações, pois nesta época acreditava-se que os compostos orgânicos viriam apenas dos seres vivos, o que dificultava a produção de fertilizantes (Capilé; Santos, 2011).

**Figura 9.** Imagem do livro publicado "Elementos de química agrícola em um curso".



**Fonte:** <https://www.biodiversitylibrary.org/item/90993#page/5/mode/1up>

Segundo Capilé e Santos (2011), às contribuições de Friedrich Wöhler em 1828, com a síntese da ureia, a partir do cianato de amônio, houve a ruptura desse arquétipo, que os compostos orgânicos seriam providos apenas dos seres vivos,

com isso pode ocorrer a crescimento da agricultura. Inerente a este fato, Liebig realiza estudos na área do solo, para o favorecimento do desenvolvimento das plantas, a partir disso pôde publicar em 1840, o Tratado de Química Aplicada à Agricultura. O trabalho de Liebig se baseava na Lei do Mínimo e na Teoria Mineral da Nutrição Vegetal.

No que desrespeita a Lei do Mínimo, entende-se que a produção da planta estará de acordo com o nutriente que se encontra menor quantidade (Kreuz; Lanzer; Paris, 1994). Com a desmistificação a respeito do processo de nutrição, a produção em escala industrial de fertilizantes teve início. Liebig foi um dos primeiros a começar a trabalhar com fertilizantes, pois ele estava apoiado na Teoria Mineral da Nutrição Vegetal (Romeiro, 1992).

Compreendesse que os fertilizantes assumiram uma significativa importância, sendo considerados insumos essenciais para a elevação da produtividade agrícola. O Brasil figura como o quarto maior consumidor de fertilizantes, ficando atrás apenas de nações como Estados Unidos, Índia e China. É interessante notar que, enquanto o fósforo é o principal nutriente utilizado na agricultura brasileira, em contrapartida, o nitrogênio é predominante em outros países (Maciel; Tunes, 2021).

Nessas condições, passou a ser compreendido a importância de uma boa alimentação. Assim durante um círculo de palestras, em 1860, dadas por Edwin Lankester, este afirmou a importância da ingestão de proteínas, mais precisamente, da proteína animal. Pois, este era um dos fatores que iria auxiliar no desenvolvimento físico e mental de um indivíduo. Devido a influência de Liebig, houve um grande aceite das suas ideias, entre os químicos e médicos, em relação a nutrição e alimentação da sociedade. As orientações dadas por Liebig foram utilizadas em hospitais, nas dietas de pacientes em processo de recuperação. A partir disso, durante o ano de 1865, começou a acontecer a comercialização do Extrato de Carne de Liebig. Devido ao seu preço acessível, o extrato de carne se popularizou rapidamente entre a população europeia. Sendo um fluído espesso, na cor marrom e de aroma agradável. Em razão a popularização, do extrato de carne, havia uma preocupação com o valor nutricional e médico desse alimento, contudo após um determinado tempo, a empresa estava mais preocupada com a comercialização (Figura 10). (Finlay, 1995).

Figura 10. Propaganda sobre o “Extrato de Carne de Liebig”.



Fonte: <https://www.elmarcoverde.com/shop/publicidad-extracto-de-carne-liebig-cartel-publicitario-antiguo/>

Atualmente, por meio dos trabalhos de Liebig, o uso de fertilizantes é bastante importante para que haja uma realização da produção em massa de alimentos, podendo ser possível compreender que 50% dos alimentos são produzidos com o uso de fertilizantes. Dentro desse cenário, é válido entender a importância do setor agrícola na segurança e produção alimentar (Casarin; Stipp, 2013).

### 5.1.2 Vulcanização

Olhando para a história é possível observar que no século XVI, os europeus viram que os povos indígenas norte-americanos já utilizavam a borracha na produção de bolas, calçados similares a botinas e recobrimento de roupas. Esse material era fascinante, pois era diferente de tudo que se conhecia na Europa (da Costa, *et al* 2003).

Em vista disso, durante o século XIX, Charles Goodyear, começou a fazer estudos sobre o melhoramento da produção de borracha, já que esses produtos quando submetidos a altas temperaturas ficavam viscosos e, em baixas, tinham a tendência de ficarem quebradiços. Assim, ao conhecer Nathaniel Hayward e seus trabalhos, Goodyear misturou a borracha com enxofre, conseguindo desenvolver o processo de vulcanização em 1838 / 1839 e no ano de 1844, patenteou o processo de vulcanização. No mais, algumas semanas antes de Goodyear realizar a sua patente Thomas Hancock também tinha feito seu pedido de patente no Reino Unido



em 1843, contudo Charles Goodyear é considerado o criador do processo de vulcanização e é relatado nos livros didáticos, além de ter desenvolvido a marca de pneus Goodyear, que é conhecida no mundo, como representada na figura 11 (Raue, *et al.* 2014).

**Figura 11.** Empresa de pneus Goodyear fundada por Charles Goodyear.



**Fonte:** <https://media.fox61.com/embeds/video/responsive/95-3840de10-6d21-4d39-ad7f-80e3dd6cdd4f/iframe>

Os processos de vulcanização podem ser compreendidos como uma série de reações químicas que formam ligações cruzadas, ou seja, um processo de reticulação, com a finalidade de produzir elastômeros ou borrachas sintéticas que são mais resistentes que a borracha natural (da Costa; Ramos, 2020).

A vulcanização é um processo químico fundamental na conversão da borracha, promovendo a formação de ligações cruzadas entre as cadeias moleculares anteriormente independentes. Esse processo resulta na criação de uma rede tridimensional no material, conferindo-lhe propriedades elásticas e reduzindo seu comportamento plástico. A borracha vulcanizada torna-se insolúvel e mais resistente fisicamente, com uma faixa de temperatura de operação mais ampla em comparação com a borracha não vulcanizada. Por outro lado, a vulcanização dinâmica é um método mais recente, no qual a vulcanização ocorre durante a mistura de um elastômero no estado fundido com um termoplástico. Esse processo resulta na produção de uma classe de materiais conhecida como termoplásticos vulcanizados, os quais exi-



bem as propriedades desejadas da borracha vulcanizada, mas podem ser processados como termoplásticos convencionais (Passador; Pessan, 2007).

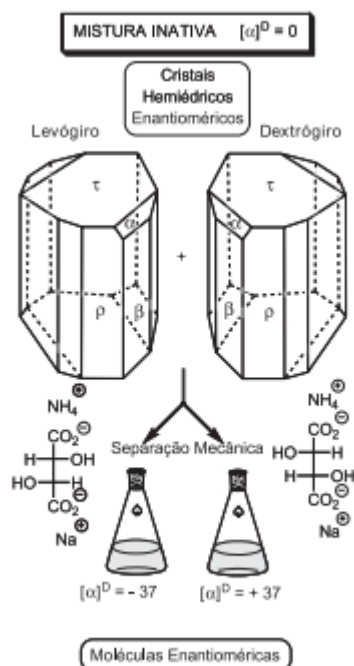
Atualmente, um dos maiores usos da borracha sintética é a produção de pneus. A Associação Nacional de Indústria de Pneumáticos (ANIP) afirmou que, aproximadamente, 61 milhões de pneus são colocados nos mercados do Brasil (Oda; Fernandes Júnior, 2001).

### 5.1.3 Descoberta da quiralidade

Sabe-se que moléculas quirais são aquelas que não apresentam simetria especular, ou seja, irão apresentar diferenças em suas imagens especulares. Nesse sentido, os trabalhos feitos por Louis Pasteur tornam-se pioneiros, já ele comprovou a existência da quiralidade, com respaldo em seus trabalhos realizados com cristais de tártaro de sódio-amônia (Bechtold, 2005). Convenientemente por seus trabalhos na área de microbiologia e doenças infecciosas, Pasteur ganhou notoriedade e durante o ano de 1847, pois recebeu o título de Doutor em Ciências pela Universidade Paris, logo após isso passou a desenvolver seus estudos em cristalografia assim comprovando a quiralidade (Gal, 2017).

A solução de Pasteur foi um notável exemplo, da compreensão da assimetria molecular, seus agregados cristalinos continuam a ser objeto de estudo até os dias atuais. Ao analisar ácido racêmico precipitado em tonéis de vinícolas no sul da França, Pasteur identificou a ausência de atividade óptica, embora compartilhasse fórmula molecular e semelhança química com o ácido tartárico. Sua observação cuidadosa revelou a quiralidade nos cristais, e ao coletar manualmente populações específicas, ele submeteu cada solução à luz polarizada, notando coincidência total de valores em sentidos opostos. O marco significativo desse experimento foi a manutenção da atividade óptica após a dissolução dos compostos, contrastando com a observação comum de perda de atividade óptica em substâncias como quartzo e clorato de sódio ao serem dissolvidas ou fundidas. Essa descoberta levantou questões sobre a atividade óptica ao nível molecular, contribuindo de forma fundamental para o postulado de Le Bel e Van't Hoff sobre a natureza tetraédrica do átomo de carbono (Figura 12) (Dias; Soares, 2009).

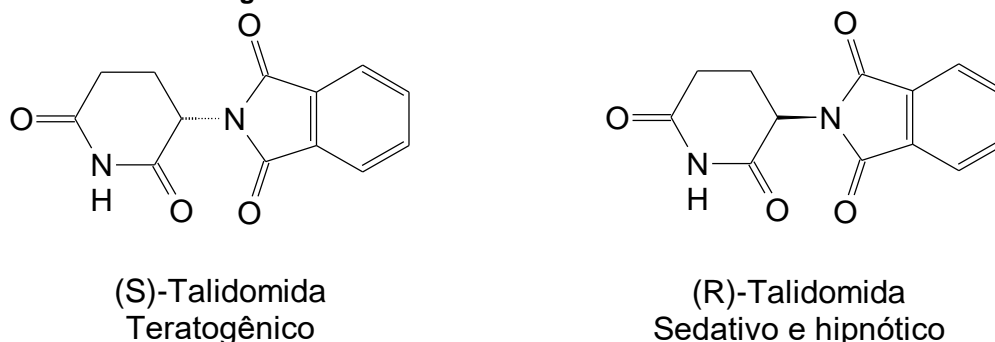
**Figura 12.** Estrutura cristalina e atividade ótica.



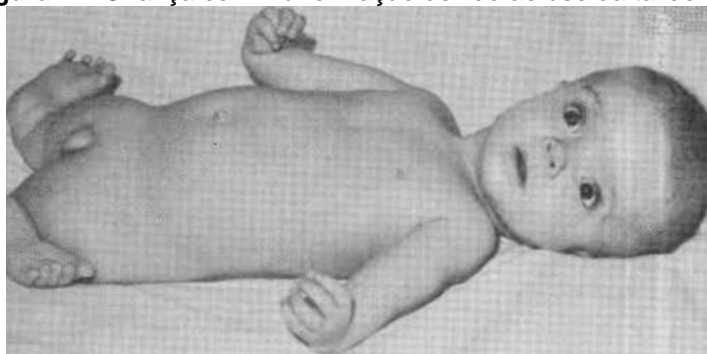
**Fonte:** (Dias; Soares) 2009.

Na época atual, é de suma importância o entendimento da quiralidade para a produção de fármacos, pois se um determinado composto apresentar um centro quiral e houver uma mudança na orientação isso irá influenciar numa baixa atividade biológica, ou numa não atividade e até mesmo em um efeito adverso. Além do que, a presença de um centro quiral pode ser um dos fatores que contribuem de como será ação do fármaco (Coelho, 2001).

Um dos acidentes mais conhecidos provocados por fármacos que possuem centro quiral é a talidomida (Figura 13). A talidomida provocou uma má formação em fetos. Devido a sua utilização como um sedativo para aliviar enjoos em mulheres grávidas (Figura 14). Após o crescente número de má formação houve um estudo, assim comprovando que isso ocorreu devido ao uso do isômero S da talidomida (Tokunaga, *et al.* 2018). Os enantiômeros da talidomida demonstram uma rápida interconversão no fígado, ocorrendo em um intervalo de tempo de aproximadamente 8 horas. Enquanto o enantiômero S exibe efeitos teratogênicos, o enantiômero R da talidomida possui propriedades sedativas. Dada a notável interconversão, a obtenção de um enantiômero puro da talidomida não se mostra viável ou significativa (Gohel, 2003). Atualmente, este fármaco vem sendo aplicado no tratamento de Hanseníase (Tokunaga, *et al.* 2018).

**Figura 13.** Estrutura dos isômeros da talidomida.

Fonte: O Autor

**Figura 14.** Criança com má formação devido ao uso da talidomida

Fonte: <http://histologiaenfermagem.blogspot.com/p/blog-page.html>

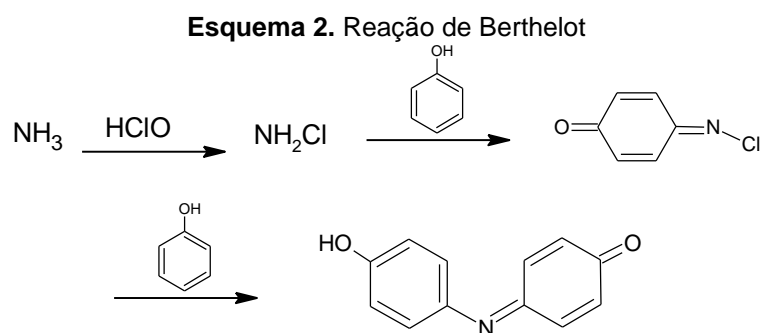
#### 5.1.4 Berthelot

As contribuições dadas por Pierre Eugène Marcellin Berthelot, para a química orgânica, ocorreram durante os anos de 1853 – 1854. Ele conseguiu realizar a síntese de compostos ainda não conhecidos e que também não tinham ocorrência de maneira natural (Wentrup, 2022).

Um dos seus trabalhos foi com o acetileno, ainda que as primeiras atividades tenham sido realizadas por Edmund Davy cem anos antes. Assim por meio dos trabalhos feitos por Berthelot com acetileno, foi possível chegar, em métodos para a produção de carbonato de cálcio através do acetileno (Jones, 1949).

No entanto, sua reação mais reconhecida é aquela que leva seu nome, conforme apresentado no esquema 2. Este método foi desenvolvido no ano de 1859. Berthelot observou a formação de uma coloração azul, resultante da mistura de uma

solução de amônia, fenol e hipoclorito. Essa reação tornou-se um método amplamente utilizado para a determinação de amônia, ganhando popularidade após ser empregada na descoberta do nitropentaciano ferrato de sódio. Atualmente, a reação de Berthelot é empregada no tratamento de águas para a análise de teores de amônia (Daridon, *et al.* 2001).



Fonte: O Autor.

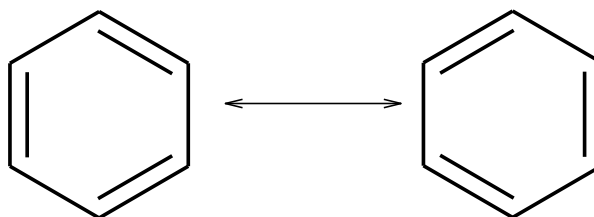
### 5.1.5 Estrutura do benzeno

No período de 1825, Michael Faraday, fez a descoberta do benzeno e seus derivados. Posteriormente, em 1855, o químico August Wilhelm von Hofmann London, introduziu o termo Química Aromática. Ao olharmos para a história é possível observar que Friedrich Kekulé, foi um dos primeiros a propor que, além da questão da aromaticidade, o carbono não fazia apenas ligações químicas com os elementos hidrogênio, cloro, oxigênio e nitrogênio, mas também havia ligações do tipo carbono-carbono. Contudo, Archibald Couper, em 1858, também realizou estudos na química orgânica e publicou trabalhos falando sobre a tetravalência do carbono e a capacidade do carbono realizar ligações carbono-carbono. Logo após isso, Kekulé fez uma publicação refutando Couper, afirmando que seus trabalhos foram publicados antes que os de Couper, assim Kekulé foi pioneiro nessa área. Durante o ano de 1865, Friedrich Kekulé publicou um artigo afirmando que o benzeno, possui uma estrutura hexagonal (Clercq,2022).

Apesar da publicação de Kekulé em 1865, durante o ano de 1861, o químico e físico, Joseph Loschmidt realizou a publicação do livro “Estudo Químico. A. Constituições Fórmulas de química orgânica em forma gráfica Representação” (Chemische Studien. A. Constitutions-Formeln der organischen Chemie in graphischer Darstel-

lung). Em seu livro Loschmidt trouxe 384 gráficos e fórmulas moleculares, apresentando fatos relevantes sobre a natureza das ligações químicas. Mostrando, com mais autoexplicação que Kekulé, que as ligações podem ser simples, duplas ou triplas. Devido a este fato, alguns pesquisadores, afirmam que Loschmidt foi o primeiro a propor uma estrutura cíclica para o benzeno (Clercq,2022).

**Figura 15.** Estruturas de ressonância do benzeno



**Fonte:** o Autor

Apesar dos fatos que antecederam a publicação feita por Kekulé, em relação a estrutura do benzeno, com ligações duplas e simples alternadas. Ele afirmou sobre esta conformação após um sonho que teve. Kekulé viu uma cobra mordendo a própria cauda, enquanto girava. A partir disso veio a ideia de benzenização. Atualmente sabe-se que o benzeno vem sendo utilizado como solvente industrial, onde sua produção é oriunda, em maior parte, das indústrias petroquímicas. Através do refino do petróleo (Zhang; Eastmond; Smith, 2002).

### 5.1.6 Estereoquímica

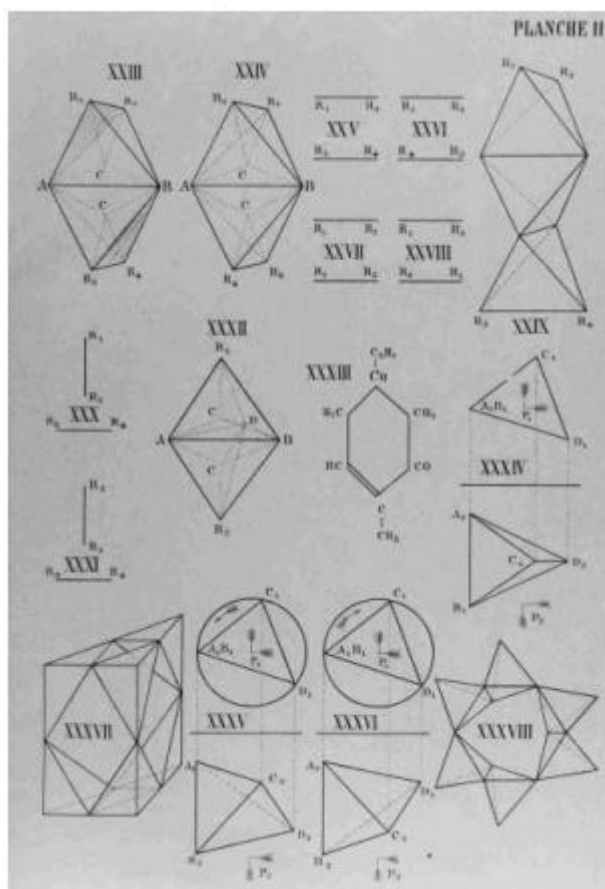
Durante boa parte do século XIX, a comunidade científica não aceitava a ideia que as moléculas possuíssem um arranjo espacial (Raupp *et al*, 2021).

Ainda que houvesse a idealização do arranjo espacial, durante o ano de 1820, dois pesquisadores em laboratórios diferentes conseguiram sintetizar compostos semelhantes, porém com propriedades físicas diferentes. O alemão Justus von Liebig, em Paris, sob orientação do Louis Joseph Gay-Lussac, físico e químico francês, obtiveram  $\text{AgCNO}$ , um composto explosivo que o chamavam de fulminato de prata. Em Estocolmo, o químico alemão Friedrich Wöhler, sob orientação do químico sueco Jöns Jacob Berzelius, sintetizou o  $\text{AgOCN}$ , o cianato de prata. (Raupp; Prochnow; Del Pino, 2020).

Dessa maneira, três décadas após os trabalhos de Pasteur em cristalografia, sob a quiralidade, em 1874, os químicos Jacobus Henricus Van't Hoff, na Holanda, e Jules Achille Le Bel, na França, apresentaram de forma independente seus trabalhos no campo da estereoquímica, com respaldo nas pesquisas feitas por Pasteur. Ambos propuseram uma estrutura tetraédrica perfeita para o carbono. Logo, Van't Hoff e Le Bel são considerados os fundadores da estereoquímica moderna. Como também Van't Hoff sugeriu o termo quiral para o carbono assimétrico. O conceito de Le Bel não ficou tão conhecido, pois se tratava de uma proposta mais abstrata. Contudo, era inaceitável pensar na química sem um arranjo espacial das moléculas (Raupp *et al*, 2021).

Vant Hoff obteve sua formação científica e nutriu sua paixão pela ciência nos laboratórios de August Kekule, na Alemanha, e Adolphe Wurtz, na França. Durante sua estadia em Paris, onde teve encontros com Joseph-Achille Le Bel e onde as ideias de Louis Pasteur sobre atividade óptica eram predominantes, Vant Hoff teve uma oportunidade única para aplicar suas concepções criativas em estereoquímica e no arranjo tetraédrico do carbono para interpretar os experimentos de Pasteur. Os resultados dessas investigações foram apresentados em "La Chimie dans l'Espace" em 1875 (Figura 16) (Meijer,2001).

**Figura 16.** Teorias de Vant Hoff's publicadas em Chemistry in Space



Fonte: Meijer(2001)

Mesmo com tudo isso, o conceito não era aceito por todos, gerando muitas desavenças e dificuldades para que a química orgânica pudesse se desenvolver. Marcellin Berthelot e Hermann Kolbe eram dois grandes opositores (Raupp et al, 2021). Assim, durante o ano de 1877, Kolbe iniciou duras críticas à Van't Hoff, afirmando que sua proposta sobre um arranjo espacial dos átomos podia ser comparada a uma fantasia infantil (Raupp; Prochnow; Del Pino, 2020).

### 5.1.7 Desenvolvimento de Tecidos

O Conde Hilaire De Chardonnet foi um cientista e inventor que trabalhou com radiação ultravioleta e suas influências. Além disso, Chardonnet também trabalhou com fisiologia animal. Nesse contexto, Chardonnet pôde observar que o bicho-da-seda libera um líquido que passa para o estado sólido, ou seja, formando a seda. Este fenômeno ocorre devido a um segundo líquido excretado pelo bicho-da-seda (Parsons, 1925). Essas suas observações ocorreram no ano de 1880, devido ao fato



de Chardonnet ter sido aluno de Pasteur, e juntos realizaram uma pesquisa na Inglaterra, sobre a doença provocada pelo bicho-da-seda (Fantoni, 2012).

Em vista de tudo que pôde aprender sobre a seda e seu processo de produção e suas tentativas de produzir um tecido artificial, Chardonnet implementou um processo que envolvia o uso de uma solução de nitrocelulose, com éter sulfúrico atuando como solvente, e muitas das principais fábricas europeias ainda empregam esse método original ou variações dele. Posteriormente, um segundo processo comercialmente viável foi desenvolvido, baseando-se na utilização da chamada solução de celulose de cupramônio, na qual sais de cobre e amônia são empregados como solventes. Cerca de duas décadas atrás, químicos ingleses, como Cross e Bevan, descobriram uma terceira solução de celulose, conhecida como "viscose", que atualmente é considerada a mais eficaz na produção de filamentos artificiais. (Ambruster,1911).

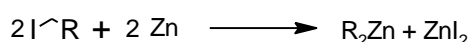
Assim de fato compreendesse a produção do rayon, tecido desenvolvido por Chardonnet, teve início durante o ano de 1901, e apenas 10 anos mais tarde teve sua produção em escala industrial, chegando a sua popularização durante 1930 ficando conhecido por seda artificial, pois pouco da antes 2ª Guerra Mundial sua produção estava próxima de 150 toneladas ao ano (Fantoni, 2012).

## 5.2 Século XX e suas inovações na química orgânica

### 5.2.1 Organometálicos

Em 1849, Frankland foi um dos primeiros a trabalhar com compostos organometálicos, por uma reação entre um iodo-alcano e zinco metálico sob aquecimento de 150°C, conforme o esquema 3 a seguir (Bloomberg,2012).

**Esquema 3.** Reação de organometálicos feita por Frankland



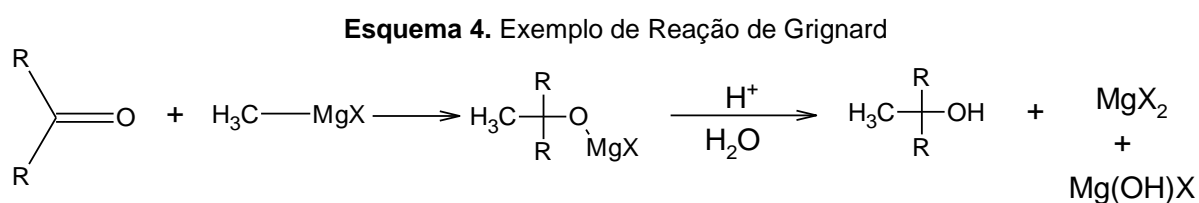
**Fonte:** O Autor

Porém no início do século XX, em 1900 / 1901, os trabalhos realizados por Victor Grignard, ganharam destaque dentro da química, mais precisamente em química orgânica nas áreas de síntese orgânica e síntese de organometálicos. Devido a isso, Grignard em 1912, recebeu um prêmio Nobel de química (Seyferth,2009).

Na "reação de Grignard", o reagente de Grignard RMgX é formado a partir do metal magnésio Mg e do haleto orgânico RX em um solvente SH apropriado geralmente éter dietílico (DEE) ou tetrahidrofurano (THF). Os subprodutos podem incluir RR, RH, R(-H), RS, SS, S(-H) e MgX<sub>2</sub>. Nos anos de 1990 e início dos anos 2000, os mecanismos das reações de Grignard foram revisados por Hamdouchi e Walborsky (HW) e Garst e Ungváry (GU) (Garst; Soriaga, 2004).

Antes de 1954, muitas reações de formação de Grignard descritas na literatura sugeriam a possível participação de radicais e a especulação de que tais reações poderiam envolver "radicais aderentes à superfície, pelo menos em parte". O mecanismo proposto postulava a presença de espécies de magnésio monovalente em uma superfície de magnésio, formadas pela adição de iodo como "ativador" ou pela reação de Wurtz, que produziria MgX<sub>2</sub>. A desproporção de MgX<sub>2</sub> na superfície do metal geraria uma espécie magnesiana (Mg), interagindo com a superfície metálica de magnésio e formando o que Kharasch e Reinmuth denominaram "pontos de insaturação" na superfície. Além disso, eles propuseram que os produtos laterais observados durante a formação de reagentes de Grignard, como os devidos à dimeriza-

ção, desproporção e reação com solvente, resultavam de radicais "aderentes à superfície", vistos como reações ocorrendo na interface sólido-líquido. Após a publicação do livro de Kharasch e Reinmuth, os autores iniciaram um estudo sobre o mecanismo da reação de formação de Grignard, decidindo-se usar a estereoquímica da reação como uma sonda, investigando se a inserção de um átomo de magnésio na ligação carbono-halogênio levava à inversão de configuração, retenção da configuração ou racemização completa. Para realizar essa investigação, foi necessário um haleto quiral que não ionizasse em solução na presença de íons metálicos (Walborsky, 1990).



**Fonte:** O Autor

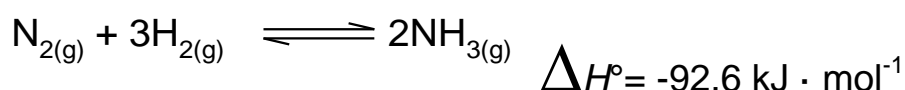
### 5.2.2 Síntese catalítica do amoníaco

Durante o decorrer da história, muitos pesquisadores, como W. H. Nernst, W. Ostward, F. Haber tentaram realizar a síntese da amônia, porém haviam algumas dificuldades, devido a questões como o equilíbrio químico e a lei das ações das massas (Liu, 2014).

Contudo, vale lembrar que em 1774, Priestly conseguiu realizar a síntese da amônia, além de ter sido caracterizado pela primeira vez no século XVI por Wepfer. Ainda que o nitrogênio e o hidrogênio tenham sido caracterizados por Berthollet em 1785. No início do século XX, entre 1908 / 1909, o químico alemão Fritz Haber junto com engenheiro William Carl Bosch realizou a síntese da amônia, em escala laboratorial, por meio do nitrogênio e hidrogênio com auxílio de um catalizador de ósmio (Carreon, 2019).

O processo consiste no uso de gás nitrogênio e hidrogênio, submetidos à alta pressão de 200 Bar a uma temperatura que pode variar entre 500°C e 600°C. O catalizador utilizado poder ser óxido de alumínio ou óxido de potássio e o ferro (Ribeiro, 2013).

**Esquema 5.** Representação da síntese da amônia por meio do processo de Haber-Bosch



**Fonte:** o Autor

Este processo foi importante porque ainda no século XIX, Justus von Liebig afirmava a importância da amônia para a produção de fertilizantes. Desta forma, o processo qual ficou conhecido como Haber-Bosch, foi muito valioso para a agricultura como também na área militar. Outra aplicação de interesse foi à utilização como substrato na produção na amônia, já que pode ser utilizada como reagente na produção de ácido nítrico, originando a pólvora. Nesse contexto, os trabalhos de Haber e Bosch foram uteis para a Alemanha durante a Primeira Guerra Mundial. Por seu trabalho com amônia e suas contribuições Haber ganhou um Prêmio Nobel de Química em 1918 (Ribeiro, 2013).

Atualmente, a amônia é considerada um composto, que a depender dos níveis, pode trazer malefícios a saúde humana, mas é amplamente utilizada na indústria para a produção de fertilizantes. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, o máximo de exposição deve ser de 25 ppm para um tempo de 8 horas.  $\text{NH}_3$  é um gás incolor, com odor característico, que além de ser utilizado na agricultura também é utilizado na indústria têxtil, na produção de refrigerantes, plástico e corante (Insausti *et. al.*, 2020). No Brasil o uso de amônia na forma de fertilizantes, pode ser por meio dos esterco dos porcos. Neste material, o nitrogênio presente está na forma de amoniacal ( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ). Infelizmente, a amônia é facilmente perdida, devido à volatilização, seja em locais de armazenamento de resíduos ou após aplicação em campo (Port; Aita; Giacomini, 2003).

### 5.2.3 Vitaminas

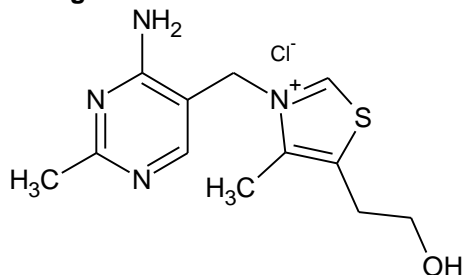
Durante o ano de 1904, o biólogo Kazimierz Funk foi a Paris, trabalhar com o químico Gabriel Bertrand, no Departamento de Bioquímica no Instituto Pasteur. Juntos eles iniciaram uma pesquisa sobre oligoelementos. Para o químico esses compostos tratavam-se de impurezas, mas para o biólogo eram elementos importantes para o corpo humano. Desta forma, Funk sintetizou bases orgânicas e aminoácidos. Após 2 anos, Funk, foi até Berlim onde começou a trabalhar em parceria com Emil Fischer. Fischer foi pioneiro no trabalho com síntese de açúcares, além de conseguir observar que alguns aminoácidos são derivados de açúcares como, por exemplo, os taninos. Fischer e Funk trabalharam juntos e conseguiram desenvolver um estudo sobre aminoácidos, com foco na cisteína e alanina (Piro, *et. al.* 2010).

Funk fez parte de sua pesquisa em Berlim e Londres. Nesse contexto, ele foi apresentado a uma doença chamada popularmente de beribéri, pelo Dr. Brandon da Malásia. A ideia era que o beribéri poderia ser provado pela ingestão de arroz polido (Spedding, 2013). O arroz polido é um arroz que passa pelo processo de remoção das cascas seguida da retirada do farelo. Esse procedimento, ainda que simples, mas acarreta na perda de nutrientes importantes, tais como cálcio, fósforo, magnésio, potássio, ferro, zinco, cobre e manganês. Além das vitaminas tiamina, piridoxina, niacina e riboflavina (Okada, *et. al.* 2007).

O beribéri é uma doença provocada pela falta de tiamina durante uma quantidade elevada de tempo. Seus sintomas iniciais são perda de apetite, desconforto e

fraqueza nas pernas. A tiamina (figura 17) também é conhecida por vitamina B1 (Santos, *et. al.* 2023).

**Figura 17.** Estrutura da Tiamina



**Fonte:** O Autor

Após isso, Funk passou a isolar um fator antineurítico que está presente nas vitaminas B1 e B3 e, com sua imigração para os Estados Unidos, devido a Primeira Guerra Mundial, Funk obteve êxito ao trabalhar com as vitaminas, conseguindo descobri-las. O conceito proposto por Funk sobre as vitaminas era que estas eram muito importantes para a vida e a saúde humana além de trazer bem-estar. Para Funk as vitaminas apresentavam-se apenas nas formas de aminas e serviam para o tratamento de doenças. Além disso, desenvolveu uma fórmula, que tinha por nome OSCODAL (cápsulas que possuíam vitaminas A e D) (Spedding, 2013).

**Figura 18.** Embalagem de OSCODAL



**Fonte:** Casimir Funk and a Century of Vitamins | PaulingBlog (wordpress.com).

#### 5.2.4 Contraceptivos hormonais

Inspirado por suas observações sobre os processos de regeneração em plantas após ferimentos ou enxertos, o botânico, Haberlandt manifestou interesse na fisiologia das divisões celulares, marcando sua incursão no campo emergente da fisiologia do desenvolvimento. Inicialmente, em 1898, experimentos realizados que resultaram na publicação pioneira de 1902, a primeira abordagem mundial sobre cultura de células e tecidos, atualmente essencial tanto para a Medicina quanto para a Biologia. Os resultados dessas experiências mostraram-se moderados, com crescimento dos tecidos mas ausência de divisões celulares. Haberlandt, inicialmente em Graz, deixou de explorar esse tema, mas devido a sua ida a Berlim voltou a realizar estudos nessa área (Härtel, 2003).

Experimentos meticulosamente planejados em Berlim revelaram que as células dos botões de batata somente se dividiam em contato com as células do floema, indicando um possível controle das divisões celulares por uma substância específica. O termo "hormônios" passou a ser incorporado à terminologia médica em 1905 por Haberlandt, denominando essas substâncias como "hormônios da ferida" ou "necro-hormônios", devido à sua síntese pós-ferimento (Härtel, 2003).

A princípio, os resultados receosos tornaram-se mais convincentes, especialmente porque a química dessas substâncias era desconhecida. A confirmação definitiva do controle hormonal do crescimento foi alcançada por volta de 1930, quando a substância promotora do crescimento foi identificada como ácido B-indol acético, sendo possível capturá-la em ágar (Härtel, 2003).

O primeiro contraceptivo hormonal combinado iniciou-se em 1960, até em então ocorreram diversos avanços com o objetivo de minimizar os efeitos colaterais sem comprometer a eficácia. Uma das primeiras melhorias foi à redução nas concentrações hormonais em comparação com as formulações de baixas doses utilizadas atualmente. Os contraceptivos orais (COs) combinando progestina com  $\leq 35$  mcg de etinilestradiol (EE) agora são considerados padrão, exceto em circunstâncias específicas, como mulheres que fazem uso de medicamentos antiepilépticos. Formulações com EE 20 mcg demonstraram reduzir os efeitos estrogênicos, como inchaço e sensibilidade mamária. Um recente estudo de continuação do *Royal College of General Practitioners* (RCGP) evidenciou que, entre aproximadamente 46.000 mulheres

acompanhadas desde 1968, as usuárias de contraceptivos tiveram taxas significativamente mais baixas de mortalidade por qualquer causa e taxas significativamente inferiores de mortalidade por câncer, doenças cardiovasculares e outras enfermidades em comparação com aquelas que nunca utilizaram contraceptivos orais (Bitzer; Simon, 2011).

### 5.2.5 Instaurações e a proposta de Hückel

No começo do século XX, ocorreram avanços no que desrespeito aos estudos dos hidrocarbonetos aromáticos, pois houve uma elucidação da estrutura do benzeno em relação a seus híbridos de ressonância, já que anteriormente a ideia que se tinha era que havia um equilíbrio entre duas partes. Este fato ocorreu em 1929, através de uma análise de raios-X (Caramori; Oliveira, 2009).

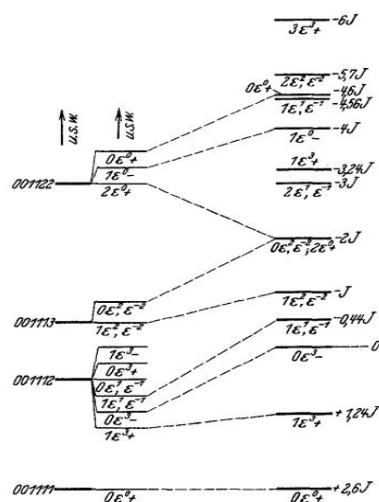
A Teoria de Hückel foi desenvolvida em 1931 pelo físico Erich Hückel a partir deste ponto. Esta teoria explica a estabilidade dos elétrons  $\pi$  em sistemas conjugados, como os anéis aromáticos. Os três postulados a seguir devem ser observados: os sistemas devem ser planares; o sistema deve ser completamente conjugado, ou seja, cada átomo no anel deve estar ligado a um átomo adjacente por uma ligação  $\pi$  ou por um orbital p. O número de elétrons  $\pi$  no sistema deve ser  $4n + 2$ , onde "n" é um número inteiro não negativo. Quando um sistema atende a esses critérios, é considerado aromático e demonstra uma estabilidade marcante devido à completa dispersão dos elétrons  $\pi$  em torno do anel. Essa estabilidade adicional resulta em várias propriedades únicas dos compostos aromáticos, como menor reatividade em relação a adições eletrofílicas e maior acidez dos prótons ligados ao anel (Hückel, 1931).

Além do exposto, é relevante ressaltar a importância dos números pares de elétrons. Quando n assume valores como 0, 1, 2, 3, ..., o termo  $4n + 2$  gera uma sequência de números pares. Isto implica que sistemas conjugados com 2, 6, 10, 14, ... elétrons  $\pi$  (números pares) satisfazem a condição de aromaticidade conforme definida pela regra de Hückel (figura 19). Estes elétrons em pares estão diretamente ligados à estabilidade dos sistemas aromáticos. Em um sistema conjugado plano, a presença de um número par de elétrons  $\pi$  garante o preenchimento eficaz de todos os orbitais moleculares  $\pi$  disponíveis, resultando em uma completa delocalização



dos elétrons ao redor do anel. Essa dispersão proporciona uma estabilidade adicional ao sistema, conferindo-lhe propriedades aromáticas (Hückel, 1931).

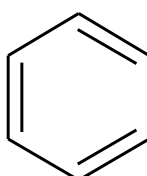
**Figura 19.** Ocupação de 6 elétrons



**Fonte:** (Hückel), 1931.

Portanto, é inegável a importância da molécula de benzeno tanto para a química orgânica, por estar presente em inúmeras substâncias de importância médica e industrial, quanto para a química teórica, que permite um estudo mais aprofundado da aromatização, sendo a regra de Hückel uma importante ferramenta matemática para o estudo e compreensão da Aromaticidade (Guia, 2022).

**Figura 20.** Sistema Aromático



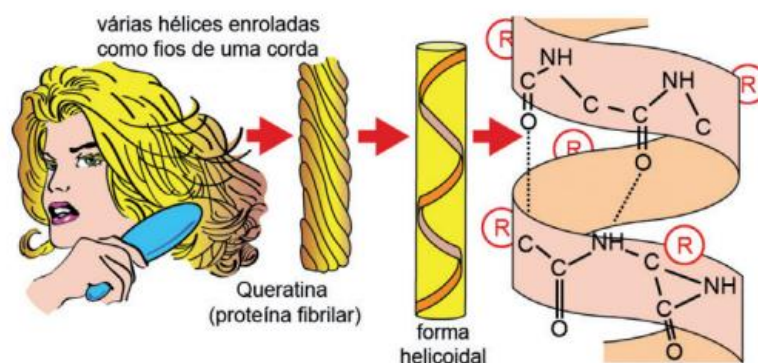
**Fonte:** O Autor

### 5.2.6 $\alpha$ -hélice das proteínas

O britânico físico e bioquímico, William Astbury, realizou estudos sobre as proteínas e os ácidos nucleicos, com a finalidade de conseguir esclarecer as estruturas das proteínas e dos ácidos nucleicos. Em seu trabalho foram utilizadas técnicas de difração de raios-X e difração de fibras. Tais técnicas são capazes de fornecer informações cruciais sobre a estrutura dessas moléculas. Diante desse fato, no ano

de 1938 Astbury publicou um artigo seminal intitulado X-ray Studies of the Structure of Hair, Wool, and Related Fibres (Estudos de raios X da estrutura do cabelo, lã e fibras relacionadas), onde detalhou seu trabalho e lançou as bases para estudos mais aprofundados sobre a estrutura das proteínas e, em particular, a estrutura helicoidal das fibras de colágeno (Astbury; Woods, 1938).

**Figura 21.** Representação de uma proteína com o sistema helicoidal



**Fonte:** PROTEÍNAS I (proenem.com.br)

Astbury sugeriu que o colágeno poderia apresentar uma estrutura helicoidal, fundamentando-se na observação de combinações de certos peptídeos com conformações cis e trans. Contudo, essas estruturas não esclareceram completamente o padrão de raio-X obtido. Essas observações, no entanto, serviram como indicativo para Pauling e Corey, em 1951, de que a molécula poderia ter uma estrutura distinta, levando-os a propor que ela consistiria em três hélices co-axiais (Mancopes *et. al.*, 2008).

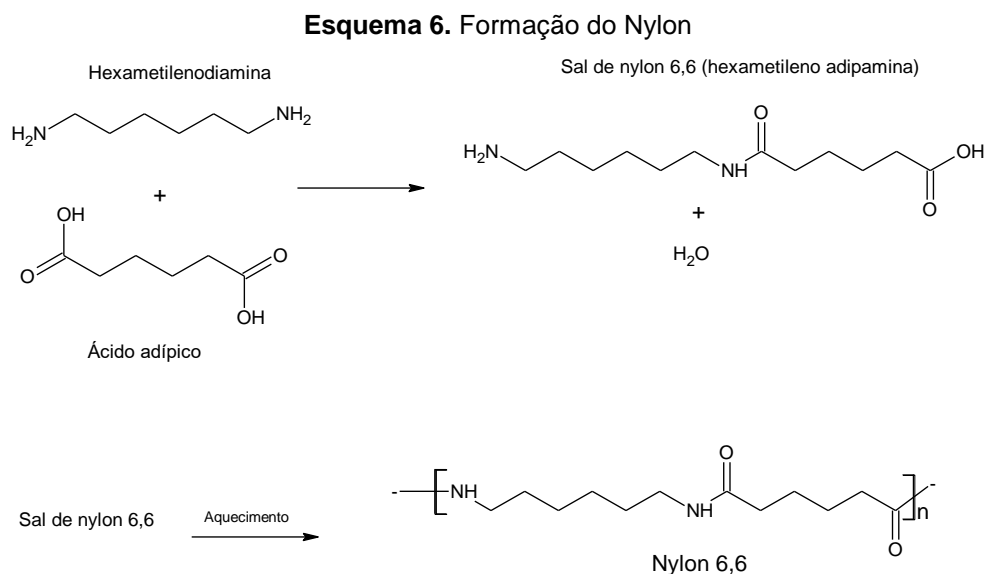
Devido as suas contribuições, Astbury foi importante para a compreensão da estrutura helicoidal do DNA. No ano de 1952, Rosalind Franklin contou com a colaboração de Astbury para a interpretação de suas imagens de difração de raios-X do DNA (Franklin; Gosling, 1953). Posteriormente, essas imagens foram utilizadas por James Watson e Francis Crick, para determinar a estrutura de dupla hélice do DNA (Holmes; Franklin; Watson, 1961).

### 5.2.7 Síntese do nylon

As poliamidas (PA) são polímeros providos de monômeros que apresentam grupos amidas (-CONH-) que fazem ligações peptídicas, os quais também podem vir a possuir outros grupos. Essa categoria de polímeros foi identificada por Wallace H. Carothers, um químico dos Estados Unidos que trabalhava na empresa DuPont. Após a popularização das poliamidas estas receberam o nome de Nylon, sendo previamente utilizado pela indústria têxtil (Brydson, 1999).

Em 1928, Carothers ingressou na empresa DuPont com a missão de conduzir pesquisas concebidas e lideradas por ele, sem a necessidade de uma aplicação imediata. Seus primeiros anos na DuPont foram dedicados à investigação da síntese de poliésteres alifáticos. Apesar de ter desenvolvido fibras desses poliésteres, Carothers abandonou a pesquisa devido à baixa temperatura de fusão desses materiais. Paralelamente, ele também explorou a síntese de poliamidas e, em 1935, anunciou a conquista do Nylon 6,6. Em 1934, J.P. Flory foi contratado para integrar a equipe liderada por Carothers. A DuPont prosseguiu com as pesquisas e, em 1938, divulgou no New York Times o desenvolvimento de fibras têxteis de Nylon 6,6, comparáveis à fibra de seda sintética (Hage Jr, 1998).

A relevância do trabalho de Carothers na síntese de poliésteres só foi plenamente reconhecida quando, em 1946, J.R. Whinfield anunciou que a condensação de etileno glicol e ácido tereftálico resultavam em um poliéster aromático com alta temperatura de fusão, conhecido como PET, que poderia ser utilizado como fibra têxtil. Outro avanço significativo na área de policondensação foi alcançado por O. Bayer, que em 1947 anunciou a síntese de poliuretano elastomérico composto por blocos rígidos e macios. A caracterização desse polímero trouxe novas perspectivas para a compreensão das morfologias e microestruturas das borrachas termoplásticas (Hage Jr, 1998).



Fonte: O Autor

### 5.2.8 De Gennes: Prêmio Nobel de Física e suas contribuições para compreensão dos polímeros

O físico francês Pierre-Gilles de Gennes recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1991 em reconhecimento ao seu abrangente trabalho em Física da Matéria Condensada, o qual incorporou a investigação de materiais granulares como areia, bem como cimento, arroz, farinha, entre outros (Fiolhais, 2001).

Durante os anos de 1967/1968, de Gennes explorou física da matéria condensada, além de orientar trabalhos experimentais sobre supercondutores. Um desses trabalhos foi a uma tese teórica Elisabeth Dubois-Violette, sobre a dinâmica de uma única cadeia, a partir disso ele iniciou um curso sobre esse assunto. Nesse contexto, de Gennes realizou uma descrição da cadeia polimérica elementar, em que adotou rapidamente as mais recentes abordagens, influenciadas por Sam Edwards, para descrever as conformações de uma cadeia que se evita, considerando invariantes topológicos e propagadores. Assim ele aborda a verdadeira essência das soluções moderadamente concentradas, onde as cadeias se entrelaçam entre si, resultando em um efeito de tela que influencia as interações entre os monômeros do mesmo canal por meio de outros canais (Léger, 2007).

Assim que conseguiu compreender o comportamento dos polímeros lineares e flexíveis, Pierre-Gilles direciona sua atenção para os polímeros ramificados, a

transição sol-gel, a percolação (tanto estática quanto fabricada), reexaminando experimentos anteriores (liderados por Mireille Adam e Michel Delsanti em Saclay). Seguindo para a exploração dos polímeros em interfaces, incluindo a descrição de perfis de concentração em uma camada adsorvida, diagramas de fases para cadeias enxertadas em contato com uma solução fundida ou emaranhada, interações entre placas que transportam polímeros adsorvidos ou enxertados, estabilização de colóides por polímeros e a passagem de polímeros através de poros terminais (Léger, 2007).

Por volta de 1983-85, de Gennes inicia uma exploração dos fenômenos de umedecimento, elucidando o papel das interações de Van der Waals na formação e espessura final de filmes umectantes para fluidos de baixa volatilidade. Ele descreve a elasticidade da linha de contato entre líquido, sólido e gás em ancoragem parcial, assim como a fixação dessa linha tripla em defeitos geométricos ou químicos na superfície sólida. Este novo direcionamento de pesquisa é intenso e produtivo, refletido nas teses de Jean-François Joanny e na publicação, em 1985, de um dos artigos mais citados de Pierre-Gilles. Três grupos experimentais do Collège de France iniciaram programas de estudo dessas questões: Françoise Brochard e David Quéré exploram o umedecimento de fibras, Anne-Marie Cazabat se concentra nos estágios finais de umedecimento de fluidos simples, destacando o filme precursor e a umidificação por um fluido polimérico. Neste ponto, a comunidade internacional de matéria mole está envolvida, com vários grupos concorrentes em todo o mundo, incluindo Inglaterra, Estados Unidos e Alemanha, desenvolvendo programas experimentais seguindo as ideias de Gennes (Léger, 2007).

### **5.2.9 Síntese total da clorofila**

A clorofila é um pigmento natural que se encontra nas folhas e em outras partes da maioria das plantas. Embora sua função na fotossíntese seja amplamente reconhecida, a biossíntese, o método de ação e o destino final da clorofila em plantas moribundas ainda não são completamente compreendidos. Nos tecidos vegetais vivos, a clorofila está restrita as células especializadas chamadas "cloroplastos", onde ocorre em uma suspensão coloidal. Estudos espectrofotométricos indicam que

uma grande proporção dessa clorofila está em uma forma associada, possivelmente com proteínas e carboidratos. (Humphrey, 1980).

No que desrespeito, aos estudos sobre a química presente na clorofila, começaram no início do século XX. Willstitter e colaboradores, enfrentando desafios experimentais significativos, isolaram a clorofila a como substância pura, estabeleceram sua fórmula molecular como  $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$  e conduziram diversas transformações. Posteriormente, na década de trinta, Stoll, Conant e Hans Fischer, especialmente, continuaram esse trabalho com vigor, mapeando uma série de reações químicas na clorofila e, por meio de um processo iterativo clássico, chegaram à estrutura química da clorofila. Embora inicialmente tenha gerado ceticismo, essa estrutura parece ter resistido ao teste do tempo. Na década de 40, com a morte de Fischer e a guerra, os estudos foram interrompidos. Posteriormente, os problemas de estereoquímica foram resolvidos, incluindo a estereoquímica absoluta da cadeia lateral fitila. A estereoquímica absoluta no anel D e no anel isocíclico foi determinada por estudos de RMN de prótons em feoforbídeos, análise de Horeau de 13'-hidroxifeoforbídeos, correlação química e análise da estrutura de raios X da clorofila de etila. O resultado final desse esforço é a estrutura detalhada da clorofila a, agora com estereoquímica absoluta correta, alcançando assim o objetivo sintético geral (Woodward, *et. al.* 1990).

Segundo documentos, o químico Robert Burns Woodward, em 1960, elucidou a estrutura completa da clorofila, através de sua síntese total, o que o fez ganhar o Prêmio Nobel de Química em 1965. Por meio da síntese total da clorofila, Fleming determinou a configuração absoluta da clorofila, eliminando qualquer configuração duvidosa do ponto de vista estereoquímico e contribuindo para futuras pesquisas sobre esse pigmento. Em relação aos métodos de extração e purificação da clorofila a de plantas e algas verdes, eles são frequentemente descritos na literatura como procedimentos complexos, por vezes ineficientes e caros. Normalmente, a extração é realizada na presença de solventes como acetona ou metanol, seguido de resfriamento com nitrogênio líquido e refluxo, sendo o processo repetido diversas vezes. A purificação dos pigmentos resultantes é realizada em colunas cromatográficas de polietileno, seguida de decantação, separação e remoção do solvente. As frações resultantes são então repurificadas em coluna de cromatografia de açúcar e finalmente cristalizadas na presença de iso-octano. (Maestrin, *et. al.* 2009).

### 5.2.10 Woodward-Hoffmann

A maioria das abordagens computacionais na eletrônica molecular seja teoria da estrutura ou química quântica, ainda se baseia em orbitais. Excluindo os cálculos quânticos de Monte Carlo, mesmo antes dos orbitais se tornarem computacionalmente úteis, a estrutura orbital já era utilizada por químicos para interpretar as propriedades químicas das moléculas. Esse uso começou na década de 1930 com os esclarecimentos de Hückel sobre a estrutura eletrônica de sistemas insaturados, sua relação com a aromaticidade, e o trabalho de Mulliken sobre ligações químicas. Uma estrutura geral para a reatividade química, agora conhecida como teoria orbital molecular de fronteira, foi desenvolvida por Fukui e outros na década de 1950. Isso possibilitou que os químicos, não apenas interpretassem, mas em alguns casos até mesmo previssem os resultados de certos tipos de reações com base nas propriedades dos reagentes (Geerlings, *et. al.* 2012).

A união entre a química experimental e a mecânica quântica evoluiu positivamente, e na década de 1960, o aumento na disponibilidade de computadores permitiu que os teóricos colaborassem regularmente com os experimentais. Isso envolveu a racionalização dos resultados das reações pelos teóricos e a contribuição de novos dados pelos experimentalistas para testar métodos teóricos. Contudo, métodos de alta precisão eram inicialmente viáveis apenas para moléculas com poucos átomos. Três desenvolvimentos significativos marcaram o final da década de 1960, diretamente relevantes para essa narrativa (Geerlings, *et. al.* 2012).

Primeiro, houve o desenvolvimento de algoritmos computacionais e *software* para química quântica *ab initio* por Pople, Davidson e outros. A utilização de *software* de uso geral possibilitou um aprimoramento sistemático do nível de cálculo ao aumentar o tamanho da base orbital e o número de determinantes de Slater incluídos na função de onda. Com o aumento da potência computacional, tornou-se possível abordar moléculas com mais átomos e alcançar maior precisão (Geerlings, *et. al.* 2012).

Em segundo lugar, Woodward e Hoffmann apresentaram uma racionalização baseada em função de onda/orbital para reações pericíclicas. Ao utilizar apenas a fase e a simetria dos orbitais de uma abordagem estendida de Hückel, não apenas permitiu a interpretação de dados existentes, mas também demonstrou um alto valor

preditivo. As regras Woodward-Hoffmann representam exemplos notáveis de como a química teórica, em particular a química quântica baseada em orbitais, pode orientar os químicos experimentais. A simplicidade e elegância do argumento de Woodward-Hoffmann introduziram e popularizaram a teoria orbital molecular entre os químicos experimentais (Geerlings, *et. al.* 2012).

Devido à compreensão que pode ser obtida por meio das regras de Woodward-Hoffmann, pois é possível entender a estereoquímica e a regioquímica das reações pericíclicas. Ao total são três regras. A primeira afirma que os orbitais envolvidos são os orbitais de fronteira, ou seja, o HOMO e LUMO, como também a simetria pode determinar se essas reações são possíveis. A segunda diz que, a reação possui maior probabilidade de ocorrer se a quantidade de elétrons  $\pi$  é  $4n$ , em que  $n$  seja um número inteiro, para além de manter a simetria do orbital durante a reação. A terceira regra fala sobre a seleção de rotação, ou seja, nos processos de cicloadição eletrocíclica, devido às orientações dos orbitais é possível realizar uma previsão da regioquímica e da estereoquímica. Já para as reações de eliminação, as posições irão determinar os produtos (Day, 1975).

### 5.2.11 Polímeros

Com o decorrer da história da humanidade, a sociedade realizou evoluções para se desenvolver e garantir uma melhor qualidade de vida. Nesse aspecto, os polímeros ganharam notoriedade, pois a borracha sintética, plásticos e fibras começaram a ser produzidos. Esses materiais foram importantes para a sociedade, pois áreas automotivas, eletroeletrônicos, têxteis, de embalagens (Hage Jr, 1998).

Ainda que os polímeros tenham tido seu ápice de desenvolvimento na metade do século XX, o uso do termo polímero teve início com Berzelius em 1832. Berzelius tentou criar um termo para distinguir moléculas orgânicas com os mesmos elementos químicos, mas com propriedades química diferentes, a exemplo disso seria o buteno e gases etileno. Inicialmente essas moléculas eram chamadas de isômeros, mais tarde Berzelius esclareceu que a molécula de buteno tinha 4 átomos de carbono e 8 átomos de hidrogênio serão o estado polimerizado das moléculas de eti-



leno. Ele acreditava que as moléculas de etileno tinham 1 átomo de carbono e 2 átomos de hidrogênio (Hage Jr, 1998).

Atualmente, entende-se que os polímeros são macromoléculas distintas por seu porte, estrutura química e interações tanto dentro quanto entre moléculas. Compreendem unidades químicas que se conectam por ligações covalentes, repetindo-se ao longo da extensão da cadeia (Spinacé; De Paoli, 2005).

### **5.2.12 Hidrogenação Catalítica**

A catálise é uma condição vital para a existência da vida e, nesse contexto, é tão antiga quanto à própria vida. Os processos catalíticos mais primitivos empregados pelos humanos remontam à produção de vinho, cerveja, álcool e ácido acético, realizados por meio da fermentação de carboidratos, uma prática já estabelecida antes de 2.000 anos A.C. Embora os biocatalisadores tenham sido utilizados historicamente, a adoção de quimio-catalisadores na produção industrial é um desenvolvimento mais recente. Ao longo do tempo, a catálise evoluiu para se tornar uma disciplina abrangente, repleta de teorias e realizações que impactaram a sociedade. A palavra "catálise" foi desenvolvida por Berzelius em 1836, quando ele identificou uma nova força operante além da "afinidade", a qual chamou de "Força Catalítica" (Moulijn; Van Santen, 2017).

A hidrogenação, um processo essencial na química orgânica, tem sido empregada ao longo dos séculos para adicionar hidrogênio elementar a ligações insaturadas. Johann Döbereiner, em 1820, observou que uma corrente de hidrogênio misturada com ar, passando sobre platina porosa, inflamava-se, originando os primeiros isqueiros. Contudo, os avanços significativos surgiram com o trabalho do químico francês Paul Sabatier no final do século XIX, que descobriu a adição de hidrogênio a ligações insaturadas em moléculas orgânicas utilizando vestígios de níquel como catalisador. Este avanço pioneiro conduziu a diversos processos industriais, incluindo o processo Sabatier para hidrogenar dióxido de carbono formando metano, pelo qual recebeu o Prêmio Nobel da Química em 1912 (Sedgwick; Hammond, 2018).

Ao longo do século XX, notáveis progressos na hidrogenação ocorreram, com um marco em meados deste mesmo século quando Wilkinson desenvolveu o primei-

ro complexo homogêneo de ródio para rivalizar com catalisadores heterogêneos estabelecidos. Posteriormente, William Knowles e colaboradores criaram uma versão quirál desse catalisador utilizando fosfinas quirais coordenadas a um centro metálico de ródio. Esse avanço coincidiu com o desenvolvimento comercial da levodopa para tratamento da doença de Parkinson, resultando na primeira hidrogenação assimétrica que atingiu o estereocontrol e enzimático. Noyori desenvolveu complexos de rutênio-difosfina notáveis para a hidrogenação de cetonas, e Knowles e Noyori compartilharam o Prêmio Nobel de Química em 2001 por suas contribuições em reações de hidrogenação catalisadas quiralmente, agora aplicadas a diversos grupos funcionais, como iminas e boronatos de vinil (Sedgwick; Hammond, 2018).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Química Orgânica é uma área da ciência que possui um papel importante na evolução da sociedade, pois trouxe inovações e melhorias em diversos setores da vida humana. Seu propósito está ligado com a compreensão e manipulação de compostos de carbono, sendo fundamental para o desenvolvimento de produtos que impactam diretamente a vida cotidiana.

Uma das contribuições mais notáveis da Química Orgânica é o desenvolvimento de medicamentos. Desde analgésicos até tratamentos avançados contra doenças complexas, os avanços nesse campo têm melhorado significativamente a qualidade de vida e a longevidade da população

A Química Orgânica também é responsável por uma variedade de materiais inovadores que permeiam nossa sociedade. Plásticos, fibras sintéticas, resinas e adesivos são exemplos de produtos que transformaram a indústria e o cotidiano das pessoas. Esses materiais versáteis têm aplicações que vão desde embalagens até dispositivos eletrônicos e infraestrutura.

A tecnologia moderna depende fortemente da Química Orgânica para o desenvolvimento de componentes eletrônicos, polímeros condutores e materiais para dispositivos médicos. Avanços nesse campo continuam a impulsionar a revolução tecnológica e a criar soluções mais eficientes e duráveis.

Em resumo, a Química Orgânica é uma força motriz por trás de inovações que moldam o nosso modo de vida. Seus impactos se estendem por diversas áreas, proporcionando avanços significativos que contribuem para o progresso social, econômico e ambiental. O constante desenvolvimento nesse campo promete um futuro ainda mais promissor, com soluções criativas e sustentáveis para os desafios enfrentados pela sociedade contemporânea.

## REFERÊNCIAS

ALSTON, Theodore A. Antoine Lavoisier on ether, 1789. **Journal of Anesthesia History**, v. 2, n. 3, p. 63-64, 2017.

AMBRUSTER, H. W. Artificial Silk-A Textile Marvel. **Scientific American**, v. 105, n. 26, p. 576-577, 1911.

ASTBURY, William Thomas; WOODS, Henry J. X-Ray studies of the structure of hair, wool, and related fibres. II.-the molecular structure and elastic properties of hair keratin. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character**, v. 232, n. 707-720, p. 333-394, 1933.

BERETTA, Marco; BRENNI, Paolo. The arsenal of eighteenth-century chemistry: the laboratories of Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). In: **The Arsenal of Eighteenth-Century Chemistry**. Brill, 2022.

BITZER, Johannes; SIMON, James A. Current issues and available options in combined hormonal contraception. **Contraception**, v. 84, n. 4, p. 342-356, 2011.

BLOMBERG, Cornelis. The Barbier reaction and related one-step processes. 2012.

BRAGA, T. C.; SANTOS, J.A.; CASTRO, P.P.; AMARANTE, G.W. Avanços recentes na síntese do Remdesivir, Molnupiravir (EIDD-2801) e Tenofovir: moléculas promissoras no tratamento da COVID-19. **Química Nova**, v. 45, p. 53-73, 2022.

BRUICE, Paula Yurkanis. **Química Orgânica**, quarta edição, volume 2 / Paula Yurkanis Bruice – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

BRYDSON, J. A. **Plastics Materials**. 7. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 1999.

BUONFIGLIO, A. Uma didática história da química. **ComCiência**. Campinas. 2011.

CALIXTO, Carolina Maria Fioramonti; CAVALHEIRO, Éder Tadeu Gomes. Penicilina: efeito do acaso e momento histórico no desenvolvimento científico. **Química Nova na escola**, v. 34, n. 3, p. 118-123, 2012.

CAMEL, Tânia de Oliveira; MOURA, Cristiano; GUERRA, Andreia. Chemical Revolution and Historiography: a perspective from Cultural History of Science for Chemistry Teaching. **Educación química**, v. 30, n. 1, p. 136-148, 2019.

CAPILÉ, Bruno; DOS SANTOS, Nadja Paraense. A Química no melhoramento da produção agrícola e sua divulgação na revista agrícola. **Colecionismos, práticas de campo e representações**, p. 183-94.

CARAMORI, Giovanni Finoto; OLIVEIRA, Kleber Thiago de. Aromaticidade: evolução histórica do conceito e critérios quantitativos. **Química Nova**, v. 32, p. 1871-1884, 2009.

CARREON, Maria L. Plasma catalytic ammonia synthesis: state of the art and future directions. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 52, n. 48, p. 483001, 2019.

CARVALHO, Regina Simplício. Lavoisier e a sistematização da nomenclatura química. **Scientiae Studia**, v. 10, p. 759-771, 2012.

CASARIN, Valter; STIPP, Silvia Regina. Quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes. **Informações agrônomicas**, v. 142, p. 14-20, 2013.

Costa, H. M.; Visconte, L. L. Y.; Nunes R. C. R., Furtado, C. R. G. Aspectos históricos da vulcanização. **Polímeros**, v. 13, p. 125-129, 2003.

COSTA, L.M.; CALVO, F.. Uso de fármacos opioides no tratamento da dor. **Revista Saber Científico**. p. 1-6 2017.

CUCHI, Mariane Motta de Campos; GALÃO, Olívio Fernandes. Obtaining ethanol from cassava waste (*Manihot esculenta* Crantz). **Semina. Ciências Exatas e Tecnológicas (Online)**, v. 43, n. 1, p. 86-94, 2022.

da COSTA, H. M.; RAMOS, V. D. Vulcanization with Natural Products: An Analysis through Molecular Modeling. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**. Vol. 06. N 5. 2020.

DAY, A. Colin. Aromaticity and the generalized Woodward-Hoffmann rules for pericyclic reactions. **Journal of the American Chemical Society**, v. 97, n. 9, p. 2431-2438, 1975.

DIAS, Ayres Guimarães; SOARES, Renato de Oliveira. Quiralidade em moléculas e cristais. **Química Nova**, v. 32, p. 2230-2233, 2009.

DORIDON, A.; SEQUEIRA, M.; PENNARUN-THOMAS, G.; DIRAC, H.; Krog, J. P.; Gravesen, P.; Lichtenberg, J.; Diamond, D.; VERPOORTE, E.; Rooij, N.F. Chemical sensing using an integrated microfluidic system based on the Berthelot reaction. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 76, n. 1-3, p. 235-243, 2001.

DUARTE, Danilo Freire. Una historia breve del opio y de los opioides. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 55, p. 135-146, 2005.

DUARTE, F.T.B. **A fermentação alcoólica como estratégia no ensino de transformação química no nível médio em uma perspectiva interdisciplinar**. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Biológicas, Instituto de Física, Instituto de Química, Faculdade UnB Planaltina, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, p. 33-34. 2014.

ENGLISH, Elizabeth C. Vladimir Shukhov and the invention of hyperboloid structures. In: **Structures Congress 2005: Metropolis and Beyond**. 2005. p. 1-9.

FANTONI, Roberto Filippini. Como a poliamida substituiu a seda: uma história da descoberta da poliamida 66. **Polímeros**, v. 22, p. 1-6, 2012.

FINLAY, Mark R. Early marketing of the theory of nutrition: the science and culture of Liebig's extract of meat. In: **The science and culture of nutrition, 1840-1940**. Brill, 1995. p. 48-74.

FIOLHAIS, C. A física da areia. **Gazeta de Física**, v. 24, n. fasc. 4, p. 42-43, 2001.

GAL, Joseph. Pasteur and the art of chirality. **Nature chemistry**, v. 9, n. 7, p. 604-605, 2017.

GARCÍA-ÁLVAREZ, Joaquín; HEVIA, Eva; CAPRIATI, Vito. The future of polar organometallic chemistry written in bio-based solvents and water. **Chemistry–A European Journal**, v. 24, n. 56, p. 14854-14863, 2018.

GARST, John F.; SORIAGA, Manuel P. Grignard reagent formation. **Coordination chemistry reviews**, v. 248, n. 7-8, p. 623-652, 2004.

GEERLINGS, P.; AYERS, P.W.; TORO-LABBÉ, A.; CHATTARAJ, P. K.; PROFT, F.D.; The Woodward–Hoffmann rules reinterpreted by conceptual density functional theory. **Accounts of chemical research**, v. 45, n. 5, p. 683-695, 2012.

GOHEL, Mukesh C. Overview on chirality and applications of stereo-selective dissolution testing in the formulation and development work. **Dissolut Technol**, v. 10, p. 16-20, 2003.

GOLDEMBERG, José. Biomassa e energia. **Química nova**, v. 32, p. 582-587, 2009.

GONZÁLEZ, N. E.; Zapata, A. C.; SÁNCHEZ-HENAO, D.F.; CHÁVEZ-VIVAS, M. Resistencia a antibióticos  $\beta$ -lactámicos y eritromicina en bacterias de la cavidad oral. **Nova**, v. 18, n. 34, p. 27-45, 2020.

GUIA, N.A. **Magnetoquímica do rearranjo do tipo claisen-cope**. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Química – Universidade de Brasília. Instituto de Química, apresentado: Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química. P. 14-15, 2022.

HAGE JR, Elias. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. **Polímeros**, v. 8, p. 6-9, 1998.

HÄRTEL, O. Gottlieb Haberlandt (1854-1945): a portrait. In: **Plant Tissue Culture: 100 years since Gottlieb Haberlandt**. Vienna: Springer Vienna, 2003. p. 55-66.

HOLMES, K. C., FRANKLIN, R. E., WATSON, J. D. The structure of collagen fibers. **Science**, 133(3457), 849-851. 1961.

HÜCKEL, E. Quantentheoretische beiträge zum benzolproblem. **Zeitschrift Fuer Physikalische Chemie**, v. 70, p. 204-286, 1931.

HUMPHREY, A. M. Chlorophyll. **Food Chemistry**, v. 5, n. 1, p. 57-67, 1980.

INSAUSTI, M.; TIMMIS, R.; KINNERSLEY, R.; RUFINO, M.C., Advances in sensing ammonia from agricultural sources. **Science of the total environment**, v. 706, p. 135124, 2020.

JONES, E. R. H. Acetylene and acetylenic compounds in organic synthesis. **Journal of the Chemical Society (Resumed)**, p. 754-761, 1950.

KREUZ, CARLOS LEOMAR; LANZER, EDGAR AGUSTO; PARIS, QUIRINO. Modificação nas funções de produção Von Liebig. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 32, n. 2, p. 193-218, 1994.

LACERDA, R. B. M. **Estudo químico dos alcaloides piperidínicos presentes em *Senna spectabilis*(Fabaceae) e avaliação da atividade leishmanicida.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Química. Minas Gerais, p. 28-33, 2017.

LÉGER, Liliane. Pierre-Gilles de Gennes et l'aventure de la matière molle. **Images de la physique**, p. 7-10, 2007.

LIMA, T.M; TREVISAN, M. Processos fermentativos direcionados a produção de antibióticos: uma alternativa à resistência de bactérias. **Revista PubSaúde**. Vol. 6. Nº 159. 1-6. 2021.

LIU, Huazhang. Ammonia synthesis catalyst 100 years: Practice, enlightenment and challenge. **Chinese journal of catalysis**, v. 35, n. 10, p. 1619-1640, 2014.

LUIZ, Raissa Oliveira; VANIN, Fernanda Maria. Effect of straight dough X pre-fermented dough method on composite wheat breads characteristics. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 64420, 2022.

MACIEL, L.M.; TUNES, L.V.M. A importância dos fertilizantes para a agricultura. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.6, p. 58647-58658. 2021.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; BENDER, K.S; BUKLE, D.H; STHAL, D.A. **Microbiologia de Brock**, 14. ed. São Paulo: Artmed, 2016.

MAESTRIN, A.P.J.; NERI, C.R.; OLIVEIRA, K.T.; SERRA, O.A.; IAMAMOTO, Y. Extração e purificação de clorofila a, da alga spirulina maxima: um experimento para os cursos de química. **Rev Quim. Nova**, Vol. 32, No. 6, 1670-1672. 2009.

MANCOPEDES, F.; GUTTERRES, M.; DETTMER, A.; BARRIONUEVO, P. Colagênio: estrutura, propriedades e processos. **A Ciência rumo à Tecnologia do Couro, Porto Alegre**, p. 426-505, 2008.

MATEUS, C.H.F. **Obtenção de alcaloides de *Senna* spp. (Fabaceae) por método de extração não convencional e identificação por CG-EM.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de São Paulo, Graduação em Química Industrial. Diadema, p.7, 2021.

MEIJER, E. W. Jacobus Henricus van't Hoff; Hundred years of impact on stereochemistry in the Netherlands. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 40, n. 20, p. 3783-3789, 2001.

MOULIJN, Jacob A.; VAN SANTEN, Rutger A. History of catalysis. 2017.

MUZZARELLI, R. A. A.; BOUDRANT; J.; MEYER, D.; MANNO, N.; DEMARCHI, M. Current views on fungal chitin/chitosan, human chitinases, food preservation, glucans, pectins and inulin: A tribute to Henri Braconnot, precursor of the carbohydrate polymers science, on the chitin bicentennial. **Carbohydrate polymers**, v. 87, n. 2, p. 995-1012, 2012.

NETO, Alcides Veronese *et al.* Ações para despertar o interesse no ensino de química. **Encontro de Debates sobre o Ensino de Química**, 2013.

NICOLAOU, K. C.; SNYNDER, S. A.; MONTAHHON, T. & VASSILIKOGIANNAKIS, G. The Diels–Alder reaction in total synthesis. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 41, n. 10, p. 1668-1698, 2002.

NOGUEIRA, Helena S. Alvares; PORTO, Paulo Alves. Entre tipos e radicais: a construção do conceito de valência. **Química Nova**, v. 42, p. 117-127, 2019.

NORDHOLM, Sture; BÄCK, Andreas; BACSKAY, George B. The mechanism of covalent bonding: Analysis within the hückel model of electronic structure. **Journal of chemical education**, v. 84, n. 7, p. 1201, 2007.

NUNES, Beatriz C.; GARCIA, João Batista dos Santos; SAKATA, Rioko Kimiko. Morfina como primer medicamento para el tratamiento del dolor de cáncer. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 64, p. 236-240, 2014.

ODA, Sandra; JÚNIOR, José Leomar Fernandes. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 23, p. 1589-1599, 2001.

OKADA, I.A.; DURAN, M.C.; BUZZO, M.L.; DOVIDAUSKAS, S.; SAKUMA, A.M.; ZENEON, O. Validação e aplicação de metodologia analítica na determinação de nutrientes inorgânicos em arroz polido. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 492-497, 2007.

OLINTO, F.A.; OLIVEIRA, V. F.; NUNES, M.F.; DA SILVA, H. F.; PORCINO, M. M.; DO NASCIMENTO, L.C., Óleos essenciais no tratamento de sementes florestais nativas do semiárido brasileiro. **Rev. Principia**. Vol. 60, p. 610–633, 2023.

PARSONS, John L. Count Hilaire De Chardonnet, Scientist and Inventor. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 17, n. 7, p. 754-755, 1925.

PASSADOR, Fábio R.; PESSAN, Luiz A.; RODOLFO JR, Antonio. Blendas PVC/NBR por processamento reativo I: desenvolvimento do processo de vulcanização Dinâmica in situ. **Polímeros**, v. 17, p. 80-84, 2007.

PEREIRA, M.C.; VILELA, G.R.; COSTA, L.M.A.S.; SILVA, R.F.; FERNANDES, A.F.; FONSECA, E.W.N.; PICCOLI, R.H. Inibição do desenvolvimento fúngico através da utilização de óleos essenciais de condimentos. **Ciênc. agrotec**. V. 30, n. 4, p. 731-738. 2006.

PIRO, A.; TAGARELLI, G.; LAGONIA, P.; TAGARELLI, A.; QUATTRONE, A., Casimir Funk: his discovery of the vitamins and their deficiency disorders. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v. 57, n. 2, p. 85-88, 2010.

PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 857-865, 2003.

PULIDO, M. D.. **O dualismo eletroquímico de Berzelius: sua caracterização e presença em livros didáticos de química**. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, apresentação: Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociência. Área de concentração: Ensino de Química, p.72, 2016.



Raue, M. ; Wambach, M. ; Glöggler, S. ; Grefen, D. ; Kaufmann, R. ; Abetz, C. ; Georgopoulos, P. ; Handge, U. A. ; Mang, T. ; Blümich, B. ; Abetz, V. Investigation of historical hard rubber ornaments of Charles Goodyear. **Macromolecular Chemistry and Physics**, v. 215, n. 3, p. 245-254, 2014.

RAUPP, D. T.; PINO, J. C. D.; PROCHNOW, T. R.; GALDINO, N. M.; EICHLER, M.L. Uma Breve História da Estereoquímica: da negação à legitimação. **Rev. História da Ciência e Ensino**. Vol. 24. p. 2-18. 2021.

RAUPP, D.T.; PROCHNOW, T. R.; DEL PINO, J.C.D.; História e Contextualização no Ensino de Estereoquímica: Uma Proposta de Abordagem Para o Ensino Médio **Revista Contexto e Educação**. Vol 35. n 112. p. 432-455. 2020.

RIBEIRO, D., Processo de Haber-Bosch, **Rev. Ciência Elem.**, V1(01):031. 1-2. 2013.

RODRIGUES, S.P.J, Química e Saúde Pública: Elementos da História de uma relação fundamental. **revistamultidisciplinar.com**. Vol.4 (2). p. 57-74. 2022.

ROMEIRO, A.R. Progresso técnico, organização da produção e condições de trabalho na agricultura. **R. Bras. Econ.** v 46, n. 3, p. 377-397. 1992.

SANGI, D.P. Estratégia de Síntese na Descoberta de Fármacos: O Emprego da Síntese Orientada pela Diversidade Estrutural. **Rev Química Nova**. Vol. 39. n 8. 995-1006. 2016.

SANTOS J. V. de O. F.; BRANCO M. dos R. F. C.; MAXIMINO F. D. S.; SANTOS T. de S.; DIAS JÚNIOR J. de J.; SOEIRO V. M. da S.; FROTA M. T. B. A.; OLIVEIRA B. L. C. A. de; SANTOS A. M. dos; PADILHA E. M. Óbitos por Beribéri no Brasil, 1996 a 2020. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 23, n. 6, p. e 12063, 21 jun. 2023.

SCHLITTLER, L.A.F.S.; ANTUNES, A.M.S; PEREIRA JÚNIOR, N. Prospecção tecnológica de processos para a produção de etanol de segunda geração: uma visão através da análise de depósitos de patentes. **Rev. GEINTEC**. Vol.8, n. 4, p.4632-4646. 2018.

SEDGWICK, D. M.; HAMMOND, G. B. The history and future challenges associated with the hydrogenation of vinyl fluorides. **Journal of Fluorine Chemistry**, v. 207, p. 45-58, 2018.

SEYFERTH, Dietmar. The grignard reagents. **Organometallics**, v. 28, n. 6, p. 1598-1605, 2009.

SILVA, G. A.; CARMO, J. S.; SANTOS, M. S. M.; BATISTOPE, M. Biomassa: Conhecer para transformar. **Revista Conexão UEPG**. Vol. 13, n 3, p.462 - 473, 2017.

SILVA, J.A.; DAMASCENO, B.P.G.L; SILVA, F.L.H.; MADRUGA, M.S.; SANTANA, D.P. Quantificação da floculação de *Saccharomyces cerevisiae* por bactérias contaminantes da fermentação alcoólica. **Rev Quim. Nova**, Vol. 31, n. 5, 1073-1077, 2008.

SILVEIRA, J. C.; BUSATO, N.V.; COSTA, A.O.S.; COSTA JUNIOR, E. F.. Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. **Enciclopédia Biosfera**. V.8, n.15. p. 2038-2052. 2012.

SPINACÉ, M. A. da S.; DE PAOLI, M. A.. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química nova**, v. 28, p. 65-72, 2005.

THAGARD, P.; SILVA, M. R. da; GIRO, M. A estrutura conceitual da revolução química. **Princípios: Revista de Filosofia (UFRN)**, v. 14, n. 22, p. 265–303, 2010.

TOKUNAGA, E; YAMAMOTO, T.; ITO, E.; SHIBATA, N. Understanding the thalidomide chirality in biological processes by the self-disproportionation of enantiomers. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 17131, 2018.

UJIKAWA, K. Antibióticos antifúngicos produzidos por actinomicetos do Brasil e sua determinação preliminar nos meios experimentais. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, p. 149-158, 2003.

VALE, Nilton Bezerra do. A farmacobotânica, ainda tem lugar na moderna anestesiologia?. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 52, p. 368-380, 2002.

WALBORSKY, H. M. Mechanism of Grignard reagent formation. The surface nature of the reaction. **Accounts of chemical research**, v. 23, n. 9, p. 286-293, 1990.

WENTRUP, Curt. Origins of organic chemistry and organic synthesis. **European Journal of Organic Chemistry**, v. 2022, n. 25, p. e202101492, 2022.

WISNIAK, J. Jons Jacob Berzelius A Guide to The Perplexed Chemist. **Chem Educator**. Vol. 5. N 6. p.343-350. 2000.

Woodward, R. B., Ayer, W. A., Beaton, J. M., Bickelhaupt, F., Bonnett, R., Buchschacher, P., Volz, H. The total synthesis of chlorophyll a. **Tetrahedron**, v. 46, n. 22, p. 7599-7659, 1990.

ZHANG, Luoping; EASTMOND, David A.; SMITH, Martyn T. The nature of chromosomal aberrations detected in humans exposed to benzene. **Critical reviews in toxicology**, v. 32, n. 1, p. 1-42, 2002.

ZUCCO, César. Química para um mundo melhor. **Química Nova**, v. 34, p. 733-733, 2011.