

# Coleção Química no Cotidiano

Ano Internacional da Tabela Periódica dos Elementos Químicos  
Volume 10

Valdir Florêncio da Veiga Junior  
Júlia de Cássia Lopes Zimmermann  
Lucas Mathias Armando  
Gabriel Dias Fonseca  
Filipe Kayodè Felisberto dos Santos

# Sódio

Coleção Química no Cotidiano  
Volume 10

# Sódio

Valdir Florêncio da Veiga Junior  
Júlia de Cássia Lopes Zimmermann  
Lucas Mathias Armando  
Gabriel Dias Fonseca  
Filipe Kayodè Felisberto dos Santos



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



International Year  
of the Periodic Table  
of Chemical Elements

1ª edição

São Paulo | Sociedade Brasileira de Química | 2019

© Sociedade Brasileira de Química

**Coleção Química no Cotidiano**

**Ano Internacional da Tabela Periódica dos Elementos Químicos (IYPT2019)**

**Volume 10**

**Coordenadoras do projeto**

Claudia Moraes de Rezende e Rossimiriam Pereira de Freitas

**Editora-chefe**

Claudia Moraes de Rezende

**Revisoras**

Claudia Moraes de Rezende e Rossimiriam Pereira de Freitas

**Arte gráfica e editoração**

Cabeça de Papel Projetos e Design LTDA ([www.cabecadepapel.com](http://www.cabecadepapel.com))

Ficha Catalográfica  
Wanda Coelho e Silva (CRB/7 46)  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

J53q Junior, Valdir Florêncio da Veiga  
**Sódio** / Valdir Florêncio da Veiga Junior, Júlia de Cássia Lopes Zimmermann, Lucas Mathias Armando, Gabriel Dias Fonseca, Filipe Kayode Felisberto dos Santos – São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2019.  
p. 45. - (Coleção Química no Cotidiano, v. 10)  
ISBN 978-85-64099-25-8  
1. Química - Sódio. 2. Elementos Químicos. I. Junior, Valdir Florêncio da Veiga. II. Título. III. Série.

CDD 547.7  
CDU 547.9

---

Todos os direitos reservados – É proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por outro meio. A violação dos direitos de autor (Lei nº 5.988/73) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

# Índice

Índice.....	3
APRESENTAÇÃO.....	8
1 - O sódio: sua história, propriedades e importância .....	10
2 - O sódio nos meios biológicos .....	20
2.1) O sódio na transmissão de sinais nervosos e contração muscular ....	21
2.2) O sódio e o pH do sangue .....	26
2.3) Sódio, osmolaridade e a hipertensão arterial.....	27
2.4) A importância do sódio para plantas e animais .....	31
3 - Os derivados de sódio .....	34
3.1) Cloreto de sódio .....	35
3.2) Hidróxido de sódio (soda cáustica) .....	39
3.3) Bicarbonato de sódio.....	41
3.4) Nitrato de sódio.....	42
3.5) Sulfato de sódio .....	43

3.6) Carbonato de sódio.....	44
3.7) Outros produtos contendo sódio .....	46
4 - Processos industriais de produção dos principais derivados de sódio ....	47
4.1) Processos de produção do cloreto de sódio .....	47
4.1.1) Exploração Mineira (Lavra) Convencional.....	48
4.1.2) Exploração Mineira (Lavra) por Solução .....	50
4.1.3) Exploração do Sal Marinho .....	50
4.2) Soda Cáustica .....	52
4.3) Sódio Metálico .....	54
4.4) Carbonato de Sódio .....	56
Referências Bibliográficas .....	57

# Sobre os autores

## Valdir Florêncio da Veiga Júnior



Bolsista em Produtividade em pesquisa do CNPq e Professor Associado 3 no Instituto Militar de Engenharia (IME), no Rio de Janeiro, onde é líder do Grupo de Pesquisas Bioprocessos Avançados na Química de Produtos Naturais para o Desenvolvimento Nacional pela Biodiversidade (ABC-NP). Bacharel em Engenharia Química pela Escola Nacional de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre e Doutor em Química Orgânica. Atua no desenvolvimento de processos orgânicos avançados para a geração de bioprodutos a partir de recursos naturais da Amazônia, em especial óleos, resinas e esponjas, e na otimização e aumento de escala de extração de produtos naturais, assim como na área de gestão dos recursos biotecnológicos.

## Júlia de Cássia Lopes Zimmermann



A autora se formou em Engenharia Química pelo Instituto Militar de Engenharia em 2018. Realizou estágio acadêmico na França sobre reaproveitamento de metais preciosos. Participou também de projetos de pesquisa em química orgânica para o desenvolvimento de fármacos contra o câncer e na área da bioquímica em estudos sobre o metabolismo do corpo humano. Atualmente, trabalha na Fiscalização de Produtos Controlados pelo Exército Brasileiro.

## Lucas Mathias Armando



O autor é Engenheiro Militar, membro do Serviço de Fiscalização de Produtos Controlados do Exército Brasileiro. É graduado em Engenharia Química pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), tendo desenvolvido trabalhos na área de reaproveitamento de polímeros e resíduo polimérico.



## **Gabriel Dias Fonseca**



Gabriel D. Fonseca graduou-se em Engenharia Química pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), em 2018. Trabalhou por um ano no grupo de pesquisa de Produtos Naturais no IME, desenvolvendo sua tese de graduação sobre análise de capsaicinoides aplicada a armas não letais. Também desenvolveu projetos de iniciação científica nas áreas de Engenharia Nuclear e Biocombustíveis. Atualmente, trabalha com munição e logística de armas.

## **Filipe Kayodè Felisberto dos Santos**



Possui graduação em Biotecnologia pela Universidade Estadual da Zona Oeste (UEZO) e mestrado em Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Realizou estágio de iniciação científica no Laboratório de Análises Avançadas em Bioquímica e Biologia Molecular (LAABBM), do Instituto de Química (IQ/UFRJ). Possui experiência em cultivos de microrganismos, espectrofotometria, cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e controle de solventes orgânicos. Atualmente, realiza doutorado em Química no Instituto Militar de Engenharia (IME), atuando na área de pesquisa de Produtos Naturais no grupo de Bioprocessos Avançados de Produtos Naturais para o Desenvolvimento Nacional pela Biodiversidade (ABC-NP).



# APRESENTAÇÃO

O tema desta obra, “SÓDIO”, faz parte de uma série de e-books sobre os diferentes elementos químicos existentes, celebrando o ANO INTERNACIONAL DA TABELA PERIÓDICA. Neste material, foi empregada uma linguagem científica de fácil entendimento, o que permite o acesso ao conteúdo por toda a comunidade química, desde o ensino médio. Os autores abordam assuntos interessantes sobre o elemento, como sua história, suas propriedades e a importância no nosso dia a dia.

A utilização dos compostos químicos que tem como componente o sódio já é conhecida há mais de 48 séculos, desde a China, passando pelo antigo Egito e entrando na Era Romana, como na salga de alimentos, processos de mumificação e até mesmo como moeda de troca.

O sódio também está presente em todas as células dos organismos vivos, ele é encontrado como cátion em fluídos extracelulares como o plasma sanguíneo, sendo extremamente importante na transmissão de sinais nervosos e contração muscular.

Os derivados de sódio são basicamente extraídos do sal NaCl por meio da eletrólise da salmoura. Entre os principais produtos estão o hidróxido de

sódio (soda cáustica), o bicarbonato de sódio, o nitrato de sódio, sulfato de sódio e carbonato de sódio.

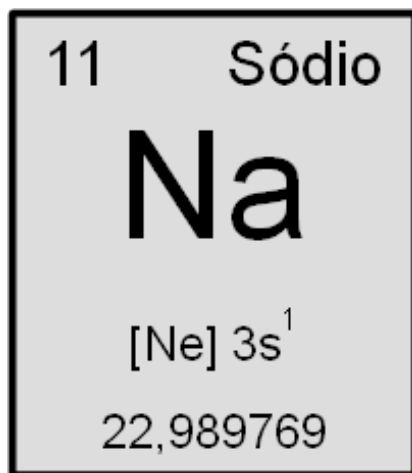
O Brasil tem pouco investimento na produção de sal, diversos estados do Nordeste produzem sal e o estado Rio Grande do Norte é o maior fabricante nacional. A América do Sul e a Oceania produzem apenas 3% do total, sendo a Europa e América do Norte os líderes do mercado. A exploração do sal é realizada por três condições, a exploração Mineira (Lavra) Convencional; a exploração Mineira (Lavra) por Solução e a exploração do Sal Marinho. Os dois primeiros processos exploram estas jazidas, enquanto o terceiro retira o sal diretamente da água do mar.

Prof. Dr. Leandro Aparecido Pocrifka

Universidade Federal do Amazonas – UFAM-AM

# 1 - 0 sódio: sua história, propriedades e importância

O sódio é o elemento químico de número atômico 11, que se encontra no terceiro período da tabela periódica e pertence ao primeiro grupo (**Figura 1**). Como metal alcalino, que apresenta um elétron no nível s, após o gás nobre, o sódio tem configuração eletrônica  $[\text{Ne}] 3s^1$ .



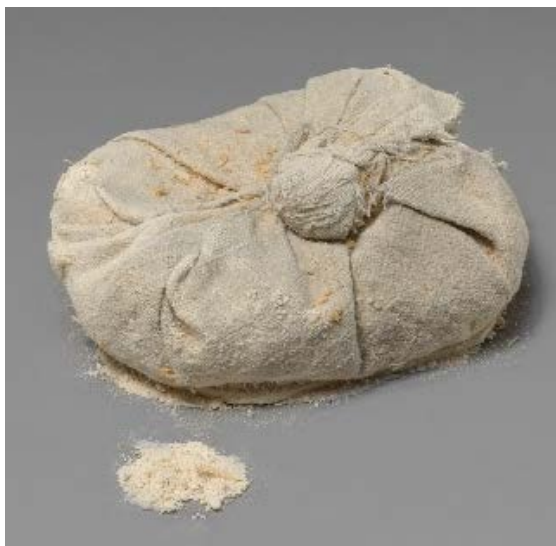
**Figura 1:** Símbolo do elemento sódio. (Elaborado pelo autor.)

Seu símbolo químico, Na, é proveniente do antigo nome dado ao carbonato de sódio, *Natrium*. A palavra “sódio” vem do inglês *soda*, anteriormente do latim *sodanum*, originalmente do arábico *suda*, que significa “dor de cabeça”, pois o carbonato de sódio era empregado para tratá-la. Também em português, soda é o nome dado para o carbonato de sódio.

O sódio é empregado em diversos produtos, como na fabricação de borracha, vidro, células fotoelétricas, alimentos, fertilizantes e produtos têxteis: cloreto de sódio é o principal sal dissolvido no mar e uma das substâncias mais empregadas pelo homem; lauril sulfato de sódio é o detergente mais comercializado mundialmente; fundido, possui extenso uso em metalurgia; seus hidretos são importantes agentes redutores; a soda cáustica é uma das principais bases de uso industrial, com emprego na produção de celulose, sabão e na indústria petroquímica.

O carbonato e o cloreto de sódio são utilizados pelo homem desde tempos pré-históricos. Suas propriedades conservantes estão relacionadas à sua ação antimicrobiana e por apresentar capacidade desidratante. O emprego do NaCl para salgar os alimentos para a sua conservação foi tão importante para o homem pré-histórico que os primeiros assentamentos humanos estão relacionados às proximidades a locais de depósito de sal, há cerca de 48 séculos, na China.

No antigo Egito, uma mistura poderosa era encontrada em desertos a oeste do Nilo. Natron é o nome de um dos produtos descritos nos hieróglifos, utilizado nos processos de mumificação. Formado por sais de sódio, como bicarbonato, sulfato, cloreto e, principalmente, carbonato de sódio, o natron era empregado no processo de secagem dos corpos. Depois de retiradas as vísceras, os corpos eram recheados de sacos de natron (**Figura 2**) por 40 a 70 dias, retirando a água, mas preservando pele, músculos e cabelos.



**Figura 2.** Saco de *natron* da tumba de Tutancâmon. (Disponível em

<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/587568?searchField=All&ft=natron&offset=0&rpp=20&mp:pos=1>)

Há uma infinidade de substâncias formadas pelo sódio, mas as principais são os sais. O próprio nome, sal, tem origem em um sal de sódio. O sal de cozinha é um dos produtos químicos mais encontrados nos lares de todo o mundo. Na Era Romana (século V a.C. a V d.C.), seus poderes de cicatrização e de conferir conservação e sabor à comida já eram conhecidos. Os romanos consideravam essa substância um presente divino da deusa da saúde Salus. De tão importante, raro e caro, o cloreto de sódio era empregado como forma de pagamento às legiões, o que deu origem ao atual termo *salário* (Figura 3).



**Figura 3:** O sal era empregado como pagamento na Roma antiga e deu origem ao termo “salário”.

(Disponível em <https://marketbusinessnews.com/wp-content/uploads/2016/10/Salary-paying-with-salt.jpg>)

Além do sal de cozinha, são produtos comercialmente importantes a soda, ou barrilha ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , carbonato de sódio), o bicarbonato ( $\text{NaHCO}_3$ , bicarbonato de sódio), o fertilizante salitre do Chile ( $\text{NaNO}_3$ , nitrato de sódio) e o dessecante sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), além do bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$ ) e da soda cáustica ( $\text{NaOH}$ , hidróxido de sódio), uma das bases de maior uso industrial. Com estas substâncias, produz-se uma enorme gama de outros compostos de interesse biológico e industrial.

A descoberta do sódio como elemento isolado, na forma de metal, ocorreu em outubro de 1807, por Humphry Davy, um químico, poeta e filósofo inglês (**Figura 4**).



**Figura 4:** Humphry Davy

(Disponível em <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/Humphrydavy.jpg>>)

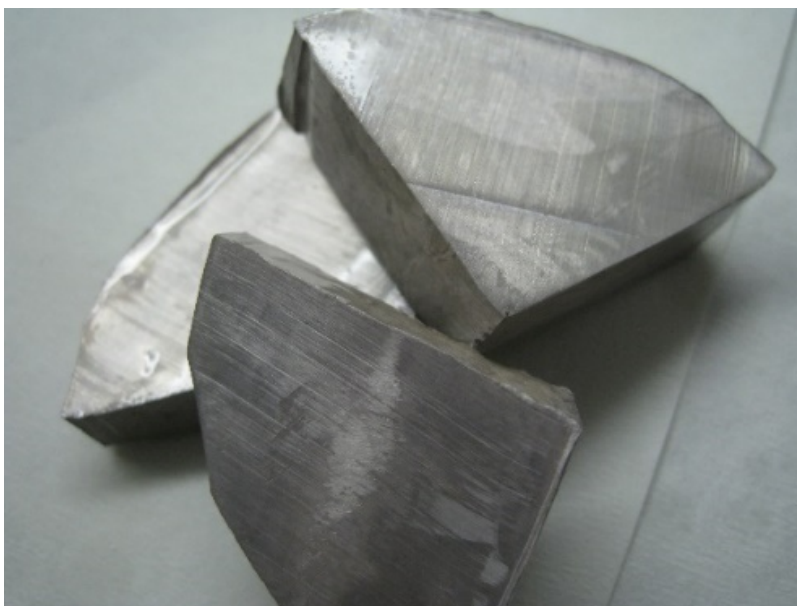


No surgimento do Romantismo e do Iluminismo, à luz da química pós-Lavoisier, Davy foi um dos desbravadores em algumas áreas em pleno desenvolvimento na Inglaterra da época, combatendo as ideias do flogístico que ainda sobreviviam.

Por seus experimentos com o óxido nitroso, o chamado gás hilariante, Humphry Davy foi considerado um dos pioneiros na anestesiologia. Estudando a combustão e pesquisando o metano, ele desenvolveu uma lamparina que evitava as explosões nas minas inglesas. Davy recebeu diversos prêmios e se tornou um dos mais importantes cientistas de seu tempo. Em uma época em que não existiam financiamentos para as pesquisas, em suas palestras para arrecadar fundos para os estudos científicos, realizava explosões e precipitações para entusiasmar as plateias. Em uma explosão em seu laboratório, Davy sofreu um acidente e teve uma cegueira temporária, precisando contratar um auxiliar. Acabou optando por um jovem promissor: Michael Faraday, que, anos depois superaria seu mestre, tendo sido considerado “o melhor experimentalista na história da ciência”.

Os trabalhos de Davy impactaram grandemente a sociedade. O cloro e o lodo foram algumas das substâncias caracterizadas por ele, além de metais como cálcio, bário, magnésio e estrôncio. Vários dos experimentos que resultaram nestas caracterizações foram realizados com a técnica de eletrólise empregando as pilhas recém inventadas por Alessandro Volta. De forma

semelhante aos experimentos que havia realizado alguns dias antes, que o levaram a descobrir o potássio metálico, Humphry Davy realizou a eletrólise substituindo a solução salina pelo hidróxido de sódio fundido, produzindo sódio metálico (**Figura 5**). Ele demonstrou que se tratava de dois novos metais, modificando o conceito de metal existente à época.



**Figura 5:** Sódio metálico. (Disponível em <[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Na\\_\(Sodium\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Na_(Sodium).jpg)>)

O sódio metálico não é encontrado livre na natureza. Tampouco é usualmente preparado em laboratórios de química, pois é trabalhoso de preparar, barato e bastante disponível comercialmente.

Em contato com a água, o sódio metálico reage violentamente formando uma solução com diversos produtos que é extremamente tóxica. A reação libera grande quantidade de calor (exotérmica), podendo ser explosiva. Forma uma solução incolor de hidróxido de sódio (NaOH) e gás hidrogênio (H<sub>2</sub>). É comum essa reação liberar tanto calor que o sódio metálico pega fogo, se tornando ligeiramente alaranjado, que é uma reação com coloração característica do sódio (sendo indicativa do elemento em ensaios de chama). Essa reação acontece de forma similar para os outros elementos da família do sódio, como o lítio e o potássio.

O sódio metálico é empregado como um importante agente redutor na obtenção de outros metais, como o titânio; na indústria de borracha; na produção de lâmpadas à vapor de sódio (**Figura 6**) para iluminação pública, em ruas e parques; e serve como refrigerante, sendo utilizado em trocadores de calor nas usinas nucleares.



**Figura 6:** Imagem ilustrativa de uma lâmpada de vapor de sódio.

(Disponível em

[https://www.researchgate.net/publication/305318270\\_NOVAS\\_TOPOLOGIAS\\_ANALISES\\_PROJETO\\_E\\_EXPERIMENTACAO\\_DE\\_FONTES\\_DE\\_ALTA\\_FREQUENCIA\\_PARA\\_LAMPADAS\\_FLUORESCENTES\\_TUBULARES/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/305318270_NOVAS_TOPOLOGIAS_ANALISES_PROJETO_E_EXPERIMENTACAO_DE_FONTES_DE_ALTA_FREQUENCIA_PARA_LAMPADAS_FLUORESCENTES_TUBULARES/figures?lo=1))

Devido à sua pequena massa e um raio atômico relativamente grande, o sódio é o terceiro metal menos denso, com uma densidade de  $0,968 \text{ g/cm}^3$ , sendo um dos três metais que flutuam na água, juntamente com Li e K. São dados importantes do sódio as constantes físico-químicas da **Tabela 1**.

**Tabela 1:** Constantes físico-químicas do sódio

<b>Ponto de fusão:</b> 370,9 K	<b>Entalpia de fusão:</b> 2,598 kJ/mol
<b>Ponto de ebulição:</b> 1156 K	<b>Entalpia de vaporização:</b> 96,96 kJ/mol
<b>Pressão de vapor:</b> 1 Pa a 554 K	<b>Ponto crítico:</b> 2.573 K, 35 MPa
<b>Calor específico:</b> 1.230 J/kg.K	<b>Condutividade térmica:</b> 141 W/(m.K)
<b>Velocidade do som:</b> 3.200 m/s a 20 °C	<b>Eletronegatividade:</b> 0,93
<b>Raio atômico:</b> 186 pm	<b>Raio covalente:</b> 154 pm
<b>Raio de Van der Waals:</b> 227 pm	<b>Classe magnética:</b> paramagnético

# 2 - O sódio nos meios biológicos

Quem seríamos sem o sódio? Sem ele não poderíamos nem fazer essa pergunta, nem pensar! Não moveríamos nenhum músculo, nem pra prender a respiração!

O sódio está presente em todas as células dos organismos vivos, mais especialmente nos tecidos musculares e nervosos. O sódio é essencial para todos os seres vivos. Existem cerca de 100 gramas de sódio em um ser humano adulto, quantidade que é constantemente renovada pela perda e reposição. É encontrado como cátion em fluídos extracelulares como o plasma sanguíneo, que transporta diversos nutrientes entre as células e os tecidos.

A **Tabela 2** apresenta a concentração média do sódio onde ele é mais encontrado no corpo humano.

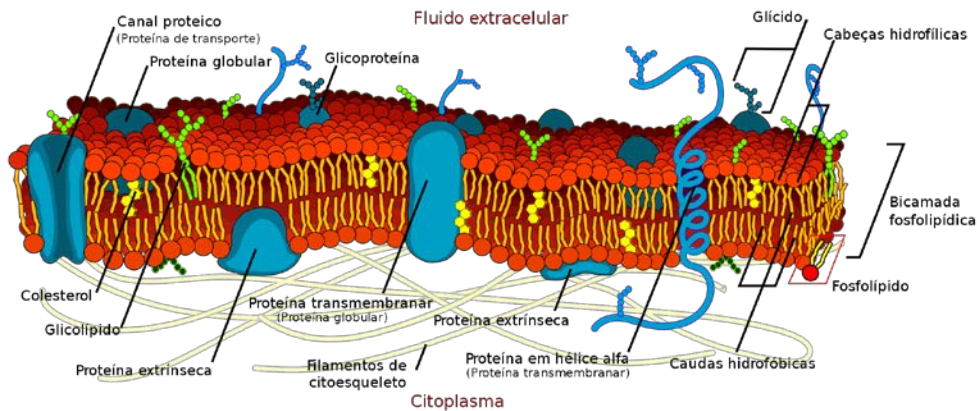
**Tabela 2:** Distribuição de sódio nos tecidos humanos

<b>Sangue</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	1.970
<b>Ossos</b> (ppm)	10.000
<b>Rim</b> (ppm)	2.000 - 4.000
<b>Músculo</b> (ppm)	2.600 - 7.800
<b>Meio extracelular</b> (mEq/L)	142
<b>Meio intracelular</b> (mEq/L)	14

### ***2.1) O sódio na transmissão de sinais nervosos e contração muscular***

Sódio e potássio estão presentes em quantidades diferentes dentro e fora das células. Os íons sódio são os principais cátions no exterior da célula (142 mEq/L no meio extracelular e 14 mEq/L no meio intracelular), enquanto o potássio é o principal cátion no meio intracelular (140 mEq/L, contra 4 mEq/L). São essas diferenças de concentração de sódio (e de potássio) nos meios intracelular e extracelular que permitem a passagem rápida deste íon pelas membranas plasmáticas, onde existem canais que controlam o que entra e o que sai da célula (**Figura 7**). As diferenças de concentração permitem que a difusão dos íons ocorra a favor do gradiente de concentração (do meio mais concentrado para o mais diluído), sem gasto de energia.





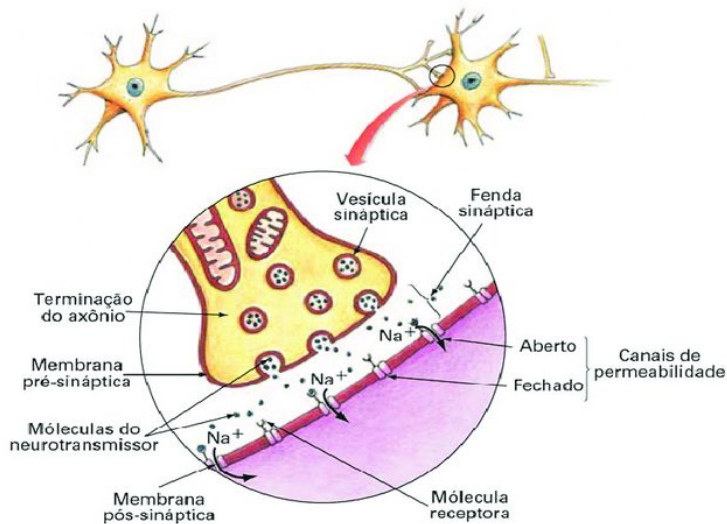
**Figura 7:** Imagem ilustrativa de uma membrana plasmática. (Disponível em

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Membrana\\_plasm%C3%A1tica#/media/Ficheiro:Cell\\_membrane\\_detailed\\_diagram\\_pt.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Membrana_plasm%C3%A1tica#/media/Ficheiro:Cell_membrane_detailed_diagram_pt.svg))

Quando os canais de sódio são abertos ocorre a entrada rápida desses íons, e isso muda a carga no interior da célula, seu potencial elétrico. O interior da célula normalmente é polarizado negativamente (entre -40 e -80 mV, dependendo da célula). Com a abertura desses canais, a entrada do cátion acaba deixando o interior da célula neutro ou mesmo positivo (se a maior permeabilidade do canal permitir a entrada de muito sódio), e dizemos que a membrana ficou despolarizada. Logo em seguida, os canais de potássio se abrem e um monte desses cátions saem da célula, restabelecendo o potencial dentro dela. Assim, ela repolariza, voltando ao potencial inicial, de repouso. Isso tudo ocorre muito rápido, em milissegundos, e sem gasto de energia.

Mas, a mudança de carga no interior da membrana (negativa, positiva e de novo negativa) provoca uma diferença de potencial elétrico (ddp).

A transmissão dos sinais nas nossas células nervosas (**Figura 8**) ocorre por essa diferença de potencial, que vai percorrendo as células, levando as mais diversas informações do que sentimos, tocamos, vemos, ouvimos até os nossos sistemas nervosos periférico e central, ao nosso cérebro.



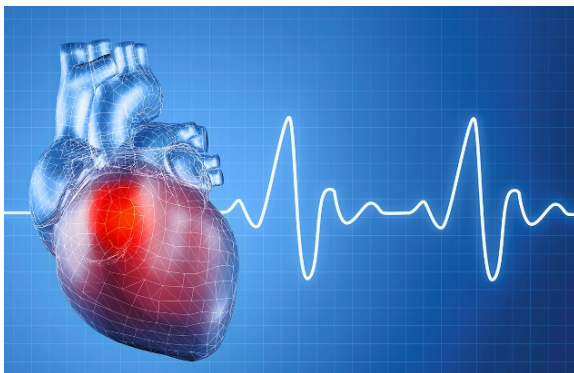
**Figura 8:** Ilustração do processo sináptico entre dois neurônios.

(Disponível em

[https://www.researchgate.net/publication/322966599\\_INCLUSAO\\_EDUCACIONAL\\_E\\_EDUCACAO\\_ESPECIAL\\_MULTIPLO\\_S\\_OLHARES\\_E\\_DIVERSAS\\_CONTRIBUICOES/figures](https://www.researchgate.net/publication/322966599_INCLUSAO_EDUCACIONAL_E_EDUCACAO_ESPECIAL_MULTIPLO_S_OLHARES_E_DIVERSAS_CONTRIBUICOES/figures))

A contração de todos os músculos de nosso corpo segue esse mesmo processo, com a diferença de que canais de cálcio também atuam, e a entrada

de cálcio na célula é o que faz as fibras musculares se moverem e os músculos contraírem. Todos eles, até o coração (**Figura 9**). Ele só bate (aliás, o som que se ausculta não é produzido pelo músculo, mas pelo fluxo turbulento de sangue no momento da contração) para bombear sangue se os canais de cálcio e sódio se abrirem. Se ficamos nervosos com uma prova, ele se contrai mais rápido e mais fortemente, são os canais que se abrem mais rápido e se mantêm permeáveis aos íons (abertos!) por mais tempo. Se estamos estudando uma matéria divertida como a química e isso nos relaxa, o coração bate em uma frequência menor e sem precisar de uma contração tão forte. Neste caso, são os nossos canais de sódio que demoram mais tempo pra abrir entre as contrações, que também precisam de menos cálcio.



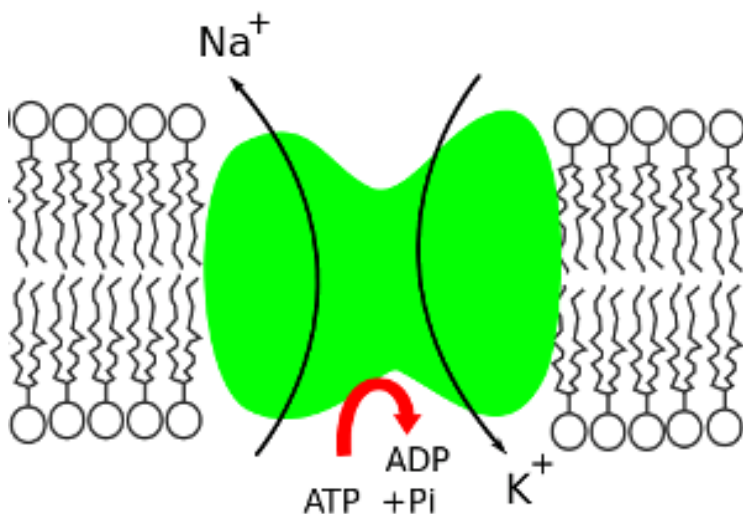
**Figura 9:** Transmissão de sinais elétricos atuam na contração cardíaca.

(Disponível em <<https://www.opas.org.br/wp-content/uploads/2018/07/frequencia-cardiaca.jpg>>)

Uma consequência desses processos é que o sódio que entrou sem esforço e o potássio que saiu sem gastar energia, devem voltar de onde vieram.

Mas, pra isso, deverão consumir energia na forma de ATP (adenosina trifosfato, a moeda energética do nosso corpo).

As bombas de sódio-potássio (**Figura 10**) são transportadoras de membrana como os canais. A diferença é que fazem o transporte contra a corrente, contra o gradiente de concentração, ou seja, do meio mais diluído para o mais concentrado. Esse tipo de transporte não é favorecido termodinamicamente, o que significa que, para que ocorra, deve haver gasto de energia.



**Figura 10:** Bomba de sódio-potássio.

(Disponível em <<https://en.wikipedia.org/wiki/Na%2B/K%2B-ATPase>>)

Essas bombas retornam o sódio (para fora da célula) e o potássio (para dentro da célula), para onde eles estão em maior concentração. Assim, as

concentrações de sódio e potássio voltam a ser as concentrações de antes da abertura dos canais, e o processo pode ocorrer igualmente de novo.

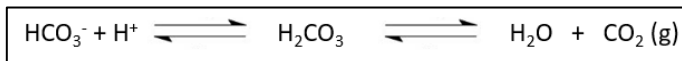
Essa é uma das formas importantes que temos de gastar energia: restabelecer o gradiente iônico pela bomba de sódio-potássio. A falta do sódio pode levar à arritmia cardíaca e ao enfraquecimento muscular.

## **2.2) O sódio e o pH do sangue**

Onde mais o sódio atua no nosso corpo? De muitas maneiras. Por exemplo, ele é um dos principais responsáveis por manter o pH do nosso sangue estável em 7,40.

É por meio do equilíbrio de um ácido fraco que ocorre o chamado efeito do íon comum, ou tampão. Nesse caso, o tampão bicarbonato de sódio é a chave do equilíbrio entre o ácido formado no estômago (ou nos tecidos) para a formação de ácido carbônico ou de  $\text{CO}_2$  mais água, equilíbrio que envolve o  $\text{CO}_2$  inspirado e expirado.

Quem já tomou bicarbonato de sódio quando estava sentindo acidez no estômago? O efeito é explicado na reação a seguir:



O bicarbonato de sódio reage com o íon  $H^+$  para formar o ácido carbônico, diminuindo a acidez (consumindo os íons  $H^+$ ) no estômago. Em seguida, o ácido carbônico se dissocia para formar água e o dióxido de carbono, que sai na respiração.

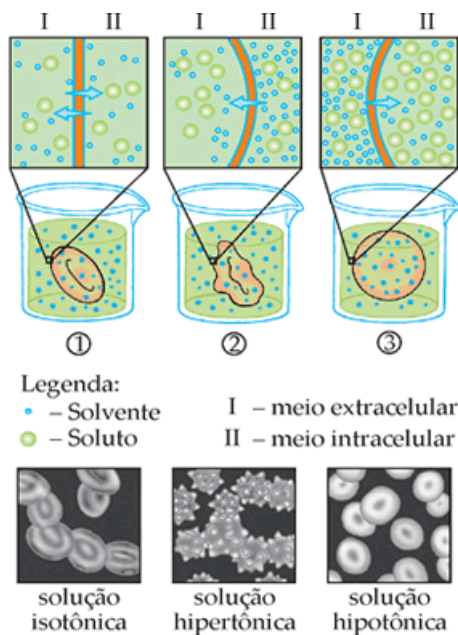
Efeito semelhante ocorre com o ácido fosfórico e o tampão fosfato de sódio. Estes são os principais efeitos tamponantes no controle do pH do sangue, com consequências na digestão, respiração e no processo de excreção renal de algumas dessas substâncias. Assim, o sódio ajuda a controlar o pH do sangue e a entrada de água nas células.

### ***2.3) Sódio, osmolaridade e a hipertensão arterial***

O sódio tem papel importante no processo de osmoregulação. Presente em solução aquosa na forma de íon, este pequeno cátion possui uma relação tamanho/carga que lhe confere grande capacidade osmótica, ou seja, ele é envolvido, ou solvatado, por várias moléculas de água.

O corpo obtém o sódio através de alimentos e bebidas e o elimina por meio da urina e do suor. Os rins são responsáveis por manter a quantidade ideal de sódio no organismo.

Quando ocorre um aumento na concentração do sódio na corrente sanguínea, o rim libera a maioria, de forma a manter a água para o uso do corpo. Quando ocorre o contrário, e sua concentração diminui, o rim libera mais água, para armazenar o sódio necessário (**Figura 11**).



**Figura 11:** Processo de osmose com a hemácia.

(Disponível em <<https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Citologia/cito8.php>>)

Pessoas severamente desidratadas apresentam alta concentração de sódio no sangue. O nível de água deve ser estabilizado lentamente. Caso o



tratamento seja realizado muito rápido, o inchaço das células pode causar dano cerebral.

Esse equilíbrio é muito importante para a nossa saúde e devemos ter muito cuidado na quantidade de sódio que consumimos, pois, seu excesso pode causar vários efeitos ruins para a nossa saúde. Ou seja, quando consumimos muito sódio na dieta e os rins não dão conta de eliminar, aumenta a quantidade de água e minerais que o sódio retira das células. Com menos água circulando, os rins passam a não funcionar bem e começam a acumular impurezas, formando pedras que provocam muitas dores quando se deslocam para saírem na urina. O corpo reage também tentando reter mais líquidos, com consequentes inchaços, comuns nos pés e pernas. O coração passa a bombear o sangue mais fortemente, com maior pressão, para que os nutrientes possam suprir as necessidades das células, provocando uma doença conhecida como hipertensão arterial.

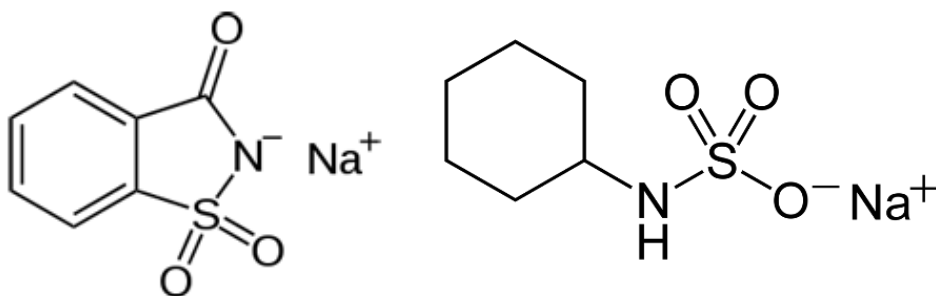
A ingestão de sódio é essencial, mas deve ser controlada. A hipertensão mata mais de 7,6 milhões de pessoas por ano em todo o mundo. O sódio que consumimos está presente principalmente no sal de cozinha (**Figura 12**) e o consumo médio do brasileiro é de 12 g por dia, o dobro do recomendado pela Organização Mundial de Saúde.



**Figura 12:** Sal de cozinha empregado nos alimentos.

(Disponível em <<https://www.pagina3.com.br/saude/2013/abr/17/1/anvisa-determina-reducao-de-iodo-no-sal-de-cozinha>>)

Além do sal que utilizamos para temperar os alimentos, há bastante cloreto de sódio em alimentos já processados. Para quem faz dietas de redução de peso e usa adoçantes para evitar o consumo de açúcar é importante lembrar que o sódio está presente também em outros sais, como o ciclamato e a sacarina (sódica) (**Figura 13**).



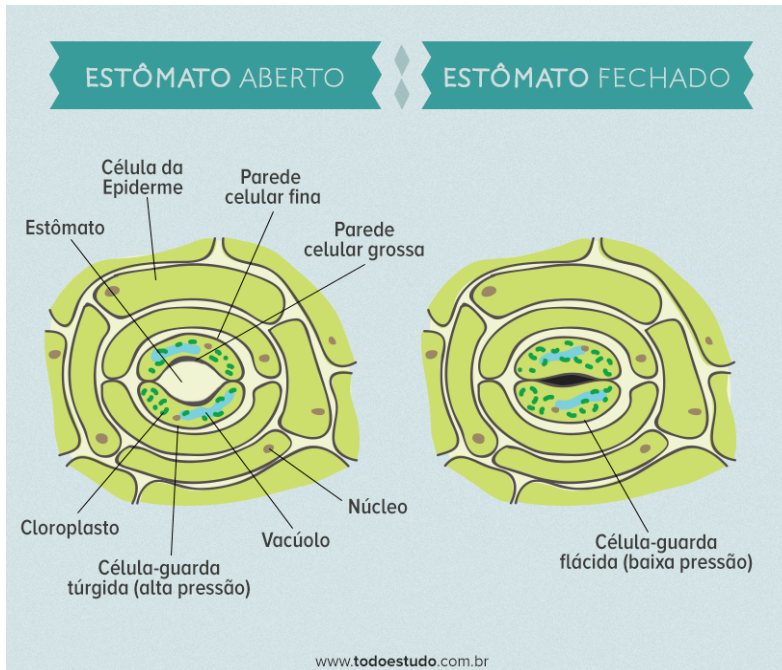
**Figura 13:** Estrutura química da sacarina (sódica) e do ciclamato de sódio (direita). (Elaborado pelo autor).

Há mais de meio grama de sódio em uma fatia de queijo parmesão; quase 1 grama naquelas três colherinhas de molho de soja para consumir o sushi; um pacotinho de macarrão instantâneo tem quase 2 gramas.

#### ***2.4) A importância do sódio para plantas e animais***

Nas plantas o sódio também é um micronutriente importante, que atua na regeneração e síntese de compostos clorofilados e na fixação do carbono, essencial para a sobrevivência dos vegetais. Ainda possui a capacidade de substituir o potássio em papéis como a manutenção da pressão osmótica e o

controle da abertura e fechamento dos estômatos (**Figura 14**), responsáveis pela entrada e saída de água e ar.



**Figura 14:** Movimentação dos estômatos mediada por cátions metálicos. (Disponível em <https://www.todoestudo.com.br/biologia/estomatos>)

Com essas características, o sódio é um dos principais elementos estimuladores do crescimento do vegetal. Entretanto, devido a processos naturais, como regiões propensas a salinização, ou uso inadequado de

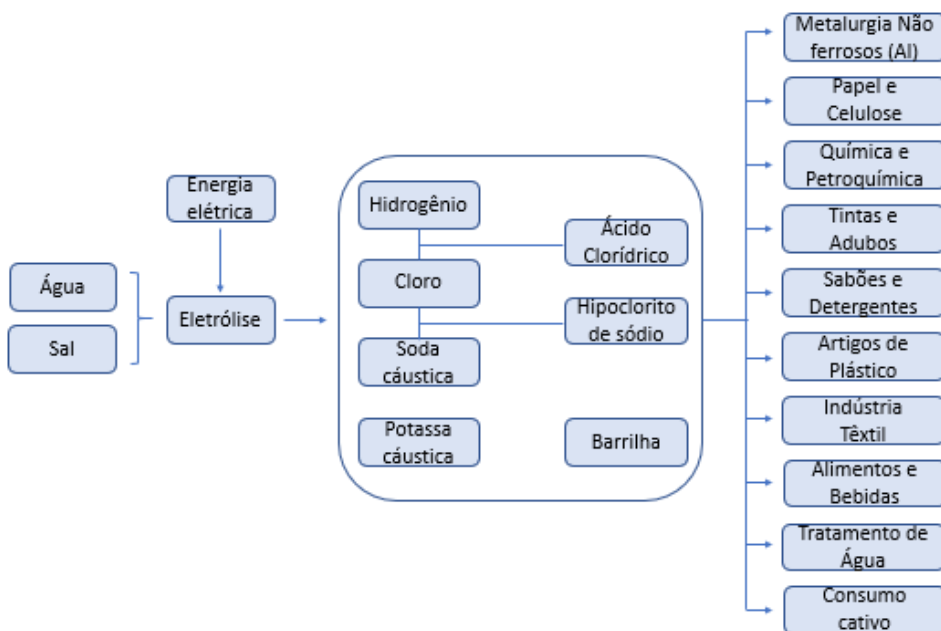
Sódio | 32

fertilizantes, o excesso de sódio pode ser prejudicial ao solo. Ele proporciona uma dispersão de argila, o que diminui sua porosidade e permeabilidade. Para as plantas, o excesso pode limitar a quantidade de água disponível. Um modo fácil de perceber essa quantidade extra do elemento é a observação das folhas, que apresentam áreas mortas nas pontas, margens e regiões Internervais. Para que isso não ocorra, elas desenvolveram um mecanismo que limita a absorção do metal pelas raízes. O sódio fica armazenado dentro de organelas das células, os vacúolos, de forma a evitar que ocorram impedimentos ao crescimento das folhas. Além da dificuldade de absorção de água pelas plantas, o excesso de sódio diminui a disponibilidade dos outros nutrientes e aumenta a toxicidade de íons específicos, devido à inibição competitiva.

A existência do sódio nas plantas é essencial para a alimentação dos animais, principalmente de herbívoros. Eles precisam obter o sal para a manutenção de processos fisiológicos e a obtêm por meio fontes minerais e dos vegetais.

### 3 - Os derivados de sódio

O sal é uma das principais matérias-primas para a obtenção de derivados de sódio (**Figura 15**). Por meio da eletrólise da salmoura são obtidos a soda cáustica e o hipoclorito. Em conjunto com a barrilha, estas quatro substâncias são as responsáveis por grande parte dos usos dos derivados de sódio.



**Figura 15:** Obtenção de sódio e suas aplicações (SILVA, 2012).

### **3.1) Cloreto de sódio**

O NaCl presente na água do mar tem grandes efeitos no planeta devido a propriedades coligativas como a diminuição da pressão de vapor do líquido e a diminuição do ponto de congelamento. É por estas propriedades que a água do mar não congela (só congela na superfície, onde há menor concentração de sal) e que nos países localizados além dos trópicos, nos meses mais frios, sais de sódio são espalhados nas calçadas e ruas para derreter o gelo e permitir a passagem pessoas e carros.

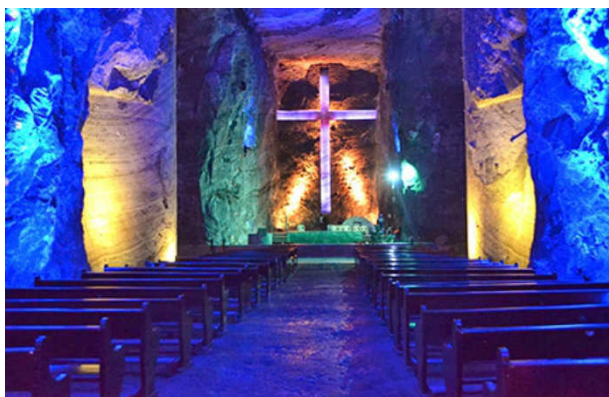
O sal de cozinha é muito utilizado na indústria por ser um conservante importante, já que, quando aplicado nos alimentos, combate a presença de microrganismos e inibe seu desenvolvimento, aumentando o prazo de validade dos produtos. Além disso, é muito empregado como um ingrediente de baixo custo na adição de sabor a determinados alimentos.

O sal comum, ou sal de cozinha, constitui a principal forma em que o sódio é encontrado no meio comercial, sendo largamente empregado na indústria alimentícia. Por ser tão consumido, o sal também funciona como um veículo para a administração extensa de iodo para a população. A adição de iodo no sal de cozinha (o chamado sal iodado) foi tornada obrigatória em diversos países para evitar a exoftalmia (que causa deficiência visual e deixa os olhos arregalados, saltados fora da órbita) e a doença conhecida como hipotireoidismo, que provoca a dilatação da glândula tireoide com a formação



de um papo na região anterior do pescoço, por isso chamada de bócio. O iodo é importante para o nosso corpo pois reage com o aminoácido tirosina para formar os hormônios tiroxina, ou T4 (tetraiodotironina) e, em seguida, o T3 (triiodotironina). Estes hormônios participam de diversas reações no nosso metabolismo. A produção e o armazenamento da T3 e da T4 ocorrem na glândula tireoide. Sem iodo na alimentação, nosso metabolismo não funciona direito pois não consegue sintetizar (e utilizar) estes hormônios. Por outro lado, o consumo excessivo de sal de cozinha iodado pode levar ao excesso de iodo e provocar o hipertireoidismo, o que pode ser revertido com a administração de selênio na dieta (ver capítulo sobre o selênio).

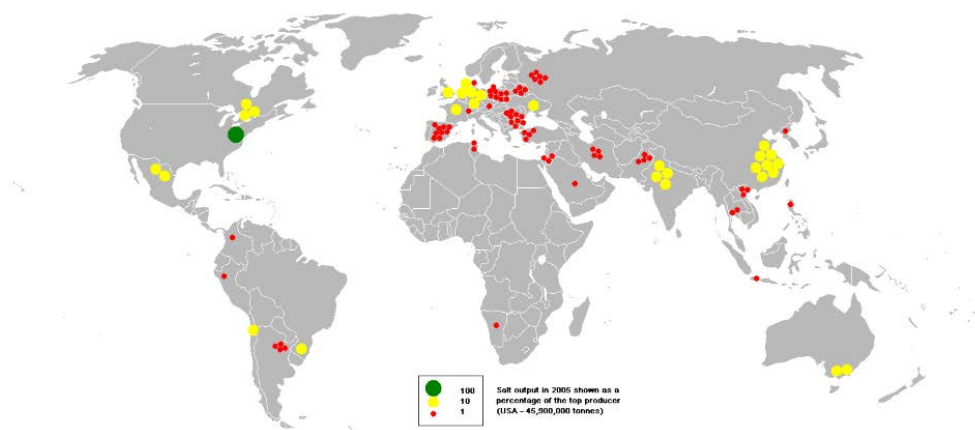
O cloreto de sódio é uma substância facilmente encontrada na natureza, chegando a ter 1,1% da massa dos oceanos. Com as mudanças geológicas do planeta, diversos locais onde existiam mares foram confinados e com a evaporação da água se tornaram minas de sal. Entre as diferentes formas de se extrair NaCl, a fonte marinha é a menos utilizada. Grandes minas de sal têm sido mais exploradas. A poucos quilômetros ao norte da capital da Colômbia, Bogotá, minas de sal ativas há mais de 500 anos, como as de Zipaquirá (**Figura 16**) e Nemocon, produzem centenas de toneladas de sal anualmente. O NaCl produziu grandes cristais e monumentos, como a catedral de sal de Zipaquirá.



**Figura 16:** Catedral de sal de Zipaquirá, na Colômbia. (Disponível em <https://media.wsimag.com/attachments/4dec16077e5e3d468e8bf48924c197e7019812e7/store/fi/1470/827/c32aa0fe50b701f717800df24a4e4ff4873e50d8397b4683571b63b19304/Catedral-de-Sal.jpg>)

Apesar da grande importância comercial do sódio, o Brasil tem pouco investimento na produção de sal. A região da Lagoa de Araruama, no Rio de Janeiro, já foi uma das maiores produtoras. Atualmente, diversos estados do Nordeste produzem sal e o estado Rio Grande do Norte é o maior fabricante nacional. A América do Sul e a Oceania produzem apenas 3% do total, sendo a Europa e América do Norte os líderes do mercado (**Figura 17**). Ser competitivo nesse setor é de suma importância para as indústrias químicas do país, para setores desde a indústria de couros até a indústria de papel. A dependência do nosso mercado com a importação acaba elevando os custos na mesa do brasileiro.

Por suas diversas aplicações e facilidade de obtenção, o sal é uma *commodity* produzida por cerca de 100 países, grande parte deles autossuficiente. Em 2017, a produção chegou à 280.000 toneladas. A China segue como a líder em produção de sal no mundo, desde 2005, com cerca de 25% da produção mundial do produto.



**Figura 17:** Distribuição de produção de cloreto de sódio, por país (2005).

(Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2005salt.PNG>>)

O sal também é empregado para a alimentação do gado e correção de salinidade do solo, para a cloração salina da água por eletrólise, desinfetar piscinas sem adicionar cloro, na elaboração de salmouras anticongelantes, soluções salinas alimentícias, hospitalares e para eletrólise. Além disso, a

indústria química utiliza o sal para a produção de PVC, de gás cloro, sódio metálico entre outras moléculas importantes comercialmente.

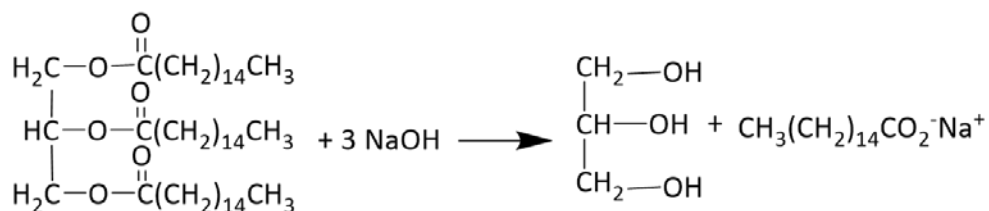
### ***3.2) Hidróxido de sódio (soda cáustica)***

O hidróxido de sódio (NaOH), conhecido comumente como soda cáustica, é uma base química muito utilizada na fabricação de papel, sabão, detergentes, tecidos, biodiesel e, inclusive, alimentos. Diferentemente do sal de cozinha, cujo contato é atóxico e o consumo é fundamental ao organismo, a soda cáustica é uma base forte altamente reativa e corrosiva, cujo manuseio deve ser cuidadoso. Por ser capaz de decompor proteínas à temperatura ambiente, seu contato com o tecido vivo gera queimaduras químicas, formando ulcerações e cicatrizes e podendo ocasionar perda parcial ou total da visão quando em contato com os olhos. Além disso, sua ingestão pode causar danos severos ao sistema gastrointestinal e diarreia.

As diversas aplicações da soda cáustica provêm de sua alta reatividade e basicidade, sendo muito utilizada na regulação de pH e lavagem cáustica. Grande parte de seu emprego é na indústria do papel, no processo de polpação química Kraft, principal processo de produção de celulose. Nesse processo, a soda é uma componente chave na composição do licor branco, solução usada para a separação da celulose da lignina.

Quando adicionada à água e aquecida, a soda cáustica pode ser empregada na limpeza industrial, a conhecida lavagem cáustica, para dissolução de diversas impurezas, resíduos e incrustações, dada sua capacidade de dissolver gorduras, óleos, proteínas e graxas, empregada na limpeza de reatores, tubulações e tanques de armazenamento.

A soda cáustica é empregada nas reações de saponificação, quando os triglicerídeos têm as cadeias de ácidos graxos hidrolisadas pela ação da base, formando os sais de sódio dos ácidos graxos, os sabões (**Figura 18**).



**Figura 18:** Reação de saponificação. (Elaborado pelo autor).

O contato da soda com a pele, apesar de não recomendado, produz uma sensação de escorregadio, que se dá pelo fato de a soda quebrar as moléculas de gorduras presentes no sebo secretado pela pele (formando glicerina e ácidos graxos) e formar o sabão, sais de ácidos graxos.

### **3.3) Bicarbonato de sódio**

Outro composto formado pelo sódio presente no dia a dia das pessoas é o bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ). Devido à sua capacidade de neutralizar a acidez do suco gástrico, é muito utilizado como antiácido para combater a azia e a indigestão ácida, sendo comercializado na forma de tabletes ou em pó (**Figura 19**). Além disso, o bicarbonato de sódio possui como característica a capacidade de liberar dióxido de carbono, sendo assim muito empregado na produção de refrigerantes gaseificados e na culinária como agente levedante (fermento químico) para pães, massas, biscoitos e bolos durante o seu cozimento.

Ainda por causa dessa capacidade, é utilizado na produção de extintores de incêndio à espuma. Por fim, é ainda utilizado como agente de limpeza, possuindo propriedades antimanchas, antimfo e que eliminam os maus odores. Também é empregado como reagente químico de escala tanto laboratorial quanto industrial, na eletrodeposição de metais nobres como a platina e o ouro e nas indústrias têxteis e de curtume.



**Figura 19:** Bicarbonato de sódio. (Disponível em <<http://media.leanoticias.com/wp-content/uploads/2013/06/bicarbonato-de-sodio.jpg>>)

### **3.4) Nitrato de sódio**

O nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ) é um sal alcalino inodoro e incolor. Por ser um composto contendo nitrogênio, é muito utilizado como fertilizante e como aditivo nutricional em ração animal, sendo comercializado na forma de pelotas (**Figura 20**). Além disso, tem emprego na indústria de explosivos, sendo conhecido como “salitre do chile”, utilizado na fabricação de pólvora negra, dinamite, propelentes e outros pirotécnicos, como fogos de artifício.



**Figura 20:** Nitrato de sódio na forma de pelotas para utilização como fertilizante.

(Disponível em <<https://listado.mercadolibre.com.mx/nitrato-de-sodio#!messageGeolocation>>)

Um dos problemas de sua extração e largo emprego industrial é a dualidade das suas aplicações. Grande quantidade de nitrato de sódio é comercializada para uso como fertilizante, mas devido à sua aplicação na produção de dinamite, é comum o desvio de carregamentos visando a produção clandestina de explosivos.

### ***3.5) Sulfato de sódio***

O sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) é um sal de sódio também conhecido como sal de Glauber, e é um produto químico muito consumido como reagente de



bancada em laboratórios e pela indústria, sendo subproduto de uma grande variedade de processos industriais e servindo de matéria prima para vários outros. Seu uso é comum na indústria da celulose, assim como a soda cáustica, na polpação química da madeira na produção de papel através do processo Kraft. Além disso, é muito empregado na produção de vidros, detergentes e corantes para tecidos. Na indústria farmacêutica possuiu aplicações em laxantes, diuréticos e anti-inflamatórios.

### ***3.6) Carbonato de sódio***

O carbonato de sódio é um sal branco empregado na indústria na produção de vidros e nas reações de saponificação. É aquecido com a sílica e o calcário e em seguida resfriado rapidamente para produzir vidro do tipo soda-cal (**Figura 21**), muito utilizado na fabricação de frascos e embalagens em geral. Assim como a soda cáustica, é utilizado na indústria de sabões e detergentes nas reações de saponificação. Além disso, é utilizado no controle de pH da água, nas indústrias têxtil, alimentícia e de tintas e corantes, além de ser utilizado como reagente em sínteses químicas.



**Figura 21.** Frascos de vidro soda-cal, produzidos a partir da sílica, calcário e carbonato de sódio. (Disponível em <<http://image.made-in-china.com/2f0j10dCvQsGZISygF/-Escudo-do-vidro-de-cal-da-soda.jpg>>)

O método Solvay de produção do carbonato de sódio, clássico, tem sido substituído pela mineração. Uma única jazida nos Estados Unidos, em Wyoming, tem uma camada de 3 metros de espessura média de trona,  $\text{Na}_3(\text{CO}_3)(\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , por uma área de  $2300 \text{ km}^2$ . Essa área é responsável pela extração de 10 milhões de toneladas por ano desse minério, que dá origem ao carbonato de sódio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . A trona também já foi encontrada no Quênia. Essa mineração faz com que a produção por eletrólise obtida do sal do mar não seja competitiva economicamente.

O carbonato de cálcio possui uma produção mais concentrada do que a do cloreto de sódio, sendo restrita a alguns países apenas. O mercado mundial

desta substância chega a 55 milhões de toneladas por ano, sendo a China também o maior produtor (26 milhões de toneladas), e também o maior consumidor, devido à grande quantidade de detergentes consumidos por sua indústria. O Estados Unidos é o segundo maior produtor (11,8 milhões de toneladas).

### ***3.7) Outros produtos contendo sódio***

O citrato de sódio (ou trissódico) é muito utilizado na indústria de alimentos, sendo empregado, por exemplo, como aditivo no leite de embalagens do tipo longa-vida, como conservante e flavorizante em certos tipos de bebidas gasosas, como refrigerantes cítricos e também em bebidas energéticas. Usa semelhante tem o benzoato de sódio.

O glutamato monossódico é o responsável por proporcionar o gosto denominado umami, o quinto gosto básico, junto ao doce, salgado, amargo e azedo. É utilizado para substituir NaCl em alimentos processados e como realçador de sabor, apesar de ter sido indicado como o causador da “síndrome-do-restaurant-chinês”, efeitos tóxicos não foram comprovados.

O hipoclorito de sódio (NaOCl) é o principal constituinte químico dos alvejantes comerciais mais empregados. É utilizado como desinfetante e branqueador, além de retirar resíduos de amônia e gás sulfídrico de roupas e superfícies.

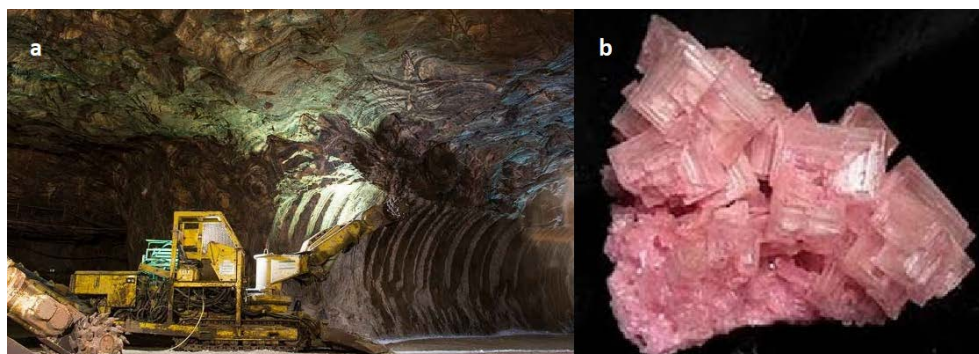
# **4 - Processos industriais de produção dos principais derivados de sódio**

## ***4.1) Processos de produção do cloreto de sódio***

A produção de cloreto de sódio é baseada em 3 tipos de tecnologia ao redor do mundo, dependendo do local de extração, uso futuro, clima e disponibilidade de jazidas. Os oceanos das eras passadas, ao serem cobertos por terra e secos, resultaram em diversas jazidas de sal concentrado, tanto sob a terra quanto sob o oceano, com camadas que podem exceder os 15 metros de espessura e os milhares de quilômetros quadrados de área. Dois processos exploram estas jazidas, enquanto o terceiro retira o sal diretamente da água do mar.

#### 4.1.1) Exploração Mineira (Lavra) Convencional

Sal-gema (**Figura 22**) é como é chamada a rocha sedimentar composta principalmente de cloreto de sódio acompanhada de cloreto de potássio e de cloreto de magnésio. É extraído dos depósitos subterrâneos por meio de perfuração e detonação. Para a extração deste minério, executa-se a abertura de um poço com diâmetro de 7 metros e profundidade condizente com a profundidade da camada de sal.



**Figura 22:** Extração do Sal Gema (a) e sal Gema (b). (Disponível em <https://barlavento.pt/regional/quer-visitar-a-mina-de-sal-gema-de-loule> e em <http://sopasdepedra.blogspot.com/2012/05/das-rochas-sedimentares-55.html>)

O poço permite o acesso às camadas de sal, dando condições para que as galerias e túneis horizontais sejam construídos, de onde são extraídos os

minérios com o auxílio de equipamento mecânico. O poço dá condições para movimentação de pessoal, equipamento e materiais, permitindo a instalação dos dutos de luz e refrigeração, além do transporte vertical do minério até a superfície. O dimensionamento destas galerias e pilares deve levar em consideração o comportamento mecânico das camadas imediatamente superpostas ou sotopostas.

Este método de extração cresce de importância em relação aos outros métodos nos países mais frios, onde o método de evaporação da água do mar é menos eficiente. Depende, porém, da disponibilidade de minas de sal-gema. As maiores minas de sal gema encontram-se nos EUA, Canadá, Alemanha, Rússia, Polônia e Paquistão.

No Brasil, o maior depósito de sal-gema encontra-se no Espírito Santo. É avaliado em mais de 19,4 bilhões de toneladas, correspondendo a 68% das reservas de sal-gema brasileiras. É a única reserva desse mineral na região sudeste, tornando a produção do sal muito facilitada para as indústrias, por estar perto dos estados mais industrializados. Atualmente, cerca de 80% da produção nacional vem do Rio Grande do Norte, o que eleva o preço de transporte.

#### *4.1.2) Exploração Mineira (Lavra) por Solução*

Este método, diferentemente da lavra convencional, utiliza-se da perfuração dos poços de sal e injeção de água para dissolução do sal, retirando-se a salmoura (água saturada com cloreto de sódio) e posterior evaporação. Os poços tubulares são perfurados com sondas rotativas até a zona onde encontra-se o minério. Três linhas de tubos são levadas à área de interesse, enchendo-se de óleo o interstício entre os tubos e as paredes dos poços. Um dos tubos é utilizado para injetar a água doce, o outro remove a salmoura obtida pela dissolução dos sais. O terceiro tubo faz o controle das medidas do poço, injetando soluções controladas (mais ou menos densas que a salmoura) para impedir a dissolução do sal nas paredes verticais do poço, para que a cavidade cresça de maneira horizontal. Por apresentar taxas lentas de dissolução, o controle da taxa de circulação (injeção/extração) deve ser mantido sob controle.

#### *4.1.3) Exploração do Sal Marinho*

A produção de sal do oceano e lagoas salgadas é aproveitada em regiões que reúnem altas temperaturas, ventos fortes e baixa umidade do ar, auxiliando a evaporação da água (**Figura 23**). A produção no hemisfério Norte ocorre de março a setembro, sendo o contrário no hemisfério Sul.



**Figura 23:** Salinas para a extração de cloreto de sódio. (Disponível em <https://www.iguiecologia.com/de-onde-vem-o-sal/>)

Nos quatro primeiros meses da produção ocorre a limpeza das minas marinhas do sal residual ao seu fundo, inserindo uma camada de sal para que a água não entre em contato com a terra. Em seguida, inicia-se o processo circulando a água pelos tanques de evaporação, que são interconectados (**Figura 23**). Estes tanques possuem dezenas de hectares de área e apenas 20 cm de profundidade. Neles, a água evapora pela ação tanto do sol quanto do vento. Num primeiro momento, os compostos de cálcio presentes no oceano decantam-se e separam-se da mistura. A água densa, agora chamada de salmoura, é então movida para os quadros de cristalização: tanques com dezenas de metros quadrados e apenas 2 cm de profundidade. Quando o nível



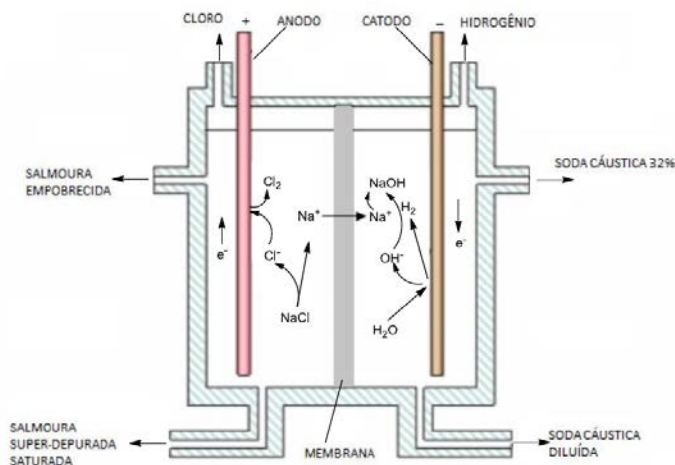
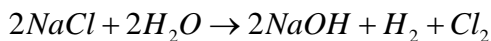
de elementos sólidos chega a 25% do volume da água, a concentração de cloreto de sódio chega a seu máximo e pode seguir dois caminhos:

- Se a salmoura for utilizada para a produção de sal grosso, ela continua secando sob o sol até que todo o cloreto de sódio se cristalize. Depois, os cristais, com até 3 cm de diâmetro, são retirados manualmente com o uso de rodos, ou por máquinas.
- Para a produção de sal refinado, a salmoura é retirada dos tanques de cristalização antes da formação dos cristais e passa por filtros para eliminar impurezas, sendo aquecida a até 120 °C e evaporada em câmaras à vácuo. Temperatura, pressão e quantidade de salmoura são controladas para formar cristais bem menores que os do sal grosso.

## **4.2) Soda Cáustica**

A soda cáustica, ou hidróxido de sódio (NaOH), é um dos compostos mais produzidos e utilizados mundialmente devido às suas diversas aplicações, principalmente como base química, no branqueamento de papel, fabricação de detergentes, biodiesel, tecidos, entre outras aplicações. O principal processo de produção da soda cáustica é a eletrólise aquosa do cloreto de sódio, processo conhecido como cloro-álcali. Esta eletrólise também é um dos principais modos de produção de cloro para a indústria, obtendo também

hidrogênio como subproduto (**Figura 24**). A eletrólise do NaCl ocorre em meio aquoso segundo a reação global:



**Figura 24:** Eletrólise aquosa do NaCl para produção de NaOH (SILVA, 2012).

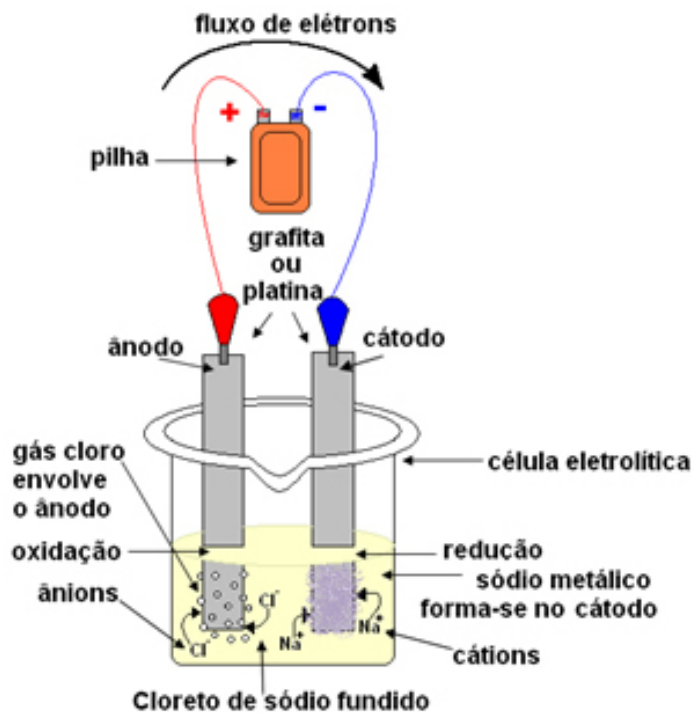
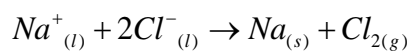
Este processo ocorre com três diferentes sistemas de eletrólise: com célula de mercúrio, de diafragma e de membrana (**Figura 24**). A principal diferença entre as duas últimas é o uso de amianto nas células de diafragma. Por ser tóxico e danoso ao meio ambiente, o amianto tem sido banido de seus diversos usos (também em mantas e telhas) e, na produção de soda cáustica, substituído por polímeros impermeáveis à cloreto. A eventual mistura com

cloreto leva à formação de hipoclorito de sódio. Nesse processo, que já é o responsável por 90% da soda produzida, a soda cáustica é gerada com 32% de concentração, precisando ser posteriormente concentrada.

### **4.3) Sódio Metálico**

O sódio metálico também é produzido pela eletrólise do cloreto de sódio, mas, ao contrário da produção do NaOH, a eletrólise para produção do sódio não é em meio aquoso, mas sim a eletrólise ígnea. O cloreto de sódio é misturado com cloreto de cálcio para diminuir o ponto de ebulição de 801 °C para menos de 700 °C. Como o cálcio é menos eletronegativo que o sódio, ele não depositará sobre o cátodo, sendo o sódio metálico o elemento a ser reduzido (**Figura 25**).

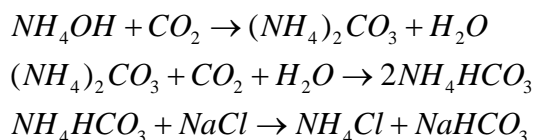
A reação global da eletrólise é a que se segue:



**Figura 25:** Eletrólise ígnea do NaCl. (Disponível em <https://s5.static.brasilecola.uol.com.br/img/2012/11/eletrolise-do-cloreto-de-sodio.jpg>)

#### 4.4) Carbonato de Sódio

O carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), utilizado principalmente na produção de vidro e outras sínteses químicas, é produzido a partir do cloreto de sódio pelo processo Solvay. Este processo requer a utilização de diversas matérias primas para sua realização, tais como o cloreto de sódio, amônia, dióxido de carbono, água e carbonato de cálcio. O processo Solvay, ou amônia-soda, começa com a reação da salmoura com o gás amoníaco, gerando hidróxido de amônio e carbonato de amônio, que é levado para as colunas de carbonatação, onde o bicarbonato de sódio é precipitado após o contato com o dióxido de carbono.



Como o bicarbonato de sódio é menos solúvel, este precipita no interior das colunas de carbonatação, sendo posteriormente filtrado e calcinado, gerando carbonato de sódio, água e dióxido de carbono:



Responsável por três quartos da produção mundial de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), o processo Solvay ainda é o mais aplicado, apesar da descoberta de minas de Trona, de onde a extração deste sal de sódio tem custo muito inferior.

# Referências Bibliográficas

- [1] Peixoto, E. M. A. (1999) *Elemento Químico: Sódio*. Química Nova na Escola, 10.
- [2] *Periodic Table – Sodium*. Disponível em: < <http://www.rsc.org/periodic-table/element/11/sodium>> Acesso em 21 outubro 2018
- [3] *Qual é a utilidade do elemento sódio? Onde ele é encontrado?* Disponível em: <<https://www.tabelaperiodica.org/qual-e-a-utilidade-do-elemento-sodio-onde-ele-e-encontrado/>> Acesso em: 21 outubro 2018
- [4] *Element Sodium – Na*. Disponível em: <<https://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Na.html>> Acesso em 22 outubro 2018
- [5] Angelici, R. J. (1999). *Synthesis and Technique in Inorganic Chemistry*. Mill Valley, CA: University Science Books. ISBN 0-935702-48-2.
- [6] Routley, J. Gordon. *Sodium Explosion Critically Burns Firefighters*: Newton, Massachusetts. U. S. Fire Administration. FEMA, 2013
- [7] *Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Disposal of Chemicals*. National Research Council (U.S.). Committee on Prudent Practices for Handling, Storage, and Disposal of Chemicals in Laboratories. National Academies, 1995. p. 390.
- [8] "Alkali Metals." *Science of Everyday Things*". Encyclopedia.com. Retrieved 15 October 2016.

[9] Remington, Joseph P. (2006). Beringer, Paul, ed. Remington: The Science and Practice of Pharmacy (21st ed.). Lippincott Williams & Wilkins. pp. 365–366. ISBN 978-0-7817-4673-1. OCLC 60679584

[10] "Sodium" (PDF). Northwestern University. Archived from the original (PDF) on 2011-08-23. Retrieved 2011-11-21.

[11] W. M. Haynes, ed., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 95th Edition, Internet Version 2015, accessed December 2014.

[12] John Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford University Press, New York, 2nd Edition, 2011.

[13] Silva, I. M. C. B. (2012) *Hidróxido de sódio*, *Rev. Virtual Quím.*, vol 4 (1), 73-82.

[14] <https://www.tabelaperiodica.org/sodio-a-historia-do-elemento/>

[15] Buci, J. R., *Humphry Davy e a questão d classificação do potássio e do sódio*. Dissertação de mestrado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2012.



**Uma produção SBQ - Sociedade Brasileira de Química**

[www.sbq.org.br](http://www.sbq.org.br)