

# TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA

---

**INDÚSTRIA CLORO-SODA**

# INTRODUÇÃO

- ❖ A indústria de cloro-soda é uma das maiores do mundo, uma vez que desta se obtêm dois produtos valiosos e muito utilizados, tanto na forma pura como os seus derivados.
- ❖ O cloro e a soda cáustica (soda) são produzidos simultaneamente, pela eletrólise de sal, numa proporção fixa de 1 tonelada de cloro para 1,12 t de soda cáustica, sendo o processo eletrolítico empregado em mais de 95 % da produção mundial de cloro.
- ❖ O cloro e a soda têm em comum apenas o fato de serem utilizados na sua quase totalidade como insumos de outras indústrias; suas propriedades e aplicações são completamente diferentes:
  - ❖ o cloro é tóxico e gasoso nas condições ambientais,
  - ❖ e a soda é sólida nas mesmas condições, sendo usualmente comercializada na forma de uma solução aquosa a 50%.

# HISTÓRICO CLORO

- ❖ O cloro ( $\text{Cl}_2$ , do grego χλωρος= chlorós, que significa “amarelo verdoso”, esverdeado) foi descoberto em 1774 pelo sueco Carl Wilhelm Scheele, que acreditava se tratar de um composto contendo oxigênio. Obteve-o com base no dióxido de manganês mineral pirolusita, pela seguinte reação:



- ❖ Os processos anteriores às técnicas de eletrólise baseavam-se nesta reação ou na reação direta de HCl com o ar ou oxigênio puro, produzindo água e cloro.
- ❖ A primeira utilização do cloro ocorreu em 1789, com o hipoclorito de potássio usado nas indústrias têxteis para o branqueamento de tecidos.

# HISTÓRICO CLORO

- ❖ Em 1810, o químico inglês Humphry Davy demonstrou que a substância era um elemento químico, e deu-lhe o nome de cloro, devido à sua coloração amarelo-esverdeada.
- ❖ Em 1823, o cloro começou a ser utilizado para a desinfecção dos hospitais.
- ❖ Entre 1920 e 1940, o cloro aumentou sua participação em muitos outros processos produtivos, com o início da produção de etilenoglicol, de solventes clorados, de cloreto de vinila, entre outros.
- ❖ O cloro foi utilizado na Primeira Guerra Mundial, na forma de gás mostarda ou iperita, um agente químico muito tóxico de bis(2-cloroetil) sulfeto. Foi a primeira vez na história que uma substância foi utilizada como arma química.

# PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO CLORO

Peso atômico		35,46
Peso molecular		70,91
Densidade	Líquido	1561 kg/m <sup>3</sup> , a -35 ° C
		1468 kg/m <sup>3</sup> , a 0 ° C
		1410 kg/m <sup>3</sup> , a +20 ° C
	Gás	3214 kg/m <sup>3</sup> , a 0 ° C / 760 mm Hg [ Densidade relativa, a 20 ° C , em relação ao ar = 2490 kg/m <sup>3</sup> ]
Ponto de ebulição, a 760 mm Hg		-34,05 ° C
Ponto de fusão		-101 ° C
Pressão de vapor, a 20 ° C		6,7 bar
Observações:		
1 volume de cloro líquido = 457 volumes de cloro gasoso, a 0 ° C / 760 mm Hg		
1 kg de cloro líquido = 0,315 m <sup>3</sup> de cloro gasoso, a 0 ° C / 760 mm Hg		

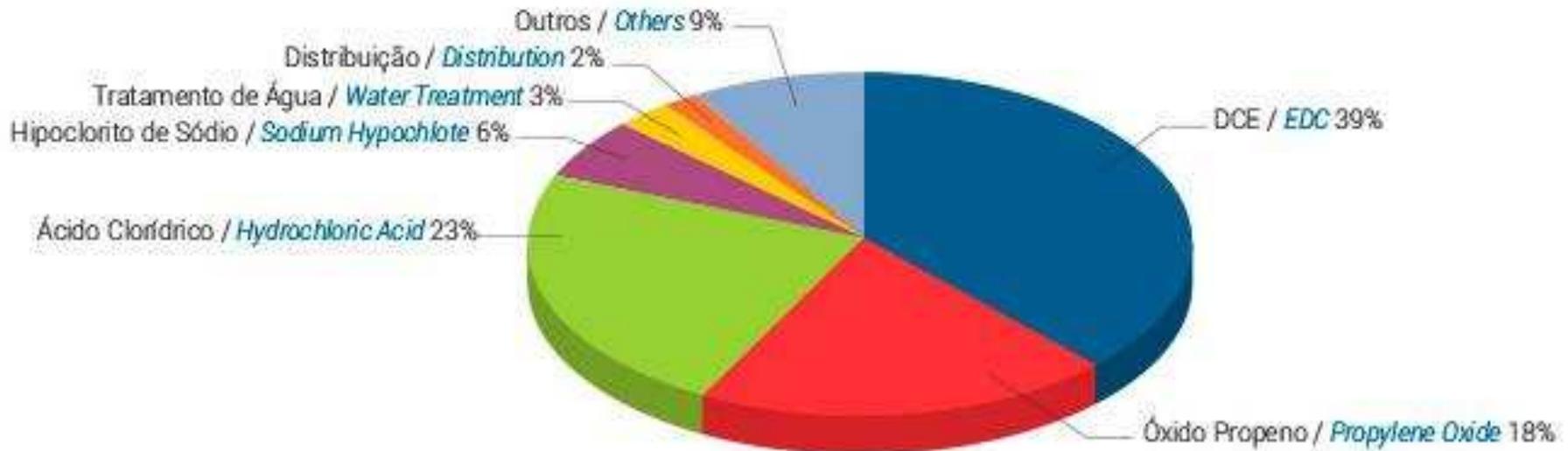
# APLICAÇÕES DO CLORO

- ❖ As aplicações do cloro são muito diversificadas, a ponto de lhe valerem o título de reagente mais empregado na indústria química: participa na produção de 60% de todos os produtos químicos de importância comercial e de 85 % dos produtos farmacêuticos.
- ❖ Para ilustrar a diversidade de setores econômicos onde o cloro tem alguma participação, pode-se citar como exemplos:
  - ✓ resinas de PVC (policloreto de vinila);
  - ✓ defensivos agrícolas;
  - ✓ fabricação do silício empregado em microprocessadores eletrônicos;
  - ✓ pigmentos brancos para tintas;
  - ✓ indústria metalúrgica;
  - ✓ indústria de papel e celulose;
  - ✓ indústria têxtil;
  - ✓ poliuretanos; e
  - ✓ tratamento d'água.

# APLICAÇÕES DO CLORO

- ❖ Em muitas destas aplicações, o cloro não é incorporado ao produto final, sendo eliminado na forma de produtos organoclorados ou, como é mais usual, na de ácido clorídrico, que é o subproduto gerado em maiores quantidades na cadeia de utilização do cloro.

Cloro - segmentação do consumo da produção nacional 2013



# SODA

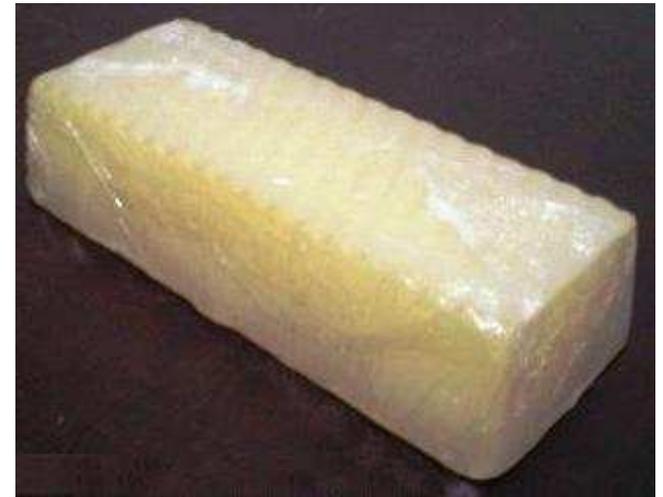
- ❖ O **hidróxido de Sódio (NaOH)** é o composto a que comumente chamamos Soda Cáustica.
- ❖ Este composto é um dos mais produzidos e utilizados a nível mundial, uma vez que tem aplicações nas mais variadas indústrias.
- ❖ A produção do hidróxido de sódio foi industrializada por volta do século XVIII e desde aí, vem surgindo a partir de diferentes processos compreendendo diferentes métodos com várias etapas.
- ❖ O método atualmente utilizado consiste na obtenção de soda cáustica e cloro através da eletrólise de cloreto de sódio, processo este conhecido como “processo cloro-álcalis”.

# SODA

- ❖ A soda cáustica é um reagente essencial para a produção de diversos produtos químicos orgânicos.
- ❖ De origem natural, tem relevante papel na prevenção à poluição e no tratamento de efluentes, viabilizando diversos processos industriais.
- ❖ Entre as principais aplicações está o branqueamento de papel e celulose, além de ser amplamente utilizada na indústria química e petroquímica, metalurgia (produção de alumina para a indústria do alumínio), sabões e detergentes, indústria têxtil e de alimentos.

# HISTÓRICO DA SODA

- ❖ Antiguidade: Produção de sabões primitivos (egípcios);
- ❖ 1791: Aprimoramento das técnicas de produção do Carbonato de Sódio impulsiona a produção de soda;
- ❖ Fim do século XIX: Instalação da primeira unidade industrial de eletrólise do sal no mundo (Solvay).



# PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

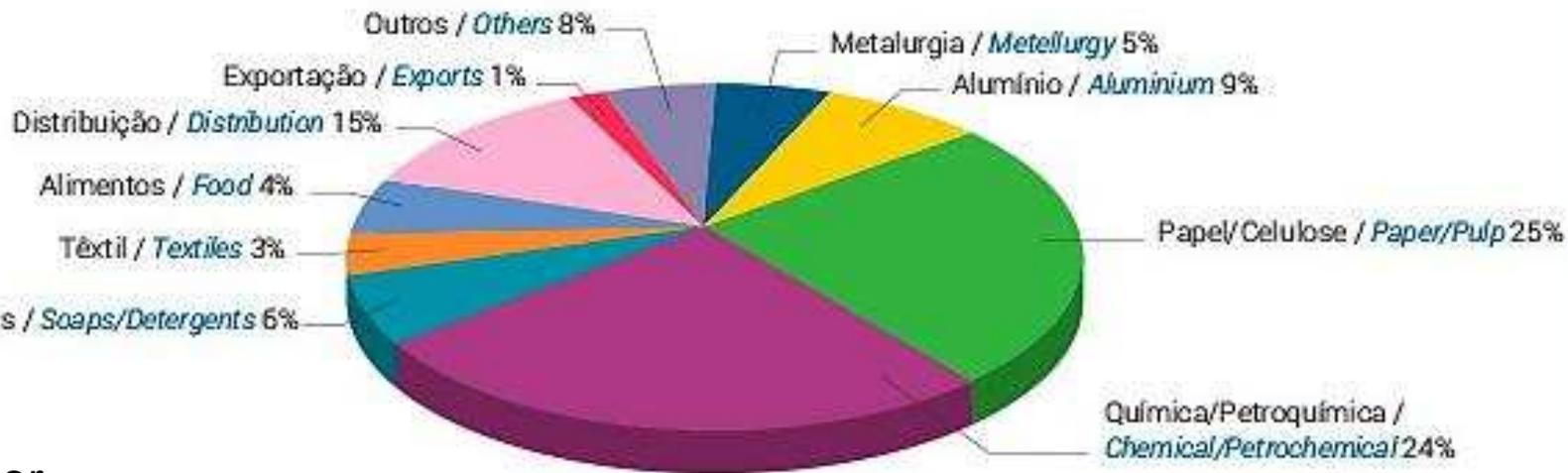
- ❖ O Hidróxido de Sódio (NaOH) é um sólido cristalino, quebradiço, branco e translúcido;

Estado físico a 20°C	Sólido
Cor	Esbranquiçada
Cheiro	Inodoro
Temperatura de Ebulição	1388°C
Temperatura de Congelação	318°C
Densidade a 20°C	2.13 g.cm <sup>3</sup>
Peso molecular	39.998
Calor de Fusão	6.77 kJ/mol
Solubilidade	Em água e álcoois. Insolúvel em solventes orgânicos

# APLICAÇÕES DA SODA

- ❖ As aplicações de soda, embora também diversificadas, têm uma amplitude mais limitada, destacando-se como as mais importantes:
  - ✓ uso na digestão da madeira para a obtenção de celulose;
  - ✓ produção de alumina para a indústria de alumínio;
  - ✓ produção de sabões e detergentes; e
  - ✓ reagente de neutralização na indústria de petróleo e química.

Soda cáustica – segmentação do consumo da produção nacional 2013

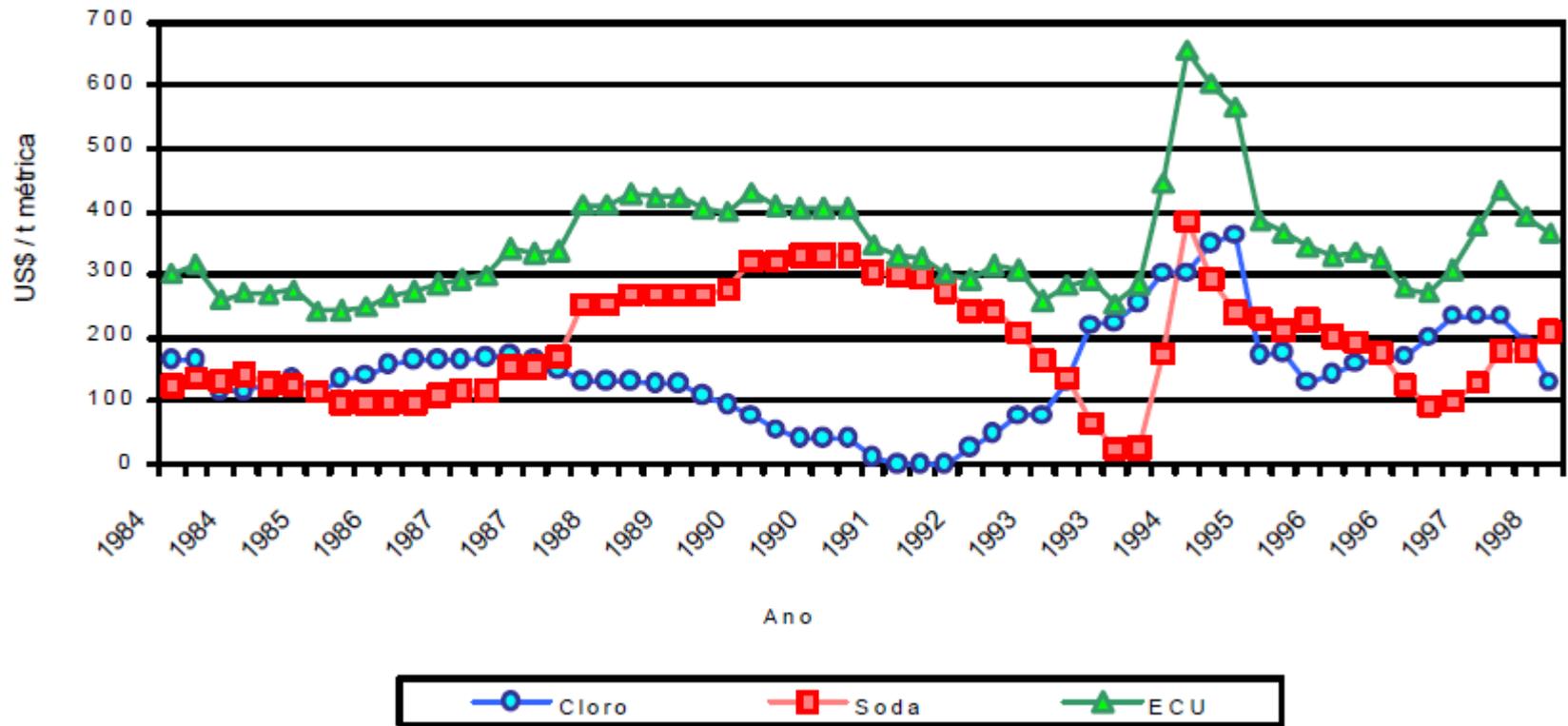


# MERCADO

- ❖ Por atenderem a mercados com dinâmicas de evolução diferentes, os preços de cloro e soda costumam oscilar em sentidos opostos; quando a produção de uma planta de cloro-soda é direcionada ao atendimento da demanda de um dos produtos, ocorre usualmente um excesso de produção do outro e a conseqüente queda de preços;
- ❖ Nos últimos anos, em países desenvolvidos, a demanda de cloro tem comandado a produção das plantas de cloro-soda, e a soda passa a ser um subproduto que contribui apenas marginalmente para a receita, sendo ofertada a preços compatíveis para viabilizar a produção de cloro nos níveis desejados.

# MERCADO

Preços do Setor de Cloro-Soda Mercado "Spot"  
- EUA -



Fonte: CMAI.

# BRASKEM



- Líder no mercado nacional na produção de cloro e soda
- Foca a produção em resinas termoplásticas: PE, PP, PVC.

# DOW BRASIL



- Segunda maior produtora de cloro e soda no Brasil;
- Opera desde 1977;
- Ilha de Matarandiba – mineração de salgema ;
- Produz também percloetileno, ácido clorídrico, entre outros.

# INTEGRAÇÃO FÍSICA

- ❖ Devido à dificuldade no transporte de cloro, as plantas de cloro - soda são sempre integradas a outras plantas consumidoras deste produto.
- ❖ Os esquemas mais usuais de integração são encontrados:
  - ✓ Nas indústrias de papel e celulose, que se situam em localidades remotas e consomem tanto o cloro como a soda; são plantas de porte reduzido, destinadas exclusivamente a atender ao consumo cativo; e
  - ✓ Nas indústrias que operam na cadeia de derivados vinílicos do cloro: o dicloroetano (EDC), o cloreto de vinila (VCM) e o policloreto de vinila (PVC); neste caso, as plantas possuem geralmente uma escala que pode ultrapassar as necessidades regionais de consumo, uma vez que os derivados vinílicos podem ser facilmente transportados e exportados, constituindo inclusive a forma usual de comercialização internacional de cloro.
- ❖ Outros exemplos de integração física de plantas de cloro-soda podem ser encontrados na utilização para produção de hipoclorito de sódio (água sanitária), ácido clorídrico e dos insumos para poliuretanos (isocianatos e óxido de propeno).

# ASPECTOS AMBIENTAIS

- ❖ O cloro e seus derivados são alvo frequente de questionamentos quanto aos seus efeitos sobre o meio-ambiente; algumas das restrições ambientais à utilização de cloro já tiveram reflexos sobre o mercado deste produto, como por exemplo:
  - ✓ Proibição do uso de BHC (hexacloreto de benzeno) e DDT (dicloro-difeniltricloroetano), defensivos agrícolas clorados de grande importância e relevância no passado;
  - ✓ Restrição ao uso de cloro para branqueamento de polpa de celulose e papel, resultando na criação de tipos especiais de produtos destinados à exportação para países que fazem este tipo de exigência: a celulose ECF (elemental chlorine - free) e a TCF (totally chlorine –free);
  - ✓ Restrição ao uso e emissão de solventes clorados; e
  - ✓ Proibição de uso dos CFC`s – compostos clorofluorcarbonados - como os freons, por exemplo, um dos causadores do denominado “buraco” na camada de ozônio.

# ASPECTOS AMBIENTAIS

- ❖ O PVC, principal aplicação do cloro, responsável por 30% do consumo total, também é alvo frequente de grupos ambientalistas (como o Greenpeace), que desejam a total proibição do uso deste material. No entanto, as evidências científicas existentes até o momento não dão ainda suporte a esta pretensão.
- ❖ Para diversos outros compostos clorados, inclusive os integrantes das cadeias de fabricação de produtos farmacêuticos, estão os grupos ambientalistas se esforçando, também, para a concretização de suas substituições, mas não há até o presente produtos técnica e economicamente viáveis.

# ASPECTOS TECNOLÓGICOS

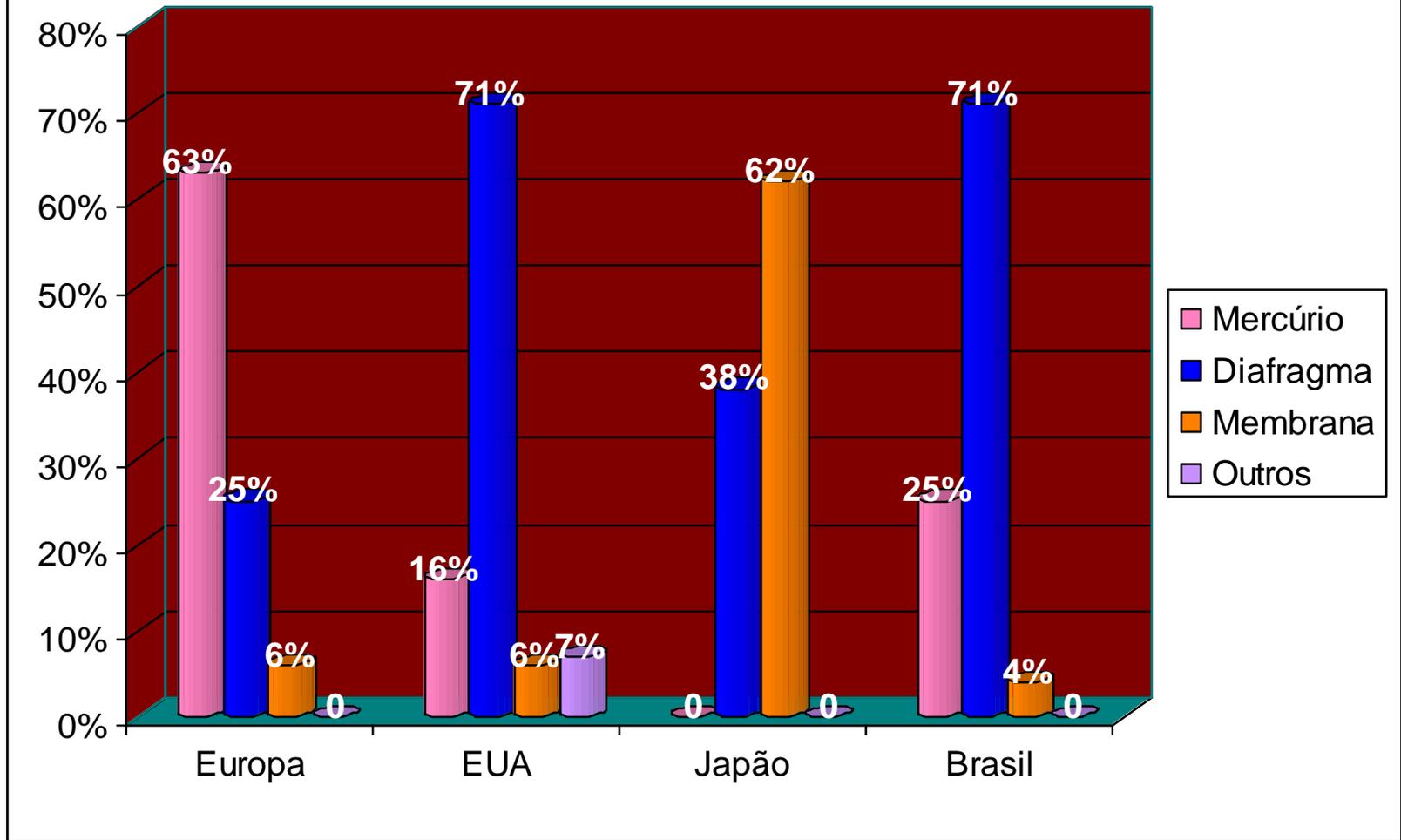
São três as tecnologias empregadas em plantas de cloro-soda:

- ❖ **Tecnologia de mercúrio** - é a mais antiga, a menos eficiente energeticamente e a mais sujeita às restrições ambientais; foi eliminada no Japão, é utilizada em apenas 16% da capacidade nos EUA e 25% no Brasil, mas ainda prevalece na Europa, com 63% da capacidade; a predominância na Europa se explica por ser uma das áreas produtoras mais antigas, pelo elevado custo de substituição, e também porque já foram realizados investimentos em controle ambiental que reduziram as emissões de poluentes nas plantas de mercúrio em mais de 90% nos últimos 15 anos;
- ❖ **Tecnologia de diafragma** – ocupa a segunda posição em antigüidade, eficiência energética e restrição ambiental; é a mais utilizada nos EUA (71% da capacidade) e no Brasil (71% da capacidade), não é empregada no Japão e ocupa posição minoritária na Europa (20%); é especialmente apropriada para plantas abastecidas com sal de minas de sal-gema, uma vez que pode ser abastecida diretamente com a salmoura extraída das minas, o que já não ocorre com as tecnologias de mercúrio e de membrana;

# ASPECTOS TECNOLÓGICOS

❖ **Tecnologia de membrana** – é a mais nova, a mais eficiente em termos energéticos e não sofre qualquer restrição de ordem ambiental; é a tecnologia que deve prevalecer no futuro e já vem sendo a preferida para uso em plantas novas; é a única tecnologia empregada no Japão e ainda ocupa posição minoritária nos EUA, Europa Ocidental e Brasil, com 2%, 15% e 3,8% da capacidade total, respectivamente; a posição modesta pode ser explicada pelo reduzido número de plantas novas de cloro-soda construídas desde o seu surgimento, em fins da década de 70.

## Tecnologia de Produção de Cloro - Soda (2006)

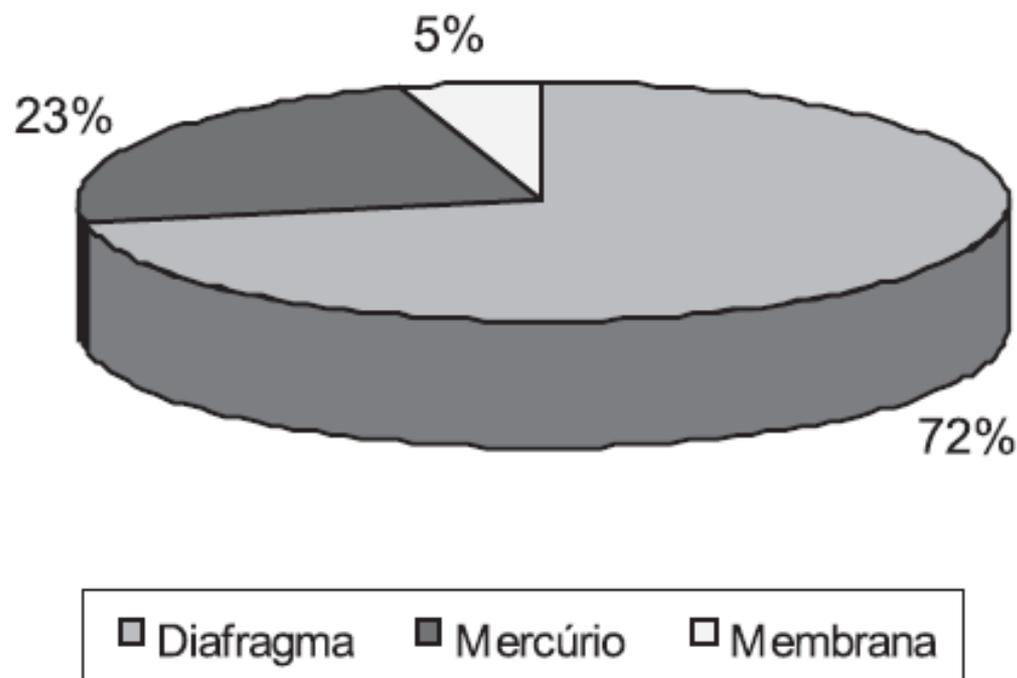


Fonte: ABICLOR

## Empresas do setor e a capacidade instalada de cloro em dezembro de 2013

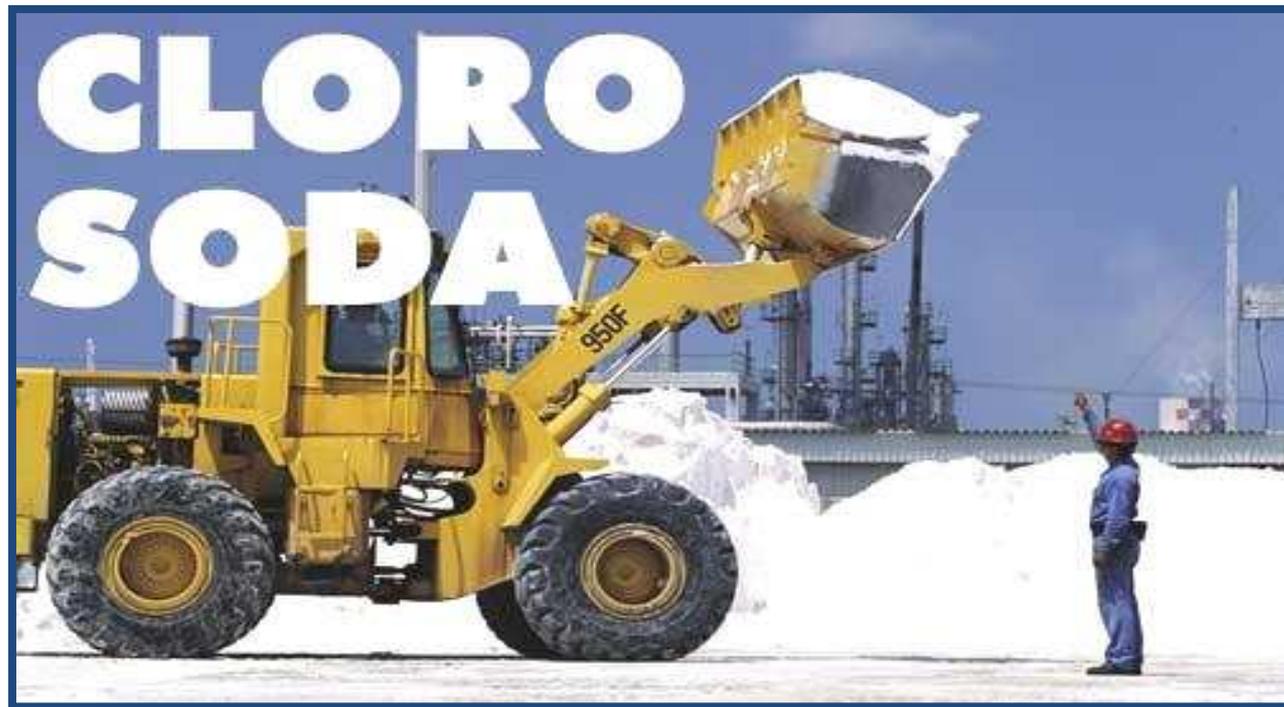
Empresa / Company	Fábrica	Tecnologia	Capacidade (t)
<b>Cloro - capacidade instalada 2013</b>			<b>1.548.553</b>
Braskem	AL	D	409.400
Dow Brasil	BA	D	415.000
Unipar Carbocloro	SP	D	147.900
<b>Total Diafragma</b>			<b>972.300</b>
Canexus	ES	M	47.753
CMPC Celulose Riograndense	RS	M	21.000
Pan-Americana	RJ	M	26.000
Solvay Indupa	SP	M	160.200
Unipar Carbocloro	SP	M	100.000
<b>Total membrana</b>			<b>354.953</b>
Braskem	BA	Hg	70.310
Pan-Americana	RJ	Hg	14.000
Produquímica Igarassu	PE	Hg	29.890
Unipar Carbocloro	SP	Hg	107.100
<b>Total Mercúrio</b>			<b>221.300</b>

## Distribuição da Tecnologia Empregada na Produção de Soda-Cloro no Brasil em 2007

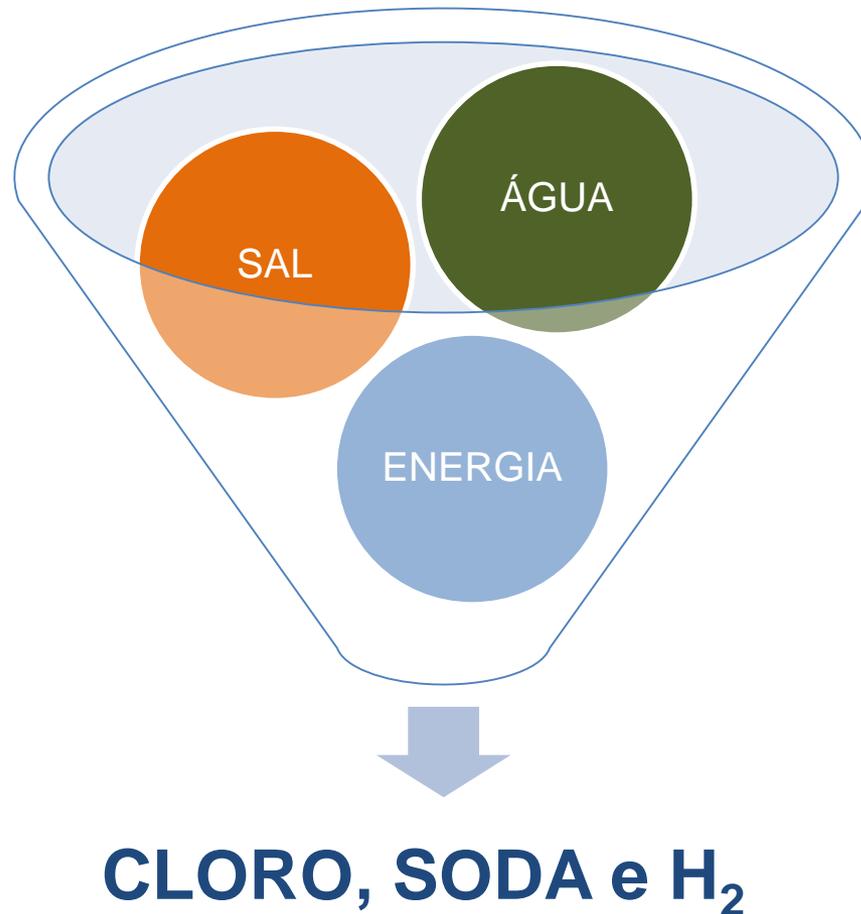


Fonte: *Abiclor*.

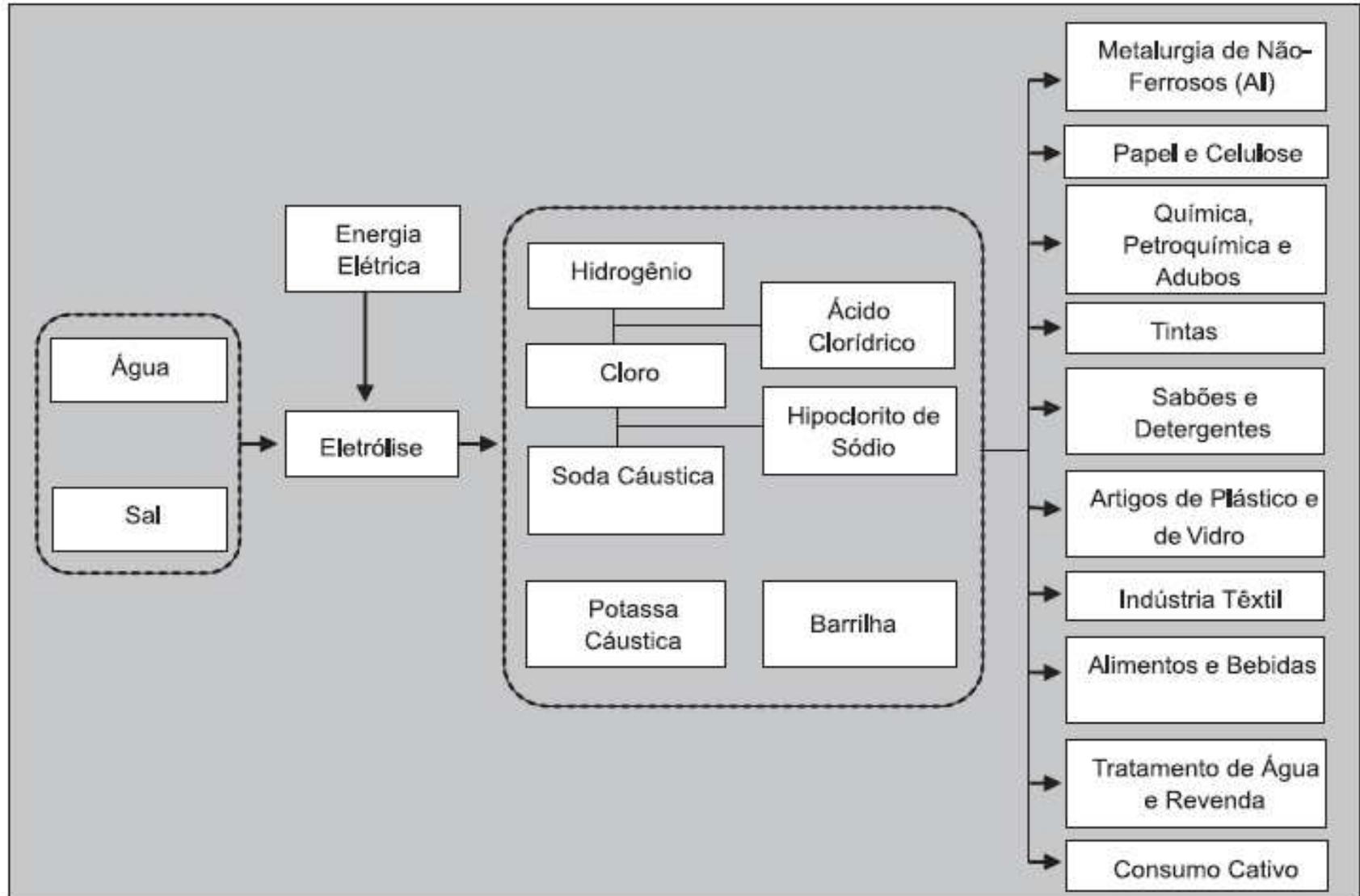
# PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE CLORO-SODA



Modernamente, pelos processos mais utilizados para a produção do cloro-soda, são necessários, basicamente, três insumos:



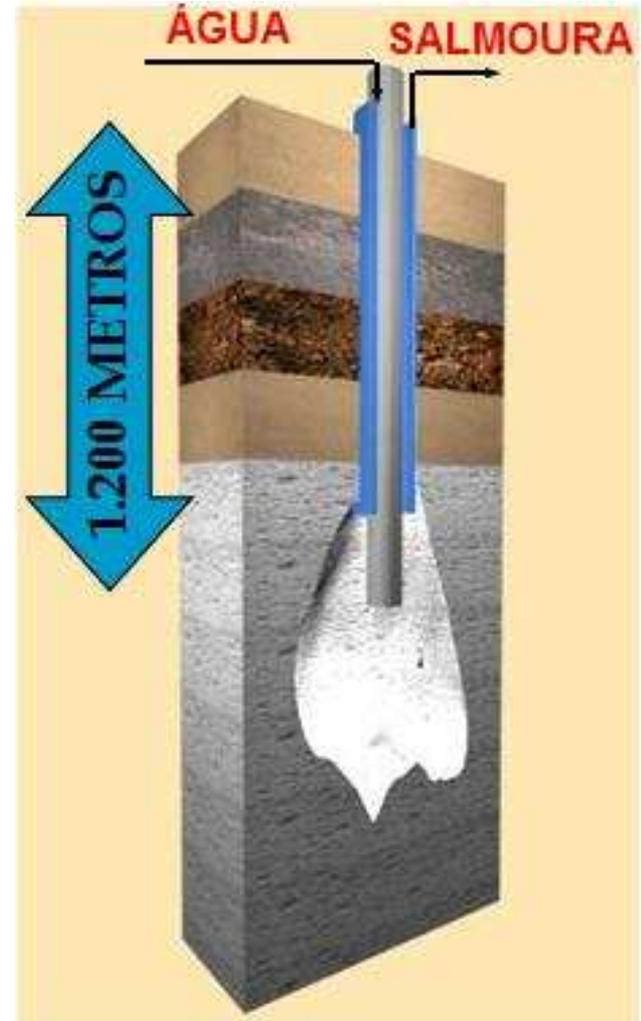
# Cadeia produtiva da Cloro-Soda



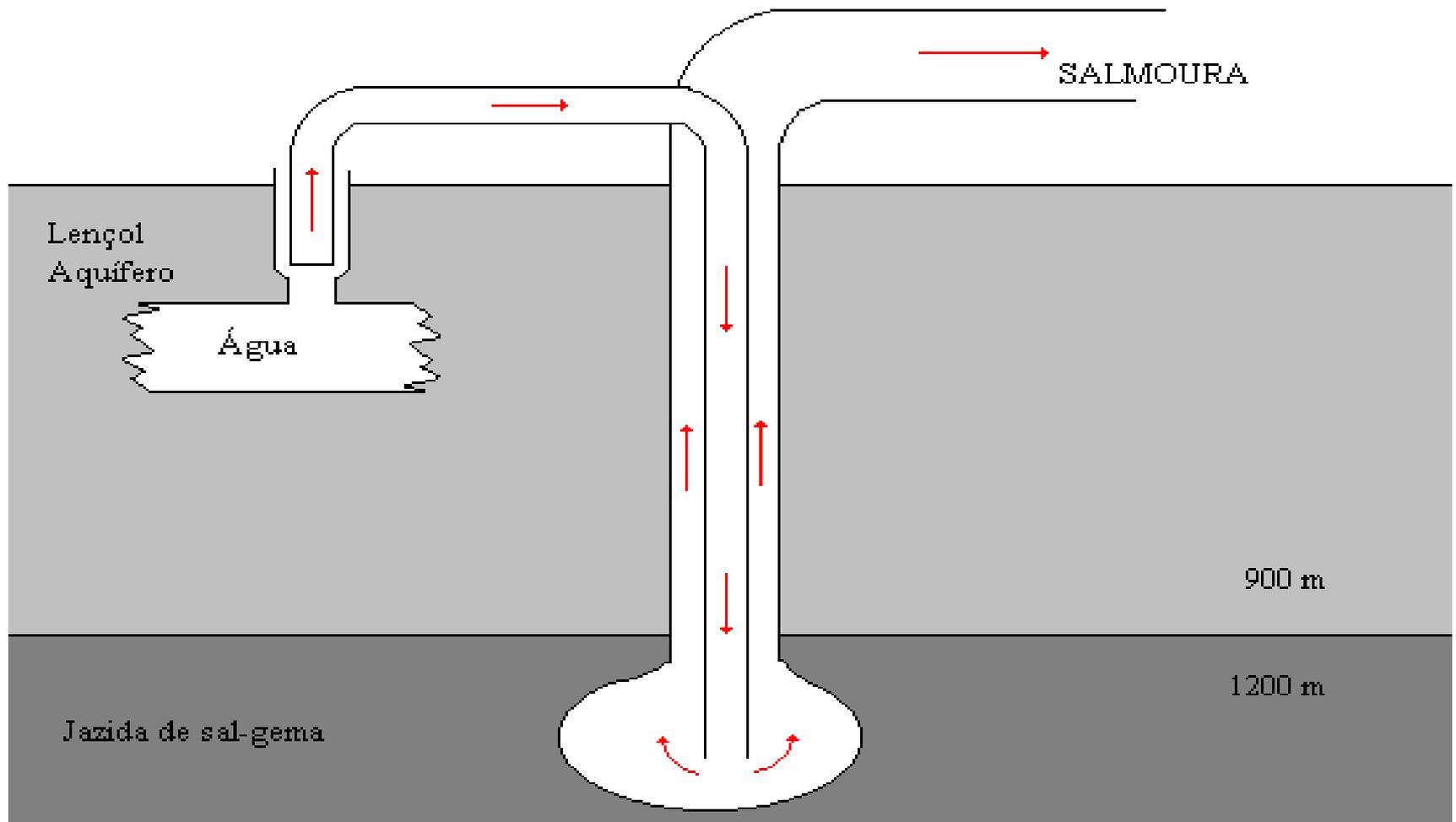
# SAL

Pode ser de *origem marinha* ou obtido de *minas de sal-gema*.

- ❖ O sal de *sal-gema* é extraído como uma salmoura das minas subterrâneas, através de um processo que se utiliza da injeção de água nas minas de sal (salgema).
- ❖ A água é injetada nas minas, solubilizando o sal lá contido e, através da pressão formada no sistema, a salmoura é impulsionada para a superfície, sendo enviada através de bombas para a unidade industrial.
- ❖ Produto de alta pureza e baixo custo de produção.
- ❖ No Brasil apenas as plantas da BRASKEM em Maceió(AL) e da Dow em Aratu(BA) são abastecidas por minas de sal gema.



# Extração da Matéria Prima



# SAL

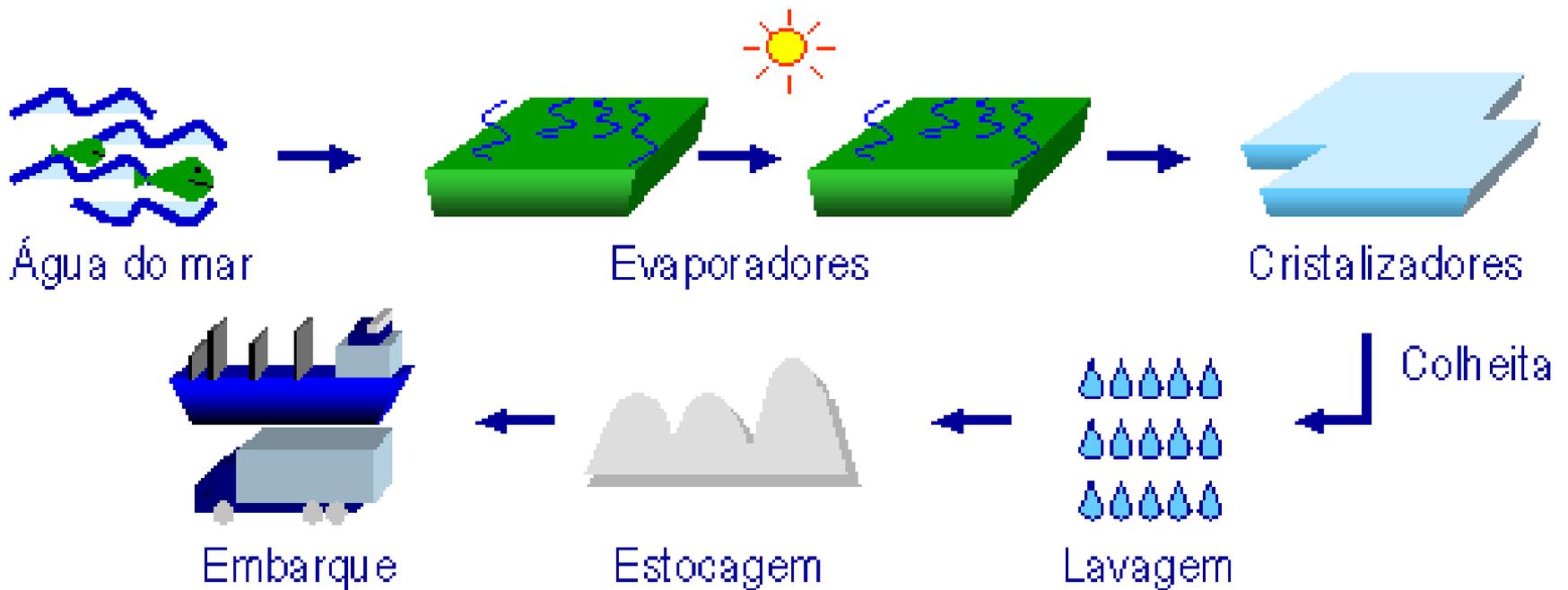
❖ O **sal marinho**, obtido pela evaporação solar da água do mar na costa do pacífico, ou nas salmouras dos lagos ocidentais, apresenta uma pureza entre 98 e 99%.

❖ Só pode ser produzido economicamente em poucas regiões do mundo que apresentam condições climáticas apropriadas, e de onde precisa ser transportado até às regiões consumidoras.



❖ O custo de transporte do sal marinho encarece muito o preço ao consumidor final, e pode chegar a constituir até 80% deste valor, tornando-se muito superior ao sal de sal-gema.

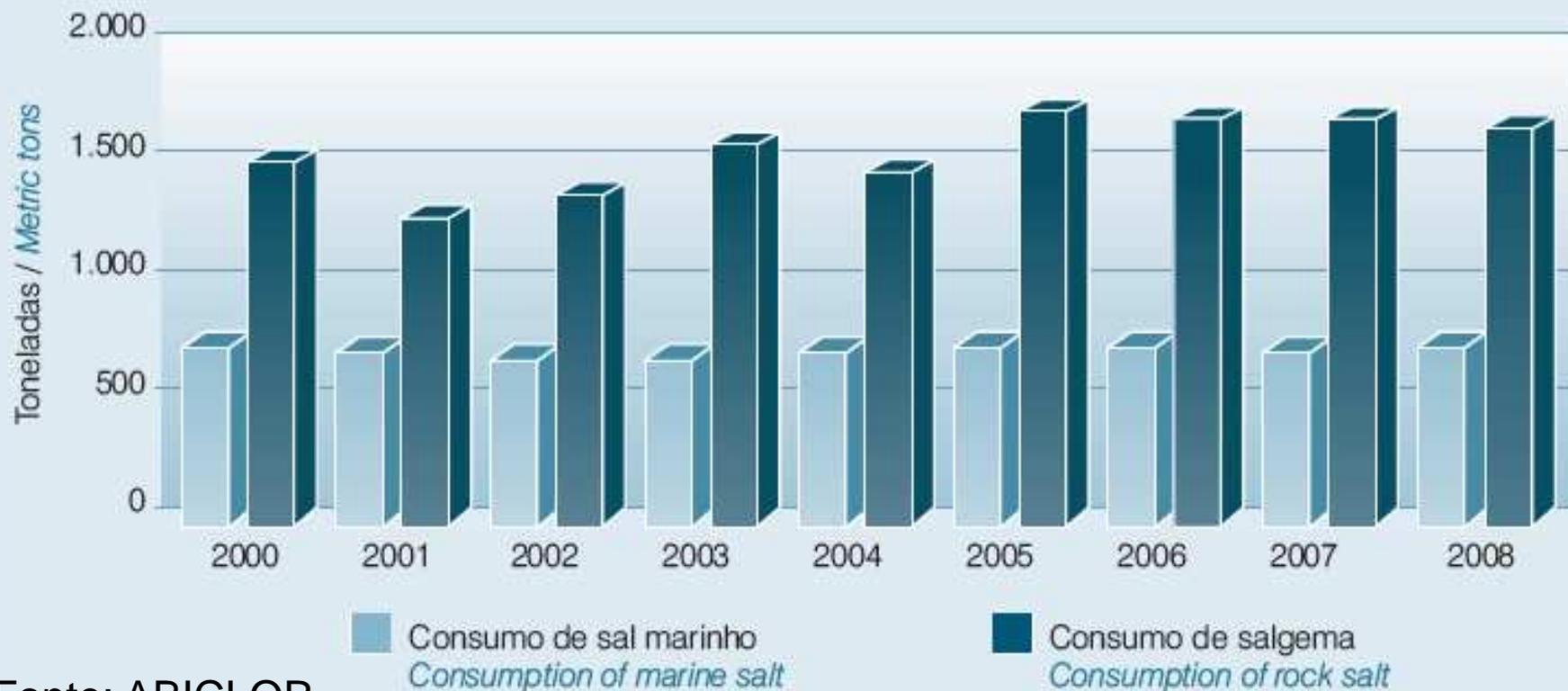
# SAL MARINHO



# SAL

- ❖ Os processos de evaporação solar e das minas muitas vezes fornecem um sal com pureza suficiente para o emprego direto, entretanto uma grande parte deve ser purificada para remover matérias como cloreto de cálcio e magnésio.
- ❖ No Brasil, o sal marinho ou o sal-gema utilizado pela indústria é proveniente das reservas localizadas na Região Nordeste. O Porto de Areia, no estado do Rio Grande do Norte, é o principal ponto de escoamento do sal para as indústrias localizadas na Região Sudeste.
- ❖ Os maiores produtores de sal (todos os tipos) do mundo são a China (22,4% da produção mundial), os Estados Unidos (17,5%), a Alemanha (7,2%), e a Índia (6,2%).
- ❖ A produção brasileira é de 2,8%, sendo que a maior parte dessa produção é de sal marinho. Sendo o Rio Grande do Norte o maior produtor nacional, representando cerca de 90% da produção do país, seguido do Rio de Janeiro.

Consumo de sal marinho e salgema  
*Consumption of marine salt and rock salt*



Fonte: ABICLOR

Fontes de Sal e Respetivos Custos

Origem do Sal	Faixa de Custos CIF Consumidor – (US\$ / t)
Sal-gema	4 – 15
Sal marinho	30 – 50

Fonte: Empresas, Tecnon, CMAI.

# ENERGIA ELÉTRICA

- ❖ As plantas de cloro-soda são eletro-intensivas e por este motivo a energia elétrica é o item mais importante de custo, representa 45% do custo total de produção.
- ❖ Consideram-se como referência o seguinte valor de consumo energético associado à produção de cloro gás e soda cáustica a 50%: **3200 KWh** por tonelada de Cloro produzido.

# ÁGUA

- ❖ Utilizada para solubilizar o sal, formando a salmoura.

# PRODUÇÃO INDUSTRIAL

- ❖ O processo industrial de produção de cloro e álcalis por eletrolise pode ocorrer com o uso de três tecnologias: **célula de diafragma**, **célula de mercúrio** e **célula de membrana**.
- ❖ Os produtos obtidos são o cloro ( $\text{Cl}_2$ ), a soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ) e o hidrogênio ( $\text{H}_2$ ).
- ❖ A obtenção dos produtos ocorre nos eletrodos (anodo e catodo) pela passagem de uma corrente elétrica de alta intensidade através de salmoura tratada (solução de sal – cloreto de sódio –  $\text{NaCl}$ ) que circula em uma cuba chamada célula eletrolítica.
- ❖ No Brasil, a tecnologia mais utilizada pelo setor de cloro e soda é a de diafragma, que corresponde a 72% da capacidade instalada. Em seguida vem a tecnologia de mercúrio (23%) de membrana (5%). (ABICLOR)



# TRATAMENTO DA SALMOURA

- ❖ A salmoura é recebida bruta, mas para a sua utilização no processo é necessário algumas modificações na sua constituição. *São efetuadas decantações, floculações, filtrações e alteração em seu pH e temperatura.*
- ❖ **Principais contaminantes:** íons cálcio, magnésio, bário e sulfato.
  - ❖ Soluções de carbonato de sódio e hidróxido de sódio são utilizadas no tratamento destas soluções para que ocorra a precipitação dos contaminantes, que são posteriormente removidos.
- ❖ **Acidificação da solução:** A partir do ácido clorídrico para a redução do oxigênio e a formação do íon cloreto.
- ❖ Depois deste tratamento, a solução concentrada de sal, é enviada para uma **célula eletroquímica**.

# ELETRÓLISE

- ❖ A unidade de eletrólise é constituída de várias unidades de células eletrolíticas, cuja finalidade é transformar a salmoura em licor de células ( NaOH + sais + água), Cloro e Hidrogênio.

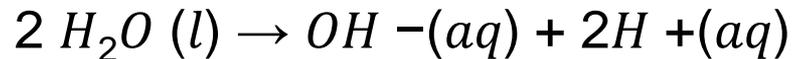


# ELETRÓLISE

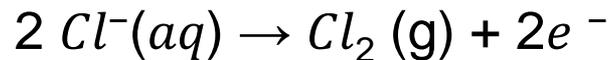
- ❖ NaCl sofre facilmente dissociação:



- ❖ E posteriormente ocorre a auto-ionização da água:



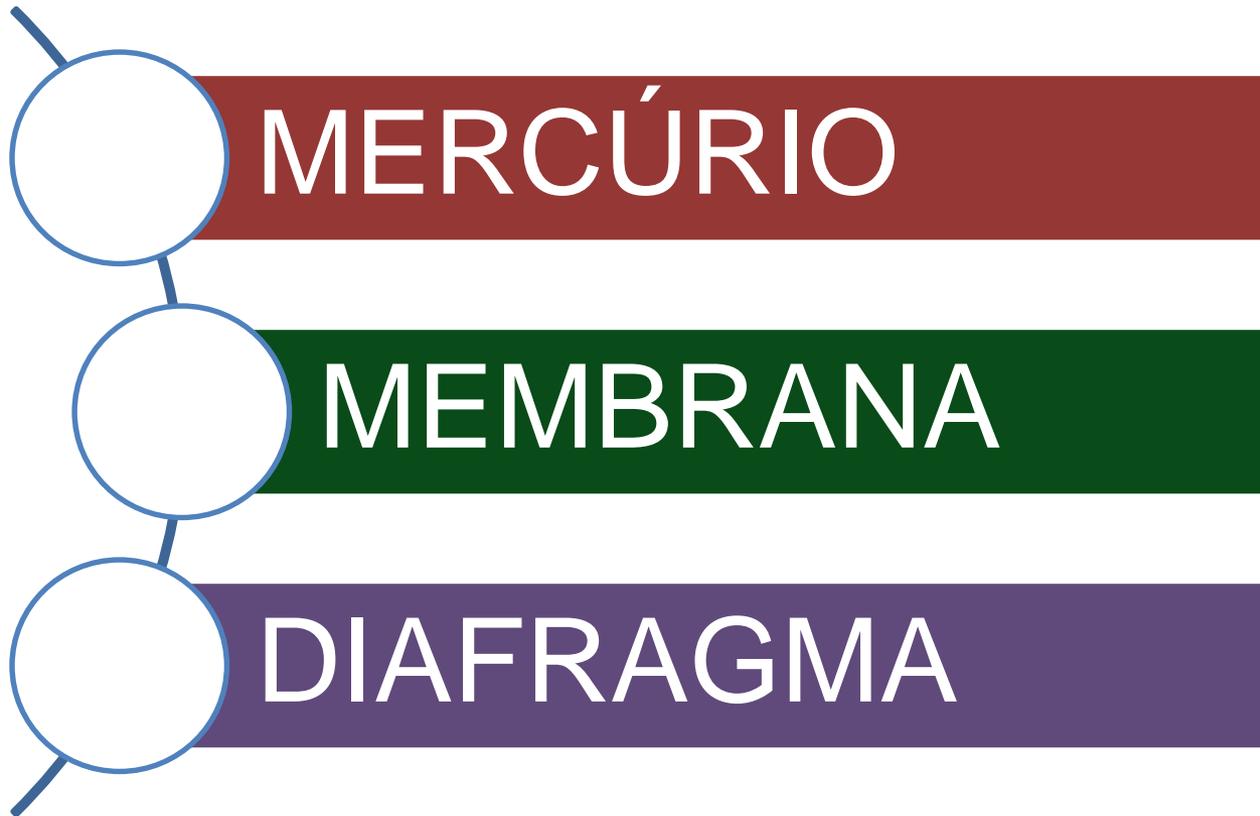
- ❖ No ânodo dá-se uma redução que é expressa pela seguinte equação química:



- ❖ No cátodo ocorre:



# TECNOLOGIAS DE ELETRÓLISE



# CÉLULAS DE MERCÚRIO

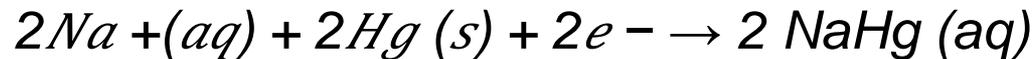
- ❖ As células de mercúrio foram o primeiro método utilizado para produção de cloro em escala industrial.
- ❖ Nesse processo, ocorrem perdas de mercúrio inerentes, pequenas, mas constantes, gerando efluentes e emissões com sérios problemas ambientais.
- ❖ Nas duas últimas décadas do século XX, o processo foi melhorado, embora ainda ocorram perdas prejudiciais de cerca de 1,3 g de mercúrio por tonelada de cloro produzida no mundo.
- ❖ Por causa das questões ambientais envolvidas, esse processo vem sendo substituído pela eletrólise em célula de membrana que, atualmente, é responsável pelo suprimento de quase 30% da produção mundial de cloro.

# CÉLULAS DE MERCÚRIO

- ❖ No processo de células de mercúrio são empregados um catodo de mercúrio e um anodo de titânio recoberto de platina ou óxido de platina.
- ❖ O catodo consiste num depósito no fundo da célula de eletrólise, e o anodo situa-se acima deste, à pouca distância.
- ❖ A célula é preenchida com solução de cloreto de sódio e, com uma diferença de potencial adequada, processa-se a eletrólise.
- ❖ As cubas de mercúrio produzem um hidróxido de sódio mais puro, mas a pequena perda de mercúrio provoca danos ambientais, elevando a concentração de metilmercúrio em alguns peixes a doses letais.

# CÉLULAS DE MERCÚRIO

- ❖ Neste processo, o mercúrio flui no fundo da célula, que atua como um catodo, que torna possível a obtenção dos produtos. A produção ocorre em dois compartimentos distintos: a célula eletrolítica e o decompositor:
  - ❖ Na célula eletrolítica ocorre a eletrólise do sal, obtendo-se o cloro no anodo e amálgama de mercúrio e sódio no catodo.



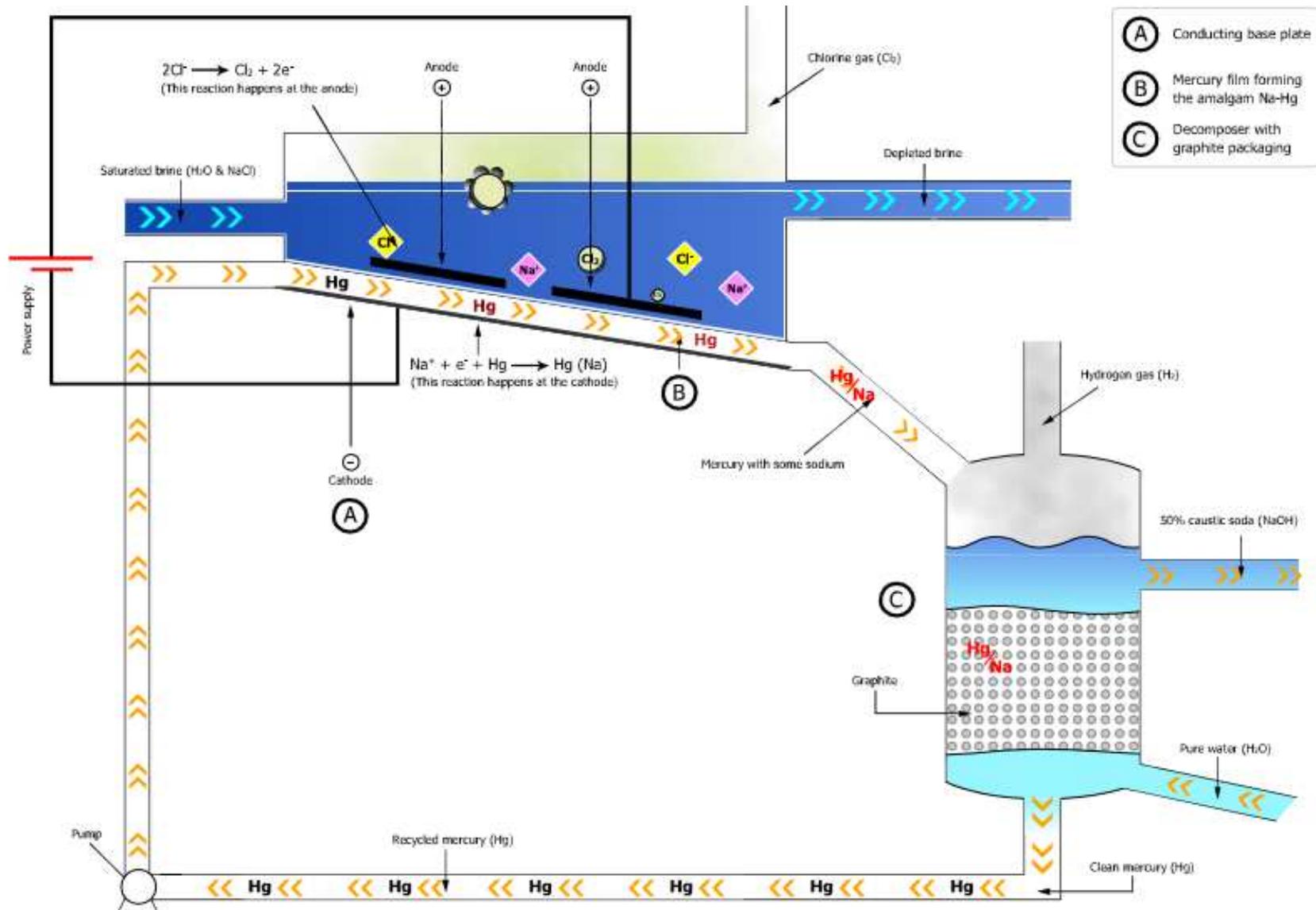
- ❖ Esta amálgama flui para o decompositor. No decompositor, que é um vaso hermético e parte integrante do sistema eletrolítico, ocorre a reação do amálgama com a água, obtendo-se a soda cáustica e o hidrogênio.



# CÉLULAS DE MERCÚRIO

- ❖ O mercúrio volta ao primeiro compartimento, em circuito fechado.
- ❖ A solução saturada de sal (salmoura) que não reage totalmente, é levada para o extrator, onde, depois de ser novamente saturada, com sal sólido puro, é reintroduzida na célula.

# CÉLULAS DE MERCÚRIO



# CÉLULAS DE MERCÚRIO

## CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- ❖ Processo mais antigo e ainda bastante utilizado no mundo (responde por 35% da produção mundial de cloro);
- ❖ Maior consumo de energia elétrica.
- ❖ A soda cáustica não precisa de operação de concentração suplementar.
- ❖ Produtos de excelente qualidade.
- ❖ As matérias-primas não precisam ser de alta pureza.
- ❖ O mercúrio é poluente, mas pode ser eficientemente controlado.



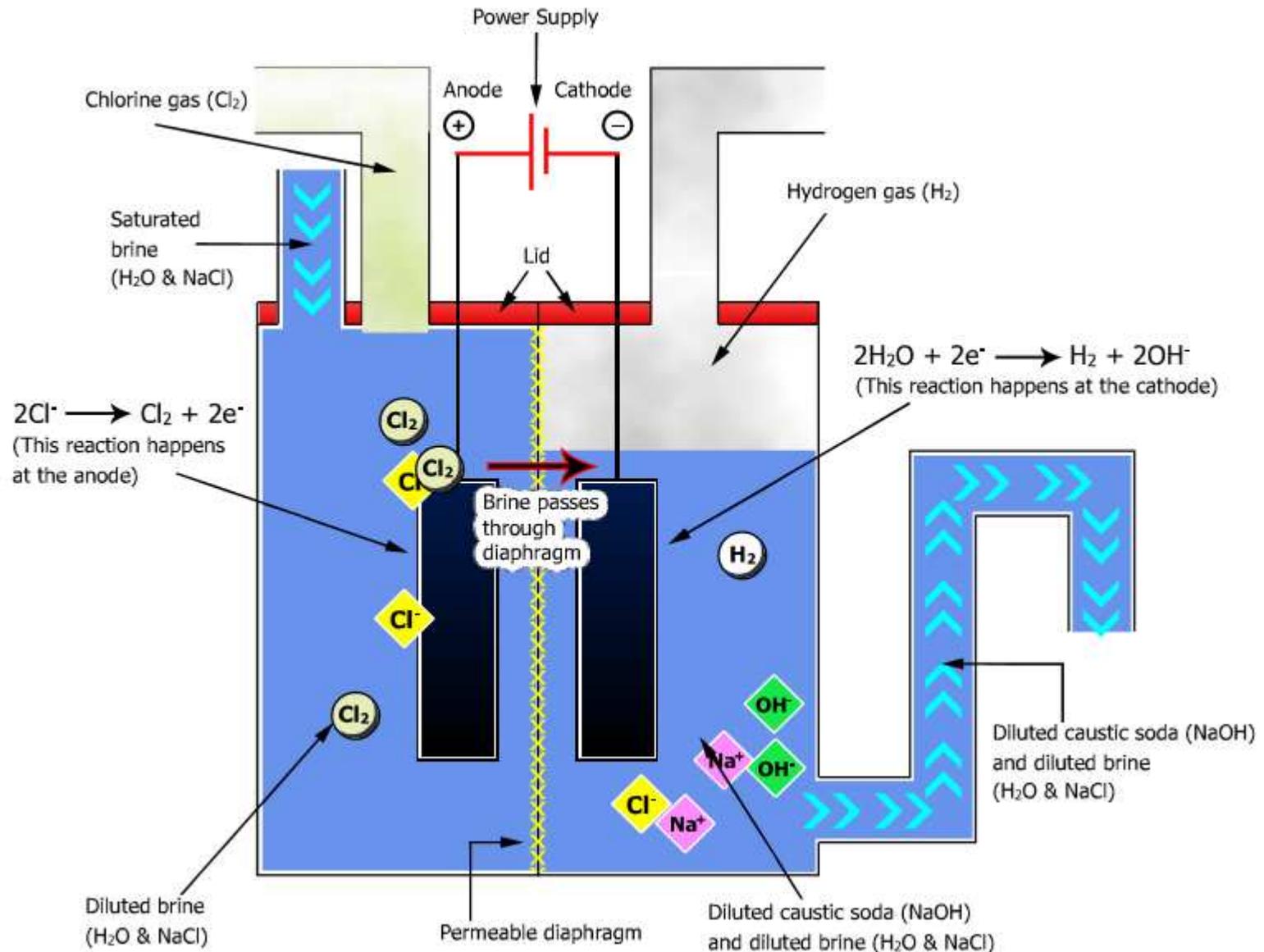
# CÉLULAS DE DIAFRAGMA

- ❖ Neste processo, são utilizados catodo perfurado de aço ou ferro e um anodo de titânio recoberto de platina ou óxido de platina, separados por um diafragma normalmente constituído por fibras de amianto. Esse diafragma em instalações mais recentes pode ser de resina polimérica em substituição ao amianto crisotila.
- ❖ Ao colocar-se a solução saturada de sal no compartimento do ânodo, este flui para o compartimento do cátodo através do diafragma.
- ❖ O cloro é produzido no compartimento anódico.
- ❖ Os íons de sódio passam para o compartimento catódico. A soda cáustica e o hidrogênio são produzidos neste compartimento.
- ❖ No entanto, a baixa eficiência das células eletrolíticas (50%), faz com que o Cloreto de Sódio (NaCl) inicial não seja totalmente dissociado, pelo que se encontra em solução com a soda cáustica já formada.

# CÉLULAS DE DIAFRAGMA

- ❖ Assim, esta solução de sal e hidróxido de sódio diluída é sujeita a processos de evaporação, nos quais o sal precipita e é posteriormente filtrado.
- ❖ O NaOH que fica em solução, após a remoção do precipitado, é arrefecido podendo obter-se soda cáustica em estado sólido ou líquido.

# CÉLULAS DE DIAFRAGMA



# CÉLULAS DE DIAFRAGMA

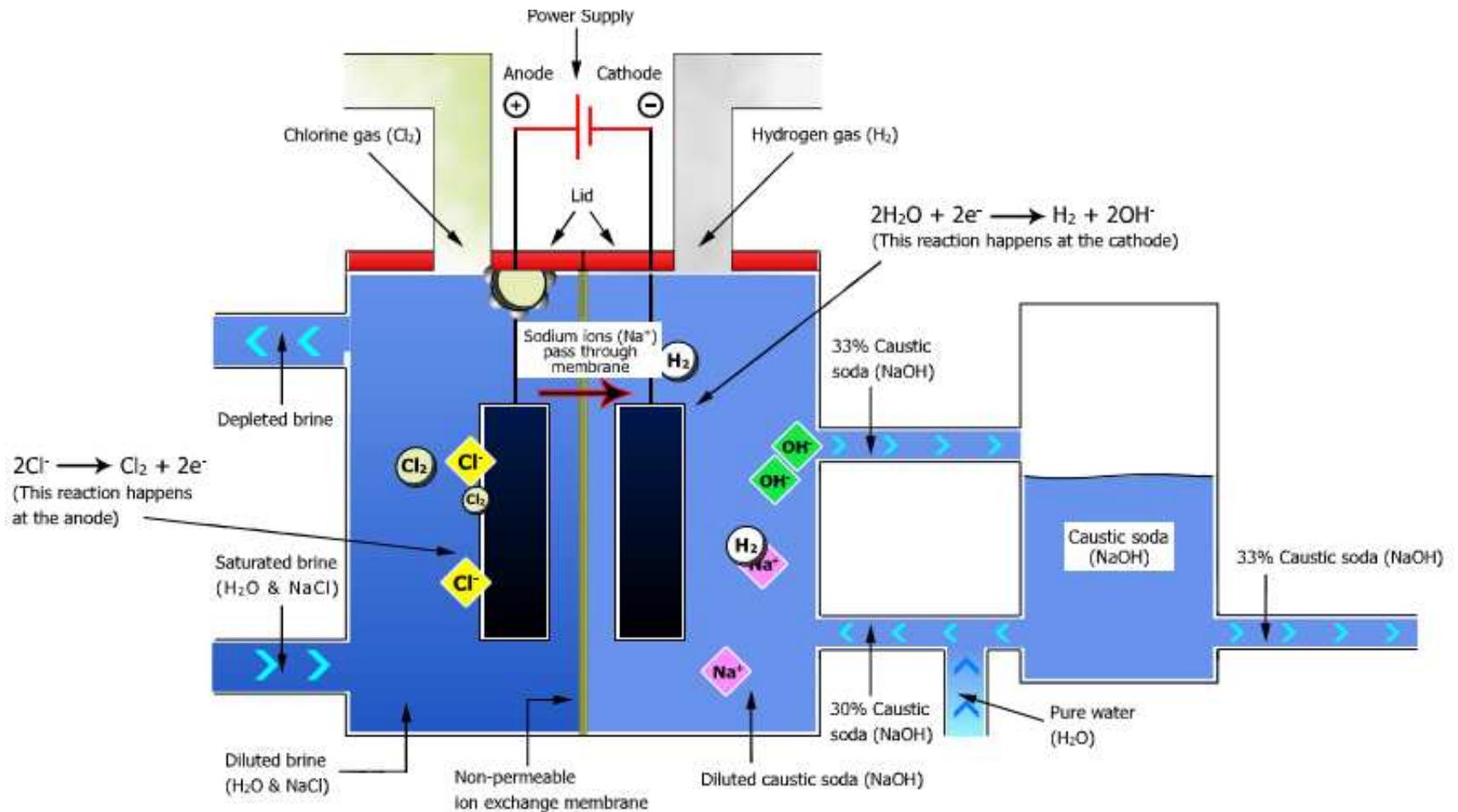
## CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- ❖ Emprega diafragma poroso à base de asbesto (amianto);
- ❖ Segundo processo em utilização no mundo;
- ❖ O processo exige concentração posterior da soda cáustica formada nas células;
- ❖ As matérias-primas precisam ser de alta pureza;
- ❖ Os produtos das células são impuros;
- ❖ O custo de manutenção do diafragma é expressivo;
- ❖ O asbesto é material agressivo à saúde e deve ser corretamente manipulado.

# CÉLULAS DE MEMBRANA

- ❖ É o processo cuja tecnologia é a mais moderna e não poluente.
- ❖ Estima-se que cerca de 30% da produção mundial de cloro seja feita por meio desse processo.
- ❖ Essa tecnologia é similar à empregada na célula de diafragma. O diafragma é substituído por uma membrana sintética(perfluorsulfônica ou perfluorcaboxílica), seletiva que deixa passar íons de sódio e água, porém não permite a passagem de íons cloreto.
- ❖ Os íons sódio ligam-se aos íons hidróxido que são reduzidos a partir das moléculas de água em contato com o cátodo formando hidróxido de sódio (NaOH).
- ❖ O cloro é produzido no compartimento do anodo, a soda cáustica e o hidrogênio são produzidos no compartimento do catodo.

# CÉLULAS DE MEMBRANA



# CÉLULAS DE MEMBRANA

Deste modo, as membranas usadas neste processo devem ter as seguintes características:

- ✓ Seletividade elevada – a membrana deve ter elevada permeabilidade aos cátions ( $\text{Na}^+$ ), de modo a que estes possam passar através desta, e deve ser impermeável aos anions ( $\text{OH}^-$ );
- ✓ Condutividade catiônica elevada;
- ✓ Boa estabilidade mecânica – a membrana deve ser mecanicamente forte e possuir um grau de contração e expansão baixo;
- ✓ Estabilidade química elevada – a membrana deve tolerar a presença de agentes fortemente oxidantes e também deve ser estável na gama completa de pH (de 0 ao 14).

# CÉLULAS DE MEMBRANA

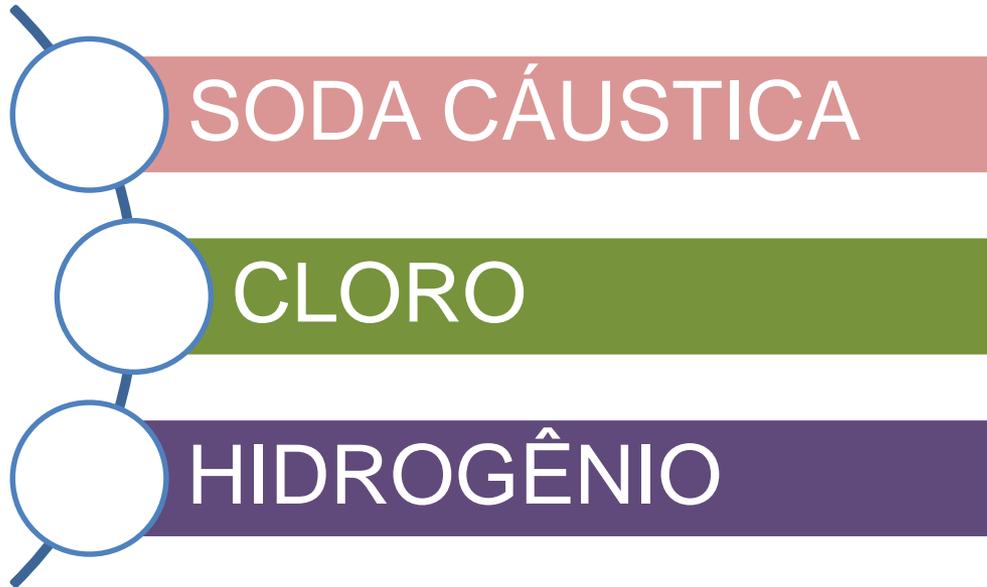
## CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- ❖ Emprega membrana semipermeável;
- ❖ Processo moderno, de tecnologia recente e com poucas unidades instaladas no mundo;
- ❖ Consumo de energia elétrica comparável ao das células de diafragma;
- ❖ Qualidade dos produtos similar aos obtidos por células de mercúrio;
- ❖ Concentração de soda cáustica menor que no processo de mercúrio;
- ❖ As matérias-primas precisam ser de alta pureza;
- ❖ O custo de reposição das membranas é alto;
- ❖ Pelas informações até hoje disponíveis, o processo não é poluente.

# COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS

MERCÚRIO	DIAFRAGMA	MEMBRANA
Processo mais antigo e ainda de maior utilização no mundo.	O segundo processo em utilização no mundo.	Processo moderno, de tecnologia recente e com poucas unidades instaladas no mundo.
Emprega o mercúrio.	Emprega diafragma poroso à base de asbesto (amianto).	Emprega membrana semipermeável.
Maior consumo de energia elétrica.	Menor consumo de energia elétrica que nas células de mercúrio.	Consumo de energia elétrica comparável ao das células de diafragma.
Produtos de excelente qualidade.	Os produtos das células são impuros.	Qualidade dos produtos similar aos obtidos por células de mercúrio.
A soda cáustica não necessita de operação de concentração suplementar.	O processo exige concentração posterior da soda cáustica formada nas células, tornando o consumo total de energia maior.	Concentração de soda cáustica menor que no processo de mercúrio.
As matérias-primas não precisam ser de alta pureza.	As matérias-primas precisam ser de alta pureza.	As matérias-primas precisam ser de alta pureza.
O mercúrio é poluente, mas pode ser eficientemente controlado.	O asbesto é material agressivo à saúde e deve ser corretamente manipulado.	Pelas informações até hoje disponíveis, o processo não é poluente.
Apresenta o menor custo.	Custo de manutenção do diafragma é expressivo.	Custo de reposição das membranas é alto.

# PRINCIPAIS PRODUTOS DESSA INDÚSTRIA



# PROCESSAMENTO DE SODA CÁUSTICA

## ❖ TRATAMENTOS PARA ESPECIFICAÇÕES DE SODA

- ✓ Soda cáustica líquida a 50% - Evaporação e separação do sal;
- ✓ Soda 70 – 75% - evaporação final (1 estágio) usando vapor a 75 a 100 psig;
- ✓ Escamas – soda anidra (99%), acabamento feito em caldeirões e escamadeira;
- ✓ Purificação especial – menos de 1% de impurezas (ferro, NaCl, NaClO<sub>3</sub>);

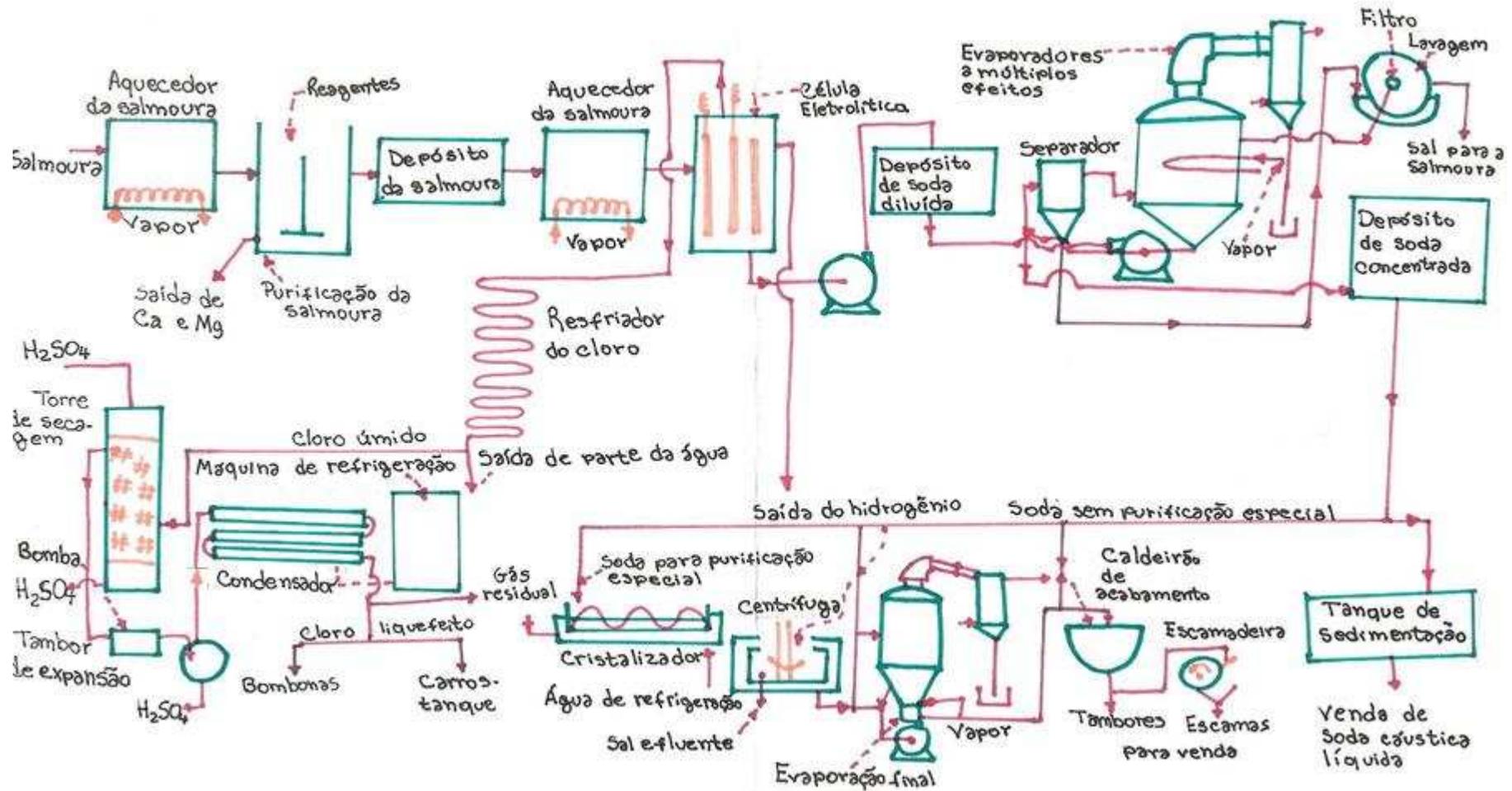
# PROCESSAMENTO DE CLORO

- ❖ O cloro produzido na eletrólise é recebido quente e úmido (arrasta vapor de água) necessitando ser resfriado e seco para a utilização na compressão e em seguida ser liquefeito.
- ❖ O resfriamento é feito para condensar a maioria do vapor;
- ❖ E a secagem é feita utilizando-se de ácido sulfúrico em diferentes concentrações.
- ❖ O cloro após liquefeito é enviado através de um cloroduto para a área de produção de DCE, estocagem e vendas.

# PROCESSAMENTO DE HIDROGÊNIO

- ❖ O Hidrogênio produzido na eletrólise é utilizado para:
  - ❖ Aquecimento da salmoura;
  - ❖ Produção de HCl;
  - ❖ Combustível nas caldeiras para produção de vapor.

# Fluxograma da produção de soda cáustica e cloro em célula a diafragma



# PLANTA CLORO-SODA BRASKEM MACEIÓ-ALAGOAS



# REFERÊNCIAS

- Shreve R. N., Brink J.A. Indústrias de Processos Químicos. 4ª. Edição. Editora Guanabara, 1997.
- Relatório setorial nº: 7 – 1998. SODA-CLORO (disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/rs7\\_gs4.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/rs7_gs4.pdf)).
- <http://abiclor.com.br/relatorio2014/indicadores-do-setor.html>
- <http://professormarcianodantas.blogspot.com.br/2013/08/a-producao-salineira-no-rio-grande-do.html>