

# Química Tecnológica Geral – Prof<sup>a</sup>. Maria Teresa

## Unidade 2 – Funções Inorgânicas

### 2.1 Primeiras Palavras

A combinação dos diferentes elementos em proporções diferentes constitui inúmeras substâncias químicas que se unem para formar as milhões de matérias do universo. As classificações dos compostos ajudam a sistematizar o estudo do comportamento destas diferentes substâncias.

Reconhecendo a classe à qual pertence a molécula, fica fácil entendermos e predizermos o comportamento químico dela nas condições em que se encontra.

Esta unidade é formada pelas seguintes aulas:

Aula 8 – Compostos químicos, nomenclatura e formulação.

Aula 8.1 - MOL

Aula 9 – Ácidos.

Aula 10 – Bases

Aula 11 – pH e Neutralização.

Aula 12 – Sais.

Aula 13 – Óxidos.

Aula 14 – Neutralizações importantes para o setor.

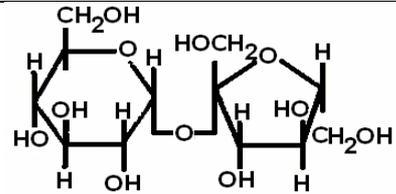
### 2.3 Texto básico para estudo

Como vimos, em condições normais de temperatura e pressão, somente os gases nobres existem na natureza sob a forma de átomos livres isolados. Os outros elementos se encontram ligados formando moléculas ou grupos de íons, que nós chamamos de compostos químicos.

Os compostos químicos são representados pelas suas fórmulas químicas. A fórmula molecular da sacarose nos mostra quantos átomos de cada elemento estão presentes em uma única molécula do composto. A sacarose contém, dessa forma, 12 átomos de carbono 22 átomos de hidrogênio, e 11 átomos de oxigênio.

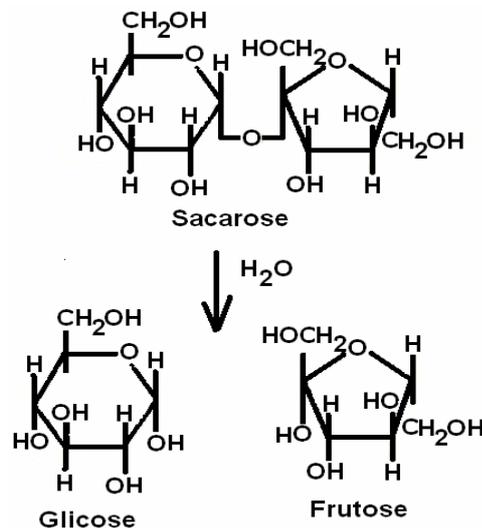


<b>Sacarose</b> <b>Fórmula molecular</b>	<b>Sacarose</b> <b>Fórmula estrutural</b>
---	--



### 2.3.1 Compostos Químicos, formulação e nomenclatura

A fórmula molecular nada nos diz a respeito de como esses átomos estão ligados e arranjados no espaço. Já a fórmula estrutural nos mostra como os átomos estão arranjados no espaço. Nas fórmulas estruturais as linhas representam uma ligação e cada vértice ou cada símbolo de elemento, o átomo do elemento. Por meio da fórmula estrutural da sacarose, podemos verificar, por exemplo, que ela é formada por duas outras moléculas de açúcares, a glicose e a frutose, unidas por uma ligação contendo um átomo de oxigênio.



Cada uma das formas de expressar a molécula de sacarose possui sua utilidade e inconveniência. É muito mais fácil e ocupa menos espaço escrever a fórmula molecular, no entanto, a fórmula estrutural nos fornece mais informações sobre a molécula.

A formulação e a nomenclatura dos compostos seguem algumas regras:

- Quando tratamos de substâncias alotrópicas, ou seja, substâncias diferentes, mas que são formadas por átomos do mesmo elemento, essas substâncias podem receber nomes especiais ou podem receber o nome de acordo com o número de átomos que compõe a molécula. Fósforo branco possui quatro átomos de fósforo e é chamado de tetrafósforo. O enxofre, substância muito utilizada na fabricação de açúcar cristal branco, é constituído de oito átomos de enxofre, S<sub>8</sub>. Este pode receber o nome de octaenxofre ou apenas enxofre. Alguns compostos recebem nomes especiais como o trioxigênio O<sub>3</sub> que é popularmente chamado de ozônio.

- O cátion (ion positivo) é escrito sempre à esquerda e o ânion (ion negativo) à direita.

- Os elementos recebem nomes variados dependendo da língua, mas os símbolos químicos dos elementos são universais, independentemente da língua, não mudam.

- Nos compostos, quando os elementos apresentam uma única forma catiônica o nome do cátion é o nome do elemento. Por exemplo, sódio, potássio, cálcio, alumínio. Quando o elemento formar cátions simples com dois estados de oxidação diferentes, cada íon deve ser diferenciado. Há duas formas de se fazer isso: usando os sufixos "oso" ou "ico" ou usando o sistema de Stock. No primeiro sistema, o sufixo oso e ico vem ligado à raiz do nome do elemento para indicar respectivamente o estado de oxidação inferior e superior.

A utilização dos sufixos está caindo em desuso, contudo ainda encontramos nos textos de química. No sistema de Stock, que é o mais recentemente adotado, o estado de oxidação do elemento é indicado pelo algarismo romano escrito imediatamente após o nome do elemento. Assim, temos para o cobre, Cobre I e Cobre II e para os cromos com valência +2 e +3, Cromo II e Cromo III.

Elemento	Fórmula e nome do íon				
	Nome	Estado inferior de oxidação		Estado superior de oxidação	
Cobre		Cu <sup>+</sup>	Cuproso	Cu <sup>2+</sup>	Cúprico
		<b>Cobre I</b>		<b>Cobre II</b>	
Cromo		Cr <sup>2+</sup>	Cromoso	Cr <sup>3+</sup>	Crômico
		<b>Cromo II</b>		<b>Cromo III</b>	
Ferro		Fe <sup>2+</sup>	Ferroso	Fe <sup>3+</sup>	Férrico
		<b>Ferro II</b>		<b>Ferro III</b>	

Outra classificação útil para os compostos químicos é separá-los em orgânicos e inorgânicos. Os compostos orgânicos são aqueles formados principalmente pelos elementos carbono e hidrogênio. Em muitas das moléculas orgânicas, encontramos também o oxigênio e em quantidade muito pequena encontramos nitrogênio e enxofre. Nos compostos orgânicos, os átomos de carbono estão ligados em cadeia. São as cadeias carbônicas.

São os principais constituintes dos organismos vivos, animais e vegetais, e fazem parte também da grande família dos derivados do petróleo. A classe dos compostos orgânicos é imensa, contendo milhares de milhões de compostos. Entre eles, temos os combustíveis, alimentos, medicamentos, os plásticos e milhares de substâncias sintetizadas a cada ano em laboratórios de pesquisa do planeta.

O gás carbônico, os carbonatos e os cianetos, apesar de possuírem carbono são compostos inorgânicos. Os compostos inorgânicos são também chamados de minerais. Trata-se dos principais constituintes das rochas.

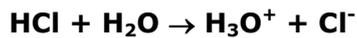
Como dissemos, o número de substâncias químicas conhecidas atualmente é extremamente grande e por isso elas são separadas e classificadas de acordo com suas principais características funcionais ou propriedades químicas. As propriedades funcionais são: ácidos, bases, sais e óxidos.

### 2.3.2 Ácidos

Os ácidos são substâncias que possuem sabor azedo e a grande maioria deles é solúvel em água. Segundo Arrhenius, ácidos são compostos que em solução aquosa se ionizam, produzindo como íon positivo o cátion  $H^+$ , também chamado de próton.



O cátion  $H^+$  não fica sozinho em solução, o oxigênio da água atrai o hidrogênio da molécula do ácido, fazendo com que ele fique acompanhado, no mínimo, por uma molécula de água. Por isso também é simbolizado pelo íon hidrônio  $H_3O^+$ . O equilíbrio dos ácidos em água pode, portanto, ser escrito da seguinte forma:



Onde o  $H_3O^+$  ou  $H^+$  é o radical funcional dos ácidos.

O uso da simbologia  $H^+$  é útil tanto pela simplicidade na escrita quanto pelo entendimento. Há conceitos mais abrangentes de ácido, no entanto, para o nosso entendimento esse conceito é suficiente.

Para escrever a fórmula de um ácido, devemos observar a valência do ânion. Como o cátion (íon positivo) é sempre +1 ( $H^+$ ) é necessário anular as cargas do ânion de forma que a molécula do ácido seja eletricamente neutra. Assim, o número de cargas positivas será igual à valência do ânion. Basta transferir então o número correspondente à carga do ânion, como índice do hidrogênio.



Os ácidos neutralizam as bases e podem receber diferentes classificações. Nos ateremos na que os classificam em ácidos fortes, semi-fortes ou moderados e fracos.

Essa classificação está relacionada com a facilidade com que a molécula do ácido libera pelo menos um dos seus prótons. Os ácidos fortes são aqueles que, quando em solução aquosa, mais de 50% de suas moléculas liberam o hidrogênio. A capacidade de liberar o hidrogênio e formar os íons em solução é chamada, **grau de ionização**, simbolizado pela letra grega alfa ( $\alpha$ ). Os ácidos fortes são os que possuem grau de ionização, maior que 50%.

Os ácidos moderados possuem grau de ionização com valores entre 5 e 50%. Os ácidos fracos possuem grau de ionização menor que 5%. Observe o grau de ionização, de alguns ácidos:

<b>Ácido</b>	<b>Grau de ionização</b>
Ácido clorídrico	92%
Ácido sulfúrico	62%
Ácido fosfórico	8%
Ácido cianídrico	0,5%

A nomenclatura dos ácidos depende da sua classificação. Os hidrácidos, que são ácidos que não possuem oxigênio na molécula, possuem nomes terminados em "ídrico". Ácido clorídrico, iodídrico, sulfídrico, cianídrico. Os ácidos que contêm oxigênio em sua molécula - os oxiácidos - possuem terminação "ico" quando, com o elemento, se pode formar somente um ácido. Ácido carbônico, ácido bórico. Quando o elemento puder formar 2 oxiácidos, a terminação será "ico", para

a forma em que o elemento apresentar o maior número de oxidação - que na maioria das vezes, está relacionado com o número de oxigênio na molécula - e "oso" para o ácido contendo o elemento com o menor número de oxidação.

Para oxiácidos de elementos com 3 ou mais possibilidades de formações de ácidos fazemos o uso de diferentes sufixos e terminações em função do decréscimo no número de oxidação. Observe o uso dos prefixos "per" e "hipo" e os sufixos "ico" e "oso". Os dois com maior número de oxidação possuem a terminação "ico" e entre eles o de maior número de oxidação recebe o prefixo "per". Os dois com menor número de oxidação recebem o sufixo "oso" e dentre eles o de menor número de oxidação recebe o prefixo "hipo". Observe:

<b>HClO<sub>4</sub></b>	é o ácido	perclórico
<b>HClO<sub>3</sub></b>	é o ácido	clórico
<b>HClO<sub>2</sub></b>	é o ácido	cloroso e
<b>HClO</b>	é o ácido	hipocloroso

Para oxiácidos com diferentes graus de hidratação usamos os prefixos "orto", "piro" e "meta" em função da quantidade decrescente de água na molécula. Respectivamente, assim, temos os três oxiácidos do fósforo:

**H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>** é o mais hidratado e chamado de ácido ortofosfórico;

**H<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>** é o ácido ortofosfórico do qual nós retiramos uma molécula de água de cada duas moléculas. Esse ácido recebe o nome de pirofosfórico;

**HPO<sub>3</sub>** ácido metafosfórico, é obtido se retiramos uma molécula de água de cada uma das moléculas do ácido ortofosfórico.

Na indústria sucroalcooleira, alguns ácidos possuem papel muito importantes, atuam principalmente em reações de ajuste de pH, para promoção de limpeza do caldo e em reações de neutralização para impedir a quebra da molécula de sacarose.

O ácido sulfuroso, por exemplo, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, é o ácido obtido da reação do gás sulfuroso com a água. Esse ácido é utilizado na sulfitação do caldo para obtenção do açúcar branco, é um ácido fraco, que além possuir a função de abaixar o pH do caldo para 4,0, possui também outras funções como bloquear reações de formação de cor e introduzir um ânion que irá formar precipitados, como veremos em lições posteriores.

O ácido fosfórico, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, é um aditivo acidulante muito usado em refrigerantes e, que na usina de açúcar, é usado como auxiliar de clarificação na produção de açúcar. Os ânions hidrogenofosfato e fosfato gerados deste ácido, também formam sais pouco solúveis com cálcio e precipitam do caldo de cana.

O ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que é o ácido presente em baterias e que é altamente corrosivo e desidratante, capaz de provocar queimaduras graves, é muito usado na fermentação alcoólica para tratamento das leveduras. Esse ácido elimina as bactérias e as células de leveduras mais fracas, as que são muito jovens e as muito velhas, deixando somente as úteis para a fermentação.

Esse ácido também pode ser gerado em quantidades muito pequenas, durante a geração do ácido sulfuroso pela reação do enxofre com o oxigênio do ar. Se a quantidade de oxigênio presente for superior à necessária, será formado o SO<sub>3</sub>, anidrido sulfúrico e não o SO<sub>2</sub>. O anidrido sulfúrico é

indesejável, pois é responsável pela formação do ácido sulfúrico em contato com a água ( $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ ), e conseqüente incrustações na fábrica, diminuindo principalmente a eficiência dos equipamentos.

Um ácido útil para desincrustações é o ácido clorídrico. O HCl é um gás que é comercializado em solução em média a 36% e é chamado de ácido clorídrico fumegante. As soluções de ácido clorídrico 1% são usadas na limpeza e são chamadas de ácido muriático. Este ácido é o ácido encontrado no suco gástrico de nossos estômagos.

### 2.3.3 Bases

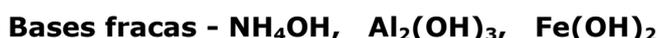
As bases ou hidróxidos são substâncias que possuem sabor adstringente e neutralizam ácidos. Bases ou hidróxidos são compostos, em geral iônicos, que ao serem dissolvidos em água se dissociam, originando, como ânions, os íons hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ). A maior parte das bases são pouco solúveis em água. A hidroxila ou oxidrila liberada é o ânion, que em presença de ácido, reage com o próton formando água. A hidroxila é, portanto, o grupo funcional ou também chamado de radical funcional das bases.

De maneira geral, as bases são formadas por um metal que é o cátion, ligado ao  $\text{OH}^-$  (hidroxila) a exceção é o hidróxido de amônio,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , que não é um metal.

As bases podem ter diferentes classificações, por exemplo, quanto ao número de hidroxilas ionizáveis da molécula. Nesse neste caso elas podem ser: mono, di, tri ou tetra bases.



Em função do grau de ionização, as bases podem ser classificadas em bases fortes, que são os hidróxidos de metais alcalinos e de metais alcalinos terrosos e bases fracas como  $\text{NH}_4\text{OH}$  e os hidróxidos de metais de transição.



Em função de solubilidade em água, podemos ter bases solúveis, que são as dos metais alcalinos e hidróxido de amônia, e as bases muito pouco solúveis ou praticamente insolúveis que são os hidróxidos dos metais alcalino-terrosos e demais metais.

Na indústria sucoalcooleira, as bases junto com os ácidos possuem papel de grande importância. O Hidróxido de cálcio, por exemplo, além de neutralizar as soluções ácidas ajustando o pH para 7,0, introduz o cátion  $\text{Ca}^{2+}$ , que pela formação de sais insolúveis carrega impurezas do caldo por arraste. Além disso, como vimos, a maioria das bases são insolúveis. Sendo assim, outros compostos básicos precipitam ajudando a promover a limpeza do caldo.

A neutralização do caldo é muito importante, pois como já mencionamos, a molécula de sacarose é bastante frágil e o trabalho em soluções ácidas e com temperaturas elevadas acabam por quebrar essa molécula, transformando-a em glicose e frutose. É importante notar também que pHs elevados, superiores a 7,0 também são prejudiciais para os açúcares, já que os destrói transformando-os em ácidos orgânicos.

A formulação das bases segue o que foi visto até agora: o ânion, íon negativo, vem descrito à direita na fórmula e o cátion à esquerda. A nomenclatura das bases é feita com o nome de "hidróxido de...", quando apenas um hidróxido é formado. No caso de cátions de elementos que

formam mais de duas bases, o sufixo "oso" é usado para a base do metal de menor número de oxidação e "ico" para o de maior número de oxidação. Ou, pode-se usar algarismos romanos para indicar o número de oxidação.

**NaOH** - Hidróxido de sódio (só um hidróxido)

**NH<sub>4</sub>OH** - Hidróxido de amônio (só um hidróxido)

**Fe(OH)<sub>2</sub>** - Hidróxido ferroso ou Hidróxido de ferro II

**Fe(OH)<sub>3</sub>** - Hidróxido férrico ou e hidróxido de ferro III

O hidróxido de cálcio Ca(OH)<sub>2</sub>, cal extinta, cal hidratada ou leite de cal é a base utilizada na neutralização do caldo para a obtenção de pH igual à 7,0. Essa base é obtida na própria indústria por intermédio da mistura da cal virgem, que é o óxido de cálcio, CaO, com água.

O hidróxido de cálcio formado pode sofrer recarbonatação. Em presença de água e ar ele reage com o CO<sub>2</sub> e se transforma em carbonato de cálcio CaCO<sub>2</sub>. Essa espécie química apresenta baixa eficiência de neutralização e de precipitação, diminuindo a eficiência do processo de limpeza ou purificação do caldo. Por isso, o leite de cal ou suspensão de hidróxido de cálcio é produzido na própria usina partindo da cal virgem de boa qualidade e com algumas horas de antecedência, evitando, dessa forma, a recarbonatação.

O hidróxido de sódio, ou soda cáustica é outra base de uso em algumas usinas. Trata-se de uma base forte, possuindo alto grau de ionização sendo, portanto, muito solúvel. É um sólido branco, cristalino e higroscópico (absorve água da atmosfera), é tóxico e é usado no desentupimento de tubulações e na extração da celulose do bagaço de cana. Algumas indústrias utilizam essa base para neutralizar a acidez de álcoois, atitude não recomendada. Por isso, uma das medidas de controle de qualidade de álcoois é o teor de sódio no etanol, que não deve ultrapassar 2 ppm (parte por milhão).

O hidróxido de magnésio forma, a exemplo da cal, uma suspensão aquosa. Ele não é comumente usado na indústria do açúcar, mas estudos têm sido conduzidos visando sua utilização combinada com o hidróxido de cálcio, uma vez que as incrustações obtidas com este metal são mais moles e mais fáceis de serem removidas dos equipamentos. Em relação a esse uso, há, contudo, controvérsias, pois a limpeza do caldo também perde eficiência.

Outra base de grande utilidade no setor é o hidróxido de alumínio. Trata-se de uma base fraca que forma com a água uma solução coloidal. É muito usada na limpeza de águas, inclusive águas de caldeira.

#### **2.3.4 pH e neutralização**

Uma forma de medirmos o caráter ácido e básico de uma solução é através da escala de pH. O pH, por definição, é o logaritmo negativo da concentração de íons H<sup>+</sup> presentes em soluções aquosas diluídas.

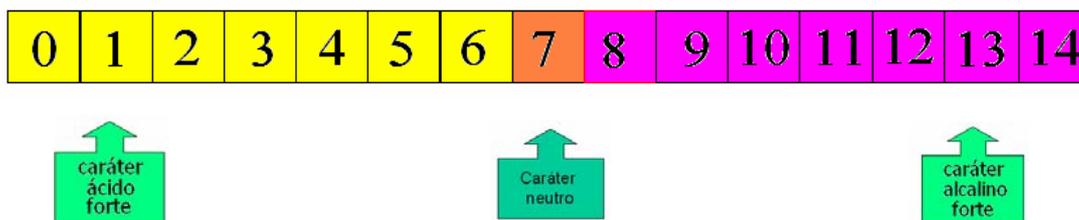
$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

Como a concentração de prótons ou de hidroxilas geralmente são muito baixas, com números escritos em potência de 10, por exemplo,  $1 \times 10^{-3}$ , fica mais fácil escrever o valor do logaritmo negativo, que se torna neste caso igual a 3.

$$\text{pH} = -\log 1 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = 3$$

O pH de uma solução pode variar entre 0 e 14. Próximo do valor zero temos a região na qual as soluções são muito ácidas e em valores de pH próximos a 14 temos a região onde as soluções são muito alcalinas ou básicas. Soluções com valores de pH próximos a 7 (sete), são quase neutras e as soluções neutras são as que não são nem ácidas nem básicas, possuindo  $\text{pH} = 7$ .



Existem diferentes formas de se medir pH. Podemos realizá-la por intermédio de equipamentos específicos chamados pHmetros (peagômetros), ou por meio de substâncias que mudam de cor em diferentes valores de pH.

Os pHmetros, medem diferenças de potencial elétrico, ou seja, a voltagem existente entre a solução de fora e a de dentro do eletrodo e correlacionam com a concentração de  $\text{H}^+$ . O pH depende da temperatura. É importante notar isso, pois algumas medidas de pH realizadas na indústria são realizadas com a amostra quente.

Os indicadores ácido-base são substâncias que possuem a característica de mudar sua coloração em função da concentração de íons  $\text{H}^+$  (ácidos) ou do  $\text{OH}^-$  (bases), e por isso são usadas para indicar se a solução é ácida ou básica. Essas substâncias são bastante úteis no acompanhamento de uma reação de neutralização. Diferentes indicadores ácido-base podem ser colocados em tirinhas de papel ou de plástico, que são chamados de papel indicador. O papel é mergulhado na solução que se quer medir o pH e a coloração obtida é comparada com a de um padrão indicativo do pH. A tabela abaixo apresenta alguns indicadores ácido-base.

Indicador	Mudança de cor	Intervalo de pH
Alaranjado de metila	Vermelho – amarelo	3,1 – 4,4
Verde de bromocresol	Amarelo – azul	4,0 – 5,6
Vermelho de metila	Vermelho – amarelo	4,4 – 6,2
Azul de bromotimol	Amarelo – azul	6,2 – 7,6
fenolftaleína	Incolor - vermelho	8,0 – 10,0

A reação de neutralização ocorre entre o íon positivo do ácido e a hidroxila que é o íon negativo da base. Observe que a neutralização é a formação da molécula de água e um sal. Ou seja, após a neutralização restam em solução o ânion do ácido e o cátion da base, ou, um sal.

Se esse sal for um sal pouco solúvel, ou seja, apresentarem força de atração muito grande entre eles, acabarão se combinando e precipitarão, sairão da solução na forma sólida.

Observe a reação de precipitação do sulfito de cálcio pela adição de leite de cal a uma solução contendo ácido sulfuroso. A reação de neutralização também é chamada de reação de salificação. Ela pode ou não ser completa.

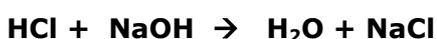


Uma reação é completa quando todos os íons  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$  são neutralizados. Para que isso ocorra, as mesmas quantidades de íons  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  devem se encontrar.

Quando isso não acontece a reação é parcial dando origem a sais ácidos ou sais básicos.

### 2.3.5 Sais

Os sais são compostos em sua maioria iônicos e, como vimos, oriundos das reações de neutralização. Embora outras reações possam produzir sais, pode-se dizer que são compostos formados na reação de um ácido com uma base. A neutralização dá origem a moléculas de um sal e a moléculas de água. Observe a reação do ácido clorídrico com o hidróxido de sódio, esta reação fornece o sal cloreto de sódio e molécula de água.



Podemos dizer também que os sais são compostos iônicos onde pelo menos 1 cátion é diferente de  $\text{H}^+$  e um ânion é diferente de  $\text{OH}^-$ . A reação de neutralização só ocorre totalmente quando o número de íons  $\text{H}^+$  for igual ao número de íons  $\text{OH}^-$ . Nesse caso não sobra nem íons  $\text{H}^+$  do ácido nem  $\text{OH}^-$  da base. Os sais gerados nessas condições são os sais normais ou neutros, como o cloreto de sódio, ou o fosfato de sódio oriundo da neutralização de três moléculas de hidróxido de sódio por uma de ácido fosfórico.

A regra geral de formulação dos sais segue o que se tem visto, ou seja, como um sal é eletricamente neutro suas valências devem ser neutralizadas. Assim, a valência do ânion é equivalente ao número de cátions necessários para neutralizá-la e a valência do cátion equivale ao número de ânions necessários para neutralizá-la. Desse modo, podemos colocar a valência do ânion como índice do cátion e a valência do cátion como índice do ânion.

A nomenclatura dos sais depende do tipo de sal. Os sais normais recebem o nome derivado do ácido e da base que lhes deram origem, apenas a terminação do nome do ácido sofre alteração de acordo como o seguinte código:

ácidos terminados em "ídrico" o sal terá terminação "eto"

ácido terminado em "oso" terá seu sal terminado em "ito" e

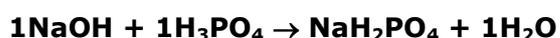
ácidos terminados em "ico" terão seus sais terminados em "ato"

Desse modo, o nome do sal normal será o nome do ânion do ácido de origem com o sufixo "ato", "eto" ou "ito", mais o nome do cátion da base de origem.

O sulfeto de sódio é originário do ácido sulfídrico e do hidróxido de sódio. O sulfato de sódio é oriundo do ácido sulfúrico e do hidróxido de sódio. O sulfito de sódio é proveniente do ácido sulfuroso e do hidróxido de sódio.

Quando o cátion tem mais de uma valência pode-se usar os sufixos "oso" e "ico". O de maior valência será o "ico" e o de menor será o "oso". Ou pode-se utilizar os algarismos romanos para indicar a valência (número de oxidação).

A neutralização parcial dá origem a sais ácidos ou básicos. Isso dependerá da sobra de ácido ou base. Tal neutralização ocorre quando trabalhamos com multiácidos ou multibases. No caso de usar uma molécula de hidróxido de sódio para neutralizar uma molécula de ácido fosfórico, que possui 3 hidrogênios, será formado um sal ácido. E no caso da neutralização parcial do hidróxido de cálcio com ácido clorídrico será formado um sal alcalino.



Na formulação dos sais, é necessário conhecer os cátions e ânions oriundos do sal e da base que participaram da reação de neutralização.

Um aspecto importante nos estudos dos sais é conhecer sua solubilidade em água. Alguns sais são solúveis e outros não. Não é possível prever quimicamente se um sal é solúvel ou não. Para tanto, existem regras e tabelas que nos ajudam.

No passado, os químicos trabalharam muito classificando os sais quanto à sua solubilidade, e essa característica é apresentada em tabelas de solubilidade. Essas tabelas podem ser encontradas em vários livros de química e, principalmente, em hand-books de físico-química. Estes livros podem ser de grande interesse em função da quantidade de informações selecionadas que eles trazem.

### 2.3.6 Óxidos

Outra classe de compostos químicos é a dos óxidos. São compostos binários, nos quais o oxigênio é o elemento mais eletronegativo. Trata-se de um grupo de substância muito numeroso, já que praticamente todos os elementos químicos formam óxidos. Na natureza, são muito freqüentes. A água é um óxido  $\text{H}_2\text{O}$ , assim como a areia, sílica,  $\text{SiO}_2$ , o gás carbônico  $\text{CO}_2$ , a hematita,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que é o minério de ferro, a - pirolusita  $\text{MnO}_2$  que é o minério de manganês. O único elemento que ao se combinar com o oxigênio não é considerado óxido é o flúor  $\text{OF}_2$  e  $\text{O}_2\text{F}_2$ . – Tais elementos não são considerados óxidos e sim fluoretos de oxigênio, pois o flúor é mais eletronegativo do que o oxigênio.

Os óxidos podem ser divididos em óxidos básicos, que são óxidos que reagem com a água, produzindo uma base, ou reagem com um ácido, produzindo sal e água. A formulação segue o que tem sido visto, ou seja, o oxigênio fica localizado à direita, pois é o ânion. O cátion por sua vez, que é o outro elemento, fica à esquerda, simbolizado aqui pela letra E,  $\text{E}_2\text{O}$ . A valência do oxigênio na maioria das vezes é -2, observe que este será o índice dos metais que o acompanha. A valência dos metais que acompanham o oxigênio nos óxidos básicos são geralmente (+1, +2) são compostos

sólidos e iônicos, e possuem ponto de fusão e de ebulição elevados. São os óxidos de metais alcalinos e alcalinos-terrosos, eles reagem com água, como vimos, formando hidróxidos destes metais. Os demais óxidos básicos são pouco solúveis em água.

Óxidos ácidos ou anidridos são os óxidos que reagem com água, produzindo um ácido, ou reagem com base, produzindo sal e água. O anidrido sulfuroso  $\text{SO}_2$ , o anidrido sulfúrico  $\text{SO}_3$  e o anidrido carbônico  $\text{CO}_2$ , que também são chamados de gás sulfuroso, gás sulfúrico e gás carbônico respectivamente, estão bastante presentes na fabricação do açúcar e do álcool.

A nomenclatura dos óxidos é feita de forma que quando o elemento formar apenas um óxido ele será óxido de... "nome do elemento".

Exemplos:

$\text{Na}_2\text{O}$  - óxido de sódio,  
 $\text{CaO}$  - óxido de cálcio,  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$ , óxido de alumínio.

Quando o elemento formar dois óxidos, temos óxido de... "nome do elemento" ... mais "ico", para o caso em que o elemento apresentar o maior número de oxidação. Já, o nome do elemento mais "oso", para o caso onde o elemento apresentar o menor número de oxidação.

Exemplos:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  - óxido férrico número de oxidação (+3) e  
 $\text{FeO}$  - óxido ferroso número de oxidação (+2),  
 $\text{CuO}$  - óxido cúprico nóx +2,  
 $\text{Cu}_2\text{O}$  - óxido cuproso nóx +1.

Pode-se também usar o sistema de Stock no qual o algarismo romano é empregado para indicar a valência:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  - óxido de ferro III  
 $\text{FeO}$  - óxido de ferro II,  
 $\text{CuO}$  - óxido de cobre II e  
 $\text{Cu}_2\text{O}$  - óxido de cobre I

Pode-se utilizar nomenclaturas nas quais o número de oxigênios existentes na molécula e o número de elementos são expressos. Não é muito usual, mas é útil e também pode ser encontrado.

Por exemplo:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  - trióxido de diferro,  
 $\text{FeO}$  - monóxido de monoferro  
 $\text{CuO}$  - monóxido de mono cobre e  
 $\text{Cu}_2\text{O}$  - monóxido de dicobre

Entre os óxidos há ainda os peróxidos, que são os óxidos que reagem com água ou com ácidos diluídos, produzindo "água oxigenada" ou peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

O  $\text{H}_2\text{O}_2$  é líquido e molecular. Os demais peróxidos são sólidos iônicos. Neles encontramos o ânion  $\text{O}_2^{2-}$ . Observe que a estrutura é composta de dois oxigênios ligados,  $-\text{O}-\text{O}-$ , o que faz com que o nox ou número de oxidação do oxigênio nos peróxidos seja igual à -1.

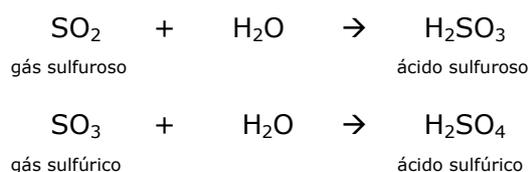
### 2.3.7 Neutralizações importantes

O caldo obtido na moagem da cana é chamado de caldo misto. Possui essa denominação porque recebeu água de embebição durante a extração nas moendas para remover o açúcar retido no bagaço após o esmagamento. O caldo misto passa primeiro por uma remoção de impurezas grosseiras e, em seguida, pelo processo de sulfitação, que é uma acidificação.

A sulfitação, que geralmente é realizada antes da adição do leite de cal, é uma operação realizada somente quando se quer produzir açúcar branco. Ela consiste na adição do dióxido de enxofre,  $\text{SO}_2$ , que também é chamado de gás sulfuroso, ou anidrido sulfuroso, como já foi visto. Tal operação é realizada primeiramente com o objetivo especial de oxidar os sais férricos coloridos, adquiridos pelo contato com as moendas e tubulações, transformando-os em compostos ferrosos incolores, e, em segundo lugar, bloquear as reações de escurecimento que podem ocorrer com fenólicos. Os fenólicos são compostos naturalmente encontrados nos vegetais. Eles fazem com que seus sucos escureçam logo que as células são abertas e seus constituintes entram em contato com o oxigênio do ar.

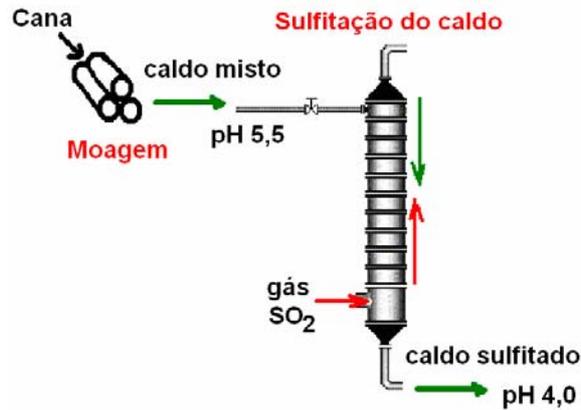
O anidrido sulfuroso utilizado na sulfitação é obtido na própria usina. Como já vimos, a produção do dióxido de enxofre, é resultante da queima do enxofre, que se dá em fornos rotativos, à temperatura de 700 a 800°C. E também, como já foi visto, nessa queima pode ocorrer a formação tanto do dióxido de enxofre como do trióxido de enxofre. A obtenção deste último é indesejável, por isso, temperaturas acima de 800°C, excesso de ar na combustão, bem como, umidade no ar de combustão, devem ser evitados no processo de queima.

Observe as reações de dissolução dos dois gases em água e os números de oxidação do enxofre:

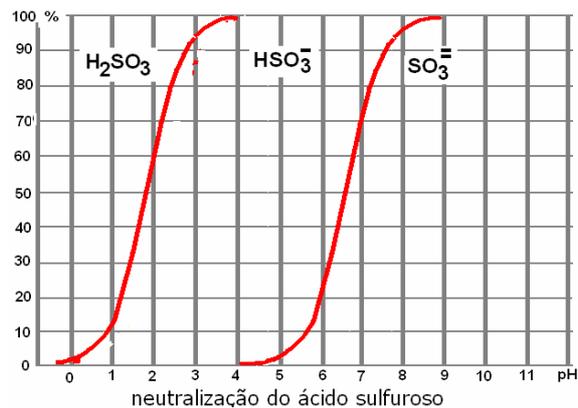


Muitos são os inconvenientes da presença do ácido sulfúrico. Ele é altamente corrosivo, e gera após a sua neutralização o ânion sulfato, que forma sais pouco solúveis e de precipitação lenta, que causarão incrustações no processo.

Na operação de sulfitação, o caldo misto desce pela coluna de sulfitação, percolando o gás sulfuroso que entra em contato com a água formando o ácido sulfuroso. A neutralização parcial desse ácido se dá com a formação de ânions como o hidrogenosulfito,  $\text{HSO}_3^-$  e o sulfito,  $\text{SO}_3^{2-}$ .



Observe as curvas de neutralização do primeiro e do segundo hidrogênio do ácido sulfuroso.



No eixo do x encontramos a variação de pH, e no eixo do y temos a porcentagem de neutralização ou de formação da espécie química. A adição do ácido ao caldo é feita de forma que o caldo sai de um pH ao redor de 5,5 e chega a um pH ao redor de 4, para obtenção do ácido. A quantidade ou concentração desse gás no caldo será pequena e sua adição é controlada pelo abaixamento do pH. Geralmente, isso significa usar ao redor de 500g de  $\text{SO}_2$  por tonelada de cana.

Outra neutralização importante é a que ocorre com a adição da cal ou leite de cal. Essa etapa se chama caleagem. É realizada, para a limpeza do caldo, em todos os processos de fabricação de açúcar, ou seja, qualquer açúcar produzido, com critério, deve sofrer ao menos uma leve caleagem, inclusive o açúcar mascavo.



Observe na primeira foto a abertura de um saco de óxido de cálcio (ou cal virgem) que está sendo destorroado e peneirado para ser adicionado ao tanque de água e, na segunda foto, temos a adição da cal virgem ao tanque contendo água e com um sistema de agitação contínua no qual está sendo preparado o leite de cal.

O leite de cal é, portanto, uma mistura de cal virgem com água, formando a suspensão de hidróxido de cálcio.

Quando a usina realiza a sulfitação, a adição da cal é realizada para que o caldo passe de um pH ao redor de 4, para um pH próximo de 7. Quando a usina não realiza a etapa de sulfitação, o hidróxido de cálcio é adicionado ao caldo com próximo de 5,5 até que fique ao redor da neutralidade (pH=7).

Desta forma, a adição é realizada, com dois 2 objetivos: o primeiro é neutralizar e inibir a hidrólise da sacarose não permitindo que ela se desdobre em glicose e frutose e, o segundo, é de precipitar muitas impurezas do caldo formando com o cálcio vários sais pouco solúveis em água, como os sulfatos, sulfitos e fosfatos de cálcio.

A concentração da cal é medida geralmente em Baumé (Bé). Um Baumé equivale aproximadamente à (% - 0,5). A pasta inicial de hidróxido de cálcio é diluída com água até formar uma suspensão com 4 a 5 Bé. Ou seja, uma solução com 3,5 a 4,5% de hidróxido de cálcio.

Outra neutralização importante que ocorre no caldo de cana é a que envolve o ácido fosfórico, e cuja neutralização dá origem a diferentes sais de fosfato insolúveis. O ácido fosfórico está presente naturalmente no caldo. As canas que apresentam teores superiores a 300 ppm não necessitam receber a adição deste ácido. No entanto, caldos com teores inferiores geralmente recebem uma complementação desse ácido. Os sais de fosfatos apresentam grande poder de formar flocos que aglutinam outros precipitados e arrastam substâncias que se encontram em suspensão no caldo.