

SECRETARIA DA COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR
COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR
CONVÊNIO SECIRM - CPRM

PROJETO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

POTENCIAL E PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA DOS
DOMOS SALINOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL
DO ESPÍRITO SANTO E SUL DA BAHIA

RELATÓRIO FINAL

VOLUME I

TEXTO

I-96

CPRM - DIDOTE	
ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	<i>1721</i>
N.º de Volumes:	<i>2</i> V: <i>1-5</i>
<i>phl 009990</i>	



CPRM

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA MINERAL - DECON

1984

PROJETO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

POTENCIAL E PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA DOS
DOMOS SALINOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL
DO ESPÍRITO SANTO E SUL DA BAHIA

Equipe Executora

Econ. Eliana Ferreira Firme ✓

Econ. Heider Cunha Lemos ✓

Eng^o Minas Edward Pinto Lima ✓

Geol. Maria Glícia da Nóbrega Coutinho ✓

Coordenação

Econ. Eliana Ferreira Firme ✓

Geol. Maria Glícia da Nóbrega Coutinho

Supervisão

Geol. José Guedes de Andrade ✓

PROJETO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

**POTENCIAL E PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA DOS
DOMOS SALINOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL
DO ESPÍRITO SANTO E SUL DA BAHIA**

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICE DOS VOLUMES

**VOLUME I - TEXTO
VOLUME II - ANEXOS**

APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta os resultados obtidos em decorrência dos estudos realizados visando à determinação do potencial de sal-gema contido nos domos salinos existentes na plataforma continental do Espírito Santo e ao sul da Bahia e à definição da pré-viabilidade econômica desses depósitos minerais.

A sequência dos estudos, visando a atingir o objetivo colimado, obedeceu ao seguinte esquema:

- I - Geologia da Área e Cálculo da Reserva
- II - Estudo do Mercado de Sal
- III - Estudo Preliminar de Lavra e Aproveitamento Industrial
- IV - Análise de Pré-Viabilidade Econômica

O projeto foi executado de acordo com o estabelecido no Convênio 070/023/83, de 12 de maio de 1983, firmado entre a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM e a Comissão Intermunicipal para os Recursos do Mar - CIRM, através de sua Secretaria Geral - SECIRM.

Os resultados estão reunidos em 2 volumes. O Volume I é constituído de texto e figuras e o Volume II - Anexos, contém os mapas e as figuras do estudo de geologia, os quais, por suas características, não caberiam no corpo do trabalho.

S U M Á R I O

APRESENTAÇÃO	v
RESUMO	xvii
I - GEOLOGIA DA ÁREA E CÁLCULO DA RESERVA	
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	01
1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA	01
1.2 - MÉTODO DE TRABALHO	01
2 - <u>ASPECTOS GEOLÓGICOS</u>	03
2.1 - HISTÓRICO	03
2.2 - EVOLUÇÃO TECTONO-GEOLÓGICA	04
3 - <u>MECANISMO DE FORMAÇÃO DE DOMOS DE SAL</u>	06
4 - <u>OS DOMOS DE SAL DA ÁREA</u>	07
4.1 - GENERALIDADES	07
4.2 - MECANISMO DE FORMAÇÃO	09
4.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO	10
4.4 - CONFIGURAÇÃO	10
4.5 - COMPOSIÇÃO	11
4.5.1 - <u>Núcleo do Sal</u>	11
4.5.2 - <u>Rocha Capa</u>	12
4.6 - PROVÍNCIAS SALÍFERAS	13
5 - <u>CÁLCULO DA RESERVA</u>	18
II - ESTUDO DO MERCADO DE SAL	
1 - <u>CARACTERIZAÇÃO</u>	20
2 - <u>ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO</u>	21

3 - <u>CAMPOS DE APLICAÇÃO</u>	22
3.1 - APLICAÇÕES COMO BEM DE CONSUMO FINAL	22
3.2 - APLICAÇÕES COMO BEM DE CONSUMO INTERMEDIÁRIO	23
3.2.1 - <u>Fabricação de Cloro e Soda Cáustica</u>	24
3.2.2 - <u>Fabricação de Barrilha</u>	25
4 - <u>RESERVAS</u>	25
4.1 - RESERVAS MUNDIAIS	25
4.2 - RESERVAS NACIONAIS	26
5 - <u>MERCADO</u>	28
5.1 - MERCADO INTERNACIONAL	28
5.2 - MERCADO INTERNO	29
5.2.1 - <u>Caracterização do Mercado Produtor</u>	29
5.2.2 - <u>Evolução da Produção</u>	34
5.2.3 - <u>Estrutura e Evolução do Mercado Con-</u> <u>midor</u>	37
5.2.4 - <u>Preços</u>	49
5.2.5 - <u>Transporte</u>	49
5.3 - COMÉRCIO EXTERIOR	54
6 - <u>PROJEÇÕES</u>	57
6.1 - PROJEÇÃO DO CONSUMO	57
6.1.1 - <u>Alimentação Humana</u>	58
6.1.2 - <u>Pecuária</u>	59
6.1.3 - <u>Indústria Química</u>	60
6.1.4 - <u>Demais Setores Industriais</u>	65
6.1.5 - <u>Total</u>	65
6.2 - PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO	65
7 - <u>BALANÇO PRODUÇÃO-CONSUMO DE SAL</u>	69

III - ESTUDO PRELIMINAR DE LAVRA E APROVEITAMENTO INDUSTRIAL

1 - <u>HISTÓRICO</u>	71.
2 - <u>MÉTODOS DE LAVRA</u>	72
2.1 - MINERAÇÃO POR DISSOLUÇÃO	73.
2.1.1 - <u>Sistemas de Extração Através de Poço Isolado</u>	74.
2.1.1.1 - Injeção pelo Topo (Circulação Inversa)	74.
2.1.1.2 - Injeção pela Base (Circulação Direta)	77.
2.1.1.3 - Método Trump	79.
2.1.1.4 - Injeção pela Base (Anular)	81.
2.1.1.5 - Circulação Mista	81.
2.2 - PRODUÇÃO DE SALMOURA EM GALERIA	81.
2.2.1 - <u>Coalescência de Poços</u>	83.
2.2.2 - <u>Galerias entre Poços</u>	85.
2.3 - PERFURAÇÃO DIRECIONAL	89.
3 - <u>MECANISMO DE DISSOLUÇÃO DO SAL</u>	91.
3.1 - ANÁLISE MATEMÁTICA	92.
4 - <u>SELEÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA</u>	93.
4.1 - CARACTERÍSTICAS DOS DOMOS SALINOS DE PLATAFORMA CONTINENTAL AO SUL DA BAHIA E ESPÍRITO SANTO	97.
4.2 - O MÉTODO DE LAVRA	98.
4.2.1 - <u>Descrição de um Programa de Perfuração</u>	99.
4.2.2 - <u>Produção</u>	101.
4.2.2.1 - Dimensão da Cavidade Final	103.
4.2.2.2 - Densidade do Sal e da Salmoura - Grau de Solubilidade.	103.

4.2.2.3 - Produção por Poço	103
4.2.2.4 - Vida Útil de cada Poço e Coeficiente de Recuperação	104
4.2.2.5 - Necessidades de Água e Energia	105
4.2.2.6 - Transporte de Salmoura e Água	106
4.3 - PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO E REFINO DA SALMOURA	107
4.3.1 - <u>Salmoura do Mar</u>	107
4.3.2 - <u>Salmoura dos Depósitos Geológicos</u>	107
5 - <u>OBTENÇÃO DE SAL POR EVAPORAÇÃO DA SALMOURA</u>	111
5.1 - PURIFICAÇÃO DA SALMOURA	111
5.2 - EVAPORAÇÃO DA SALMOURA	112
5.2.1 - <u>Evaporação Solar</u>	112
5.2.2 - <u>Evaporação por Múltiplo-Efeito</u>	113
5.2.3 - <u>Evaporação por Termo-Compressão</u>	115
6 - <u>OBTENÇÃO DE SODA CÁUSTICA/CLORO</u>	117
6.1 - ELETRÓLISE POR CÉLULA DE MERCÚRIO	117
6.2 - ELETRÓLISE POR CÉLULA DE DIAFRAGMA	118
6.3 - TRATAMENTO E USOS DOS PRODUTOS OBTIDOS NA ELETRÓLISE DO SAL	120
6.3.1 - <u>Cloro</u>	120
6.3.2 - <u>Hidrogênio</u>	120
6.3.3 - <u>Solução Cáustica</u>	120
7 - <u>INVESTIMENTOS</u>	122
7.1 - EXTRAÇÃO DE SALMOURA	122
7.2 - TRANSPORTE	123
7.2.1 - <u>Pessoal de Apoio</u>	123
7.2.2 - <u>Salmoura</u>	123

7.3 - USINA DE PURIFICAÇÃO E EVAPORAÇÃO DO SAL	125
7.4 - CUSTO FINAL DE PRODUÇÃO DO SAL PURIFICADO E EVAPORADO	127
8 - <u>INVESTIMENTO E CUSTOS DE PRODUÇÃO DE SODA CÁUSTICA/CLORO</u>	128
IV - ANÁLISE DE PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA	
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	130
2 - <u>PRODUÇÃO DE SAL-GEMA COMO PRODUTO FINAL</u>	131
3 - <u>PRODUÇÃO DE SODA-CLORO COM UMA PLANTA INTEGRADA A PARTIR DA EXTRAÇÃO DO SAL-GEMA</u>	132
CONCLUSÕES	142
RECOMENDAÇÕES	144
BIBLIOGRAFIA	145

RELAÇÃO DAS TABELAS

- Tabela I - PROVÍNCIA DA ÁREA DA FÓZ DO RIO DOCE
- Tabela II - PROVÍNCIA DA ÁREA DA FÓZ DE BARRA NOVA
- Tabela III - PROVÍNCIA DA ÁREA DE ABROLHOS NORTE
- Tabela IV - PROVÍNCIA DA ÁREA DE MUCURI
- Tabela V - RESERVAS BRASILEIRAS DE SAL-GEMA - 1982
- Tabela VI - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1983
- Tabela VII - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL -
1970/83
- Tabela VIII - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE SAL - 1970/83
- Tabela IX - ESTIMATIVA DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À
PECUÁRIA E CORRELATOS - 1973/83
- Tabela X - ESTIMATIVA DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À
ALIMENTAÇÃO HUMANA - 1970/83
- Tabela XI - ÍNDICES DE EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE SAL NO
BRASIL, POR SETORES
- Tabela XII - ESTOQUES DE SAL MARINHO - 1972/83
- Tabela XIII - EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DO SAL
- Tabela XIV - EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1970/83
- Tabela XV - IMPORTAÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1970/83
- Tabela XVI - PROJEÇÃO DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À
ALIMENTAÇÃO HUMANA - 1984/86
- Tabela XVII - PROJEÇÃO DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À
PECUÁRIA - 1984/86

- Tabela XVIII - EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE SODA CÁUSTICA E BARRILHA - 1983/86
- Tabela XIX - PROJEÇÃO DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À INDÚSTRIA QUÍMICA - 1984/86
- Tabela XX - PREVISÃO DO CONSUMO DE SAL, POR REGIÕES, PELA INDÚSTRIA QUÍMICA - 1984/86
- Tabela XXI - PROJEÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE SAL - 1984/86
- Tabela XXII - PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DE SAL - 1984/86
- Tabela XXIII - BALANÇO PRODUÇÃO-CONSUMO DE SAL - 1984/86
- Tabela XXIV - TEORES MÉDIOS, EM PERCENTAGENS DE SAIS, DOS INTERVALOS TESTEMUNHADOS NO POÇO 9-CPRM-1-ESS
- Tabela XXV - QUANTIDADES DE REAGENTES PARA TRATAMENTO DA SALMOURA
- Tabela XXVI - INVESTIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE SAL-GEMA
- Tabela XXVII - CUSTOS E PREÇOS DE SAL-GEMA
- Tabela XXVIII - FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SAL-GEMA
- Tabela XXIX - INVESTIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO
- Tabela XXX - CUSTOS E PREÇOS DE SODA-CLORO
- Tabela XXXI - FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO (BÁSICO)
- Tabela XXXII - FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO - HIPÓTESE DE REDUÇÃO DE 10% DOS INVESTIMENTOS
- Tabela XXXIII - FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO - HIPÓTESE DE REDUÇÃO DE 10% NOS CUSTOS OPERACIONAIS

RELAÇÃO DE FIGURAS

Volume II - Anexos

- Fig. 1 - POSICIONAMENTO DOS DOMOS DE SAL E SEÇÕES SÍSMICAS UTILIZADAS
- Fig. 2 - MAPA BOUGUER - PLATAFORMA CONTINENTAL - TRECHO CA RAVELAS/VITÓRIA
- Fig. 3 - ARCABOUÇO ESTRUTURAL BACIA DO ESPÍRITO SANTO
- Fig. 4 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DO MECANISMO DE FORMAÇÃO DOS DOMOS DA ÁREA
- Fig. 5 - MAPA ESTRUTURAL SÍSMICO DO HORIZONTE DOS REFLETO- RES RASOS DO TERCIÁRIO
- Fig. 6 - MAPA ESTRUTURAL SÍSMICO DOS DOMOS DE SAL DA FOZ DO RIO DOCE - HORIZONTE DAS AREIAS OLIGOCÊNICAS
- Fig. 7 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA FOZ DO RIO DOCE - DOMO YEMANJÁ
- Fig. 8 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA FOZ DO RIO DOCE - DOMO JANAÍNA
- Fig. 9 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA FOZ DO RIO DOCE - DOMOS MUCUNÃ
- Fig. 10 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA FOZ DO RIO DOCE - DOMO SUL DO RIO DOCE
- Fig. 11 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA ABROLHOS NORTE - DOMO ABROLHOS NORTE
- Fig. 12 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA BARRA NO VA - DOMO BARRA NOVA 2
- Fig. 13 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA BARRA NO VA - DOMO BARRA NOVA 4
- Fig. 14 - MAPA ESTRUTURAL - TOPO DO SAL - ÁREA BARRA NO VA - DOMO BARRA NOVA 5
- Fig. 15 - LINHA SÍSMICA 34-RL-542 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE

- Fig. 16 - LINHA SÍSMICA 34-RL-536 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 17 - LINHA SÍSMICA 34-RL-535 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 18 - LINHA SÍSMICA 34-RL-534 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 19 - LINHA SÍSMICA 34-RL-533 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 20 - LINHA SÍSMICA 34-RL-515 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 21 - LINHA SÍSMICA 34-RL-518 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 22 - LINHA SÍSMICA 34-RL-513 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 23 - LINHA SÍSMICA 34-RL-511 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 24 - LINHA SÍSMICA 34-RL- 65 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 25 - LINHA SÍSMICA 34-RL- 63 - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 26 - LINHA SÍSMICA 38-RL-170 A - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 27 - LINHA SÍSMICA 28-RL-239 - ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 28 - LINHA SÍSMICA 38-RL-164 - ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 29 - LINHA SÍSMICA 38-RL-166 - ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 30 - LINHA SÍSMICA 38-RL-165 - ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 31 - LINHA SÍSMICA 28-RL- 25 - ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 32 - LINHA SÍSMICA 28-RL- 19 - ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 33 - LINHA SÍSMICA 28-RL-231 II - ÁREA MUCURI
- Fig. 34 - LINHA SÍSMICA 28-RL-230 - ÁREA MUCURI
- Fig. 35 - LINHA SÍSMICA 28-RL-256 - ÁREA MUCURI
- Fig. 36 - LINHA SÍSMICA 28-RL- 38 - ÁREA MUCURI
- Fig. 37 - LINHA SÍSMICA 28-RL- 9 - ÁREA MUCURI
- Fig. 38 - LINHA SÍSMICA 28-RL-215 - ÁREA ABROLHOS NORTE
- Fig. 39 - LINHA SÍSMICA 28-RL-212 - ÁREA ABROLHOS NORTE

- Fig. 40 - LINHA SÍSMICA 28-RL-61 - ÁREA ABROLHOS NORTE
- Fig. 41 - LINHA SÍSMICA 28-RL-60 - ÁREA ABROLHOS NORTE
- Fig. 42 - LINHA SÍSMICA 28-RL-54 - ÁREA ABROLHOS NORTE
- Fig. 43 - SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA - ÁREA FOZ DO RIO DOCE/ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 44 - SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA - ÁREA FOZ DO RIO DOCE
- Fig. 45 - SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA - ÁREA BARRA NOVA
- Fig. 46 - PERFIL COMPOSTO POÇO 9-CPRM-1-ESS
- Fig. 47 - PERFIL COMPOSTO - POÇO 9-CPRM-1-ESS

Volume I

- Fig. 48 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1983
- Fig. 49 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1970/83
- Fig. 50 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE SAL - 1970/83
- Fig. 51 - CONSUMO INTERNO DE SAL - 1983
- Fig. 52 - INJEÇÃO PELO TOPO
- Fig. 53 - INJEÇÃO PELA BASE (Circulação direta)
- Fig. 54 - MÉTODO TRUMP
- Fig. 55 - INJEÇÃO PELA BASE (Anular)
- Fig. 56 - COALESCÊNCIA ENTRE POÇOS
- Fig. 57 - EXTRAÇÃO DE SALMOURA POR GALERIA - FRATURAMENTO
- Fig. 58 - GRÁFICO DE PRESSÃO DE UMA OPERAÇÃO TÍPICA DE FRATURAMENTO HIDRÁULICO
- Fig. 59 - PERFURAÇÃO DIRECIONAL

Fig. 60 - SUGESTÃO DE PROGRAMA DE PERFURAÇÃO

Fig. 61 - EVAPORADOR DE MÚLTIPLO EFEITO

Fig. 62 - EVAPORADOR COM TERMO COMPRESSOR

Fig. 63 - GRÁFICO DE VARIAÇÕES DO CUSTO UNITÁRIO MÁXIMO DE PRODUÇÃO EM RELAÇÃO ÀS VARIAÇÕES NA TAXA MÍNIMA DE RETORNO

Fig. 64 - GRÁFICO DE VARIAÇÕES DO VPL EM RELAÇÃO ÀS VARIAÇÕES NAS TAXAS DE DESCONTO

RESUMO

Objetivando avaliar o potencial de sal-gema nos domos salinos existentes na plataforma continental do Espírito Santo e da Bahia, e definir a pré-viabilidade econômica de seu aproveitamento, foi executado o Projeto Estudo de Viabilidade Econômica para Exploração do Sal-Gema, que constou dos estudos de Geologia, Mercado, Lavra e Pré-Viabilidade Econômica.

Os estudos de geologia permitiram reconhecer a existência de 21 domos salinos, aflorantes e sub-aflorantes, distribuídos em quatro províncias - Foz do Rio Doce (7), Barra Nova (7), Abrolhos Norte (3) e Mucuri (4) - situados a distâncias entre 25 a 70 km da costa. Foi calculada a reserva medida apenas para o domo 9-CPRM-1-ESS, na área Barra Nova, resultando em 20,6 bilhões de toneladas de halita. Os recursos potenciais em halita, para os 21 domos, foram estimados em 412 bilhões de toneladas. Na área da Foz do Rio Doce foi identificada a presença de rocha-capá e nesta área os domos Yemanjá e Janaína apresentaram-se altamente favoráveis à pesquisa de enxofre.

A análise de mercado identificou que a produção interna de sal - da ordem de 4,2 milhões de toneladas em 1983 - está altamente concentrada na Região Nordeste, que responde por 92% do total produzido. Deste total, 3,2 milhões de toneladas corresponde à produção de sal marinho, destacando-se o estado do Rio Grande do Norte com uma parcela de, aproximadamente, 81%. A produção de sal-gema, em torno de 1 milhão de toneladas, restringe-se aos estados de Alagoas e Bahia; o sal-gema é produzido em quantidades estritamente necessárias para atender às necessidades da Indústria Químicas S.A. e da Dow Química S.A., na produção de soda-cloro.

O consumo setorial de sal do País, que atingiu 3,8 milhões de toneladas em 1983, obedeceu à seguinte distribuição: indústria química (55%) - utilizado basicamente na produção de soda-cloro e barrilha; outros segmentos industriais (11%); pecuária e correlatos (24%); e alimentação humana (10%).

O balanceamento histórico entre a produção e o consumo interno de sal mostrou que o País, durante o período analisado, foi autosuficiente, com a produção suprindo as necessidades de consumo, assim como a manutenção, desde 1980, de um nível de estoque de 2,5 milhões de toneladas anuais.

As projeções efetuadas - levando-se em consideração, principalmente, a evolução da capacidade produtiva de soda cáustica/cloro e de barrilha - conduziram a um consumo estimado em torno de 4,2 milhões de toneladas de sal em 1986, que poderá atingir cerca de 5,0 milhões de toneladas no final da década, se entrarem em produção os projetos, já aprovados, da Salgema Industriais Químicas S. A. - de 250 mil para 500 mil t/a de soda cáustica - e da ALCANORTE - de 200 mil t/a de barrilha.

Quanto à produção, a capacidade produtiva de sal marinho é mais que suficiente para atender às necessidades de consumo, para muito além do horizonte previsto. Segundo dados da SUDENE somente o Rio Grande do Norte tem condições de produzir 9 milhões de toneladas anuais de sal marinho.

No referente à tecnologia indicada para a extração do sal-gema dos domos, o estudo de engenharia optou pelo sistema de injeção de água pelo topo. As razões desta escolha foram determinadas pelas características estruturais e estratigráficas dos referidos domos, as suas grandes espessuras, a simplicidade do processo e a maior produção de salmoura obtida, além de outros aspectos.

Com o objetivo de fornecer subsídios para a análise de pré-viabilidade econômica do empreendimento, foi elaborado um plano preliminar de lavra, para a produção de 600 mil toneladas anuais

de sal-gema, com uma vida útil convencionada em 20 anos. Os investimentos para a extração e transporte da salmoura até o local de evaporação e purificação do sal-gema, bem como os investimentos referentes as estas fases, foram estimados em US\$ 77,2 milhões e o custo industrial por tonelada de sal-gema evaporado e purificado em US\$ 50,50.

Em uma segunda hipótese, admitindo-se a utilização da salmoura em uma unidade produtora de soda/cloro - com uma capacidade produtiva de 270.000 t/a de soda cáustica e 240.000 t/a de cloro - os investimentos globais na extração, no transporte da salmoura e na planta de soda/cloro seriam da ordem de US\$ 300 milhões e o custo industrial de soda cáustica produzida alcançaria US\$ 247,50/t.

Na análise de pré-viabilidade econômica foram adotados dois enfoques: o primeiro considerando o sal-gema como produto final e o segundo considerando uma integração desde a extração do sal-gema até a fase da produção de soda-cloro.

No primeiro enfoque procurou-se determinar o custo unitário máximo de sal-gema evaporado que, dado o montante dos investimentos e o preço de venda do produto, possibilitasse um retorno mínimo de 15%. O resultando encontrado foi um custo de US\$ 4,64/t, inferior inclusive ao custo unitário de extração, estimado em US\$ 6,01/t.

No segundo enfoque, considerou-se um fluxo de caixa básico, montado a partir dos dados fornecidos pelos estudos de engenharia e de mercado, que resultou em uma taxa de retorno para o empreendimento de, apenas, 2,9%. Foi elaborada, também, uma análise de sensibilidade, por meio de dois fluxos de caixa adicionais, obtidos através de variações de menos 10% nos investimentos e nos custos do fluxo básico; as taxas de retorno encontradas foram de, respectivamente, 3,6% e 4,2%. Todos os resultados alcançados foram, portanto, sensivelmente inferiores à taxa de juros sem risco de 6,2%, correspondente ao rendimento real das cadernetas de poupança.

I - GEOLOGIA DA ÁREA E CÁLCULO DA RESERVA

1 - INTRODUÇÃO

O presente estudo apresenta uma síntese da evolução tectono-geológica, analisa os diversos aspectos relacionados ao mecanismo e evolução dos domos de sal, como também aborda o cálculo da reserva de sal-gema, na área em estudo.

1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA

A área pesquisada está situada na plataforma continental dos Estados do Espírito Santo e Sul da Bahia. Compreendendo, particularmente, as províncias da foz do Rio Doce, Barra Nova, Abrolhos Norte e Mucuri (Fig. 1 - Volume II) e está definida pelas seguintes coordenadas geográficas:

Longitude: 39°45' a 38°25'

Latitude : 17°20' a 19°40'

O acesso à área poderá ser feito partindo-se do porto da cidade de Regência - ES, na foz do Rio Doce e por helicóptero, rebocador ou lancha atinge-se à área, num percurso aproximado de 60 km.

1.2 - MÉTODO DE TRABALHO

Inicialmente, procedeu-se um levantamento bibliográfico dos relatórios técnicos sobre a geologia da área, como também foi consultada bibliografia específica sobre domos de sal.

O estudo geológico baseou-se, essencialmente, nos resultados da interpretação das seções sísmicas (PETROBRÁS/DIVEX), dados de perfis de poços (PETROBRÁS e CPRM) e análise de laboratório em testemunhos disponíveis (CPRM).

Na delimitação das paredes do domo, através das seções sísmicas, tomou-se, como ponto de controle, os truncamentos das

reflexões contínuas com a zona de ausência de reflexão, atribuída como sendo devido ao núcleo de sal.

As linhas sísmicas utilizadas e o posicionamento dos domos no mapa batimétrico da área, em estudo, estão representados na Fig. 1 - Volume II).

Mapas estruturais expeditos do topo do sal (Fig. 7 à 14 - Volume II), confeccionados a partir das seções sísmicas disponíveis, em geral, duas cruzando-se num mesmo domo, elaborados pela CPRM (Rocha, 1973), como também os mapas estruturais sísmicos da PETROBRÁS, do horizonte dos refletores rasos do Terciário (Saito & Reis, 1972), (Fig. 5 - Volume II) e do horizonte dos refletores das areias oligocênicas (Saito & Reis, 1972), (Fig. 6 - Volume II), serviram de guia para esse trabalho. Esses mapas, juntamente com as seções sísmicas (Fig. 15 à 42 - Volume II) permitiram conhecer a configuração dos domos e classificá-los quanto à profundidade, definir tipo de capeamento, como também, fornecer subsídios para o cálculo das reservas.

As seções estratigráficas (Fig. 43 à 45 - Volume II) confeccionadas a partir de dados de poços, perfis e paleontologia, possibilitaram fazer inferências com relação à evolução tectônica dos domos salinos da área. Além disso, mostra, ainda, a litoestratigrafia penetrada pelos domos ou próxima aos mesmos, a qual é de fundamental importância para subsidiar os estudos de aproveitamento desses domos.

Os resultados das análises de testemunhos de sal, obtidos no poço 9-CPRM-1-ESS (Fig. 46 - Volume II) e as informações indiretas dos perfis elétricos desse poço forneceram dados quanto à composição do núcleo de sal dos domos (Fig. 45 - Volume II).

2 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1 - HISTÓRICO

Os levantamentos geofísicos realizados na década de 60, pela PETROBRÁS, evidenciaram a presença de domos de sal na área da plataforma Sul da Bahia/Espírito Santo.

Edyr de Oliveira (1962), estudando os dados gravimétricos da área, interpretou algumas anomalias negativas devido à presença de domos de sal, conforme pode ser observado no mapa Bouguer de Fonseca, J.I. (1967), (Fig. 2 - Volume II). Posteriormente, a sísmica de reflexão evidenciou no local dessas anomalias, estruturas geológicas convexas para cima, semelhante a deformações holocinéticas. Somente em 1968, a perfuração I-ESS-1 (PETROBRÁS), atravessou o flanco de um domo, comprovando definitivamente a existência dessas estruturas na área.

Em 1971, a CPRM despertou interesse na área, para a pesquisa de enxofre, associado à rocha capa desses domos, bem como para conhecer a natureza do sal. Assim, foi perfurado o poço 9-CPRM-1-ESS, tendo atingido o topo do sal a 123 (-106) m, continuando com a perfuração até os 1.016 (-999) m de profundidade. Embora tenha atingido os objetivos, não foram constatados quaisquer indícios de enxofre nesse domo.

Considerações sobre a geologia da área como também os domos salinos, especificamente, compreendendo distribuição, forma, classificação, idade da camada-mãe de sal e tempo de migração, são abordados por Asmus, Gomes e Pereira (1971).

Rocha, J.M. (1973), analisa os diversos aspectos e procura avaliar as potencialidades de enxofre na rocha capa desses domos de sal. De acordo com os princípios que controlam esses depósitos, o autor seleciona os domos mais promissores para enxofre.

2.2 - EVOLUÇÃO TECTONO-GEOLÓGICA

Segundo Asmus et alii (1971), analogias estratigráficas e estruturais da Bacia do Espírito Santo com as demais bacias da margem continental brasileira e com as bacias da porção equatorial da margem atlântica africana, permitem pressupor uma gênese comum e processos evolutivos semelhantes.

Tal fato baseia-se no princípio que processos geotectônicos foram responsáveis pela separação de uma massa siálica primitiva através de uma megafatura a partir da qual teve origem o Oceano Atlântico Sul.

As bacias cretácicas/terciárias situadas num lado e no outro do Atlântico apresentam semelhanças sob o ponto de vista litológico (sal aptiano nas bacias africanas e em algumas bacias do setor leste da margem continental brasileira) paleontológico, como também a presença de linhas estruturais truncadas num continente e cuja continuidade é observada no outro continente.

Datações isotópicas de rochas pré-cambrianas possibilitaram a separação de províncias geocronológicas que se completam de um lado e outro do Atlântico Sul.

Observa-se um progressivo aumento de idades absolutas de rochas vulcânicas com o afastamento da cordilheira Mesoatlântica.

Num estágio pré-separação sob condições de relativa quietude tectônica desenvolviam-se bacias intracratônicas sem qualquer influência marinha, como aconteceu nas bacias do Recôncavo e Sergipe/Alagoas.

A circulação do manto por convecção térmica aceita como a força diastrófica fundamental, provocou uma intumescência alongada e de caráter regional, gerando esforços tensionais responsáveis pelo falhamento e colapso da crosta, formando no Cretáceo Inferior/pré-Aptiano, uma sucessão de grabens e meio grabens. As ba

cias resultantes foram preenchidas com sedimentos flúvio-lacustre, localmente sintectônicos, conforme se verifica na bacia do Espírito Santo.

Especificamente para o caso da Bacia do Espírito Santo, as fases evolutivas correspondentes, tiveram início no Eo-Aptiano com o nivelamento do terreno por erosão e entulhamento dos relevos resultantes do diastrofismo pré-Aptiano. A ingressão marinha que ocorreu nos terrenos assim aplainados, modificou o nível de equilíbrio dos rios, gerando um ambiente transicional. Desse ambiente resultou uma coluna sedimentar com diminuição gradativa de granulometria e crescente intercalações de sedimentos argilosos, os quais no topo se apresentam carbonatados e carbonosos, sugerindo um ambiente lagunar restrito que antecedeu a deposição evaporítica.

No Aptiano instalou-se o incipiente Atlântico Sul, semelhante a um golfo alongado e estreito, como acontece atualmente com o mar Vermelho (Asmus & Porto, 1970), responsável pelos depósitos salíferos (evaporitos), nas bacias da margem continental brasileira, desde a Plataforma de São Paulo até a Bacia Sergipe/Alagoas.

O Albiano pós-salífero é marcado pelo desaparecimento da fossa restritiva do mar, com a deposição de uma facies carbonatada que, na porção ocidental da bacia passa a uma facies clástica terrígena. Tal situação perdurou até o Santoniano.

No Cretáceo Superior (Campaniano-Maestrichtiano) ocorreu marcante transgressão marinha cuja sedimentação ultrapassou os limites da bacia com a formação de folhelhos nas partes mais profundas e areias nas áreas próximas à costa. A bacia foi submetida então a importantes atividades ígneas, principalmente ao longo da linha São Mateus-Abrolhos (Fig. 3 - Volume II)

No Terciário a bacia comportava-se como uma plataforma rasa e, talvez, como resultado das barreiras vulcânicas a leste,

sob condições que favoreciam a formação e deposição de calcários. Apenas na porção sul da bacia, o Rio Doce, então já existente, fornecia um regular suprimento de areia e argila que se distribuiu pela ação combinada do próprio rio e das correntes marinhas. Formou-se, então, um delta dominado pelas ondas. No restante da bacia, os repetidos movimentos basculatórios elevaram intermitentemente a porção continental com distribuição de clásticos terrígenos litorâneos ao longo de toda a costa.

O peso do intervalo, então considerável, acelerou os processos halocinéticos a partir do Paleoceno, responsáveis pela formação dos domos salinos.

A atividade vulcânica foi identificada principalmente no Paleoceno-Eoceno. Sedimentos que a sucederam, depositaram-se nas bordas dos altos ígneos com pronunciados acunhamentos.

A máxima regressão do Terciário efetuou-se no Oligoceno. Seguiu-se a transgressão miocênica, cujos depósitos, predominantemente carbonáticos, apresentam uma atitude subhorizontal, indicativa de sensível diminuição do basculamento da margem continental.

3 - MECANISMO DE FORMAÇÃO DE DOMOS DE SAL

Apesar de muitas teorias existentes sobre o mecanismo de formação de domos de sal, atualmente, a mais aceita, baseia-se nos princípios da mecânica de fluidos de Nettleton (1936, 1943), a qual postula que o crescimento de um domo é, essencialmente, o resultado de movimento de fluidos muito viscosos sob influência de forças de gravidade. Essa teoria baseia-se nos seguintes pontos:

- através do tempo geológico, o sal e os sedimentos assumem um comportamento semelhante a fluidos altamente viscosos;

- é necessário uma diferença negativa entre a densidade do sal e a densidade dos sedimentos de sobrecarga. Essa condição é atingida somente quando o sal está soterrado sob, pelo menos, 600 a 900 m. Halbouty e Hardim (1966), admitem que este ponto é atingido a partir de 530 m. A densidade do sal sendo mais baixa, cria uma força de flutuação que permite o fluxo ascendente. Em profundidades menores, o sal é mais denso que os sedimentos sobrejacentes e, conseqüentemente, existe uma diferença positiva de densidade entre o sal e a sobrecarga, impedindo-o de mover-se para cima. Nesse caso, a massa salina pode mover-se, contudo, horizontalmente;
- deve existir uma irregularidade na base ou no topo da camada-mãe de sal, para que se inicie o fluxo ascendente;
- o movimento ascendente só é iniciado por influência de algum movimento tectônico.

Halbouty e Hardim (1956) admitem as idéias gerais da teoria da mecânica dos fluidos de Nettleton, mas dão mais ênfase ao peso estático dos sedimentos sobrejacentes, como a força causadora da movimentação salina. Eles defendem que um impulso tectônico não é necessário para provocar o crescimento do domo.

4 - OS DOMOS DE SAL DA ÁREA

4.1 - GENERALIDADES

L. Mrazec, citado por Ghignone (1967), considera os domos de sal como manifestações de diapirismo. Conforme se observa na Fig. 1 - Volume II, cerca de vinte e uma dessas estruturas diapíricas dos tipos perfurantes raso e intermediário (Fig. 14 a 17 -

Volume II), são atualmente conhecidas na plataforma continental Bahia-Sul/Espírito Santo. Estão distribuídas pelas províncias da foz do Rio Doce (7 domos), Barra Nova (7 domos), Abrolhos Norte (3 domos) e Mucuri (4 domos). De acordo com informações de técnicos da PETROMISA, ocorrem, ainda, na área, domos profundos e almofadas que não serão assunto desse relatório.

Refletindo o reativamento do sistema de falhas pré-Aptiano, os domos de sal conhecidos na área alinham-se na direção preferencial N-S.

De acordo com o Mapa Bouguer da área (Fig. 2 - Volume II), observa-se que os domos ocorrem somente nas feições estruturais negativas, entretanto, nenhuma explicação definitiva foi estabelecida para o fato. Esta mesma situação ocorre nos domos da costa do Golfo, onde Hazzard et alii (1954) apresentam a seguinte explicação:

- nas áreas positivas teriam ocorrido "swells" de sal, que não atingiram o estágio de domo;
- em consequência do adelgaçamento das camadas de sal pelo efeito de halocinese, houve o escoamento mergulho abaixo;
- a erosão fez com que as áreas altas se tornassem mais leves e as baixas mais pesadas, acarretando um aumento da carga estática nas áreas baixas, favorecendo a ascensão do sal só nessas áreas.

Segundo Rocha, J. M. (1973) além dessas condições a ausência de sal nos blocos elevados deve-se:

- não houve deposição de sal nas áreas positivas, isto é, nas áreas elevadas;
- no caso contrário, considerando-se a deposição de sal nos blocos positivos, a erosão subsequente seria responsável pelo seu desaparecimento.

4.2 - MECANISMO DE FORMAÇÃO

Conforme abordado no item 3, observa-se que um ponto de divergência com relação ao mecanismo de formação de domos, está relacionado à força motora responsável pelo início de movimentação salina.

Segundo Asmus et alii (1971) a evolução tectono-geológica da área em estudo, sugere que a migração do sal da camada-mãe teve início a partir do Paleoceno. Uma espessa sobrecarga de sedimentos teria sido a força motora responsável pelo fluxo ascendente. Essa movimentação teria sido acelerada por esforços de compressão horizontal resultantes das atividades magmáticas atuantes na bacia, no tempo Cretáceo Superior-Eoceno Médio (Cordani, 1970).

Baseando-se nos conhecimentos atuais da bacia, Rocha, J. M. (1973), (Fig. 4 - Volume II) apresenta o mecanismo de formação dos domos, num esquema simplificado abrangendo as seguintes etapas:

- deposição da camada-mãe de sal, num estágio de restrição basinal durante o Albo-Aptiano;
- segue-se no Cretáceo Superior, a deposição de espesso pacote sedimentar, estando a bacia submetida também à marcante atividade magmática;
- em virtude do aumento da carga de sedimento rompe-se no Paleoceno o equilíbrio gravitacional e o sal começa a mover-se da camada-mãe. Concomitantemente, prossegue a atividade magmática até o Eoceno Médio, acelerando o processo ascensional da massa salífera;
- a movimentação prossegue com períodos de maior ou menor penetração, diferencialmente para cada domo, até atingir o estágio atual.

4.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO

As seções estratigráficas elaboradas por Rocha, J. M. (1973) (Fig. 43 à 45 - Volume II) analisadas em conjunto com dados de subsuperfície e com as seções sísmicas, na tentativa de identificar linhas de tempo, nos leva a tecer as seguintes considerações sobre a evolução dos domos de área:

- a partir do Paleoceno e, seguramente, no Eoceno, teve início o processo de halocinese, ou seja, o movimento de ascensão do sal para formar os domos;
- a taxa de crescimento dos domos não foi uniforme, movendo-se algumas vezes rapidamente e, em outras, permanecendo quase quiescente. Conforme se observa na Fig. 45 - Volume II, o domo perfurado pelo poço 9-CPRM-1-ESS, apresentou uma acentuada movimentação durante o Oligoceno, enquanto que no Mioceno Inferior essa taxa de crescimento é mínima, aumentando de novo posteriormente;
- o fluxo da massa de sal foi distinto para cada domo. Assim sendo, conforme mostra a Fig. 43 - Volume II, enquanto que o domo anteriormente referido apresentava alta taxa de crescimento no Oligoceno, o domo de Yemanjá atravessou um período de baixo crescimento relativo.

4.4 - CONFIGURAÇÃO

Predominantemente, como pode ser observado nos mapas estruturais expeditos do topo do sal (Fig. 7 à 14 - Volume II), os domos salinos da área mostram forma circular a elíptica. Nas seções sísmicas (Fig. 15 à 42 - Volume II) mostram-se geralmente cilíndricos, em sino alongado e em pirâmide truncada. Apenas um dos

domos (Fig. 19 - Volume II) mostra um escorregamento lateral formando um desvio sobre um flanco vertical. Os flancos são altamente inclinados a praticamente verticais. Alguns domos alargam-se ou afinam-se com a profundidade localmente, em alguns poucos domos as paredes projetam-se lateralmente, ou além da superfície do domo como se observa na área de Abrolhos Norte e Mucuri. O topo do núcleo do sal mostra-se plano a ligeiramente irregular (Fig. 32 - Volume II) e praticamente horizontal (Fig. 38 e 39 - Volume II).

O diâmetro do sal ao nível de 1 segundo varia de, aproximadamente, 1 a 6 km. Os domos perfurados pelo poço 9-CPRM-1-ESS na área de Barra Nova e o domo Abrolhos Norte 1 destacam-se por serem os maiores da área em estudo, com diâmetro médio superior a 5 km, ao nível de 0,5 segundos. São, na sua quase totalidade, perfurantes rasos (topo do sal acima de 660 m), mas alguns são considerados do tipo intermediário (topo entre 660 e 2.000 m).

4.5 - COMPOSIÇÃO

4.5.1 - Núcleo do Sal

Os dados analíticos quanto à composição da massa de sal da área, são provenientes dos resultados das análises de testemunhos do poço 9-CPRM-1-ESS (Fig. 46 - Volume II). Foram realizadas análises de lâminas delgadas, químicas, mineralógicas e por difração de Raio X para os resíduos insolúveis. De acordo com os resultados obtidos o teor de halita nesse domo varia de 89,7 à 92,91%. A halita apresenta-se vítrea, granular em cristais anedrais, de formas irregulares, alongados e com contatos ligeiramente encurvados. O resíduo insolúvel é constituído, predominantemente, por anidrita, cujo teor médio de 1,56 à 3,7 é bastante semelhante ao encontrado nos domos da costa do Golfo. Traços de outros minerais como quartzo, dolomita, clorita, caulinita, illita ou glauconita são ainda encontrados.

4.5.2 - Rocha Capa

Denomina-se rocha capa uma cobertura ou manto de minerais associados, que capeiam os domos salinos.

Das vinte e uma estruturas diapíricas ou halocinéticas dos tipos perfurantes raso e intermediário, que ocorrem na área, até então somente um domo foi perfurado no seu topo (poço 9-CPRM-1-ESS) que, no entanto, não apresentou rocha capa (Fig. 45 - Volume II). Além disso, por causa de problemas mecânicos de perfuração a rocha capa não foi testemunhada, como estava previsto.

O estudo realizado na rocha capa desse poço foi através de amostras de calha, da seção sobreposta ao sal, que constatou a existência de uma mistura de rochas sedimentares (calcário e areia) e ígnea. Observações em seção delgada na rocha ígnea classificou-a como sendo essesito, rocha da família dos gabros.

Por outro lado, a presença dessas rochas no topo dos domos é de se esperar, uma vez que se observa nas seções estratigráficas (Fig. 43 à 45 - Volume II), que essas feições perfuram os derrames basálticos. Assim sendo, "xenólitos" de basalto poderiam, portanto, flutuar na massa de sal e serem por ela carregados para níveis mais superiores.

A análise dos perfis elétricos de poços perfurados na área pela PETROBRÁS, indicou a existência de uma possível camada de anidrita de 2 m de espessura, no topo do sal, o que atestaria a existência de uma rocha capa incipiente.

Em geral uma rocha capa bem desenvolvida compõem-se de uma camada inferior de anidrita granular; uma zona de transição (anidrita, gipsita e calcário) e uma zona superior de carbonato. É na zona de transição que se localizam os depósitos comerciais de enxofre.

Rocha, J. M. (1973), através das seções sísmicas, na tentativa de identificação da rocha capa sobrepondo-se aos

domos, tomando por critério a ocorrência de fortes reflexões no topo do núcleo do sal, atribuiu a possível existência de calcário ou anidrita na rocha capa de alguns domos.

Destes estudos, com base no critério da ocorrência de fortes reflexões no topo do domo, o autor anteriormente mencionado admite que os domos situados na foz do Rio Doce são aparentemente os mais promissores, sendo os demais considerados de prioridade secundária ou sem interesse.

O fato de algumas seções sísmicas estarem processadas a baixo do topo do sal dificultou as observações de identificação da rocha capa em todas as seções examinadas.

4.6 - PROVÍNCIAS SALÍFERAS

As vinte e uma estruturas diapíricas dos tipos perfurantes raso e intermediário, atualmente conhecidas nessa área da plataforma continental, estão distribuídas pelas províncias da Foz do Rio Doce, Barra Nova, Abrolhos Norte e Mucuri (Fig. 1 - Volume II), cujas informações necessárias para um melhor conhecimento das condicionantes geológicas para cada província, são expostas nas Tabelas I à IV, a seguir descritas.

TABELA I

PROVÍNCIA DA ÁREA DA FÓZ DO RIO DOCE

Informações Necessárias para Melhor Conhecimento do Condicionamento Geológico

DOMO	YEMANJÁ	JANAÍNA	YARA	INAÊ	MUCUNÃ	NORTE DO RIO DOCE	SUL DO RIO DOCE
TOPO DO SAL (m)	± 270	± 300	± 750	± 360	± 800	praticamente aflorante	Indefinido (seção processada abaixo do topo do sal)
LÂMINA D'ÁGUA (m)	55	46	60	60	70	35	60
DISTÂNCIA DA COSTA (km)	30 à 50	30 à 50	30 à 50	30 à 50	30 à 50	30 à 50	30 a 50
LITOLOGIA NA ÁREA DO DOMO	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia
EVIDÊNCIA DE ROCHA CAPA	Boa	Boa	Indefinida	Razoável à Indefinida	Razoável à Boa	Inexistente	Indefinida
DIÂMETRO DO TOPO (km)	1,2 à 1,5	2,1 à 2,4					
FAVORABILIDADE PARA ENXOFRE	Alta	Alta	Razoável	Média	Alta-Média	Remota	Razoável-Remota

TABELA II

PROVÍNCIA DA ÁREA DE BARRA NOVA

Informações Necessárias para Melhor Conhecimento
do Condicionamento Geológico

DOMO	BARRA NOVA-1	BARRA NOVA-2	BARRA NOVA-3	BARRA NOVA-4	BARRA NOVA-5	BARRA NOVA-6	BARRA NOVA-7 (CPRM)
TOPO DO SAL (m)	Aparenta Aflorar	± 330	± 480	± 450	± 240	± 900	Atingindo a - 106
LÂMINA D'ÁGUA (m)	32	45	42	44	57	48	50
DISTÂNCIA DA COSTA (km)	25 a 50	25 à 50	25 à 50	25 a 50	25 a 50	25 a 50	25 a 50
LITOLOGIA NA ÁREA DO DOMO	Arenitos + Calcários	Arenitos + Calcários	Arenitos + Calcários	Arenitos + Calcários	Arenitos + Calcários	Arenitos + Calcários	Arenitos + Calcários
EVIDÊNCIA DE ROCHA CAPA	Inexistente	Inexistente	Indefinida	Inexistente	Inexistente	Indefinida	Inexistente
DIÂMETRO DO TOPO (km)							± 50
FAVORABILIDADE PARA ENXOFRE	Remota	Remota	Remota	Remota	Remota	Remota	Remota

TABELA III
PROVÍNCIA DA ÁREA DE ABROLHOS NORTE

Informações Necessárias para Melhor Conhecimento
do Condicionamento Geológico

DOMO	ABROLHOS NORTE-1	ABROLHOS NORTE-2	ABROLHOS NORTE - 3
TOPO DO SAL (m)	+ 300	± 300	± 300
LÂMINA D'ÁGUA (m)	20 a 35	30 à 35	20 à 35
DESTÂNCIA DA COSTA (km)	60 a 70	60 à 70	60 à 70
LITOLOGIA NA ÁREA DO DOMO	Calcário	Calcário	Calcário
EVIDÊNCIA DE ROCHA	Inexistente	Pobre a Inexistente	Inexistente
DIÂMETRO DO TOPO (km)	5,0		
FAVORABILIDA DE PARA ENXO FRE	Remota	Remota	Remota

TABELA IV
PROVÍNCIA DA ÁREA DE MUCURI

Informações Necessárias para Melhor Conhecimento
do Condicionamento Geológico

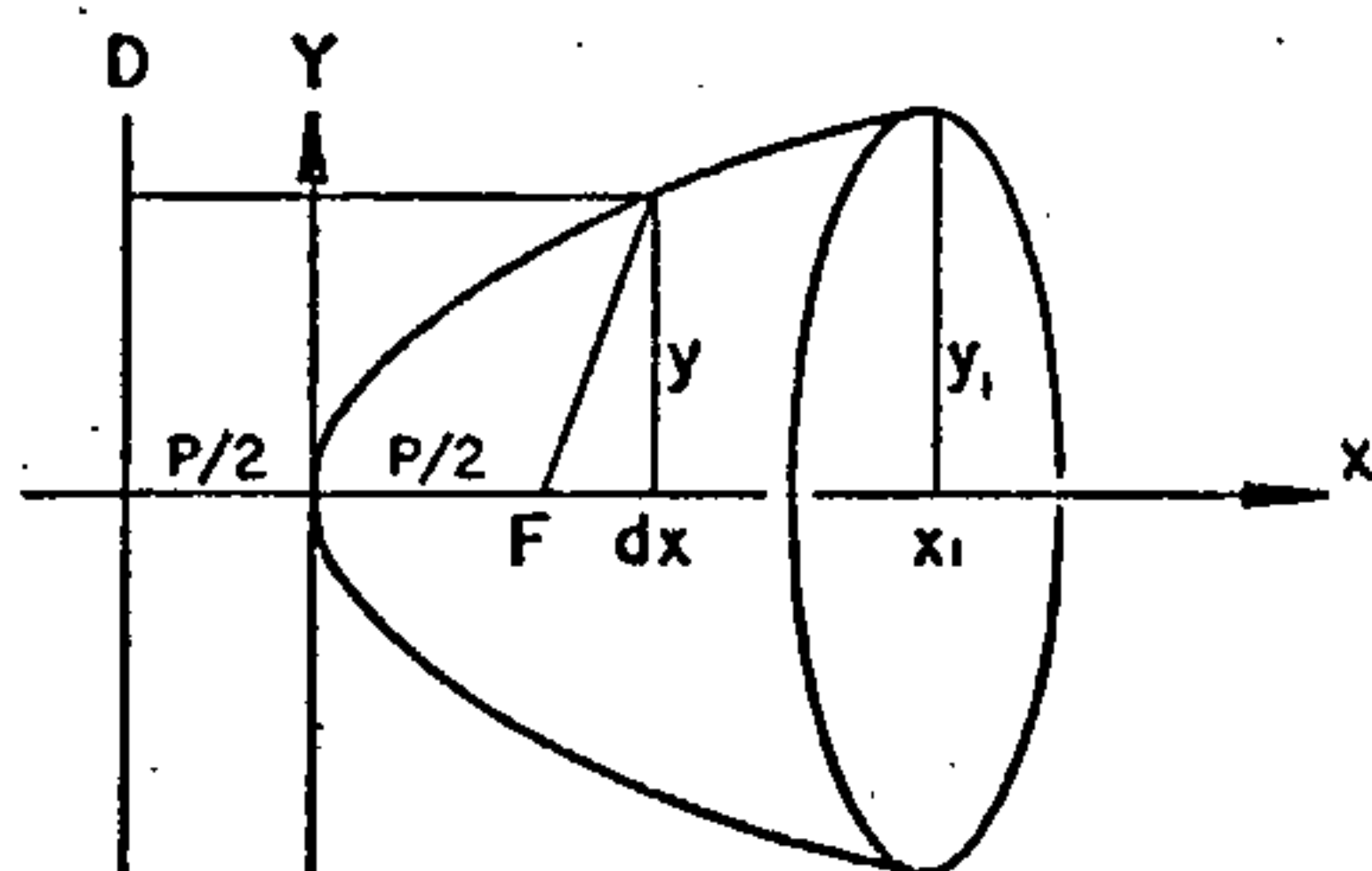
DOMO	MUCURI-1	MUCURI-2	MUCURI-3
TOPO DO SAL (m)	+ 800	Quase aflorante	Quase aflorante
LÂMINA D'ÁGUA (m)	20 a 25	20 a 25	20 a 25
DISTÂNCIA DA COSTA (km)	25 a 40	25 a 40	25 a 40
LITOLOGIA NA ÁREA DO DOMO	Areia + Calcário	Areia + Calcário	Areia + Calcário
EVIDÊNCIA DE ROCHA CAPA	Indefinida	Inexistente	Inexistente
FAVORABILIDA DE PARA ENXO FRE	Remota	Remota	Remota

5 - CÁLCULO DA RESERVA

Para efeito de cálculo da reserva de sal-gema da área em estudo, selecionou-se o domo 9-CPRM-1, na área de Barra Nova, onde existem dois furos de sondagem, tendo um atingido um dos flancos 1-ESS-1 (PETROBRÁS) e outro localizado no topo 9-CPRM-1-ESS.

Conforme exposto na seção estratigráfica (Fig. 45 - Volume II), confeccionada a partir dos perfis elétricos de poços e seções sísmicas, observa-se que o domo em questão apresenta uma forma parabolóide.

Em assim sendo, considerando-se o desenvolvimento da fórmula matemática do volume de um sólido gerado pela parábola teremos:



$$V_{\mu} = \pi \int_0^{\mu_1} y^2 d\mu$$

$$V_{\mu} = \pi \int_0^{\mu_1} 2p\mu d\mu$$

$$V_{\mu} = 2\pi p \int_0^{\mu_1} \mu d\mu$$

$$V_{\mu} = 2\pi p \left[\frac{\mu_1^2}{2} - \frac{0}{2} \right]$$

$$V_{\mu} = 2\pi p \frac{\mu_1^2}{2}$$

$$V_{\mu} = 2\pi \frac{y_1^2}{2\mu_1} \times \frac{\mu_1^2}{2}$$

equação da parábola:

$$y^2 = 2p\mu$$

Substituindo p pelo seu valor:

$$y^2 = 2p\mu_1 \dots$$

$$p = \frac{y_1^2}{2\mu_1}$$

$$V_{\mu} = \pi y_1^2 \frac{\mu_1}{2}$$

A seguir, para o cálculo do volume em sal-gema (halita), para o domo 9-CPRM-1, para uma profundidade econômico-tecnologicamente viável de 1.000 m e. da leitura na seção estratigráfica, considerando-se o raio a esta profundidade igual a 2,5 km teremos:

$$V_{\mu} = 3,14 \times 2,5^2 \text{ km} \times \frac{1,0}{2} \text{ km}$$

$$V_{\mu} = 3,14 \times 6,25 \text{ km}^2 \times 0,5 \text{ km}$$

$$V_{\mu} = 9,812 \text{ km}^3 \therefore V_{\mu} = 98125 \times 10^5 \text{ m}^3$$

Sendo o peso específico da halita igual a 2,1 teremos uma reserva medida de:

$$V_{\mu} = 98125 \times 10^5 \times 2,1$$

$$V_{\mu} = 20.606.250.000 \text{ t de halita}$$

Tendo em vista, conforme anteriormente abordado, a existência na área em estudo, de vinte e uma estruturas halocinéticas dos tipos perfurantes raso e intermediário, poderemos admitir um: recurso potencial em halita, da ordem de:

$$V_{\mu} = 20.606.250.000 \text{ t} \times 20$$

$$V_{\mu} = 412.125 \times 10^6 \text{ t de halita}$$

II - ESTUDO DO MERCADO DE SAL

SAL1 - CARACTERIZAÇÃO

Conhecido e explorado pelo homem desde a mais remota antiguidade, o sal pode ser classificado em dois grandes grupos, segundo suas principais ocorrências: sal em solução e sal em depósitos sólidos. O primeiro encontra-se na água dos mares, lagos e salmouras subterrâneas; o segundo, em eflorescências em regiões áridas e nas jazidas de sal-gema.

Os mares contêm, provavelmente, a maior reserva de sal existente no mundo. O teor médio de cloreto de sódio (NaCl) contido em suas águas é fixado em 2,9%; ou seja, cada 1.000 gramas de água contêm, aproximadamente, 29 gramas de cloreto de sódio.

A composição das águas dos lagos salgados, normalmente, aproxima-se das águas dos mares, diferindo apenas pela maior quantidade de outros sais, o que dificulta a separação do NaCl.

As salmouras subterrâneas são lençóis de água salgada, muitas vezes resultantes do aprisionamento de águas de mares por prolongado período. Algumas são bastante puras, contendo quase apenas NaCl; outras apresentam elevados teores de sais de magnésio e potássio.

Nas regiões de climas áridos, caracterizados por pequenas precipitações e boas condições de evaporação, os sais dissolvidos em águas subterrâneas podem ser conduzidos à superfície e, aí, depositados quando a água evapora, formando espessas camadas espalhadas pelo solo. Trata-se de um fenômeno comum verificado em todos os continentes.

Na América do Sul, tal ocorrência é generalizada nos planaltos do norte da Argentina, norte do Chile e sul do Peru e Bolívia; no Brasil verificam-se fenômenos idênticos, como nos barreiros salinos de Mato Grosso, nas áreas salgadas do São Francisco, na Bahia, e em certas áreas do Ceará e Piauí.

Apresentando como característica fundamental um elevado grau de pureza, o sal-gema ocorre em depósitos subterrâneos, de onde é extraído através de escavações - sal de rocha - ou por solubilização com água injetada. Quando extraído pelo primeiro processo, em estado sólido, seu aproveitamento pode ser imediato, bastando ser triturado; quando extraído por solubilização, obtêm-se soluções concentradas, que deverão ser evaporadas ou aproveitadas diretamente como insumo da indústria química.

Em ambos os processos de extração, o aproveitamento imediato decorre do elevado grau de pureza do minério, que, frequentemente, atinge teores de NaCl acima de 98%.

2 - ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO

Por ser amplamente difundido na natureza e de exploração relativamente fácil, o sal é produzido em quase todos os países do mundo.

A exploração econômica do sal marinho condiciona-se à ocorrência simultânea de três fatores: alto coeficiente de evaporação, precipitação pluvial restrita e solo impermeável.

O processo de beneficiamento inicia-se com o bombeamento da água do mar para os tanques, nos quais se verificam sucessivas etapas de evaporação, em soluções cada vez mais saturadas, até que se forme uma camada sólida, concentrada e cristalizada. Sucedem-se as fases de coleta e tritramento.

Para o sal-gema, há o método de lavra por solução e o método de lavra subterrânea convencional. No primeiro processo o cloreto de sódio é extraído através da injeção de água, obtendo-se uma solução saturada, que deverá ser evaporada ou utilizada diretamente na indústria; no segundo processo, obtém-se o produto sólido que, após triturado, pode ser usado diretamente, sem a necessidade de operações complementares de beneficiamento.

3 - CAMPOS DE APLICAÇÃO

São múltiplos os usos do sal. Além de constituir um nutriente básico do homem, animais e plantas, o cloreto de sódio é, provavelmente, a matéria-prima mais amplamente utilizada na indústria química.

Entre cento e cinquenta dos mais importantes produtos que podem ser relacionados na moderna indústria química, o sal participa em mais de cem, dos quais, em termos quantitativos, a importância maior é, sem dúvida, na fabricação do cloro, soda cáustica e barrilha. De acordo com levantamento procedido pelo "Roskill Information Services", de Londres, estes produtos consumiam, no início da década, cerca de 76% do sal produzido na Europa e 90% do produzido no Japão.

3.1 - APLICAÇÕES COMO BEM DE CONSUMO FINAL

É sabido que o sal tem destacada importância nos fenômenos relacionados com a vida animal, estando presente em todos os líquidos orgânicos.

Por constituir uma necessidade humana básica, sua obtenção na antiguidade implicou em expedições e guerras de conquistas. Durante longo tempo, foi base de monopólio governamental, instrumento de troca, medida de valor e meio de pagamento, advindo desta função o termo "salário".

São conhecidas diversas tabelas dietéticas, definindo as quantidades de sal necessárias ao organismo humano. Observa-se, contudo, que esse consumo per-capita varia de acordo com a faixa etária da população, visto que os indivíduos menores de 4 anos e maiores de 60 anos utilizam quantidades menores de sal em suas dietas alimentares.

Algumas tabelas divulgadas por entidades sanitárias, sugerem um consumo de 5,5 quilos anuais de sal para indivíduos normais, na faixa etária de 30 a 40 anos; o Exército, por sua vez ,

estima em 7,2 quilos o consumo anual recomendado para seus mem
bros. O limite mínimo é estimado em 1,2 quilos anuais por pessoa.

Estatísticas divulgadas pela Comissão Executiva do Sal revelam um consumo atual de sal, no Brasil da ordem de 3,5 qui
los/ano, por habitante e, para os bovinos, um consumo per -capita de 5,9 quilos/ano.

Outra utilização direta do sal é verificada nos países desenvolvidos da Europa Central e Estados Unidos, locais onde camadas do produto são espalhadas nas ruas e rodovias, com o objetivo de retardar a formação de gelo sobre as mesmas.

3.2 - APLICAÇÕES COMO BEM DE CONSUMO INTERMEDIÁRIO

Após a segunda metade do século XX, quando os irmãos Solvay desenvolveram o processo da fabricação da barrilha, o con
sumo de sal como bem intermediário vem se ampliando acentuadamente e o consumo da indústria tradicional (salga de carnes e peixes e curtume de couros de peles) acabou suplantado pelo da indústria química, que responde, atualmente, por mais de 60% do consumo mun
dial de cloreto de sódio^{1/}.

Dentre as aplicações do sal na indústria química, desta
ca-se a de ser matéria-prima para a fabricação dos álcalis sódi
cos (cloro, soda cáustica e barrilha), servindo ainda para obten
ção do sódio metálico - usado em ligas antifricção - e do peróxi
do de sódio, empregado na indústria têxtil como branqueador de tecidos.

Na siderurgia e na metalurgia dos não-ferrosos, o sal é utilizado com meio redutor e para eliminação do enxofre; na in

^{1/} Um levantamento efetuado pelo U.S. Bureau of Mines conduziu à seguinte distribuição setorial do consumo mundial de sal em 1982: indústria química 61%, alimentação humana 17%, remoção de neve e gelo 10% e demais insumos 12%.

dústria de materiais elétricos serve para a fabricação de lâmpadas a vapor de sódio, de alto poder de iluminação.

Há, ainda, que se considerar outros consumidores industriais do sal, como a indústria alimentícia, farmacêutica e de rações para animais.

3.2.1 - Fabricação de Cloro e Soda Cáustica

A produção de cloro e soda cáustica é praticada pela dissociação eletrolítica do cloreto de sódio, existindo uma rígida interdependência no processo produtivo, que obedece a uma relação constante de 0,89 toneladas de cloro para cada tonelada de soda cáustica produzida.

Assim, a produção de cloro e soda cáustica é simultânea e interligada, não se podendo fabricar um produto sem obter-se, necessariamente, o outro, de acordo com a relação citada.

Da inflexibilidade desta relação (1:0,89), surge o problema de se compatibilizar internamente a produção e a demanda globais de ambos os produtos.

A tendência entre os países de economia avançada é de uma elevação do consumo de cloro em ritmo acentuadamente mais elevado que o consumo de soda cáustica. Inversamente, os países menos desenvolvidos não conseguem consumir todo o cloro fabricado durante a obtenção de soda cáustica, de vez que a sua utilização como matéria-prima pressupõe a existência de uma indústria química, que raramente se encontra consolidada nesses países.

Até a década dos 50, mais da metade do cloro produzido no Brasil era inutilizada por falta de mercado. Na década seguinte, houve sensível redução do excedente e, somente na atual década, em face da implantação de polos petroquímicos, é

que o cloro passou a se constituir em produto de real interesse para o País.

Por ser o cloro extremamente tóxico, o seu transporte em grandes quantidades implica em investimentos excessivamente elevados na compra de veículos especiais e de equipamentos complementares de segurança, determinando, por este motivo, que o mesmo seja produzido junto às próprias indústrias que o utilizam como matéria-prima.

3.2.2 - Fabricação de Barrilha

A barrilha - carbonato de sódio - é empregada na fabricação de vidros, papel e celulose, detergentes, polidores, porcelanas e cosméticos. Os insumos básicos para a sua fabricação são o sal, o calcário e o amoníaco.

Quanto ao sal, existe uma relação cloreto de sódio/barrilha = (1,7:1); ou seja, consome-se 1,7 tonelada de NaCl na produção de uma tonelada de barrilha.

No Brasil, apenas a Companhia Nacional de Alcalis fabrica barrilha que, por ser utilizada também na fabricação de explosivos, é considerada de interesse à segurança nacional, somente podendo-se recorrer à importação por intermédio da aquela Empresa, quando a mesma se declarar sem condições de atender totalmente à demanda interna.

4 - RESERVAS

4.1 - RESERVAS MUNDIAIS

As reservas mundiais de cloreto de sódio podem ser consideradas inexauríveis.

O sal existe em todos os continentes, quer em depósitos sólidos quer em solução, dependendo sua exploração, neste caso, apenas de fatores climáticos favoráveis.

Considera o "US Bureau of Mines" que, embora não havendo um cálculo preciso de NaCl existente na natureza, as reservas mundiais deste mineral são inesgotáveis, levando-se em conta, principalmente, as soluções contidas nos oceanos.

Devido à abundância e à relativa facilidade de lavra do cloreto de sódio, não se conhece nenhum produto que o substitua economicamente, em qualquer das suas aplicações, como bem de consumo final ou intermediário.

4.2 - RESERVAS NACIONAIS

As reservas brasileiras de sal-gema são da ordem de 11 bilhões de toneladas, das quais cerca de 20% medidas, 53% indicadas e 27% inferidas.

No Estado de Sergipe estão concentradas cerca de 69% das reservas medidas, localizadas, principalmente, no município de Rosário do Catete, com 1,5 bilhão de toneladas.

Na Bahia, no município de Vera Cruz, as reservas medidas são da ordem de 0,5 bilhão t e em Alagoas situam-se em torno de 122 milhões t (Tabela V).

Além das reservas mencionadas, oficializadas pelo DNPM, é importante ressaltar a existência de imensas reservas de sal-gema na bacia Amazônica (Nova Olinda), tidas como sendo da ordem de 10 trilhões de toneladas. As camadas de sal possuem espessura de até 90 m variando de 850 a 1.700 m de profundidade.

Quanto ao sal marinho, na costa setentrional do Rio Grande do Norte, onde se concentra 76% da produção brasileira de sal, somente nas áreas salineiras de Macau e Areia Branca localizam-se 450 milhões de metros quadrados de solos com topografia adequada e impermeabilidade propícia à lavra de sal. Ao fator solo aliam-se condições climáticas excepcionais, que permitem um período de produção de dez meses por ano: evaporação média = 2.850 mm e precipitações médias = 450 mm.

TABELA V

RESERVAS BRASILEIRAS DE SAL-GEMA - 1982

Unidade: 10³ t

UNIDADES DA FEDERAÇÃO/MUNICÍPIO	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL
ALAGOAS				
Maceió	122.372	2.894.443	-	3.016.815
BAHIA				
Vera Cruz	518.323	746.600	283.300	1.548.223
PARÁ				
Itaituba	33.320	89.937	-	123.257
PIAUI				
Luis Correia	80	100	200	380
SERGIPE	1.483.080	2.133.000	2.700.700	6.316.780
Nossa Sra. Socorro	6.480	-	-	6.480
Rosário do Catete	1.476.600	2.133.000	2.700.700	6.310.300
T O T A L	2.157.175	5.864.080	2.984.200	11.005.455

Fonte: DNPM/DEM

5 - MERCADO

5.1 - MERCADO INTERNACIONAL

Por ser extremamente difundido na natureza e de lavra relativamente fácil, o sal é produzido em quase todos os países do mundo.

Até o início da atual década, 49 países produziam sal em escala superior a 100 mil t/ano. Em 1982 a produção mundial de sal atingiu 165 milhões de toneladas, com cerca de 18 países - cada um com produção superior a 1 milhão de toneladas/ano - concentrando cerca de 90% da produção mundial. Destacam-se como grandes produtores os EUA (35 milhões t/a), a China (18 milhões t/a), a URSS (14,5 milhões t/a) e a Alemanha Ocidental (12,5 milhões t/a).

Se a lavra do sal não apresenta custos elevados, principalmente quando efetuada através do processo de evaporação solar, o mesmo não se verifica com o transporte e armazenagem. O produto apresenta elevado grau de perecibilidade e alta agressividade ao veículo condutor, exigindo rapidez na movimentação e o emprego de graneleiros anti-corrosivos, quando transportado sem embalagem. Como consequência, é elevada a incidência dos custos de transporte e armazenagem no preço final do produto, permitindo que instalações de pequeno porte, próximas aos centros de consumo, possam, muitas vezes, competir com empreendimentos de superior estágio de mecanização, localizados a distâncias consideravelmente maiores.

Assim, os fatores abundância, distribuição uniforme, baixo custo de lavra e elevado custo de transporte, conduzem, invariavelmente, às quantidades inexpressivas que sempre caracterizaram o comércio internacional do sal.

Analisando-se os dados relativos à produção e às transações internacionais do produto, verifica-se que apenas 12% do total produzido no mundo têm sido destinado a exportações. Em 1982 foram comercializadas internacionalmente somente 20 milhões de toneladas.

O Japão é o principal país importador, pois, apesar de figurar entre os 18 maiores produtores mundiais, necessita ainda

de cerca de 6 milhões de t/ano extras para suprir sua indústria petroquímica ^{2/}.

O segundo maior importador são os Estados Unidos, cujas compras no mercado externo se verificam principalmente no inverno.

À exceção do Japão, que tem efetuado aquisições de sal procedente do continente americano (Estados Unidos e México) e a Nigéria, que se supre na Grã-Bretanha, todos os demais importadores têm recebido seus suprimentos de países próximos.

Ressalte-se que o Japão vem conseguindo um rebaixamento progressivo nos preços CIF do sal, valendo-se do excesso de oferta, que tem caracterizado o comércio internacional do produto. Por essa razão, países que já formaram entre os principais fornecedores daquela nação, tiveram que abandonar essa posição (Índia, Etiópia e Egito), mantida apenas pelo México, graças às suas condições peculiares de transporte marítimo, através do emprego de graneleiros de grande porte e de equipamento sofisticado de embarque, montado numa ilha artificial, especialmente construída para esse fim, no litoral de Kure.

5.2 - MERCADO INTERNO

5.2.1 - Caracterização do Mercado Produtor

Cerca de 92% da produção brasileira de sal concentram-se na Região Nordeste, na qual se destaca o Rio Grande do Norte, com cerca de 63% do total nacional e 69% do regional.

Os Estados da Bahia e de Alagoas, a partir de 1977, quando se iniciou a produção de sal-gema, passaram à posição de destaque graças à uma produção conjunta da ordem de 928 mil toneladas, que proporciona a estas unidades da federação uma

^{2/} Com o objetivo de reduzir as distâncias de suas fontes de suprimento, o Japão vem fomentando o desenvolvimento da indústria salineira na Austrália, em cujos empreendimentos tem participado com cerca de 50% do capital.

participação de 22%, aproximadamente, no total nacional e 24% no regional.

Entre as demais regiões, apenas a Região Sudeste tem participação na produção brasileira, representada pelo Estado do Rio de Janeiro, segundo maior produtor de sal-marinho (Tabela VI e Fig. 48).

As estruturas de produção não são idênticas em todos os estados brasileiros. No Rio Grande do Norte, onde as condições climáticas são as mais favoráveis, a iniciativa privada concentrou elevados investimentos na implantação de unidades mecanizadas de grande porte e alta produtividade, enquanto nos demais Estados nordestinos predominam as pequenas salinas, que empregam processos intensivos de mão-de-obra, obtendo menores rendimentos. No Rio de Janeiro predominam, também, unidades pequenas.

Por sua vez, as características meteorológicas das Regiões Sudeste e Nordeste são bastante diversas.

Na Região Nordeste, o ano salineiro, de modo geral, tem início com o término das chuvas, em julho, quando, então, se inicia a captação da água do mar, prolongando-se até fevereiro do ano seguinte. Durante todo o ano salineiro, a evaporação ocorre sem interrupção, devido à ausência quase total de chuvas, temperatura do ar elevada, umidade relativa baixa e constante, altos índices de insolação e ventos secos e quentes, que sopram com maior frequência e intensidade na fase de cristalização da salmoura marinha.

As salinas do Rio de Janeiro, ao contrário, são prejudicadas pelas chuvas, que ocorrem durante o ano salineiro, interrompendo a evaporação. Neste Estado, o ano salineiro se inicia em julho e termina em março do ano seguinte.

No Estado do Rio Grande do Norte as salinas se concentram em três regiões:

. Mossoró, Areia Branca e Grosso;

TABELA VI

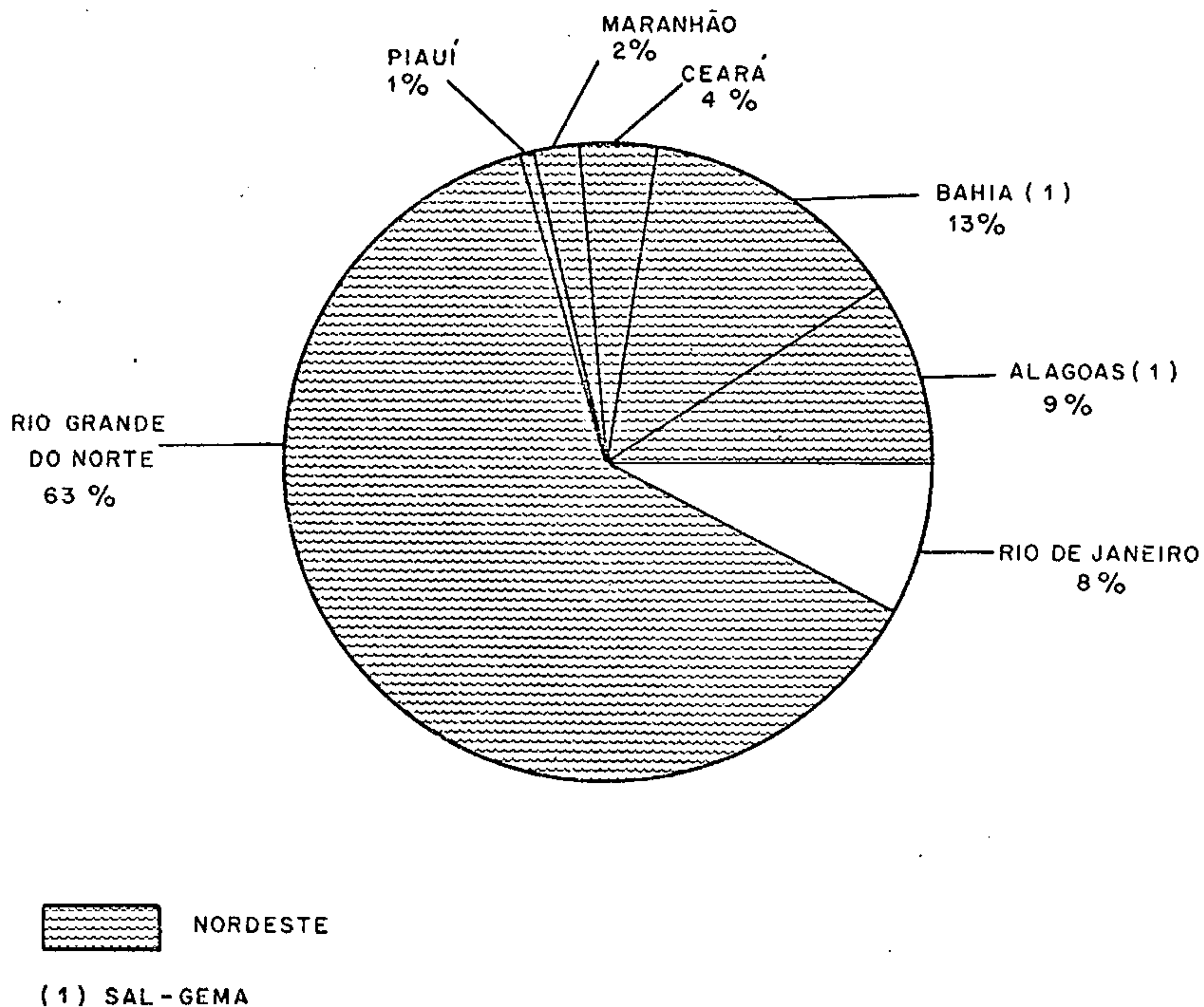
PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1983

UNIDADES DA FEDERAÇÃO	QUANTIDADES PRODUZIDAS (t)	PARTICIPAÇÃO	
		REGIONAL (%)	NACIONAL (%)
Alagoas (1)	383.134	9,92	9,15
Bahia (1)	545.385	14,13	13,02
Ceará	159.702	4,14	3,82
Maranhão	95.502	2,47	2,28
Piauí	24.260	0,63	0,58
Rio Grande do Norte	2.651.632	68,68	63,32
Sergipe	1.022	0,03	0,02
REGIÃO NORDESTE	3.860.637	100,00	92,19
Rio de Janeiro (2)	327.173	100,00	7,81
REGIÃO SUDESTE	327.173	100,0	7,81
T O T A L	4.187.810	-	100,00

Fonte: CES - Comissão Executiva do Sal.

(1) refere-se à produção de sal-gema

(2) inclui o sal refinado de produção primária



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SALGEMA

PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1983

FIGURA - 48

Fonte: COMISSÃO EXECUTIVA DO SAL

- . Macau, Pendência, Carnaúba e Guamararé;
- . Canguaretama e Baía Formosa

As salinas da primeira região - Mossoró - se situam às margens do rio Mossoró ou Apodi; as de Macau, ao longo do rio Piranhas ou Açu e suas bifurcações e as salinas de Canguaretama margeiam o rio Curitamataú.

O parque salineiro do Rio de Janeiro utiliza como pré-concentrador a lagoa de Araruama, localizando-se suas salinas nos municípios de Cabo Frio, Araruama, São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande. A proximidade dos centros de maior consumo do País possibilita às salinas do Rio de Janeiro competir com as da Região Nordeste, embora aquelas se beneficiem de melhores condições climáticas. Neste Estado, contudo, a estrutura de produção apresenta falhas que impedem o seu desenvolvimento, sendo a qualidade do sal considerada inadequada para uso satisfatório na indústria.

No Estado do Rio de Janeiro existem cerca de quatro unidades de grande e médio portes, pertencentes a grupos proprietários de refinarias e mais de cem unidades pequenas de proprietários autônomos. As tentativas de organização de cooperativas para implantação de refinarias não têm encontrado apoio dos pequenos produtores. Assim, o anacronismo dos processos produtivos utilizados por estes contrasta com os modernos métodos empregados nas salinas de grande porte que, cada vez mais, vão conquistando parcelas significativas no mercado de oferta.

Em 1977, foi iniciada no País a extração de sal-gema pela empresa Salgema Indústria Química S.A., destinando-se o mineral a insumo para fabricação de soda-cloro em Maceió (AL). Ainda naquele mesmo ano entrou em operação a Dow Chemical S.A., outra unidade produtora de soda-cloro, passando a utilizar também o sal-gema como matéria-prima, localizando-se seu campo de lavra na ilha de Matarandiba, junto a Salvador (BA). Em ambos os projetos, a produção de sal-gema vem sendo processada nas quantidades estritamente exigidas para fabricação de soda-cloro, não havendo, pois, neces-

cidade de estocagem, de vez que a extração é feita de forma sin-
cronizada à produção.

5.2.2 - Evolução da Produção

A análise da série histórica relativa à produ-
ção brasileira de sal no período compreendido entre os anos de
1970 a 1983 revela uma nítida dependência do setor de produção de
sal marinho às condições atmosféricas de cada ano.

Considerando-se os anos extremos da série refe-
rida, verifica-se uma taxa média de crescimento geométrico em tor-
no de 6,5%, passando a produção de 1,8 milhão para 4,2 milhões de
toneladas; entretanto as observações ano a ano salientam varia-
ções decorrentes das alterações atmosféricas, principalmente da
região nordeste, a maior produtora de sal marinho do País.

Em 1970, a produção brasileira de sal-marinho a
tingiu a 1,8 milhão de toneladas, caindo para 1,5 milhão em 1971
e voltando a crescer em 1972, para ter nova queda no ano seguinte.
Esta queda acentuou-se ainda mais em 1974, seguindo-se um novo
ano de recuperação. Em 1975, a produção do Rio Grande do Norte a
tingiu a um nível até então jamais alcançado por aquele Estado
brasileiro, em toda a sua história, superando em 5,1% a produção
total do País no ano anterior e em 68% a sua própria produção na
quele mesmo ano. Em 1976 verifica-se novo crescimento da produção
nacional de sal, até então limitada ao sal-marinho. Para 1977, o
crescimento da produção total de sal foi assegurado devido, prin-
cipalmente, à inclusão de cerca de 284 mil t de sal-gema. A ac-
tuada elevação da produção nacional de sal, ocorrida a partir de
1978, deve-se não só ao crescimento da produção de sal-gema - que
alcançou cerca de 928 mil toneladas em 1983 - como também à ex-
pressiva produção de sal marinho do Rio Grande do Norte, onde a
produção, nos últimos anos, favorecida pelo longo período de seca,
tem alcançado níveis recordes, atingindo, em 1983, o pico de 2,6
milhões toneladas (Tabela VII e Fig. 49)

TABELA VII

EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL - 1970/83

1) SAL MARINHO

Unidade: t

ESTADO	ANO	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Alagoas		157	764	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bahia		1.828	3.325	2.408	3.038	81	144	125	40	248	-	-	-	-	-
Ceará		270.485	84.447	181.362	43.605	48.840	32.385	76.063	53.830	75.681	75.405	97.718	61.370	120.162	159.702
Maranhão		114.874	69.820	75.595	33.623	28.400	32.519	70.757	55.903	48.762	82.454	76.629	24.739	61.454	95.502
Paraíba		-	-	-	514	180	360	360	156	300	-	-	-	-	-
Pernambuco		1.804	2.383	409	83	3	808	127	184	1.838	-	23	-	-	-
Piauí		46.193	31.745	20.780	17.007	12.893	21.230	33.624	18.535	18.418	20.452	34.627	11.126	15.263	24.262
Rio de Janeiro(1)		285.230	352.080	322.454	406.929	484.741	417.329	400.667	485.211	464.878	416.352	375.420	318.612	350.115	327.172
Rio Grande do Norte		1.095.312	916.645	1.551.062	1.328.502	971.286	1.631.283	1.880.736	1.864.627	2.113.023	2.266.584	2.546.963	2.348.253	2.337.242	2.651.632
Sergipe		10.286	15.654	13.951	21.293	5.994	9.287	10.179	2.844	3.802	4.525	4.686	2.219	3.567	1.022
T O T A L I		1.826.169	1.476.863	2.168.081	1.854.594	1.552.418	2.145.345	2.472.638	2.481.330	2.726.950	2.865.772	3.136.066	2.766.319	2.887.803	3.259.292

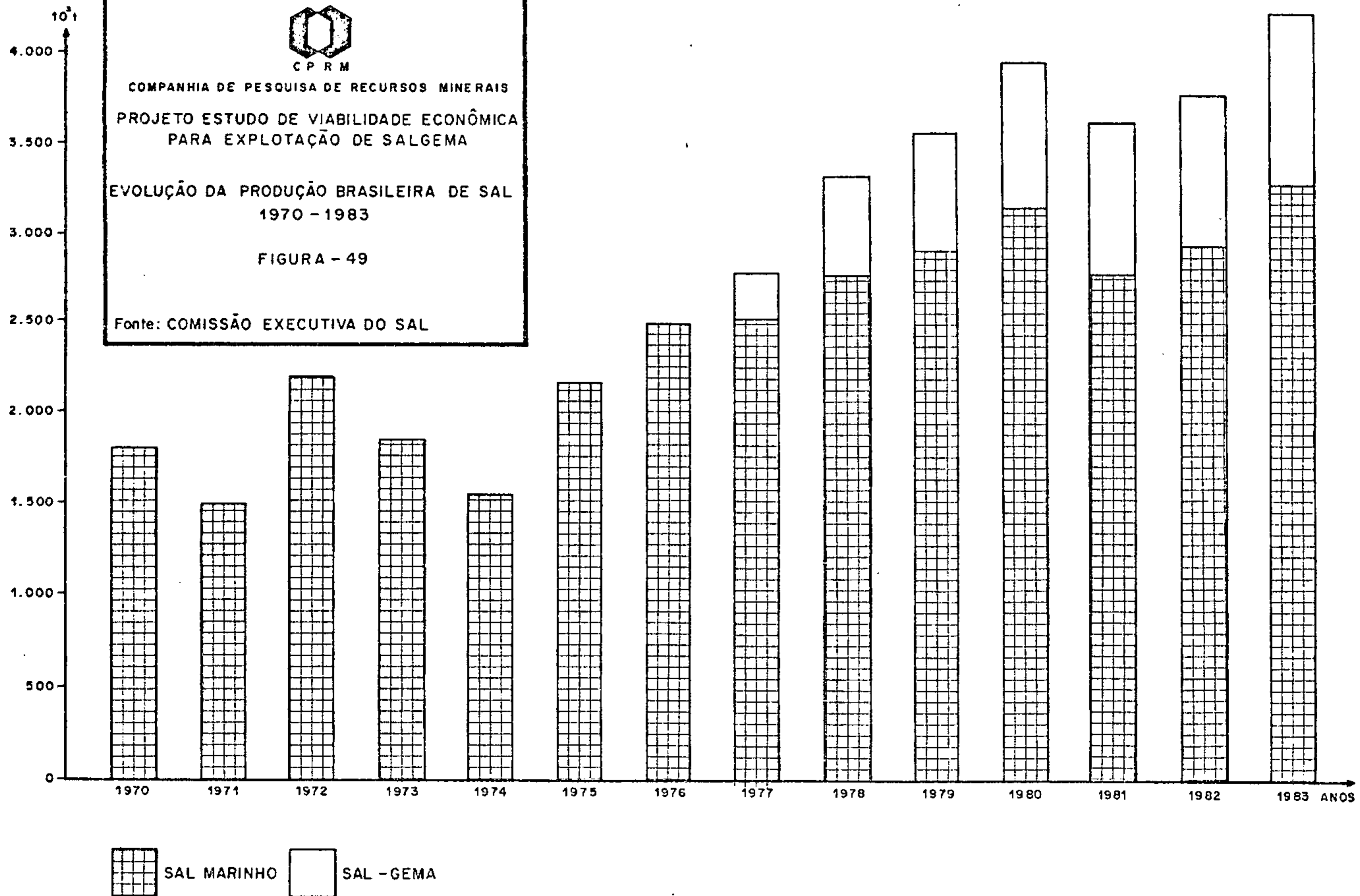
2) SAL-GEMA

Alagoas		-	-	-	-	-	-	-	121.808	276.238	298.586	320.745	360.697	366.309	383.132
Bahia		-	-	-	-	-	-	-	161.717	292.427	391.167	477.031	478.181	479.853	545.332
T O T A L II		-	-	-	-	-	-	-	283.525	568.665	689.753	797.776	838.878	846.162	928.522
T O T A L III		1.826.169	1.476.863	2.168.081	1.854.594	1.552.418	2.145.345	2.472.638	2.764.855	3.295.615	3.555.525	3.933.842	3.605.197	3.733.965	4.187.814

Fonte: Comissão Executiva do Sal

Nota: Início da produção de sal-gema: 1977

(1) inclui o sal refinado de produção primária.





A dependência do setor em relação às condições atmosféricas foi salientada no estudo intitulado "Plano Operacional de Transportes/Sal", publicado pelo GEIPOT em 1975. Após pesquisar diretamente uma amostra representativa de 86% da produção nacional, no ano anterior à sua publicação, estas foram as conclusões daquele estudo, a este respeito:

"Nessas observações globais atenta-se para o baixo índice de utilização da capacidade produtiva das salinas cearenses, praticamente destruídas pelas inundações ocorridas durante o ano. Assim, dispendo a amostra de potencial para produzir 118 mil toneladas, apenas conseguiu 15 mil toneladas, ou seja 13%. Por outro lado, as condições excepcionais na região de Cabo Frio fizeram com que o potencial normal tenha sido ultrapassado em 3%. O Rio Grande do Norte, com coeficiente médio de utilização da capacidade da ordem de 51%, também sofreu elevadas perdas devido a inundações e ao fator meteorologia adversa".

5.2.3 - Estrutura e Evolução do Mercado Consumidor

. Setorial

O consumo interno de sal apresentou uma taxa média de crescimento geométrico de cerca de 7,0% no período de 1970 a 1983, passando de 1,6 para 3,8 milhões de toneladas (Tabela VIII.e Fig. 50).

No último ano da série considerada, o setor industrial apresentou uma participação de 66% no total, correspondendo a 2,5 milhões de toneladas, salientando-se a indústria química que, isoladamente, participou com cerca de 55% do total de sal consumido no País. Ressalte-se que, atualmente, cerca de 45% do total do sal consumido pela indústria química referem-se ao sal-gema. (Fig. 51).

O setor de pecuária e correlatos é o segundo grande consumidor de sal no País, absorvendo, nos últimos três

TABELA VIII
EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE SAL
1970 - 1983

SETORES	1970		1971		1972		1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981		1982		1983		
	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	
A - CONSUMO INTERNO	1.614	100,00	1.723	100,00	1.812	100,00	1.896	100,00	1.931	100,00	1.938	100,00	2.171	100,00	2.478	100,00	2.811	100,00	3.212	100,00	3.707	100,00	3.938	100,00	3.820	100,00	3.814	100,00	
1. Alimentação humana	309	19,14	338	19,62	341	18,82	365	19,25	373	19,32	361	18,62	380	17,50	390	15,74	364	12,95	377	11,74	435	11,73	467	11,71	392	10,26	401	10,51	
2. Pecuária e correlatos	659	40,83	707	41,03	732	40,40	742	39,13	741	38,37	722	37,24	862	39,72	759	30,63	797	28,35	821	25,56	948	25,57	1.020	25,58	983	25,73	912	23,91	
3. Industrial	646	40,03	678	39,35	739	40,78	789	41,62	817	42,31	852	43,94	929	42,79	1.329	53,63	1.650	58,70	2.014	62,70	2.324	62,70	2.501	62,71	2.445	64,01	2.501	65,58	
3.1 - Ind. diversas	200	12,40	203	11,78	207	11,42	218	11,50	207	10,72	209	10,78	238	10,96	346	13,96	376	13,38	393	12,23	454	12,25	489	12,26	413	10,81	421	11,04	
3.2 - Ind. Químicas	446	27,63	475	27,57	532	29,36	571	30,12	610	31,59	641	33,16	691	31,83	983	39,67	1.274	45,32	1.621	50,47	1.870	50,45	2.012	50,45	2.032	53,20	2.080	54,54	
3.2.1 - Sal marinho	446		475		532		571		610		641		691		699		705		931		1.072		1.173		1.186		1.152		
3.2.2 - Sal-gema	-		-		-		-		-		-		-		284		569		690		798		839		846		928		
B - CONSUMO EXTERNO																													
Exportação	-		-		1		-		-		2		-		-		112		138		179		142		186		243		
T O T A L (A + B)	1.614		1.723		1.813		1.896		1.931		1.971		2.171		2.478		2.923		3.350		3.886		4.130		4.006		4.057		

Fontes: Comissão Executiva do Sal
CATEX

(1) Dados preliminares

Nota: Início da produção de sal-gema em 1977.



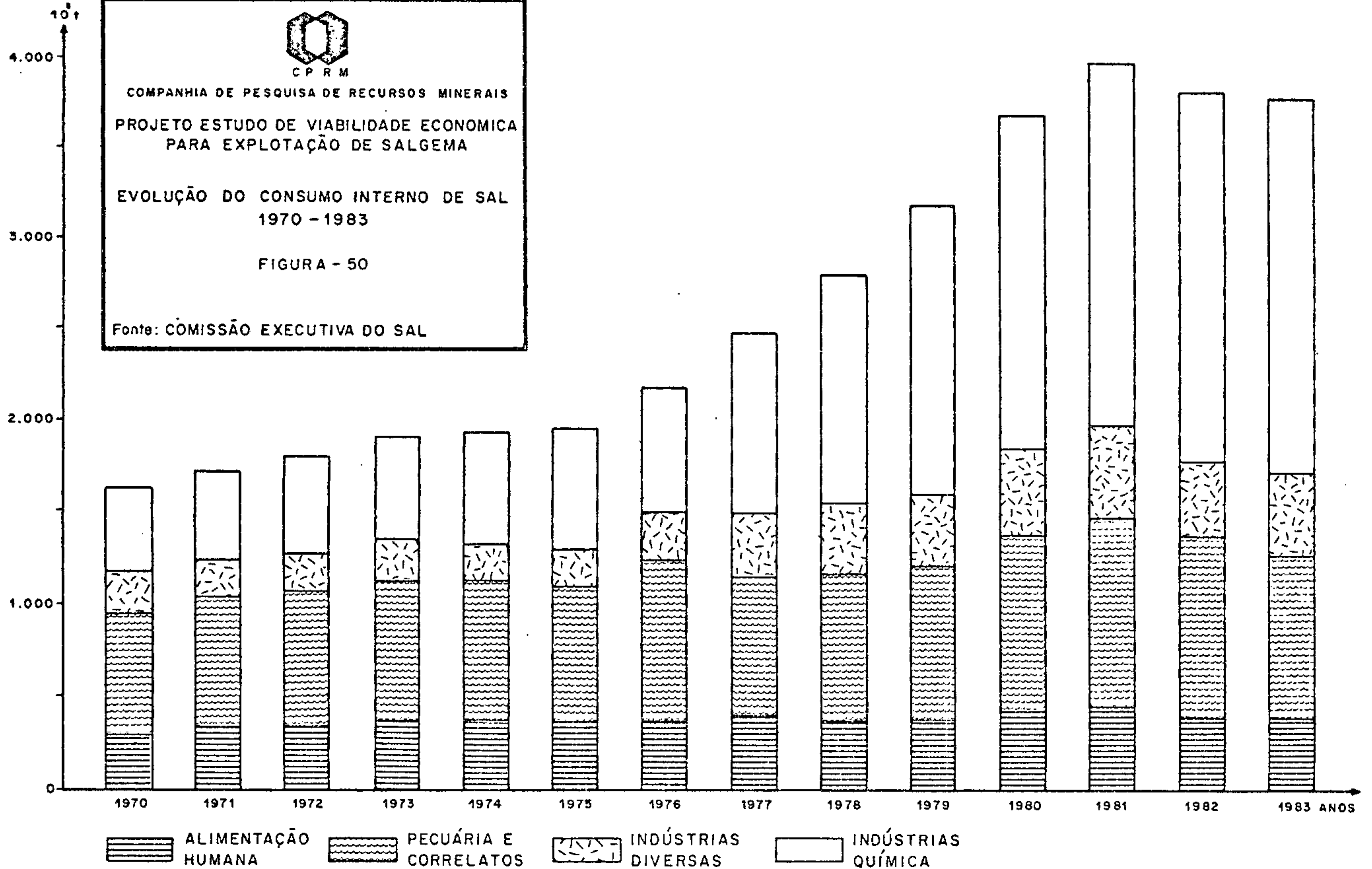
C P R M

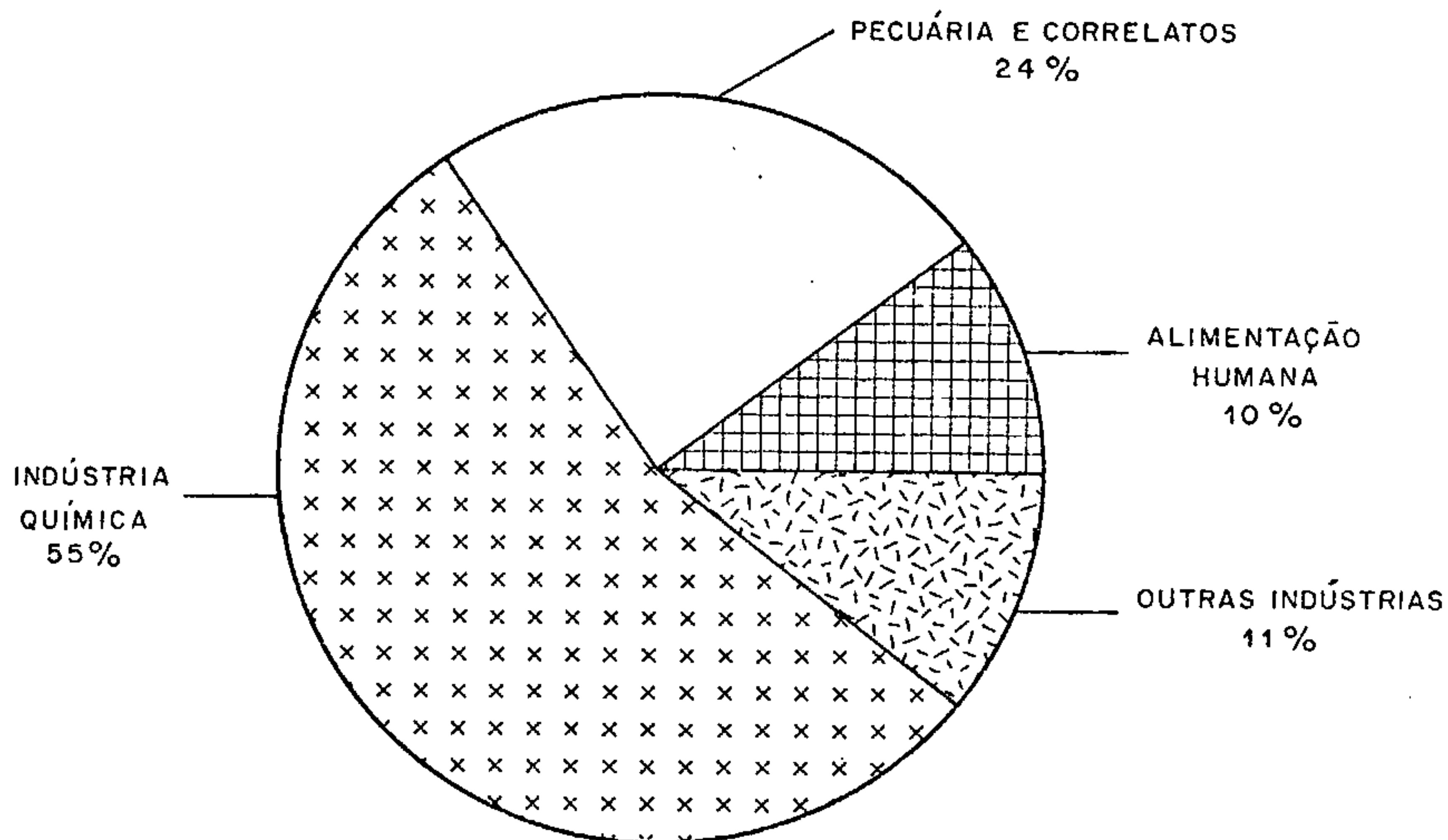
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONOMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SALGEMA

EVOLUÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE SAL
1970 - 1983

FIGURA - 50

Fonte: COMISSÃO EXECUTIVA DO SAL





COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SALGEMA

CONSUMO INTERNO DE SAL - 1983

FIGURA - 51

Fonte: COMISSÃO EXECUTIVA DO SAL

anos, em média, cerca de 1 milhão de toneladas anuais e participando com cerca de 25% do total. O consumo médio oscila em torno de 5,0 kg/cabeça/ano (Tabela IX) inferior em cerca de 50% ao nível considerado ideal para manter sadio o rebanho bovino.

Ainda em 1983, o consumo de sal de mesa atingiu a 401 mil toneladas, correspondendo a 10,51% do total brasileiro. Considerando-se a população estimada pelo IBGE para aquele ano - cerca de 129,6 milhões de habitantes - chega-se a um consumo per capita igual a 3,1 kg, idêntico ao verificado no ano anterior e inferior aos níveis alcançados em 1980 e 1981 - 3,6 kg e 3,8 kg per capita, respectivamente - ainda tomando-se por base as estimativas de população do IBGE para aqueles anos (Tabela X).

Os dados constantes da Tabela XI ressaltam o crescimento da participação da indústria química no consumo total de sal no período 1970/83. A análise dos índices nele contidos evidencia que a indústria química aumentou de 366% sua participação no consumo total de sal, no período considerado, enquanto os consumos diretos na pecuária e alimentação humana cresceram 38% e 30%, respectivamente.

Apesar do elevado crescimento relativo apresentado pela indústria química brasileira, verifica-se que este setor ainda não atingiu o estágio ideal, situando-se sua participação atual de 54,5% no consumo de sal no País aquém da média mundial - cerca de 61% - conforme citado no item 3.2 deste trabalho.

. Regional

O sal produzido no Estado do Rio Grande do Norte, maior produtor, é enviado a todas as regiões brasileiras. As maiores quantidades transacionadas são destinadas aos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro que, além de consumirem, redistribuem parte do produto.

TABELA IX

ESTIMATIVA DO CONSUMO DE SAL DESTINADO

A PECUÁRIA E CORRELATOS

1973/83

ANO	POPULAÇÃO 10 ⁶ cabeças	CONSUMO DE SAL	
		10 ³ t	kg/cabeça
1973	163,5	742,0	4,5
1974	161,5	741,0	4,6
1975	161,0	722,0	4,5
1976	180,1	862,0	4,8
1977	175,5	759,0	4,3
1978	166,8	797,0	4,8
1979	179,6	821,0	4,6
1980	189,0	948,0	5,0
1981	193,2	1.020,0	5,3
1982	197,6	983,0	5,0
1983	201,9	912,0	4,5

Fontes: IBGE
CES
CPRM

Notas : Adotado para 1980/83 o mesmo crescimento médio verificado, na população, de 1973/80 = 2,25% a.a.

TABELA XESTIMATIVA DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À ALIMENTAÇÃO HUMANA

1970/83

ANOS	POPULAÇÃO (103 hab)	CONSUMO DE SAL	
		10 ³ t	kg/hab
1970	93.139,0	309	3,3
1971	95.993,4	338	3,5
1972	98.690,2	341	3,5
1973	101.432,6	365	3,6
1974	104.243,3	373	3,6
1975	107.145,2	365	3,4
1976	110.123,5	380	3,4
1977	113.208,5	390	3,5
1978	116.393,1	364	3,1
1979	119.070,8	377	3,2
1980	121.150,6	435	3,6
1981	124.016,0	467	3,8
1982	126.806,0	392	3,1
1983	129.660,0	401	3,1

Fontes: Comissão Executiva do Sal - CES

IBGE

TABELA XI

ÍNDICES DE EVOLUÇÃO DO CONSUMO

DE SAL NO BRASIL, POR SETORES (1970 = 100)

S E T O R E S	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Alimentação Humana	100	109	110	118	120	118	123	126	118	122	141	151	127	130
Pecuária e correlatos	100	107	111	112	112	110	130	115	121	124	144	155	149	138
Industrial	<u>100</u>	<u>105</u>	<u>114</u>	<u>122</u>	<u>126</u>	<u>132</u>	<u>144</u>	<u>206</u>	<u>255</u>	<u>312</u>	<u>360</u>	<u>387</u>	<u>378</u>	<u>387</u>
Química	100	106	119	128	137	144	155	220	286	363	419	451	456	466
Outras	100	102	103	109	103	104	119	188	188	196	227	244	206	210

Fonte: Comissão Executiva do Sal - CES

No primeiro Estado estão instaladas empresas de produção de soda/cloro que, somadas, representam 35% da capacidade total instalada no País - cerca de 920 mil toneladas. Somente a indústria de soda/cloro estaria consumindo, em SP, considerando-se as perdas no processo produtivo, cerca de 600 mil t de sal, ou seja, o equivalente a 16% do consumo interno de sal em 1983.

No Estado do Rio de Janeiro, está localizada a Cia. Nacional de Alcalis, cujo consumo de sal gira em torno de 350 mil toneladas, para uma produção da ordem de 200 mil toneladas de barrilha. A este consumo somam-se cerca de 50 mil t de sal consumidas pela Pan-Americana para a produção de cerca de 28 mil t de soda, o que daria um consumo da ordem de 400 mil toneladas de sal pelas indústrias de barrilha e de soda-cáustica no Estado do Rio de Janeiro. Tal consumo representa cerca de 10% do total de sal consumido no País em 1983.

Também a produção do Ceará, embora em quantidades menores, atinge a todas as regiões do País, com destaque para os Estados do Amazonas e Pará, seus principais consumidores.

Embora a quase totalidade da produção de Sergipe seja destinada ao consumo no próprio Estado, verifica-se, ainda, uma remessa de excedentes, principalmente, para a Bahia e Minas Gerais.

Quanto ao Rio de Janeiro, único estado produtor de sal situado fora da região nordeste, sua produção, além de consumida dentro de suas fronteiras, é destinada, principalmente, aos Estados do Sudeste e Sul, destacando-se São Paulo, Minas Gerais e Paraná.

Nesta análise não foi considerado o sal-gema produzido em Alagoas e Bahia, de vez que o consumo deste bem mineral se faz junto à própria jazida, em unidades de soda-cloro verticalmente integradas, com acordos oficiais no sentido de que as produções se restrinjam aos níveis exigidos para operação das unidades, sem co

mercionalização de excedentes. O consumo de sal-gema nestes Estados é da ordem de 928 mil toneladas/ano, das quais cerca de 383 mil t em Alagoas e 545 mil t na Bahia, o que equivale a 10% e 14%, respectivamente, do consumo interno total de sal.

Há que informar-se que na determinação do consumo interno de sal, o critério adotado é o da divisão da economia do produto em dois setores:

- setor produtor
- setor distribuidor

O setor produtor compreende as salinas, moageiras, refinarias, atacadistas e indústrias que usam o sal como insumo.

O setor distribuidor compreende os reembaladores, atacadistas e varejistas.

Há que se considerar a existência de estoque nos dois setores, tanto no produtor, quanto no distribuidor.

Os estoques do setor produtor apresentam níveis mais elevados e têm como principal objetivo regular o abastecimento do mercado interno, restabelecendo a oferta nos casos de perdas totais ou parciais da produção, de vez que a produção de sal marinho é altamente condicionada pelas condições meteorológicas.

Considera a Comissão Executiva de Sal como ideal, para o setor produtor, a manutenção de um estoque anual mínimo equivalente a dois terços do consumo anual do produto, nível este que daria também para cobrir as inevitáveis perdas decorrentes da estocagem do produto a céu aberto.

Os níveis dos estoques, no setor produtor, mantidos ao longo do período de 1972 a 1983, são os constantes do quadro a seguir (Tabela XII).

TABELA XII
ESTOQUES DE SAL MARINHO
1972/83

ANO	TONELADAS
1972	1.532.642
1973	1.307.034
1974	598.471
1975	712.794
1976	1.012.775
1977	1.169.238
1978	1.531.075
1979	1.940.906
1980	2.492.434
1981	2.941.449
1982	2.538.637
1983	2.591.186

Fonte: Comissão Executiva do Sal

Nota : Apurados em 31 de dezembro de cada ano.

Quanto ao setor distribuidor, os estoques, em níveis bem mais reduzidos, têm o objetivo de regular os suprimentos locais. Neste caso, as perdas não são significativas, de vez que o produto é armazenado sob cobertura e, muitas vezes, já embalado.

Considerando-se, pois, por um lado, a não existência de uma comercialização exterior ativa em quantidades significativas, tanto no que se refere a importações quanto a exportações, e por outro, os elevados níveis de estoques e perdas no setor produtor e os estoques do setor distribuidor, a determinação do consumo aparente de sal no Brasil assume características próprias, podendo ser expressa através da seguinte fórmula matemática:

$$CI = P + (E_{ip} - E_{fp}) - p + (E_{id} - E_{fd}) \text{ sendo}$$

C_i = Consumo Interno

P = Produção

E_{ip} = Estoque Inicial do Setor de Produção

E_{fp} = Estoque Final do Setor de Produção

p = Perdas de Estoque do Setor de Produção

E_{id} = Estoque Inicial do Setor de Distribuição

E_{fd} = Estoque Final do Setor de Distribuição

5.2.4 - Preços

Os preços do sal são controlados pelo CIP, tendo por base os boletins de custo apresentados pelas salineiras e encaminhados pela associação da classe, a ABERSAL - Associação Brasileira dos Extratores de Refinadores de Sal.

De junho/77 a abril/84, os preços do sal evoluíram conforme dados constantes da Tabela XIII.

Pela análise dos referidos dados o preço do sal, nas salinas, representa, atualmente, somente cerca de 21,7% do preço final deste sal colocado em Santos, para utilização, principalmente, pela indústria química. Em junho/77, início da série analisada, este percentual era da ordem de 28,8%.

Tomando-se por base o preço vigente em jun/77, com índice 100, em dez/83 o índice atinge 3.592,91 para o sal no aterro e 4.978,86 para o sal CIF - Santos, evidenciando que os custos de comercialização, principalmente o transporte, superaram em cerca de 38% os aumentos nos preços do sal nas salinas. Em termos reais ^{3/} o preço do sal no aterro sofreu, no período, uma queda de 20% enquanto o ganho no preço CIF - Santos foi da ordem de 11,5%

Quanto ao sal-gema, o seu preço médio na fonte de produção, segundo a Comissão Executiva do Sal, evoluiu, nos últimos três anos, de Cr\$600,00/t em 1981 para Cr\$1.125,00/t em 1982, atingindo Cr\$4.861,00/t em 1983. Em termos reais ^{3/} o preço do sal-gema registrou um aumento de 63% de 1981 a 1983.

5.2.5 - Transporte

O transporte do sal marinho, dos produtores aos consumidores industriais - principalmente para fabricação de soda cáustica e barrilha - é realizado, predominantemente, por vias marítima e rodoviária.

No setor produtor predomina a navegação de cabotagem, para a qual este produto vem representando cerca de 28% de volume de granéis sólidos transportados, constituindo-se na sua principal carga.

Para o escoamento da produção salineira do Rio Grande do Norte, entrou em operação, em setembro de 1974, o Terminal Salineiro de Areia Branca, pertencente à empresa CODERN - Cia.

^{3/} Deflacionados pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna - Base: 1977.

TABELA XIII
EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DO SAL

Unid.: Cr\$/t

DATA	SAL (ATERRO)	I.U.M.	BARCAÇA	ESTIVA	FRETE MARÍTIMO	SEGURO	DESPEAS FINANCEIRAS	TOTAL CIF-SANTOS
jun/77	150,00	84,00	49,80	5,33	231,04	1,04	-	521,21
mai/78	198,42	84,00	65,84	7,46	294,92	1,30	18,90	670,84
mai/79	266,57	112,50	90,14	10,81	437,31	1,83	41,57	960,73
jul/79	277,03	112,50	90,20	12,89	437,31	1,86	41,79	973,58
jan/80	348,12	112,50	99,25	15,72	689,44	2,53	58,69	1.326,25
jul/80	479,41	112,50	189,20	30,70	896,68	3,41	78,66	1.790,56
dez/80	622,97	180,00	256,07	42,01	1.162,39	4,52	105,01	2.372,97
mar/81	700,84	180,00	370,20	63,58	1.725,16	6,08	248,51	3.294,37
jun/81	938,75	180,00	370,20	69,94	1.725,16	6,57	211,67	3.502,29
set/81	1.056,09	210,00	536,80	99,25	2.485,98	8,78	300,67	4.697,57
dez/81	1.316,99	210,00	603,90	99,25	2.480,26	9,42	306,25	5.026,07
mar/82	1.448,69	255,00	776,01	142,49	3.460,26	12,16	418,13	6.512,74
set/82	1.813,27	330,00	1.166,97	204,91	4.709,59	16,45	578,51	8.819,70
jan/83	2.555,81	450,00	1.675,13	204,91	5.197,31	20,17	679,32	10.783,15
mar/83	3.023,27	450,00	1.675,12	290,56	6.594,80	24,07	813,11	12.870,93
jun/83	3.847,72	600,00	1.926,39	290,56	6.655,46	26,64	854,91	14.201,68
set/83	4.424,88	787,50	2.568,84	425,61	10.710,35	37,84	1.307,76	20.263,28
dez/83	5.389,37	787,50	2.992,68	425,61	13.235,00	45,66	3.074,51	25.950,33
abr/84	8.497,42	975,00	5.162,44	727,37	18.916,63	68,56	4.808,64	39.156,06

Docas do Rio Grande do Norte (antiga TERMISA), considerado um dos mais modernos do mundo. Trata-se de uma "ilha-porto" artificial, construída em alto mar, próximo à cidade de Areia Branca (RN), dotada de uma área de 18.400 m² para estocagem do produto e de um cais adjacente de 195 m de comprimento, 7 m de calado, com capacidade para atracação simultânea de 3 mini-graneleiros de 520 dwt, sendo dois para operação de descarregamento de sal e um para transferir insumos para manutenção do terminal.

Em 1980 e 1981 a navegação por cabotagem foi responsável, respectivamente, por 46,3% e 47,2% da movimentação do sal marinho dos Estados do RN, MA e CE para Santos, Cabo Frio, Paranaguá, Porto Alegre, Vitória e outros portos de destino.

Para ilustrar a forte influência dos custos de transporte na formação do preço CIF do sal marinho - cerca de 50% - citam-se os trajetos Rio Grande do Norte/Cabo Frio - para a produção de barrilha pela Cia. Nacional de Alcalis - e Rio Grande do Norte/Santos - para a produção de soda/cloro pelas maiores empresas do País -, partindo-se do preço do sal fixado pelo CIP em Cr\$5.389,37/t, de dez/83 até março/84.

A estrutura do preço CIF-Santos, no período, foi a seguinte:

	Cr\$/t	%
Sal (na salina)	5.389,37	20,8
IUM	787,50	3,0
Barcaça	2.992,68	11,5
Despesas financeiras	<u>3.074,51</u>	<u>11,9</u>
FAS (free alongside) TERMISA	12.244,06	47,2
Estiva	425,61	1,6
Frete marítimo	13.235,00	51,0
Seguro	45,66	0,2
TOTAL CIF-SANTOS	25.950,33	100,0

Segundo levantamento efetuado junto à CNA - Cia. Nacional de Álcalis, o sal marinho adquirido nas salineiras do Rio Grande do Norte - onde a empresa adquire a maior parte desse bem mineral, visto ser a qualidade do sal marinho produzido no Estado do Rio de Janeiro considerada inferior ao produzido no Rio Grande do Norte - para, juntamente com o carbonato de cálcio das conchas calcárias extraídas da Lagoa de Araruama, fabricar a barrilha - é carregado no Porto de Forno (RN) e descarregado em Arraial do Cabo (Cabo Frio-RJ), de onde é transportado, por caminhão, até a fábrica. A estrutura do preço CIF-Arraial do Cabo, no período, foi a seguinte:

	Cr\$/t	%
Sal (na salina)	5.389,37	19,5
IUM	975,00	3,5
Taxa TERMISA	4.489,08	16,2
Despesas financeiras (1)	<u>1.701,82</u>	<u>6,2</u>
FAS (free along side) TERMISA	12.555,27	45,4
Estiva	368,70	1,3
Frete líquido	9.446,26	44,3
Tabela "A" e/ou "N" (2)	764,07	
A.F.R.M.M. (3)	2.042,07	
Seguro	50,35	0,2
Desestiva	2.182,40	7,9
Capatazia	<u>239,47</u>	<u>0,9</u>
	27.648,59	100,0

(1) Despesas financeiras decorrentes de compra feita, com financiamento de 60 dias, pagas com base em 80% da correção incidente nas ORTN's.

(2) Taxa cobrada pelos Armadores.

(3) Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante = 20% da soma do frete líquido mais taxa cobrada pelos armadores segundo as tabelas "A" e/ou "N".

No setor consumidor a participação do transporte rodoviário é esmagadora - estimada em cerca de 99%. Caminhões partem do Sul levando o sal beneficiado até Rondônia e Acre, ou do Ceará até o Centro-Oeste e Rio Grande do Sul, apresentando como atrativo aos usuários um transporte de porta a porta mais rápido e mais seguro, vantagens que se traduzem para estes, isoladamente, em menores custos, mesmo a longas distâncias.

Em 1980 e 1981, o transporte rodoviário foi responsável pela movimentação de 52,7% e 51,8%, respectivamente, de sal marinho, sendo que a participação dos transportes fluvial e ferroviário somaram, aproximadamente, 1%.

Quanto ao sal-gema, toda a produção brasileira, conforme já mencionado, é advinda das atividades de lavra das empresas Dow Química e Salgema S.A., nas jazidas localizadas na Bahia e em Alagoas, respectivamente.

Essas empresas produzem e consomem o sal-gema numa operação integrada de produção de matérias-primas minerais para a fabricação de soda cáustica, cloro, dicloroetano, hidrogênio, hipoclorito de sódio e ácido clorídrico.

O transporte do sal-gema das minas para as fábricas é feito através de "pipe-lines".

No caso particular da SALGEMA Indústrias Químicas S.A., no Estado das Alagoas, as jazidas, com pureza superior à 99,8% em cloreto de sódio, estão localizadas às margens da Lagoa de Mandaú. As camadas de minério têm uma espessura média de 150 metros, situam-se a uma profundidade média de 1.000 metros. O processo de obtenção e extração da salmoura compreende a dissolução subterrânea do sal pela injeção de água sob pressão. A salmoura, assim obtida, é bombeada para a fábrica através de tubulação com cerca de 7,5 km de extensão.

5.3 - COMÉRCIO EXTERIOR

O Brasil é auto-suficiente na oferta de sal para atendimento à demanda interna, gerando, inclusive, excedentes de produção que poderiam ser destinados ao mercado externo.

As exportações, porém, não são significativas, diante da já mencionada tendência à auto-suficiência do produto, por parte de quase todos os países do mundo. O mercado externo para os excedentes brasileiros de sal continua a ser apenas uma promessa: no ano de 1975, o País conseguiu exportar cerca de 32 mil t de sal marinho gerando uma receita de US\$ 308 mil. A partir de 1978 as quantidades exportadas têm sido mais frequentes e significativas, somente superando a casa das 200 toneladas em 1983 e gerando uma receita acumulada de US\$ 17,7 milhões no período 1978/83 (Tabela XIV).

Analisando a primeira transação internacional na publicação intitulada "Conjuntura do Sal em 1975", a Comissão Executiva do Sal assim se manifestou: "foi a primeira transação de vulto, focalizando o sal grosso, embarcado no Terminal Salineiro de Areia Branca e destinado ao Uruguai, área que com a África Ocidental se apresenta vulnerável à campanha de promoção neste sentido - a penetração do sal brasileiro, de boa qualidade, no difícilíssimo e reduzido mercado internacional do sal".

Quanto às importações (Tabela XV), somente em período anterior ao focalizado, no quadriênio 1964/67, foram registradas importações consideráveis, como decorrência de grandes quedas de produção ocasionadas por perturbações climáticas no Nordeste.

TABELA XIV

EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE SAL

1970/83

TIPOS ANOS	SAL MARINHO (GROSSO-MOÍDO)		SAL DE COZINHA (REFINADO)		QUALQUER OUTRO		T O T A L	
	t	US\$ FOB	t	US\$ FOB	t	US\$ FOB	t	US\$ FOB
1970	-	-	6	496	-	-	6	496
1971	-	-	17	1.380	-	-	17	1.380
1972	-	-	1.398	68.207	-	-	1.398	68.207
1973	-	-	24	2.472	-	-	24	2.472
1974	-	-	12	1.940	-	-	12	1.940
1975	32.416	307.952	-	-	-	-	32.416	307.952
1976	-	-	1	96	-	-	1	96
1977	-	-	-	201	-	-	-	201
1978	101.453	2.097.104	10.225	810.970	1	348	111.678	2.908.074
1979	134.620	2.090.236	3.610	412.748	-	-	138.230	2.502.984
1980	163.628	2.364.428	14.112	1.022.345	1.036	76.006	178.776	3.462.779
1981	136.169	1.639.907	1.300	117.253	4.392	352.892	141.861	2.110.052
1982	168.124	1.654.847	18.053	2.008.960	-	84	186.177	3.663.891
1983	232.122	2.243.895	5.814	547.166	5.278	302.543	243.214	3.093.604

Fonte: CACEX

TABELA XV

IMPORTAÇÃO BRASILEIRA DE SAL

1970/83

TIPOS ANOS	SAL MARINHO (GROSSO-MOIDO)		SAL DE COZINHA (REFINADO)		QUALQUER OUTRO		T O T A L	
	t	US\$ CIF	t	US\$ CIF	t	US\$ CIF	t	US\$ CIF
1970	-	-	2	555	-	-	2	555
1971	-	-	3	1.415	-	-	3	1.415
1972	-	-	12	2.513	9	2.932	21	5.445
1973	-	-	12	4.503	30	11.157	42	15.660
1974	36	3.721	77	14.309	7	3.666	120	21.696
1975	-	-	143	23.620	-	888	143	24.508
1976	-	-	3	2.002	-	-	3	2.002
1977	-	-	28	16.004	-	-	28	16.004
1978	-	-	5	3.941	-	407	5	4.348
1979	-	-	1	266	-	-	1	266
1980	-	-	3	4.528	-	-	3	4.528
1981	-	-	3	4.775	-	1.441	3	6.216
1982	-	-	-	-	1	8.532	1	8.532
1983	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: CIEF (MF)

6 - PROJEÇÕES

6.1 - PROJEÇÃO DO CONSUMO

Dentre os métodos indicados para se efetuar uma projeção de demanda de um bem de consumo simultaneamente intermediário e final, o que assegura resultados mais confiáveis é, sem dúvida, o da projeção através da desagregação setorial do consumo.

No estudo do sal, este método, que se baseia nas expectativas de evolução dos setores consumidores do bem, tem o seu emprego condicionado não só ao conhecimento daquelas expectativas, como também às seguintes particularidades inerentes à Economia do produto:

- a) quando o consumo for final (alimentação humana e dos rebanhos), aos níveis per capita nos quais manter-se-á o consumo, dentro do horizonte do estudo;
- b) quando o consumo for intermediário, aos coeficientes técnicos de utilização do bem como matéria-prima pelos principais setores industriais.

Assim, considerando-se a divisão estrutural do consumo, adotada neste estudo, a projeção de consumo do sal foi relacionada às projeções dos seguintes setores consumidores:

- 1) População Humana - envolvendo o consumo de sal de mesa;
- 2) Pecuária - envolvendo o consumo direto do sal pelos rebanhos bovino e suino;
- 3) Indústria de Alcalis Sódicos - envolvendo o consumo de sal pelas fábricas de soda-cloro e barrilha;
- 4) Demais indústrias - envolvendo o consumo de sal pela indústria alimentícia, gelo industrial, além das tradicionais salgas de pescado, couros e carnes.

6.1.1 - Alimentação Humana

O confronto dos dados referentes à série histórica do consumo aparente de sal de mesa com a estimativa da população brasileira, em idêntico período, revela, de imediato, a situação de sub-consumo que tem caracterizado o setor.

Tomando-se, por exemplo, séries relativas ao período compreendido entre os anos de 1970 a 1983, verifica-se que o consumo médio situou-se na faixa de 3,5 kg anuais por habitante (Tabela X), quando o consumo ideal médio situa-se por volta de 5,5 kg, de acordo com recomendações oficiais.

Para a elaboração da projeção da demanda de sal destinado à alimentação humana, no período compreendido entre os anos de 1984 a 1986, adotou-se a premissa básica de que o consumo per capita manter-se-ia ao nível de 3,5 kg. A aplicação deste índice aos dados referentes à projeção da população brasileira, naquele período, conduziu à projeção do consumo desejado, conforme consta no quadro a seguir.

Tabela XVI

PROJEÇÃO DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À ALIMENTAÇÃO HUMANA
 1984 / 86

ANOS	POPULAÇÃO (10 ³ hab.)	CONSUMO DE SAL	
		10 ³ t	kg/hab.
1984	132.580,0	464	3,5
1985	135.564,0	474	3,5
1986	138.546,4	485	3,5

Fontes: CES - IBGE e CPRM

6.1.2 - Pecuária

Na estimativa do consumo de sal destinado à ali mentação do rebanho brasileiro foram consideradas as populações de bovinos e suínos, que, somadas, têm representado cerca de 78% do efetivo nacional, nos últimos anos.

O setor caracteriza-se, também, por uma situação de sub-consumo, situando-se o consumo per capita em torno de 5 kg anuais (Tabela IX). Recente publicação da Comissão Executiva do Sal, visando a estimular o consumo de sal pelo gado, informa a necessi dade de cerca de 10 kg de sal, por ano e por cabeça, para manter sa dio o rebanho bovino. Adotou-se, contudo, para a projeção do consu mo de sal destinado à pecuária, a premissa de que até 1986 não se riam alterados os índices per capita, atualmente verificados. A a plicação deste índice aos dados referentes à projeção da população do rebanho brasileiro, conduziu à projeção de consumo constante do quadro a seguir.

TABELA XVII

PROJEÇÃO DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À PECUÁRIA

1984/86

ANOS	POPULAÇÃO (10 ⁶ cabeças)	CONSUMO DE SAL	
		10 ³ t	kg/cabeça
1984	206,5	1.030,0	5,0
1985	211,2	1.060,0	5,0
1986	215,9	1.080,0	5,0

Fontes: IBGE, CES e CPRM

6.1.3 - Indústria Química

Dentre os setores consumidores de sal, o mais importante, em termos quantitativos, é, sem dúvida, a produção de álcalis sódicos, envolvendo fabricação de soda cáustica - cloro e barrilha.

A importância deste setor é salientada no levantamento efetuado pelo "Roskill Information Services, Ltd", no início da década, segundo o qual, o setor de álcalis sódicos seria responsável por 76% do consumo de sal na Europa e 90% no Japão. Tal constatação levou, inclusive, os elaboradores daquele relatório à conclusão de que a evolução da indústria salineira mundial, nos anos futuros, estaria correlacionada ao desenvolvimento do setor de álcalis sódicos.

Na projeção do consumo de sal por este setor industrial foram analisados, isoladamente, os planos de expansão das fábricas de soda-cloro e de barrilha, conforme Tabela XVIII.

A aplicação dos respectivos coeficientes de utilização de sal para a produção prevista de soda cáustica e barrilha, durante o período de 1984 e 1986, conduziu aos resultados que estão consubstanciados na Tabela XIX.

Pesquisas efetuadas com referência à localização das empresas que produzem soda/cloro e barrilha, no País, conduziram a previsão de consumo regional de sal pela indústria química (Tabela XX).

A análise dos dados constantes no referido quadro evidencia que na região Centro-Sul o consumo de sal pela indústria química deverá permanecer, até o horizonte projetado, em torno de 1,1 milhão de toneladas, das quais cerca de 53,5% serão consumidas em São Paulo para a fabricação de soda/cloro; 38,2% no Rio de Janeiro para a fabricação de barrilha e soda/cloro e o restante deverá ser consumido em Minas Gerais (3,3%), Espírito Santo (2,4%) e Rio Grande do Sul (2,6%) para a produção de soda/cloro.



TABELA XVIII

EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE
SODA CÁUSTICA E BARRILHA
1983/86

Unidade: 10³ t

EMPRESA	UF	EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA INSTALADA			
		1983	1984	1985	1986
<u>SODA CÁUSTICA</u>					
. Anhembi	SP	2,4	2,4	2,4	2,4
. Aracruz	ES	14,0	14,0	14,0	14,0
. Carbocloro	SP	216,0	216,0	216,0	216,0
. Carbocloro	RS	15,0	15,0	15,0	15,0
. CENIBRA	MG	16,5	16,5	16,5	16,5
. Champion	SP	4,3	4,3	4,3	4,3
. Cia. Recôncavo Baiano	BA	41,4	41,4	41,4	41,4
. Eletrocloro	SP	90,0	90,0	90,0	90,0
. Hoechst	SP	7,0	7,0	7,0	7,0
. Igarassu	PE	22,0	22,0	22,0	22,0
. Jari	PA	14,0	14,0	14,0	14,0
. Matarazzo	SP	-	-	-	-
. Matarazzo Papéis	MG	3,6	3,6	3,6	3,6
. Pan-Americana	RJ	27,8	27,8	27,8	27,8
Sub-total I		474,0	474,0	474,0	474,0
. Salgema S.A.	AL	250,0	250,0	250,0	250,0
. Dow Química	BA	196,0	196,0	196,0	196,0
Sub-total II		446,0	446,0	446,0	446,0
TOTAL (I + II)		920,0	920,0	920,0	920,0
<u>BARRILHA</u>					
. Cia. Nacional de Alcalis - ALCALIS	RJ	200,0	200,0	200,0	200,0
. Alcalis do Rio Grande do Norte - ALCANORTE	RN	-	-	-	-

Fontes: ABICLOR - Associação Brasileira da Indústria de Alcalis e Cloro Derivados.

CNA - Cia. Nacional de Alcalis

Notas : 1) Em 1981 foi aprovado projeto de duplicação da capacidade produtiva da Salgema S.A.. Não se espera, no setor, que este projeto seja desenvolvido até o horizonte projetado, por falta de mercado.

2) A capacidade produtiva a ser instalada pela ALCANORTE é da ordem de 200 mil toneladas anuais. Não se espera, no setor, que este projeto seja desenvolvido até o horizonte projetado, por falta de recursos financeiros.

TABELA XIX

PROJEÇÃO DO CONSUMO DE SAL DESTINADO À INDÚSTRIA QUÍMICA

1984/86

Unidade: 10³t

ANOS	SODA CÁUSTICA-CLORO			BARRILHA		TOTAL CONSUMO PREVISTO		
	PRODUÇÃO PREVISTA	CONSUMO PREV. DE SAL MAR.	CONSUMO PREV. DE SAL-GEMA	PRODUÇÃO PREVISTA	CONSUMO PREV. DE SAL MAR.	SAL MAR.	SAL-GEMA	TOTAL
1984	874	900	850	200,0	380	1.280	850	2.130
1985	874	900	850	200,0	380	1.280	850	2.130
1986	874	900	850	200,0	380	1.280	850	2.130

Fontes: ABICLOR - Associação Brasileira da Indústria de Alcalis e Cloro Derivados

CNA - Cia. Nacional de Alcalis

CPRM - Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais

Notas : - 1 t. barrilha: 1,7 t. de sal

- 1 t. de soda : 1,8 t. de sal

- Considerado um aproveitamento de aproximadamente 95% da capacidade produtiva instalada para soda-cáustica e de 100% para barrilha e uma perda de 10% em ambos os processos produtivos.



TABELA XX

PREVISÃO DE CONSUMO DE SAL, POR REGIÕES, PELA INDÚSTRIA QUÍMICA

1984/86

REGIÕES (UF)	PARA PRODUÇÃO DE:	1984	1985	1986
CENTRO/SUL				
Minas Gerais	Soda/Cloro	38	38	38
Espírito Santo	Soda/Cloro	27	27	27
Rio de Janeiro	Soda/Cloro	53	53	53
	Barrilha	380	380	380
São Paulo	Soda/Cloro	607	607	607
Rio Grande do Sul	Soda/Cloro	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>30</u>
		1.135	1.135	1.135
NORTE/NORDESTE				
Pernambuco	Soda/Cloro	42	42	42
Rio Grande do Norte	Barrilha	-	-	-
Alagoas	Soda/Cloro	475	475	475
Bahia	Soda/Cloro	451	451	451
Pará	Soda/Cloro	<u>27</u>	<u>27</u>	<u>27</u>
		995	995	995
T O T A L		2.130	2.130	2.130

Notas: Região Centro/Sul abrange os Estados de MG e ES para o Sul e Região Norte/Nordeste abrange os Estados da BA para o Norte.

Na região Norte-Nordeste o consumo de sal pela indústria química, para os próximos anos, deverá situar-se, também, em torno de 1 milhão de toneladas, das quais 93% serão de sal-gema, consumido pelas unidades produtoras de soda/cloro na Bahia e em Alagoas.

Segundo projeções do setor o consumo interno de soda cáustica deverá atingir 900 mil toneladas em 1986 e o de barrilha deverá ser, então, da ordem de 330 mil toneladas.

A capacidade de produção instalada para obtenção de soda/cloro é compatível com o consumo projetado até 1986. A partir de 1987 a demanda poderá ser atendida com a duplicação da capacidade produtiva da Salgema S.A., de 250 mil t/ano para 500 mil t/a, que tem projeto aprovado neste sentido desde 1981. Esta empresa, conforme já mencionado, tem como matéria prima o sal-gema extraído de suas imensas jazidas em Alagoas, de forma sincronizada à produção, sem necessidade de transporte e estocagem.

Na Bahia, a produção de soda/cloro está a cargo, principalmente, da Dow Chemical S.A., com capacidade produtiva da ordem de 200 mil t/ano, cuja matéria-prima é o sal-gema obtido a partir das imensas jazidas do município de Vera Cruz. A exemplo do que ocorre em Alagoas, a extração do sal-gema se dá de forma sincronizada à produção sem necessidade de transporte e estocagem.

Quanto à barrilha, a capacidade de produção atualmente instalada pela ÁLCALIS, em Cabo Frio (RJ) - cerca de 200 mil toneladas/ano - tem sido insuficiente para atender às solicitações de consumo, estimado em 300 mil toneladas/ano. Para atender ao consumo, a ÁLCALIS importa a diferença. A entrada em operação da ALCANORTE - Alcalis do Rio Grande do Norte, também com capacidade de produzir 200 mil toneladas anuais, poderá suprir as necessidades internas de barrilha, estimadas em 330 mil toneladas para 1986, horizonte de projeção do presente estudo. A ALCANORTE deverá ter como matéria-prima o sal marinho produzido no Rio Grande do Norte.

6.1.4 - Demais Setores Industriais

Além da produção dos álcalis sódicos, há que considerar-se o consumo de outros setores industriais consumidores de sal, tais como a produção de gelo industrial e as tradicionais salgas de carnes, pescados e curtumes, os quais, em conjunto, são responsáveis por cerca de 12% do total consumido pela indústria química para a produção de soda/cloro e barrilha.

6.1.5 - Total

O consumo interno de sal, no País, deverá atingir 4,2 milhões de toneladas em 1986, quando a indústria química, isoladamente, deverá estar absorvendo 2,1 milhões de toneladas, ou seja, cerca de metade do total de sal consumido no País (Tabela XXI).

Ressalte-se o aumento da participação relativa da indústria química, a qual no início do período analisado, 1970, respondia por somente 28% do consumo interno, atingindo, a partir de 1979, a 50%, devendo permanecer em torno deste nível até 1986. Tal constatação corrobora a afirmativa de que a produção salineira é altamente influenciada pelo desempenho desta indústria.

6.2 - PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO

A projeção da produção interna de sal (Tabela XXII) foi efetuada - tendo em vista a não disponibilidade de informações sobre projetos de implantação e/ou ampliação das unidades produtoras - partindo-se da premissa de que ela se igualaria às solicitações do consumo, interno e externo, tendo em vista que:

- 1) a capacidade de produção de sal-marinho no País é mais que suficiente para atender às necessidades de consumo, inclusive para além do período projetado. Somente no Rio Grande do Norte as empresas em atividade podem produzir, atualmente, cerca de 3,0 milhões de toneladas,

TABELA XXI

PROJEÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE SAL
1984/86

SETORES	1984		1985		1986	
	103 t	%	103 t	%	103 t	%
Alimentação Humana	464	11,27	474	11,38	485	11,55
Pecuária e correlatos	1.030	25,01	1.060	25,46	1.080	25,71
Industrial	2.624	63,72	2.630	63,16	2.635	62,74
. indústrias diversas	494	12,00	500	12,00	505	12,02
. indústria química	2.130	51,72	2.130	51,16	2.130	50,72
- sal marinho	1.280		1.280		1.280	
- sal-gema	850		850		850	
T O T A L	4.118		4.164		4.200	

Fontes dos dados básicos: ABICLOR - CES e CPRM

TABELA XXII

PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DE SAL

1984/86

Unidade: 10³t

ANOS	SAL MARINHO			SAL-GEMA	TOTAL
	PARA CONSUMO INTERNO	PARA EXPORTAÇÃO	TOTAL		
1984	3.268	290	3.558	850	4.408
1985	3.314	340	3.654	850	4.504
1986	3.350	400	3.750	850	4.600

Fonte dos dados básicos: ABICLOR

CES

CPRM

o que, entretanto, significa apenas 1/3 da capacidade máxima estimada pela SUDENE para esta unidade da federação, ou seja, 9 milhões de toneladas anuais. Ressalte-se que, de acordo com levantamentos efetuados pelo antigo Instituto Brasileiro do Sal, apenas o Rio Grande do Norte, isoladamente, contaria com uma capacidade produtiva de 10 milhões de toneladas anuais de sal marinho, das quais 6 milhões em Macau e 4 milhões nos municípios de Mossoró, Grossos e Areia Branca. Considerando-se que tais estimativas foram baseadas em índices de produtividade apurados segundo processos empíricos da época, à base de 52,7 quilos de sal por metro quadrado de área de cristalização, elevados atualmente para 300 quilos, tal capacidade poderia ser ampliada para até 57 milhões de toneladas/ano, significando que, em termos de potencial produtor, o País deverá estar plenamente capacitado a se abastecer de cloreto de sódio, para muito além do período analisado, gerando, inclusive, excedentes de oferta;

- 2) as reservas medidas de sal-gema, oficialmente aprovadas pelo DNPM, são da ordem de 2,1 bilhões de toneladas, das quais 1,5 bilhão em Sergipe; 0,5 bilhão na Bahia e 0,1 bilhão em Alagoas. As quantidades produzidas de sal-gema foram projetadas estritamente em função das quantidades exigidas para a produção de soda/cloro;
- 3) o comércio exterior, que desde 1978 vem absorvendo pequenas porém crescentes quantidades do sal brasileiro, evoluiria a uma taxa média anual de 18%, conforme verificado de 1978/1983;

- 4) o nível de estoques de sal-marinho - atualmente da ordem de 2,6 milhões de toneladas - seria mantido, uma vez que, segundo a Comissão Executiva do Sal, o nível ideal fica em torno de 2/3 do consumo.

7 - BALANÇO PRODUÇÃO-CONSUMO DE SAL

O balanço produção-consumo, abrangendo o sal marinho e o sal-gema evidencia, para o período histórico analisado - 1970/ 1983 a autosuficiência brasileira, capaz, inclusive, de gerar excedentes exportáveis e propiciando a manutenção de altos estoques de sal marinho, os quais, de 1,5 milhão de toneladas no início do período, atingiram 2,6 milhões de toneladas em 1983. Quanto à exportação, os fatores, anteriormente abordados, de abundância, distribuição uniforme, alto custo de transporte - o produto apresenta alto grau de perecibilidade e elevada agressividade ao veículo condutor, exigindo rapidez na movimentação e emprego de graneleiros anti-corrosivos, quando transportado sem embalagens - conduzem, invariavelmente, a quantidades inexpressivas que sempre caracterizaram o comércio internacional de sal.

O balanço consumo-produção projetado, 1984/1986 (Tabela XXIII), apresenta-se praticamente em equilíbrio, uma vez que a premissa adotada foi de que a produção seria função das necessidades do consumo interno e das pequenas quantidades exportadas, as quais se manteriam em níveis pouco significativos, mantendo-se os estoques de sal marinho nos mesmos níveis dos verificados atualmente, ou seja, cerca de 2,5 milhões de toneladas.

TABELA XXIII

BALANÇO PRODUÇÃO-CONSUMO DE SAL

1984/86

Unidade: 10³ t

ANOS	SAL-GEMA			SAL MARINHO		
	PRODUÇÃO (A)	CONSUMO (B)	SALDO (A - B)	PRODUÇÃO (A)	CONSUMO (B)	SALDO (A - B)
1984	850	850	-	3.558	3.268	290
1985	850	850	-	3.654	3.314	340
1986	850	850	-	3.750	3.350	400

III - ESTUDO PRELIMINAR DE LAVRA E
APROVEITAMENTO INDUSTRIAL

1 - HISTÓRICO

O sal-gema é muito difundido no mundo e seus jazimentos se apresentam em escala estratigráfica desde o Infracambriano (Austrália, Oriente Médio) até ao Pleistoceno (Califórnia, Israel, etc). O sal-gema se apresenta em leitos estratificados ou em domos, podendo ser encontrado em profundidades muito variáveis.

Os jazimentos se apresentam tanto em leitos estratificados não tectonizados (La Bresse e Valentinóis, na França, são bons exemplos) como nos leitos tectonizados, mas sem extravasamento (Manosque) ou, ainda, sob a forma diapírica, como na Aquetânia.

A facilidade de extração do sal por dissolução, através de uma simples circulação de água, a partir de um furo ou poço, é a primeira razão de sua atratividade econômica. Em virtude desta atratividade, aliada ao princípio de que o sal-gema em profundidade constitui-se em um meio elástico-plástico, notavelmente na vedação de líquido ou gás e, ainda, que é físico-quimicamente inerte em presença dos hidrocarbonetos líquidos ou gasosos e muito solúvel na água, é que se pensou na abertura de cavernas para estocagem de hidrocarbonetos.

As vantagens desta utilização são, além do custo da estocagem dos hidrocarbonetos - da ordem de US\$ 1,50/barril, enquanto nos tanques na superfície custa quatro vezes mais - a segurança patrimonial/estratégica e a proteção ambiental.

Aliando-se aos critérios de ordem econômica na produção das cavidades, a extração do sal, quando próxima às indústrias utilitárias, acarreta, também, vantagens econômicas na obtenção do cloreto de sódio, do cloro e soda cáustica, do carbonato de sódio ou mesmo à simples produção do sal cristalizado pela evaporação solar ou térmica.

Nos Estados Unidos, 54% da produção doméstica de sal provém da dissolução subterrânea, 32% da mineração convencional e

14% da evaporação solar. No Brasil, atualmente, a dissolução subterrânea responde por 22% da produção do sal, sendo o restante obtido nas salinas.

A dissolução subterrânea foi iniciada pelos idos de 1882, quando se usava o sistema de "ar lift" em Saltville, New York, evoluindo, as técnicas de mineração, significativamente, a partir de então.

2 - MÉTODOS DE LAVRA

Na abertura de cavidades no sub-solo, para extração de sal-gema ou para estocagem de líquidos, têm sido utilizados métodos mineiros clássicos de extração, como poços, galerias, câmaras-e-pilares, etc. A técnica de dissolução é a que, quase sempre, se apresenta como a mais econômica, sendo utilizadas a dissolução vertical e a dissolução horizontal.

A dissolução vertical é a mais utilizada. O método consiste na confecção de um furo clássico, tipo sondagem de petróleo, cujo programa deve ser adaptado às características geológicas (profundidade e espessura do sal, notadamente) como, também, aos imperativos impostos pela dissolução e extração.

A dissolução horizontal é utilizada quando o depósito se apresenta com algumas dezenas de metros de espessura. O método consiste em perfurar vários poços na formação, colocar os poços vizinhos em comunicação um com o outro, por fraturamento hidráulico, segundo o plano de estratificação do sal. O fraturamento, geralmente, segue um plano de contato, como, por exemplo, argila-sal.

2.1 - MINERAÇÃO POR DISSOLUÇÃO

As técnicas de mineração por dissolução oferecem meios de extração de minérios solúveis, particularmente minerais como sal-gema e potássio, de horizontes que não são acessíveis para a mineração convencional. A dissolução do produto a ser extraído pode ser completa ou parcial, buscando-se, quase sempre, a dissolução completa. Mas, mesmo que se consiga o intento desejado, pode haver instâncias em que haja algum material insolúvel presente por uma grande extensão, como partículas granulares ou como camadas insolúveis.

O processo requer, para a obtenção do produto desejado, a abertura de poços de acesso à camada ou domo salino, o suprimento suficiente de água para alcançar os objetivos de produção e o desenvolvimento de uma cavidade subterrânea. O processo de mineração por solução, portanto, depende, em grande parte, de três fatores:

- 1 - disponibilidade de um estrato ou formação relativamente pura do sal a ser minerado;
- 2 - poço ou poços de acesso; e
- 3 - controle adequado do processo de dissolução, tal que o alargamento das cavidades subterrâneas possa ser bem delineado.

O método é empregado para extração de um ou mais minerais solúveis, através da introdução de um solvente adequado no depósito mineral, com o objetivo de se obter a solução resultante. Usualmente, é utilizado a água como solvente, na temperatura ambiente ou aquecida, para aumentar a sua solubilidade.

O método de lavra por dissolução subterrânea apresenta, atualmente, resultados surpreendentes em face de possibilitar minerar jazidas de sal-gema situadas a grandes profundidades, mini

mizando os custos de produção por tonelada de sal extraído. Comparativamente, pode-se afirmar que tais custos são bastante inferiores aos que se obtêm nos demais processos de extração, além de proporcionar a obtenção de uma ampla quantidade de sal de alta pureza.

A mineração por dissolução do sal pode ser feita por poços isolados ou por poços conjugados/interligados.

2.1.1 - Sistemas de Extração Através de Poço Isolado

A água é injetada, a alta pressão, através do poço ou poços tubulares profundos que têm acesso ao depósito mineral. Por diferencial de pressão a solução saturada em sal, ou próxima da saturação, retorna pelo mesmo poço e atinge a superfície.

Os sistemas de poço único, para produção de salmoura, são apresentados em tipos, em função da maneira como é injetado o solvente - água, quase sempre -, como segue:

- Injeção pelo topo (anular)
- Injeção pela base
- Método Trump
- Injeção pela base (anular)
- Injeção Mista (Topo e Base)

2.1.1.1 - Injeção pelo Topo (Circulação Inversa)

Esta aproximação envolve a instalação de um tubo condutor ou de superfície, através do capeamento consolidado, até a rocha subjacente, por meio de uma sonda a cabo ou rotativa. Quando adequadamente instalado, este tubo condutor é cimentado na rocha pelo pressionamento de uma polpa de cimento para baixo e por fora do revestimento. Um tampão seguidor, acionado por meios mecânicos ou hidráulicos, força o cimento a subir no

anular forçado pelo tubo condutor e o furo aberto. Depois que o cimento tenha sido curado, a perfuração do furo é continuada até o topo da camada superior do sal, onde para a perfuração e desce o revestimento principal, cimentando até a superfície, de maneira similar àquela usada no assentamento do tubo condutor.

Uma vez assentada a tubulação principal, a perfuração é continuada até a base da camada de halita, com diâmetro reduzido de acordo com o do diâmetro do furo revestido. Depois desta etapa desce, no furo, uma tubulação anular, estendendo-se da superfície até próximo da base do sal ou até a profundidade determinada para início da mineração (Fig. 52).

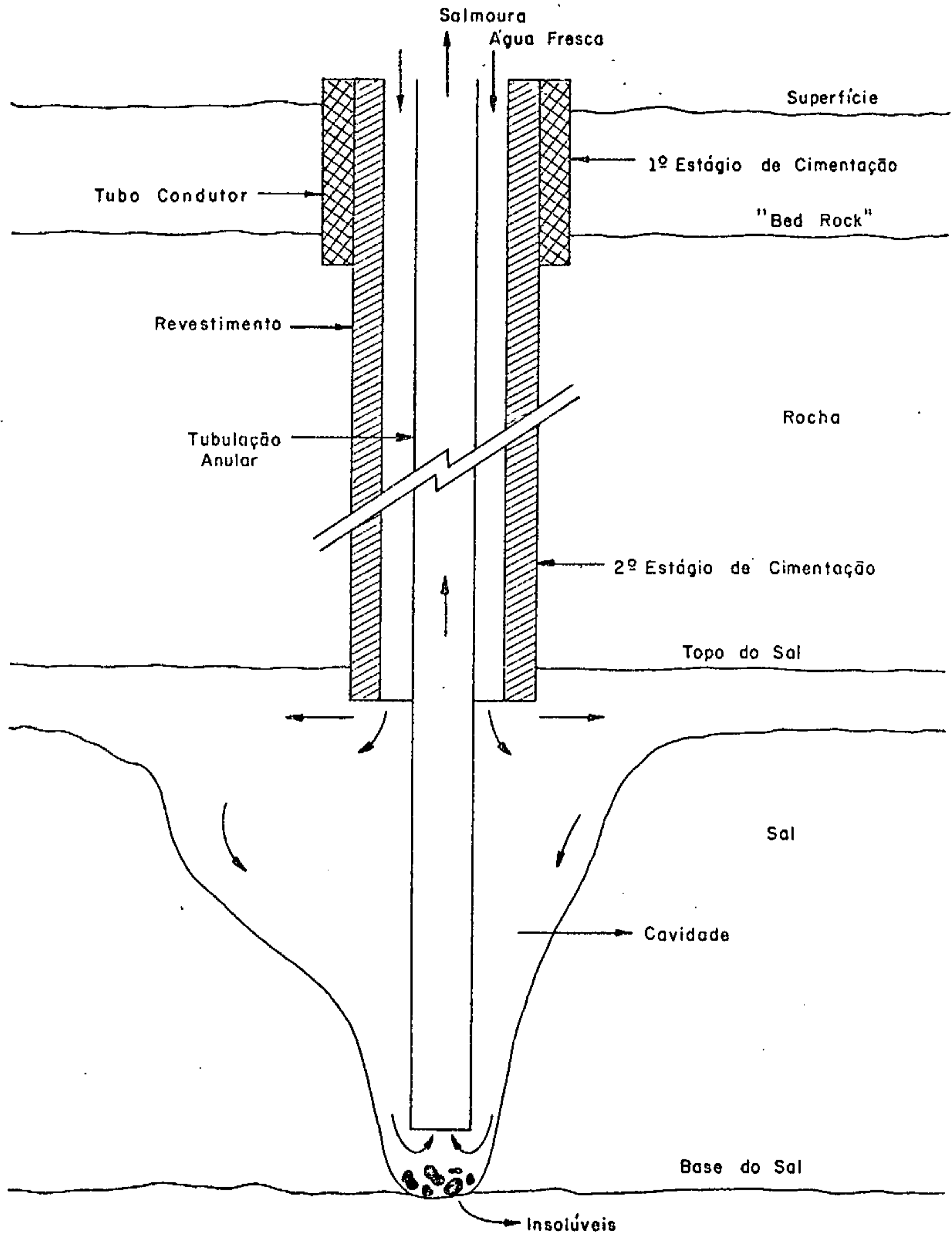
Alguns operadores criam um fosso na base do topo para coleta dos resíduos insolúveis, muito comuns nestes tipos de depósitos.

A vantagem principal deste sistema é a simplicidade da operação do poço.

As desvantagens são:

- 1 - a coleta de insolúveis em torno da base do poço de produção;
- 2 - a rápida exposição de grandes áreas de rocha do tipo do sal, o que pode levar a posições insustentáveis, causando o colapso de tais camadas, ou até levando-as à subsidência, resultando no dobramento ou mesmo na destruição da tubulação de produção;
- 3 - dissolução da parte superior da camada de sal, com recobrimento subsequente da porção inferior da lâmina inferior de salmoura por materiais insolúveis;
- 4 - baixa percentagem de extração; e
- 5 - geralmente, baixas razões de produção (menos que 100 galões por minuto).

Fig. 52 - INJEÇÃO PELO TOPO



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escala : Sem Escala

2.1.1.2 - Injeção pela Base (Circulação Direta)

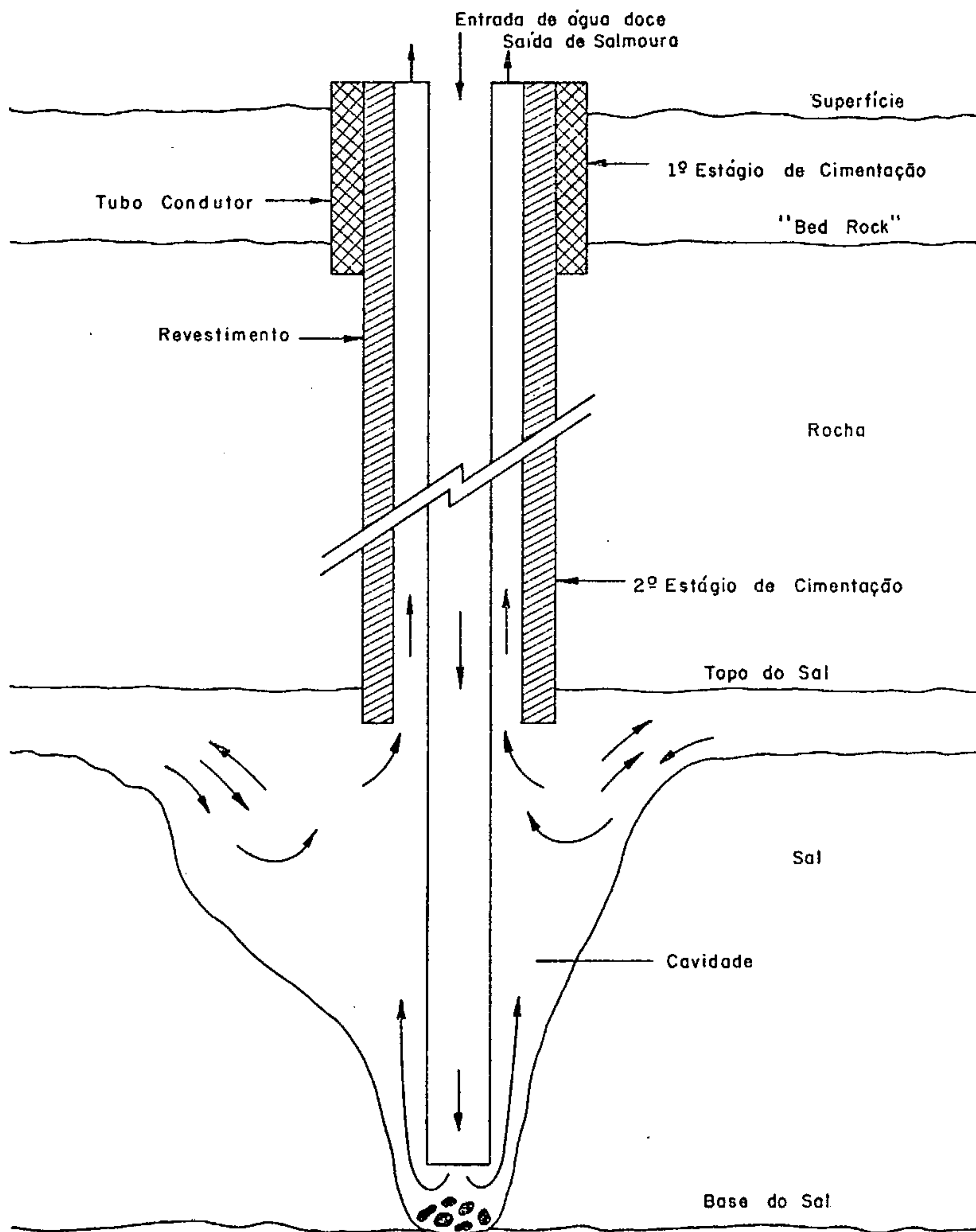
Este sistema envolve a operação de um poço, similar em construção a um poço de injeção pelo topo, onde a água é internamente injetada na tubulação. Em geral, o método de injeção pela base produz uma salmoura saturada com uma razão mais baixa do fluxo - da ordem de 15 a 20 galões por minuto (Fig. 53).

As vantagens reivindicadas para este sistema são:

- 1 - uma forma de cavidade mais uniforme;
- 2 - menor manutenção e reparo, devido à maior área do fosso para materiais insolúveis e outros detritos;
- 3 - menor bloqueamento ou tamponamento da tubulação pelos materiais insolúveis; e
- 4 - maior percentagem de extração.

A circulação direta minimiza o efeito da dissolução na parte inferior da cavidade, pois o tubo central se prolonga até a base da cavidade, onde ocorre a injeção de água. Assim, o poder de dissolução na parte basal é bem maior, e, ao sair a solução pela parte superior, a mesma já se encontra bastante saturada, reduzindo o poder de remoção do sal naquela região. A configuração da cavidade deverá ser similar a um cone, sendo bastante estável. Possibilita, ainda, grande estabilidade por tonelada de sal removido e maior recuperação por poço, pois a cavidade poderá atingir maior volume espacial, com reflexos sobre a sua vida útil. Evitam-se possíveis entupimentos no tubo central bem como no anular, onde é feita a captação da salmoura. Em contrapartida, o volume de salmoura saturada (m^3/h) por poço, é menor.

Fig. 53 - INJEÇÃO PELA BASE (Circulação Direta)



CPRM
PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

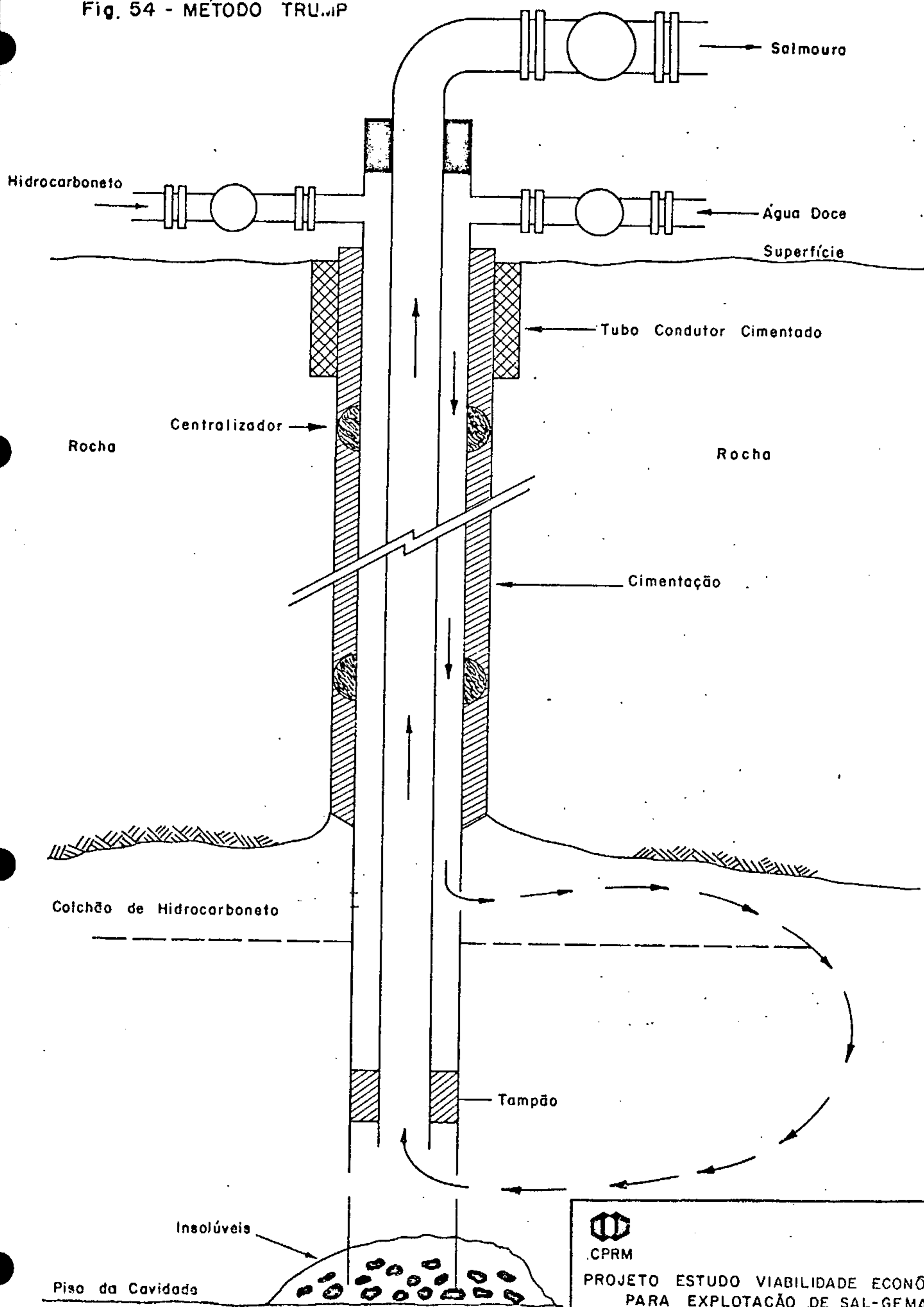
Escala : Sem Escala

2.1.1.3 - Método Trump

Este termo, geralmente, é aplicado à mineração por dissolução, onde uma lâmina pneumática ou de hidrocarboneto é usada para controlar o nível em que a solução de sal deve ocorrer. Este colchão fica entre as camadas superiores de sal e a porção da camada mais inferior, a qual é, usualmente, a primeira a ser minerada. A aplicação simples do princípio de Trump clama pela instalação de duas tubulações, uma interna à outra, com um espaço anular entre elas dentro do revestimento. Vários meios são usados para calcular a localização e manutenção da interface do solvente (colchão) - por injeção pelo topo, pela base ou outras combinações, como, por exemplo, o ponto intermediário que pode ser usado pelo sistema (Fig. 54). A injeção pelo topo é a preferida por muitos operadores que usam o sistema de poço único. Primordialmente, esta seleção é devida aos maiores fluxos de salmoura saturada que este sistema pode desenvolver. Adicionalmente, considerando-se que o colchão controle a forma da cavidade resultante, a principal vantagem da injeção pela base das duas tubulações concêntricas é uma função do grau necessário de saturação, do volume da salmoura requerida e da área do sal exposta e/ou da maturidade da cavidade.

O uso de colchões de hidrocarbonetos é mais prevalente do que o pneumático, além do aspecto combinado salmourização-estocagem. Os hidrocarbonetos, mesmo com instalação mais cara, são de baixo custo de manutenção. Além disso, as pressões de operação são inferiores pelo uso do colchão de hidrocarbonetos, em face do peso de sua coluna ser bem maior do que o de uma similar de gás.

Fig. 54 - MÉTODO TRUJIP



CPRM
PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escala : Sem Escala

2.1.1.4 - Injeção pela Base (Anular)

Esta é a aproximação menos usada devido à baixa capacidade de produção de salmoura inerente ao sistema. As modificações do sistema que dão ao solvente injetado um componente horizontal são preferíveis, mas a exposição das tubulações concêntricas, as ameaças de desmoronamento do teto, a movimentação de rocha e o tamponamento dos tubos, tornam este sistema um dos menos atrativos e dos mais caros, do ponto de vista de manutenção (Fig. 55).

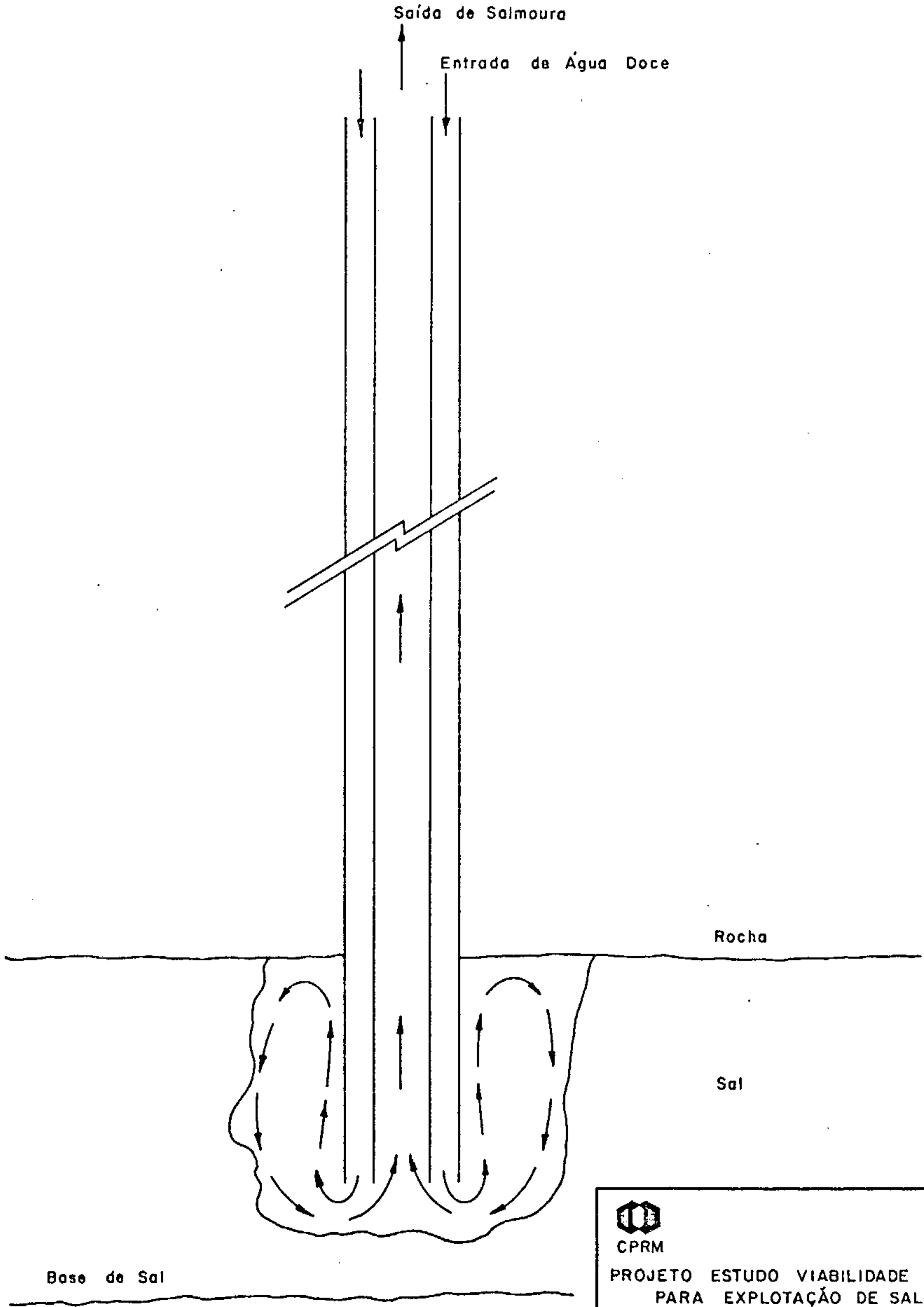
2.1.1.5 - Circulação Mista

O poço é preparado de maneira que se possa utilizar os dois sistemas, dependendo dos objetivos propostos, além de amenizar e melhor controlar o topo da cavidade. As posições dos tubos, central e intermediário, poderão ser alteradas de maneira a possibilitar maiores volumes de produção de salmoura e dar configurações desejadas às cavidades, principalmente quando se pretende a utilização futura das cavidades para outros fins ou para corrigir a má formação.

2.2 - PRODUÇÃO DE SALMOURA EM GALERIA

Este processo permite a produção de salmoura concentrada, pela injeção de água por um poço, dissolução do sal no horizonte de sal-gema e extração de solução saturada por outro poço, intercomunicado com o primeiro por uma galeria desenvolvida a partir de fraturamento, ou mesmo a junção da cavidade de um poço com a de outro e/ou outros.

Fig. 55 - INJEÇÃO PELA BASE (Anular)



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escala : Sem Escala

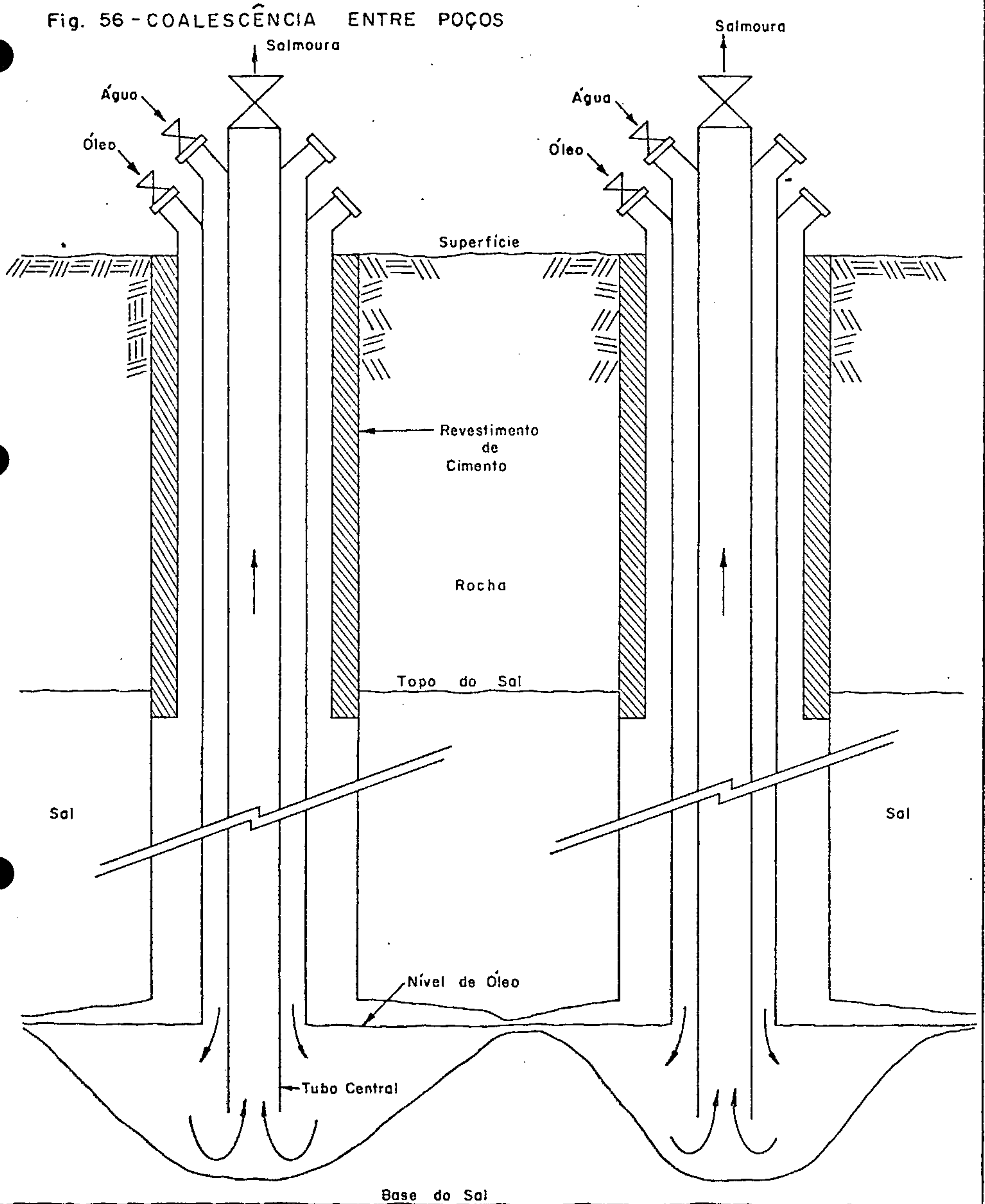
2.2.1 - Coalescência de Poços

Neste sistema, procura-se colocar os poços adequadamente espaçados (100 m, por exemplo) e começa-se a trabalhar cada poço individualmente. Após algum tempo de operação e atuando-se para que as cavidades se desenvolvam lateralmente, até que uma cavidade se interligue com outra ou outras, pode-se unir dois ou mais poços num mesmo sistema. Quando isto ocorrer, a injeção pode ser feita através de um poço e a recuperação da salmoura por um segundo poço. A este processo se dá o nome de coalescência de poços e quando isto acontece temos uma maior produção de salmoura, assim também como uma maior recuperação de jazimento (Fig. 56).

Com esta técnica procura-se fazer com que o desenvolvimento da cavidade cresça, adquirindo a configuração de um cone invertido, até que a cavidade de um poço se encontre com a do outro. Em alguns lugares consegue-se alcançar bons resultados num período de 18 meses, em poços afastados uns dos outros cerca de 90 metros. Faz-se o desenvolvimento dos poços simultaneamente, através da circulação inversa e, quando interligados, os poços, que originalmente eram operados isoladamente, passam a constituir um poço de injeção e outro de produção, com as seguintes vantagens:

- 1 - produção contínua com poucas paradas para manutenção e reparos;
- 2 - maior recuperação das reservas de sal, ou seja, maior recuperação por poço, reduzindo o custo unitário por tonelada de sal extraído;
- 3 - a configuração da cavidade é mais facilmente controlada;
- 4 - menor tempo de desenvolvimento para se obter volumes de salmoura saturada; e
- 5 - menor possibilidade de ocorrência de subsidência, pois a interligação se faz a partir da camada mais profunda do depósito.

Fig. 56 - COALESCÊNCIA ENTRE POÇOS



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escola : Sem Escola

Esta técnica é normalmente mais adequada para jazidas camadas.

2.2.2 - Galerias entre Poços

Este sistema é grandemente empregado em jazidas dispostas em camadas e que apresentam pequena espessura, mas com grandes reservas em extensão horizontal, porque a lavra de depósitos em tais condições, por poços isolados, faz com que a relação de investimento por tonelada de sal recuperável torne-se muito grande, inviabilizando economicamente o empreendimento.

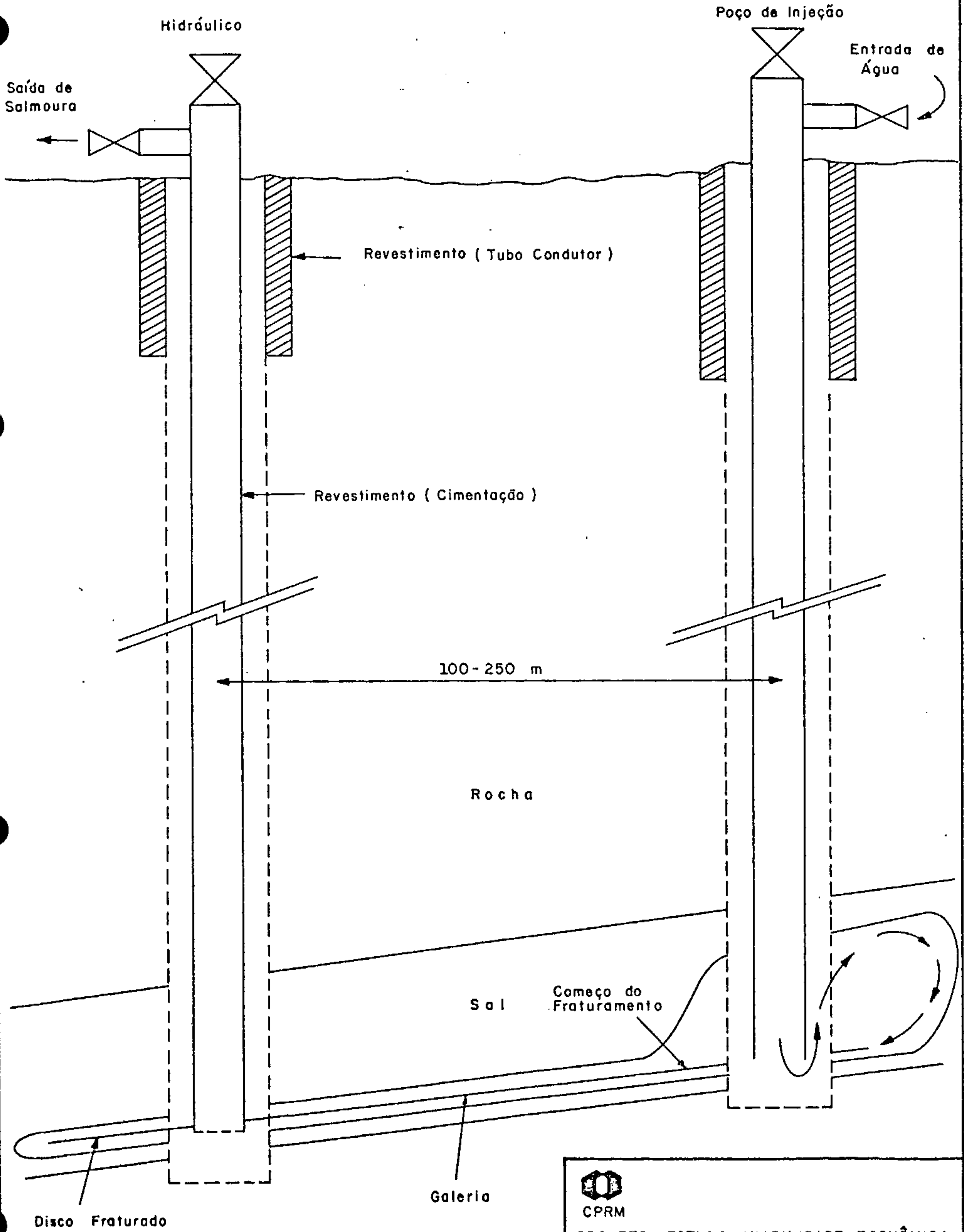
Este sistema utiliza-se do fraturamento hidráulico, tecnologia muito aplicada pela indústria de petróleo.

Cada poço é perfurado até uma profundidade que ultrapasse um pouco a base do sal ou aquele horizonte escolhido para o fraturamento (Fig. 57). Antes de revestir o poço, o nível da hidrofratura é cuidadosamente escolhido, por meio de perfis geofísicos, coincidindo, normalmente, com um plano de xistosidade identificável em ambos os poços.

O revestimento é descido, a seguir, e cimentado às encaxantes, com todos os cuidados possíveis para assegurar uma ligação hermética do tubo com as paredes do furo. Novamente deve ser verificada a posição do nível de fraturamento, desta vez com auxílio das diagrfias nucleares. Feito isto, cada revestimento é perfurado no nível de fraturamento, empregando-se canhões especiais.

Após cimentar os poços, perfura-se os revestimentos no nível da fratura, instala-se as válvulas de controle e inicia-se a operação de fraturamento, injetando salmoura no poço mais fundo, chamado poço de extração. Pressões suficientemente elevadas são usadas para forçar a penetração do líquido do horizonte escolhido (xisto, argila-sal ou outra qualquer estrutura que apresente xis

Fig. 57-EXTRAÇÃO DE SALMOURA POR GALERIA — FRATURAMENTO



CPRM
PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escala : Sem Escala

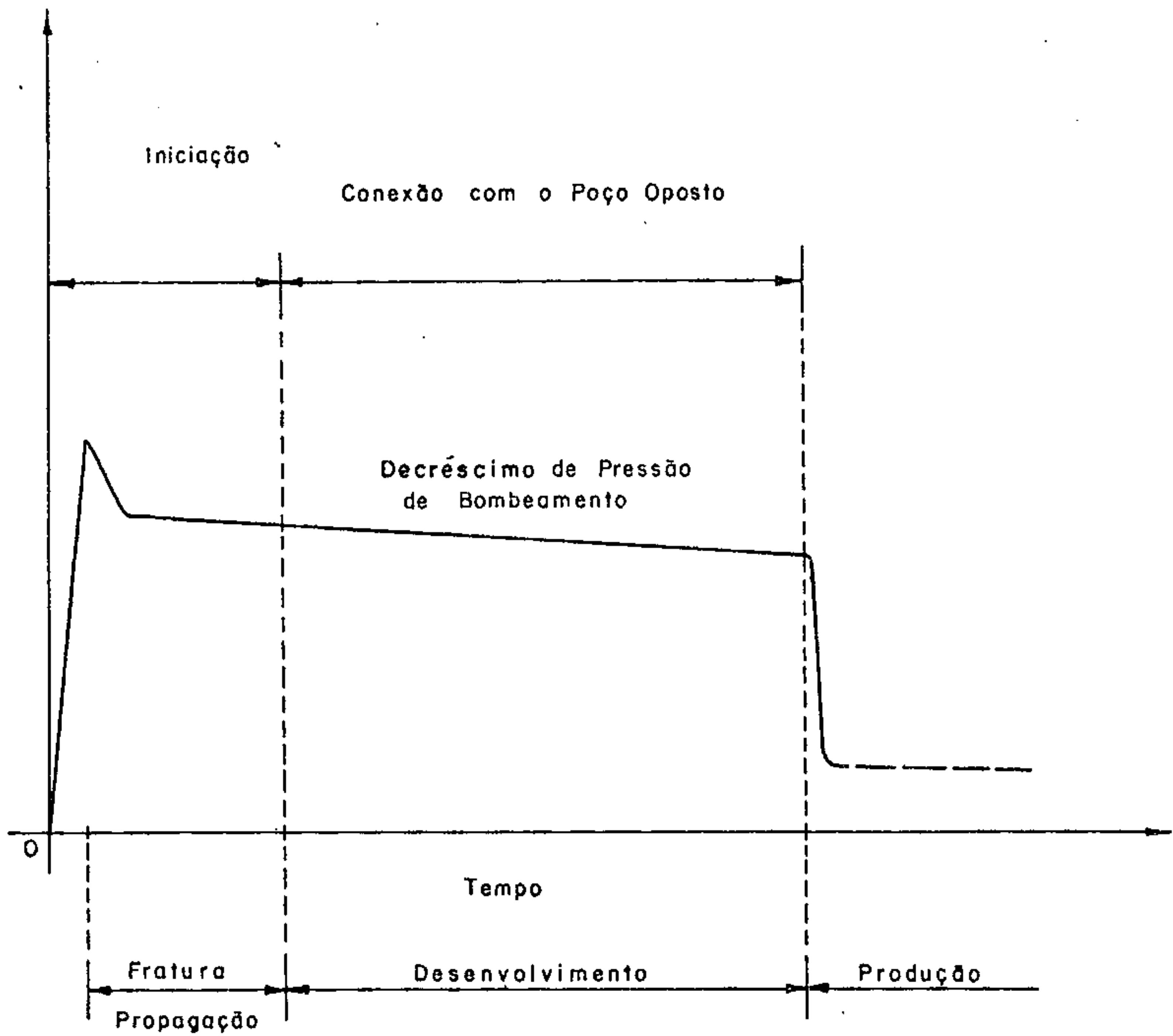
tosidade ou ponto de fraqueza), de modo a formar como que um disco de solução em torno do poço. A válvula é, em seguida, fechada, para manter a pressão da salmoura injetada. Com esta operação, a salmoura de fraturamento, que virá do poço de injeção, que está em nível mais alto, terá como alvo não um tubo de diâmetro de menos de 30 cm, mas um disco de 20 ou 30 m de diâmetro. Isto é o fraturamento hidráulico.

Na extração da salmoura por galeria, a água sempre entra pelo poço de nível mais alto, por que, à medida que a solução vai se tornando mais concentrada ela também vai ficando mais densa, tendendo a vir para o fundo, de modo que, na galeria de intercomunicação, ela se desloca no sentido do poço mais profundo, que é o de extração. Após feito o fraturamento, começa-se a bombear a salmoura pelo poço de injeção, em pressões que determinem sua penetração ao longo da xistosidade do horizonte selecionado, até chegar ao disco fraturado no poço de extração. A ligação dos poços é caracterizada por uma queda de pressão. Deve-se manter sob pressão a salmoura que enche a fratura, para que esta não se feche novamente, sendo, todavia, substituída por água doce no bombeamento para dissolver uma camada de interconexão. Somente após a abertura desta galeria, e assegurada a ligação permanente dos dois poços, é que pode ser aliviada a pressão para a de operação normal.

Na Fig. 58 é apresentado um gráfico de pressão de uma operação típica de fraturamento. São usadas bombas especiais para o fraturamento, cujas pressões variam de 2.000 a 4.000 psig, de acordo com a estrutura.

É muito importante que os poços sejam alinhados segundo a linha de mergulho da camada, para assegurar a simetria da cavidade com relação a este eixo, pois a água é alimentada pelo poço de injeção e a quase totalidade da dissolução do sal se processa na área de influência deste poço. No poço de extração, a salmoura já chega

Fig. 58 - GRÁFICO DE PRESSÃO DE UMA OPERAÇÃO TÍPICA DE FRATURAMENTO HIDRÁULICO.



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escala : Sem Escala

praticamente saturada de modo que há pouca dissolução e a cavidade pouco se desenvolve nesta região.

O formato da cavidade guarda grande relação com o mergulho das camadas. Com mergulho baixo a cavidade se assemelha a um elipsóide, com o eixo maior paralelo a ele, tanto mais alongado quanto maior o mergulho.

A distância entre os poços de um par varia de 100 até 250 metros. A literatura cita casos de arranjo triangular de poços, porém o arranjo binário, segundo o mergulho é, sem dúvida, o melhor sob o ponto de vista de estabilidade das cavidades.

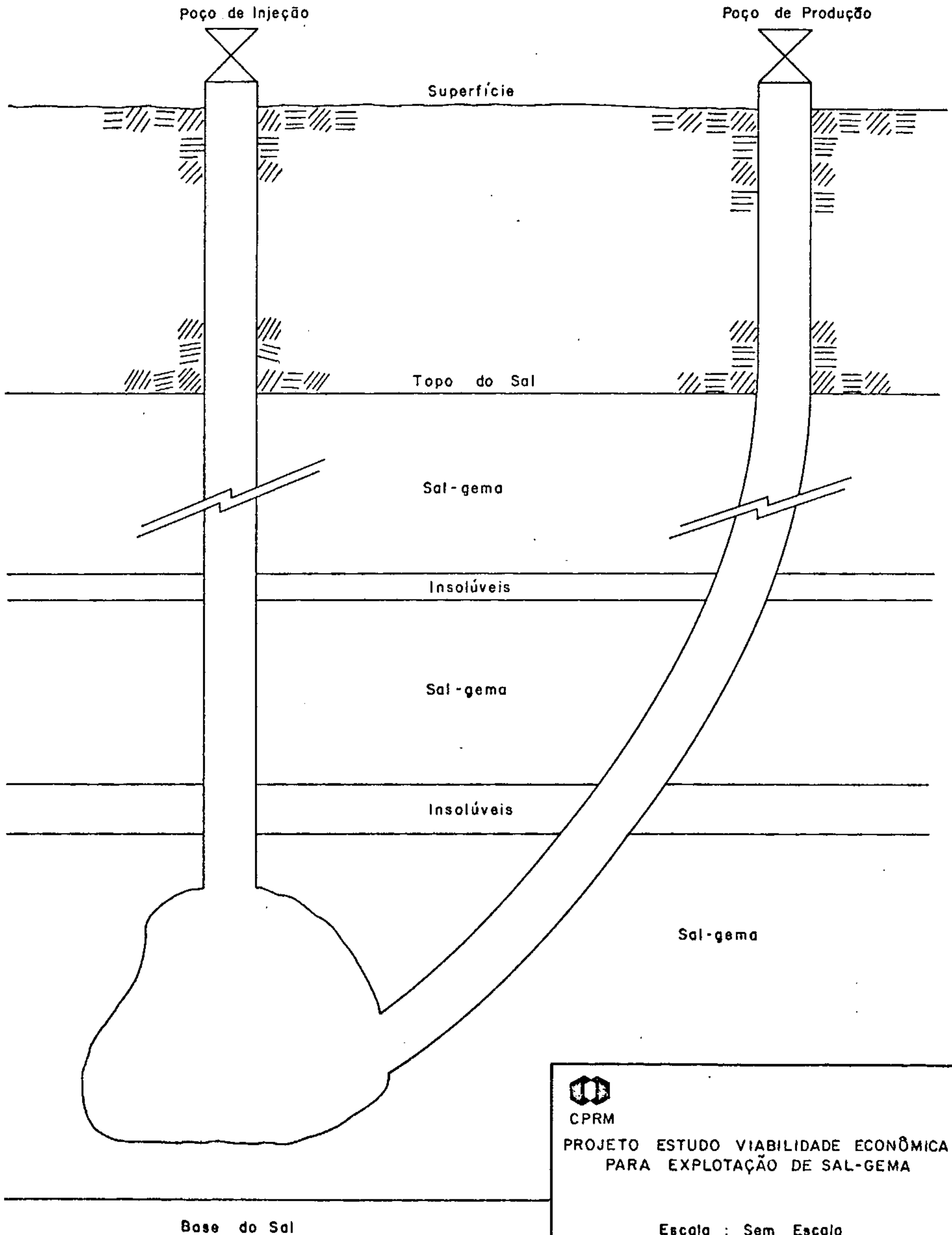
2.3 - PERFURAÇÃO DIRECIONAL

Em função do avanço tecnológico na perfuração de poços de petróleo, vem aumentando o interesse de alguns industriais na utilização de perfuração direcional para ligações com poços para produção de salmoura. É um processo de tecnologia de alto custo, que só deve ter sua utilização cogitada na produção de salmoura, no caso em que qualquer um dos processos descritos anteriormente não se apresente eficaz na interligação de poços. Na Fig. 59 é apresentada uma esquematização da perfuração direcional.

Em todo e qualquer dos processos descritos anteriormente deve-se usar a injeção, no poço, de um produto de densidade menor do que a salmoura e imiscível nela, para fazer com que a cavidade se propague lateralmente e evitar o desmoronamento de blocos de tamanhos que possam danificar os encanamentos e mesmo proteger o topo do sal.

Também deve-se levar em consideração que, nas formações, quase sempre, há intercalações de camadas insolúveis que possibilitam turbulências e mudanças de direção do fluxo, gerando grandes variações na forma da cavidade. Além disso, com a dissolução do sal, essas camadas tendem a desmoronar, provocando entupimen

Fig. 59 - PERFURAÇÃO DIRECIONAL



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escala : Sem Escala

tos nas cavidades, empenos, prisões e rupturas do tubo central. E, quando isto acontece, o poço tem de ser paralizado para substituição de tubulações e reparos, podendo-se chegar a perda total do poço, conforme a dimensão do desmoronamento.

A mineração por solução para produção de salmoura, mesmo vindo dos primórdios de 1882, somente bem mais recentemente vem se desenvolvendo largamente, face ao grande avanço nas técnicas empregadas para perfuração de poços de petróleo, com o desenvolvimento da perfuração rotativa, novas técnicas de cimentação e perfilagem de poços, novos tipos de revestimentos, perfuração direcional, fluídos especiais, fraturamento hidráulico, "Sonar Coliper" para controle do formato das cavidades, etc.

Em função destas novas e sofisticadas tecnologias, a dissolução subterrânea vem possibilitar a lavra de jazidas de sal-gema a grandes profundidades, minimizando os custos de produção por tonelada de sal extraído. Comparativamente, pode-se afirmar que tais custos são bastante inferiores aos que se obtêm com os demais processos de extração, além de propiciar a obtenção de uma ampla quantidade de sal de alta pureza.

3 - MECANISMO DE DISSOLUÇÃO DO SAL

A relação com que a água doce, que é injetada em uma cavidade, afeta a sua forma e a relação com que o sal é removido, é muito variável. Isto pode ser atribuído ao perfil de salinidade existente e não diretamente à velocidade do fluxo dentro da cavidade. Se uma cavidade for enchida com água doce e a razão de injeção for muito pequena, a água não deve carrear o sal tão rapidamente quanto ele é dissolvido. A salinidade na cavidade deve começar a aumentar e, então, a razão em que o sal é dissolvido deve ir diminuindo até que algum equilíbrio seja estabelecido.

3.1 - ANÁLISE MATEMÁTICA

Os efeitos de convecção são de importância capital na análise da dissolução controlada do sal. A água, em contato com uma superfície de sal, aumentará em densidade quando o sal for dissolvido e se moverá para baixo por convecção natural. A velocidade deste fluxo da camada limitante é uma função da diferença de densidade entre tal camada e o volume de água, assim como das forças de tensão da viscosidade, que tendem a retardar o fluxo.

Da analogia do problema de convecção do calor, o perfil de concentração é admitido ser parabólico e o perfil de velocidade de aproximadamente paralelo à camada de sal.

Os perfis de concentração e velocidade são determinados pelas equações seguintes:

$$C = C_s \left(1 - \frac{y}{\delta} \right)^2$$

$$U = U_1 \frac{y}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta} \right)^2$$

Onde: C_s = a diferença entre a concentração do sal na água em contato imediato com a superfície do sal e a concentração do volume de água

y = a superfície do sal

δ = a largura da camada limitante

U_1 = uma constante desconhecida, a ser determinada

Vários fatores, a seguir enumerados, mas não descritos e quantificados, influenciam a mineração por dissolução:

1 - Equação de Momento

As forças atuantes nas camadas limitantes são equacionadas para obtenção de uma equação de momento.

2 - Transferência de Sal

A razão de transferência do sal por dissolução na água é determinada pelo gradiente de concentração e a constante de fusibilidade.

3 - Convecção Natural

4 - Influência das Feições da Superfície

5 - Efeito do Ângulo de Inclinação

6 - Efeitos de Superfície

7 - Inclusões Insolúveis

8 - Turbulência da Camada Limitante

9 - Efeito da Camada Limitante na Convecção Livre do Sal

10 - Efeito do Perfil de Velocidade

11 - Efeito do Mecanismo do Fluxo no Fluido Global

4 - SELEÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA

A lavra por solução de minerais evaporíticos é, hoje, um processo difundido e usado na produção de salmoura de sal-gema. Entretanto, não se conhece, até hoje, qualquer lavra para sal-gema em domos salinos na plataforma continental, talvez por causa da grande complexidade e dos custos elevados que adviriam da aplicação de quaisquer dos sistemas e métodos de extração, como definidos anteriormente, para produzir salmoura de sal-gema, mineral que, apesar de muito útil à humanidade, é relativamente barato em comparação a outros bens minerais.

À semelhança dos procedimentos que se aplicam à localização e construção de um campo de salmoura em terra, são alinhados, a seguir, a sequência dos conhecimentos que se fazem necessá

rios à preparação de um projeto de aproveitamento industrial das salmouras de sal-gema.

I - Considerações Preliminares:

A - Requisitos de Planta

- a) Quantidade de salmoura
- b) Qualidade da salmoura
- c) Grau de saturação requerido

B - Fatores de Subsuperfície

- a) Geologia
- b) Mecânica das rochas
- c) Hidrologia
- d) Operações extrativas anteriores e ambiente

C - Fatores de Superfície

- a) Ambiente
- b) Topografia
- c) Limites de propriedade
- d) Relação campo de salmoura-planta

D - Estudo de Pré-Viabilidade

- a) Traçado preliminar do campo de salmoura
- b) Investimento de capital
- c) Custos de capital
- d) Custos de operação
- e) Custos do tratamento da salmoura
- f) Impostos e incentivos
- g) Retorno sobre o investimento

II - Engenharia Preliminar

A - Propriedade (Aquisição)

- a) Opção dos direitos da superfície e do mineral
- b) Direitos do local do poço

- c) Direitos de entrada e saída
- d) Direitos do caminho para estradas, tubulações e linha de força

B - Suprimento de Água

- a) Considerações ambientais
 - Nível de água no solo
 - Transgressão água-sal
 - Efeito sobre a agricultura local, indústria e uso doméstico
- b) Características de suprimento
 - Volume (continuidade e variações cíclicas)
 - Qualidade

C - Suprimento de Sal (Exploração)

- a) Levantamentos geofísicos
 - Sísmica
 - Gravidade
- b) Poços Perfurados
 - Testemunhos
 - Perfis geofísicos
 - Testes hidrológicos

III - Projeto e Análise de Custo

A - Traçado e Custo do Campo de Salmoura

- a) Projeto e custo dos poços de salmoura
- b) Esquema do sistema subsidência
- c) Estrada e locais dos poços
- d) Tubulações e linhas de força
- e) Proteção catódica
- f) Bomba e facilidade de bomba
- g) Planta de tratamento de água e alimentação

- h) Reservatórios e aeração
- i) Segurança
- j) Programa de execução

IV - Construção

A - Planos e Especificações para Licitação

- a) Estradas de acesso, locais de perfuração e tanques de salmoura
- b) Tubulações, bombas e estação de bomba
- c) Perfuração
- d) Tubos e suprimentos
- e) Proteção catódica
- f) Tratamento e aeração de água de alimentação
- g) Segurança

B - Pagamento das Licitações

C - Supervisão geológica e de engenharia

D - Colocação em marcha

V - Operações

A - Controle de quantidade

B - Controle de qualidade

C - Controle ambiental

a) Subsidência

b) Reciclagem das soluções não saturadas

c) Amostragem da água do solo

D - Observação do crescimento da cavidade

E - Programa de manutenção preventiva

F - Manutenção

a) Poços

b) Tubulações e bombas

- c) Medições
- d) Estradas ou vias de transporte
- e) Proteção catódica
- f) Segurança

4.1 - CARACTERÍSTICAS DOS DOMOS SALINOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL AO SUL DA BAHIA E ESPÍRITO SANTO

Segundo estudos sísmicos e outros realizados pela PETROBRÁS, foram detectados na Plataforma Continental ao Sul da Bahia e Espírito Santo 21 domos salinos, detendo reservas incomensuráveis, conforme descritos no Capítulo I.

Há vários poços perfurados nas áreas salíferas, feitos pela PETROBRÁS, mas somente o poço 9-CPRM-1-ESS foi perfurado, pela CPRM, com a finalidade de detectar enxofre e sal-gema.

Este poço está nas coordenadas: latitude $19^{\circ} 00'59''$ e longitude $39^{\circ}11'33''$; foi perfurado pela Sonda Vinegarroon, operada pela Zapata, de 27/03 a 05/04/71 (Fig. 46 - Volume II). Este furo apresentou uma lâmina d'água de 39 m e mais 67,5 m de rochas clásticas, com o topo do sal a 123,5m, sendo perfurado até esta profundidade com diâmetro 30"; onde recebeu tubo condutor, depois foi perfurado até 1.016 m de profundidade com 12 1/4" (Fig. 47 - Volume II). O poço foi testemunhado em 4 intervalos e, após terminada a perfuração, foram corridos os seguintes perfis: LL, BSL (integrado), FDC, RG e SNP.

Dos testemunhos deste furo foram preparadas 10 amostras para diversos tipos de estudo, entre eles análises químicas, que apresentaram os teores a seguir discriminados.

TABELA - XXIV

TEORES MÉDIOS, EM PERCENTAGENS DE SAIS, DOS INTERVALOS
TESTEMUNHADOS NO POÇO 9-CPRM-1-ESS

TESTE MUNHO	INTERVALO (m)	ESPES- SURA (m)	ANÁLISE QUÍMICA (%)				TOTAL (%)
			H ₂ O	RI	CaSO ₄	NaCl	
1 - 2	326/344,54	18,54	0,33	5,68	3,70	89,70	99,41
3	630/639	9,00	0,06	1,31	1,56	96,52	99,45
4	1.000/1.016	16,00	0,61	3,86	2,32	92,91	99,70

Fonte: Relatório de Análises Laboratoriais - CPRM

A descrição da halita estudada neste poço encontra-se na Fig. 47 - Volume II.

4.2 - O MÉTODO DE LAVRA

Em função das características estruturais e estratigráficas dos domos salinos da costa do Espírito Santo e levando-se em consideração as grandes espessuras daqueles domos salinos (mais de 4.000 metros) e não intercalações de materiais insolúveis (folhelhos, argilas e outros) e, ainda, devido à busca de maiores fluxos de salmoura próxima da saturação, optamos pelos sistemas de injeção de água pelo topo. A sua simplicidade e maior produção de salmoura saturada ditam a sua escolha. Além disso, as desvantagens apresentadas na descrição do sistema, acredita-se, não deverão existir na operação daqueles domos salinos, ou, se existirem, deverão ser minimizadas.

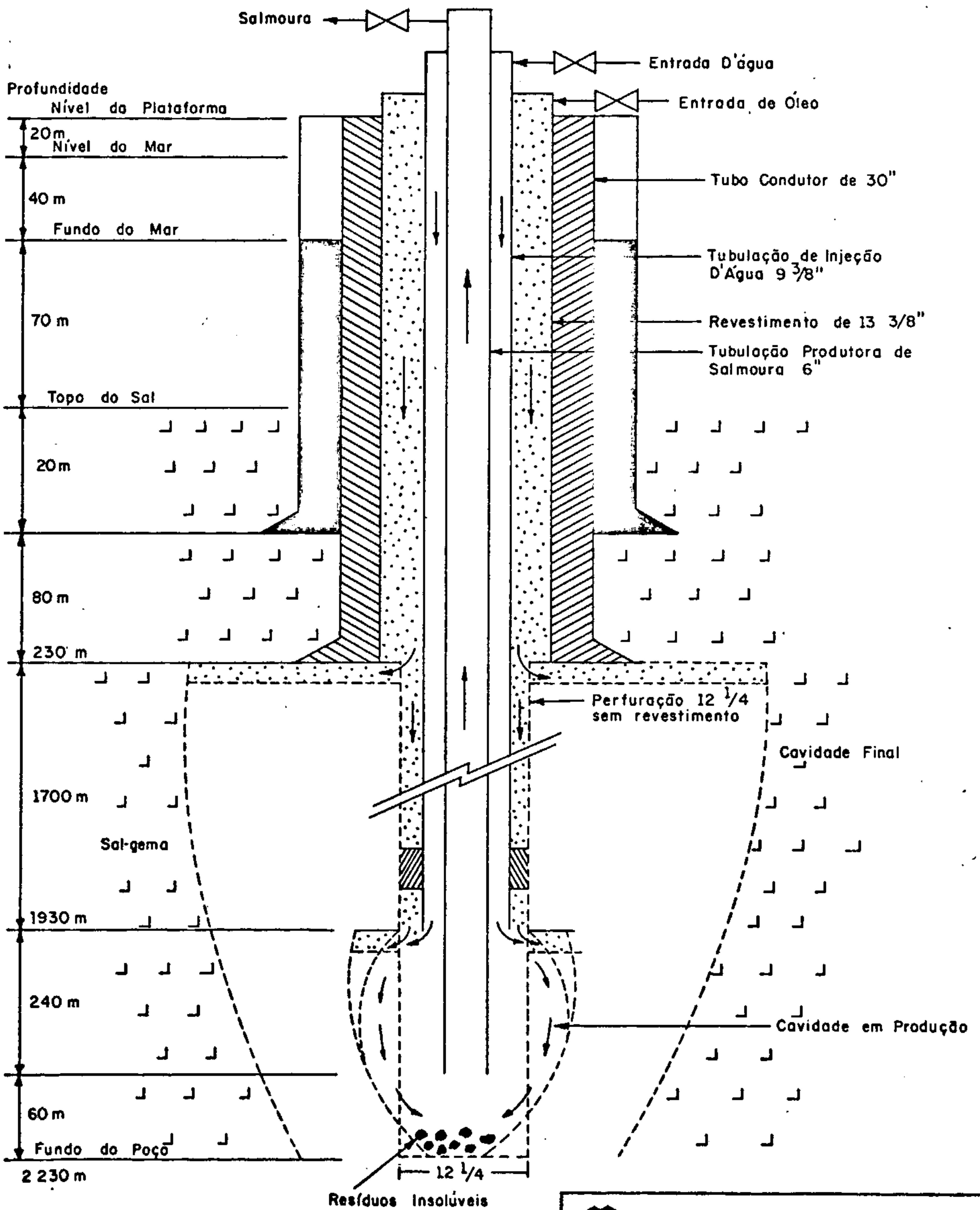
Saliente-se que essa escolha está fundamentada em dados ainda bastante preliminares.

4.2.1 - Descrição de um Programa de Perfuração

O programa de perfuração, descrito a seguir (Fig. 60), é sugerido em caráter preliminar, supondo as condições do poço 9-CPRM-1-ESS.

- a - Preparar a locação para uma plataforma submarina, ou mesmo aproveitar a locação do furo do poço 9-CPRM-1-ESS, aproveitando os 1.016 m perfurados em diâmetro de 12 1/4", com tubo condutor de 30" já assentado.
- b - Caso contrário, fazer um novo furo conforme especificações abaixo:
 - 1 - instalar equipamento de sondagem capaz de perfurar até 2.230 m, ou melhor, de manusear 1.930 m de revestimentos de 9 5/8";
 - 2 - assentar o tubo condutor de 30";
 - 3 - perfurar até 230 m de profundidade com broca de 17 1/2", descer o revestimento de 13 3/8", circular e condicionar lama, mudando a base da lama próximo do topo do sal, para permitir a juntada de 350 kg de sal por metro cúbico, ou mesmo usar lama à base de óleo para evitar a dissolução do sal do domo, antes do assentamento de toda a tubulação;
 - 4 - descer a broca de 12 1/4" e perfurar até 2.130 m;
 - 5 - circular e perfilar (indução, gama e sônico) em intervalos de 150 m até o fundo do poço, procurando manter o poço o mais vertical possível;
 - 6 - o poço estará pronto para receber as tubulações de desenvolvimento e de produção, constantes de um tubo de 9 5/8" descido até 1.930 m abaixo do nível do mar e outro concêntrico de 6" até 2.170 m de profundidade do nível do mar.

Fig. 60-SUGESTÃO DE PROGRAMA DE PERFURAÇÃO



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Extração de Salmoura por Cavidade

Escala : Sem Escala

Para completar o poço torna-se necessário instalar sua cabeça, que consta dos seguintes equipamentos:

- a) Válvulas de 6" nos tubos de 6" e 9 5/8".
- b) Válvulas de 6" para reversão do fluxo do poço
- c) Válvulas de segurança na tubulação de injeção de água
- d) Instrumentação, com registro gráfico contínuo de vazão, temperatura, pressão e densidade
- e) Se houver necessidade, ou mesmo se se optar por fazer com que a cavidade se prolongue mais na horizontal, poder-se-á colocar uma válvula de 2" para injeção de óleo entre o revestimento de 13 3/8" e a tubulação de 9 5/8". A altura do lençol pode ser controlada revertendo o fluxo da salmoura, ou seja, bombeando água pelo tubo de 6" e extraíndo salmoura pelo anular entre este e o de 9 5/8". Começa-se, então, a injetar óleo pelo anel externo até que sua presença seja denotada na descarga de salmoura.

As tubulações de 6" a 9 5/8" serão arquitetadas de maneira que possam ser suspensas, conforme o avanço da dissolução do sal. A tubulação de 6" será suspensa quando o acúmulo de resíduos começar a impedir a circulação plena de salmoura saturada e a outra quando a dimensão da cavidade seja tal que indique a sua suspensão, para que a água de dissolução vá abrindo a cavidade vertical até o nível desejado para produção de salmoura.

4.2.2 - Produção

O nível de produção de um poço de mineração por dissolução dependerá, além de seu diâmetro, de muitos outros fatores, tais como aqueles citados no ítem 3.1. Tais fatores são difíceis de calcular matematicamente, pois as variáveis que influen

ciam os seus cálculos são dependentes e sofrem variações de poço para poço.

Assim sendo, avaliar a produção de um determinado poço é tarefa para ser executada experimentalmente.

Ao colocar um poço em operação faz-se a instalação de instrumentação adequada para fazer as medições de vazão, temperatura e percentagem de cloreto de sódio na entrada e saída de cada poço de extração de salmoura, assim como de pressões ao longo dos circuitos de circulação, o que permite, a cada instante, fazer o balanço da dissolução e conhecer o volume de sal em dissolução. Esta instrumentação permite, também, prever e detectar eventuais acidentes e providenciar as medidas corretivas necessárias.

O desenvolvimento da cavidade no poço de dissolução é acompanhado pela deterioração progressiva, ao longo do tempo, do revestimento. No interior da caverna, com a subida progressiva dos tubos, estes ficam suspensos livremente e podem se quebrar. Para evitar uma rutura precoce dos tubos é necessário controlar a velocidade de dissolução do teto, às custas do alargamento da cavidade, tendo sempre como referência os orifícios abertos no revestimento por canhoneio, o que se consegue por conveniente escolha do regime de vazão.

O desenvolvimento das cavidades é acompanhado por "ecologs", realizados com um aparelho de sonar, que, além de dar os elementos necessários para o levantamento topográfico da cavidade, permite acompanhar a evolução dos seguintes parâmetros:

- a subida do teto;
- o desenvolvimento em todas as direções;
- as dimensões das cavidades; e
- a acumulação de desmoronamento do teto e de insolúveis derivados da dissolução do sal.

Sabe-se, por literatura, que já foram obtidas cavidades de mais de 100 m de diâmetro na horizontal e até 700 m na vertical, com um formato elipsoidal, com boa garantia de estabilidade.

4.2.2.1 - Dimensão da Cavidade Final

Para efeito de cálculo e com base nos dados geológicos dos domos salinos da Plataforma Continental do Espírito Santo, estimou-se, conservadoramente, um diâmetro horizontal da caverna por poço de 100 m, minerando-se uma altura de 2.000 m, deixando-se 100 m de sal no topo do domo.

4.2.2.2 - Densidade do Sal e da Salmoura - Grau de Solubilidade

A densidade do sal será considerada como sendo de 2,16 e a salmoura como sendo de 1,20.

O grau de solubilidade de um sal em água varia com a temperatura. Teoricamente, a 0°C a água terá saturação máxima de 35,7% de NaCl e a 100°C de 39,8%. Vê-se que a variação do grau máximo de solubilidade do sal em água é relativamente pequena. Na temperatura de 50°C este grau máximo de saturação chega a 37,0%, mas, na prática de mineração por dissolução, a salmoura que se obtém está em torno de 25% - dado tomado para efeito de cálculo. Ressalte-se que na Salgema S.A. este grau é da ordem de 24,81%.

4.2.2.3 - Produção por Poço

Um poço com as dimensões expostas no item 4.2.1, com a profundidade final alcançando 2.230 m no sal, deverá produzir, conservadoramente, 1.820 t/dia de sal-gema. Este será o número para as bases de cálculo do custo de produção.

Para se produzir 1.820 t de sal-gema, por dia, necessita-se produzir cerca de 253 m³/hora de salmoura com 25% de sal-gema, com densidade de 1,20.

Produção Anual (ano de 330 dias):

- 600.000 t de cloreto de sódio (quase puro).

- 2.003.760 m³ de salmoura com 25% de sal-gema contido.

Estima-se no caso dos domos salinos, que esta concentração chegue a mais de 30%.

4.2.2.4 - Vida Útil de Cada Poço e Coeficiente de Recuperação

As reservas de sal de cada poço, considerando-se uma área de influência com um raio de 100 m, são da ordem de 136 milhões de toneladas, ou seja:

$$R = \pi r^2 \times h \times d$$

$$= \pi \times 100^2 \times 2.000 \times 2,16$$

$$= 135.648.000 \text{ t}$$

R - Reservas

r - Raio da área de influência

h - Espessura da camada de sal recuperável

d - densidade do sal

Esta é a reserva que poderá ser recuperada em cada poço e não a reserva de sal "in situ", pois estão sendo desprezados 100 m de sal no topo do domo, para segurança de subsidência e desmoronamento do teto, bem como todo o sal que se encontra a uma profundidade abaixo de 2.100 m, em relação ao nível superior da camada.

Conservadoramente, admitindo-se uma recuperação de apenas 50% da reserva de sal acima mencionada, tem-se uma produção por poço de 67.824.000 t de sal. Considerando-se uma produção de 600.000 t/ano, seria de 113 anos a vida útil de cada poço. Para efeito do cálculo de pré-viabilidade foi considerada uma vida útil de apenas 20 anos.

A viabilidade do processo sugerido neste estudo é assegurada pela alta produtividade e baixo custo operacional, além de

se obter uma salmoura de extrema pureza e elevada concentração, requisitos principais para o emprego na indústria química.

A baixa recuperação (em relação à reserva total) em jazidas dispostas em camadas horizontais, onde se emprega dissolução subterrânea através de poços isolados é quase sempre inferior a 30%, mas as condições excepcionais dos domos salinos em estudo podem levar esta recuperação a mais de 50%.

Ainda, como cada domo apresenta uma superfície aplainada no topo, com cerca de 5 km de diâmetro, pode-se prever a abertura de vários poços que, quando em plena produção e espaçamento adequado, poderão ser interligados, formando uma coalescência de poços, o que aumentará o coeficiente de recuperação e a produção, assim como a produtividade. Mesmo considerando-se um só poço com a dimensão proposta, acredita-se que a produção será muito maior do que aquela aqui apresentada. Em um estudo mais detalhado, espera-se uma diminuição nas dimensões do poço.

4.2.2.5 - Necessidades de Água e Energia

As necessidades de água são de, aproximadamente, $253 \text{ m}^3/\text{hora}$, quando o poço estiver operando em capacidade de pleno funcionamento, ou seja $6.072 \text{ m}^3/\text{dia}$, $157.872 \text{ m}^3/\text{mês}$ ou cerca de $2.000.000 \text{ m}^3/\text{ano}$.

A água ideal para produção de salmoura é uma água pura, com pH próximo do neutro. Para obtenção de tal água estudos seriam necessários, em terra e em rios, com abertura de poços, devendo esta água ser transportada para o local do poço por aquaduto com 70 a 100 km de extensão ou por navios tanques, o que, em princípio, inviabilizaria o processo.

Sabe-se que, em mineração por solução, a maioria dos insolúveis e outras impurezas contidas na estrutura do sal, quando em dissolução se precipita - ficando no fundo do poço - extrain

do-se uma salmoura quase pura em cloreto de sódio. Sabe-se, também, que a água do mar, em condições normais, apresenta uma salinidade em torno de 33.000 p.p.m., referidos a um perfil percentual, segundo Brochert, que são os seguintes:

$MgCl_2$	=	9,4
KCl	=	2,6
$MgSO_4$	=	5,7
NaCl	=	78,0
$CaSO_4$	=	3,6
$CaCO_3 + CaMg (CO_3)_2$	=	0,4

Sugere-se a aplicação da água do mar para dissolução do sal dos domos salinos, tendo em vista que tal solução abaixará drasticamente os custos de utilização deste insumo, sem acarretar problemas à pureza do sal. Entretanto, salienta-se que a aplicação desta solução necessitará de um estudo laboratorial e experimental futuro, visando à comprovação de sua viabilidade técnica, mas, para efeito deste estudo, admitiu-se a utilização de água do mar.

Estima-se que a pressão da água injetada no poço estará na ordem de 800 a 1.000 psi.

O consumo de energia num sistema de produção de salmoura na escala aqui proposta é estimado em 0,687 kwh/t de sal-gema.

4.2.2.6 - Transporte de Salmoura e Água

Se estudos posteriores evidenciarem a inviabilidade técnica de se utilizar água do mar, há que se definir de onde deverá ser extraída a água doce, como a mesma será transportada até o poço, etc.. Quaisquer das soluções encontra

das irão necessitar de infra-estrutura de superfície - como local de reservatório, utilização de porto, estações de tratamento e de bombeamento, etc.

No presente estudo, a hipótese adotada é a de utilização de água do mar, conforme especificado anteriormente, por ser a que se apresenta mais viável técnico-economicamente, numa primeira aproximação.

Quanto ao transporte de salmoura, para efeito deste estudo de pré-viabilidade, a hipótese adotada é a de transporte até o continente por "salmouroduto", também por apresentar-se mais viável economicamente.

4.3 - PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO E REFINO DA SALMOURA

A produção de cloreto de sódio vem de duas fontes: do mar e dos depósitos geológicos. Os processos de recuperação diferem de acordo com a fonte, conforme relatados a seguir.

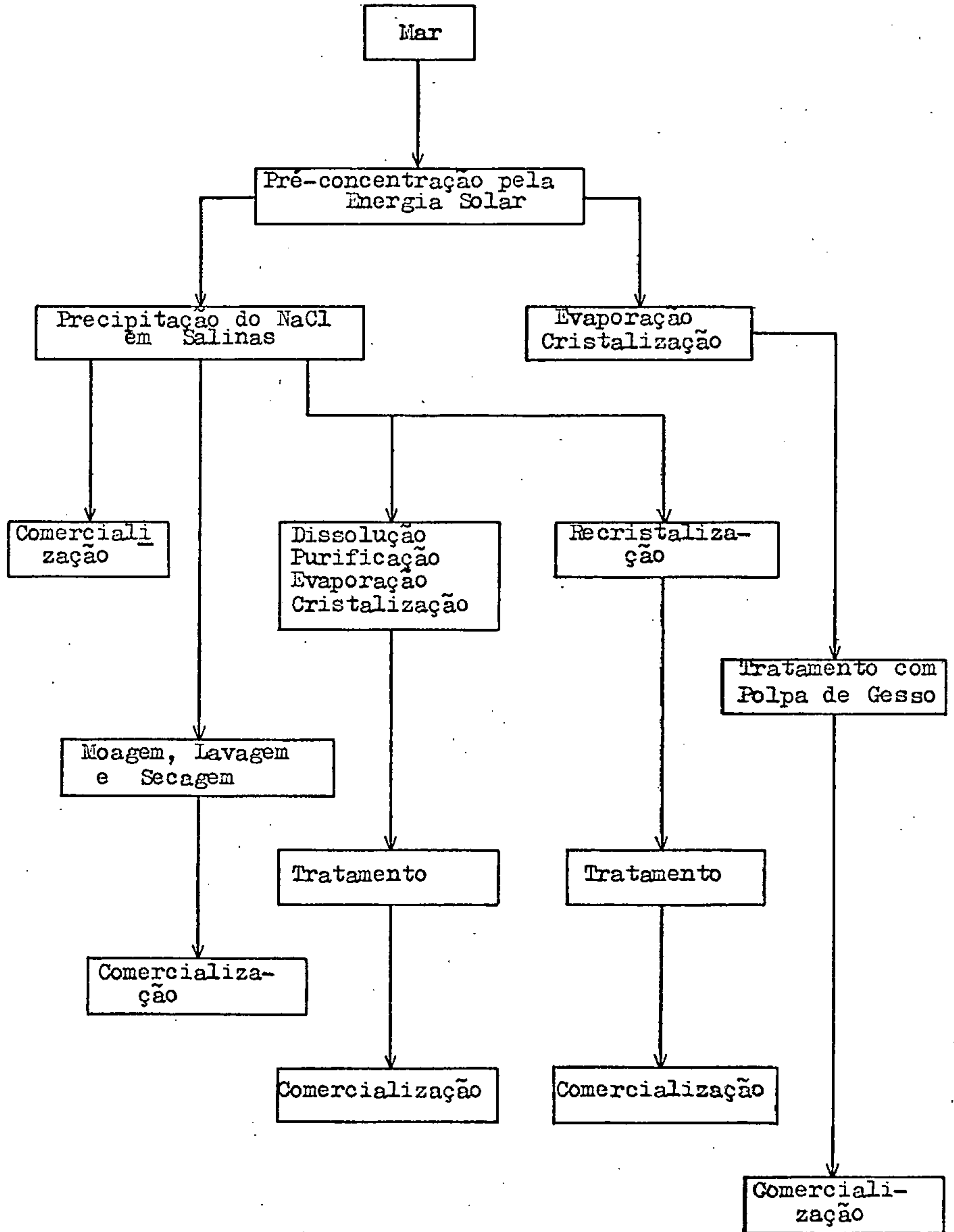
4.3.1 - Salmoura do Mar

Sendo a água do mar a matéria prima para produção de cloreto de sódio, vários processos de recuperação e refino são apresentados conforme esquematização a seguir.

A recuperação pelas rotas descritas está confinada, principalmente, a certas zonas climáticas. Na maioria dos casos surgem em regiões tecnicamente menos avançadas. As capacidades unitárias variam, em regra, entre 30 a 200 t de sal diariamente, equivalentes a plantas de porte pequeno a médio.

4.3.2 - Salmoura dos Depósitos Geológicos

Para a recuperação do Cloreto de Sódio dos depósitos geológicos há que se escolher um dos dois processos: a mineração convencional ou a extração de salmoura.



Com a mineração convencional são aplicados os tratamentos mecânicos clássicos, podendo os constituintes finos e de qualidade pobre serem submetidos a posterior processamento termal nas plantas de recristalização.

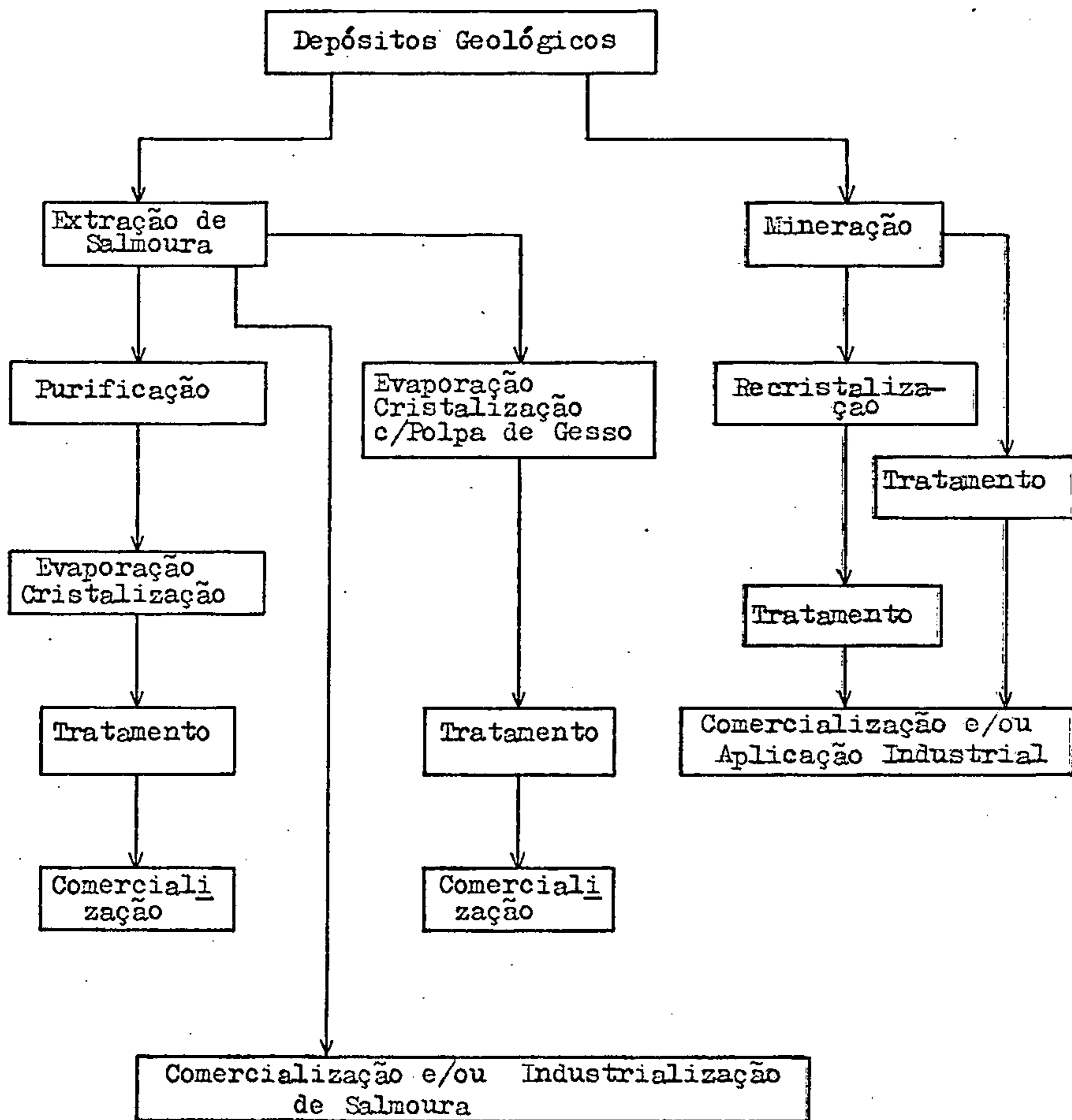
Onde os depósitos são trabalhados para extração de salmoura, um processo termal de recuperação é indispensável. No decorrer dos anos, dois processos termais têm-se imposto:

- 1 - purificação da salmoura primária, seguida por evaporação e cristalização do NaCl;
- 2 - evaporação direta da salmoura usando o processo de polpa de gesso para evitar incrustação nas câmaras de aquecimento, associada com a cristalização de NaCl.

A escolha do processo a ser adotado vai depender do uso pretendido para o produto e da pureza demandada pelo usuário principal.

Em geral, atualmente, as plantas de evaporação de grande porte cobrem uma produção da ordem de 1.000 a 4.000 t/dia.

Para melhor visualização dos vários processos utilizados na recuperação do NaCl dos depósitos geológicos, apresenta-se, a seguir, sua esquematização.



5 - OBTENÇÃO DE SAL POR EVAPORAÇÃO DA SALMOURA

Qualquer que seja a utilização da salmoura haverá necessidade de purificá-la antes de sua evaporação, com a finalidade de remover os sulfatos e compostos de cálcio e magnésio.

5.1 - PURIFICAÇÃO DA SALMOURA

Na purificação, precipita-se o sulfato contido na salmoura com carbonato de bário, o cálcio contido com carbonato de sódio e o magnésio contido com hidróxido de sódio.

As quantidades de reagentes são variáveis, de acordo com a quantidade daquelas impurezas contidas na salmoura. Segundo informação verbal de técnicos da Salgema Mineração Ltda. a salmoura produzida pela empresa, em Alagoas, requer quantidades ínfimas de reagentes purificadores, pois tem um elevado grau de pureza, o que, sem dúvida, deverá ocorrer com o sal-gema dos domos salinos do Espírito Santo, pois o grau de pureza destes domos é bem mais elevado do que aquele do sal-gema de Alagoas.

Partindo-se de um sal definido como Tipo II pela Comissão Executiva do Sal, o tratamento da salmoura consome as quantidades de reagentes constantes da tabela a seguir:

TABELA XXV

QUANTIDADES DE REAGENTES PARA TRATAMENTO DA SALMOURA

Sal Tipo II (Conteúdo)	Reagentes	kg/t de sal-gema
Ca = 0,140%	BaCO ₃	8,62
Mg = 0,080%	NaCO ₃	3,71
SO ₄ = 0,420%	NaOH	10,70
	HCl	8,00

Fonte: Comissão Executiva do Sal

As quantidades de soda e de ácido clorídrico incluem as necessidades para o controle do pH para precipitação e para neutralização da salmoura.

Esta purificação, normalmente, é realizada em tanques decantadores.

5.2 - EVAPORAÇÃO DA SALMOURA

Em decorrência dos custos crescentes dos combustíveis, da maior ou menor disponibilidade de água de resfriamento e lavagem, das regulamentações governamentais para controle da poluição ambiental, os parâmetros decisivos para a escolha do sistema a ser adotado nos complexos industriais de evaporação têm conotação diferente do que se fez no passado.

Hoje, na tecnologia de evaporação dois processos estão em evidência: a evaporação por múltiplo-efeito e por termo-compressão. O processo de múltiplo-efeito é o mais difundido, talvez pelo seu menor custo de investimento, mas, nos dias atuais, o de termo-compressão o vem substituindo por várias razões, conforme exposto adiante, havendo casos de adaptações para combinações dos dois processos.

Além dos processos acima mencionados e suas combinações, há também fábricas que usam evaporação solar, evaporação de efeito simples, evaporação "flash" de múltiplo-efeito e outros procesos especiais. Apresenta-se, a seguir, uma sucinta descrição dos processos de evaporação solar, de múltiplo efeito e de termo-compressão.

5.2.1 - Evaporação Solar

Este processo se utiliza da evaporação solar e decantação ou precipitação dos sais solúveis, e, quando passível de aplicação, torna-se o mais barato. Entretanto, para a sua uti

lização econômica é necessário levar em consideração que a região possua as seguintes características: estações seca e quente bem definidas, trechos planos em cotas convenientes, solo impermeável ou facilmente impermeabilizável, alto coeficiente de evaporação, precipitação pluvial restrita e limitada em determinadas épocas do ano para que seja possível tornar a evaporação economicamente viável. Em síntese, a evaporação é determinada por quatro parâmetros meteorológicos: ganho líquido de energia radiante, temperatura do ar, umidade e vento. Um estudo detalhado, a um nível de profundidade não compatível com o presente trabalho de pré-viabilidade - seria necessário para se verificar se estas características existem em algum lugar da costa do Espírito Santo, de tal maneira a identificar a possibilidade técnica de se utilizar a evaporação solar para a salmoura obtida dos domos salinos.

5.2.2 - Evaporação por Múltiplo-Efeito

O processo utiliza o vapor de alta pressão gerado por uma caldeira e que passa por uma turbina, acoplado a um grupo gerador. O vapor de baixa pressão resultante é transferido para o trocador de calor do primeiro evaporador.

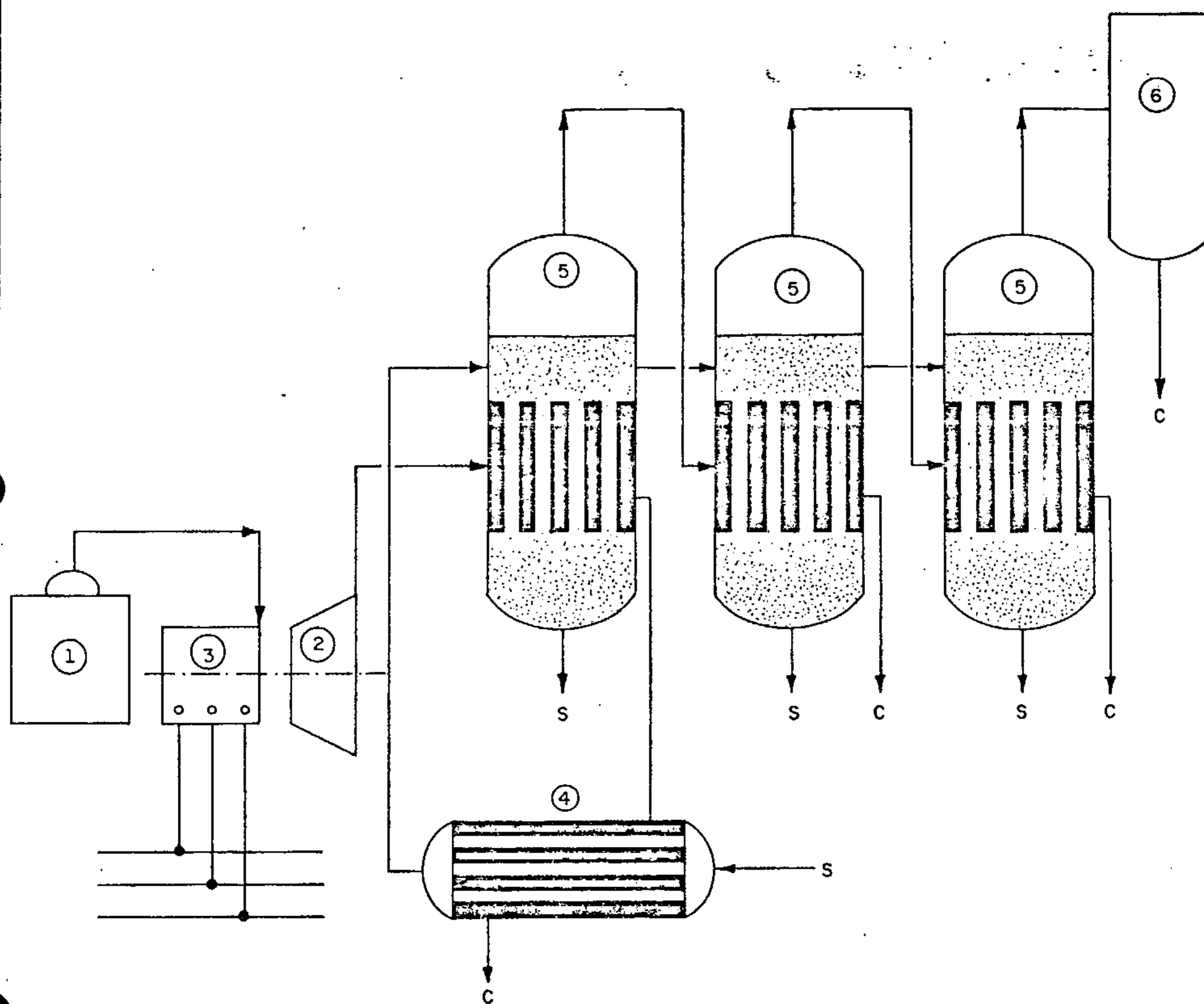
A salmoura, já purificada, passa pelo aquecedor e segue, por bombeamento, para o primeiro estágio, já em temperatura adequada à evaporação.

No primeiro evaporador há uma troca de calor entre o vapor de baixa pressão e a salmoura pré-aquecida. O vapor do gerador vai efetuar a troca de calor no estágio seguinte e assim sucessivamente até o último estágio. Neste se provoca um vácuo de aproximadamente $0,87 \text{ kg/cm}^2$ por meio de um ejetor a vapor, com a finalidade de fazer com que a ebulição ocorra a temperatura mais baixa e de promover um melhor fluxo de vapor no sistema (Ver Fig. 61).

Os coeficientes técnicos de consumo, por tonelada produzida de sal, são:

- vapor saturado a 3,5 bar = 900 kg;

Fig. 61 - EVAPORADOR DE MÚLTIPLO EFEITO



S - Salmoura / Sal

C - Condensador

- ① Caldeira
- ② Turbina
- ③ Gerador
- ④ Pré-Aquecedor
- ⑤ Evaporizador
- ⑥ Condensador

Fonte : Escher Wyss



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escola : Sem Escola

- vapor saturado a 11 bar por ejetor = 25 kg;
- consumo de energia elétrica = 17 kwh;
- água para resfriamento = 20 m³.

5.2.3 - Evaporação por Termo-Compressão

O evaporador com termo-compressor é composto, basicamente, dos seguintes equipamentos, conforme Fig. 62:

- Motor Elétrico
- Compressor
- Evaporador

O início do ciclo de operação é realizado por uma caldeira auxiliar, que fornece o vapor necessário e suficiente para se iniciar a troca de calor e, conseqüentemente, a evaporação da salmoura. Daí para diante corta-se o fornecimento do vapor da caldeira e entra em funcionamento o sistema de termo-compressão.

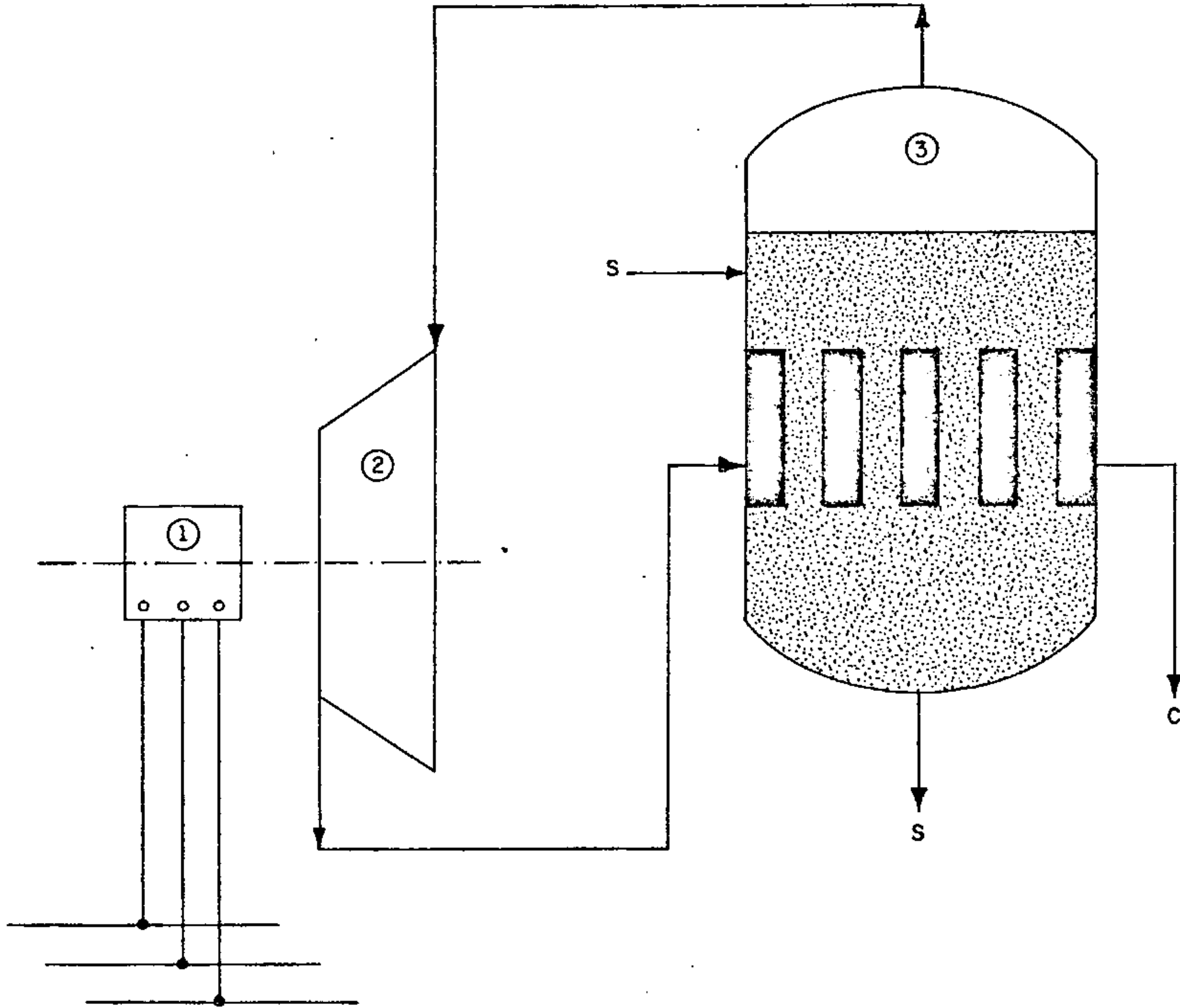
A taxa de compressão requerida é determinada pelos seguintes parâmetros:

- queda de temperatura entre o vapor reaquecido e a salmoura a ser evaporada;
- diferença entre o ponto de ebulição da salmoura e a temperatura de saturação do vapor gerado durante a troca de calor no evaporador;
- perdas de pressão no circuito de vapor.

Os coeficientes de consumo, por tonelada produzida de sal, são:

- consumo de energia elétrica, com máquinas radiais = 160 kwh
- consumo de energia elétrica, com máquinas axiais = 140 kwh
- consumo total de energia elétrica na planta = 185 kwh
- vapor a 3,5 bar = 0 a 4 kg
- água de resfriamento = 1 m³

Fig. 62 - EVAPORADOR COM TERMO - COMPRESSOR



S- Salmoura / Sal
C- Condensador

- ① Motor Elétrico
- ② Compressor
- ③ Evaporador

Fonte : Escher Wyss



PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Escala : Sem Escala

Este processo apresenta a possibilidade de se usar energia elétrica, não carece de instalações caras de caldeiras e manuseio de combustível e necessita de pouco volume de água de resfriamento.

Em alguns locais, já existem plantas que se utilizam dos dois processos combinados (múltiplo-efeito e termo-compressão), onde se realizam 30 a 40% da evaporação pelo sistema de termo-compressão e o restante pelo múltiplo efeito.

6 - OBTENÇÃO DE SODA CÁUSTICA/CLORO

Há vários processos de obtenção da soda cáustica, utilizando-se do sal extraído dos depósitos evaporíticos ou do sal da água do mar. Mas, em síntese, os processos consistem em decompor uma salmoura pela passagem de corrente elétrica, formando uma solução de soda cáustica, com liberação de hidrogênio no catodo e cloro no anodo.

Pode-se usar uma salmoura purificada ou dissolver o sal purificado em água, numa concentração adequada ao processo, neutralizando-a com ácido clorídrico, aquecendo-a e transferindo-a às células eletrolíticas.

Há vários tipos de células usadas para eletrólise do sal, mas as mais empregadas são: a de mercúrio e a de diafragma.

6.1 - ELETRÓLISE POR CÉLULA DE MERCÚRIO

A célula de mercúrio é composta de dois compartimentos separados. Um compartimento constitui a célula propriamente dita, onde ocorre a eletrólise do cloreto de sódio com liberação do cloro no anodo e de sódio metálico, que é amalgamado pelo catodo de mercúrio. O sódio amalgamado é, então, transferido para o outro compartimento, onde ocorre a sua decomposição pela ação da água, com formação de soda cáustica e liberação de hidrogênio. Este com

partimento é, normalmente, acoplado a um sistema de refrigeração do hidrogênio, onde se realiza a condensação do mercúrio carregado pela corrente de hidrogênio, com conseqüente redução de seu teor no gás e recuperação do mercúrio.

A corrente elétrica flui através da salmoura e através da camada de mercúrio no mesmo sentido do escoamento da salmoura, com os anodos metálicos ou de grafite fixados próximos e paralelos à superfície do mercúrio. A eficiência de corrente é de, aproximadamente, 95% e a célula opera a uma temperatura entre 60 e 70°C.

A concentração da salmoura de alimentação é de, aproximadamente, 26%, que é diminuída de uns 4% até a saída da célula. Acrescenta-se sal sólido para ressaturar a salmoura.

A descloração é obtida pela acidulação do ácido clorídrico num pH = 3 e desgaseificação a vácuo ou por aeração. Os últimos traços de cloreto e cloro são eliminados pela adição de bisulfito de sódio. A salmoura é, então, neutralizada com soda cáustica, ressaturada em cloreto de sódio, purificada e reciclada.

A produção de soda cáustica pela célula de mercúrio é onerosa por causa do alto investimento inicial em mercúrio e pela alta voltagem requerida, mas fornece um produto de alto grau de pureza e alta concentração.

6.2 - ELETRÓLISE POR CÉLULA DE DIAFRAGMA

A salmoura purificada (322 g/l a 65-75°C) flui pela célula pelo compartimento do anodo, onde o cloro é liberado, passando, em conseqüência, pelo diafragma poroso para o compartimento do catodo, onde se forma a soda cáustica, com liberação de hidrogênio.

A célula opera a 99,5°C, 30.000 A e diferença de potencial de 3,95 V entre os eletrodos, utilizando a energia mais eficientemente do que a célula de mercúrio (3,20 Mwh contra 3,76 Mwh)

por tonelada de cloro. Em contrapartida, a de mercúrio produz uma solução de maior concentração em soda cáustica.

A célula de diafragma consome menos energia, apresenta boa confiabilidade operacional e menor investimento, utiliza-se de construção simples e equipamento mais robusto e permite um arranjo compacto dos eletrodos, podendo efetuar a eletrólise em temperaturas suficientemente elevadas, o que proporciona uma diminuição de custo pela diminuição da evaporação subsequente.

A solução que sai da célula contém de 10 a 12% da soda cáustica e o excesso de sal não decomposto. A solução é evaporada até uma concentração de 50% em soda cáustica, havendo simultaneamente, precipitação de cloreto de sódio, que tem sua concentração baixada para 1%. A polpa de sal é retirada continuamente, centrifugada e lavada. Este sal puro é utilizado na ressaturação da salmoura.

Mundialmente, o uso dos dois tipos de células é meio a meio, mas a célula de diafragma deverá avançar em relação à de mercúrio, em virtude do grande desenvolvimento que está surgindo na melhoria das características do diafragma e em virtude da poluição ambiental causada pelo uso do mercúrio.

Há, também, células de membrana numa tecnologia nova, mas já bem desenvolvida. O uso destas células implica na instalação da etapa de evaporação como nas outras células, mas os investimentos referentes à evaporação do NaOH serão reduzidos a, aproximadamente, US\$ 1.100.000 contra US\$ 4.000.000 e o consumo de vapor baixa para 450 kg por tonelada de NaOH.

6.3 - TRATAMENTO E USOS DOS PRODUTOS OBTIDOS NA ELETRÓLISE DO SAL

6.3.1 - Cloro

O tratamento visa à purificação e secagem do cloro gasoso. A purificação consiste na remoção de constituintes sólidos orgânicos e inorgânicos. A secagem é feita em colunas com bandejas.

O cloro purificado e seco pode ser comprimido e liquefeito, dependendo de sua utilização e comercialização.

6.3.2 - Hidrogênio

O hidrogênio é lavado com água, seco e comprimido, quando necessário. Quando obtido das células de mercúrio deve sofrer um tratamento de desmercurização.

O hidrogênio obtido é de alta pureza e pode ser empregado em processos de hidrogenação, podendo, também, ser usado como fonte geradora de calor para o processo.

6.3.3 - Solução Cáustica

A solução obtida na célula de mercúrio é absolutamente limpa, mesmo assim é filtrada para eliminação dos traços de mercúrio em suspensão. Em seguida é evaporada até uma concentração de 50% ou 99%.

Já a solução obtida pela célula de diafragma é evaporada, comumente até uma concentração de 50% em soda cáustica, com cristalização simultânea do cloreto de sódio até uma concentração residual de mais ou menos 1%. A solução a 50%, assim obtida, é conhecida como licor cáustico "standard", e pode ser comercializado como tal, ou purificado e concentrado, ou, ainda, resfriado a 20° C e filtrado o sal cristalizado.

Características dos Produtos:

Produtos	Célula de Diafragma	Célula de Mercúrio
Hidrogênio	99,8 - 99,8% v/v	99,9% mínimo Hg: $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $10 \text{mg}/\text{m}^3$
Cloro	97,5% v/v mínimo $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2$ 2,5% v/v	99,0% v/v mínimo C_2 - 0,3 - 0,6% v/v H_2 - 0,1 - 0,2 v/v ar - 0,2% v/v
Soda	Na Cl - 1% w/w	NaCl - 30 ppm
Cáustica 50%	H_2O - 48,7% w/w $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaClO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	Na_2CO_3 - 200 ppm 0,3% w/w Fe - 2 ppm Hg - 0,1 - 0,3 mg/l

v/v = percentagem em volume

w/w = percentagem em peso

$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ = 1 micrograma por metro cúbico

$1 \text{mg}/\text{m}^3$ = 1 miligrama por metro cúbico

ppm = parte por milhão

Uma prática largamente difundida é a combinação das células de mercúrio e de diafragma. A célula de diafragma utiliza salmoura natural, já que é menos sensível a impurezas, e a célula de mercúrio processa salmoura feita com o sal cristalizado na evaporação da soda, obtida na célula de diafragma, o que reduz o investimento e o custo de operação para tratamento do licor.

7 - INVESTIMENTOS

Para efeito de cálculo, admite-se os seguintes dados básicos para o projeto:

Produção: Salmoura/h	-	253 m ³
Salmoura/dia	-	6.072 m ³
Salmoura/mês	-	157.872 m ³
Salmoura/ano	-	2.000.000 m ³
Sal-gema/dia	-	1.820 t
Sal-gema/mês	-	50.000 t
Sal-gema/ano	-	600.000 t

Tempo de Operação: 24 h x 330 dias/ano

7.1 - EXTRAÇÃO DE SALMOURA

Supondo-se uma unidade produtora independente de salmoura, suprimindo uma usina de produção de sal por evaporação, a partir de um único poço, pode-se considerar os seguintes investimentos, para os parâmetros básicos:

	US\$ (jan/84)
Custo de um poço pronto para produção	2.330.000
Custo da plataforma fixa de produção	3.100.000
Outros equipamentos (bombas, guindastes, etc.)	<u>500.000</u>
Subtotal	5.930.000
Capital de giro (10% do subtotal)	593.000
Vida média do poço	20 anos
Produção anual de sal contido	600.000 t

7.2 - TRANSPORTE

7.2.1 - Pessoal de Apoio

Segundo informações verbais obtidas junto à PETROBRÁS, o transporte de pessoal e de serviços de apoio a trabalhos similares aos que deverão ser executados no Projeto Sal-gema implica em um dispêndio da ordem de US\$ 108.000,00/mês (base:jan/84).

Sendo a produção prevista de sal-gema da ordem de 50.000 t/mês, a incidência deste transporte sobre cada tonelada produzida será de, aproximadamente, US\$ 2,16/t.

7.2.2 - Salmoura

Face às indefinições do projeto, no seu estágio atual de conhecimento, há que se fazer uma estimativa preliminar do transporte da salmoura até o local de purificação e evaporação, por uma distância aproximada de 50 km da plataforma de produção até um local qualquer na costa do continente.

Das duas opções que se apresentam - transporte por navio tanque ou por "salmouroduto" - a opção adotada, no presente estudo, foi a do transporte por "salmouroduto", por ser o mais econômico, segundo informações verbais obtidas junto à PETROBRÁS.

Dados e características

- 1 - Água do mar
- 2 - Vazão requerida: 2.000.000 m³/ano
- 3 - Comprimento: 50 km
- 4 - Valores assumidos:
 - Funcionamento: 24 h/d, 330 dias/ano
 - Densidade da água do mar: = 1,025 g/cm³
 - Temperatura: 70°F (21,1° C)
 - Viscosidade: 1,1 cp
 - Vazão do Projeto: 253 m³/h

5 - Tubo selecionado

- Tipo: poliéster reforçado com fibra de vidro
- Diâmetro: 20 polegadas

Estima-se que uma tubulação, como a acima especificada, custará, implantada, US\$ 150/m, logo, para os 50 km de extensão, o investimento será da ordem de US\$ 7.500.000.

O investimento na compra das bombas necessárias ao bombeamento da salmoura, face à grande potência exigida, deverá ser da ordem de US\$ 1.500.000.

Para efeito de cálculo do capital de giro, tomaremos 10% sobre o investimento, ou seja, US\$ 900.000.

Ressalte-se que os índices adotados para avaliar as despesas com manutenção, taxas e seguros são aqueles usados muito frequentemente em estimativas preliminares de custo do tipo presente.

O custo de transporte da salmoura ficará assim constituído:

	<u>US\$/t</u>
- Manutenção (0,05 x 9.000.000 : 600.000)	0,75
- Taxas e seguros (0,02 x 9.000.000 : 600.000)	0,30
- Energia (US\$0,02 x 50 kwh)	1,00
- Pessoal	<u>0,20</u>
Subtotal	2,25
- Depreciação (US\$ 9.000.000 : 20 : 600.000)	<u>0,75</u>
TOTAL	3,00

O custo industrial terá a seguinte composição:

	<u>US\$/t</u>
- Manutenção (US\$ 5.930.000 x 0,05 : 600.000)	0,50
- Taxas e seguros (US\$ 5.930.000 x 0,02 : 600.000)	0,20

- Energia (US\$ 0,02 x 15)	0,30
- Pessoal	0,60
- Transporte de Pessoal e Apoio	2,16
- Transporte da Salmoura (sem depreciação)	<u>2,25</u>
Subtotal I	6,01
- Imposto Único sobre Minerais - IUM (15%)	<u>0,90</u>
Subtotal II	6,91
- Depreciação (transporte da salmoura = US\$ 9.000.000 : 20 : 600.000)	0,75
- Depreciação (US\$ 5.930.000 : 20 : 600.000)	<u>0,50</u>
TOTAL	8,16

7.3 - USINA DE PURIFICAÇÃO E EVAPORAÇÃO DO SAL

Os dados técnicos e os custos aproximativos foram fornecidos pela firma Sulzer-Escher Wyss/Suíça.

A seguir apresenta-se as várias alternativas e os investimentos necessários para a montagem da usina admitindo-se o uso de evaporadores de múltiplo efeito ou de termo-compressão.

	<u>Múltiplo</u> <u>Efeito</u> US\$	<u>Termo</u> <u>Compressão</u> US\$
1. Equipamentos		
- Instalações de Tratamento	800.000	500.000
- Evaporação	13.000.000	15.000.000
2. Tubulações (20% do item 1)	2.760.000	3.100.000
3. Equipamento Elétrico (20% do item 1)	2.760.000	3.100.000
4. Instrumentação (6% do item 1)	828.000	930.000
5. Custo Total do Equipamento	20.148.000	22.630.000

6. Preparação do local, fundações, edificações, isolamentos, pinturas (70% do item 5)	14.103.600	15.841.000
7. Custo da Planta (soma dos itens 5 e 6)	34.251.600	38.471.000
8. Engenharia e Construção (25% do item 7)	8.562.900	9.617.750
9. Custo Direto da Planta (soma dos itens 7 e 8)	42.814.500	48.088.750
10. Honorários e Contingências (15% do item 9)	6.422.175	7.213.310
11. Total Planta (soma dos itens 9 e 10)	49.236.675	55.302.060
12. Capital de Giro (10% do item 11)	4.923.667	5.530.206
13. Investimento Total	54.160.342	60.832.266

Nota: Saliente-se que nestes cálculos não foram levados em consideração: aquisição da jazida, obras portuárias ou terminais marítimos, núcleo residencial, aquisição de terra, "royalty" e despesas de início de operação. Ainda, para efeito de cálculo os números acima foram arredondados para US\$ 49.300.000 e US\$ 55.300.000, respectivamente, no item 11.

A estimativa de custo de purificação e evaporação do sal é dada a seguir, para os dois tipos de evaporadores.

	<u>Múltiplo</u> <u>Efeito</u> US\$	<u>Termo</u> <u>Compressão</u> US\$
1. Mão-de-obra (estimativa anual)	10.000.000	8.000.000
2. Supervisão (10% do item 1)	1.000.000	800.000
3. Manutenção (6% do Custo do Capital Fixo)	2.958.000	3.318.000

4. Suprimento da Planta (15% do item 3)	443.700	497.700
5. Energia (US\$ 0,02/kwh)	290.000	1.920.000
6. Vapor.	3.663.000	496.700
7. Água de Refrigeração	900.000	15.000
8. Custo Direto da Planta (soma dos itens 1 a 7)	19.254.700	15.047.400
9. Pagamento de "overhead" (20% do item 1)	2.000.000	1.600.000
10. "Overhead" da Planta (50% do item 1)	5.000.000	4.000.000
11. Custo Indireto da Planta (soma dos itens 9 e 10)	7.000.000	5.600.000
12. Depreciação (5% de investimento fixo)	2.461.834	2.765.103
13. Seguro e Propriedade (1% do investimento fixo)	493.000	553.000
14. Custo Fixo de Fabricação (soma dos itens 12 e 13)	2.954.834	3.318.103
15. Custo Total de Fabricação (soma dos itens 8, 11 e 14)	29.209.534	23.965.503
16. Custo por tonelada de sal	48,68	39,94

7.4 - CUSTO FINAL DE PRODUÇÃO DO SAL PURIFICADO E EVAPORADO

O custo final de produção de uma tonelada, considerando-se que as perdas no beneficiamento sejam desprezíveis, terá a seguinte composição:

	US\$
a) Mineração, com transporte da salmoura e IUM (custo industrial)	8,16

b) Purificação e Evaporação		<u>39,94</u>
	Subtotal	48,10
c) Despesas de comercialização (5% do subtotal)		<u>2,40</u>
	TOTAL	50,50

8 - INVESTIMENTOS E CUSTOS DE PRODUÇÃO DE SODA CÁUSTICA/CLORO

Na tentativa para se realizar um estudo de pré-viabilidade econômica da utilização do sal-gema contido nos domos salinos da costa do sul da Bahia e Espírito Santo, e, em função dos dados adotados para a produção de sal-gema - 600.000 t/ano - vamos admitir uma fábrica com uma capacidade produtiva de 270.000 t de soda cáustica e 240.000 t de cloro - obedecendo a relação estequiométrica de 1:0,89. Deverá haver, também, a produção de cerca de 6.250 t de hidrogênio, que deverão ser utilizadas para queima, como complemento do óleo, na produção de vapor de processo.

A soda cáustica poderá ser comercializada em concentração de 50%; o cloro, liquefeito ou gasoso, em conformidade com a sua utilização, poderá ser comercializado ou aproveitado para a fabricação de dicloroetano ou outros derivados.

Segundo dados publicados pela Salgema Indústrias Químicas S.A., (Relatório Anual de 1983), cujos valores foram corrigidos pelo índice de preços ao consumidor dos Estados Unidos ("consumer price"), estima-se um investimento da ordem de US\$ 1.000/t de capacidade instalada para produção de soda cáustica, incluindo-se terminais marítimos, obras portuárias, emissários submarinos, etc.. Tendo por base tais dados, a implantação de uma fábrica com uma capacidade produtiva de 270.000 t/ano de soda cáustica deverá importar em um investimento da ordem de US\$ 270.000.000.

Este número será tomado como base na composição do custo. Para a estimativa do capital de giro foi utilizado uma rela

ção de 5% com o investimento fixo, resultando em um número da ordem de US\$ 13.500.000.

A composição do custo industrial - englobando soda cáustica, cloro e gás hidrogênio - adotando-se os custos dos insumos e fatores empíricos aceitos em avaliações deste tipo, é dada a seguir.

	<u>US\$/t</u>
Salmoura	18,12
Purificação da salmoura	44,40
Energia elétrica	67,20
Vapor 6 bar - 2,82 t (0,077 t/t de vapor)	17,22
Água de refrigeração	1,50
Pessoal e "overhead"	2,33
Depreciação (5% sobre o investimento fixo)	50,00
Manutenção (1,5% sobre o investimento fixo)	15,00
Taxas e seguros (2% sobre o investimento fixo)	<u>20,00</u>
	Subtotal 235,77
Despesas de comercialização (5% do subtotal)	<u>11,73</u>
	TOTAL 247,50

Obs.: O custo de purificação da salmoura para produção de soda/cloro foi estimado em 50% do custo de purificação/evaporação para produção de sal-gema.

IV - ANÁLISE DE PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA

1 - INTRODUÇÃO

Os dados relativos aos investimentos e custos (exceto os de transporte) utilizados na elaboração desse capítulo, foram extraídos do capítulo 3, referente ao estudo de engenharia. Convém ressaltar que naquele capítulo não foram considerados investimentos, custos e despesas com os seguintes itens: núcleo residencial, royalties, despesas de início de operação, pesquisas adicionais, repositção de equipamentos, aquisição de terras, e captação de água doce.

A análise aqui realizada foi desenvolvida sob a ótica do projeto, não tendo sido considerado, no caso, a existência de possíveis incentivos e benefícios fiscais, a não ser aqueles pertinentes a depreciação e depleção.

Dois enfoques foram adotados no estudo de pré-viabilidade econômica dos domos salinos: o primeiro considera o sal-gema como produto final e o segundo considera uma integração desde a extração do sal-gema até a fase de produção de soda-cloro.

O tamanho das plantas consideradas no estudo preliminar de lavra permite uma produção anual de 600 mil toneladas de sal-gema, 270 mil toneladas de soda cáustica e 240 mil toneladas de cloro, num regime de operação de 24 horas por dia, 330 dias por ano, com vida útil estimada de 20 anos.

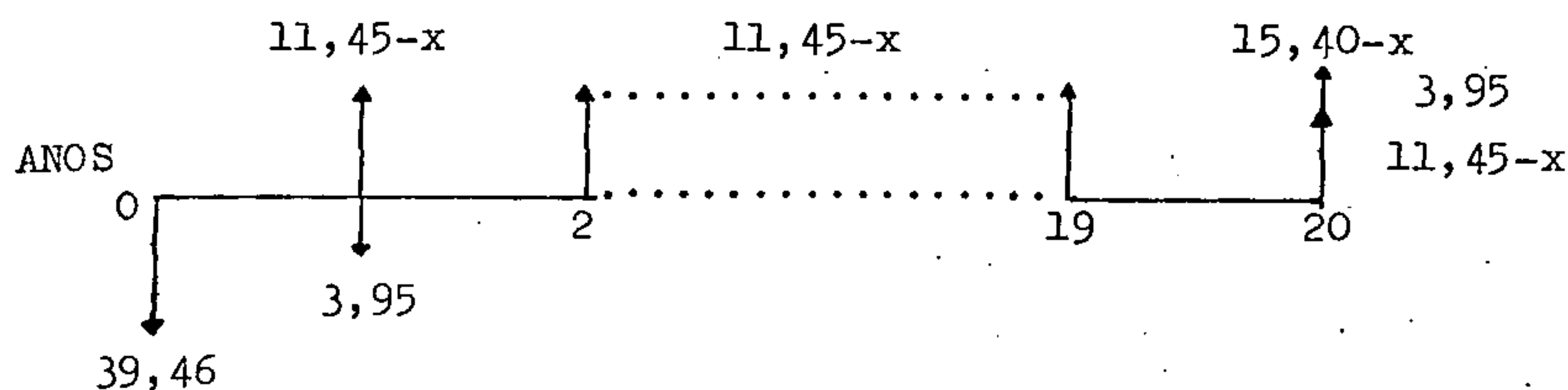
Os dados básicos de investimentos e custos, assim como os fluxos de caixa utilizados na elaboração da análise constam dos quadros apresentados ao longo deste capítulo.

Quanto à montagem dos fluxos de caixa, além das hipóteses acima mencionadas os seguintes aspectos foram considerados: as entradas e saídas de caixa ocorrem sempre no final do período, inclusive o pagamento do Imposto de Renda (IR) e a recuperação do capital de giro; o investimento fixo foi depreciado totalmente em 20 anos; a alíquota de 15% do IUM incidiu sobre a receita operacional no caso da produção de sal-gema como produto final e sobre o custo

de extração do sal-gema no caso da produção de soda-cloro; e, os cálculos do imposto de renda e da cota de exaustão foram efetuados de acordo com a legislação em vigor.

2 - PRODUÇÃO DE SAL-GEMA COMO PRODUTO FINAL

Neste enfoque procurou-se determinar o custo unitário máximo de produção do sal-gema evaporado que, dado o montante estimado dos investimentos e o preço de venda do produto possibilite um retorno mínimo, antes do IR, de 15% por unidade de capital investido. Os dados das Tabelas XXVI e XXVII foram utilizados para a montagem do fluxo de caixa, que consta na Tabela XXVIII, abaixo representado.



Por tratamento algébrico do fluxo de caixa acima resumido chega-se a seguinte expressão:

$$-39,45 - \frac{3,95}{1+0,15} + \sum_{n=1}^{20} \frac{(11,45-x)}{(1+0,15)^n} + \frac{3,95}{(1+0,15)^{20}} = \text{VPS } (20; 15\%)x$$

Onde:

x = custo unitário máximo de produção e evaporação do sal-gema

VPS = valor presente de US\$ 1,00 recebido por período

Resolvendo a expressão para x conclui-se que o custo unitário máximo de produção e evaporação do sal-gema que permita um retorno mínimo de 15% antes do IR por unidade de capital investido é de US\$ 4,64/t. Este custo é inferior ao custo de extração (US\$ 6,01/t) inviabilizando economicamente a própria extração do sal, se considerado um retorno mínimo de 15%.

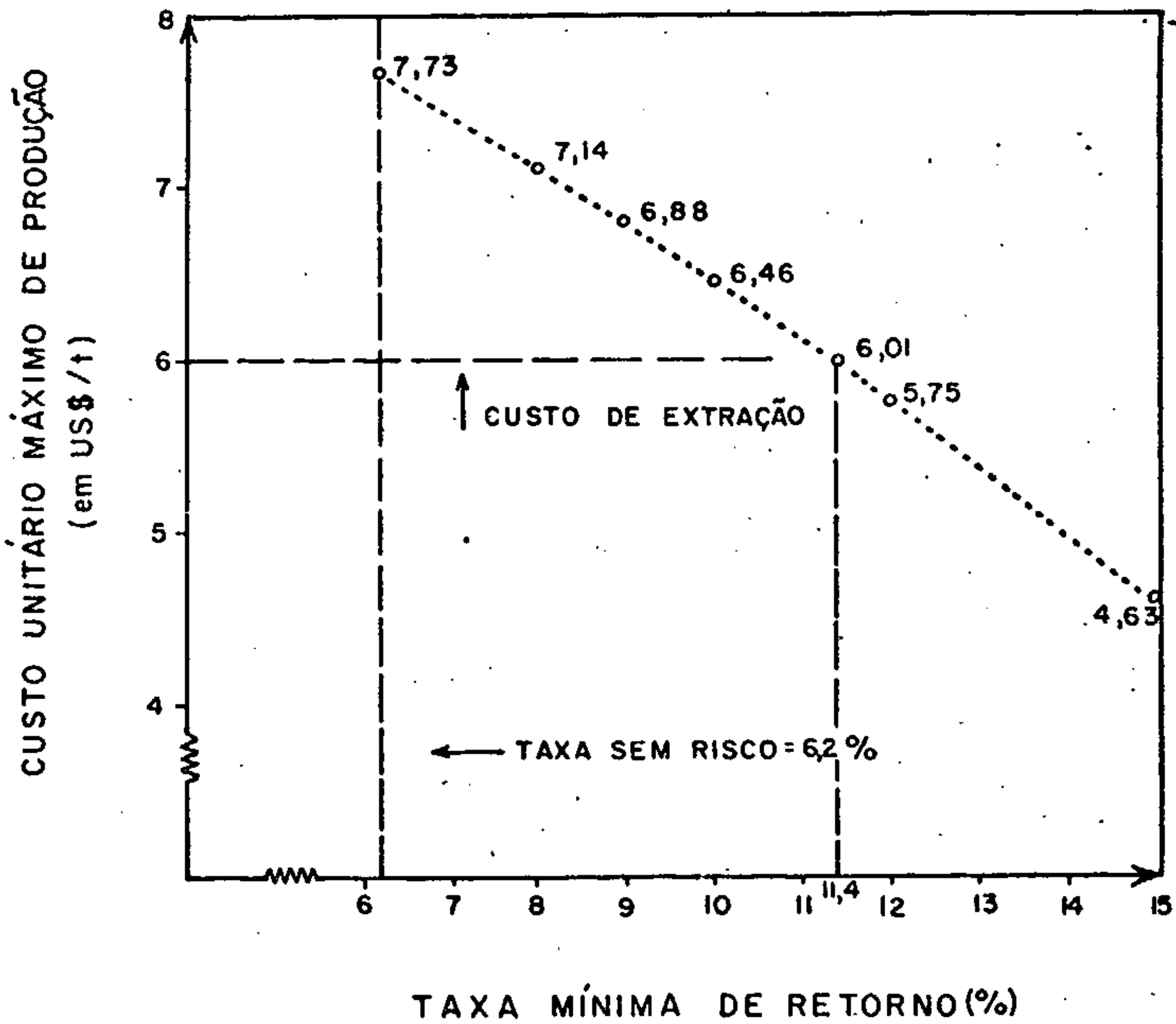
Objetivando complementar o estudo realizou-se uma análise de sensibilidade do referido custo às variações da taxa mínima de retorno antes do IR, cujos resultados constam da Figura 63. Os resultados alcançados mostram que, mesmo considerando somente o custo de extração da salmoura (US\$ 6,01/t), o retorno máximo a ser obtido seria de 11,3%. Se adicionarmos aos investimentos e custos de extração aqueles relativos ao processo de evaporação, necessário para a comercialização do sal, o empreendimento torna-se inviável mesmo à taxa sem risco de 6,2% (correspondente ao rendimento anual das cadernetas de poupança).

3 - PRODUÇÃO DE SODA-CLORO COM UMA PLANTA INTEGRADA A PARTIR DA EXTRAÇÃO DO SAL-GEMA

Na análise desta opção considerou-se um fluxo de caixa básico (Tabela XXXI), montado a partir dos dados constantes das Tabelas XXIX e XXX e mais dois Fluxos adicionais (Tabelas XXXII e XXXIII) obtidos de variações de menos 10% nos investimentos e menos 10% nos custos operacionais do fluxo de caixa básico. As taxas internas de retorno encontradas de, respectivamente, 2,9%, 3,6% e 4,2%, para os fluxos de caixa considerados, foram sensivelmente inferiores à taxa sem risco de 6,2% anteriormente citada, evidenciando, também, a inviabilidade econômico-financeira desta hipótese.

A Figura 64 mostra as variações do valor presente líquido em função das variações nas taxas de desconto.

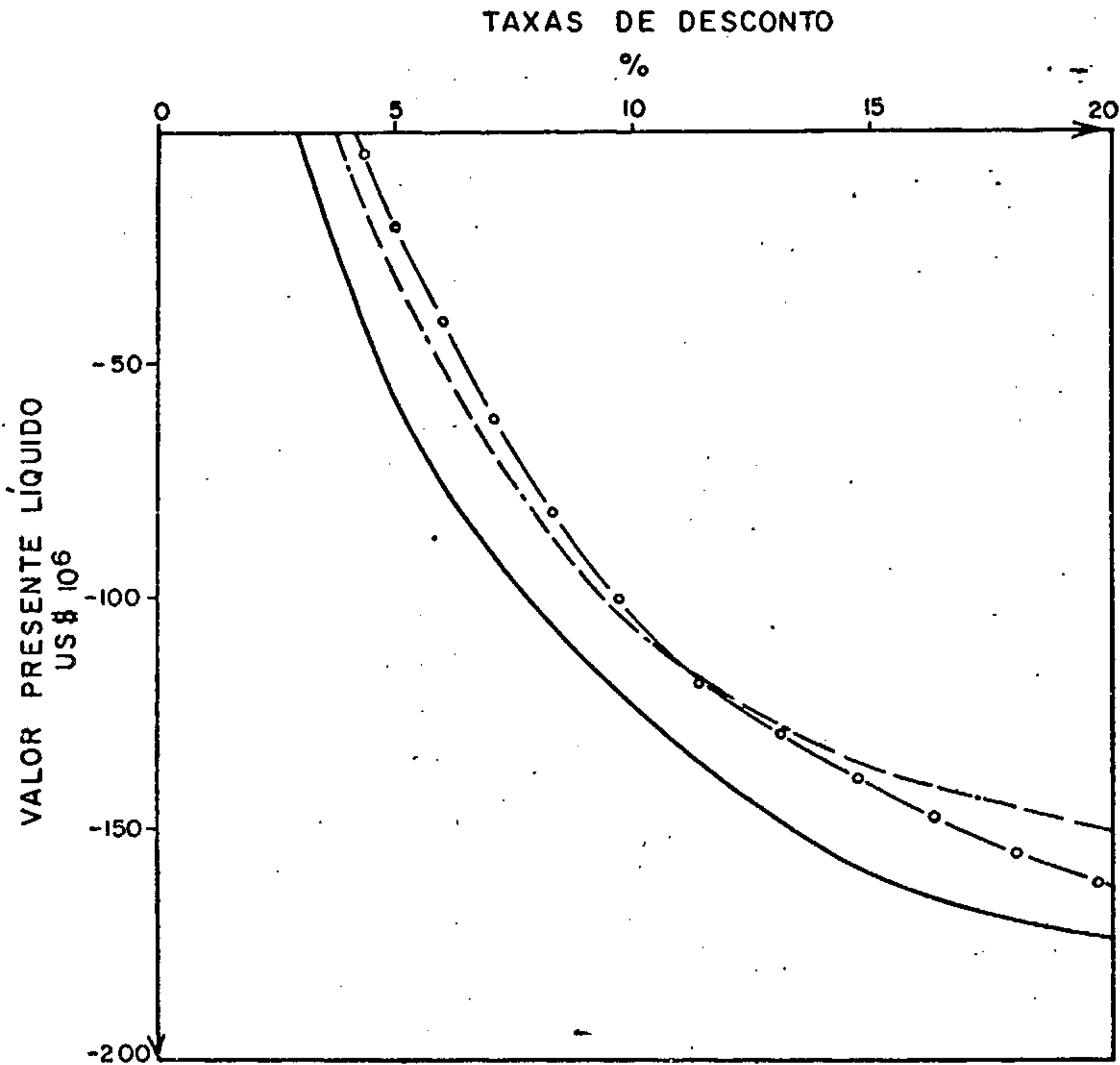
Fig. 63 - GRÁFICO DE VARIAÇÕES DO CUSTO UNITÁRIO MÁXIMO DE PRODUÇÃO EM RELAÇÃO ÀS VARIAÇÕES NA TAXA MÍNIMA DE RETORNO



CPRM
 PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
 PARA EXPLOTAÇÃO DE SALGEMA

Escala : Sem Escala

Fig. 64 - GRÁFICO DE VARIACÕES DO VPL EM RELAÇÃO ÀS VARIACÕES NAS TAXAS DE DESCONTO



LEGENDA

- HIPÓTESE I
- - - HIPÓTESE II
- HIPÓTESE III



CPRM
 PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
 PARA EXPLOTAÇÃO DE SALGEMA

Escala : Sem Escala

TABELA XXVI

INVESTIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE SAL-GEMA

<u>INVESTIMENTOS FIXOS</u>	<u>GLOBAL</u> [*] (em US\$ 10 ³)	<u>UNITÁRIO</u> (em US\$/t)
- EXTRAÇÃO		
. Poço pronto para produção	2.330	3,88
. Plataforma fixa de produção	3.100	5,17
. Tubulação da salmoura	7.500	12,50
. Outros equipamentos (bombas, guindastes, etc.)	2.000	3,33
SUB-TOTAL	14.930	24,88
- TRANSPORTE		
. Terminal marítimo	8.742	14,57
SUB-TOTAL	23.672	39,45
<u>CAPITAL DE GIRO</u>		
(10% dos Investimentos Fixos)	2.367	3,95
<u>TOTAL DOS INVESTIMENTOS</u>	26.039	43,40

* Para uma produção de 600.000 t/ano de sal-gema.

TABELA XXVII
CUSTOS E PREÇOS DE SAL-GEMA

<u>CUSTOS OPERACIONAIS</u>	<u>GLOBAL*</u> (em US\$ 10 ³)	<u>UNITÁRIO</u> (em US\$ 10 ³)
- EXTRAÇÃO	<u>3.606</u>	<u>6,01</u>
- TRANSPORTE ATÉ O PORTO DE SANTOS	<u>7.506</u>	<u>12,51</u>
. Frete marítimo	5.274	8,79
. Estiva, seguros e outras despesas	2.232	3,72
 <u>PREÇOS DO SAL-GEMA</u>		
- CIF PORTO DE SANTOS**		25,98
- FOB LOCAL DE EXTRAÇÃO		13,47
. IUM (15% do preço FOB)		2,02
- LÍQUIDO APÓS IUM (local e extração)		11,45

* Para uma produção de 600.000 t/ano de sal-gema.

** Considerou-se o preço de sal marinho para fins industriais, no Porto de Santos, como sendo o preço ao qual poderia ser comercializado, no mesmo local, uma tonelada de sal-gema.

TABELA XXVIII

FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SAL-GEMA

ANO	US\$/t			
	0	1	2 a 19	20
INVESTIMENTO FIXO	(39,45)	-	-	-
CAPITAL DE GIRO	-	(3,95)	-	3,95
RECEITA	-	13,47	13,47	13,47
IUM	-	(2,02)	(2,02)	(2,02)
CUSTO OPERACIONAL MÁXIMO (EXTRAÇÃO + EVAPORAÇÃO)	-	(x)	(x)	(x)
FLUXO DE CAIXA ANTES DO IR	(39,45)	7,50-x	11,45-x	15,40-x

Obs.: Não foram consideradas despesas de comercialização.

TABELA XXIX

INVESTIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO

Em US\$ 10³

INVESTIMENTOS FIXOS

- EXTRAÇÃO DE SAL-GEMA (A)	14.930
- PLANTA DE SODA-CLORO (B)	270.000
	<hr/>
	284.930

CAPITAL DE GIRO

(10% de A e 5% de B)	14.993
	<hr/> <hr/>

TOTAL DOS INVESTIMENTOS*

299.923

* Para uma produção de: 270 mil t/ano de soda cáustica e
240 mil t/ano de cloro

TABELA XXX

CUSTOS E PREÇOS DE SODA-CLORO

	<u>GLOBAL*</u> (em US\$ 10 ³)	<u>UNITÁRIO</u> (em US\$/t)
<u>CUSTO DE PRODUÇÃO</u>	52.028	192,70
<u>PREÇOS</u>		
SODA CÁUSTICA (FOB FÁBRICA)	-	168,00
CLORO (FOB FÁBRICA)	-	134,00

* Para uma produção de: 270 mil t/ano de soda cáustica e
240 mil t/ano de cloro

TABELA XXXI

FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO (BÁSICO)

	US\$ 10 ³				
	0 a 2	3	4 a 13	14 a 22	23
(1) INVESTIMENTO FIXO	(71.233)	(71.233)	-	-	-
(2) CAPITAL DE GIRO		(14.993)	-	-	14.993
(3) RECEITA OPERACIONAL	-	-	77.520	77.520	77.520
(4) CUSTO OPERACIONAL	-	-	(52.028)	(52.028)	(52.028)
(5) IUM	-	-	(541)	(541)	(541)
(6) FLUXO DE CAIXA ANTES DO IR	(71.233)	(86.226)	24.951	24.951	39.944
(7) DEPRECIÇÃO	-	-	14.247	14.247	14.247
(8) DEPLEÇÃO	-	-	721	-	-
(9) IR			4.459	4.784	4.784
(10) FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO APÓS IR	(71.233)	(86.226)	20.492	20.167	35.160

TABELA XXXII

FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO
HIPÓTESE DE REDUÇÃO DE 10% DOS INVESTIMENTOS

	US\$ 10 ³				
	0 a 2	3	4 a 13	14 a 22	23
(1) INVESTIMENTO FIXO	(64.109)	(64.109)	-	-	-
(2) CAPITAL DE GIRO	-	(13.494)	-	-	13.494
(3) RECEITA OPERACIONAL	-	-	77.520	77.520	77.520
(4) CUSTO OPERACIONAL	-	-	(52.028)	(52.028)	(52.028)
(5) IUM	-	-	(541)	(541)	(541)
(6) FLUXO DE CAIXA ANTES DO IR	(64.109)	(77.603)	24.951	24.951	38.445
(7) DEPRECIÇÃO	-	-	12.822	12.822	12.822
(8) DEPLEÇÃO	-	-	721	-	-
(9) IR	-	-	5.100	5.425	5.425
(10) FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO APÓS IR	(64.109)	(77.603)	19.851	19.526	33.020

TABELA XXXIII

FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE SODA-CLORO
HIPÓTESE DE REDUÇÃO DE 10% NOS CUSTOS OPERACIONAIS

	US\$ 10 ³				
	0 a 2	3	4 a 13	14 a 22	23
(1) INVESTIMENTO FIXO	(71.233)	(71.233)	-	-	-
(2) CAPITAL DE GIRO	-	(14.993)	-	-	14.993
(3) RECEITA OPERACIONAL			77.520	77.520	77.520
(4) CUSTO OPERACIONAL			(46.825)	(46.825)	(46.825)
(5) IUM			(541)	(541)	(541)
(6) FLUXO DE CAIXA ANTES DO IR	(71.233)	86.226	30.154	30.154	45.147
(7) DEPRECIAÇÃO			14.247	14.247	14.247
(8) DEPLEÇÃO			721	-	-
(9) IR			6.800	7.125	7.125
(10) FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO APÓS IR	(71.233)	86.226	23.354	23.029	38.022

CONCLUSÕES

Com base no exposto e à luz das informações contidas nos estudos de geologia, mercado, engenharia e pré-viabilidade econômica, chegou-se as seguintes conclusões:

- a) existem vinte e uma estruturas halocinéticas (domos salinos), na área da plataforma continental do Espírito Santo e sul da Bahia (distribuídas em 4 províncias), com as seguintes características:
- . distância, aproximada, variando de 25 a 70 km da costa;
 - . lâmina d'água variando de 25 a 60 m;
 - . são do tipo perfurante ou intermediário, cujo topo do sal é aflorante ou se situa entre 250 a 600 m, aproximadamente;
 - . apresentam forma, em geral cilíndrica, com base circular a elíptica e flancos altamente inclinados a, praticamente, verticais;
 - . diâmetro do topo do sal compreendido em torno de 1,0 a 5,0 km;
 - . núcleo dos domos constituído, predominantemente, por halita, cujo teor em NaCl varia de 89,7% a 92,91%;
 - . litologia adjacente aos domos, predominantemente calcária ou de sedimentos arenosos inconsolidados;
- b) a presença de rocha-capa sobrepondo-se aos domos de sal na área da Foz do Rio Doce coloca esses domos, principalmente os denominados Yemanjá e Janaína, como altamente promissores para a pesquisa de enxofre;
- c) os recursos potenciais em halita para os 21 domos, são estimados em cerca de 412 bilhões de toneladas. A reserva medida, apenas para o domo 9-CPRM-1-ESS, atinge aproximadamente 20,6 bilhões de toneladas;

- d) em caráter preliminar, é viável, do ponto de vista tecnológico, a extração do sal-gema dos domos da plataforma continental do Espírito Santo e Sul da Bahia, e a alternativa tecnológica mais adequada é o sistema de injeção de água pelo topo;
- e) os estudos prospectivos do mercado não constatarem demanda insatisfeita para o sal, sendo a capacidade de produção atual suficiente para suprir as necessidades do consumo durante todo o horizonte projetivo considerado;
- f) a colocação no mercado de uma produção adicional, representada pelos domos salinos em estudo, na hipótese de sua viabilidade econômica, acarretaria modificações profundas no perfil da produção de sal do País, com consequências sócio-econômicas indesejáveis, uma vez que esta poderia afastar do mercado parcela dos produtores de sal do Nordeste, elementos vitais no processo econômico daquela região; e
- g) é inviável, do ponto de vista econômico, a exploração dos domos salinos da plataforma continental do Espírito Santo e da Bahia, no horizonte considerado pelo estudo de mercado, tanto na hipótese de produção de sal como produto final, quanto na hipótese de uma planta integrada até a fase de soda-cloro.

RECOMENDAÇÕES

Das 21 estruturas dômicas identificadas, a presença de rocha-capá sobrepondo-se aos domos de sal (7) na área da Foz do Rio Doce, coloca esses domos como promissores para a pesquisa de enxofre, tendo em vista a existência de depósitos comerciais dessa substância, em estruturas semelhantes.

Face à exiguidade de fontes convencionais de enxofre no País, que acarreta vultosos dispêndios de divisas - cerca de US\$ 120 milhões por ano, correspondentes a importações da ordem de 1 milhão de toneladas - torna-se relevante incentivar projetos que possam vir a atenuar ou sanar a nossa dependência em relação a este bem mineral.

As razões expostas recomendam uma pesquisa para enxofre na área mencionada, devendo a mesma ser iniciada, prioritariamente, pelos domos Iemanjá e Janaína, que se apresentaram como os mais favoráveis à existência desse bem mineral. Por se tratar de uma pesquisa bastante onerosa, torna-se imprescindível uma avaliação econômica dos resultados obtidos ao final de cada fase da pesquisa, objetivando fornecer subsídios para a tomada de decisões sobre a continuidade dos trabalhos programados.

BIBLIOGRAFIA



145.

- ABREU, Sylvio Fróes. Recursos minerais do Brasil. 2.ed. São Paulo, E. Blucher; Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Tecnologia, 1973. 2v.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro, IBGE, 1972/1982.
- ANUÁRIO DA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA 1982. São Paulo ABIQUIM, 1983.
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. Brasília, DNPM, 1972/1983.
- ASMUS, H.E. et alii. Integração geológica regional da Bacia do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. Anais. São Paulo, 1971, v.3.
- BARBOSA, Ricardo Lopes. Perfil analítico do sal. B. Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, n.21, 1973. 47p.il. mapa.
- BARTON, D. The salt domes of South Texas. B. AAPG (9): 561-65, 1925.
- BORNHAUSER, M. Tectônica da Costa do Golfo. B. AAPG, v.42,n.2, 1958.
- BRASIL. Comissão Executiva do Sal. Sinopse estatística da indústria salineira. Rio de Janeiro, 1981/1983.
- CABRAL DE MELO, P.R. Sal-gema. Salgema Mineração S.A., 1983.

EBY, J.B. Relation of geophysics to salt dome structures. B. AAPG, v.19. n.3, 1983.

FONSECA, J.C. Projeto domos salinos da Plataforma Continental do Espírito Santo. Rio de Janeiro, CPRM, 1981.

GHIGNONE, J.I. A anomalia de cinzento, um caso de diapirismo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, Curitiba, 1967. Anais. Curitiba, 1967.

HALBOUTY, M.T. Salt domes, Gulf Region United States and Mexico. Houston, Gulf Publ. Company, 1967. p.425.

HALBOUTY, M.T. & HARDIN JR., G.C. Genesis of salt domes of Gulf Coast Plain. B. AAPG, v.40, n.4, 1956.

HINDS, J.S. & CUNNINGHAM, R.R. Elemental sulfur in Eddy Contry, New Mexico. 1970. 13p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. Mercado consumidor mineral - Estado de São Paulo. São Paulo, Secr. Industr. Com. Ci. Tecnol. [1981?] 301p. Bibliogr.p.359-61.

JINNO, K. Levantamento sísmico da Plataforma Continental Bahia-Sul/Espírito Santo. B. técnico PETROBRÁS, v.12, n.3, 1969.

LEHNER, P. Salt tectonics and pleistocene stratigraphy on continental slope of Northern Gulf of Mexico. B. AAPG, v.53, n.12, 1969.

MINERAL COMMODITY SUMMARIES. Washington, Bureau of Mines, 1983.

MINING ANNUAL REVIEW. London, Mining Journal, 1983.

NEIL JR. R.B.O. Structure of Winn field salt dome, Winn Parish, Louisiana. B. AAPG, v.46, n.8, 1962.

NELY, G. Facies et morphologie sismiques des évaporites. B. des Centres de Recherches Exploration - Production Elf - Aquitaine, 4 (1): 395-410, jun, 1980.

OFERTA e demanda de cloro e soda cáustica de 1976 a 1981 no Brasil. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Indústria de Alcalis e Cloro Derivados e Sindicato Nacional da Indústria de Alcalis, 1976. 301p.graf.il.

OLIVEIRA, E. Levantamentos gravimétricos marítimos - Bahia - Sul/Espírito Santo. Rel. interno PETROBRÁS, n.2709, 1967.

PARKEL, T.J. & MCDOWELL, A.N: Model studies of salt domes of Gulf Coastal Plain. B. AAPG, 39: 2387 - 89, 1955.

PINTO DE LIMA, E. Perfil analítico do potássio. Rio de Janeiro, CPRM, 1966.

PIPER, T.B. Hydraulics fracturing applied to solution mining. Woodstock, SMRI, 1980. 15p.



ROCHA, J.M. Domos de sal e possibilidades de enxofre - Plata -
forma Continental. Bahia - Sul/Espírito Santo. Rel. inter-
no CPRM, 1973.

SPECIALIZED underground estration systems. In: CUMMINS, A. B . .
SME mining engineering handbook. New York American Institu-
te of Mining, Metalurgical and Petroleum Engineers, Society
of Mining Engineers, 1973. v.2,p.21 - 1/118.

SYMPOSIUM ON SALT, 1/2, 1963/66 | Proceedings |, Ohio Geologi-
cal Society, 1963/66.

WALLACE JR., W.E. South Louisiana Deep² - seated domes. B .
AAPG, 28: 1250 -55, 1949.