

CAPÍTULO 25

Halita

Paulo Roberto Cabral de Melo¹
Renato Senna de Carvalho²
Dorival de Carvalho Pinto³

1. INTRODUÇÃO

O mineral halita, cloreto de sódio (NaCl), tem seu nome mineralógico originário da palavra latina sal, que deriva do grego antigo alas ou alati no idioma atual. O termo halita, em geral, refere-se às suas ocorrências naturais, tais como sal de rocha, sal gema ou sal fóssil.

O sal, também conhecido como cloreto de sódio (NaCl), é constituído de dois elementos: sódio e cloro. O sódio é um elemento metálico de cor prata, bastante instável, o qual reage violentamente na presença de água, enquanto que o cloro é um gás perigoso, que pode ser letal. A combinação destes dois elementos forma o cloreto de sódio, que é um composto branco essencial à própria vida humana.

Virtualmente, toda pessoa no mundo tem contato direto ou indireto com o sal, diariamente. Para se ter uma idéia, 0,28% do peso do corpo humano é constituído de cloreto de sódio. É comum, as pessoas acrescentarem sal à comida como uma forma de enaltecer o sabor ou conservá-la por mais tempo. No hemisfério Norte é comum aplicar-se sal granulado nos passeios públicos ou rodovias, para remover o gelo no inverno. Na Figura 1 constam fotos de um cristal de halita e de testemunho de sondagem desse mineral.

A história registra exemplos da grande influência do sal, tendo a existência deste recurso mineral, em determinados locais, propiciado o surgimento de cidades, influenciando os seus nomes, tais como Salzburg na Áustria, Salzgitter na Alemanha e Saltville nos EUA. Populações migraram em busca de sal e guerras foram travadas para sua obtenção ou proteção.

¹Engº de Minas/UFPE, Especialista em Engenharia de Segurança/PUC-MG, Diretor da Consalt Consultoria Mineral Ltda.

²Geólogo/UFBA, Sócio Gerente da Geopex Consultoria Ltda.

³Engº de Minas/UFPE, Ph.D. em Economia Mineral/Colorado School of Mines, Professor do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE.

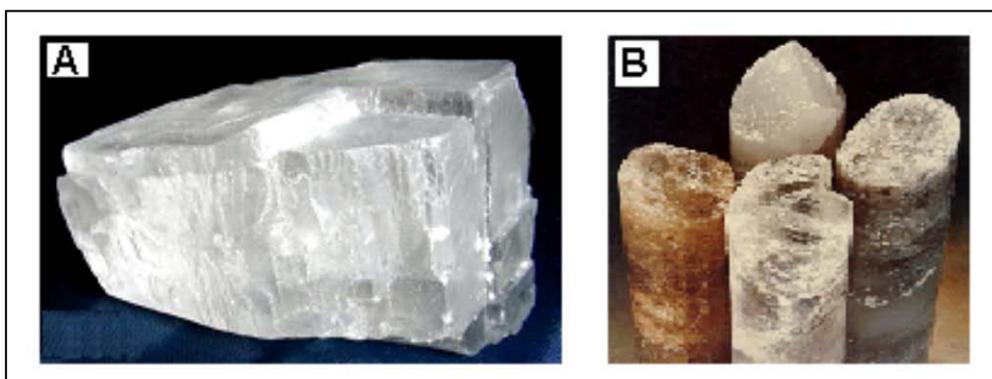


Figura 1 – Em A, cristal de halita (NaCl) e, em B, foto de testemunho de sondagem de halita.

Mineral Halita

O homem pré-histórico supria suas necessidades em sal, por meio da carne de animais. A partir do momento em que a civilização passou de nômade para uma sociedade agrícola, tendo vegetais e cereais adicionados à sua dieta, percebeu-se a necessidade de adicionar sal à carne, como suplemento. É recomendado um consumo de sal de 6 g/dia, portanto, produzir sal é uma atividade mundial e de considerada importância econômica.

Evidências arqueológicas indicam que o sal era extraído de ocorrências salinas a céu aberto, próximas do Mar Morto, antes da Idade de Bronze. Os sumérios, 3.500 a.C., já salgavam carne e preservavam alimentos. Aproximadamente, 1.000 a.C., os troianos aprenderam a usar o sal para preservar pescado. As civilizações marítimas, tal como os fenícios, faziam um intenso comércio com sal, através do Mediterrâneo. Os chineses já produziam sal, 3.000 a.C. e 2.000 a.C., o imperador Yu instituiu um tributo a ser pago com sal, sendo deste modo supridas as necessidades da corte.

A palavra salário é originária do latim sal e remonta aos tempos romanos, quando parte do pagamento dos soldados era feito com porções de sal, tendo sido a primeira estrada do império romano, a via salária.

É possível se encontrar vários registros bíblicos sobre o sal, desde o livro de Gênesis, mas foi no famoso Sermão da Montanha que Cristo destacou a sua importância ao compará-lo com os apóstolos, ao afirmar: “Vós sois o sal da

terra; e se o sal for insípido, o que há de se salgar? Para nada mais presta, senão para se lançar fora, e ser pisado pelos homens" (Mateus 5:13).

Considerando que o sal é um bem de consumo (commodity), que tem uma demanda universal, governos frequentemente intervinham para controlar sua produção e distribuição para geração de renda, de modo a financiar projetos de interesse de cada país.

O monopólio do estado na produção de sal foi comum na história como, por exemplo, em Roma, no ano 506 a.C. A taxa sobre sal foi também usada na França sob o nome de gabelle, sendo parte da insatisfação e da revolta do povo que resultou na Revolução Francesa, só eliminada em 1790. Em 1805, essa voltou a ser aplicada para elevar a arrecadação para as guerras de Napoleão continuou como imposto até 1945.

O Mahatma Ghandi, em 1922, organizou na Índia, sob domínio inglês, uma marcha até o mar para protestar contra impostos sobre o sal, então monopólio do estado, iniciando, desta forma, outra série de protestos que levaram à proclamação da independência daquele país.

A maioria dos depósitos subterrâneos de sal gema, em camadas e domos, foi descoberta durante a pesquisa de hidrocarbonetos, em virtude de ocorrerem em bacias sedimentares, ou seja, em ambientes de mesma idade geológica. Com a utilização dos métodos de pesquisa geofísica sofisticados, como a sísmica 3D, é possível identificar ocorrências de sal em grande profundidade, sem que necessite sua comprovação por meio da perfuração. É creditada à Petrobrás a descoberta dessas ocorrências salinas no país.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

Mineralogia

Halita, cuja composição química é NaCl é o nome mineralógico para o sal, que pode ser analisada por difração de raios X; possui uma estrutura simples, além de ser também um exemplo clássico de um composto com ligação iônica.

A Figura 2 ilustra a estrutura cristalina da halita, enquanto na Tabela 1 reúnem-se as suas principais características.

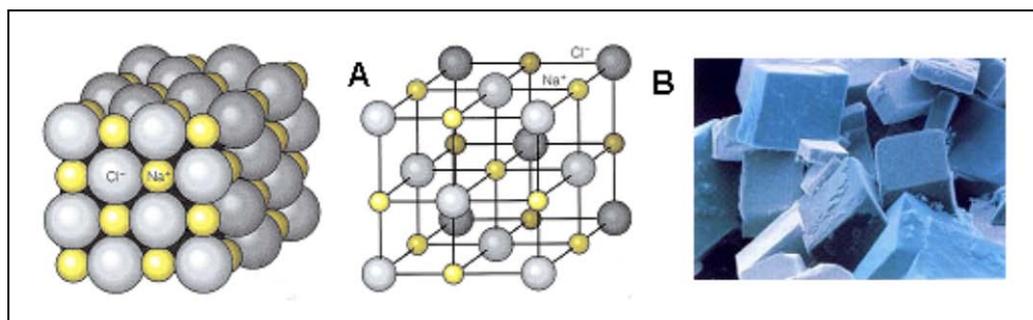


Figura 2 – Em A, estrutura atômica da halita e, em B, fotomicrografia de cristais de halita.

Tabela 1 – Principais propriedades físicas da halita.

Propriedades	Halita		
Brilho	Vítreo, normalmente incolor para branco, mas, quando impura pode exibir tonalidades amarelo, vermelho, azul e púrpura.		
Cor	Incolor a ligeiramente colorida (branca a amarela, azul a roxa).		
Transparência	Transparente a translúcido		
Sistema Cristalino	Isométrico, hexaoctaédrica, 4/m 32/m		
Hábito	Usualmente cúbico, raramente octaédrica, alguns cristais possuem configuração afunilada, maciço, granular a compacto.		
Fratura	Conchoidal, brilhante		
Clivagem	(001) perfeita		
Germinação	Observada em (111)		
Dureza (escala de Mohs)	2,0 a 2,5	Ponto de ebulição	1.413°C
Densidade (g/cm ³)	2,168		
Índice de refração	1,554	Solubilidade a: (0°C)	35,7 partes por 100 partes de água
Ponto de fusão	840°C	(100°C)	39,8 partes por 100 partes de água

Geologia dos Depósitos Evaporitos

Evaporito é uma rocha sedimentar formada pela precipitação dos sais contidos em uma solução química inorgânica, que se depositam quando salmouras de lagos e marés interiores se evaporam. A formação de evaporitos marinhos requer condições de extrema restrição de circulação de águas marinhas, aliada a condições climáticas específicas que possibilitem que a razão de evaporação seja superior à taxa de influxo marinho. A restrição à livre circulação de águas marinhas, ou barreiras, pode ser oferecida por condições geomorfológicas, estruturais ou mesmo orgânicas (recifes).

Barreiras efetivas à circulação devem se estender acima do nível do mar e compreendem áreas de crosta continental ou, mais raramente, ilhas oceânicas. Os vales profundos (rift valleys) que intersectam uma antiga margem continental, ou oceanos juvenis com margem elevada, são ambientes ideais para a formação de evaporitos (Kinsman, 1973).

A composição dos sais depositados e a relação volumétrica dos mesmos estão diretamente condicionadas à composição iônica das águas que os originaram, mais comumente a própria água do mar, cuja composição média está ilustrada na Tabela 2. Embora a água do mar se constitua em um sistema iônico complexo, a seqüência dos sais depositados por sua evaporação segue uma ordem definida, de acordo com a solubilidade dos diversos constituintes.

Tabela 2 – Principais componentes da água do mar.

Principais Componentes da Água do Mar			
Componentes Químicos	Conteúdo (ppm)	Componentes Químicos	Conteúdo (ppm)
Cálcio (Ca)	0,419	Bicarbonato (HCO ₃)	0,146
Magnésio (Mg)	1,304	Sulfato (SO ₄)	2.690
Sódio (Na)	10.710	Cloro (Cl)	19.350
Potássio (K)	0,390	Bromo (Br)	0,070
Total de sólidos dissolvidos (salinidade)			

Fonte: US Geological Survey.

Assim, a sucessão vertical de sais depositados inclui os componentes menos solúveis na base, até os mais solúveis no topo da seqüência, na ordem: calcário (CaCO_3), gipsita (CaSO_4), halita (NaCl) e sais de potássio e magnésio (silvinita – NaCl.KCl , bischofita – $\text{MgCl}_2.6\text{H}_2\text{O}$); embora uma gama de outros componentes possa ocorrer, de acordo com as variações físico-químicas da salmoura durante os vários estágios da evaporação.

A mesma seqüência vertical é notada horizontalmente em vista do princípio da contemporaneidade de mudanças na concentração da salmoura ao longo da bacia, desde regiões proximais, nos limites com o mar aberto, até as regiões distais, mais continentalizadas. As concentrações, máximas ou mínimas, são atingidas quase que simultaneamente em toda a bacia, com variações de teores em função da posição relativa dentro da mesma. As variações laterais na concentração da salmoura se dão já no estágio inicial de entrada da água do mar na bacia. A água do mar, movendo-se através da barreira de restrição, torna-se, por evaporação, altamente concentrada antes mesmo de alcançar a bacia evaporítica propriamente dita, criando um forte gradiente horizontal de salinidade.

As salinidades mais baixas são restritas às zonas proximais, aumentando gradativamente nas regiões distais, forçando o retorno (refluxo) das salmouras mais densas em direção ao mar aberto. Durante as fases de baixa concentração, ou seja, quando o nível do mar é acentuadamente elevado, possibilitando um intenso refluxo das salmouras densas, não há possibilidade de criação de condições de alta salinidade. Inversamente, nas fases de mar baixo, o refluxo das salmouras densas é diminuto ou quase ausente, ocasionando um aumento acentuado da salinidade, com precipitação generalizada de halitas e de sais de potássio nas regiões distais e centrais mais protegidas da bacia.

A alternância de fases de altas e baixas salinidades divide a seqüência em intervalos ou ciclos evaporíticos. Os ciclos de primeira ordem são aqueles definidos pelo aumento da salinidade de cada constituinte contido na salmoura, desde aquele de mais baixo (carbonato) até os de mais alto teor (sais de potássio e magnésio), voltando novamente ao mais baixo.

Cada ciclo evaporítico é marcado, no topo e na base, por camadas contínuas de folhelhos pretos, predominantemente orgânicos, extremamente favoráveis à geração de hidrocarbonetos. Seu elevado conteúdo em H_2S torna-os hospedeiros preferenciais para depósitos de sulfetos metálicos. A origem desses folhelhos pretos, na base de cada ciclo evaporítico, foi estudada por Hite

(1970), Kirkland & Evans (1981), Demaison & Moore (1980) e outros. Tais estudos constataram um acentuado aumento na produtividade de phytoplankton, em ambientes hipersalinos, em conseqüência de:

- (i) concentração e suprimento contínuo de nutrientes (N e P) em ambientes evaporíticos;
- (ii) espécies que conseguem sobreviver em tais ambientes há pouca ou nenhuma competição com outras espécies, com respeito à alimentação, ao espaço, etc. O aumento progressivo da salinidade causa uma contínua depleção em oxigênio, tendo em vista o decréscimo da solubilidade deste elemento com o aumento da salinidade no último caso, a remoção do oxigênio cria severas condições anóxicas, nas quais os processos de decomposição da matéria orgânica, depositada no fundo, são realizados à custa de bactérias anaeróbicas, que reduzem o SO_4 existente nos sedimentos, dando origem à formação de gás sulfídrico (H_2S).

Dessa forma, nos estágios de alta concentração, antecedendo a precipitação dos primeiros sais, o fundo da bacia é capeado por uma espessa camada de matéria orgânica, em condições anóxicas e altamente enriquecida em H_2S .

Os ciclos evaporíticos, como descritos, formam a peça-chave para o estudo sistemático e o entendimento paleogeográfico de uma bacia evaporítica. O modelo de sedimentação evaporítica descrito foi comprovado para os sais do permo-carbonífero da bacia do Amazonas e para os sais da margem continental brasileira.

Classificação dos Depósitos

Geologicamente, o sal é encontrado na natureza em forma de solução ou em estado sólido. Para a sua obtenção existem processos específicos de extração.

Ocorrência em forma de solução - oceanos, lagos, aquíferos subterrâneos e fontes de salmoura natural.

Ocorrência no Estado Sólido

Depósitos a céu aberto.

Depósitos subterrâneos, em forma de camadas ou domos/diapiros.

Oceanos – nestes estão as maiores reservas de sal do mundo. Os oceanos contêm 530 milhões de km³ de água. Aproximadamente 42% de sal encontram-se dissolvido. Um km³ de água do mar contém 93 toneladas de matéria dissolvida, das quais se podem considerar 73 toneladas de cloreto de sódio. O sal contido nos oceanos varia de 1 a 5%, dependendo da localização, mas em média pode-se considerar 3,5%.

Lagos – são resultados de acumulação natural de água em depressões topográficas, ou confinadas por barreiras naturais. As rochas circunvizinhas, com solubilidade distinta, cuja composição depende da sua origem, ficam expostas à ação do intemperismo e seus sais são transportados pelas águas superficiais e acumulados nestes ambientes lacustres. Estes lagos mineralizados podem conter apenas cloreto de sódio ou também outros sais.

Aqüíferos subterrâneos – a água subterrânea tem seu grau de salinidade variável, desde uma água pura até uma solução saturada. São classificadas como conatas e meteóricas. A composição e a salinidade da água subterrânea podem variar de acordo com as condições ambientais. Clark (1924) classificou as águas subterrâneas nos seguintes grupos: cloretos, sulfatos, carbonato, sulfato-carbonato, mistura de (cloreto sulfato, cloreto carbonato, sulfato carbonato, cloreto sulfato carbonato), silicosas, borato, nitrato, fosfato e ácidas. Podem ocorrer concentrações de 0 a 254 mg/L. Salmouras com elevadas concentrações de magnésio e bromo, são as fontes de suprimento destes elementos.

Fontes naturais de salmoura – contato da água de aqüíferos subterrâneos, com depósitos de sal dispostos em camadas ou domos, promove sua dissolução, e o cloreto de sódio em solução aflora em surgências naturais ou quando captado por poços.

Depósitos de Sal Sólido

O sal cristalizado pode ser encontrado em depósitos superficiais, em camadas e em domos salinos, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Foto ilustrativa de um sedimento de sal – Açude em Soledade/PB.

Depósitos de Sal a Céu Aberto e Subterrâneo

O sal é também encontrado em depósitos sedimentares, em forma de camadas de espessura variável. Está associado com outras rochas sedimentares, tais como folhelhos, calcários calcíferos e dolomíticos, gipsita, anidrita e outros sais evaporíticos. Os depósitos salinos são encontrados em todos os períodos geológicos, desde o Cambriano até o Terciário, havendo evidências que indicam também os depósitos no Pré Cambriano. Praticamente são encontrados em vários países em todo mundo. Alguns depósitos atingem algumas centenas de metros de espessura, cobrindo áreas de extensão quilométricas; muitas teorias e novas idéias procuram explicar a gênese da formação desses imensos depósitos.

Domos de Sal – Diapiros

O sal é muito vulnerável a pressão e temperatura. Considerando este fato, a pressão que é exercida sobre a camada salina, devido ao peso estático dos sedimentos que estão capeando-a e/ou a forças tectônicas laterais, faz com que o sal flua de forma ascendente, devido à sua propriedade física visco-elástica. Inicialmente, ocorre a formação de um anticlinal e posteriormente um domo, quando a pressão aumenta, fazendo com que as rochas que capeiam o corpo salino sejam rompidas, podendo chegar próximo à superfície.

Alguns domos possuem diâmetro variando de 1.000 a 6.400 m, e a dimensão vertical, mesmo sem confirmação, pode ultrapassar 13 km. No Quadro 1, ilustra-se a idade geológica dos depósitos de sal.

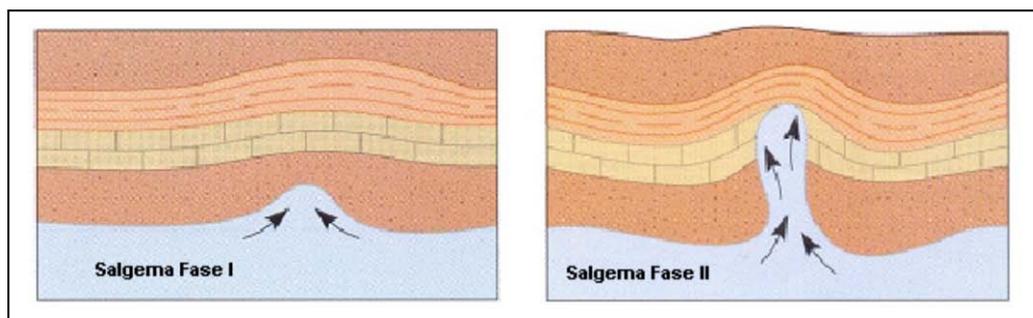


Figura 4 – As duas fases de formação de um domo salino.

Quadro 1 – Descrição da idade geológica dos depósitos de sal.

Era Cenozóica	
Recente	Salinas e Lagos salinos
Pleistoceno	Israel, México, Estados Unidos, Rússia.
Plioceno	Itália, Jordânia, Estados Unidos.
Mioceno	Argélia, Chipre, República Checa, República Dominicana, Egito, Iran.
Oligoceno	Iraque, Marrocos, Polônia, Espanha, Sudão, Síria, Turquia, Rússia..
Eoceno	França, Alemanha, Iran, Iraque, Espanha, Turquia.
	Belize, Iran, Marrocos, Paquistão, Estados Unidos.
Era Mesozóica	
Cretáceo	Angola, Bolívia, Brasil, Colômbia, Congo, Líbia, México, Marrocos, Nigéria, Peru, Senegal, Estados Unidos, Rússia.
Jurássico	Chile, Cuba, Alemanha, Kuwait, Tanzânia, Estados Unidos.
Triássico	Argélia, Bolívia, Bulgária, Etiópia, França, Alemanha, Grécia, Líbia, México, Marrocos, Holanda, Peru, Portugal, Espanha, Suíça, Tunísia, Reino Unido.
Era Paleozóica	
Permiano	Austrália, Brasil, Dinamarca, Alemanha, Grécia, Holanda, México, Peru, Polônia, Reino Unido, Estados Unidos, Rússia.
Pensilvaniano	Brasil, Estados Unidos.
Mississipiano	Canadá, Estados Unidos, Rússia
Devoniano	Austrália, Canadá, Estados Unidos
Siluriano	Canadá. Estados Unidos.
Ordoviciano	Bolívia, Estados Unidos.
Cambriano	Austrália, Canadá, Iran, Paquistão, Rússia.
Era Precambriana	Austrália, Iran, Paquistão

Fonte: Adaptado de LEFOND, 1969.

Distribuição dos Maiores Depósitos de Sal no Brasil

As maiores reservas de sal se localizam na bacia Amazônica (Formação Nova Olinda), Sergipe/Alagoas (Formação Maceió e Muribeca/Mb Ibura), Recôncavo (Fm Afligidos/Mb Pedrão), Espírito Santo (Fm Mariricu/Mb Itaúnas) no continente. No mar encontram-se depósitos desde a Bacia de Santos, a sul, até a Bacia de Sergipe/Alagoas. Na pesquisa recente de hidrocarbonetos, bacia de Santos, foi ultrapassada, pela perfuração, uma camada de sal de 2.000 m, no intervalo entre 4.000 e 6.000 m, tendo sido encontrado um grande campo de petróleo/gás, na camada denominada pré-sal.

Origem do Sódio e Cloro na Água do Mar

Há muitos anos divulgam-se a teoria de que os oceanos eram originalmente corpos de água doce e que esta água se tornou mineralizada ao longo do tempo geológico, por meio da lixiviação das rochas continentais. O transporte do sódio e cloreto e outros íons em solução, para o mar, pelos dos rios, possibilitou a salinização. Não há, entretanto, evidência geológica ou biológica que suporte esta teoria. Outra teoria para salinização dos oceanos admite que gases de origem vulcânica proveniente do magma, constituídos de sais, ao manter contato com o vapor de água da evaporação dos oceanos, se precipitam com a condensação no mar ou no continente, retornando para este ambiente.

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

Lavra

São várias as operações de lavra de sal, como as descritas a seguir e de forma sucinta.

Mineração por dissolução subterrânea

Os primeiros registros da utilização deste método de lavra foram encontrados na China por volta de 250 a.C., onde poços foram perfurados em depósitos profundos de sal. Para injeção e produção da salmoura eram utilizados tubos de bambu. A base da tecnologia atual teve sua origem na França, por volta de 858 d.C. Tal método de lavra possibilita que ocorrências de sal gema situadas em grandes profundidades possam ser extraídas sob a forma de salmoura saturada em cloreto de sódio, com baixo custo.

O advento de técnicas empregadas na perfuração de poços de petróleo/gás possibilitou que algumas dessas fossem utilizadas neste processo, o qual fez com que simples ocorrências se transformassem em jazidas de valor econômico.

Faz-se necessário que se tenha água superficial ou subterrânea (poços) de qualidade, para possibilitar o seu emprego como solvente. Geralmente, uma mineração que emprega este método está ligada a uma planta química para produzir soda-cloro ou de barrilha. A salmoura resultante segue, por duto, para suprir as necessidades deste insumo daquela indústria. Em virtude de tais processos químicos necessitem de sal, em forma de salmoura em solução, e não de sal sólido, não se promove a sua evaporação, o que elevaria substancialmente o custo unitário deste insumo mineral. No caso de uso de sal sólido, o sal proveniente de salinas seria mais econômico, mesmo considerando-se o custo de transporte e algum beneficiamento. A Morton Salt, em Glendale, Arizona, Estados Unidos, produz salmoura saturada por meio de poços, que posteriormente é bombeada para painéis de cristalização, tal como nas salinas, e daí se obtém o sal cristalizado, com custo reduzido e alta produtividade. O mesmo também ocorre em algumas minerações na Austrália.

Caso o sal fosse extraído por lavra subterrânea convencional, para posterior transferência para a indústria química, ocorreriam dois problemas: além dos custos de produção elevados, teria que ser processado para eliminar impurezas, para, depois, já na indústria, ser transformado em salmoura, se o processo de eletrólise requerer que a alimentação do sal seja nesta forma.

Para acesso ao corpo salino, que poderá ser em camadas ou domos, são perfurados poços tubulares profundos (Figura 5). Em seguida, cada poço é revestido com tubulação de aço carbono, da superfície até alguns metros no interior da camada de sal. O espaço existente entre o diâmetro de perfuração e o revestimento é totalmente cimentado até a superfície. Deste modo, todos os aquíferos existentes acima do sal são isolados e protegidos. Em seguida, é descida a tubulação de produção pelo interior deste revestimento cimentado, sendo posicionada alguns metros abaixo do mesmo. Finalmente, desce-se uma tubulação de menor diâmetro pelo interior da tubulação de produção, ficando instalada bem abaixo deste, empregada para a injeção de água. Tanto a tubulação de produção quanto a de injeção podem ser movimentadas, ficando presas na superfície, na cabeça do poço que se denomina "árvore de natal". Nada impede, contudo, que possa ser invertida a profundidade da injeção e produção/captação, o que modifica a configuração da cavidade, crescendo mais

na parte superior e menos na inferior. Podem-se, contudo, alternar os dois modos, injeção direta e reversa. Este processo se denomina extração de sal por dissolução, por poços isolados, mas poderia também ser feito por poços conjugados, onde se injeta por um poço e recupera-se a salmoura por um ou mais poços que estão interligados. A comunicação entre esses pode ser feita segundo ligação entre as cavidades geradas por poços isolados, fazendo-se a conexão pelo encontro das duas cavernas geradas no mesmo intervalo, ou via fraturamento hidráulico. Normalmente, empregam-se poços conjugados quando a espessura de sal não é de pequena potência, mas tem grande continuidade.

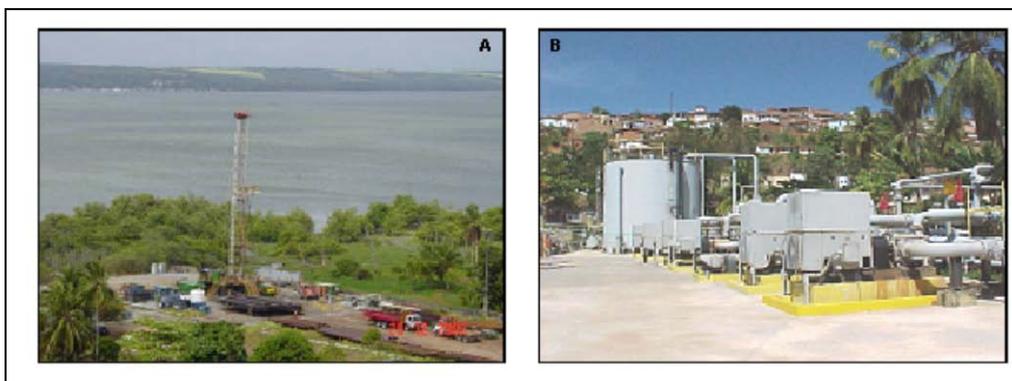


Figura 5 – Em A, sonda em operação na perfuração de poços (poço M-27D) e em B, a estação de bombeamento (cortesia Braskem).

Controles da Lavra por Dissolução

Periodicamente, a cavidade salina que está sendo formada pela extração do sal é examinada com um “eco-sonda” sonar (Figura 6), que determina o volume, direção preferencial da dissolução, forma e seu maior diâmetro. A Sonarwire Inc. USA é a companhia que executa tais serviços no Brasil.

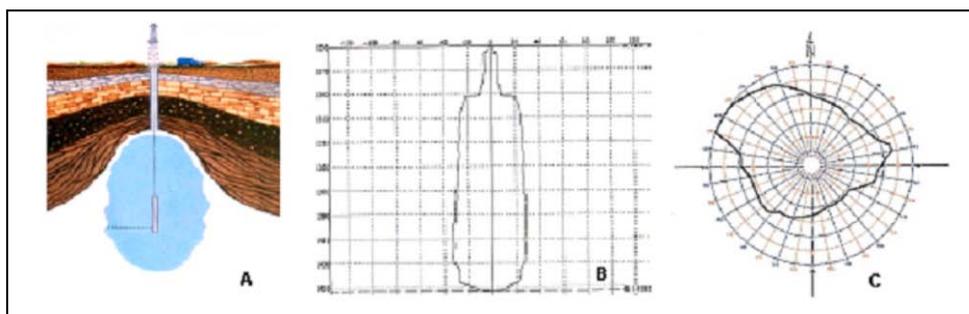


Figura 6 – Em A, um desenho ilustrativo de uma ecosonda (sonar), em B, o corte transversal da cavidade e, em C, uma vista de cima da cavidade.

Controle da Lavra por Dissolução

Os poços operados isoladamente, no final, terão suas cavidades separadas por um pilar de sal. Também é mantida uma laje de sal, na parte superior, conferindo estabilidade ao volume espacial gerado pela extração do sal. Depois de desativada, a cavidade ficará sempre preenchida com salmoura, tal como na sua fase operacional. No caso de poços conjugados, em geral, são dispostos em linhas e, entre as mesmas, se deixa um maciço de sal separando-as.

São utilizadas as cavidades desativadas para armazenar petróleo e gás, principalmente aquelas desenvolvidas em domos salinos e aquelas onde o sal foi extraído já com a finalidade de vir a estocar tais produtos. Jazidas de sal, em camadas, também têm sido utilizadas, desde que tenham grande espessura. A forma ideal da cavidade deverá ser cilíndrica, onde a altura é bastante maior que o diâmetro e a parte superior deverá ter a configuração ilustrada na (Figura 7).

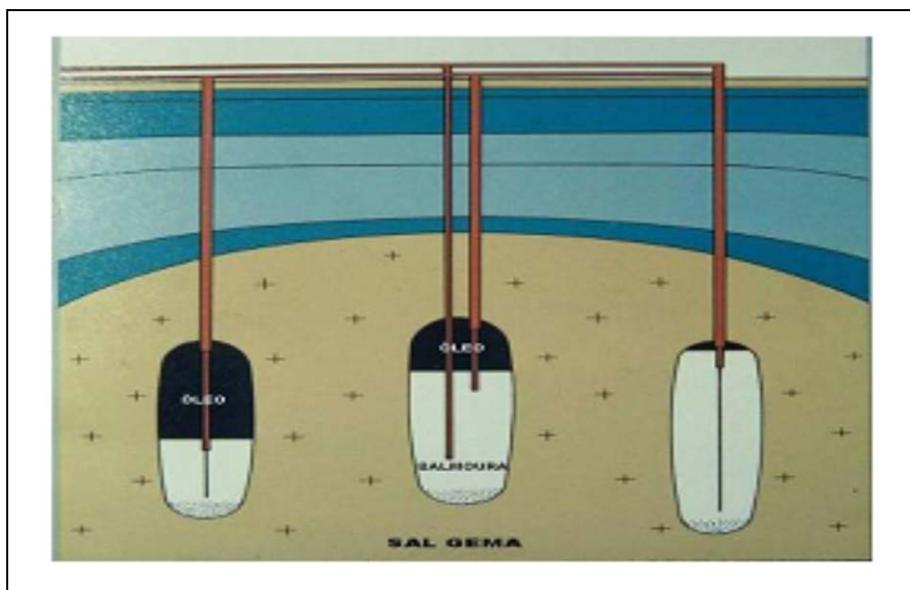


Figura 7 – Petróleo estocado em cavidades salinas.

As dimensões mais utilizadas dos revestimentos/tubulações que fazem parte integrante do poço são: revestimento cimentado \varnothing 9 5/8" (230 mm), tubulação de produção \varnothing 7" (178 mm) e tubulação de injeção \varnothing 4 1/5" (115 mm). Em domos salinos, em função da grande espessura, os revestimentos poderão ser de maior dimensão, ou seja, 13 3/4" (350 mm), 10 3/4" (273 mm) e 7" (178 mm), respectivamente. Pois, como possuem uma grande reserva de sal, podem produzir grande volume de salmoura concentrada, com poucos poços.

No Brasil, emprega-se este método na Braskem S.A. (ex Salgema Mineração Ltda.), em Maceió, Alagoas (Figura 8) e na Mineração e Química do Nordeste – Dow Química, na Ilha de Matarandiba, na Bahia. Ambas iniciaram sua produção na década de 70. A salmoura produzida abastece as unidades de produção, cloro-soda, destas empresas.

Na América do Norte - Canadá, USA e México - várias minerações de sal utilizam este processo de lavra.

Na América do Sul, além do Brasil, recentemente a Colômbia (Brinsa) extraem sal gema por este método. Na Argentina, é utilizado o processo de dissolução subterrânea para extração de sais de potássio, em Neuquén. A Vale deu início a um projeto piloto, em Sergipe, com o propósito de lavar por dissolução, carnalita ($\text{KClMgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) no estado de Sergipe.

A extração de sal por dissolução subterrânea é empregada em praticamente todos os países da Europa, além da Rússia, Austrália e China. Na Figura 8 ilustra-se um fluxograma de dissolução subterrânea com a seção transversal da jazida e a foto de um poço.

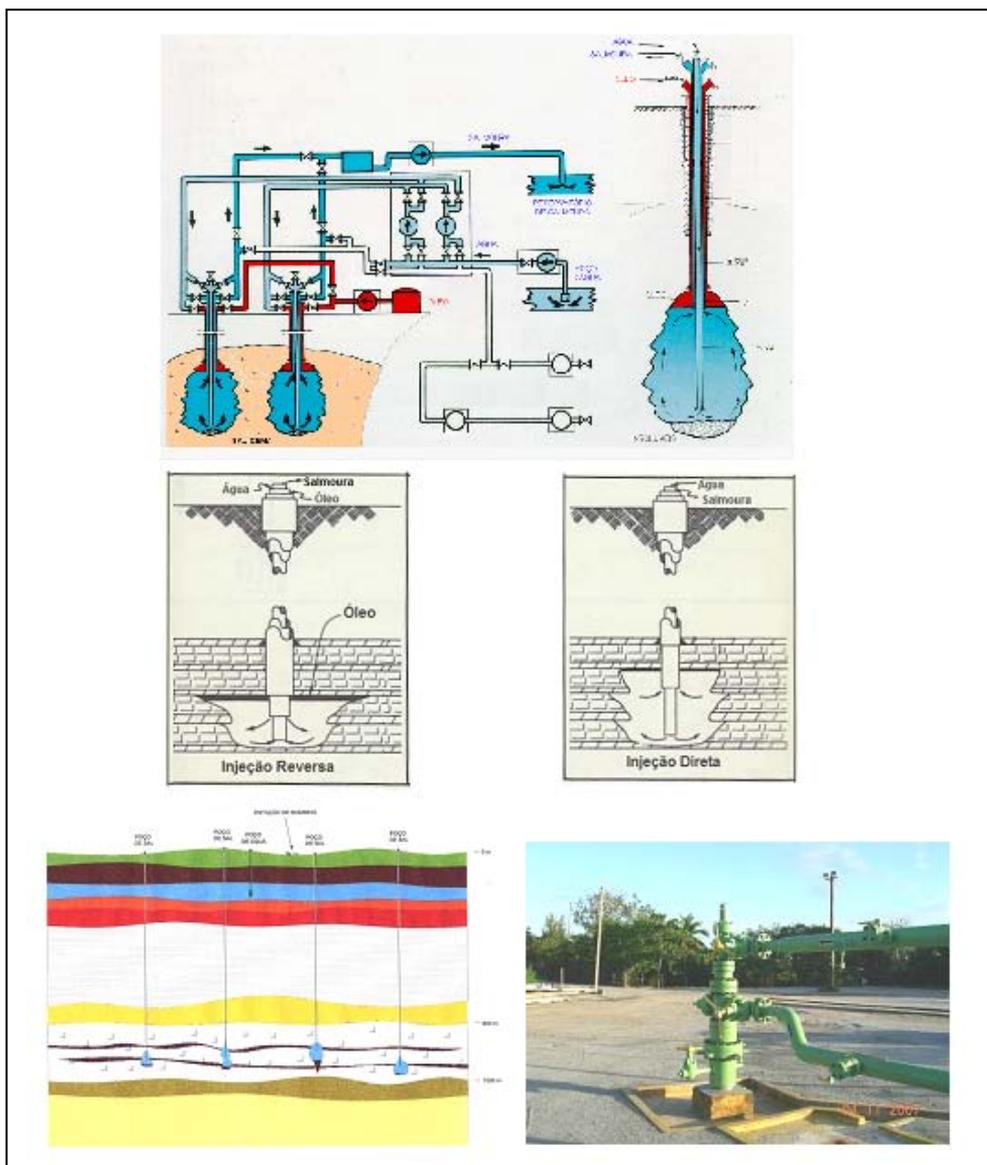


Figura 8 – Fluxograma dissolução subterrânea com a seção transversal da jazida de sal e a foto de um poço M#20D (Cortesia Braskem).

Mineração Subterrânea Convencional

Geralmente é empregado este tipo de lavra em depósitos de sal não muito profundos, tais como domos salinos cujo topo está próximo da superfície, ou em camadas, nas quais as galerias não devem estar além de 900 m de profundidade.

Como exemplo: a Solvay Salz GmbH, em Borth na Alemanha, opera uma das maiores minas de sal da Europa, cuja camada de sal tem 150 m de espessura e a atividade de lavra se processa no intervalo entre 750 a 900 m de profundidade, se restringindo a uma espessura de 20/30 m de pura halita, capeada por anidrita, produzindo 2 milhões de toneladas de sal por ano. Próximo a esta mina há uma moderna unidade de evaporação a vácuo (vacuum pan), onde o sal é transformado em salmoura; após o beneficiamento, obtêm-se um sal de elevada pureza.

Tanto em depósitos de sal gema em domos ou em camadas, o sal é extraído utilizando-se praticamente o mesmo processo empregado para mineração de carvão, denominado “câmaras e pilares” (room-and-pillar). Evidentemente, na lavra do carvão mineral, a existência de gases, material sólido em suspensão e outras dificuldades, aliada a baixa resistência mecânica do corpo mineralizado, faz com que as dimensões das galerias sejam bem reduzidas, comparadas com aquelas abertas no corpo salino.

Em um depósito subterrâneo de sal poderá ocorrer gás metano, mas, praticamente, não existem resíduos sólidos em suspensão, com exceção de micro partículas de sal. A recuperação chega até ser 50% superior àquela obtida em uma mina de carvão, pois, o tamanho dos painéis de lavra, geralmente de grandes dimensões, possibilita a operação de mineradores contínuos, carregadeiras e perfuratrizes no interior da mina. Na maioria das minas ocorre britagem nas frentes de lavra.

Inicialmente, são construídos geralmente dois poços verticais (shafts) ligando a superfície até o interior do corpo salino. A construção do poço é o maior custo individual deste tipo de mineração, principalmente quando tem que atravessar aquíferos. Algumas vezes, tem-se que usar o processo de congelamento daquele intervalo. Hoje já existem cimentos especiais que facilitam o isolamento dos aquíferos para a descida dos anéis de concreto usados para revestimento.

Por um poço descem o pessoal e materiais e pelo outro é retirado o minério lavrado, por caçambas (skips). As distâncias entre os shafts variam, podendo ultrapassar 200 m.

Em algumas minerações é injetado ar refrigerado para proporcionar o conforto térmico adequado. O ar segue por dutos por um poço e é conduzido até as frentes de lavra, enquanto o ar quente retorna à superfície por outro poço. Como exemplo, no Brasil tem-se a mina de potássio de Taquari/Vassouras, lavrada pela Vale em Rosário do Catete/SE, que emprega este tipo de sistema, chegando a reduzir em até 7°C, a temperatura nas frentes de lavra.

Os equipamentos utilizados na lavra descem desmontados pelo poço e toda a manutenção é feita no interior da mina. Em geral, os equipamentos são movidos a eletricidade ou a baterias, para evitar emanações de monóxido e dióxido de carbono. As galerias obedecem a um determinado lay out e seu avanço pode ser feito com mineradores contínuos, que extraem o sal já próximo da granulometria desejada, seguindo por meio de correias transportadoras para o poço de extração, do qual é levado até a superfície. As minas mais antigas usavam vagonetas para o transporte. Na lavra do sal também se faz uso de explosivos, e os furos são feitos por perfuratrizes especiais (jumbo) que efetuam várias perfurações ao mesmo tempo, seguindo uma malha predeterminada. A parte inferior da frente é cortada rente à base, para possibilitar um maior rendimento do desmonte. A finalidade é a obtenção de uma adequada fragmentação, possibilitando o seu transporte diretamente com carregadeiras frontais para o britador de mandíbulas ou de martelo situados no mesmo nível da frente de lavra.

Em algumas minas, a carregadeira alimenta caminhões de grande porte, que se encarregam de transportar até o equipamento de britagem. Algumas minerações preferem britar e promover a separação granulométrica do sal na superfície. O explosivo que se usa normalmente é o nitrato de amônio com óleo diesel (ANFO) e os furos são carregados pneumaticamente.

Na Figura 9 ilustra uma frente de lavra, em A, salões e pilares de uma mina de sal e, em B, a operação de carregamento dos furos com ANFO, na Mina de Borth/Solvay Alemanha.

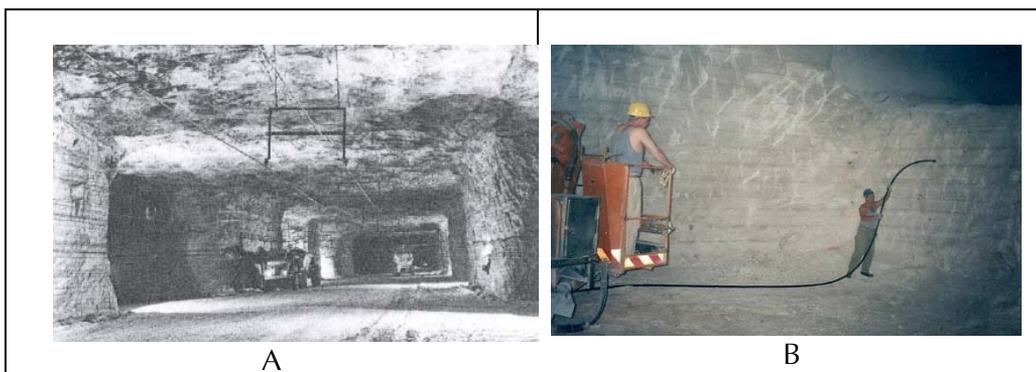


Figura 9 – Frente de lavra, em A, salões e pilares de uma mina de sal e, em B, a operação de carregamento dos furos com ANFO.

As minerações procuram obter a máxima recuperação possível de sal, com segurança e menor custo, mesmo assim, o custo/tonelada é mais elevado do que o sal obtido de salinas. Muitas vezes, o emprego deste método de lavra se torna econômico em função da proximidade ao mercado consumidor. Neste caso, o custo de logística será bem menor, além de competitivo. As dimensões dos pilares (altura e largura) são função da:

- (i) profundidade das rochas que capeiam o depósito;
- (ii) espessura da camada salina;
- (iii) ausência de camadas insolúveis intercaladas no corpo salino.

São também obtidos com base em testemunhos de sondagem, parâmetros geomecânicos, para os estudos de mecânica de rochas, antes e durante a lavra. Desse modo, serão mantidas ou alteradas as dimensões das câmaras (salões) e pilares das novas frentes de lavra. Nos domos salinos, a altura e largura das câmaras e o tamanho dos pilares são bem maiores, em decorrência da imensa massa de sal existente na parte superior e nas laterais das galerias. Os pilares são mantidos como suporte permanente, após a lavra das câmaras (salões).

Em função das características de cada jazida, técnicas da engenharia de minas são desenvolvidas ou aprimoradas, utilizando dados geológicos e parâmetros geomecânicos.

A produção de NaCl (halita), na maioria das vezes, destina-se ao descongelamento de estradas (deicing). Nesse caso, não há necessidade de qualquer tratamento para remoção de impurezas e sim da classificação

granulométrica para atender ao mercado. Em algumas minas, onde o sal possui pureza elevada, esse pode ser usado, sem beneficiamento, na alimentação animal e humana. O sal obtido por meio de dissolução subterrânea, depois de evaporados a vácuo, é adequado para os mercados que exigem elevados volumes e pureza.

A mina de Avery Island, pertencente à Cargill, é a maior mina subterrânea de sal dos EUA, localizada a 225 km a oeste do Estado de Louisiana. Nesta mina, o sal é extraído no interior de um domo salino de grande dimensão, 2.400 m de largura e profundidade superior a 10.000 m. O intervalo lavrado situa-se entre os níveis 433 e 533 m, onde se encontram 6 (seis) níveis de galerias. Estima-se uma reserva total deste domo em 150 bilhões de toneladas, sendo a produção atual de 2,5 milhões de toneladas por ano. Na Figura 10 consta um corte transversal de uma mina subterrânea e a operação de remoção do sal na frente de lavra.



Figura 10 – Em A, corte transversal de uma mina de sal, em B, remoção de sal da frente de lavra (Mina Klodawa – Polônia).

Mineração a Céu Aberto

Os depósitos de sal superficiais tiveram sua origem, na maioria das vezes, devido à evaporação de salmouras provenientes de antigos mares, que ficaram confinados em extensas depressões no continente. Neste ambiente, com ausência de precipitação pluviométrica, os sais foram se depositando de forma seletiva, em função da composição da salmoura, até que toda a água foi evaporada. Considerando que o sal está depositado em uma planície, não tendo elevações, o processo indicado e empregado é o comumente denominado de

“cava”, onde são abertas inicialmente trincheiras que se vão e alargando na horizontal e, ao mesmo tempo, se aprofundando. Ocorrendo algumas pequenas elevações, o acesso ao corpo mineralizado se dá pelo processo de lavra a céu aberto convencional, com bancadas e de forma descendente.

Alguns lagos ou antigos mares, hoje, são lavrados de forma ainda rudimentar; ao mesmo tempo, encontram-se minerações que empregam tecnologia avançada, tal como na mina de sal de Punta del Lobos, situada a 60 km a Sudoeste da cidade de Iquique, no norte do Chile, pertencente à Salineira Punta de Lobos – SPL – K+S Gruppe multinacional Alemã. O sal é extraído de um grande depósito superficial de Taparacá, com 40 km de extensão e 4 km de largura. A SPL produz 5,5 milhões de toneladas de sal, que é transportado por correia transportadora, com 25 km de comprimento, até o porto de Patillos. Esta companhia pretende ampliar a produção para processar 27 mil toneladas diárias, exportando 3,5 milhões de toneladas para os Estados Unidos, para emprego no descongelamento de estradas. A SPL exporta sal desta mina para a Carbocloro/SP, que o utiliza para a produção de cloro e soda cáustica.

Na Figura 11 ilustram-se as lavras de sal a céu aberto e as instalações portuárias utilizadas para o embarque do sal.



Figura 11 – Em A, lavra a céu aberto de sal no Chile e, em B, instalações portuária para o embarque do sal (Cortesia-SPL).

Este processo de obtenção de sal consiste na progressiva evaporação de salmoura das seguintes fontes:

- (i) água do mar;
- (ii) salmouras de depósitos subterrâneos;
- (iii) mares confinados no continente;
- (iv) salmouras artificiais obtidas por dissolução subterrânea.

Para que se tenha eficiência neste processo natural, necessita-se que haja ventos, forte incidência de luz solar, alta evaporação, baixa precipitação pluviométrica e terrenos planos. Na região onde estão concentradas as maiores salinas do país, no Estado do Rio Grande do Norte, a relação evaporação/precipitação pluviométrica é de 5/1, já na Austrália chega a alcançar 15/1. Pode-se considerar como viável esta atividade, quando a relação atinge 3/1. As salinas, preferencialmente estão localizadas próximas ao mar, pois terão uma fonte de alimentação e descarte das águas amargas, com custo reduzido além de menor impacto ambiental.



Figura 12 – Em A, imagem satélite de salinas, RN, em B, operação não mecanizada da salina.

O processo de extração de sal, em salinas, varia desde um simples trabalho manual, tal como nos tempos antigos, até aqueles com alta taxa de mecanização, em que são usadas bombas e equipamentos para a colheita do sal sólido, sua estocagem em pilhas, lavagem e outros.

Tal como na agricultura, o sal resultante da evaporação da água é colhido, em geral, anualmente, por meio da escarificação da camada de sal acumulada sobre o assoalho dos tanques/painéis de cristalização. Este assoalho é

constituído de sal que é previamente formado e deve possuir resistência suficiente para suportar o peso dos equipamentos, servindo também para impermeabilizar o solo, evitando infiltração de salmoura concentrada e sua contaminação.

A área de evaporação abrange, quase sempre, mais de 90% da superfície total da salina. Na sua construção são levadas em consideração, as características geográficas e topográficas da área. A área de cristalização ocupa apenas 10% da salina.

Na Figura 13 constam os cristalizadores de sal, estocagem, inclusive o fluxograma das operações da Salina Diamante Branco em Mossoró-RN.

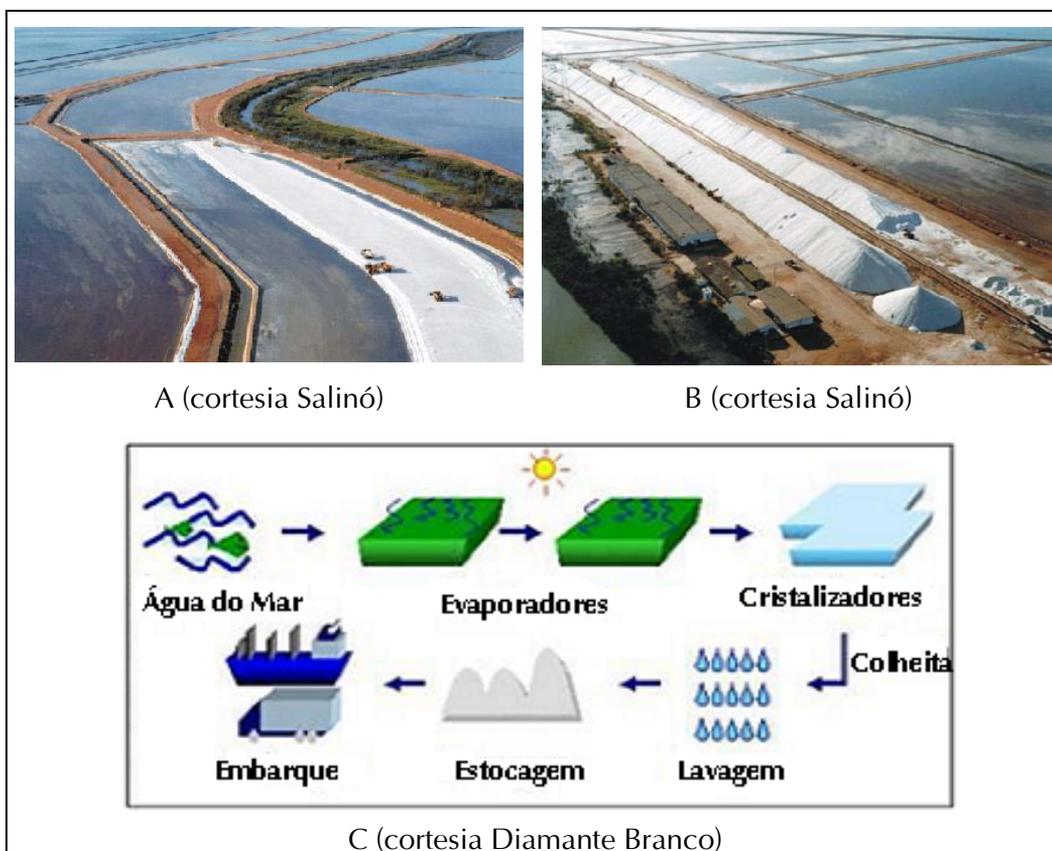


Figura 13 – Em A, cristalizadores, em B estocagem de sal na Salinor em Mossoró-RN. Em C, o fluxograma das operações da Salina Diamante Branco em Macau-RN.

Como a água do mar contém vários sais dissolvidos, haverá uma precipitação e separação dos mesmos em função de suas relativas solubilidades. Os sais menos solúveis são os primeiros a se precipitar e os mais solúveis serão os últimos, sendo a solubilidade de um determinado sal afetada pela temperatura e pela presença de outros sais em solução. Por ordem decrescente de solubilidade, os principais sais contidos na água do mar são: carbonato de cálcio, carbonato de sódio, sulfato de cálcio, cloreto de sódio, sais de potássio, magnésio e brometo de sódio, ou seja: calcita, gipsita, halita, astrakainita, epsomita, kainita, hexahidrita, kieserita, carnalita e bishofita. Devido à diferença de solubilidade, tem-se a precipitação seletiva dos vários sais e deste modo se obtém o cloreto de sódio com grau de pureza para atender as necessidades do mercado.

Quando a concentração de sais da água do mar vai aumentando, devido à evaporação, precipitam-se os sais menos solúveis. É importante a determinação do intervalo ideal de concentração dos diversos sais, para que se tenha a recuperação do cloreto de sódio com maior grau de pureza.

Controles do Processo

Os níveis de salmoura existentes na área da salina são controlados pela determinação de sua densidade em g/cm^3 , concentrações em graus Bé, ou em graus Salometer. São medidas as espessuras das lâminas de água, a espessura de sal, acumulada pela precipitação dos cristais de cloreto de sódio. A densidade da água do mar é de aproximadamente $1,0247 \text{ g/cm}^3$ ou 3,5 Bé para uma temperatura de 20°C , devendo alcançar no seu final, a densidade de $1,216 \text{ g/cm}^3$ ou 25,6 Bé, no momento em que a salmoura alcança sua saturação em cloreto de sódio.

Colheita e Lavagem

Esta operação ocorre em Mossoró RN, entre agosto e janeiro, pois é o período de seca na região salineira. Na Norsal/RN, o sal é colhido, mecanicamente, pelas colhedeiras e transportado em caçambas puxadas por tratores para o sistema de lavagem. A lavagem utiliza uma salmoura saturada e controlada, que evita a dissolução do sal e reduz o teor de impurezas. O sal lavado é centrifugado e segue em correia transportadora para a unidade de beneficiamento ou para estocagem em com dimensões medidas de $7 \times 400 \text{ m}$ (altura x comprimento) (Figura 13B).

A mudança do método convencional de operação das salinas foi, para o de fluxo contínuo, gradativamente, empregado pelas salinas do Rio Grande do Norte, elevando substancialmente a produtividade.

No Quadro 2 estão relacionados os produtores de sal do Rio Grande do Norte e suas capacidades de produção. Em linhas gerais, as cinco etapas empregadas pela Norsal/RN estão descritas a seguir:

- (i) bombeamento da água do mar que irá percorrer por cerca de 60 dias, os tanques da salina;
- (ii) água do mar passa por uma série de chicanas, por gravidade, nas quais ocorre uma redução do nível da solução em cerca de 8 mm/dia;
- (iii) aumento da concentração de sal na salmoura;
- (iv) nos últimos tanques de evaporação se introduz um micro-crustáceo – artêmia salina, que age como filtro biológico, absorvendo todos os microorganismos, purificando a salmoura, prosseguindo o processo de evaporação contínua até próximo do limite de saturação da solução, para então ser transferida para os tanques de cristalização.
- (v) nos cristalizadores, a evaporação da salmoura saturada precipita os cristais de sal, até, praticamente, todo o cloreto de sódio se depositar, a solução restante, denominada de águas amargas, é descartada no oceano.

Quadro 2 – Produtores de sal do Rio Grande do Norte e suas capacidades de produção – 2006.

Empresas	Capacidade de Produção	(%)
SALINOR – Salinas do Nordeste S/A	2.300.000	39,18
Henrique Lage Salineira do Nordeste S/A	700.000	11,93
F. Souto Ind. Com. e Nav S/A	525.000	8,94
Salina Diamante Branco Ltda	450.000	7,67
CIMSAL–Com. Ind. Moagem e Ref. Sta. Cecília Ltda	380.000	6,47
Norte Salineira S/A Ind. e Com. Norsal	360.000	6,13
Salineira São Camilo Ltda	200.000	3,41
Souto Irmão e Cia. Ltda	200.000	3,41
Ind. Salineira Salmar Agropecuária Ltda	100.000	1,70
Francisco Ferreira Souto Filho	95.000	1,62
Andrea Jales Rosado	80.000	1,36
Salinas Córrego	80.000	1,36
Salina Soledade Ltda	70.000	1,19
Salina Cristal S/A	60.000	1,02
SOCEL – Sociedade Oeste Ltda.	50.000	0,85
CIEMARSAL – Com. Ind. e Exp. de Sal Ltda	40.000	0,68
Salina Serra Vermelha I	36.000	0,61
Produsal	22.000	0,38
P. Roberto Moagem e Ref. de Sal	20.000	0,34
Marisal Ltda	20.000	0,34
Ciasal Ltda	20.000	0,34
Salinas Boi Morto	20.000	0,34
Macau Salineira Ltda	12.000	0,21
Sertão Ind. e Moagem de Sal Ltda	12.000	0,21
Salinas Coqueiros	10.000	0,17
Irmãos Filgueira Ltda	8.000	0,14
Total	5.870.000	100,00

Fonte : Sindicato das Industrias de Extração de Sal do Estado do Rio Grande do Norte – Siesalrn.

Principais Características da Indústria do Sal

Entre as principais características da indústria do sal, destacam-se as seguintes:

- (i) os métodos de produção variam com o tipo e nível da tecnologia aplicada;
- (ii) o sal é produzido por pelo menos 124 países;
- (iii) é um produto de fácil obtenção, que na maioria das vezes é consumido próximo do seu local de extração;
- (iv) o produto sofre pouca influência do comércio internacional.

A produção de sal depende das condições atmosféricas, em alguns casos de forma significativa. A elevação do índice pluviométrico nas áreas de evaporação solar reduz sua produção, em contraposição, um inverno menos rigoroso no hemisfério norte impacta a demanda por sal destinado ao descongelamento de estradas.

4. PRODUÇÃO

Produção Doméstica e Mundial de Sal

Na Tabela 3 ilustram-se a produção nacional e os principais produtores mundiais de sal. Dados atualizados da produção mundial de 2005 mostram que a China ultrapassou os Estados Unidos, tornando-se o maior produtor mundial em 2005 e 2006. Este crescimento se deve à elevação da demanda doméstica dos setores de cloro/soda e barrilha, estimando-se que em 2010 atinja 70 milhões de toneladas, pelas mesmas razões. Acrescentam-se também as exportações chinesas de barrilha para a Ásia.

Há um número elevado de novos projetos e expansões na Austrália com a perspectiva de elevar a produção em 3,5 milhões de t/ano, visando atender à crescente demanda da Ásia. A Austrália lidera, no mundo, a produção de sal de evaporação solar, em função das características climáticas daquele país. Os recursos mundiais de sal são imensuráveis e os oceanos contêm reservas de grande expressão. Os nos quais, as condições climáticas impossibilitam a extração, por evaporação solar, possui depósitos de sal gema subterrânea que atendem suas necessidades domésticas e chegam a possibilitar exportação.

Tabela 3 – Reservas e produção nacional, inclusive os principais produtores mundiais de sal.

Produção Nacional de Sal						
Substâncias	Unidade da Federação	Reserva Medida(t)	Produção (t)			
			2005	2006	2007	
Salgema	Alagoas	106.008.009	855.934	879.874	876.972	
	Bahia	505.322.066	703.050	743.625	772.264	
Sal Marinho		611.330.075	1.558.984	1.623.499	1.649.236	
	Ceará		69.000	74.000	69.600	
	Piauí		15.000	10.000	8.000	
	Rio de Janeiro		91.135	120.000	221.250	
	Rio Grande do Norte		5.344.483	4.918.197	5.066.241	
Total de Sal			5.519.618	5.122.197	5.365.091	
			7.078.602	6.745.696	7.014.327	
Principais Produtores Mundiais de Sal						
Países	Produção de Sal (1.000 t)					(%)
	2003	2004	2005	2006	2007	
China	32.400	37.100	44.550	54.030	56.000	22,44%
EUA	43.700	46.500	45.100	44.300	43.800	17,55%
Alemanha	15.700	16.000	18.672	17.480	18.000	7,21%
Índia	15.000	15.000	15.503	15.500	15.500	6,21%
Canadá	13.300	14.100	14.500	15.000	15.000	6,01%
Austrália	9.800	11.200	12.384	12.000	12.400	4,97%
México	8.000	8.200	9.242	8.171	8.200	3,29%
Reino Unido	5.800	5.800	5.800	8.000	8.000	3,21%
Brasil	6.100	6.500	7.079	6.746	7.014	2,92%
França	7.000	7.000	7.079	6.746	7.014	2,80%
Chile	4.600	6.000	4.940	6.000	6.100	2,44%
Países Baixos	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	2,00%
Polônia	1.500	1.500	5.000	5.000	5.000	2,00%
Espanha	3.200	3.200	3.200	3.850	3.900	1,56%
Ucrânia	2.300	2.300	2.300	3.500	3.500	1,40%
Itália	3.600	3.600	3.600	3.000	3.000	1,20%
Rússia	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	1,12%
Romênia	2.400	2.450	2.445	2.445	2.500	1,00%
Egito	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	0,96%
Turquia	2.200	2.250	2.200	2.200	2.200	0,88%
Irã	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0,80%
Outros Países	21.200	7.100	22.281	24.594	20.286	8,01%
Total	210.000	208.000	238.000	251.000	250.000	100,00%

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – 2007 (DNPM); consulta a produtores.

5. USOS E FUNÇÕES

O sal é um componente essencial em nossas vidas diárias, com mais de 14.000 usos conhecidos. Muitos destes usos derivam das propriedades químicas do sódio e do cloro e dos seus papéis essenciais na nutrição humana e animal, como também muitos outros usos comuns, porém, igualmente importantes.

O sal é um produto multiuso, em decorrência das propriedades do sódio e do cloro, além de ser uma substância essencial à nutrição humana e animal, inclusive outros mais comuns. Desse modo são conhecidos cerca de 14.000 usos do sal.

Indústria Química

Desde a invenção do processo de eletrólise, no final do século 19, o sal tornou essencial à indústria química, a qual é a maior consumidora de sal, principalmente, na indústria de cloro e soda. Estes dois elementos químicos são essenciais em muitos processos de geração de produtos de consumo, tais como:

- (i) cloreto de polivinila (PVC), um termoplástico que utiliza cloro e eteno;
- (ii) a soda cáustica na obtenção de polpa de celulose e no beneficiamento da bauxita para obtenção da alumina (processo Bayer).

Para um consumo de 1,46 t de sal no processo de eletrólise são produzidas 0,88 t de cloro e 1,00 t de soda cáustica. Praticamente metade da produção mundial de sal se destina ao suprimento desta atividade.

O sal é usado como a matéria-prima básica na fabricação de cloro, porque é uma fonte barata e extensamente disponível de íons cloreto. Para produção de soda, o sal é a principal fonte de íons sódio. Quase todo cloro doméstico e soda produzidos são obtidos com base na eletrólise da salmoura, usando-se uma das três tecnologias mundialmente conhecidas: diafragma, mercúrio e membrana. Uma pequena parte da produção de cloro e soda é obtida como subproduto na fabricação de magnésio e sódio metálico. O processo eletrolítico decompõe o cloreto de sódio e água formando o cloro, soda cáustica e hidrogênio. O gás cloro se forma no ânodo, enquanto no cátodo a água é decomposta para formar o hidrogênio e os íons hidroxila, que se

combinação com os íons sódio, obtendo-se o hidróxido de sódio (soda cáustica), conforme a representação esquemática da Figura 4.

A sua segunda maior utilização do sal é na indústria química é na fabricação de carbonato de sódio Na_2CO_3 , a barrilha sintética, sendo a trona o mineral que tem esta composição. O sal também é usado na produção de:

- (i) clorato de sódio, pela eletrólise de uma salmoura acidificada que usa ácido clorídrico ajustada a um pH de 6,5;
- (ii) sódio metálico, pela eletrólise de uma mistura salina que contém 33,2% de cloreto de sódio e 66,8% de cloreto de cálcio que são adicionados para reduzir a temperatura de fusão do sal.

Na fabricação do sabão em pó e detergentes, o sal é utilizado como agente de carga e um coagulante para dispersão coloidal após a saponificação. Na indústria farmacêutica, o sal é um reagente químico e é usado como eletrólito em soluções salinas. Também é usado com ácido sulfúrico para produzir sulfato de sódio e ácido clorídrico.

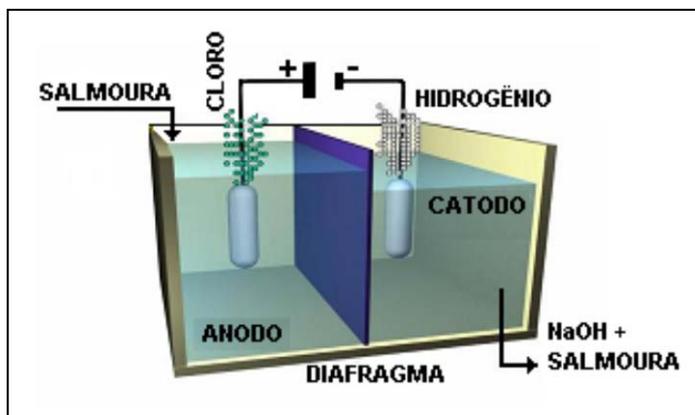


Figura 14 – Representação esquemática de uma célula eletrolítica (Cortesia Braskem).

Indústria Alimentícia

Praticamente todas as pessoas utilizam alguma quantidade de sal em seus alimentos, todavia o consumo humano do sal corresponde cerca de 4% do total produzido. O sal é acrescentado ao alimento, tanto pelo produtor como pelo consumidor, como um enaltecedor do sabor, conservante, aditivo controlador

da fermentação, agente controlador da textura e fomentador da cor. Em ordem decrescente de consumo de sal, pode-se classificar o mercado consumidor na área de alimentos:

- (i) indústria frigorífica, onde o sal é acrescentado às carnes processadas para promover desenvolvimento da cor em toucinhos, presuntos e outros produtos derivados de carnes processadas. Como um conservante, o sal inibe o crescimento de bactérias que conduziriam ao desperdício do alimento;
- (ii) indústria de laticínios, onde é acrescentado sal ao queijo como um agente controlador da cor, fermentação e textura, incluindo os fabricantes de manteiga, margarina, leite condensado, creme de leite, sobremesas congeladas, sorvetes e outros produtos especiais;
- (iii) indústria de enlatados, o sal é adicionado principalmente como um enaltecedor e conservante do sabor, além de ser usado como um portador para outros ingredientes, agente desidratante e inibidor de enzimas;
- (iv) indústria da panificação, onde é adicionado sal para controlar a taxa de fermentação na massa de pão, para fortalecer o glúten (um complexo protéico em certas massas) e como um enaltecedor de sabor.

Indústrias em Geral

Há ainda diversos outros usos para o sal nas indústrias em geral. Entre esses, podemos destacar em ordem decrescente de importância:

- (i) na pesquisa de petróleo e gás, para flocular e aumentar a densidade do fluido de perfuração;
- (ii) na indústria têxtil, usado para precipitar os corantes e separar os contaminantes orgânicos e para padronizar as estamparias;
- (iii) no processamento de metais é usado na concentração do urânio para formar o óxido de urânio (yellow cake), inclusive no beneficiamento do alumínio, berílio, cobre, aço e vanádio;
- (iv) na indústria de papel e celulose é usado para alvejar a polpa da madeira e na produção de clorato de sódio, o qual, com ácido sulfúrico e água, produz o dióxido de cloro;

- (v) na indústria de tinturaria e tratamento de couros, o sal é acrescentado às peles animais para inibir atividade microbiana no lado inferior das peles e para atrair a umidade de volta às peles;
- (vi) na indústria de borracha é utilizado na fabricação de borracha sintética, neopreno e outros tipos de borrachas brancas;
- (vii) na indústria petroquímica, com outros usos de menor importância.

Agricultura

Como suplemento alimentar na pecuária, ao qual se adicionam outros elementos essenciais, tais como enxofre, selênio etc., sendo comercializado em granel ou em forma de blocos, fornecendo suplementação alimentar que não é encontrada no pasto e que é importante para uma nutrição apropriada.

Tratamento de Água

Para redução da dureza das águas contendo cálcio e magnésio em excesso, os quais contribuem para a redução do diâmetro dos dutos residenciais e equipamentos industriais, devido à acumulação destes elementos. O uso do sal em unidades de tratamento visa à regeneração de resinas de troca iônica que atuam de forma a remover os íons que causam tais problemas.

Outros Usos

Praticamente depois da indústria química, a segunda maior utilização do sal no hemisfério norte é no descongelamento das vias para promover acessibilidade das rodovias, tendo sido utilizado por várias décadas para este propósito. Gabriel Daniel Fahrenheit descobriu que o sal misturado ao gelo, em uma temperatura ambiente abaixo de zero, gera uma solução líquida cuja temperatura está bem abaixo do ponto de congelamento da água.

No mundo, são produzidas, aproximadamente, 250 milhões de toneladas de sal por ano, das quais 130 milhões de toneladas são processadas, transformando-se em produtos químicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUGHTON, L. D. - Solution Mining Well - completion Services and Techniques - SME Mining Engineer Handbook, vol. II, - New York, 1973.
- BRAITSCH, O. - Salt Deposits their Origin and Composition - Edited by W. von Engelhardt, Tübingen, T. Hahn, Aachen R. Roy, University Park, Pa. J. W. Winchester, Tallahassee, Fla. - P. J. Wyllie, Chicago, Ill, 1971.
- CÂMARA, C. A. L. - Produção de Sal por Evaporação Solar - Operação e Dimensionamento de Salinas - 1999.
- DIAS, G. H., ARAÚJO, G. A. - A Importância da Indústria Salineira para o Município de Areia Branca - RN - Gov.do Estado do Rio Grande do Norte, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - Mossoró, 2005.
- FELDMAN, Susan R. - Industrial Minerals and Rocks - Salt - Commodities, Markets and Uses - Society Mining Engineer - SME, 2006.
- GEERTMAN, R. M. (Editor) - 8th World Salt Symposium vol. 1 and 2, First Edition, (2000) Edited by Rob M.Geertman - Elsevier, 2000.
- KAUFMANN, D. W. - Sodium Chloride - Edited by Dale W.Kaufmann, - Hafner Publishing Company, New York,- 1971
- KOSTICK D. S. - Salt , Minerals Yearbook 2005, US Geological Survey, 2005.
- LEFOND. Stanley J., Charles H. JACOBY, C. H. - Industrial Minerals and Rocks - Salt 4th Edition, - Stanley J. Lefond, editor,. AIME, 1975.
- NORSAL, www.norsal.com.br , acessado em junho/2008.
- QUERIO, C.W. - Application of Turbulence in Solution Mining - Clorine Bicentennial Symposium, Edited by Thomas C. Jeffrey and Peter A. Dana, 1974, p. 74-85.
- RICHNER D. R., SHOCK, D. A. Shock, AHLNESS, J. K. Ahlness, TWEETON, D. R. Tweeton. LARSON, W. C. Larson, Millenacker, D. J. Millenacker, and SCHMIDT, R. D. - , Schmidt, Solution Mining. In: Situ Techniques, SME Min. Engr. Handbook, 2nd Ed., vol. 2, (1992).

SALINA DIAMANTE BRANCO, www.salbrasil.com.br, acessado em junho de 2008.

SALINOR, www.salinor.com.br, acessado em junho de 2008.

SALT INSTITUTE, Solution Mining /Sea Salt/Rock Salt/Evaporated - www.saltinstitute.org - acessado em maio/may 2008.

SCHMITTINGER P.; FLORKIEWICZ, T.; CURLIN, L. C.; LUKE, B.; SCANNELL, R.; NAVIN, T.; ZELFEL, E.; BARTSCH, R. -; Chlorine; Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition, 1999.

SLEZAK, M. - Techniques in The Development of Salt Caverns for Multiple Use - Chlorine Bicentennial Symposium, edited by Thomas C. Jeffery and Peter A. Dana, 1974, p. 63-73.

U. S. Geological Survey, - 2007, Mineral Commodity Summaries 2007: U.S. Geological Survey, 2007.

U. S. Geological Survey - 2006, Mineral Yearbook 2006: U.S. Geological Survey, 2006.

WIKIPEDIA - Halite - www.wikipedia.org, acessado em junho de 2008.