

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA  
CURSOS DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIACAO DA QUALIDADE DE MISTURA DE AGUAS DE SALINIDADES  
DIFERENTES COM E SEM DESSALINIZACAO SOLAR PARA A  
REGIAO DO SEMI-ARIDO DA PARAIBA

SILVANA NUNES DA COSTA

CAMPINA GRANDE

AGOSTO - 1992



*Handwritten notes:*  
50-10-10-10  
01/3/92  
01/3/92  
1992-214  
1. ...  
2. ...  
3. ...  
4. ...

SILVANA NUNES DA COSTA

AVALIACAO DA QUALIDADE DE MISTURA DE AGUAS DE SALINIDADES  
DIFERENTES COM E SEM DESSALINIZACAO SOLAR PARA A  
REGIAO DO SEMI-ARIDO DA PARAIBA

Dissertação apresentada ao Curso  
de MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL  
da Universidade Federal da Paraíba,  
em cumprimento às exigências  
para obtenção do Grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRACAO: RECURSOS HIDRICOS

BERNARDETE FEITOSA CAVALCANTI

Orientador

VAJAPÉYAM S. SRINIVASAN

Orientador

CAMPINA GRANDE

AGOSTO - 1992

SILVANA NUNES DA COSTA

AVALIACAO DA QUALIDADE DE MISTURA DE AGUAS DE SALINIDADES  
DIFERENTES COM E SEM DESSALINIZACAO SOLAR PARA A  
REGIAO DO SEMI-ARIDO DA PARAIBA

Dissertação aprovada em 27/08/92

AREA DE CONCENTRACAO: RECURSOS HIDRICOS

*Bernardete Feitosa Cavalcanti*  
BERNARDETE FEITOSA CAVALCANTI

Orientador

*Vajapeyan S. Srinivasan*  
VAJAPEYAN S. SRINIVASAN

Orientador

*Manuel Farias Souza Filho*  
p/ MANUEL FARIAS SOUZA FILHO

Componente da Banca

*Ramdayal Swanakar*  
RAMANDAYAL SWANAKAR

Componente da Banca

CAMPINA GRANDE

AGOSTO 1992

DIGITALIZAÇÃO:  
SISTEMOTECA - UFCG

A  
Severino F. da Costa e  
Iracema Nunes da Costa,  
meus pais.



## AGRADECIMENTOS

A Bernardete Feitosa Cavalcanti, professora do Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, pela sugestão do tema e pela dedicada e competente orientação.

Ao professor Vajapeyam S. Srinivasan pela colaboração na orientação deste trabalho.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, que permitiu a utilização do Laboratório de Análises de Águas, no Alto Branco, Campina Grande.

A Severino, Roberto Moscoso, Luis Bonifácio, Carlos, Desterro e Dr. Aluisio, funcionários do Laboratório de Análises de Águas (CAGEPA), pela colaboração na fase experimental deste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação da Área de Recursos Hídricos, que contribuíram para a minha formação nesta etapa.

Aos funcionários da Área de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, campus II, que estiveram sempre disponíveis.

A Área de Construções Rurais e Ambiente e ao

Laboratório de Engenharia de Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola, por permitirem a utilização dos computadores durante grande parte da execução deste trabalho.

Aos colegas de curso Raul, Celso, Cícero e, especialmente, Solange, pelo companheirismo.

A Nelson, funcionário do Laboratório de Engenharia de Irrigação, pela confecção do dessalinizador utilizado no experimento.

A Soênia e Cardoso pela colaboração na confecção dos gráficos e figuras.

A Tânia pela amizade, dedicação e competência na digitação do trabalho.

A Severino, Iracema, Nildo, Verinha, Neide, Dadá e Gil que sempre estiveram presentes transmitindo força durante o mestrado.

A Romildo, pelo incentivo, compreensão, carinho e sugestões.

## LISTA DE FIGURAS

Figura		página
2.1	Diagrama pH x $pC_T$ , com $C_T = 10^{-2}$ moles/l $pk'_1 = 6,3$ , $pk'_2 = 10,3$ e $T = 25^\circ C$ , com os pontos de equivalência do sistema carbônico e formas de alcalinidade e acidez (Loewenthal & Marais, 1976).	10
2.2	Diagrama de Interdependência entre os parâmetros de massa do sistema carbônico (Loewenthal & Marais, 1986).	11
2.3	Distribuição das espécies carbônicas totais e livres com o pH operacional para o sistema $H_2CO_3^* + H_2O +$ Sais Dissolvidos (águas de alta salinidade) (Cavalcanti, 1981).	15
3.1	Diagrama tipo "Deffeye", ou diagrama pH x Alc x Ac para uma determinada força iônica e temperatura ( $^\circ C$ ) (Loewenthal & Marais, 1976).	31
3.2	Diagrama Modificado de Caldwell-Lawrence(MCL) para uma determinada força iônica e temperatura ( $^\circ C$ ) (Loewenthal & Marais, 1976).	39

4.1	Seção transversal de um dessalinizador convencional (Bezerra, 1986).	49
4.2	Seção transversal de um dessalinizador de múltiplo efeito (Bezerra, 1986).	50
4.3	Seção transversal de um dessalinizador tipo mecha (Bezerra, 1986).	51
4.4	Dessalinizador de condensação separada (Bezerra, 1986).	52
4.5	Dessalinizador solar utilizado na pesquisa.	56
4.6	Balanco de energia no dessalinizador convencional (Bezerra, 1986).	60
4.7	Filtro de brita utilizado na bandeja dos dessalinizadores. (Bezerra, 1986).	63
5.1	Equipamentos utilizados para a determinação da alcalinidade através da Titulação de Gran (Cavalcanti, 1981).	80
6.1	Diagrama tipo "Deffeye" para determinação do pH, da mistura (A1S:A1D = 1:3) do sistema I (Loewenthal & Marais, 1976).	107
6.2	Diagrama Modificado de Caldwell-Lawrence (MCL) para determinação dos valores de cálcio à saturação ( $Ca_{s^{2+}}$ ) e do pH de saturação	

	(pHs), para a mistura A1S:A1D = 1:3 do sistema I (Loewenthal & Marais, 1976).	108
6.3	Relação entre a força iônica-I e a concentração de cloreto-Cl <sup>-</sup> (experimental e teórica) para as misturas tipo MD do sistema I.	124
6.4	Relação entre a força iônica-I e a concentração de cloreto-Cl <sup>-</sup> (experimental e teórica) para as misturas tipo MB do sistema I.	124
6.5	Relação entre a força iônica-I e a concentração de cloreto-Cl <sup>-</sup> (experimental e teórica) para as misturas tipo MD do sistema II.	125
6.6	Relação entre a força iônica-I e a concentração de cloreto-Cl <sup>-</sup> (experimental e teórica) para as misturas tipo MB do sistema II.	125
A.1	Mapa do Estado da Paraíba, com destaque para a região Semi-Árida.	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
3.1 Fatores de conversão de escalas (Loewenthal & Marais, 1976).	25
3.2 Mudanças nos parâmetros de massa com adição de substâncias químicas (Loewenthal & Marais, 1976).	27
3.3 Valores de $pK'_1$ , $pK'_2$ e $pK'_w$ (Loewenthal & Marais, 1976).	35
6.1 Valores experimentais médios das amostras de águas de alta salinidade (AS) do sistema I à 25°C.	85
6.2 Valores experimentais médios das amostras de águas de baixa salinidade (BS) do sistema I à 25°C.	85
6.3 Valores experimentais médios das amostras de águas dessalinizadas (AD) do sistema I à 25°C.	85
6.4 Valores experimentais médios das amostras de	

	águas de alta salinidade (AS) do sistema II à 25°C.	86
6.5	Valores experimentais médios das amostras de águas de baixa salinidade (BS) do sistema II à 25°C.	86
6.6	Valores experimentais médios das amostras de águas dessalinizadas (AD) do sistema II à 25°C.	86
6.7	Valores do Índice de Saturação de Langelier- ISL e estado de saturação das águas do sistema I antes das misturas.	88
6.8	Valores do Índice de Saturação de Langelier- ISL e estado de saturação das águas do sistema II antes das misturas.	89
6.A1	Valores experimentais médios das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema I à 25°C.	92
6.B1	Valores experimentais médios das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema I à 25°C.	93
6.C1a	Valores experimentais médios das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema II à 25°C	



		x
	(Cl <sup>-</sup> ≤ 400 mg/l).	94
6.C1b	Valores experimentais médios das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema II à 25°C (Cl <sup>-</sup> > 400 mg/l).	95
6.D1a	Valores experimentais médios das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II à 25°C (Cl <sup>-</sup> ≤ 400 mg/l).	96
6.D1b	Valores experimentais médios das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II à 25°C (Cl <sup>-</sup> > 400 mg/l).	97
6.A2	Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema I à 25°C.	109
6.B2	Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema I à 25°C.	110
6.C2a	Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema II à 25°C (Cl <sup>-</sup> ≤ 400 mg/l).	111
6.C2b	Resultados teóricos das misturas de águas de	

- alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema II à 25°C ( $\text{Cl}^- > 400 \text{ mg/l}$ ). 112
- 6.D2a Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II à 25°C ( $\text{Cl}^- \leq 400 \text{ mg/l}$ ). 113
- 6.D2b Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II à 25°C ( $\text{Cl}^- > 400 \text{ mg/l}$ ). 114
- 6.A3 Comparação entre os valores experimentais médios e os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema I à 25°C. 118
- 6.B3 Comparação entre os valores experimentais médios e os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema I à 25°C. 119
- 6.C3a Comparação entre os valores experimentais médios e os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema II à 25°C ( $\text{Cl}^- \leq 400 \text{ mg/l}$ ). 120

6.C3b	Comparação entre os valores experimentais médios e os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MU) do sistema II à 25°C ( $\text{Cl}^- > 400 \text{ mg/l}$ )	121
6.D3a	Comparação entre os valores experimentais médios e os resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II à 25°C ( $\text{Cl}^- \leq 400 \text{ mg/l}$ ).	122
6.D3b	Comparação entre os valores experimentais médios e os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II à 25°C ( $\text{Cl}^- > 400 \text{ mg/l}$ ).	123
A.1	Dados características de qualidade das águas de alguns municípios da região do Semi-Árido da Paraíba (Dados fornecidos pela CAGEPA).	135
A.2	Padrões de potabilidade.	136

## SUMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	viii
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xviii
CAPITULO I	
INTRODUÇÃO .....	1
CAPITULO II	
QUÍMICA CARBONATADA DE ÁGUAS NATURAIS .....	4
2.1 - Introdução à teoria da química carbonatada de águas naturais .....	4
2.2 - Modelagem do sistema carbônico para águas de alta salinidade .....	12
CAPITULO III	
USO DE DIAGRAMAS DE CONDICIONAMENTO PARA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS NATURAIS .....	21
3.1 - Condicionamento da água .....	21
3.2 - Equilíbrio da fase aquosa .....	27
3.3 - Equilíbrio da fase aquosa - sólida .....	29
3.4 - Diagrama Modificado de Caldwell-Lawrence	

(MCL) .....	36
CAPITULO IV	
DESSALINIZADOR SOLAR.....	45
4.1 - Introducao .....	45
4.2 - Tipos de desalinizadores solares .....	47
4.2.1 - Dessalinizador convencional .....	48
4.2.2 - Dessalinizador de múltiplo efeito..	49
4.2.3 - Dessalinizador de mecha .....	51
4.2.4 - Dessalinizador de condensação separada .....	52
4.3 - Material utilizado na construção dos dessalinizadores solares .....	52
4.4 - Dessalinizador solar utilizado na pesquisa	55
4.5 - Processo de dessalinização .....	57
4.6 - Fluxo de energia no dessalinizador solar tipo convencional .....	59
4.7 - Performance do dessalinizador solar tipo convencional .....	61
CAPITULO V	
MATERIAIS E METODOS .....	66
5.1 - Análise e classificação das águas da região do Semi-Árido da Paraíba .....	66
5.2 - Preparação e acondicionamento das amostras de águas .....	67
5.3 - Utilização do dessalinizador solar .....	71

5.4 - Determinação das misturas .....	72
5.5 - Determinação dos parâmetros físico-químicas .....	75
 CAPITULO VI	
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	84
6.1 - Dados características das águas antes das misturas .....	84
6.2 - Resultados experimentais obtidos das amostras de misturas de águas .....	89
6.3 - Seleção das misturas .....	90
6.4 - Aplicação da teoria de misturas de águas e utilização dos diagramas tipo "Deffeye" e Modificado de Caldwell-Lawrence - MCL (Loewenthal & Marais, 1976) .....	100
 CAPITULO VII	
CONCLUSOES E RECOMENDACOES .....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	129
ANEXO A .....	134
ANEXO I .....	138
ANEXO II .....	151

## RESUMO

Na região do Semi-Árido do Estado da Paraíba, a maioria dos mananciais superficiais e subterrâneos não somente tem pequena caudabilidade como também apresentam elevado teor de salinidade (cloreto -  $\text{Cl}^-$  > 800 mg/l). Tais águas de alta salinidade e alta força iônica são impróprias para consumo humano e/ou para outras finalidades. Como tentativa para contornar esta situação, este trabalho mostra um estudo aprofundado de qualidade de águas de mistura em termos de grau de salinidade e de grau de saturação.

A partir da utilização de águas sintéticas de alta e de baixa salinidade e de um dessalinizador solar, em escala reduzida, tipo convencional, foram analisados os seguintes tipos de misturas: (i) tipo MD ou de água de alta salinidade com água dessalinizada e (ii) tipo MB ou de água de alta salinidade com água de baixa salinidade.

As águas sintéticas de alta salinidade foram preparadas com composição química similar aquelas da região do Semi-Árido Paraibano, e foi inserida uma espécie carbônica para simular águas naturais. Dois sistemas foram utilizados; a saber: (I)  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$  e (II)  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{MgCl}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . A variação do grau de salinidade



foi feita a partir do teor de cloreto, ou seja: de 1500 mg/l a 3000 mg/l para as águas de alta salinidade do sistema I, de 1000 mg/l a 3500 mg/l para as do sistema II e, finalmente, de 100 mg/l a 200 mg/l para as de baixa salinidade dos dois sistemas. Todas as simulações das águas e as determinações experimentais foram feitas no Laboratório de Qualidade de Água da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA no Alto Branco, Campina Grande, PB.

Os resultados experimentais mostraram que ambos os processos de mistura são eficientes para a redução da salinidade das águas naturais e produzem um maior volume de água.

A teoria do sistema carbonatado de Loewenthal & Marais (1976 e 1986) foi aplicada para verificação do grau de saturação das águas (potencial de precipitação/dissolução de carbonato de cálcio -  $\text{CaCO}_3$ ). Os resultados mostraram que as águas finais de ambas os tipos de misturas, apesar de leve tendência a subsaturação são praticamente estáveis.

## ABSTRACT

In the Semi-Arid region of Paraiba State the majority of the superficial waters and groundwaters not only has a small yield but also shows a high salinity concentration (chloride -  $\text{Cl}^-$  > 800 mg/l). Such waters of high salinity and high ionic strength are inadequate for human use and/or for other uses. In order to help to minimize this problem, this work shows a deep study on the quality of blended waters concerning its salinity and saturation degree.

From the preparation of synthetic high salinity waters and low salinity waters and with the aid of a solar distiller, built in reduced scale and of the conventional type, it were analyzed the following types of blend; (i) blend MD or high salinity water with dessalinized water and (ii) blend MB or high salinity water with low salinity water.

The synthetic high salinity waters were prepared with chemical composition similar to those of the Semi-Arid region of Paraiba and it was included a carbonic species in order to simulate a natural water. Two types of waters were used; i.e.: (I)  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  and (II)  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{MgCl}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . The degree of salinity was

prepared from the chloride -  $\text{Cl}^-$  concentration; i.e.; from  $\text{Cl}^-$  (mg/l) 1500 to 3000 for high salinity waters of the system I, from  $\text{Cl}^-$  (mg/l) 1000 to 3500 for those of the system II and finally, from  $\text{Cl}^-$  (mg/l) 100 to 200 for low salinity waters. All simulations of the waters - and experimental determinations were made at the Laboratorio of Water Quality of the Water and Wastewater Agency of Paraiba - CAGEPA, in Alto Branco township, Campina Grande, PB.

The experimental results indicate that both blending processes are efficient for minimizing the salinity of natural waters and produce a greater water volume.

The theory of the carbonated system of Loewenthal & Marais (1976 and 1986) was applied to evaluate the saturation degree of the waters (potencial of precipitation/dissolution of calcium carbonate -  $\text{CaCO}_3$ ). The results showed that the final waters of both blending types although showing a slight subsaturation tendency, are practically stable.

## CAPITULO I

### INTRODUCAO

O acelerado e desordenado crescimento populacional observado em todas as partes do mundo, e mais particularmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, tem trazido graves problemas às suas populações. Entre estes, pode-se citar os problemas de saúde pública, provocados pela escassez de água potável para o abastecimento de tais populações.

Algumas regiões do mundo, especialmente as de clima árido e semi-árido (caso da região nordeste do Brasil), apresentam suas águas naturais com elevada concentração de sais dissolvidos, sendo portanto caracterizadas como águas de alta salinidade. No período seco, quando a taxa de evaporação é muito alta, a situação é ainda mais grave, pois as concentrações de sais são tão elevadas que, em muitos casos, as águas são impréstáveis para consumo humano, animal e até agrícola.

Nessas regiões, onde a maioria dos mananciais superficiais e subterrâneos apresentam tais características, torna-se essencial o aproveitamento desses recursos hídricos com tratamento adequado, a fim de fornecer água potável às

populações. Nestes casos, os processos de dessalinização solar aparecem como uma alternativa atrativa, principalmente, nos locais distantes dos centros urbanos onde o custo das fontes convencionais de energia é bastante alto.

Deve-se considerar, no entanto, que a água dessalinizada apresenta quantidades de sais abaixo dos níveis exigidos para consumo humano, além de, em alguns casos, possuir gosto desagradável, não matar a sede e de ser pouco digerível (Cometta, 1987). Surge portanto, a necessidade de acrescentar à água dessalinizada uma dose de sais, o que pode ser feito pela mistura, em proporções adequadas, da água dessalinizada com a água salgada.

Dentro deste contexto, este trabalho se propõe a avaliar a qualidade da mistura de águas de salinidades diferentes, como um método alternativo para o tratamento de águas de alta salinidade. O trabalho mostra também uma interpretação do grau de saturação das águas, através da determinação do potencial de precipitação ou dissolução de carbonato de cálcio que provoca as incrustações ou corrosão em tubulação, respectivamente.

O trabalho é composto de sete capítulos, a saber:

O capítulo I apresenta o problema a ser estudado.

No capítulo II é feita uma revisão da teoria da química carbonatada aplicada às águas naturais de baixa e alta

salindade.

O capítulo III apresenta o estudo do condicionamento de águas através dos diagramas de condicionamento, segundo Loewenthal & Marais(1976).

No capítulo IV, é feita uma descrição dos tipos de dessalizadores solares mais comuns, assim como seu processo de funcionamento considerando o fluxo de energia no seu interior e os fatores que influenciam na produtividade.

A metodologia experimental para o desenvolvimento do trabalho é apresentada no capítulo V.

Os resultados experimentais, e aqueles obtidos através da teoria de misturas de águas são apresentados e discutidos no capítulo VI.

No capítulo VII são apresentadas as conclusões finais do trabalho.

## CAPITULO II

## QUIMICA CARBONATADA DE AGUAS NATURAIS

## 2.1 INTRODUÇÃO A TEORIA DA QUIMICA CARBONATADA DE AGUAS NATURAIS

A maioria das águas terrestres são classificadas como "naturais" porque são reguladas principalmente pelo sistema carbônico. Tais águas são representadas por  $H_2CO_3^*$  +  $H_2O$ , onde  $H_2CO_3^*$  é dado pela soma de 0,3% de ácido carbônico- $H_2CO_3$ , e 99,7% de dióxido de carbono molecularmente dissolvido- $CO_2(aq)$ , ou seja,  $H_2CO_3^* = H_2CO_3 + CO_2(aq)$ .

As águas naturais (superficiais, subterrâneas, pluviais, residuárias domésticas, de reuso, etc.) podem também ser classificadas de acordo com sua força iônica-I. Segundo Stokes & Robinson(1945), a força iônica representa a medida de todos os ions presentes em solução e é dada por:

$$I = 1/2 \sum c_i z_i^2 \quad (1)$$

onde,



$C_i$  = concentração molar da espécie iônica "i" qualquer,  
(moles/l)

$z_i$  = valência da espécie iônica "i" qualquer.

De acordo com Langelier(1936), a força iônica poder ser determinada a partir do conhecimento do teor de sólidos totais dissolvidos em uma água natural, ou seja:

$$I = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot STD, \text{ válida somente até } STD = 1000 \text{ mg/l (2)}$$

onde,

STD = sólidos totais dissolvidos

Águas com valores de I 0,10 podem ser consideradas como de alta força iônica e para  $I > 0,025$ , elas já podem ser consideradas também como de alta salinidade.

A modelagem do sistema carbônico para águas naturais de baixa força iônica foi feita por Loewenthal & Marais(1976), enquanto que aquela para águas de alta salinidade com o sistema carbônico foi proposta por Cavalcanti(1981), e mais recentemente por Oliveira(1988) para águas de alta salinidade e alta força iônica.

Em águas naturais de baixa força iônica, a interação do sistema carbônico com a água resulta em um deslocamento de equilíbrio entre ions hidrogênio- $H^+$  e oxidrila- $OH^-$  que se manifesta por meio de um pH específico. Neste pH, as concentrações dos parâmetros  $H_2CO_3^*$  ou  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$  e  $CO_3^{2-}$  são

fixadas de acordo com as seguintes equações de equilíbrio:

$$[H^+] [HCO_3^-] / [H_2CO_3^*] = K_1 / f_{HCO_3^-} = K'_1 \quad (3)$$

$$[H^+] [CO_3^{2-}] / [HCO_3^-] = K_2 \cdot f_{HCO_3^-} / f_{CO_3^{2-}} = K'_2 \quad (4)$$

$$[H^+] [OH^-] = K_w / f_{OH^-} = K'_w \quad (6)$$

onde,

$K'_1$  e  $K'_2$  são a primeira e a segunda constante de dissociação do sistema carbônico considerando a atividade das espécies;

$K'_w$  = constante de dissociação da água considerando a atividade do ion oxidrila;

[ ] e ( ) indicam concentração molar(moles/l) e ativa(adimensional), respectivamente;

f = coeficiente de atividade na escala molar e que relaciona as concentrações citadas anteriormente, ou seja:  $(X) = f_x [X]$ .

A análise das equações (3 a 5) mostra que apenas o ion  $H^+$  está expresso em termos de atividade. Isto se deve ao fato de que a medição deste ion ou do pH é feita por método eletrométrico e a partir da seguinte definição de Sorensen & Linderstrom-Lang(1924):

$$pH = -\log (H^+) = -\log f_{H^+} [H^+] \quad (6a)$$

sendo que,

$$f_{H^+} [H^+] = 10^{-pH} \quad (6b)$$

Na prática, adota-se a definição de pH operacional

ou pH medido ou observado como sendo:

$$pH_{op} = - \log (H^+)_{op} = - \log f_{H^+_{op}} [H^+] \quad (7)$$

onde,

$f_{H^+_{op}}$  = coeficiente de atividade operacional do ion  $H^+$  na escala molar e que pode ser determinado experimentalmente via titulação de Gran, (Cavalcanti, 1981) e que é dado por:

$$f_{H^+_{op}} [H^+] = 10^{-pH_{op}} \quad (8)$$

O conjunto formado pelas equações (3 a 6a) ainda não é suficiente para definir o sistema carbônico devido à presença de cinco incógnitas; ou seja, as espécies:  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$  e  $CO_3^{2-}$  do sistema carbônico e  $OH^-$  e  $H^+$  da água. A última equação para essa finalidade é dada por um balanço de massa no sistema que resulta na definição da concentração total das espécies carbônicas- $C_T$ , ou seja;

$$C_T = [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] \quad (9)$$

Na prática, é difícil determinar precisamente o valor de  $C_T$ , já que é necessário o uso do "analisador de carbono inorgânico". Este equipamento, além de ser bastante caro e sofisticado, é impraticável para uso no campo. Tal dificuldade é contornada ao se utilizar um outro parâmetro de fácil medição e que seja expresso em termos das espécies do sistema analisado. Este é o caso da Alcalinidade Total ou Alcalinidade que apresenta ainda a vantagem de conduzir a

menores erros de interpretação em suas medições para o caso de águas de baixa força iônica.

A Alcalinidade implica na existência de uma base forte que, juntamente com uma solução equivalente do sistema carbônico (por exemplo de  $\text{CO}_2$ , ou dos sais ou espécies dissolvidas,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) estabelece um certo valor de pH ou ponto de equivalência. Portanto, para as três soluções carbônicas equivalentes acima citadas, há três pontos de equivalência ou  $\text{pHe}_1$ ,  $\text{pHe}_2$  e  $\text{pHe}_3$ , respectivamente. Para cada um desses pontos de equivalência existe uma forma de Alcalinidade e de Acidez a ele associada dependendo da posição do valor do pH medido ou observado em relação ao ponto. As várias formas de Alcalinidade e Acidez do sistema carbônico são as seguintes:

(a) Para a solução equivalente de  $\text{CO}_2$ :

[Alc  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ] ou [Alc] = Alcalinidade Total ou Alcalinidade

$$[\text{Alc}] = -[\text{H}^+] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad (10)$$

[Ac  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ] ou Acidez Mineral

$$[\text{Ac mineral}] = [\text{H}^+] - [\text{HCO}_3^-] - 2[\text{CO}_3^{2-}] - [\text{OH}^-] \quad (11)$$

(b) Para a solução equivalente de  $\text{HCO}_3^-$ :

[Alc  $\text{HCO}_3^-$ ] ou Alcalinidade à Fenolftaleína

$$[\text{Alc HCO}_3^-] = -[\text{H}^+] - [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad (12)$$

[Ac  $\text{HCO}_3^-$ ] ou Acidez de  $\text{CO}_2$

$$[\text{Ac } \text{HCO}_3^-] = [\text{H}^+] + [\text{H}_2\text{CO}_3^*] - [\text{CO}_3^{2-}] - [\text{OH}^-] \quad (13)$$

(c) Para a solução equivalente de  $\text{CO}_3^{2-}$ ;

[Alc  $\text{CO}_3^{2-}$ ] ou Alcalinidade Cáustica

$$[\text{Alc } \text{CO}_3^{2-}] = - [\text{H}^+] - 2[\text{H}_2\text{CO}_3^*] - [\text{HCO}_2^-] + [\text{OH}^-] \quad (14)$$

[Ac  $\text{CO}_3^{2-}$ ] ou Acidez Total ou Acidez

$$[\text{Ac}] = [\text{H}^+] + 2[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-] - [\text{OH}^-] \quad (15)$$

A representação gráfica do sistema carbônico  $\text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{H}_2\text{O}$  assim como as diversas formas de alcalinidade e acidez é ilustrada na figura 2.1 por meio do diagrama pH versus  $-\log[\text{espécies}]$  ou pH x  $pC_T$ .

A adição das equações (10) e (15) resulta em:

$$[\text{Alc}] + [\text{Ac}] = 2C_T \quad (16)$$

ou seja, existe uma interdependência entre os parâmetros de massa do sistema carbônico que é mostrada pictóricamente na figura 2.2.

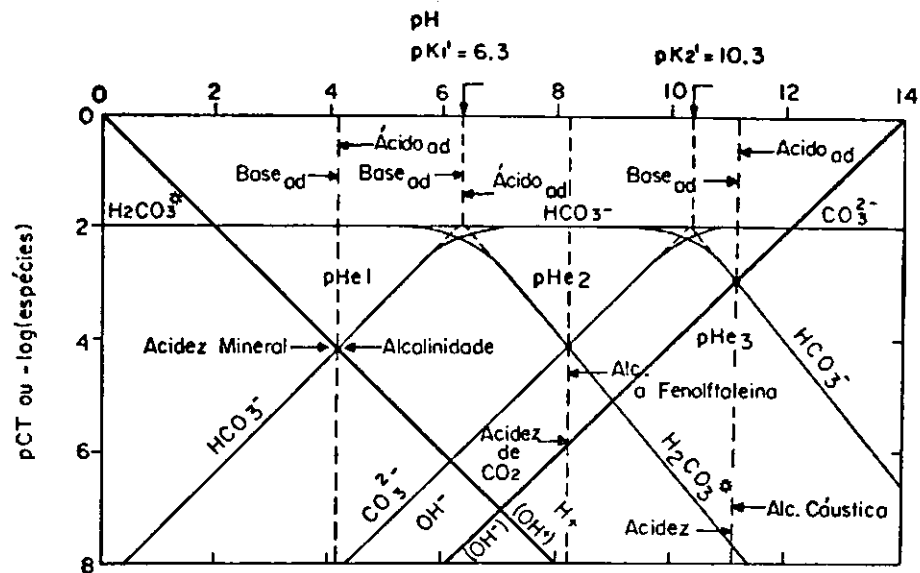


Fig. 2.1 - Diagrama pH x pCr com  $C_T = 10^{-2}$  moles/l,  $pK'_1 = 6,3$ ,  $pK'_2 = 10,3$  e  $T = 25^\circ C$ , com os pontos de equivalência ( $pHeq$ ) do sistema carbônico, e formas de alcalinidade e acidez (Loewenthal & Marais, 1976).

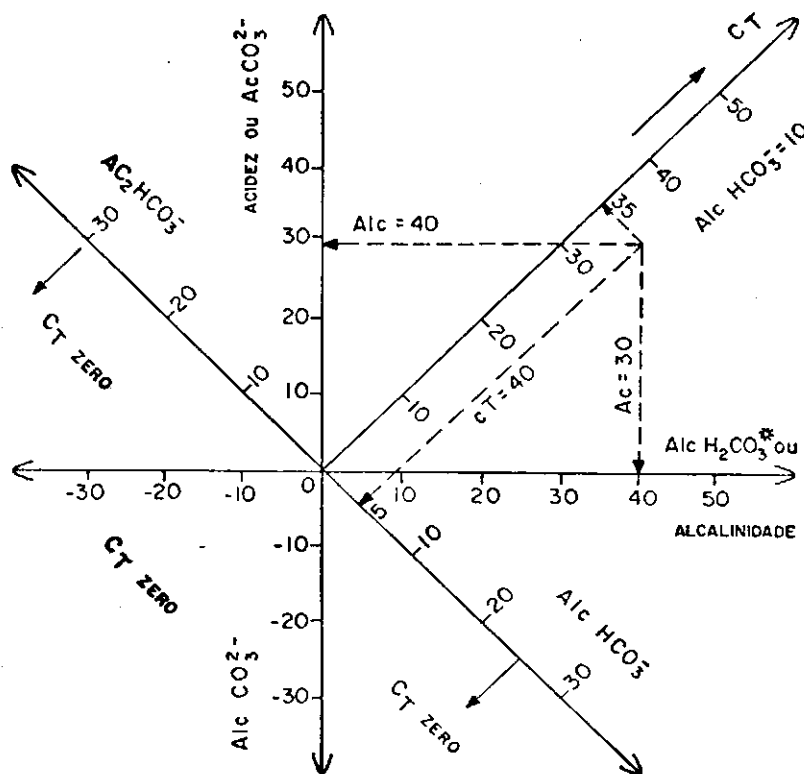


Fig. 2.2 - Interdependência entre os parâmetros de massa do sistema carbônico (Loewenthal et alii, 1986).



## 2.2 MODELAGEM DO SISTEMA CARBÔNICO PARA ÁGUAS DE ALTA SALINIDADE

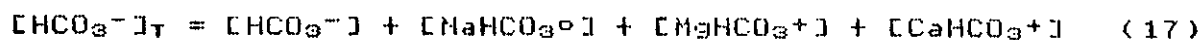
Conforme visto anteriormente, a modelagem de águas naturais de baixa força iônica governadas pelo sistema carbônico, foi extensivamente estudada por Loewenthal & Marais(1976). Com base nessa teoria, Cavalcanti(1981) e Oliveira(1988) fizeram uma extensão para águas de alta salinidade e alta força iônica ( $I > 0,1$ ).

Algumas modificações foram introduzidas na modelagem do sistema definido por  $H_2CO_3 + CO_2(aq) + H_2O +$  Sais Dissolvidos(SD), ou seja:

- (a) uma nova interpretação do pH considerando o seu tipo de medição (eletrométrica) ou pH operacional- $pH_{OP}$ ;
- (b) efeito dos pares iônicos ou complexos formados pelas espécies aniônica do sistema carbônico  $HCO_3^-$  e  $CO_3^{2-}$  e da oxidrila  $OH^-$  da água, com as espécies catiônicas cálcio- $Ca^{2+}$  e magnésio- $Mg^{2+}$  dos cloretos alcalinos terrosos ( $MgCl_2$  e  $CaCl_2$ ), e de sódio- $Na^+$  do cloreto de sódio univalente ( $NaCl$ );
- (c) efeito do Residual de Potencial de Junção Líquida-RPJL na medição do pH (Cavalcanti, 1981);
- (d) efeito dos coeficientes de atividade das espécies do sistema analisado.

Com vistas a uma simplificação nas equações que definem o sistema  $\text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{H}_2\text{O} + \text{SD}$  foram feitas as seguintes considerações:

(i) as espécies carbônicas e de água que formam pares iônicos são definidas a partir de equações de balanço de massa com a espécie livre e os respectivos pares iônicos ou complexos a saber:



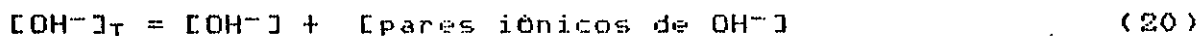
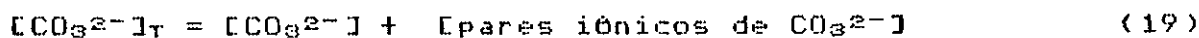
onde,

"T" corresponde à soma da concentração livre da espécie considerada e daquelas dos pares iônicos formados, e "o" indica uma carga neutra.

Simplificando a equação (17) acima vem que:



De forma similar para as demais espécies do sistema obtém-se:



(ii) cada espécie complexa envolve a determinação de coeficientes de atividade e de constante de dissociação da espécie analisada via métodos teóricos (teoria da hidratação e volume iônico) e prático (termodinâmico ou pela Titulação de Gran), respectivamente. Trata-se portanto, de uma série de

equações difíceis de serem resolvidas. A simplificação feita é baseada em Garrels & Thompson(1962), que consideram os cátions não significativamente complexos. Dessa forma, para as espécies complexas formadas é possível admitir que sejam equivalentes ao produto da espécie livre em particular com uma constante. Por exemplo, para as espécies formadas com o ânion  $\text{HCO}_3^-$ , obter-se-a:

$$[\text{HCO}_3^-]_T = [\text{HCO}_3^-] (1 + \text{constante (a)} + \text{constante (b)} + \text{constante (c)}) \quad (21)$$

ou seja:

$$[\text{HCO}_3^-]_T = [\text{HCO}_3^-] \cdot \text{constante 1} \quad (22)$$

De forma similar, obtém-se para os demais pares complexos do sistema  $\text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{H}_2\text{O} + \text{SD}$ :

$$[\text{CO}_3^{2-}]_T = [\text{CO}_3^{2-}] + \text{constante 2} \quad (23)$$

$$[\text{OH}^-]_T = [\text{OH}^-] + \text{constante 3} \quad (24)$$

A substituição das equações (22 a 24) nas equações (03 a 05) resulta em:

$$(\text{H}^+) [\text{HCO}_3^-]_T / [\text{H}_2\text{CO}_3^*] = k'_1 \cdot \text{constante 1} = k''_{1a} \quad (25)$$

$$(\text{H}^+) [\text{CO}_3^{2-}]_T / [\text{HCO}_3^-]_T = k'_2 \cdot \text{constante 2} = k''_{2a} \quad (26)$$

$$(\text{H}^+) [\text{OH}^-]_T = k'w \cdot \text{constante 3} = k''_{wa} \quad (27)$$

onde,

$k''_{1a}$  e  $k''_{2a}$  são primeira e segunda constante de dissociação aparente que incorporam os efeitos de atividade, e das espécies complexas do sistema carbônico, respectivamente;  
 $k''_{wa}$  = constante aparente de dissociação da água.

A fig. 2.3 mostra a distribuição das espécies carbônicas no diagrama pH x pCT para águas de alta salinidade.

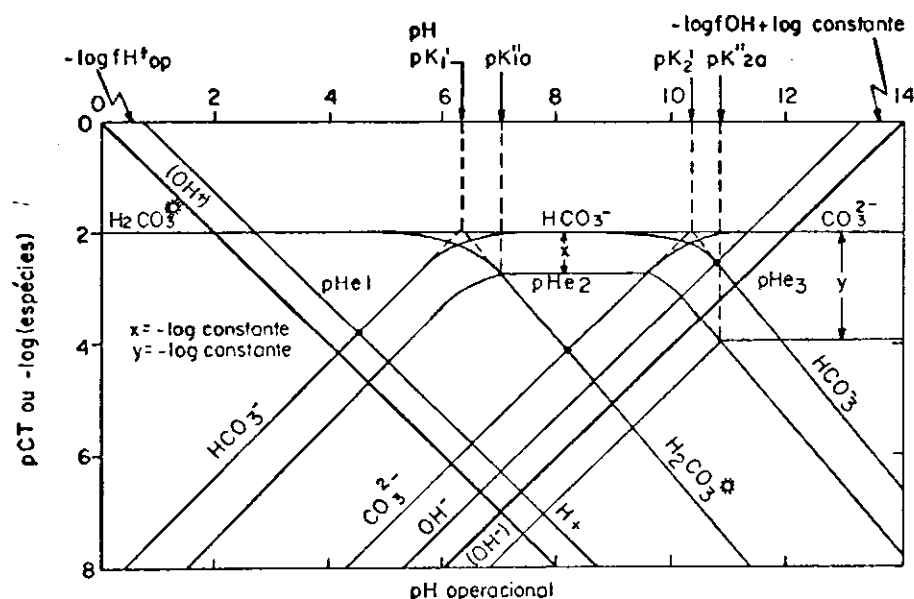


Fig. 2.3 - Distribuição das espécies carbônicas totais e livres com o pH operacional para o sistema  $H_2CO_3^* + H_2O +$  Sólidos Dissolvidos (águas de alta salinidade) (Cavalcanti, 1981).

O efeito do Residual de Potencial de Junção Líquida (RPJL) é somente computado quando do uso de eletrodo de referência com ponte salina (solução saturada de KCl) para a medição eletrométrica de pH. Esse residual é decorrente da diferença de potenciais de junção líquida da solução padrão (baixa força iônica) usada para calibração do sistema de eletrodos e da solução teste (água de alta salinidade e alta força iônica) investigada. Tal residual era, antes do método teórico e experimental desenvolvido por Cavalcanti & Loewenthal(1981), interpretado como erro na medição de pH. A inclusão desse efeito na modelagem ora desenvolvida é feita ao se considerar inicialmente a definição de pH operacional ( $pH_{op}$ ) dada pelas equações (25 a 27) que são reescritas como se segue:

$$(H^+)_{op} [HCO_3^-]_T / [H_2CO_3^*] = k''_{1a} \quad (28)$$

$$(H^+)_{op} [CO_3^{2-}]_T / [HCO_3^-]_T = k''_{2a} \quad (29)$$

$$(H^+)_{op} [OH^-]_T = k''_w \quad (30)$$

A ligação entre o pH verdadeiro ou real- $pH_r$  da solução e o  $pH_{op}$  é dado segundo Cavalcanti & Loewenthal(1981) por:

$$pH_r = pH_{op} + pk_o \quad (31)$$

sendo  $pk_o$  o efeito do RPJL nas medições eletrométricas de pH e definido por:

$$pk_0 = - \log k_0 = - E_J / RT \ln 10 \quad (32)$$

onde,

$E_J$  = Residual de Potencial de Junção Líquida, Volts;

R = constante dos gases;

T = temperatura, (K).

Tendo por base a definição de pH operacional- $pH_{OP}$  e aplicando a definição de atividade, obtém-se:

$$(H^+)_{OP} = (H^+) \cdot k_0 = f_{H^+} [H^+] \cdot k_0 \quad (33)$$

ou seja;

$$(H^+)_{OP} = f_{H^+_{OP}} [H^+] \quad (34)$$

onde,

$$f_{H^+_{OP}} = f_{H^+} \cdot k_0 \quad (35)$$

Com relação a equação (35),  $f_{H^+_{OP}}$  é determinado experimentalmente via Titulação de Gran e  $f_{H^+}$  por meio teórico. É importante observar que em águas naturais de baixa força iônica, o valor de  $pk_0$  é desprezível (Cavalcanti & Loewenthal(1981) e, portanto, o valor de pH real é aquele operacional obtido por medição eletrométrica.

Substituindo a eq. (34) nas equações (28 a 30) vem que:

$$[H^+] [HCO_3^-]_T / [H_2CO_3^*] = k''_{1a} / f_{H^+_{OP}} = k''_{1OP} \quad (36)$$

$$[H^+] [CO_3^{2-}]_T / [HCO_3^-]_T = k''_{2a} / f_{H^+_{OP}} = k''_{2OP} \quad (37)$$

$$[H^+][OH^-]_T = k''_{ws} / f_{H^+op} = k''_{wop} \quad (38)$$

As constantes são denominadas de "operacionais" porque incorporam além dos efeitos do RPJL também aqueles decorrentes da formação de espécies livres e complexas (Cavalcanti & Loewenthal, 1981). As equações (36 a 38) e aquela da definição do pH operacional, equação (7), são aplicadas para definir o sistema  $H_2CO_3^* + H_2O + SD$ . A última equação para a completa definição desse sistema é dada pela expressão de balanço de massa que define  $C_{Tc}$ ; ou seja, a concentração total das espécies livres e complexas do sistema:

$$C_{Tc} = [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-]_T + [CO_3^{2-}]_T \quad (39)$$

Caso  $C_{Tc}$  e pH possam ser medidos, todos os demais parâmetros do sistema  $H_2CO_3^* + H_2O + SD$  podem ser obtidos. A representação das espécies livres e complexas desse sistema bem como o  $pH_{op}$  e  $C_{Tc}$  é feita com base no diagrama pH x  $pC_{Tc}$ , e está ilustrado na figura 2.1.

Na prática, de modo similar à análise de águas naturais de baixa força iônica, o parâmetro  $C_{Tc}$  é substituído preferencialmente pela Alcalinidade Total ou Alcalinidade.

O sistema  $H_2CO_3^* + H_2O + Sais$  Dissolvidos também apresenta três pontos de equivalência ou valores de pH correspondentes às soluções equivalentes de  $H_2CO_3^*$ ,  $HCO_3^-$  e  $CO_3^{2-}$  ou seja;  $pHeq_1$ ,  $pHeq_2$  e  $pHeq_3$ , respectivamente, como

mostra a figura 2.1. O pH operacional de qualquer uma dessas soluções depende de  $C_T$ , da matriz iônica do sistema (com relação às espécies complexas operacionais formadas) e dos valores das constantes operacionais do sistema ( $pK''_{1op}$  e  $pK''_{2op}$ ). É necessário observar que, para águas de alta salinidade e alta força iônica, o pH se encontra na faixa de  $3,0 \leq pH_{op} \leq 9,0$ .

As três formas de Alcalinidade e Acidez associadas com as soluções equivalentes de  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$ , e  $CO_3^{2-}$  de forma similar as do sistema carbônico são dadas por:

(a) Para uma solução equivalente  $CO_2 + x$  moles/l de uma base forte  $BOH$ , e de um ácido forte  $HCl$  obtém-se, respectivamente:

$$[Alc] = -[H^+] + [HCO_3^-]_T + 2[CO_3^{2-}]_T + [OH^-]_T \quad (40)$$

$$[Ac]_{H_2CO_3^*} = [H^+] - [HCO_3^-]_T - 2[CO_3^{2-}]_T - [OH^-]_T \quad (41)$$

(b) Para uma solução equivalente  $HCO_3^- + y$  moles/l de uma base forte e de um ácido forte, respectivamente:

$$[Alc]_{HCO_3^-} = -[H^+] - [H_2CO_3^*] + [CO_3^{2-}]_T + [OH^-]_T \quad (42)$$

$$[Ac]_{HCO_3^-} = [H^+] + [H_2CO_3^*] - [CO_3^{2-}]_T - [OH^-]_T \quad (43)$$

(c) Para uma solução equivalente  $CO_3^{2-} + z$  moles/l de uma base forte e de um ácido forte, respectivamente:



$$[\text{Alc CO}_3^{2-}]_T = -2[\text{H}_2\text{CO}_3^*] - [\text{HCO}_3^-]_T - [\text{H}^+] + [\text{OH}^-]_T \quad (44)$$

$$[\text{Ac}] = 2[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]_T + [\text{H}^+] - [\text{OH}^-]_T \quad (45)$$

Considerando as equações acima, observa-se que os vários parâmetros de massa são interligados, ou seja; a adição das equações de  $[\text{Alc}]$  e  $[\text{Ac}]$  resulta em:

$$C_{TC} = 1/2 (\text{Alc H}_2\text{CO}_3^* + \text{Ac CO}_3^{2-}) = 1/2 (\text{Alc} + \text{Ac}) \quad (46)$$

Com a definição das equações de equilíbrio, do pH operacional, eq.(7) e da Alcalinidade, eq.(40), fica completamente definido o sistema  $\text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{H}_2\text{O} + \text{Sais Dissolvidos}$ .

É importante salientar que a Alcalinidade é um parâmetro de determinação fácil e mais precisa em relação às demais determinações (Oliveira, 1988).

### CAPITULO III

#### USO DE DIAGRAMAS DE CONDICIONAMENTO PARA ANALISE E INTERPRETACAO DA QUALIDADE DE AGUAS NATURAIS

##### 3.1 - CONDICIONAMENTO DA AGUA

De um modo geral, o termo "condicionamento" de uma água envolve a adição e/ou remoção de substâncias químicas de forma que uma determinada qualidade final seja alcançada. No caso particular da análise da qualidade de águas naturais, o condicionamento pode ser interpretado como a adição e/ou remoção de poluentes (substâncias químicas naturais ou artificiais produzidas pelo homem) que modifiquem as suas características físico-químicas. A partir do conhecimento das condições iniciais da água e do(s) agente(s) poluidor(es), é possível aplicar a teoria carbonatada desenvolvida por Loewenthal & Marais(1976) de modo a verificar o estado final da água considerando as variações sofridas nas fases aquosa, aquosa-sólida e aquosa-sólida-gasosa. A água pode também ser "condicionada" ao se ajustar certos parâmetros como pH, Alcalinidade-Alc, Cálcio- $Ca^{2+}$  e outros, para valores tais que uma qualidade "estável" seja obtida. Em outras palavras,

aplica-se uma "estabilização" antes ou após algum tipo de tratamento de modo que a água "ajustada" tenha uma qualidade final dentro de certos padrões de potabilidade, de segurança, etc.. Dessa forma, podem ser evitados alguns problemas graves na qualidade da água como excesso de ferro, de manganês, dureza elevada, etc. (Cavalcanti, 1992).

O condicionamento químico de uma água para distribuição geral é usualmente aplicado nas quatro categorias de águas naturais seguintes (Loewenthal et alii, 1986):

- (i) Águas com concentrações adequadas de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Alc}$ ;
- (ii) Águas deficientes em  $\text{Alc}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ; ou seja, águas que percolem em meios altamente porosos;
- (iii) Águas com concentrações excessivas de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ; ou seja, águas duras e que necessitam de abrandamento;
- (iv) Águas com  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) elevado e dureza excessiva.

Além disso, é possível aplicar essa teoria em águas com concentrações excessivas de ferro e manganês, e em misturas de águas naturais, etc..

A interpretação da qualidade de uma água envolve, de modo similar à dosagem química, o uso de certas escalas que facilitam tanto a análise do condicionamento quanto da

estabilização final a ela aplicada. Geralmente são adotadas as seguintes escalas e suas conversões (Loewenthal et al., 1986):

(a) Conversão da escala de massa em molar:

Para uma substância X expressa em g/l, obtém-se:

$$\text{mmol/l de X} = (\text{g de X} / \text{l}) \cdot 10^3 / \text{PM}_X \quad (47)$$

onde,

$\text{PM}_X$  = peso molecular da substância X.

Na prática, a concentração molar é bastante usada e tem [ ] como símbolo, sendo expressa por M, mol/l ou mmol/l.

(b) Conversão da escala molar na equivalente:

Se X é expressa em mmol/l, obtém-se:

$$\text{meq/l de X} = \text{mmol/l de X} \cdot Z_x \quad (48)$$

onde,

$Z_x$  = carga ou valência da espécie X.

A escala equivalente tem ( ) como símbolo da concentração equivalente e é expressa em meq/l ou miliequivalente por litro.

(c) Conversão da escala equivalente na escala  $\text{CaCO}_3$ :

Se X é expressa em meq/l, então:

$$\begin{aligned} \text{mg/l CaCO}_3 \text{ de X} &= (\text{meq/l de X}) \cdot \text{PEqCaCO}_3 \\ &= (\text{meq/l de X}) \cdot 50 \end{aligned} \quad (49)$$

onde,

$\text{PEqCaCO}_3$  = peso equivalente do carbonato de cálcio.

$$\text{PEqCaCO}_3 = \text{PM CaCO}_3 / 2$$

A escala  $\text{CaCO}_3$  é expressa em ppm (partes por milhão) ou mg/l  $\text{CaCO}_3$ .

(d) Conversão da escala molar na escala de  $\text{CaCO}_3$ :

Se X é expressa em mol/l, obtém-se:

$$\begin{aligned} \text{mg/l CaCO}_3 \text{ de X} &= (\text{mol/l de X}) \cdot Z_x \cdot \text{PEqCaCO}_3 \\ &= (\text{mol/l de X}) \cdot Z_x \cdot 50 \cdot 10^3 \end{aligned} \quad (50)$$

A tabela 3.1 mostra, para várias substâncias químicas os fatores de conversão das escalas molar e equivalente para a escala  $\text{CaCO}_3$ .

TABELA 3.1 - Fatores de conversão de escalas (Loewenthal et alii, 1986) (\*) Ref. Wiechers, 1978.

SUBSTANCIA X mg/l	PARAMETRO COMUM	ESCALAS		
		MOLAR mmol/l	EQUIVALENTE meq/l	CaCO <sub>3</sub> mg/l CaCO <sub>3</sub>
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	X/44	X/22	X . 50/22
NaHCO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	X/84	X/84	X . 50/84
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	X/106	X/53	X . 50/53
CaCO <sub>3</sub>	Ca <sup>2+</sup> ou CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	X/100	X/50	X . 50/50
Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup> ou OH <sup>-</sup>	X/74	X/37	X . 50/37
NaOH	OH <sup>-</sup>	X/40	X/40	X . 50/40
HCl	H <sup>+</sup>	X/36	X/36	X . 50/36
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sup>+</sup>	X/98	X/49	X . 50/49
Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	X/35	X/35	X . 50/35
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	X/96	X/48	X . 50/48
Fe(OH) <sub>2</sub> *	Fe <sup>2+</sup> ou OH <sup>-</sup>	X/90	X/45	X . 50/45
Mn(OH) <sub>2</sub> *	Mn <sup>2+</sup> ou OH <sup>-</sup>	X/89	X/44,5	X . 50/44,5
CaCl <sub>2</sub> *	Ca <sup>2+</sup>	X/112	X/56	X . 50/56
HgCl <sub>2</sub> *	Hg <sup>2+</sup>	X/95	X/47,5	X . 50/47,5

A escala CaCO<sub>3</sub> foi escolhida por Loewenthal & Marais(1976) para a aplicação prática de sua teoria. As equações de equilíbrio e de balanço de massa para as águas naturais de baixa força iônica expressas na escala CaCO<sub>3</sub> são dadas por:

(1) Equações de equilíbrio a partir das equações (3 a 5):

$$H^+ \cdot HCO_3^- / H_2CO_3^* = k'_1 \cdot 2,5 \times 10^4 \quad (51)$$

$$H^+ \cdot CO_3^{2-} / HCO_3^- = k'_2 \cdot 2,5 \times 10^4 \quad (52)$$

$$H^+ \cdot OH^- = k'_w \cdot 2,5 \times 10^9 \quad (53)$$

(2) Considerando a variação sofrida nas espécies do sistema carbonatado com adição ou remoção de cada espécie em

particular, as equações de balanço de massa são expressas na escala  $\text{CaCO}_3$  como se segue:

(a) Equação da concentração total das espécies carbônicas:

$$C_T = \text{H}_2\text{CO}_3^* / 2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} \quad (54)$$

onde,

indica a variação causada ou pela adição ou pela remoção da espécie em particular.

(b) Equações de Alcalinidade e de Acidez:

$$\Delta \text{Alc} = -\Delta \text{H}^+ + \Delta \text{CO}_3^{2-} + \Delta \text{OH}^- \quad (55)$$

$$\Delta \text{Alc HCO}_3^- = -\Delta \text{H}^+ - \Delta \text{H}_2\text{CO}_3^* / 2 + \Delta \text{CO}_3^{2-} / 2 + \Delta \text{OH}^- \quad (56)$$

$$\Delta \text{Alc CO}_3^{2-} = -\Delta \text{H}_2\text{CO}_3^* - \Delta \text{HCO}_3^- + \Delta \text{OH}^- \quad (57)$$

$$\Delta \text{Ac H}_2\text{CO}_3^* = \Delta \text{H}^+ - \Delta \text{HCO}_3^- - \Delta \text{CO}_3^{2-} - \Delta \text{OH}^- \quad (58)$$

$$\Delta \text{Ac HCO}_3^- = \Delta \text{H}^+ + \Delta \text{H}_2\text{CO}_3^* / 2 - \Delta \text{CO}_3^{2-} / 2 - \Delta \text{OH}^- \quad (59)$$

$$\Delta \text{Ac} = \Delta \text{H}^+ + \Delta \text{H}_2\text{CO}_3^* + \Delta \text{HCO}_3^- - \Delta \text{OH}^- \quad (60)$$

Com base nas equações ( $C_T$ , Alc e Ac) acima, a tabela 3.2 mostra as mudanças na Alc, Ac e  $C_T$  de uma água natural com a adição de, por exemplo  $X \text{ mg/lCaCO}_3$  das substâncias químicas carbonatadas e base e ácido forte.

TABELA - 3.2 - Mudanças nos parâmetros de massa com adição de substâncias químicas (Loewenthal & Marais, 1976).

ADICAO DE X mg/lCaCO <sub>3</sub>	VARIACAO NOS PARAMETROS DE MASSA (mg/lCaCO <sub>3</sub> )		
	ALCALINIDADE	ACIDEZ	C <sub>T</sub>
CaI ou Ca(OH) <sub>2</sub>	+X	-X	0
Base forte (NaOH)	+X	-X	0
Acido forte (HCl)	-X	+X	0
NaHCO <sub>3</sub>	+X	+X	+X
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	+X	0	+X/2
CO <sub>2</sub>	0	+X	+X/2
CaCO <sub>3</sub> ad*	+X	0	+X/2
CaCO <sub>3</sub> ppt**	-X	0	-X/2
CaCl <sub>2</sub>	0	0	0

\* ad - adicionado

\*\* ppt - precipitado

Essas mudanças estequiométricas podem ser interpretadas tanto para o diagnóstico de dosagem química e para o condicionamento da água como para uma avaliação da qualidade da água e em termos de seu comportamento nas fases aquosa (Alc, Ac e pH), aquosa-sólida (Alc, Ac, pH e Ca<sup>2+</sup>) e aquosa-sólida-gasosa (Alc, Ac, pH, Ca<sup>2+</sup> e CO<sub>2</sub>).

### 3.2 - EQUILIBRIO DA FASE AQUOSA

A expressão geral que define a relação entre os valores de Alcalinidade-Alc, Acidez-Ac e pH, em águas naturais de baixa força iônica é dada por (Loewenthal et alii, 1986):

$$[\text{Alc}] = \left( \frac{1 + 2 \cdot 10^{(\text{pH} - \text{pK}'/2)}}{1 + 2 \cdot 10^{(\text{pK}'/1 - \text{pH})}} \right) \cdot (\text{Ac} + 10^{(\text{pH} - \text{pK}'/2)} - 10^{-\text{pH}}) \quad (61)$$



onde,

Alc e Ac são expressos em moles/l.

Essa equação mostra uma relação linear entre os parâmetros Alc e Ac como função do pH, ou seja, para valores específicos de pH existe uma relação entre os parâmetros estequiométricos Alc e Ac. Tal relação mostra o equilíbrio na fase aquosa e é ilustrada na figura 3.1 sob a forma de diagrama de condicionamento chamado "tipo Deffeye" ou de  $\text{pH} \times \text{Alc} \times \text{Ac}$ . O diagrama é obtido para uma força iônica e temperatura em particular da amostra analisada, e é utilizado para a fase única aquosa, ou seja, só define o equilíbrio entre as espécies na fase aquosa. As aplicações desse diagrama são por exemplo:

- (a) Ajustamento de uma água, a partir de uma condição inicial (onde são conhecidos ou Alc e Ac, ou Alc e pH ou Ac e pH) para uma condição final envolvendo esses parâmetros e  $C_T$ ;
- (b) Obtenção dos valores iniciais de Alc e Ac de uma água que recebeu uma dosagem ou um poluente que alterou o valor de pH a partir desses valores (inicial e final) e da concentração do poluente (ou da dosagem);
- (c) Análise dos parâmetros Alc, Ac e pH em misturas de águas, como será mostrado a seguir.

### 3.3 - EQUILIBRIO DA FASE AQUOSA-SÓLIDA

O equilíbrio da fase aquosa-sólida define o ajustamento dos parâmetros Alc, Ac e pH na fase aquosa e a concentração de cálcio-Ca<sup>2+</sup> na fase sólida. Nas águas naturais o cálcio se encontra em equilíbrio com as espécies carbônicas em solução segundo a equação (Loewenthal et alii, 1986):

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] / [\text{CaCO}_3^{\circ}] = k_a / f_d^2 = k'_a \quad (62)$$

onde,

$f_d$  = coeficiente de atividade de íon divalente na escala molar;

$k'_a$  = constante de dissociação de CaCO<sub>3</sub> considerando o efeito da atividade.

Nessa fase, o carbonato de cálcio-CaCO<sub>3</sub> desempenha um papel muito importante tendo em vista que ele define o grau de saturação da água. Uma água "saturada" é definida como aquela que nem precipita nem dissolve CaCO<sub>3</sub>. O produto de solubilidade para CaCO<sub>3</sub> é definido por Reddy & Mancollas(1971), por:

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = k'_{ps} \quad (63)$$

onde,

$k'_{ps}$  = produto de solubilidade de  $\text{CaCO}_3$  considerando o efeito da atividade.

A relação entre as eqs. (62 e 63) mostra que a concentração do carbonato de cálcio- $\text{CaCO}_3$  é diretamente proporcional ao produto de solubilidade  $k'_{ps}$ , ou seja:

$$[\text{CaCO}_3] = k'_{ps} / k'_a \quad (64)$$

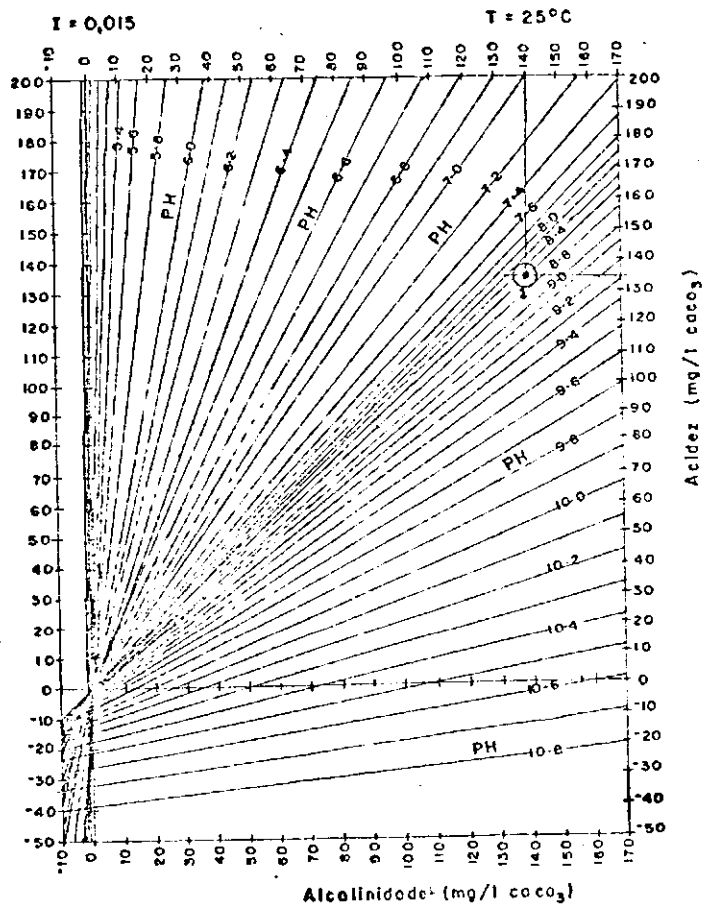


Fig. 3.1 - Diagrama tipo "Deffeye", ou diagrama pH x Alc x Ac (Loewenthal & Marais, 1976).

A análise da qualidade de saturação da água é feita a partir da equação (63). Quando o lado esquerdo dessa equação excede a constante  $k'_{ps}$ , a água é dita "supersaturada" com  $\text{CaCO}_3$ . Quando o produto de solubilidade não é excedido, a água é chamada de "subsaturada", e haverá dissolução de  $\text{CaCO}_3$ . Essa dissolução se verifica até que o equilíbrio seja alcançado novamente. A água subsaturada tem características agressivas sendo, portanto, potencialmente corrosiva. Caso não haja um mineral presente na água não poderá ocorrer a dissolução. Dessa forma, o equilíbrio em relação ao mineral não pode ser atingido e a equação do produto de solubilidade não se aplica, isto é; a solução ou água natural permanece subsaturada.

A mais antiga tentativa de estimar a capacidade de uma água de provocar incrustações se deve a Langelier(1936). Esse pesquisador desenvolveu um índice que denominou de "Índice de Saturação" - IS que, pela sua magnitude (sinal) estabelece o grau de saturação da água em termos de carbonato de cálcio- $\text{CaCO}_3$ . Esse índice é definido para a maioria das águas naturais como se segue:

$$IS = \text{pH}_{\text{at}} - \text{pH}_s \quad (65)$$

onde,

$\text{pH}_{\text{at}}$  = pH medido ou observado na água;

$\text{pH}_s$  = pH no qual a água se encontra em equilíbrio com o

carbonato de cálcio-CaCO<sub>3</sub>.

Quando IS é positivo, a água é dita supersaturada com CaCO<sub>3</sub> e portanto provoca precipitação desse sal. Nesse caso ela é considerada produtora de incrustações e deve ser estabilizada ou corrigida quimicamente através de dosagens químicas. Caso o valor de IS seja negativo, a água é subsaturada com CaCO<sub>3</sub>, e este dissolve com o tempo tornando a água agressiva provocando conseqüentemente corrosão em tubulações, peças e acessórios de sistemas de distribuição. Para IS igual a zero, a água é dita saturada e nesse caso nem precipita nem dissolve CaCO<sub>3</sub>.

Langelier(1936) desenvolveu uma expressão que liga o pH<sub>s</sub> com Alc, Ca<sup>2+</sup>, H<sup>+</sup> e k'ps que é dada por:

$$\text{pH}_s = \text{pk}'_2 - \text{pk}'_{ps} + \text{p}[\text{Ca}^{2+}] - \text{p} \left( [\text{Alc}] + [\text{H}^+]_s - [\text{OH}^-]_s \right) + \log \left( 1 + 2k'_2 / [\text{H}^+]_s \right) - \log f_{\text{H}^+}_s \quad (66)$$

onde,

[H<sup>+</sup>]<sub>s</sub> e [OH<sup>-</sup>]<sub>s</sub> são os valores dos ions hidrogênio e oxidrila à saturação, respectivamente, para os valores medidos de Ca<sup>2+</sup> e de Alc;

f<sub>H<sup>+</sup>s</sub> = coeficiente de atividade do ion hidrogênio à saturação.

O uso das equações acima deve ser feito com base em certas hipóteses:

(a) Para valores de pH na faixa de  $9,5 \leq \text{pH} \leq 10,3$ ,  $[\text{H}^+]_s$  e  $[\text{OH}^-]_s$  são desprezíveis em relação ao termo  $([\text{Alc}] - [\text{OH}^-]_s + [\text{H}^+]_s)$ .

Dessa forma a equação (66) se reduz a:

$$\text{pH}_s = \text{pk}'_2 - \text{pk}'_s + \text{p}[\text{Ca}^{2+}] + \text{p}[\text{Alc}] + \log(1 + 2\text{K}'_2 / [\text{H}^+]_s) - \log f_{\text{H}^+} \quad (67)$$

(b) No caso de águas naturais de baixa força iônica e com valores de pH na faixa de  $6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$  o termo  $2\text{K}'_2 / [\text{OH}^-]_s$  é desprezível bem como  $\text{p}([\text{H}^+]_s - [\text{OH}^-]_s)$ .

Portanto, a eq.(65) se transforma em:

$$\text{pH}_s = \text{pk}'_2 - \text{pk}'_{ps} + \text{p}[\text{Ca}^{2+}] + \text{p}[\text{Alc}] - \log f_{\text{H}^+} \quad (68)$$

(c) Para valores de  $\text{pH} < 6,5$ , os termos  $2\text{K}'_2 / [\text{H}^+]_s$  e  $[\text{OH}^-]_s$  são desprezíveis e se obtém:

$$\text{pH}_s = \text{pk}'_2 - \text{pk}'_s + \text{p}[\text{Alc}] + \text{p}([\text{Alc}] + [\text{H}^+]_s) - \log f_{\text{H}^+} \quad (69)$$

Os valores de  $\text{pk}'_2$  e  $\text{pk}'_s$  são determinados experimentalmente e dependem da temperatura da água. A tabela 3.3 mostra valores de  $\text{pk}'_1$ ,  $\text{pk}'_2$  e  $\text{pk}'_w$  para as temperaturas de 25°C e 90°C.

TABELA 3.3 - Valores de  $pk'1$ ,  $pk'2$  e  $pk'w$   
(Loewenthal & Marais, 1976).

TEMPERATURA(°C)	$pk'1$	$pk'2$	$pk'w$
25	6.37	10.33	8.34
90	6.33	10.13	12.45

Na prática, o índice "IS" é bastante usado em tratamento de água na pós-estabilização da água final, isto é; para que a água tratada atinja uma determinada qualidade final. Esse é o caso do IS + 0,2, ou seja; após tratamento a água final é ligeiramente supersaturada com  $CaCO_3$  com índice de saturação de + 0,2 (caso das águas distribuídas em Nova York, Cape Town, Londres, etc.). Esse índice permite apenas a qualificação da água em termos de saturação com  $CaCO_3$ . Ele não quantifica o potencial de  $CaCO_3$  que uma água pode eventualmente ou precipitar ou dissolver.

Em 1986 Loewenthal et alii, estabeleceram um critério de qualidade para uma água final ou pronta para ser distribuída ao consumidor. Essa água deve apresentar um potencial de precipitação/dissolução de  $CaCO_3$  especificado. Tal potencial não somente qualifica mas também quantifica o estado final de saturação da água em relação a  $CaCO_3$  de modo que, após certo tempo, a saturação seja atingida. Esse critério engloba cinco (5) princípios que uma água natural deve satisfazer, ou seja:

(1) A massa de água ou a água final, deve ser ligeiramente



supersaturada em relação a carbonato de cálcio. Esta leve supersaturação é traduzida por um potencial de precipitação da ordem de  $4\text{mg/lCaCO}_3$  a  $5\text{mg/lCaCO}_3$ ;

(2) Os valores de cálcio e alcalinidade devem ser menores ou iguais a  $50\text{ mg/lCaCO}_3$  e o pH deve estar na faixa de  $6,5$  a  $9,5$ , que é a faixa aceitável para distribuição final;

(3) A razão  $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) / \text{Alc}$   $0,2$ , a fim de evitar a corrosão em tubulações;

(4) A água deve ser considerada como potencialmente corrosiva quando ou a concentração de cloreto ou de sulfato exceder a  $50\text{ mg/l}$ ;

(5) A concentração de oxigênio dissolvido-OD na água deve ser maior que  $4\text{ mg/l}$  de  $\text{O}_2$ .

### 3.4 - DIAGRAMA MODIFICADO DE CALDWELL-LAWRENCE

Os cálculos para a estimativa de dosagem química e/ou interpretação da qualidade inicial e final de uma água natural com a finalidade de estabilização são feitos a partir do conhecimento de parâmetros de massa e dos tipos de dosagem de substâncias aplicadas antes da distribuição da água. Inicialmente, é necessário o ajustamento dos parâmetros Alcalinidade, pH e Cálcio de forma que a água tenha "inter alia" um determinado potencial de precipitação. Além disso,

devido a interdependência complexa dos parâmetros envolvidos, as equações são bastante complicadas e difíceis de serem resolvidas caso não se disponha do auxílio da informática. Como método prático para contornar essa situação, foram introduzidos os chamados Diagramas de Condicionamento.

Em 1953, Caldwell e Lawrence propuseram um diagrama para a análise da fase aquosa e sólida. Nesse diagrama os parâmetros pH, Alc e  $Ca^{2+}$  estão correlacionados através de curvas. Contudo, na prática, foram constatadas certas limitações em seu uso devido, principalmente, às variações sofridas nas fases aquosas (pH, Alc e Ac), aquosa-sólida (Alc, Ac, pH e  $Ca^{2+}$ ) e aquosa-sólida-gasosa (pH, Alc, Ac,  $Ca^{2+}$  e  $CO_2$ ) da água natural. Loewenthal & Marais(1976) aperfeiçoaram esse diagrama que recebeu o nome de "Diagrama Modificado de Caldwell-Lawrence" ou Diagrama MCL, e que é mostrado na figura 3.2. As modificações incluíram o equilíbrio da fase aquosa (pH, Alc e Ac) e da fase aquosa-sólida-gasosa (pH, Alc, AC,  $Ca^{2+}$  e pressão parcial de  $CO_2$ ).

O diagrama MCL, sendo muito prático, permite a obtenção de soluções de diversos problemas de águas naturais envolvendo as seguintes fases:

- (1) única aquosa onde o conhecimento de qualquer dois dos três parâmetros Alc, Ac e pH permite, juntamente com as constantes de dissociação do sistema carbônico, a definição de equilíbrio das espécies carbônicas em

solução;

(2) aquosa-sólida, onde são determinados três parâmetros dos quatro seguintes: Alc, Ac,  $\text{Ca}^{2+}$  e pH. Esses três parâmetros permitem a determinação dos valores de equilíbrio para as espécies carbônicas e para o cálcio na solução;

(3) aquosa-sólida-gasosa que é representada no diagrama por uma linha escura chamada linha "A", que define o equilíbrio entre o  $\text{CO}_2$  do ar e as espécies carbônicas em solução. Nesse caso qualquer quatro entre os cinco parâmetros existentes definem o equilíbrio dessa fase. No diagrama, da (figura 3.2,) o eixo das ordenadas representa a acidez (Ac) ou  $-\text{C}_1$  e o eixo das abcissas dá o valor da diferença  $\text{Alc} - \text{Ca}^{2+}$  que é igual a  $\text{C}_2$ , sendo usada a escala  $\text{mg/lCaCO}_3$  para ambos os eixos. Nesses eixos estão traçadas famílias de curvas representando valores de pH, Alc e  $\text{Ca}^{2+}$  à saturação e a linha "A" para equilíbrio entre o  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ) e espécies carbônicas em solução. Para qualquer estado particular de equilíbrio entre as espécies aquosas (definido por qualquer dois dos parâmetros Alc, Ac e pH) há algum valor correspondente para a saturação de  $\text{CaCO}_3$ .

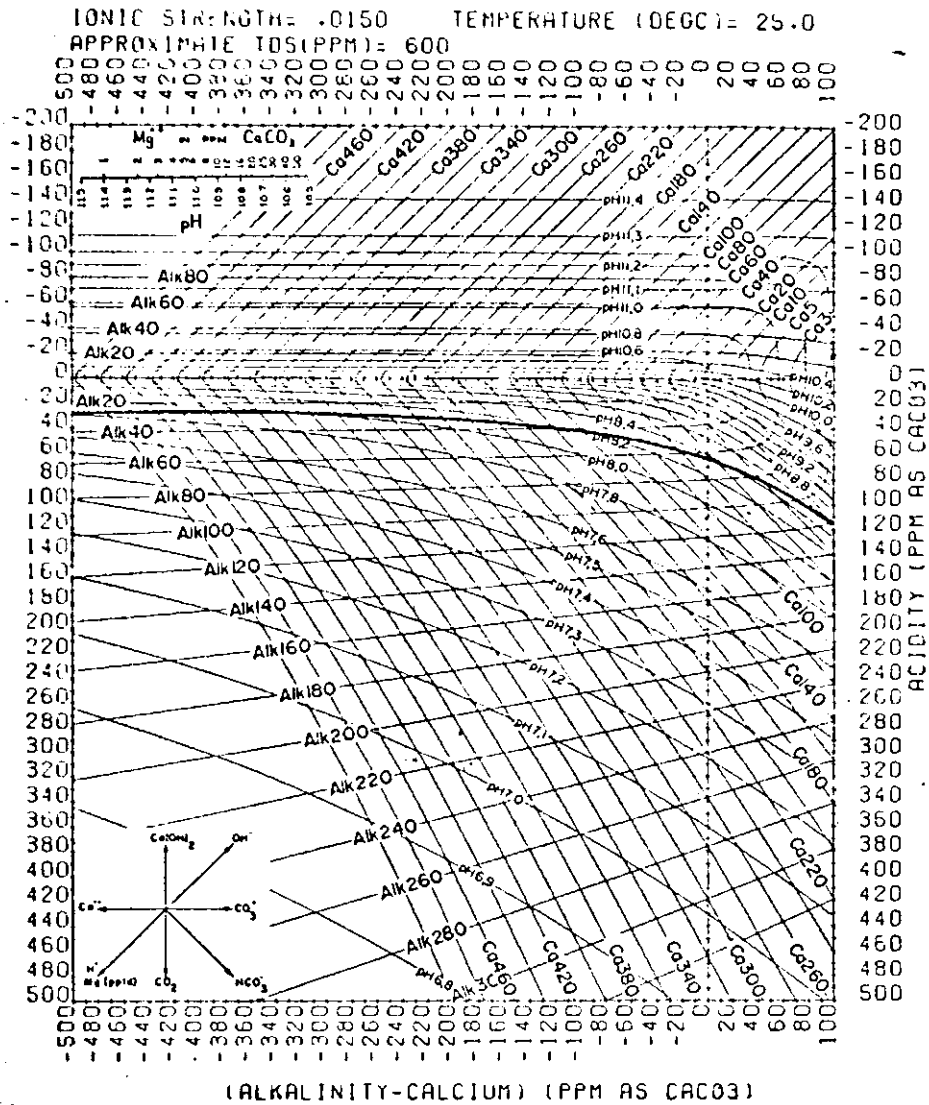


Fig. 3.2 - Diagrama Modificado de Caldwell-Lawrence (MCL) para uma determinada força iônica e temperatura (°) (Loewenthal & Marais, 1976).

Os problemas nos quais podem ser aplicados os diagramas MCL envolvem (Loewenthal et alii, 1986):

- (a) Interpretar a qualidade inicial e final de saturação de uma água natural;
- (b) Ajustar Alc e pH para valores que possam produzir uma água bem tamponada para qualquer mudança de pH;
- (c) Ajustar os parâmetros pH, Alc, Ac e  $Ca^{2+}$  considerando apenas o equilíbrio entre as espécies dissolvidas como pré ou pós estabilização;
- (d) Análise da qualidade inicial e final de misturas de águas naturais;
- (e) Problemas diversos de estabilização como abrandamento (redução da dureza de cálcio e de magnésio), remoção de íons de ferro e de manganês, etc. (Urtiga, 1992);
- (f) Análise da eficiência da aeração aplicada em Estações de Tratamento de Água-ETA (Bonifácio, 1990).

A utilização desse diagrama é válida apenas para sistemas relativamente puros como é o caso de operações em sistemas de água para uso municipal. No caso particular de águas residuárias para reuso há algumas limitações embora já tenham sido utilizadas na prática por Wieckens (1978).

Após determinação inicial dos parâmetros teor de

Sólidos Totais Dissolvidos-STD (mg/l), Temperatura- $T^{\circ}\text{C}$ , pH, Alc e  $\text{Ca}^{2+}$ , de uma água natural, o uso do diagrama MCL para a caracterização de sua qualidade é feito como se segue:

- (1) inicialmente, seleciona-se o diagrama MCL em função da força iônica, calculada a partir do teor de STD pelas eqs. (02) ou (03) e da temperatura em particular;
- (2) com a intersecção das linhas dos dados iniciais de Alc e pH (fase aquosa) obtém-se o ponto de "equilíbrio iônico" ou da fase aquosa. Esse ponto-P1 representa o equilíbrio entre as espécies Alc, Ac e pH da fase aquosa. A acidez-Ac da água bruta é obtida do valor da ordenada que passa por P1;
- (3) a estimativa qualitativa do grau de saturação da água pode ser feita de duas formas distintas, ou seja:
  - (a) com os dados de Alc e pH, obtém-se o valor do cálcio à saturação- $\text{Ca}^{2+}_s$ . A comparação desse valor com aquele do cálcio da água bruta (valor inicial medido ou cálcio atual- $\text{Ca}^{2+}_{at}$ ) estabelece o grau de saturação da água em termos de  $\text{CaCO}_3$  da seguinte forma:

Se  $\text{Ca}^{2+}_{at} = \text{Ca}^{2+}_s$ , a água é "saturada" com  $\text{CaCO}_3$ ;

Se  $\text{Ca}^{2+}_{at} > \text{Ca}^{2+}_s$  e  $\text{Ca}^{2+}_{at} < \text{Ca}^{2+}_s$  a água é dita supersaturada e subsaturada, respectivamente.

Para o caso da água saturada, todas as linhas dos valores medidos de pH, Alc e  $\text{Ca}^{2+}$  se interceptam no ponto de

equilíbrio da fase aquosa.

- (b) com os dados iniciais de  $\text{Alc}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  obtém-se o valor de  $\text{pH}$  à saturação- $\text{pH}_s$  no diagrama. Esse valor é então comparado com o valor atual (ou inicial medido) de  $\text{pH}$  mediante a definição do Índice de Saturação de Langelier (eq. 65). Para  $\text{IS} = 0$  a água é saturada e para  $\text{IS} > 0$  e  $\text{IS} < 0$  a água é supersaturada e subsaturada, respectivamente. No diagrama MCL, a maioria das águas naturais plotam abaixo do eixo horizontal zero. Já no caso de águas que apresentam um  $\text{pH}$  acima do ponto de equivalência do carbonato ou  $\text{pHeq3}$  (fig. 2.1), ou seja; para valores altos de  $\text{pH}$  ( $\text{pH} > 10,4$ ) a definição do Índice de Saturação é reversa:

$$\text{IS} = \text{pH}_s - \text{pH}_{\text{at}} \quad (68)$$

No diagrama MCL, tais águas plotam acima da posição do eixo horizontal zero e criam uma subsaturação com o aumento de  $\text{pH}$ . Quando este tipo de água plota abaixo desse eixo, o aumento de  $\text{pH}$  provoca uma supersaturação;

- (4) finalmente, estima-se quantitativamente o potencial da massa de  $\text{CaCO}_3$  a ser precipitada ou dissolvida para que a água atinja a saturação, como se segue:

Quando o carbonato de cálcio precipita ou dissolve, ambos os parâmetros coordenados mostrados no diagrama MCL,  $\text{Ac}$  ou  $-\text{C}_1$  e  $\text{C}_2 = \text{Alc} - \text{Ca}^{2+}$ , permanecem constantes. A

intersecção das linhas de Ac (definida a partir do ponto de equilíbrio iônico-P1) inicial de  $C_2$  (com valores iniciais ou medidos de Alc e  $Ca^{2+}$ ) define o "ponto de saturação" da água. Esse é o ponto que dá o equilíbrio da fase aquosa-sólida.

O potencial de  $CaCO_3$  a precipitar ou dissolver até que seja atingida a saturação da água é dado pela diferença entre os valores medidos (inicial e final) de alcalinidade ou de cálcio. Em outras palavras, ambos a alcalinidade e o cálcio mudam em quantidades iguais quando ocorre precipitação ou dissolução de  $CaCO_3$ , ou seja;

$$CaCO_3 \text{ ppt ou diss.} = \Delta Alc = \Delta Ca^{2+} \quad (69)$$

$$CaCO_3 \text{ ppt} = Alc_i - Alc_s = Ca^{2+}_i - Ca^{2+}_s \quad (70)$$

$$CaCO_3 \text{ diss} = Alc_s - Alc_i = Ca^{2+}_s - Ca^{2+}_i \quad (71)$$

onde,

ppt e diss indicam potencial de precipitação e dissolução, respectivamente.

No caso da análise de uma água cujas características físico-químicas foram modificadas ou por dosagem química ou por adição/remoção de poluentes, o procedimento para o uso do diagrama MCL e com base em Loewenthal et alii é o seguinte:

(a) determinar o estado de saturação inicial da água que não



recebeu dosagem e quantificar os poluentes ou massa das substâncias dosadoras usadas;

(b) verificar as mudanças nos parâmetros de massa  $Alc$  e  $Ac$  e no teor de cálcio para a massa de substância dosadora ou poluidora utilizada;

(c) determinar os novos valores para os parâmetros mencionados no item (b) a partir da expressão:

valor atual = valor inicial + mudança ou variação sofrida

(d) caso não se tenha medido o pH, determinar o novo pH da água a partir dos valores novos de  $Alc$  e  $Ac$  (fase aquosa); ou seja, pela interseção das linhas de  $Alc$  e  $Ac$ ;

(e) verificar o novo estado de saturação que a água atinge com o tempo como anteriormente descrito, a saber: a interseção das linhas de acidez e de  $C_2$  (que nesse caso, é definido a partir dos valores novos de  $Alc$  e  $Ca^{2+}$ );

(f) quando for necessário, obedecer os princípios de Loewenthal & Marais, 1986; ou seja, verificar se água final possui uma leve supersaturação de 4 a 5 mg/l  $CaCO_3$ . Caso a supersaturação seja maior ou menor que aquela prescrita nos princípios, ajustar a água final com uma pós-estabilização. Nesse caso, aumentar ou diminuir a dosagem de substâncias estabilizadoras e repetir as etapas de (c) a (e) até que a dosagem requerida seja obtida.

## CAPITULO IV

### DESSALINIZADOR SOLAR

#### 4.1 - INTRODUÇÃO

A obtenção de água doce através da energia solar é muito antiga. Segundo Cometta(1987), um dos primeiros métodos de aproveitamento foi feito pelas colônias da Criméia onde foram erguidos montes de pedra (ocupando um volume de 100 a 200 m<sup>3</sup>) que durante a noite esfriavam e durante o dia, não atingindo o equilíbrio térmico com o ambiente, provocavam a condensação da umidade atmosférica. A corrente de ar que atravessava os montes tinha sua temperatura reduzida abaixo da de saturação, de modo que a umidade se condensava no fundo, onde era recolhida.

Delyannis & Delyannis(1984) citam que as primeiras experiências do uso da energia solar para a destilação de água foram realizadas por Della Porta(1608) e por Lavoisier(1872). Della Porta usou largas panelas de barro com água expostas aos raios solares. Através do aquecimento, a água evaporava e o vapor condensado era coletado. Lavoisier usou lentes de vidro para concentrar a energia

solar dentro de frascos de destilação.

O primeiro aparelho de dessalinização da água através da energia solar foi projetado e construído em 1872 na região norte do Chile e era destinado a fornecer água doce para os mineiros de Sal Gema de Las Salinas. O dessalinizador foi projetado pelo engenheiro sueco Carlos Wilson e tinha cobertura de vidro com pequena inclinação, com uma área de cerca de 4.400 m<sup>2</sup> e produção de cerca de 22.000 litros de água doce por dia. O dessalinizador permaneceu em funcionamento até 1908 quando a construção de ferrovias na região permitiu o transporte de combustíveis a um custo aceitável para a utilização de processos convencionais de dessalinização (Cometta 1987, e Hirschman 1970).

Durante a segunda guerra mundial, Maria Telkes (1945) desenvolveu um dessalinizador solar de plástico, inflado com ar e alimentado pela água do mar, para uso nas emergências em navios salva-vidas (Delyannis & Delyannis, 1984).

Na década de 60, os Estados Unidos através do United States Office of Saline Water-OSW, iniciou um extenso programa para construção e teste, no campo, de vários dessalinizadores solares com cobertura de vidro ou de plástico. O objetivo do programa era avaliar o potencial do uso da energia solar para a dessalinização de águas de alta salinidade. Os resultados da pesquisa mostraram ser a energia



solar não só uma alternativa, mas também a solução para o problema de abastecimento de água doce do país. Os protótipos desenvolvidos pelo programa executado pelo OWS têm sido usados em vários países do mundo e os resultados apresentados são satisfatórios (Natural Resources Water, 1985).

Na década de 70 e início de 80, foram realizados em Bangkok, na Tailândia, estudos que visavam testar a eficiência de dessalinizadores solares tipo bacia. Os resultados mostraram que a dessalinização através de dessalinizadores solares constituía um processo eficiente e econômico. ("National Energy Administration and U.S. Agency for International Development", 1984).

Com relação ao uso de dessalinizadores para dessalinização de água, diversos países como Chile, Grécia, Índia e Ilhas Virgínia possuem, ainda hoje, partes de algumas cidades abastecidas com água dessalinizada através de destiladores solares. No Brasil, existem várias comunidades, localizadas na região do semi-árido nordestino, que utilizam os dessalinizadores solares para obtenção de água doce.

#### 4.2 - TIPOS DE DESSALINIZADORES SOLARES

Atualmente, uma grande variedade de tipos de dessalinizadores solares estão disponíveis para uso. Os mais empregados são: dessalinizador convencional (ou tipo bacia),

dessalinizador de múltiplo efeito, dessalinizador de mecha e dessalinizador de condensação separada (Bezerra, 1986).

Dependendo do tamanho da superfície de absorção, os dessalinizadores são classificados em estacionários e portáteis (Bezerra, 1986).

Quando a superfície de dessalinização tem até 2m<sup>2</sup> eles são considerados portáteis, sendo em geral, de aplicação domiciliar. Podem também ser usados para entidades que necessitem de pequenos volumes de água dessalinizada. São construídos de materiais leves para facilitar o transporte.

Os dessalinizadores considerados estacionários, são de grande porte e possuem grandes áreas. São empregados, principalmente, para o abastecimento de água de vilas e pequenas cidades.

Bezerra (1986) descreve os dessalinizadores acima da seguinte maneira:

#### 4.2.1 - Dessalinizador Convencional

É um equipamento que consiste, geralmente, de dois vitrais inclinados, depósito de água salobra ou bandeja (pintada de preto); controle de nível de água e calhas coletoras para recolhimento da água dessalinizada, apresentando em geral forma retangular. A parte inferior do dessalinizador é termicamente isolada, para impedir o contato

com o ar ambiente, conforme figura abaixo:

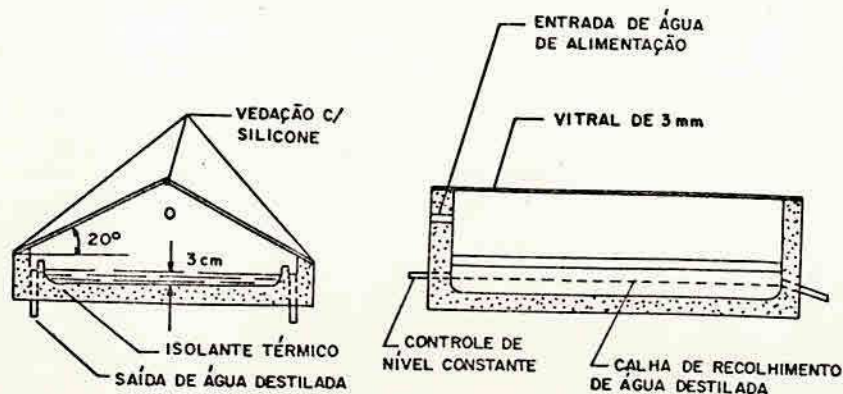


Fig 4.1 - Seção transversal de um dessalinizador convencional (Bezerra, 1986).

#### 4.2.2 - Dessalinizador de Múltiplo Efeito

O dessalinizador de múltiplo efeito apresenta uma só inclinação da cobertura. Pode ser dividido internamente, e cada divisão corresponde a um estágio. Cada estágio é separado por uma lâmina de vidro plano transparente. Possui suprimento de água salobra independente em cada estágio, e um dispositivo para recolhimento da água não dessalinizada que é levada para a bandeja inferior de nível constante. Possui ainda, calhas individuais para coleta da água dessalinizada



em cada estágio. A figura 4.2 mostra um esquema deste tipo de dessalinizador.

Como o dessalinizador convencional, este também possui a parte interna inferior pintada de preto.

Este tipo de dessalinizador foi criado visando aumentar a produtividade dos dessalinizadores solares. Segundo o "Manual on Solar Distillation of Saline Water" 1970, (in Bezerra, 1986) um dessalinizador de dez estágios produz aproximadamente seis vezes mais água dessalinizada que um dessalinizador convencional de mesma área superficial de dessalinização.

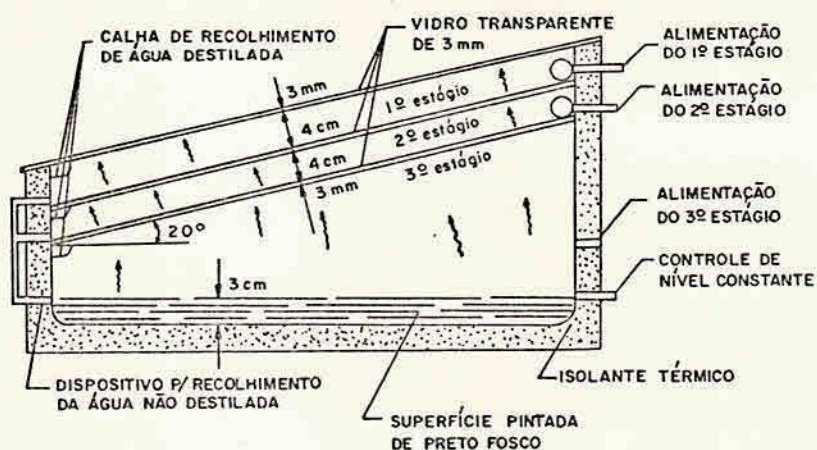


Fig 4.2 - Seção transversal de um dessalinizador de múltiplo efeito (Bezerra, 1986).

#### 4.2.3 - Dessalinizador de Mecha

Este tipo de dessalinizador difere do de múltiplo efeito apenas no mecanismo de transporte da água a ser dessalinizada. Este mecanismo consiste de um tecido poroso preso a uma ou mais chapas metálicas dependendo do número de mechas, que são pintadas de preto fosco na face que não está em contato com a mecha. As extremidades do tecido são presas a um rolo tensor, sendo um dos lados mergulhado em um recipiente contendo a água salgada a ser dessalinizada, conforme mostrado na figura 4.3.

Neste tipo de dessalinizador o isolamento termico é feito nas laterais e nos topos, e o material utilizado no isolamento é a lã de vidro.

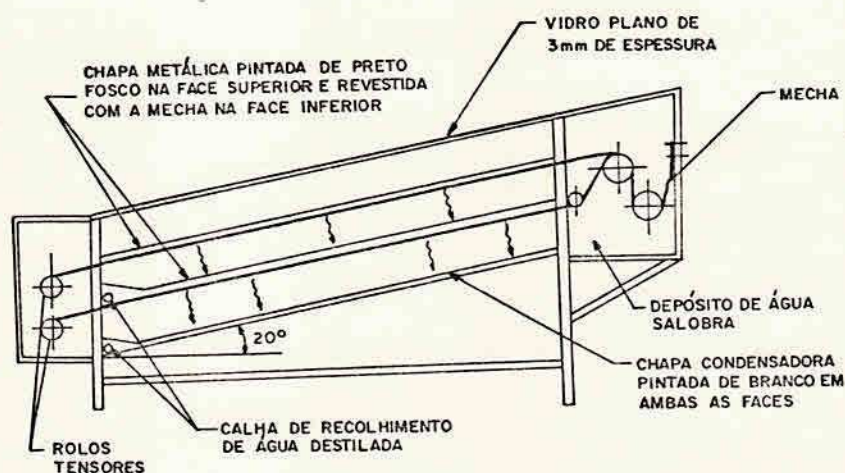


Fig 4.3 - Seção transversal de um dessalinizador tipo mecha (Bezerra, 1986).



#### 4.2.4 - Dessalinizador de Condensação Separada

O dessalinizador de condensação separada é idêntico ao convencional, com a diferença de ter o condensador acoplado a ele, como mostrado abaixo:

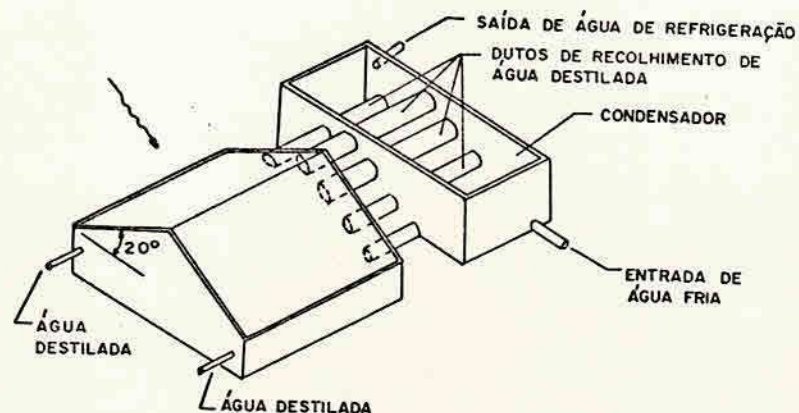


Fig 4.4 - Dessalinizador de condensação separada (Bezerra, 1986).

#### 4.3 - MATERIAL USADO NA CONSTRUÇÃO DOS DESSALINIZADORES

Os materiais empregados na construção dos dessalinizadores solares são bastante diversificados. Os dessalinizadores tipo portátil, são em geral, construídos de materiais leves de modo a facilitar o seu transporte.

Bezerra (1986), sugere que nos dessalinizadores estacionários, de tamanho pequeno, sejam usados os seguintes

materiais:

Estrutura do dessalinizador: alvenaria de tijolo, concreto e pré-fabricado ou de fibro-cimento, sendo que este último não é recomendado para dessalinizadores com mais de 6 metros de comprimento.

Bandeja do dessalinizador: geralmente feita de concreto simples ou plástico, sendo pintada internamente de preto.

Isolamento térmico: em geral são utilizados areia seca, palha de coco, fibra de agave, casca de arroz e pó de serra, que deverão estar sempre secos.

Revestimento do isolamento: utiliza-se em geral o plástico branco, para dessalinizadores instalados em terreno úmido.

Cobertura transparente: feita em geral de vidro plano de 3 mm de espessura, podendo ser usado também o plástico tratado. Deve estar sempre isenta de poeiras, gorduras, etc.

Vedação: a fixação dos vidros, pode ser feita com pasta de silicone.

Calhas de recolhimento da água dessalinizada: são feitas de alvenaria (pintada de branco) ou de alumínio desde que revestida de plástico branco.

Para os dessalinizadores portáteis Bezerra (1986), recomenda o uso dos seguintes materiais:

**Estrutura do dessalinizadores:** deve ser feita preferencialmente de fibra de vidro ou plástico rígido, podendo em alguns casos ser feita de chapa galvanizada.

**Bandeja:** utiliza-se os mesmos materiais da estrutura que devem ser pintados de preto.

**Isolamento térmico:** feito com lã de vidro tendo uma espessura de 5 cm.

**Cobertura:** feita de vidro de 3 mm de espessura ou de plástico. O Setor de Dessalinização do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba, recomenda uma inclinação de 20°, permitindo o emprego de vidro ou de plástico.

**Vedação:** - pode ser feita com pasta de silicone.

**Calhas de Recolhimento:** são feitas do mesmo material da estrutura, e devem ser pintadas de branco.

**Acabamento externo:** feito de tinta a óleo, de preferência branca.



#### 4.4 - DESSALINIZADOR UTILIZADO NESTA PESQUISA

O dessalinizador utilizado neste trabalho é do tipo convencional. Construído de material plástico rígido (PVC), tendo forma retangular com dimensões de 60 cm x 40 cm. Para reforçar as paredes laterais do dessalinizador, foram utilizadas chapas metálicas. A figura 4.5 mostra um esquema do dessalinizador utilizado.

A bandeja do dessalinizador foi feita de plástico rígido (para garantir que não houvesse nenhuma reação entre a água e a superfície de contato) e pintada com tinta betuminosa preta para aumentar a capacidade de absorção dos raios solares e consequentemente, aumentar a produtividade do dessalinizador. As dimensões foram de 40 cm x 28 cm, correspondendo a uma área superficial de dessalinização de 1120 cm<sup>2</sup> (0,112 m<sup>2</sup>), e altura de 5 cm.

A cobertura foi feita com vidro de 3 mm de espessura e com inclinação de 20° com a horizontal.

A vedação foi feita com pasta de silicone e para o isolamento térmico foi usada a casca de arroz.

As calhas de recolhimento da água dessalinizada foram feitas de tubo PVC de 2,5 cm de diâmetro cortados no sentido longitudinal, com inclinação de 0,5%.

A produção média do dessalinizador utilizado foi

de 0,25 l/dia para o período chuvoso e de 0,45 l/dia para o período seco. A área de superfície de dessalinização de 0,112 m<sup>2</sup>, o que correspondia a uma produtividade média de 2,2 l/dia.m<sup>2</sup> para o período das chuvas e de 4,0 l/dia.m<sup>2</sup> para o período seco. Essa produtividade pode ser considerada um valor bom quando comparado com aquela dos dessalinizadores encontrados na literatura.

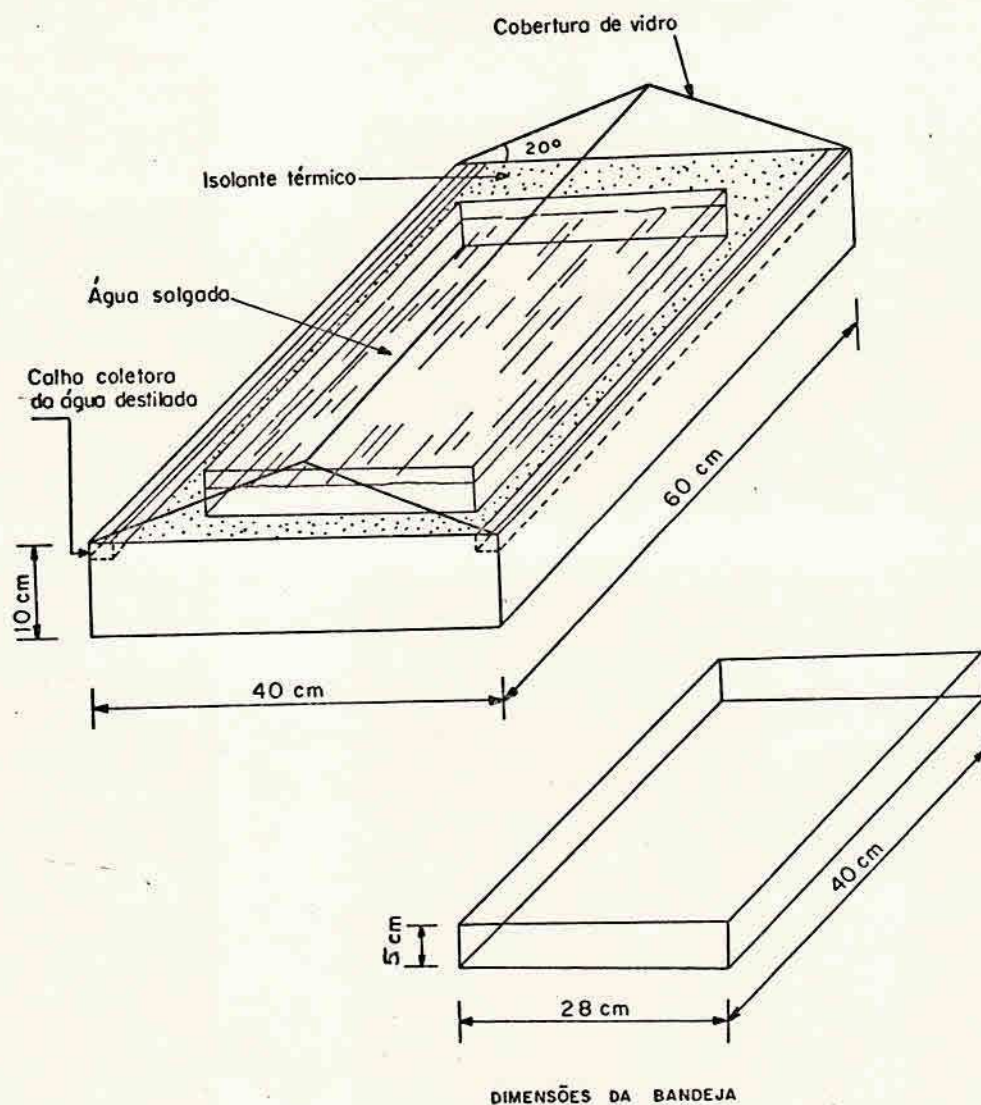


Fig 4.5 - Dessalinizador solar utilizado na pesquisa.

#### 4.5 - PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

A água quando é aquecida a 100°C à pressão atmosférica, passa ao estado de vapor, absorvendo cerca de 540 Kcal/g. Supondo que se disponha de uma água a 20°C, é preciso fornecer-lhe ainda 80 Kcal/g para aquecê-la até 100°C. Portanto, para transformar em vapor 1 litro de água inicialmente a 20°C, é necessário fornecer cerca de 620 Kcal/Kg. Deve-se considerar, no entanto, que a água também evapora a uma temperatura inferior a 100°C, mas em tal caso, o calor latente de vaporização é maior; ou seja, numa água à temperatura de 20°C, o calor latente de vaporização é de quase 585 Kcal/Kg, contra cerca de 540 Kcal/Kg a 100°C (Cometta, 1987).

O processo de dessalinização em um dessalinizador solar é bastante simples. Ele opera nos mesmos princípios básicos da conversão da água do mar para a formação da água da chuva na natureza.

A radiação solar, direta e difusa, passa através da cobertura transparente e chega até a água salina no interior do dessalinizador com uma pequena redução de intensidade. Esta é então quase que completamente absorvida no fundo "preto" da bandeja, que libera calor para a superfície. A água salina em contato com a superfície aquecida, através do processo de condução de calor, tem sua temperatura aumentada gradativamente até atingir a temperatura de pressão de vapor.



Ocorre então, uma lenta vaporização dentro do dessalinizador, na área confinada entre a água e a cobertura, que faz aumentar a umidade até a saturação. Correntes de convecção são formadas, as quais transportam o vapor para as vizinhanças da cobertura transparente (que funciona como trocador de calor com o exterior), onde ocorre o processo de condensação do vapor. A mistura ar-vapor, ainda saturada mas à menor temperatura, retorna lentamente ao fundo da bacia onde é reumidificada. O vapor condensado no interior da cobertura inclinada escoar até alcançar as calhas coletoras da água dessalinizada, enquanto seu calor latente de condensação é dissipado pelo ar circundante pela radiação e convecção da cobertura (Lof 1960 e Lof 1961).

Para evitar acumulação de sal no interior da bacia, os resíduos de água salina devem ser continuamente retirados, quando então a água salina deve reabastecer o dessalinizador a fim de manter um nível razoavelmente constante.

A radiação solar causa uma elevação na temperatura durante o dia de cerca de 5°C a 10°C, e a bandeja do dessalinizador alcança uma temperatura máxima de cerca de 50°C. A dessalinização prossegue lentamente durante todo o dia, e permanece após o ocaso devido a queda de temperatura da cobertura que ocorre provocada pelo resfriamento atmosférico da noite. O calor acumulado no interior do dessalinizador faz com que o processo continue durante à noite.

#### 4.6 - FLUXO DE ENERGIA NO DESSALINIZADOR SOLAR

Como em muitos processos de dessalinização, o requerimento fundamental para transferir energia em um dessalinizador solar são o fornecimento de calor para ocorrer a evaporação da água e a remoção de calor do vapor condensado. Lof (1960), afirma que essas duas taxas de calor são praticamente iguais a cerca de 1.040 B.t.u./libra de água dessalinizada.

A figura 4.6 mostra o esquema do balanço de energia no dessalinizador solar tipo convencional.

Exceto o calor latente de condensação liberado pela superfície transparente, todos os outros processos que ocorrem no dessalinizador representam perda de energia.

Da radiação solar incidente no dessalinizador (Bezerra, 1986), 39% é dissipada, 9% absorvida e 9% refletida pela cobertura de vidro. Do restante, 7% é refletida pela superfície da água, 5% de radiação água vidro, 6% por convecção, 19% por evaporação, 13% de perdas através das paredes e pelo isolamento, restando apenas 32% de energia útil para ser armazenada pela água.

De outra forma, pode-se dizer que essas perdas compreendem o calor latente do vapor de água na cobertura, a radiação termal da água salgada e do fundo da bacia para a cobertura, o calor sensível transferido da superfície de água



salina para cobertura via circulação de ar na área confinada, perda por condução da base do dessalinizador, calor sensível no efluente de água dessalinizada, e as perdas que podem acontecer devido escapamento do fluxo de líquido ou de vapor através da cobertura.

De todas essas perdas de energia, as mais significativas são a radiação da bacia para a cobertura (radiação termal) e o calor sensível transferido pelo ar. Este último, é consequência inevitável da transferência de vapor de água, e depende diretamente da temperatura da água salina; ou seja, quanto maior a temperatura da água salina, maior é a pressão de vapor da água, menor a taxa de vapor de ar-água e, conseqüentemente, menores as perdas por convecção.

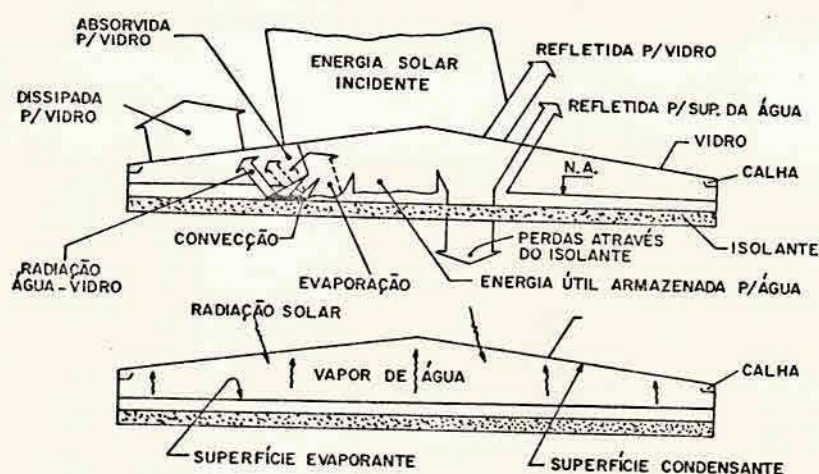


Fig 4.6 - Balanço de energia no dessalinizador convencional (Bezerra, 1986).

No caso da radiação termal, esta é aumentada com um aumento da temperatura da bacia. Portanto, essas duas principais perdas são influenciadas pela temperatura operando em caminhos opostos.

A temperatura ambiente, velocidade do vento e a claridade atmosférica, também influenciam a temperatura necessária para alcançar o equilíbrio da taxa de transferência de calor.

É importante fisar também, que o balanço de energia pode envolver o calor sensível na envoltória, e mudanças nela, no volume de água salgada, na estrutura da bacia e outros.

Finalmente, as numerosas variáveis incontroláveis do estado atmosférico, a variedade de processos de transferência de calor que ocorrem, e a natureza das operações que são feitas do dessalinizador solar, tornam o processo de dessalinização muito mais complicado do que parece, particularmente considerando o seu projeto e performance.

#### 4.7 - PERFORMANCE DO DESSALINIZADOR SOLAR

Segundo (Cometta, 1987) a dessalinização da água ocorre aproximadamente a uma taxa de 600 Kcal/Kg.

A radiação solar diária disponível no estado da Paraíba tem um valor médio de 5.000 Kcal/m<sup>2</sup> por dia, (5,2

KW/m<sup>2</sup>.dia ou 4.472 Kcal/m<sup>2</sup>.dia). Pode-se dizer portanto, que um dessalinizador solar com superfície de 1 m<sup>2</sup> poderia fornecer, teoricamente, cerca de 8 litros de água dessalinizada por dia (Bezerra, 1986).

Bezerra(1986), afirma ainda que na prática isto não acontece, pois, da energia total incidente no dessalinizador, apenas uma parcela de cerca de 1.720 Kcal/m<sup>2</sup>.dia (2 KWh/m<sup>2</sup>.dia) é utilizada para o processo de dessalinização da água, o que permite uma produção de cerca de 4 litros de água dessalinizada por metro quadrado.

Rajvanshi(1979) resume os vários fatores que afetam a performance do dessalinizador solar da seguinte maneira: (a) radiação solar; (b) profundidade da salmoura na bandeja do dessalinizador; (c) material da cobertura e sua forma; (d) temperatura ambiente; (e) velocidade do vento; e (f) temperatura da superfície de condensação. Alguns desses fatores são relativos às condições locais, enquanto outros são dependentes do projeto físico do dessalinizador ("Natural Resources Water", 1985)

Com relação a radiação solar, pode-se dizer que quanto maior sua intensidade, maior será a temperatura da água no interior do dessalinizador, e, conseqüentemente, maior será a produtividade do dessalinizador.

A profundidade da salmoura na bandeja, ou os resíduos da água salina é outro fator que afeta



consideravelmente a produtividade do dessalinizador. Com o passar do tempo esses resíduos irão se acumulando sobre a bandeja, fazendo com que a superfície preta do fundo da mesma (para melhor absorção da radiação), desapareça diminuindo a produtividade do dessalinizador.

Pesquisas desenvolvidas pelo grupo de estudos do Laboratório de Energia Solar da UFPb, concluíram que esse problema pode ser resolvido colocando-se um filtro para a água a ser dessalinizada, que consiste de um depósito (metálico ou de plástico) onde são colocadas camadas de brita preta de várias granulometrias tendo como última camada um colchão de areia fina, como mostrado na figura 4.7. Os resultados mostraram que a brita preta além de funcionar como filtro da água salina, tem também a propriedade de reter o calor solar por mais tempo, aumentando a eficiência do dessalinizador (Bezerra, 1986).

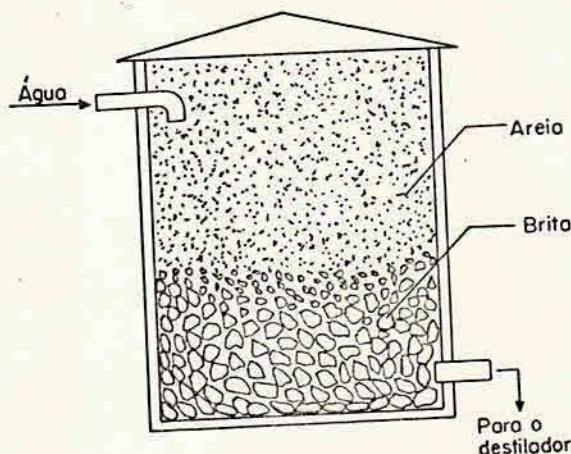


Fig 4.7 - Filtro de brita utilizado na bandeja do dessalinizador (Bezerra, 1986).

A cobertura do dessalinizador deve apresentar uma pequena inclinação para facilitar o escoamento da água dessalinizada de forma contínua, e deve ser feita por um material que seja transparente aos raios solares. Alguns trabalhos foram realizados utilizando-se materiais plásticos transparentes, mas os resultados não foram favoráveis porque o plástico, diferentemente do vidro, não é banhado pela água. Assim, enquanto que a água é recolhida sobre o vidro em fios contínuos, sobre o plástico é recolhida em grandes gotas que fluem apenas quando são bastante pesadas, o que pode provocar o retorno da água dessalinizada para o fundo da bacia, e ainda reduz consideravelmente a transparência das chapas. (Cometta, 1987).

Com relação a temperatura ambiente, um aumento desta, provoca um aumento substancial da temperatura da água, o que irá provocar uma maior produtividade. Processo inverso ocorre com a velocidade do vento, que aumentando, faz reduzir a produtividade devido o aumento das correntes de convecção que se formam nas vizinhanças do dessalinizador.

Outra variável que controla a taxa de dessalinização e a eficiência do dessalinizador solar é a temperatura da cobertura. Todo calor transferido para a face interna da cobertura de vidro, mais uma pequena absorção nele, deve ser dissipado por convecção para os arredores, e por radiação para o céu.



Outra forma de aumentar o rendimento do processo de dessalinização é aumentar a temperatura da água. Segundo Palz (1981), isso pode ser feito empregando a energia solar associada com o processo convencional de dessalinização de alto rendimento, como o processo de compressão do vapor.

Lof (1961) apresenta resultados obtidos na Califórnia sobre os efeitos das condições atmosféricas locais (como temperatura ambiente, velocidade do vento, intensidade de radiação, etc) além dos causados pela área coberta, absorvidade da cobertura e equilíbrio líquido-vapor na produtividade do dessalinizador.

De modo geral, uma boa produtividade de um dessalinizador solar pode ser alcançada levando em consideração aspectos como: (a) aproveitar da melhor forma possível a radiação solar incidente. Para tal fim, costuma-se enegrecer a superfície interna do dessalinizador; as radiações infravermelhas que emite serão retidas pelo vidro; (b) o fundo do dessalinizador deve estar, sempre, termicamente isolado para evitar dispersão do calor para baixo, através do processo de condução de calor; (c) a cobertura de vidro deve estar sempre o mais lisa possível. O vidro é facilmente esmerilhado pela areia transportada pelo vento, tornando-se opaco à radiação solar, prejudicando o rendimento do dessalinizador; (d) é aconselhável que o dessalinizador seja colocado na direção leste-oeste, o que permitirá absorver um maior número de horas de radiação por dia.

## CAPITULO V

### MATERIAIS E METODOS

#### 5.1 - ANALISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA REGIÃO DO SEMI-ARIDO DA PARAIBA

A qualidade das águas superficiais e subterrâneas da região do Semi-Arido da Paraíba foi interpretada a partir de dados fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba-CAGEPA. Esses dados foram obtidos tanto em período seco como em período chuvoso, permitindo, dessa forma, uma classificação das características das águas da região para os dois períodos. Essa classificação foi realizada considerando principalmente os parâmetros Cloreto-Cl<sup>-</sup>(mg/l) e Sólidos Totais Dissolvidos-STD (mg/l), sendo que o primeiro é, em geral, o que confere o grau de salinidade às águas.

A tabela A.1 (anexo A) mostra os dados característicos da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de alguns municípios da região do Semi-Arido Paraibano, onde o problema de salinidade das águas é mais acentuado. Na figura A.1 (anexo A) é apresentado um mapa

região do estado da Paraíba, destacando a zona do Semi-Árido, e as micro-regiões do Cariri, Curimataú e Seridó Paraibano.

Observando-se a tabela e a figura supracitadas, percebe-se que grande parte da região da Paraíba (cerca de 45%), apresenta problema de salinidade das águas tanto superficiais como subterrâneas, chegando em alguns casos, a teores de cloreto inaceitáveis para consumo humano e até agrícola.

## 5.2 - PREPARAÇÃO E ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS DE AGUA

Para a realização da pesquisa, foram preparadas águas sintéticas com qualidade similar as da região investigada (item 5.1) e obedecendo a modelagem do sistema carbônico para águas de alta salinidade ( $H_2CO_3^* + H_2O + SD$ ), exposto no capítulo 2 e proposto por Cavalcanti(1981).

Nas simulações foram utilizados dois sistemas:

- (1) O primeiro sistema era constituído de Bicarbonato de Sódio- $NaHCO_3$ , Cloreto de Sódio uni-univalente- $NaCl$  e Sulfato de Cálcio di-hidratado- $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ;
- (2) O segundo contendo, Bicarbonato de Sódio- $NaHCO_3$ , Cloreto de Sódio uni-univalente- $NaCl$ , e os alcalinos terrosos



Cloreto de Cálcio di-hidratado- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e Cloreto de Magnésio hexa-hidratado- $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , como mostrado a seguir:

Sistema I :  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

Sistema II :  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

As concentrações dos sais usados nas amostras de águas de cada sistema foram as seguintes:

Sistema I :

- a) A concentração do Cloreto de Sódio uni-univalente- $\text{NaCl}$  variou de 1.500 mg/l a 3.000 mg/l para águas de alta salinidade (AS), e de 100 mg/l a 200 mg/l para aquelas de baixa salinidade (BS);
- b) A variação do teor de Sulfato de Cálcio di-hidratado- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  foi de 80 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,0008 mol/l) a 100 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,001 mol/l) para águas de alta salinidade (AS), e de 50 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,0005 mol/l) a 100 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,001 mol/l) para aquelas de baixa salinidade (BS);
- c) O Bicarbonato de Sódio foi utilizado em concentrações que variaram de 100 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,001 mol/l) a 300 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,003 mol/l) para águas de alta salinidade (AS) e de 100 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,001 mol/l) a 200 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (0,002 mol/l) para águas de baixa salinidade (BS).

## Sistema II :

- a) A concentração do sal alcalino terroso Cloreto de Magnésio- $MgCl_2 \cdot 2H_2O$  foi mantida constante em  $5 \text{ mg/lCaCO}_3$  ( $0,00005 \text{ mol/l}$ ) tanto para as águas de alta como de baixa salinidade. Esse valor foi adotado por ser o recomendado para o teor de magnésio pela Organização Mundial de Saúde(OMS);
- b) A concentração do Cloreto de Cálcio- $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  ficou em torno de  $50 \text{ mg/lCaCO}_3$  ( $0,0005 \text{ mol/l}$ ) para águas de alta salinidade(AS), sendo que para AIS foi admitida uma concentração de  $100 \text{ mg/lCaCO}_3$  ( $0,001 \text{ mol/l}$ ). Para as águas de baixa salinidade(BS), a concentração foi de  $50 \text{ mg/lCaCO}_3$  ( $0,0005 \text{ mol/l}$ );
- c) A concentração do Cloreto de Sódio- $NaCl$  foi determinada (para cada água em particular, de baixa ou de alta salinidade) pela diferença entre a soma das concentrações dos dois cloretos alcalinos terrosos (cálcio e magnésio) e um valor pré-fixado de cloreto que se pretendia adicionar à água. Nas águas de alta salinidade(AS) a soma total de todos os cloretos presentes ( $NaCl$ ,  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  e  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) variou de  $1.000 \text{ mg/l}$  a  $3.500 \text{ mg/l}$ , e nas de baixa salinidade(BS) variou de  $100 \text{ mg/l}$  a  $200 \text{ mg/l}$ ;
- d) A concentração do Bicarbonato de Sódio- $NaHCO_3$  foi de  $100 \text{ mg/lCaCO}_3$  ( $0,001 \text{ mol/l}$ ) para águas de alta salinidade(AS) e de  $50 \text{ mg/CaCO}_3$  ( $0,0005 \text{ mol/l}$ ) para as

águas de baixa salinidade(BS).

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira foram utilizadas as águas do sistema I e, na segunda, as do sistema II.

A metodologia utilizada na preparação das águas é descrita a seguir:

- a) Pesagem dos elementos ou sais de cada sistema, de acordo com a qualidade requerida de cada água. A pesagem foi realizada em balança analítica com precisão de 0,0001gr. Para evitar que houvesse erro de leitura ou perda de parte dos sais durante as pesagens, esses eram pesados em papel alumínio. Para evitar que os sais com propriedades higroscópicas (cloreto de cálcio e de magnésio) se dissolvessem absorvendo a umidade do ar, as pesagens eram realizadas com rapidez;
- b) Diluição dos sais de cada sistema ou de cada água considerada: A diluição era feita adicionando-se pequenos volumes de água destilada e deionizada em um becker que continha o sal a ser diluído. Esse processo se repetia até que todos os sais estivessem diluídos. Após total diluição dos sais, adicionava-se mais água destilada à mistura até se obter o volume desejado da amostra de água. Em seguida, a solução era colocada em um único balão volumétrico e agitada até se obter uma mistura homogênea;



- c) Determinação dos parâmetros físico-químicos de interesse: Esta determinação era realizada logo após terminada a homogeneização, a fim de evitar que as propriedades das águas sofressem quaisquer modificações com o tempo;
- d) Após essa determinação uma fração da água de alta salinidade (AS) era submetida à dessalinização antes de ser misturada com a outra fração da água de alta salinidade. Todas as amostras de águas, de alta salinidade (AS), baixa salinidade (BS) e dessalinizadas (AD), após preparadas (caso de AS e BS) ou coletadas (caso de AD) eram armazenadas em recipientes fechados para evitar troca de  $CO_2$  do ar com as espécies carbônicas em solução e, dessa forma, modificar suas características iniciais.

### 5.3 - UTILIZAÇÃO DO DESSALINIZADOR SOLAR

O dessalinizador solar foi instalado nas proximidades do laboratório de análise da CAGEPA no Alto Branco, Campina Grande - Pb, para facilitar a execução dos trabalhos.

O trabalho de manutenção do dessalinizador se resumia em abastecer a bandeja do mesmo com água salgada, e após algum tempo coletar a água dessalinizada.

A bandeja tinha capacidade de 5,6 litros, e o volume

de água que abastecia a mesma era de 4,5 litros, correspondendo a uma lâmina de água de 4 cm.

O abastecimento da água salgada era feito sempre no final da tarde, enquanto que a água dessalinizada era coletada no período da manhã.

A bandeja era lavada antes que uma nova amostra de água tivesse que ser dessalinizada.

A quantidade de água a ser dessalinizada dependia do volume pré determinado da mesma que seria gasto nas misturas a serem realizadas.

A utilização do dessalinizador se deu tanto no período das chuvas como no período seco. É válido salientar que a produção máxima foi alcançada no período seco, quando uma maior intensidade de radiação incidia sobre a superfície de água salgada.

#### 5.4 - DETERMINAÇÃO DAS MISTURAS

A fim de se obter uma água com concentrações de Cloreto- $\text{Cl}^-$  e de Sólidos Totais Dissolvidos-STD dentro dos níveis aceitáveis para consumo humano, e estável com relação a precipitação ou dissolução de carbonato de cálcio- $\text{CaCO}_3$ , dois tipos de misturas foram realizadas:

(a) misturas tipo MD - águas de alta salinidade (AS) com





Para as misturas do tipo MB, e com águas do sistema I "x" teve os valores de 1 e 3. Para as do sistema II, com águas de alta salinidade (AS) com concentrações de cloreto- $\text{Cl}^-$  até 1.500 mg/l, os valores de "x" foram 1 e 3. No caso de misturas com águas tipo (AS) que apresentaram concentrações de cloreto- $\text{Cl}^-$  acima de 1.500 mg/l, a variação de "x" foi 1, 3 e 5. De forma resumida as misturas foram classificadas como se segue:

a) Mistura tipo MD

Sistema I:

1 x 4 para qualquer  $\text{Cl}^-$

Sistema II:

1 x 5 para qualquer  $\text{Cl}^-$

b) Mistura tipo MB

Sistema I:

X = 1 e x = 3 para qualquer  $\text{Cl}^-$

Sistema II:

X = 1 e x = 3 para  $\text{Cl}^-$  1.500 mg/l

X = 1, x = 3 e x = 5 para  $\text{Cl}^- > 1.500$  mg/l

Para o preparo manual das misturas foi adotado o seguinte procedimento:

(a) Seleção e medição dos volumes das águas a serem

misturadas. A determinação do volume necessário de cada água era função da proporção desejada da mistura, ou do fator de diluição requerido, sendo que o volume total de cada amostra de mistura era de 500 ml;

- (b) Agitação ou homogenização da mistura em balão volumétrico;
- (c) Determinação dos parâmetros físico-químicos de interesse, e caracterização da qualidade da água obtida na mistura.

#### 5.5 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

As análises das águas foram feitas no laboratório de análise de águas da Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba-CAGEPA, localizado no bairro Alto Branco, Campina Grande - Pb.

Os parâmetros físico-químicos determinados experimentalmente foram os seguintes: pH, Temperatura-T (°C), Sólidos Totais Dissolvidos-STD (mg/l), Alcalinidade Total-Alcr (mg/lCaCO<sub>3</sub>), Cálcio-Ca<sup>2+</sup> (mg/lCaCO<sub>3</sub>), Dureza Total-Dr (mg/lCaCO<sub>3</sub>), Cloreto-Cl<sup>-</sup> (mg/l), Sulfato-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l) para as águas do sistema I, e Magnésio-Mg<sup>2+</sup> (mg/lCaCO<sub>3</sub>) para as do sistema II.

As determinações analíticas das águas em laboratório foram feitas de acordo com as recomendações do STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 14ª Edição,



a saber:

- pH

A obtenção do pH das amostras foi feita por meio de um potenciômetro marca CORNING pH/TEMP METER, modelo 125/2 e que fornece uma leitura com duas casas decimais e aproximação 0,01 unidades de pH.

- Sólidos Totais Dissolvidos-STD (mg/l)

Os sólidos totais dissolvidos foram determinados após filtração à vácuo, seguida de evaporação em estufa da marca FANEM, com controle de temperatura por termostato. Para tal finalidade foram utilizadas cápsulas de porcelana para reter o resíduo seco, um dessecador da marca PYREX para eliminação da umidade das cápsulas, e uma balança analítica da marca FISHERbrand, com precisão de 0,0001gr para determinação do peso do resíduo.

- Força Iônica-I

A força iônica foi determinada através das equações de Langelier (1936) e de Robinson & Stokes (1945), quais sejam:

(a) Equação de Langelier (1936):

$$I = 2,5 \times 10^{-5} \times \text{STD} \quad \text{para STD } 1.000 \text{ mg/l}$$

onde,

STD = sólidos totais dissolvidos, mg/l

(b) Equação de Robinson & Stokes (1945):

$$I = 1/2 \sum c_i z_i^2 \quad \text{para STD } > 1.000 \text{ mg/l}$$

onde,

$c_i$  = concentração da espécie iônica "i" qualquer em mol/l  
(M);

$z_i$  = valência da espécie iônica "i" qualquer.

Para as amostras de águas (bruta ou de mistura) com STD 1.000 mg/l, a força iônica foi determinada pela equação (a), e para as de STD > 1.000 mg/l através da equação (b).

- Temperatura-T (°C)

A temperatura das águas foi determinada através de um termômetro simples com filamento de mercúrio e graduado pela escala Celsius.

- Cálcio-Ca<sup>2+</sup> (mg/lCaCO<sub>3</sub>)

A concentração de cálcio foi determinada através do

método titrimétrico EDTA, utilizando hidróxido de potássio a 0,1%, murexida e uma bureta automática com precisão de 0,1 ml.

- Dureza Total- $D_T$  (mg/lCaCO<sub>3</sub>)

A dureza total foi determinada pelo método titrimétrico EDTA, utilizado-se uma bureta automática com precisão de 0,1 ml.

- Magnésio-Mg<sup>2+</sup> (mg/lCaCO<sub>3</sub>)

O magnésio foi obtido através da diferença entre a dureza - total e o cálcio, determinados pelo método titrimétrico.

- Cloreto-Cl<sup>-</sup> (mg/l)

O teor de cloreto das águas foi determinado através do método argentométrico, usando-se nitrato de prata em bureta com precisão de 0,1 ml para efetuar a titulação.

- Sulfato-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)

O íon sulfato foi determinado teoricamente considerando-se a quantidade de sulfato de cálcio presente em cada solução na escala miliequivalente por litro (meq/l).

- Alcalinidade Total- Alcr (mg/lCaCO<sub>3</sub>)

A alcalinidade total das águas foi determinada através do método da Titulação de Gran, que consiste na obtenção via estabelecimento da Primeira Função de Gran-F1. Para para as águas governadas pelo sistema carbônico essa função é dada por: (Cavalcanti, 1981).

$$F1 = (V_0 + V_x) 10^{-\text{pH}_{\text{OP}}} = (V_x - V_1) c_a \cdot f_{\text{H}^+\text{OP}} \quad (72)$$

onde,

$V_0$  = volume inicial da solução sob investigação (ml)

$V_x$  = volume incremental do ácido forte mineral (HCl) adicionado à solução (ml)

$\text{pH}_{\text{OP}}$  = pH medido ou observado

$V_1$  = volume do ácido forte requerido até o ponto de equivalência do H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>\*,  $\text{pH}_{\text{el}}$  (ml)

$c_a$  = concentração molar padronizada do ácido forte mineral (HCl) adicionado à solução (moles/l).

Os materiais utilizados na determinação foram os seguintes (figura 5.1):

(a) um reator de acrílico de volume conhecido (500 ml) de forma cilíndrica, possuindo uma tampa com diversos orifícios por onde são inseridos:

(a.1) um tubo fino e comprido com as funções de: fornecer um



meio de remover as bolhas de ar presentes no interior do reator antes do início da titulação; manter a pressão constante dentro do reator; e, diminuir a possibilidade de trocas de  $\text{CO}_2$  entre a solução e a atmosfera, para evitar erro na interpretação do pH;

(a.2) um dispositivo para manter o nível líquido constante no tubo regulador de pressão;

(a.3) um eletrodo de vidro acoplado a um eletrodo de referência;

(a.4) um termômetro, para medição da temperatura das amostras;

(a.5) uma bureta para adicionar o ácido.

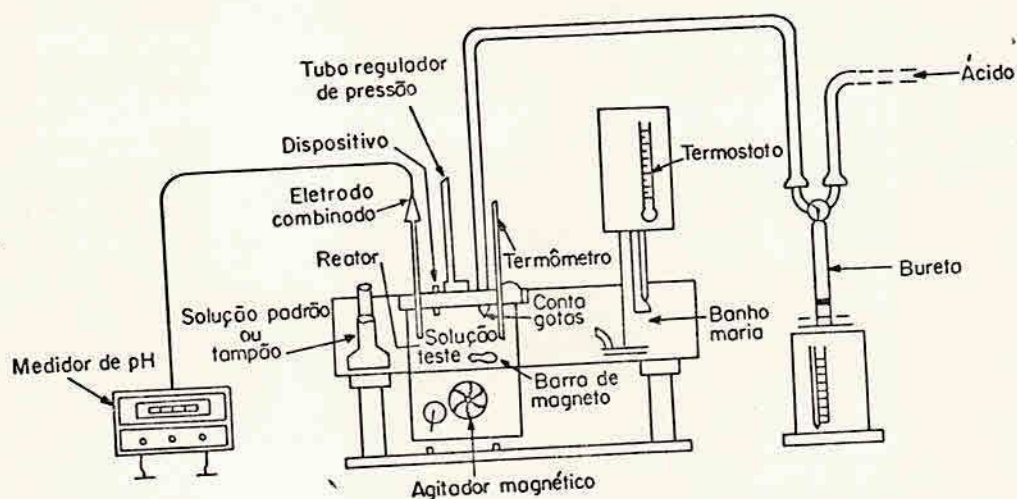


FIG. 5.1 - Materiais utilizados para a determinação da alcalinidade via Titulação de Gran. (Cavalcanti, (1981)).

(b) um medidor de pH marca CORNING pH/TEMP METER modelo 125/2, que forneceu uma leitura com duas casas decimais, em torno de 0,01 unidades de pH. O Sistema de eletrodos medidor era constituído por eletrodo combinado de vidro acoplado a um de referência tipo Ag-AgCl com uma solução saturada de cloreto de potássio (KCl);

(c) uma cuba de acrílico contendo um certo volume de água, e que serviu de banho-maria na qual foi acoplado um termostato à fim de manter a temperatura da solução constante;

(d) um agitador magnético, marca FANEM, modelo 258, para acionar uma barra de magneto revestida de plástico;

(e) uma bureta automática com precisão de 0,01 ml, utilizada para adicionar o ácido (HCl) à água;

A metodologia utilizada nas determinações é a mesma proposta por Cavalcanti(1981), ou seja:

Um certo volume da solução sob investigação é colocado lentamente no reator para evitar que sejam formadas bolhas de ar no interior do mesmo. Em seguida, o reator é submerso na água da cuba de acrílico, a qual deve ter sua temperatura controlada através de um termostato, a fim de manter a temperatura da solução constante em 25°C. O monitoramento da temperatura da solução durante a titulação é feito através de um termômetro.



A calibração do sistema de eletrodos é feita com solução tampão de pH = 7,0 e de pH = 4,0, à temperatura de 25°C.

Todas as titulações foram realizadas utilizando-se ácido clorídrico (HCl) de concentração de 0,095 moles/l e padronizadas com tetraborato de sódio- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Após calibrados os eletrodos e inseridos juntamente com a bureta nos orifícios da tampa do reator, iniciava-se a titulação adicionando-se volumes incrementais de ácido clorídrico e anotando-se o pH correspondente a cada volume adicionado até que o pH da solução baixasse para um pH em torno de 3,0, que é a região abaixo do ponto de equivalência de  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ .

A alcalinidade foi determinada a partir da seguinte equação:

$$\text{Alc}_{\text{EXP. G}} = V_1 \cdot C_a / V_0 \quad (73)$$

onde,

$\text{Alc}_{\text{EXP. G}}$  = alcalinidade determinada experimentalmente via titulação de Gran.

$V_1$  = volume determinado experimentalmente na titulação de Gran.

A Titulação de Gran permite também a obtenção do coeficiente de atividade operacional do íon hidrogênio- $\text{H}^+$ .

a partir da seguinte expressão:

$$f_{H^+_{OP}} = D1 / Ca \quad (74)$$

onde,

D1 = declividade da reta obtida a partir do lado esquerdo da equação (72), ao se traçar o gráfico de F1 versus Vx.

## CAPITULO VI

### APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 6.1 - DADOS CARACTERISTICOS DAS ÁGUAS ANTES DAS MISTURAS

As características das águas utilizadas nas misturas são apresentadas nas tabelas I.1 a I.3 (anexo I) para as águas do sistema I, e II.1 a II.3 (anexo II) para as águas do sistema II.

Nas tabelas I.1 e II.1 estão os dados das águas de alta salinidade (AS) e nas tabelas I.2 e II.2 são apresentados os dados característicos das águas de baixa salinidade (BS) dos sistemas I e II, respectivamente.

Os resultados experimentais das águas dessalinizadas (AD) são apresentados nas tabelas I.3 e II.3 para os sistemas I e II, respectivamente.

Os valores experimentais médios para cada amostra de águas de alta salinidade, de baixa salinidade e água dessalinizada são apresentados nas tabelas 6.1 a 6.3 para as águas do sistema I e nas tabelas 6.4 a 6.6 para as do sistema II como mostrado a seguir:



TABELA 6.1 - Valores experimentais médios das águas de alta salinidade do sistema I à 25°C.

TIPO DE AMOSTRA	PARAMETROS								
	pH	I	$f_{H^+of}$	STD (mg/l)	Alc <sub>T</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	D <sub>t</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Cl- (mg/l)
A1S	8,11	0,040	0,8330	1328,0	206,0	85,0	85,0	163,0	815,0
A2S	8,12	0,060	0,8084	2514,0	305,0	92,0	92,0	176,0	1355,0
A3S	8,03	0,090	0,7827	3094,0	106,0	96,0	96,0	184,0	2345,0

TABELA 6.2 - Valores experimentais médios das águas de baixa salinidade do sistema I à 25°C.

TIPO DE AMOSTRA	PARAMETROS								
	pH	I	$f_{H^+of}$	STD (mg/l)	Alc <sub>T</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	D <sub>t</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Cl- (mg/l)
B1S	8,08	0,006	0,9218	237,0	105,0	66,0	66,0	126,0	46,0
B2S	8,34	0,014	0,8817	567,5	189,0	104,0	104,0	192,0	123,0
B3S	8,08	0,009	0,9069	362,8	104,0	52,0	52,0	99,0	146,0

TABELA 6.3 - Valores experimentais médios das águas dessalinizadas do sistema I à 25°C.

TIPO DE AMOSTRA	PARAMETROS								
	pH	I	$f_{H^+of}$	STD (mg/l)	Alc <sub>T</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	D <sub>t</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Cl- (mg/l)
A1D	6,90	0,0003	0,9819	13,15	5,0	0,0	0,0	0,0	5,0
A2D	7,14	0,0003	0,9819	12,07	8,0	0,0	0,0	0,0	3,0
A3D	7,02	0,0003	0,9819	11,17	3,0	0,0	0,0	0,0	6,0

TABELA 6.4 - Valores experimentais médios das águas de alta salinidade do sistema II à 25°C.

TIPO DE AMOSTRA	PARAMETROS								
	pH	I	$f_{H^+OF}$	STD (mg/l)	Alc <sub>T</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	D <sub>t</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
A1S	8,30	0,030	0,8495	1050,5	99,0	100,0	103,0	3,0	653,0
A2S	8,38	0,040	0,8330	1567,0	102,0	49,0	52,0	3,0	933,0
A3S	8,32	0,050	0,8196	2131,5	100,0	56,0	60,0	4,0	1403,0
A4S	8,29	0,060	0,8084	2838,5	101,5	60,0	67,0	7,0	1623,0
A5S	8,28	0,070	0,7992	3368,5	97,0	59,0	67,0	8,0	1904,0
A6S	8,26	0,080	0,7902	3725,5	100,0	49,0	54,0	5,0	2254,0

TABELA 6.5 - Valores experimentais médios das águas de baixa salinidade do sistema II à 25°C.

TIPO DE AMOSTRA	PARAMETROS								
	pH	I	$f_{H^+OF}$	STD (mg/l)	Alc <sub>T</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	D <sub>t</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
B1S	8,09	0,002	0,9500	91,0	46,0	48,0	53,0	5,0	51,0
B2S	8,13	0,005	0,9278	191,5	59,0	51,0	56,0	5,0	112,0
B3S	8,10	0,010	0,9027	408,5	50,0	55,5	60,0	4,5	161,0

TABELA 6.6 - Valores experimentais médios das águas dessalinizadas do sistema II à 25°C.

TIPO DE AMOSTRA	PARAMETROS								
	pH	I	$f_{H^+OF}$	STD (mg/l)	Alc <sub>T</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	D <sub>t</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sub>2+</sub> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
A1D	7,13	0,0008	0,9690	34,50	12,0	12,0	12,0	0,0	9,0
A2D	6,97	0,0003	0,9819	11,60	4,0	0,0	0,0	0,0	6,0
A3D	7,07	0,0005	0,9752	21,00	8,5	6,0	6,0	0,0	9,0
A4D	7,06	0,0003	0,9806	13,40	9,0	0,0	0,0	0,0	5,0
A5D	7,00	0,0005	0,9752	19,00	6,0	8,0	8,0	0,0	8,0
A6D	7,15	0,0007	0,9702	26,00	12,0	10,0	10,0	0,0	7,0



Os resultados experimentais obtidos nas análises das amostras de águas (AS, BS e AD) das tabelas 6.1 a 6.6, se encontram na faixa esperada, considerando as concentrações dos compostos utilizados em cada amostra de água.

Para cada tipo de amostra de água, tanto do sistema I como do sistema II, foram realizados duas (2) simulações. Para as amostras de águas do sistema I, foram realizadas seis (6) simulações de águas de alta salinidade, seis (6) de águas de baixa salinidade e seis (6) de águas dessalinizadas. Para as do sistema II, foram realizadas doze (12) simulações de águas de alta salinidade, doze (12) de águas dessalinizadas e seis (6) de águas de baixa salinidade.

Observando-se as tabelas 6.1 a 6.6 percebe-se que todas as amostras de águas apresentaram valores de pH dentro da faixa de pH de águas naturais. Nas amostras de águas dessalinizadas, os valores de pH foram menores devido a redução no valor da alcalinidade após a dessalinização das águas.

Comparando os resultados experimentais medidos antes e depois da dessalinização das águas, percebe-se uma redução muito significativa nos valores dos parâmetros determinados; ou seja, Alc,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc..

O estado inicial de saturação das águas de alta salinidade e das de baixa salinidade antes das misturas é apresentado nas tabelas 6.7 e 6.8 para as amostras de água



dos sistemas I e II, respectivamente. Da tabela 6.7 percebe-se que as águas de alta salinidade A1S e A2S eram inicialmente supersaturadas, e que após dessalinizadas (A1D e A2D) essas águas passaram a apresentar características de subsaturação.

Na tabela 6.8 pode-se perceber que apenas a amostra de água de alta salinidade (A1S) apresentou características de supersaturação (precipitação de carbonato de cálcio). As amostras A2S, A3S, A4S e A5S que inicialmente eram saturadas, após dessalinizadas, tornaram-se também subsaturadas.

TABELA 6.7 - Valores do índice de saturação de Langelier e estado de saturação das águas do sistema I antes das misturas.

TIPO DE AGUA	INDICE DE SAT. ; DE LANGELIER-ISL	ESTADO INICIAL ; DE SATURACAO
AGUAS DE ALTA SALINIDADE		
A1S	+ 0,28	Supersaturada com CaCO <sub>3</sub>
A2S	+ 0,48	Supersaturada com CaCO <sub>3</sub>
A3S	- 0,05	Subsaturada com CaCO <sub>3</sub>
AGUAS DE BAIXA SALINIDADE		
B1S	- 0,10	Subsaturada com CaCO <sub>3</sub>
B2S	+ 0,60	Supersaturada com CaCO <sub>3</sub>
B3S	- 0,20	Subsaturada com CaCO <sub>3</sub>

TABELA 6.8 - Valores do índice de saturação de Langelier e estado de saturação das águas do sistema II antes das misturas.

TIPO DE AGUA	INDICE DE SAT. DE LANGELIER-ISL	ESTADO INICIAL DE SATURACAO
AGUAS DE ALTA SALINIDADE		
A1S	+ 0,24	Supersaturada com CaCO <sub>3</sub>
A2S	+ 0,01	Supersaturada com CaCO <sub>3</sub>
A3S	0,00	Saturada
A4S	0,00	Saturada
A5S	- 0,04	Subsaturada com CaCO <sub>3</sub>
A6S	- 0,14	Subsaturada com CaCO <sub>3</sub>
AGUAS DE BAIXA SALINIDADE		
B1S	- 0,60	Subsaturada com CaCO <sub>3</sub>
B2S	+ 0,40	Supersaturada com CaCO <sub>3</sub>
B3S	- 0,50	Subsaturada com CaCO <sub>3</sub>

## 6.2 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS DAS AMOSTRAS DE MISTURAS DE AGUAS.

Os resultados experimentais obtidos nas misturas realizadas pela combinação de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD), são mostrados nas tabelas I.4 a I.6 (Anexo I) para as amostras do sistema I e nas tabelas II.4 a II.9 (anexo II) para as do sistema II.

As misturas resultantes da combinação de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB), implicaram nas tabelas I.7 a I.15 (anexo I) para as amostras do sistema I e nas tabelas II.10 a II.27 (anexo II) para as do sistema II.

### 6.3 SELEÇÃO DAS MISTURAS

A análise dos resultados experimentais das tabelas citadas no item 6.2, implicou na classificação das misturas considerando os seguintes aspectos: a) concentração de cloreto - resultante das misturas tanto para as tipo MI (alta salinidade com águas dessalinizadas) como para as MB (alta salinidade com águas de baixa salinidade), b) fator de diluição usado em cada mistura).

Com relação à concentração de Cloreto -  $\text{Cl}^-$  (mg/l) das águas, a Organização Mundial de Saúde - OMS, estabelece os seguintes limites:

- (a) Águas com  $\text{Cl}^-$  200 mg/l são consideradas ideais para consumo humano, pois não provocam problemas de saúde;
- (b) Águas com 600 mg/l  $\text{Cl}^-$  800 mg/l são consideradas salobras, porém tolerável para consumo humano;
- (c) Águas com  $\text{Cl}^-$  > 800 mg/l são consideradas salgadas, de sabor desagradável e prejudiciais à saúde.

Considerando as faixas de cloreto- $\text{Cl}^-$  acima mencionadas e o fator de diluição usado nas misturas, estabeleceu-se os seguintes critérios de seleção das misturas:

- (1) Quanto à concentração de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ):



- (1.1) Cl- 200mg/l - mistura ideal
- (1.2) 200 mg/l Cl- 400 mg/l - aceitável
- (1.3) 400 mg/l Cl- 600 mg/l - salinidade elevada, mas ainda aceitável dependendo do conteúdo salino da água bruta disponível na região;
- (1.4) Cl- > 600 mg/l - salobra a salgada, aconselhável apenas se for novamente dessalinizada e misturada.

(2) Quanto ao fator de diluição:

- (2.1) 1:1 - ideal, pois o volume final de água potável obtido compensaria o uso do processo de misturas.
- (2.2) 1:2 - aceitável
- (2.3) 1:3 - aceitável, dependendo do uso que será dado à água obtida na mistura.

Os resultados da classificação feita a partir do critério da concentração de cloreto, implicou nas tabelas 6.A1 e 6.B1 para as misturas realizadas com águas do sistema I e nas tabelas 6.C1a, 6.C1b, 6.D1a e 6.D1b para as do sistema II.

TABELA 6A1 - Valores experimentais medios das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas do sistema I, a 25°C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	pH	fH <sub>top</sub>	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	DT (mg/l)	5042- Cl-	Cl-
MISTURAS COM Cl- ≤ 200 mg/l									
A15:A10 = 1:3	8,12	0,9027	0,010	364,7	58,0	24,0	24,0	46,0	200,0
A15:A10 = 1:4	8,07	0,9114	0,008	283,7	45,0	20,0	20,0	38,0	167,5
MISTURAS COM 200 mg/l ≤ Cl- ≤ 400 mg/l									
A15:A10 = 1:1	8,18	0,8850	0,015	620,0	105,0	36,0	36,0	69,0	402,5
A15:A10 = 1:2	8,11	0,8987	0,011	453,3	71,0	28,0	28,0	53,0	272,5
A25:A20 = 1:3	8,19	0,8850	0,015	610,5	104,0	22,0	22,0	42,0	327,5
A25:A20 = 1:4	8,25	0,9027	0,010	432,2	82,0	20,0	20,0	38,0	257,5
MISTURAS COM 400 mg/l ≤ Cl- ≤ 600 mg/l									
A25:A20 = 1:2	8,27	0,8710	0,020	822,5	133,0	22,0	22,0	42,0	431,0
A35:A30 = 1:3	8,18	0,8661	0,022	889,0	35,0	22,0	22,0	42,0	577,5
A35:A30 = 1:4	8,19	0,8850	0,015	639,7	39,0	20,0	20,0	38,0	475,0
MISTURAS COM Cl- > 600 mg/l									
A25:A20 = 1:1	8,28	0,8553	0,023	1029,0	163,00	32,0	32,0	61,0	615,0
A35:A30 = 1:1	8,11	0,8330	0,039	1481,7	56,00	32,0	32,0	61,0	1075,0
A35:A30 = 1:2	8,16	0,8515	0,028	1030,2	41,00	29,0	29,0	57,0	777,5

A15; Cl- = 815 mg/l      A10; Cl- = 5 mg/l  
 A25; Cl- = 1355 mg/l    A20; Cl- = 3 mg/l  
 A35; Cl- = 2345 mg/l    A30; Cl- = 6 mg/l



TABELA 6B1 - Valores experimentais medios das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (NB) do sistema I, a 25°C.

TIPO E PROPORÇÃO DE MISTURA	pH	fHtop	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	DT (mg/lCaCO3)	SO42- (mg/l)	Cl- (mg/l)
MISTURAS COM 200 mg/l ≤ Cl- ≤ 400 mg/l									
A1S:B1S = 1:3	8,32	0,8850	0,015	607,0	135,0	73,0	73,0	140,0	251,5
A1S:B2S = 1:3	8,29	0,8790	0,017	695,7	182,0	86,0	86,0	167,0	264,5
A1S:B3S = 1:3	8,20	0,8850	0,015	606,7	130,0	68,0	68,0	130,0	348,5
A2S:B1S = 1:3	8,17	0,8661	0,022	855,5	181,0	78,0	78,0	150,0	342,5
MISTURAS COM 400 mg/l ≤ Cl- ≤ 600 mg/l									
A1S:B1S = 1:1	8,27	0,8661	0,022	910,7	156,0	84,0	84,0	160,0	411,5
A1S:B2S = 1:1	8,32	0,8594	0,025	1094,7	185,0	92,0	92,0	176,0	485,0
A1S:B3S = 1:1	8,20	0,8710	0,020	804,7	153,0	72,0	72,0	138,0	516,5
A2S:B1S = 1:1	8,32	0,8553	0,027	1085,0	223,0	72,0	72,0	138,0	572,5
A2S:B2S = 1:3	8,43	0,8616	0,025	1074,0	244,0	102,0	102,0	195,0	427,5
A2S:B3S = 1:3	8,11	0,8638	0,023	934,0	185,0	66,0	66,0	126,0	412,5
A3S:B1S = 1:3	8,15	0,8685	0,021	844,0	113,0	84,0	84,0	160,0	595,5
MISTURAS COM Cl- > 600 mg/l									
A2S:B2S = 1:1	8,35	0,8424	0,034	1612,0	316,0	120,0	120,0	230,0	637,5
A2S:B3S = 1:1	8,24	0,8514	0,029	1483,8	257,0	60,0	60,0	115,0	673,5
A3S:B1S = 1:1	8,20	0,8376	0,037	1239,0	102,0	92,0	92,0	176,0	987,5
A2S:B3S = 1:1	8,12	0,8301	0,042	1442,7	113,0	84,0	84,0	160,0	1137,5
A3S:B3S = 1:3	8,32	0,8661	0,022	869,0	121,0	78,0	78,0	150,0	645,0
A3S:B3S = 1:1	8,13	0,8315	0,041	1386,5	103,0	76,0	76,0	146,0	1180,0
A3S:B3S = 1:3	8,15	0,8661	0,022	911,0	106,0	66,0	66,0	126,0	595,0

A1S; Cl- = 815 mg/l      B1S; Cl- = 46 mg/l  
 A2S; Cl- = 1355 mg/l    B2S; Cl- = 123 mg/l  
 A3S; Cl- = 2350 mg/l    B3S; Cl- = 146 mg/l



TABELA 6.C1a - Valores experimentais medios das misturas de aguas de alta salinidade com aguas dessalinizadas do sistema II, a 25°C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	pH	fHtop	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	DT (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
MISTURAS COM Cl <sup>-</sup> ≤ 200 mg/l									
A1S:A1D = 1:3	8,12	0,8987	0,011	447,70	29,0	36,0	37,0	1,0	173,0
A1S:A1D = 1:4	7,86	0,8987	0,011	471,50	41,0	24,0	26,0	2,0	131,0
A1S:A1D = 1:5	7,83	0,9027	0,010	379,00	40,0	24,0	27,0	3,0	107,5
A2S:A2D = 1:5	7,84	0,9218	0,006	271,50	36,0	19,0	19,0	0,0	198,0
MISTURAS COM 200 mg/l ≤ Cl <sup>-</sup> ≤ 400 mg/l									
A1S:A1D = 1:1	8,04	0,8850	0,015	589,0	56,0	55,0	60,0	5,0	313,5
A1S:A1D = 1:2	7,92	0,8950	0,012	494,0	31,0	47,0	50,0	3,0	231,0
A2S:A2D = 1:2	7,83	0,8850	0,015	589,0	58,0	19,0	24,0	5,0	326,0
A2S:A2D = 1:3	7,94	0,8950	0,012	506,0	35,0	23,0	27,0	4,0	284,0
A2S:A2D = 1:4	7,73	0,9164	0,007	299,5	37,0	20,0	21,0	1,0	252,0
A3S:A3D = 1:3	8,03	0,8881	0,014	566,5	47,0	29,0	32,0	3,0	394,0
A3S:A3D = 1:4	7,70	0,9027	0,010	438,5	38,0	25,0	28,0	3,0	275,0
A4S:A4D = 1:5	8,00	0,9027	0,010	392,0	36,0	24,0	25,0	1,0	226,5
A4S:A4D = 1:4	7,60	0,8850	0,015	596,5	25,0	24,0	25,0	1,0	351,0
A4S:A4D = 1:5	7,45	0,8950	0,012	488,0	24,0	20,0	21,0	1,0	302,5
A5S:A5D = 1:5	7,05	0,8950	0,012	494,5	22,0	16,0	17,0	1,0	384,5
A6S:A6D = 1:5	7,45	0,8915	0,013	533,0	29,5	19,0	20,0	1,0	388,0

A1S; Cl<sup>-</sup> = 635 mg/l  
 A1S; Cl<sup>-</sup> = 635 mg/l  
 A2S; Cl<sup>-</sup> = 933 mg/l  
 A3S; Cl<sup>-</sup> = 1403 mg/l  
 A4S; Cl<sup>-</sup> = 1623 mg/l  
 A5S; Cl<sup>-</sup> = 1904 mg/l  
 A6S; Cl<sup>-</sup> = 2254 mg/l  
  
 A1D; Cl<sup>-</sup> = 9 mg/l  
 A2D; Cl<sup>-</sup> = 6 mg/l  
 A3D; Cl<sup>-</sup> = 9 mg/l  
 A4D; Cl<sup>-</sup> = 5 mg/l  
 A5D; Cl<sup>-</sup> = 8 mg/l  
 A6D; Cl<sup>-</sup> = 7 mg/l

TABELA 6.C1b - Valores experimentais medios das misturas de aguas de alta salinidade com aguas dessalinizadas (MD) do sistema II, a 250C.

TIPO E PROPO- CAO DE MISTURA	pH	fH <sub>top</sub>	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	DT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
MISTURAS COM 400 ≤ mg/l ≤ Cl <sup>-</sup> 600 mg/l									
A25:A20 = 1:1	7,92	0,8819	0,016	641,0	47,0	25,0	28,0	3,0	489,5
A35:A30 = 1:2	7,74	0,8850	0,016	617,5	45,0	34,0	39,0	5,0	414,0
A45:A40 = 1:2	7,92	0,8685	0,011	858,0	41,0	33,0	35,0	3,0	485,0
A55:A50 = 1:3	7,67	0,8763	0,016	741,0	32,0	28,0	28,0	0,0	476,5
A55:A50 = 1:4	7,14	0,8763	0,016	747,5	29,0	21,0	21,0	0,0	532,0
A65:A60 = 1:3	7,10	0,8850	0,016	615,0	22,0	20,0	20,0	0,0	433,0
A65:A60 = 1:4	7,85	0,8710	0,016	830,5	37,0	26,0	30,0	4,0	570,0
	7,77	0,8790	0,017	689,0	32,0	24,0	26,0	2,0	458,0
MISTURAS COM Cl <sup>-</sup> > 600 mg/l									
A35:A30 = 1:1	7,85	0,8790	0,017	709,0	47,0	36,0	39,0	3,0	623,5
A45:A40 = 1:1	7,97	0,8477	0,016	1116,0	47,0	40,0	44,0	4,0	773,5
A55:A50 = 1:1	7,52	0,8376	0,011	1582,5	49,0	36,0	40,0	4,0	964,0
A55:A50 = 1:2	7,32	0,8710	0,016	827,0	36,0	29,0	29,0	0,0	649,0
A65:A60 = 1:1	8,00	0,8287	0,016	1632,0	56,0	37,0	40,0	3,0	1127,0
A65:A60 = 1:2	7,96	0,8638	0,016	941,0	46,0	31,0	35,0	4,0	762,0

A25: Cl<sup>-</sup> = 953 mg/l  
 A35: Cl<sup>-</sup> = 1403 mg/l  
 A45: Cl<sup>-</sup> = 1623 mg/l  
 A55: Cl<sup>-</sup> = 1904 mg/l  
 A65: Cl<sup>-</sup> = 2254 mg/l

A20: Cl<sup>-</sup> = 6 mg/l  
 A30: Cl<sup>-</sup> = 9 mg/l  
 A40: Cl<sup>-</sup> = 5 mg/l  
 A50: Cl<sup>-</sup> = 8 mg/l  
 A60: Cl<sup>-</sup> = 7 mg/l



TABELA 6.D1a - Valores experimentais medios das misturas de aguas de alta salinidade com aguas de baixa salinidade (MB) do sistema II, a 250C.

TIPO E PROPOR- CÃO DE MISTURA	pH	fHtop	f	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	DT (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)
MISTURA COM Cl- $\leq$ 200 mg/l										
A1S:B1S = 1:3	8,17	0,9027	0,010	400,0	56,0	54,0	59,0	5,0	181,5	
MISTURAS COM 200 mg/l < Cl- $\leq$ 400 mg/l										
A1S:B1S = 1:1	8,27	0,8850	0,015	615,7	65,0	65,0	69,0	4,0	314,5	
A1S:B2S = 1:1	8,24	0,8850	0,015	637,0	79,0	77,0	80,0	3,0	363,2	
A1S:B2S = 1:3	8,26	0,8950	0,012	479,5	74,0	65,0	71,0	6,0	236,0	
A1S:B3S = 1:3	8,29	0,8950	0,012	498,5	61,0	80,0	80,0	0,0	395,0	
A2S:B1S = 1:3	8,25	0,8987	0,011	443,9	58,0	52,0	56,0	4,0	302,0	
A2S:B2S = 1:3	8,25	0,8881	0,014	567,5	70,0	64,0	68,0	4,0	314,0	
A2S:B3S = 1:3	8,22	0,8850	0,015	604,0	61,0	61,0	63,0	2,0	404,0	
A3S:B1S = 1:3	8,24	0,8736	0,019	785,0	60,0	53,0	59,0	6,0	389,0	
A4S:B1S = 1:5	8,23	0,8850	0,015	587,0	57,0	48,0	53,0	5,0	301,0	
A4S:B2S = 1:5	8,24	0,8881	0,014	572,5	74,0	60,0	64,0	4,0	335,5	
A5S:B2S = 1:5	8,27	0,8850	0,015	616,5	67,0	64,0	68,0	4,0	349,0	

A1S; Cl- = 635 mg/l      B1S; Cl- = 51 mg/l  
 A2S; Cl- = 933 mg/l      B2S; Cl- = 112 mg/l  
 A3S; Cl- = 1403 mg/l      B3S; Cl- = 161 mg/l  
 A4S; Cl- = 1623 mg/l  
 A5S; Cl- = 1904 mg/l

TABELA 6.01b - Valores experimentais medios das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade do sistema II, a 25°C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	pH	fH <sub>2</sub> O	I	STD	AlcT	Ca <sup>2+</sup>	DT	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>
			(mg/l)	(mg/lCaCO <sub>3</sub> )	(mg/lCaCO <sub>3</sub> )	(mg/lCaCO <sub>3</sub> )	(mg/lCaCO <sub>3</sub> )	(mg/lCaCO <sub>3</sub> )	(mg/l)
MISTURAS COM 400 mg/l < Cl <sup>-</sup> ≤ 600 mg/l									
A15:B35 = 1:1	8,28	0,8850	0,015	599,0	73,0	79,0	80,0	1,0	449,0
A25:B15 = 1:1	8,27	0,8650	0,021	845,0	70,0	47,0	55,0	8,0	499,0
A25:B25 = 1:1	8,14	0,8616	0,024	981,0	63,0	57,0	60,0	3,0	519,0
A25:B35 = 1:1	8,26	0,8638	0,023	905,0	75,0	61,0	68,0	7,0	599,0
A35:B15 = 1:1	8,28	0,8661	0,022	898,5	71,5	56,0	60,0	4,0	605,0
A35:B25 = 1:1	8,23	0,8710	0,020	802,5	70,0	57,0	64,0	7,0	412,5
A35:B35 = 1:1	8,19	0,8710	0,020	837,0	57,0	64,0	70,0	6,0	426,5
A45:B15 = 1:1	8,21	0,8710	0,020	782,0	62,0	51,0	56,0	4,0	418,0
A45:B25 = 1:1	8,23	0,8736	0,019	759,0	71,0	57,0	65,0	7,0	464,0
A45:B35 = 1:1	8,25	0,8685	0,021	876,0	65,0	63,0	68,0	5,0	509,0
A55:B15 = 1:1	8,29	0,8790	0,017	688,0	64,0	71,0	75,0	4,0	424,0
A55:B25 = 1:1	8,30	0,8710	0,020	813,0	56,0	51,0	55,0	4,0	485,0
A55:B35 = 1:1	8,29	0,8661	0,022	888,0	70,0	60,0	67,0	7,0	539,0
A65:B15 = 1:1	8,26	0,8763	0,018	733,0	58,0	65,0	71,0	0,0	444,0
A65:B25 = 1:1	8,16	0,8661	0,022	886,0	63,0	52,0	52,0	0,0	574,0
A65:B35 = 1:1	8,10	0,8850	0,015	628,0	58,0	57,0	61,0	4,0	412,5
A65:B25 = 1:1	8,13	0,8763	0,018	747,0	68,0	52,0	59,0	7,0	476,5
A65:B35 = 1:1	8,18	0,8661	0,022	894,5	62,0	71,0	79,0	8,0	536,5
MISTURAS COM Cl <sup>-</sup> > 600 mg/l									
A35:B25 = 1:1	8,30	0,8495	0,027	1093,0	79,0	60,0	63,0	3,0	736,5
A35:B35 = 1:1	8,13	0,8477	0,027	1127,5	67,0	48,0	52,0	4,0	775,0
A45:B15 = 1:1	8,31	0,8477	0,028	1343,0	75,0	56,0	60,0	4,0	773,5
A45:B25 = 1:1	8,27	0,8477	0,028	1333,5	83,0	56,0	63,0	7,0	763,0
A45:B35 = 1:1	8,37	0,8459	0,030	1452,0	78,0	64,0	71,0	7,0	802,0
A55:B15 = 1:1	8,22	0,8441	0,031	1696,5	68,0	54,0	56,0	2,0	912,5
A55:B25 = 1:1	8,27	0,8477	0,034	1352,5	57,0	48,0	55,0	7,0	782,5
A55:B35 = 1:1	8,31	0,8424	0,034	1732,5	72,0	64,0	68,0	4,0	984,0
A55:B25 = 1:1	8,25	0,8330	0,036	1282,5	60,0	65,0	70,0	5,0	1029,0
A55:B35 = 1:1	8,29	0,8638	0,024	917,5	65,0	67,0	71,0	4,0	615,5
A65:B15 = 1:1	8,21	0,8330	0,035	1360,0	74,0	50,0	53,0	3,0	1052,5
A65:B25 = 1:1	8,24	0,8273	0,038	1438,0	77,0	59,0	62,0	3,0	1131,5
A65:B35 = 1:1	8,20	0,8638	0,025	937,5	74,0	60,0	67,0	7,0	641,5
A65:B25 = 1:1	8,22	0,8260	0,041	1531,5	74,0	58,0	61,0	3,0	1254,5
A65:B35 = 1:1	8,16	0,8533	0,026	1207,5	67,0	64,0	71,0	7,0	694,0

A15: Cl<sup>-</sup> = 635 mg/l  
 A25: Cl<sup>-</sup> = 935 mg/l  
 A35: Cl<sup>-</sup> = 1403 mg/l  
 A45: Cl<sup>-</sup> = 1623 mg/l  
 A55: Cl<sup>-</sup> = 1904 mg/l  
 A65: Cl<sup>-</sup> = 2254 mg/l

B15: Cl<sup>-</sup> = 51 mg/l  
 B25: Cl<sup>-</sup> = 112 mg/l  
 B35: Cl<sup>-</sup> = 161 mg/l



Analisando-se os resultados mostrados nas tabelas 6.A1, (sistema I) 6.C1a e 6.C1b (sistema II) percebe-se que cerca 75% das misturas tipo MD, resultaram em concentrações de cloreto abaixo de 600 mg/l, o que implica num grau de salinidade aceitável para consumo humano.

Das tabelas 6.A1, 6.C1a e 6.C1b e a partir dos resultados obtidos para a concentração de Cl<sup>-</sup> nas misturas realizadas na proporção de 1:1 (uma parte de água de alta salinidade para uma parte de água dessalinizada), percebe-se que:

(a) Uma mistura que resulta numa concentração de cloreto-Cl<sup>-</sup> em torno de 400 mg/l pode ser considerada boa quando se compara com valor de Cl<sup>-</sup> da água bruta. Levando em consideração que o fator de diluição de 1:1 é ideal porque produz um volume maior de água potável com relação ao teor salino, e que essa proporção implica num menor volume de água dessalinizada, conclui-se que para uma água bruta com Cl<sup>-</sup> em torno de 800 mg/l, uma mistura com um fator de diluição de 1:1 pode ser considerada adequada para o tratamento da salinidade de tal água.

(b) Para uma mistura resultando em Cl<sup>-</sup> em torno de 600 mg/l a seguinte análise pode ser feita: para este valor de Cl<sup>-</sup> a água já é considerada salobra, e não é uma água de boa qualidade. Quando se considera que a concentração de Cl<sup>-</sup> da água bruta é maior que 1000 mg/l, chega-se a conclusão de



que a qualidade da água obtida na mistura passa a ser aceitável, principalmente, quando for o caso de se dispor apenas de uma água com as características da água inicial. Uma mistura ideal de água de alta salinidade com a mesma água dessalinizada, considerando  $\text{Cl}^-$  da água bruta entre 1000 mg/l e 1500 mg/l seria aquela com um fator de diluição de 1:2, que resultaria em  $\text{Cl}^-$  em torno de 400 mg/l.

(3) Para uma mistura em que a concentração de cloreto se apresenta acima de 800 mg/l, que é considerada uma água de alta salinidade, duas alternativas devem ser analisadas:

(a) a água resultante da mistura na proporção de 1:1 (que produz  $\text{Cl}^-$  acima 800 mg/l, deve ser novamente dessalinizada e misturada, a fim de resultar numa água com concentração de  $\text{Cl}^-$  dentro da faixa aceitável para consumo humano;

(b) para se obter uma água com concentração de cloreto em níveis adequados para consumo humano, o fator de diluição da mistura deveria ser no mínimo de 1:4 (uma parte de água de alta salinidade para quatro partes de água dessalinizada). Este fator de diluição não é considerado bom, pois demandaria de um volume de água dessalinizada muito grande, tornando o processo inviável do ponto de vista econômico. Por outro lado, se o dessalinizador utilizado para dessalinização da água for do tipo "múltiplo efeito", por exemplo, com produção maior de água dessalinizada do que o convencional (utilizado nesta pesquisa), uma mistura nesta proporção passaria a ser

economicamente viável.

Analisando-se os dados das tabelas 6.B1, 6.D1a e 6.D1b que mostram os resultados obtidos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB), nota-se que cerca de 60% das misturas realizadas resultaram em concentrações de cloreto abaixo de 600 mg/l, que é o limite máximo permissível para consumo humano.

Para a análise do fator de diluição neste tipo de mistura (MB), não foi considerado como ideal aquele fator de diluição que utiliza a proporção de uma parte de água de alta salinidade para uma parte de água de baixa salinidade. Isto se deve ao fato de que a água de baixa salinidade não necessita de dessalinização, e apesar de não ser abundante na região é disponível, o que torna o processo de mistura viável para qualquer fator de diluição utilizado.

#### 6.4 - APLICAÇÃO DA TEORIA DE MISTURAS DE ÁGUAS E UTILIZAÇÃO DOS DIAGRAMAS TIPO "Deffeye" E MODIFICADO DE CALDWELL-LAWRENCE -MCL (LOEWENTHAL & MARAIS, 1976)

Para a aplicação adequada da teoria desenvolvida por Loewenthal & Marais (1976), foi necessária a determinação teórica dos seguintes parâmetros físico-químicos: Alcalinidade Total -  $Alc^T$  (mg/lCaCO<sub>3</sub>), Cálcio -  $Ca^{2+}$  (mg/lCaCO<sub>3</sub>), Acidez-Ac (mg/lCaCO<sub>3</sub>),  $C^2$  (mg/lCaCO<sub>3</sub>), pH,

Cálcio à saturação -  $Ca^{2+}$  (mg/ $CaCO_3$ ) e pH de saturação - pHs.

(a) Alcalinidade total - AlcT (mg/ $CaCO_3$ ):

A alcalinidade total teórica das águas resultantes das misturas, foi determinada a partir dos valores experimentais médios de alcalinidade total das águas misturadas, ou seja:

Supondo "A" uma água de alta salinidade e "B" uma água dessalinizada ou de baixa salinidade, a alcalinidade teórica da mistura (m) de A + B será: (Loewenthal & Marais, 1976).

$$Alc^t(m) = x \cdot Alc^{(exp)} A + y \cdot Alc^{(exp)} B \quad (75)$$

onde,

$Alc^{(exp)}$  = alcalinidade da amostra de água determinada experimentalmente;

"x" e "y" são os coeficientes de proporção das misturas.

(b) Acidez - Ac (mg/ $CaCO_3$ )

A acidez teórica das águas de alta salinidade (AS), baixa salinidade (BS) e dessalinizadas (AD) foi determinada através da equação (61) deste trabalho: (Loewenthal & Marais, 1986).



$$[Alc] = \left( \frac{1 + 2 \times 10^{(pH - pK'2)}}{1 + 2 \times 10^{(pK'1 - pH)}} \right) \cdot (Ac + 10^{(pH - pK'w)} - 10^{-pH})$$

onde,

pH = pH medido ou observado

pK'1 = 6,37 para T = 25°C

pK'2 = 10,33 para T = 25°C

pK'w = 14,0 para T = 25°C

Alc = Alcalinidade da amostra (AS, BS ou AD) em moles/l

A acidez teórica das misturas foi determinada de modo similar à Alc após obtidos os valores teóricos de acidez das águas brutas (AS, BS e AD), usando-se a teoria de misturas (Loewenthal & Marais, 1976) da seguinte maneira:

$$Act(m) = x \cdot Ac(t) A + y \cdot Ac(t) B \quad (77)$$

onde,

Ac(t) = acidez da amostra de água pura determinada via eq. (61)

"x" e "y" são os coeficientes de proporção das misturas.

(c) C<sup>2</sup> (mg/l CaCO<sub>3</sub>)

O parâmetro C<sup>2</sup> representado pelo eixo das abscissas no diagrama MCL, foi determinado subtraindo-se os valores de cálcio da alcalinidade, ou seja:

$$C^2 = Alc - Ca_{2+}$$

## (d) pH

Os valores de pH teórico das misturas de águas foram determinados através do diagrama tipo "Deffeye", a partir dos valores de alcalinidade e acidez da amostra, da seguinte forma:

A partir do valor da força iônica - I e da temperatura ( $T_{oC}$ ) da amostra, selecionava-se o diagrama tipo "Deffeye" ou de Alc x Ac x pH, e com os valores de Alc e Ac calculados nos itens (a) e (b), respectivamente, determinava-se o pH das misturas.

A fig. 6.1 mostra o exemplo da determinação do pH, para a mistura A1S:A1D = 1:3, (tab 6.A2) para os valores de Alc = 55 mg/1CaCO<sub>3</sub>, Ac = 59 mg/CaCO<sub>3</sub>, I = 0,010 e T = 25°C, obtendo-se um pH = 7,80.

(e) Ca<sup>2+</sup> (mg/1CaCO<sub>3</sub>) e pHs

A determinação dos parâmetros cálcio à saturação - Ca<sup>2+</sup> e de pH de saturação - pH<sup>s</sup> se reporta à necessidade de se estabelecer o grau de saturação das águas com relação à precipitação ou dissolução de carbonato de cálcio - CaCO<sub>3</sub>.

A metodologia teórica para determinar Ca<sub>2+</sub>s e pHs utilizando o Diagrama Modificado de Caldwell-Lawrence-MCL,



através dos valores teóricos de Alc,  $Ca_{2+}$  e pH, é apresentada a seguir:

O cálcio à saturação -  $Ca_{2+}$  é obtido no diagrama, mediante a intersecção das linhas de Alc e pH. O pHs é representado pelo ponto que intersepta as linhas de  $Ca_{2+}$  inicial e de Alc inicial da água.

A fig. 6.2 mostra o exemplo da determinação de  $Ca_{2+}$  e pHs, para a mistura A1S:A1D = 1:3 (tab 6.A2) com as seguintes características iniciais: Alc = 55 mg/l  $CaCO_3$ ,  $Ca_{2+}$  = 21 mg/l  $CaCO_3$ , pH = 7,80, e I = 0,009 e T = 25°C, fornecendo os seguintes valores:  $Ca_{2+}$  = 242 mg/l  $CaCO_3$  e pHs = 8,90 (ver tab. 6A2).

A utilização dos diagramas tipo "Deffeye" e "MCL", requer ainda o conhecimento de mais dois parâmetros, que são a força iônica e a temperatura da água, pois é a partir destes, que o diagrama a ser utilizado é selecionado.

Considerando que a temperatura foi mantida constante em 25°C durante todos os experimentos, foi também adotada essa temperatura como valor teórico.

Para a determinação da força iônica foram considerados os valores teóricos de todos os parâmetros calculados considerando os valores teóricos de todos os íons presentes na água. Nos cálculos foram também considerados os teores de cloreto das águas, já que esse parâmetro tem

influência significativa no valor da força iônica devido a sua magnitude, como também a concentração teórica de cálcio. Para o cálculo dessas concentrações foi considerado o mesmo princípio utilizado para a determinação parâmetros alcalinidade e acidez; ou seja, a teoria de mistura de águas. Dessa forma, propõe-se para o cálculo do valor teórico de cloreto presente nas misturas de águas (MD ou MB).

$$\text{Cl}^{-t} (m) = x \cdot \text{Cl}^{-(\text{exp})} A + y \cdot \text{Cl}^{-(\text{exp})} B \quad (78)$$

De modo idêntico, propõe-se para o cálculo do teor de cálcio teórico das misturas a expressão:

$$\text{Ca}_{2+}^t (m) = x \cdot \text{Ca}_{2+}^{(\text{exp})} A + y \cdot \text{Ca}_{2+}^{(\text{exp})} B \quad (79)$$

onde,

$\text{Cl}^{-(\text{exp})}$  = concentração de cloreto da água pura determinado experimentalmente;

$\text{Ca}_{2+}^{(\text{exp})}$  = concentração de cálcio da água pura determinada experimentalmente;

"x" e "y" são os coeficientes de proporção das misturas.

O conhecimento dos valores teóricos de tais parâmetros permitiu a determinação da força iônica teórica através da equação (1) abaixo:

$$I = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2$$

onde,

$c_i$  = concentração molar da espécie iônica

$z_i$  = valência da espécie iônica



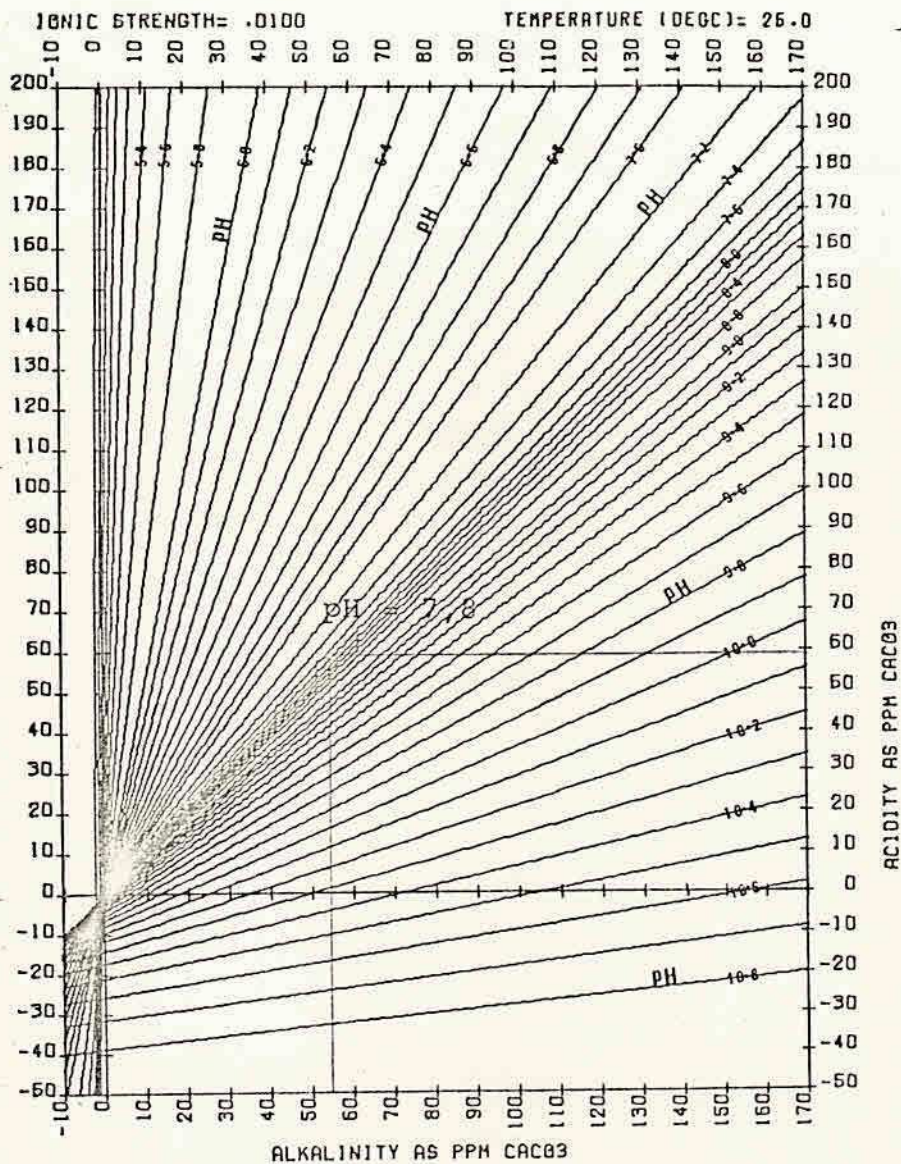
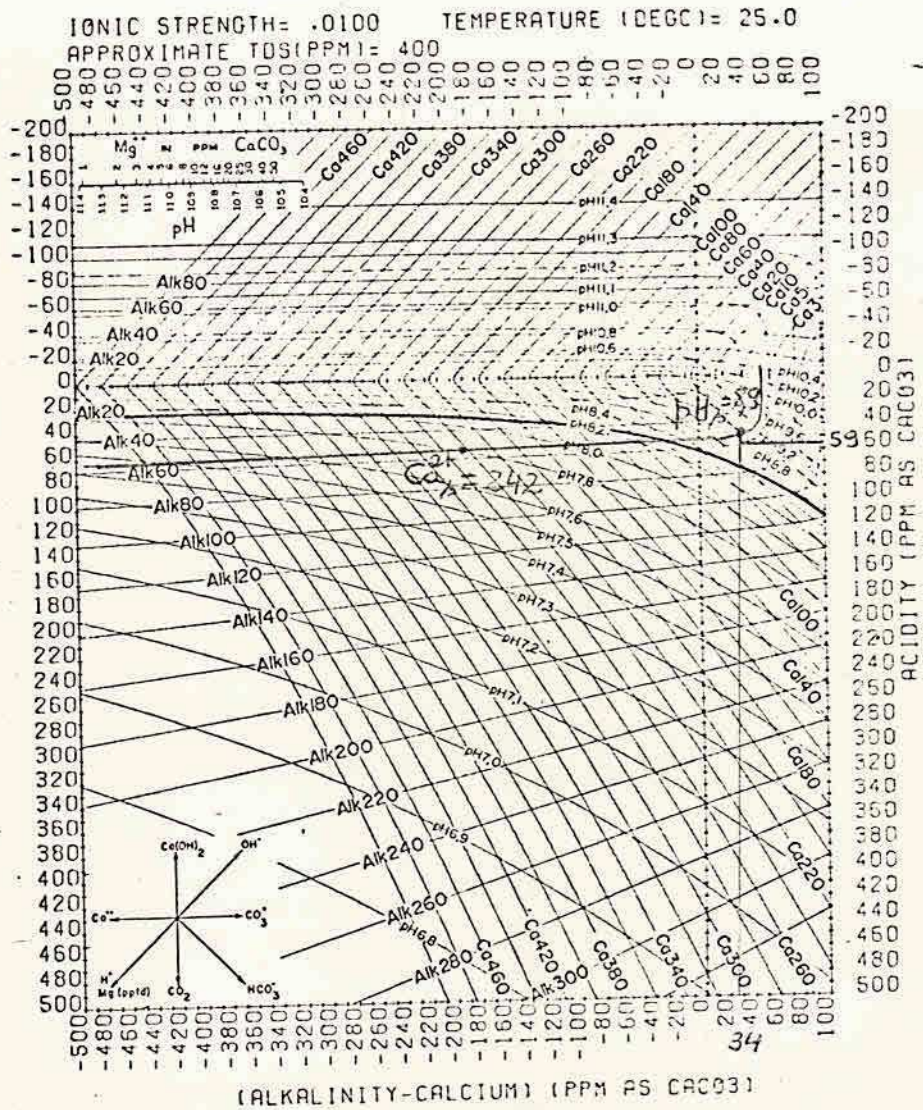


Fig. 6.1 - Diagrama tipo "Deffeye" para determinação do pH, da mistura (A1S:A1D = 1:3) do sistema I (Loewenthal & Marais, 1976).



potencial de dissolução = 5 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Fig. 6.2 - Diagrama Modificado de Caldwell-Lawrence (MCL) para determinação dos valores de cálcio à saturação (Ca<sup>2+</sup>) e do pH de saturação.



TABELA 6.A2 - Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema I, a 25 °C.

TIPO E PROPOR-	VIA TEORIA DE MISTURA (mg/CaCO <sub>3</sub> )				VIA DIAGRAMA MCL (mg/1CaCO <sub>3</sub> )				OBSERVAÇÕES			
	Alct	Ca2+	Ac	C2	IDEFFEYE	pH	C1-	I		Cas2+	pHs	ISL
CRO DE MISTURA												
MISTURAS COM C1- ≤ 200 mg/l												
A1S:A1D	1:3	55,0	21,0	59,0	34,0	7,80	208,0	0,009	242,0	8,90	-1,10	Dissolve 6X
A1S:A1D	1:4	45,0	17,0	49,0	28,0	7,65	167,0	0,007	410,0	9,05	-1,40	Dissolve 7X
MISTURAS COM 200 mg/l ≤ C1- ≤ 400 mg/l												
A1S:A1D	1:1	106,0	43,0	110,0	63,0	8,00	410,0	0,017	90,0	8,35	-0,35	Dissolve 4X
A1S:A1D	1:2	72,0	28,0	76,0	44,0	7,90	275,0	0,011	155,0	8,62	-0,70	Dissolve 5X
A2S:A2D	1:3	82,0	23,0	84,0	59,0	8,00	341,0	0,013	115,0	8,45	-0,45	Dissolve 2X
A2S:A2D	1:4	67,0	18,0	69,0	49,0	7,90	273,0	0,010	160,0	8,90	-1,00	Dissolve 5X
MISTURAS COM 400 mg/l ≤ C1- ≤ 600 mg/l												
A2S:A2D	1:2	107,0	31,0	109,0	76,0	8,05	454,0	0,017	80,0	8,45	-0,04	Dissolve 5X
A3S:A3D	1:3	29,0	24,0	29,0	5,0	7,80	590,0	0,019	-	9,40	-1,60	Dissolve 5X
A3S:A3D	1:4	24,0	19,0	24,0	5,0	7,80	474,0	0,016	480,0	9,40	-1,60	Dissolve 5X
MISTURAS C1- > 600												
A2S:A2D	1:1	157,0	46,0	160,0	110,0	-	679,0	0,026	-	-	-	-
A3S:A3D	1:1	55,0	48,0	55,0	7,0	-	1176,0	0,038	-	-	-	-
A3S:A3D	1:2	37,0	32,0	37,0	5,0	-	786,0	0,024	-	-	-	-

TABELA 6.B2 - Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema I, a 25°C.

TIPO E PROPORÇÃO DE MISTURA (mg/CaCO <sub>3</sub> )	DIAGRAMA I		DIAGRAMA MCL (mg/1CaCO <sub>3</sub> )		OBSERVAÇÕES					
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg				
MISTURAS COM 200 mg/l ≤ Cl- ≤ 400 mg/l										
A15:B15 1:3	103,0	71,0	152,0	59,0	8,25	238,0	0,015	8,15	+0,10	Precipita 1X
A15:B25 1:3	193,0	99,0	195,0	94,0	-	295,0	0,020	7,65	-	-
A15:B35 1:3	129,0	60,0	151,0	69,0	8,15	313,0	0,016	8,15	0,00	Saturada
A25:B15 1:3	155,0	73,0	157,0	82,0	-	373,0	0,019	7,88	-	-
MISTURAS COM 400 mg/l < Cl- ≤ 600 mg/l										
A15:B15 1:1	156,0	76,0	158,0	80,0	-	431,0	0,022	-	-	-
A15:B25 1:1	198,0	95,0	209,0	103,0	-	458,0	0,025	-	-	-
A15:B35 1:1	155,0	69,0	156,0	86,0	-	480,0	0,022	-	-	-
A25:B15 1:1	205,0	79,0	209,0	126,0	-	701,0	0,030	-	-	-
A25:B25 1:3	218,0	101,0	220,0	117,0	-	430,0	0,024	-	-	-
A25:B35 1:3	154,0	62,0	156,0	92,0	-	448,0	0,021	-	-	-
A35:B15 1:3	105,0	74,0	105,0	31,0	-	620,0	0,029	-	-	-
MISTURAS COM Cl- > 600 mg/l										
A25:B25 1:1	247,0	98,0	251,0	149,0	-	739,0	0,034	-	-	-
A25:B35 1:1	205,0	72,0	208,0	133,0	-	750,0	0,031	-	-	-
A35:B15 1:1	106,0	81,0	106,0	25,0	-	1196,0	0,042	-	-	-
A35:B25 1:1	146,0	100,0	148,0	46,0	-	1233,5	0,046	-	-	-
A35:B25 1:3	168,0	102,0	168,0	66,0	-	678,0	0,030	-	-	-
A35:B35 1:1	105,0	74,0	105,0	31,0	-	1246,0	0,043	-	-	-
A35:B35 1:3	105,0	63,0	105,0	42,0	-	696,0	0,027	-	-	-



TABELA 6.C2a - Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas do sistema II, a 25 °C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	VIA TEORIA DE MISTURA (mg/CaCO <sub>3</sub> )										VIA DIAGRAMA MCL (mg/1CaCO <sub>3</sub> )		OBSERVAÇÕES
	Alct	Ca2+	Ac	C2	pH	DEFFEYE	C1-	I	Cas2+	pHs	ISL	X	
MISTURAS COM C1- ≤ 200 mg/l													
A1S:A1D 1:3	34,0	34,0	37,0	0,0	7,70	170,0	0,008	-	8,90	-1,20	Dissolve 8X		
A1S:A1D 1:4	29,0	30,0	36,0	-1,0	7,25	138,0	0,007	-	9,00	-1,75	Dissolve 8X		
A1S:A1D 1:5	27,0	27,0	30,0	0,0	7,60	116,0	0,006	-	8,15	-1,60	Dissolve 7X		
A2S:A2D 1:5	20,0	8,0	22,0	12,0	7,48	162,0	0,006	-	9,31	-1,83	-		
MISTURAS COM C1- ≤ 400 mg/l													
A1S:A1D 1:1	56,0	56,0	58,0	0,0	7,95	331,0	0,015	180,0	8,50	-0,55	Dissolve 4X		
A1S:A1D 1:2	41,0	41,0	44,0	0,0	7,80	224,0	0,010	320,0	8,70	-0,90	Dissolve 7X		
A2S:A2D 1:2	37,0	16,0	38,0	21,0	7,80	315,0	0,011	375,0	9,30	-1,50	Dissolve 5X		
A2S:A2D 1:3	29,0	12,0	30,0	17,0	8,18	234,0	0,009	202,0	9,65	-1,47	Dissolve 12X		
A2S:A2D 1:4	24,0	10,0	25,0	14,0	7,55	192,0	0,007	-	9,86	-2,31	Dissolve 8X		
A3S:A3D 1:3	31,0	19,0	34,0	12,0	7,60	358,0	0,013	-	9,30	-1,70	Dissolve 6X		
A3S:A3D 1:4	27,0	16,0	29,0	11,0	7,63	288,0	0,010	-	9,42	-1,80	Dissolve 8X		
A3S:A3D 1:5	24,0	14,0	26,0	10,0	7,95	241,0	0,010	390,0	9,65	-1,70	Dissolve 8X		
A4S:A4D 1:4	28,0	12,0	30,0	16,0	7,65	329,0	0,011	-	9,63	-1,98	Dissolve 8X		
A4S:A4D 1:5	24,0	10,0	27,0	14,0	7,58	275,0	0,010	-	10,10	-2,52	Dissolve 13X		
A5S:A5D 1:5	21,0	16,0	24,0	5,0	7,40	324,0	0,011	-	9,65	-2,25	Dissolve 9X		
A6S:A6D 1:5	27,0	16,0	30,0	11,0	7,60	381,0	0,013	-	9,42	-1,82	Dissolve 8X		

TABELA 6.C2b - Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) do sistema II, a 25 °C.

TIPO E PROPORÇÃO DE MISTURA	VIA DIAGRAMA MCL (mg/1CaCO3)   OBSERVAÇÕES											
	Alot	Ca2+	Ac	C2	DEFFEVE	pH	C1-	I	Ca2+	pHs	ISL	X = mg/ CaCO3
MISTURAS COM 400 mg/l ≤ C1- ≤ 600 mg/l												
A23:A20 1:1	53,0	25,0	54,0	28,0	8,05	469,0	0,016	160,0	8,85	-0,80	Dissolve	3X
A33:A30 1:2	39,0	23,0	41,0	16,0	7,80	474,0	0,016	380,0	9,05	-1,25	Dissolve	4X
A43:A40 1:3	40,0	20,0	42,0	20,0	7,85	544,0	0,016	320,0	9,15	-1,30	Dissolve	5X
A43:A40 1:3	32,0	15,0	35,0	17,0	7,85	409,0	0,013	445,0	9,60	-1,75	Dissolve	9X
A53:A50 1:3	29,0	21,0	31,0	8,0	7,68	482,0	0,016	-	9,20	-1,52	Dissolve	5X
A53:A50 1:4	24,0	18,0	26,0	6,0	7,65	387,0	0,013	-	9,40	-1,75	Dissolve	6X
A63:A60 1:3	34,0	20,0	37,0	14,0	7,60	569,0	0,018	-	9,20	-1,60	Dissolve	7X
A63:A60 1:4	30,0	18,0	33,0	12,0	7,58	459,0	0,015	-	9,35	-1,77	Dissolve	9X
MISTURAS COM C1- > 600 mg/l												
A35:A30 1:1	54,0	31,0	56,0	25,0	-	706,0	0,024	-	-	-	-	-
A45:A40 1:1	55,0	30,0	57,0	25,0	-	813,0	0,026	-	-	-	-	-
A55:A50 1:1	52,0	34,0	53,0	18,0	-	956,0	0,031	-	-	-	-	-
A55:A50 1:2	36,0	25,0	38,0	11,0	-	640,0	0,020	-	-	-	-	-
A65:A60 1:1	56,0	30,0	58,0	26,0	-	1130,0	0,036	-	-	-	-	-
A65:A60 1:2	41,0	25,0	44,0	18,0	-	756,0	0,024	-	-	-	-	-



TABELA 6.02a - Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II, a 25 °C.

TIPO E PROPORÇÃO DE MISTURA	DIAGRAMA I			DIAGRAMA II			DIAGRAMA III			OBSERVAÇÕES	
	Ac	Ca2+	Cl-	pH	Ca2+	Cl-	pHs	ISL	X = mg/1CaCO3		
MISTURA COM Cl- ≤ 200 mg/l											
A15:B15 1:3	59,0	61,0	60,0	-2,0	8,05	201,0	0,012	145,0	8,38	-0,33	Dissolve 2X
MISTURAS COM 200 mg/l < Cl- ≤ 400 mg/l											
A15:B15 1:1	75,0	74,0	73,0	-1,0	8,15	351,7	0,017	100,0	8,25	-0,10	Dissolve 1X
A15:B25 1:1	79,0	80,0	80,0	-1,0	8,00	382,5	0,018	120,0	8,20	-0,20	Dissolve 1X
A15:B25 1:3	69,0	63,0	75,0	6,0	7,85	247,0	0,014	195,0	8,26	-0,40	Dissolve 2X
A15:B35 1:3	62,0	67,0	63,0	-5,0	8,00	284,0	0,014	133,0	8,28	-0,28	Dissolve 3X
A25:B15 1:3	60,0	48,0	61,0	12,0	8,05	271,0	0,014	140,0	8,45	-0,40	Dissolve 1X
A25:B25 1:3	70,0	51,0	70,0	19,0	8,20	317,0	0,015	80,0	8,40	-0,25	Dissolve 1X
A25:B35 1:3	63,0	54,0	64,0	9,0	8,15	354,0	0,015	105,0	8,42	-0,27	Saturada
A35:B15 1:3	63,0	50,0	60,0	13,0	8,50	389,0	0,018	0,0	8,50	0,00	Dissolve 3X
A45:B15 1:5	55,0	58,0	56,0	-3,0	8,20	312,0	0,015	115,0	8,55	-0,35	Dissolve 3X
A45:B25 1:5	61,0	43,0	67,0	18,0	8,73	363,0	0,015	320,0	8,53	-0,80	Dissolve 2X
A55:B25 1:5	65,0	43,0	66,0	22,0	8,20	404,0	0,015	98,0	8,55	-0,25	Dissolve 2X



TABELA 6.02b - Resultados teóricos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II, a 25,0 C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	IVIA TEORIA DE MISTURA (mg/CaCO3)				IVIA DIAGRAMA MCL (mg/1CaCO3)				OBSERVACOES		
	Alot	Ca2+	Ac	C2	Cl-	I	Cas2+	pHs		ISL	X = mg/1CaCO3
MISTURAS COM 400 mg/l < Cl- ≤ 600 mg/l											
A15:B35 1:1	75,0	78,0	75,0	3,0	8,20	407,0	0,018	75,0	8,20	0,00	Saturada
A25:B15 1:1	74,0	49,0	74,0	25,0	-	492,0	0,019	-	-	-	-
A25:B25 1:1	81,0	50,0	81,0	31,0	-	522,0	0,020	-	-	-	-
A25:B35 1:1	76,0	52,0	76,0	24,0	-	547,5	0,022	-	-	-	-
A35:B15 1:1	75,0	74,0	80,0	-1,0	-	726,0	0,028	-	-	-	-
A35:B25 1:3	69,0	63,0	70,0	6,0	-	435,0	0,019	-	-	-	-
A35:B35 1:3	65,0	67,0	63,0	-3,0	-	471,0	0,020	-	-	-	-
A45:B15 1:3	60,0	61,0	61,0	-1,0	-	443,0	0,019	-	-	-	-
A45:B25 1:3	70,0	63,0	71,0	7,0	8,00	489,0	0,018	130,0	8,30	-0,30	Dissolve 1X
A45:B35 1:3	63,0	57,0	64,0	6,0	-	526,0	0,021	-	-	-	-
A45:B35 1:5	59,0	56,0	60,0	3,0	8,20	404,5	0,016	108,0	8,40	-0,20	Dissolve 1X
A55:B15 1:5	54,0	50,0	56,0	4,0	7,70	359,0	0,015	315,0	8,50	-0,80	Dissolve 4X
A55:B25 1:3	69,0	53,0	70,0	16,0	-	560,0	0,022	-	-	-	-
A55:B35 1:5	58,0	54,0	59,0	4,0	8,00	410,0	0,018	165,0	8,45	-0,45	Dissolve 3X
A65:B15 1:3	60,0	48,0	60,0	0,0	-	601,0	0,022	-	-	-	-
A65:B15 1:5	55,0	48,0	56,0	7,0	8,00	418,0	0,017	165,0	8,50	-0,50	Dissolve 3X
A65:B25 1:5	66,0	51,0	67,0	15,0	8,20	469,0	0,018	-	8,40	-0,20	Dissolve 2X
A65:B35 1:5	58,0	54,0	59,0	4,0	-	510,0	0,020	-	-	-	-
MISTURAS COM Cl- > 600 mg/l											
A35:B25 1:1	80,0	52,0	80,0	28,0	-	757,0	0,028	-	-	-	-
A35:B35 1:1	76,0	50,0	76,0	26,0	-	782,0	0,028	-	-	-	-
A45:B15 1:1	74,0	54,0	74,0	20,0	-	837,0	0,030	-	-	-	-
A45:B25 1:1	80,0	56,0	81,0	24,0	-	867,5	0,031	-	-	-	-
A45:B35 1:1	76,0	58,0	76,0	18,0	-	891,0	0,032	-	-	-	-
A55:B15 1:1	72,0	54,0	72,0	18,0	-	977,0	0,032	-	-	-	-
A55:B15 1:3	59,0	51,0	60,0	9,0	-	514,0	0,020	-	-	-	-
A55:B25 1:1	78,0	55,0	78,0	23,0	-	1008,0	0,038	-	-	-	-
A55:B35 1:1	74,0	57,0	74,0	17,0	-	1032,0	0,035	-	-	-	-
A55:B35 1:3	62,0	56,0	63,0	6,0	-	597,0	0,023	-	-	-	-
A65:B15 1:1	75,0	49,0	74,0	24,0	-	1152,0	0,038	-	-	-	-
A65:B25 1:1	80,0	50,0	81,0	30,0	-	1183,0	0,039	-	-	-	-
A65:B25 1:3	69,0	51,0	71,0	19,0	-	647,0	0,024	-	-	-	-
A65:B35 1:1	75,0	52,0	76,0	25,0	-	1207,0	0,040	-	-	-	-
A65:B35 1:3	65,0	54,0	64,0	9,0	-	684,0	0,025	-	-	-	-

Os resultados teóricos obtidos a partir da utilização da teoria desenvolvida por Loewenthal & Marais (1976) e metodologia proposta nesta pesquisa são apresentados nas tabelas 6.A2 e 6.B2 para as misturas com águas do sistema I, e nas tabelas 6.C1a, 6.C1b, 6.D1a e 6.D1b para as misturas com águas do sistema II.

A análise das tabelas de resultados teóricos acima apresentadas, mostra que estes resultados se aproximam bastante dos valores obtidos experimentalmente, o que comprova a validade da teoria de mistura desenvolvida por Loewenthal & Marais (1976), para a determinação da alcalinidade e acidez, e mostra que também pode ser estendida para determinação dos valores de cálcio e de concentração de cloreto fornecendo resultados muito próximos dos resultados determinados experimentalmente. Isto pode ser comprovado ao se observar as tabelas 6.A3, 6.B3, 6.C3a, 6.C3b, 6.D3a e 6.D3b que mostram a comparação entre os resultados experimentais e teóricos, e através das figuras 6.4 a 6.7 que mostram a relação existente entre a força iônica e a concentração de cloreto (experimental e teórica).

Da tab 6.A2 percebe-se que a maioria das águas resultantes das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) (sistema I), apresentaram características de leve subsaturação; ou seja, com potencial de dissolução em torno de  $5 \text{ mg/lCaCO}_3$ . Estes valores são considerados bons quando se considera que com o tempo esta

situação inicial das águas tende a mudar.

Os resultados teóricos obtidos das misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) (sistema I), são apresentados na tab 6.B2 e mostram que também nesses casos, a teoria de misturas forneceu valores teóricos muito próximos dos obtidos experimentalmente para as concentrações cálcio e cloreto. Neste tipo de mistura, a determinação do grau de saturação foi possível apenas para dois resultados porque o valor da força iônica foi maior que o máximo disponível nos gráficos da literatura consultada (Loewenthal & Marais, 1976).

Os resultados teóricos obtidos das misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD) (sistema II), são apresentados nas tabelas 6.C2a e 6.C2b e podem ser interpretados da seguinte maneira: também neste caso, os resultados teóricos forneceram uma boa aproximação dos experimentais. O grau de saturação das misturas de águas é caracterizado por uma tendência à subsaturação, com potencial de dissolução em torno de 8 mg/lCaCO<sub>3</sub>, que é considerado um valor um pouco alto.

Nas tabelas 6.D2a e 6.D2b são apresentados os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (sistema II). A interpretação do grau de saturação mostrou uma leve subsaturação, sendo que em alguns casos a água apresentou

características de saturação.

TABELA 6.A3 - Comparacao entre os valores medios experimentais e os resultados teoricos para as misturas de aguas de alta salinidade com aguas dessalinizadas (MD) do sistema I, a 25 °C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	Cl <sup>-</sup> (mg/l)		I		AlcT(mg/lCaCO3)		Ca <sup>2+</sup> (mg/CaCO3)		pH		OBSERVACOES COM X = mg/lCaCO3
	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	
MISTURAS COM Cl <sup>-</sup> ≤ 200 mg/l											
A1S:A1D = 1:3	200,0	208,0	0,010	0,009	58,0	55,0	24,0	21,0	8,12	7,80	Subsaturada
A1S:A1D = 1:4	167,5	167,0	0,008	0,007	45,0	45,0	20,0	17,0	8,07	7,65	Subsaturada
MISTURAS COM 200 mg/l ≤ Cl <sup>-</sup> ≤ 400 mg/l											
A1S:A1D = 1:1	402,5	410,0	0,015	0,017	105,0	110,0	36,0	43,0	8,18	8,00	Subsaturada
A1S:A1D = 1:2	272,5	275,0	0,011	0,011	71,0	76,0	28,0	28,0	8,11	7,90	Subsaturada
A2S:A2D = 1:3	327,5	341,0	0,015	0,013	104,0	84,0	22,0	23,0	8,19	8,00	Subsaturada
A2S:A2D = 1:4	257,5	273,0	0,010	0,010	82,0	69,0	20,0	18,0	8,25	7,90	Subsaturada
MISTURAS COM 400 mg/l < Cl <sup>-</sup> ≤ 600 mg/l											
A2S:A2D = 1:2	431,0	454,0	0,020	0,017	133,0	107,0	22,0	31,0	8,27	8,05	Subsaturada
A3S:A3D = 1:3	575,5	590,0	0,022	0,019	35,0	29,0	22,0	24,0	8,18	-	-
A3S:A3D = 1:4	475,0	474,0	0,015	0,016	39,0	24,0	20,0	19,0	8,19	7,80	Subsaturada
MISTURAS COM Cl <sup>-</sup> > 600 mg/l											
A2S:A2D = 1:1	615,0	679,0	0,023	0,026	163,0	156,0	32,0	46,0	8,28	-	-
A3S:A3D = 1:1	1075,0	1176,0	0,039	0,038	56,0	55,0	32,0	48,0	8,11	-	-
A3S:A3D = 1:1	777,5	786,0	0,028	0,024	41,0	37,0	29,0	32,0	8,16	-	-



TABELA 6.B3 - Comparacao entre os valores experimentais, medios e os resultados teoricos para as misturas de aguas de alta salinidade com aguas de baixa salinidade (MB) do sistema I, a 25<sup>o</sup> C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	Cl-(mg/l)		I		Alot(mg/lCaCO3)		Ca2+(mg/CaCO3)		pH		OBSERVACOES COM X = mg/lCaCO3	
	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR		
MISTURAS COM 200 mg/l ≤ Cl- ≤ 400 mg/l												
A1S:B1S = 1:3	251,5	238,0	0,015	0,015	135,0	130,0	73,0	71,0	8,32	8,25	Supersaturada	
A1S:B2S = 1:3	264,0	295,0	0,017	0,020	182,0	193,0	86,0	99,0	8,19	-	-	
A1S:B3S = 1:3	384,5	313,0	0,015	0,016	130,0	129,0	68,0	60,0	8,20	8,15	Supersaturada	
A2S:B1S = 1:3	342,5	373,0	0,022	0,019	181,0	155,0	78,0	73,0	8,17	-	-	
MISTURAS COM 400 mg/l < Cl- ≤ 600 mg/l												
A1S:B1S = 1:1	411,5	431,0	0,022	0,022	156,0	156,0	84,0	76,0	8,27	-	-	
A1S:B2S = 1:1	485,0	468,0	0,025	0,025	185,0	198,0	92,0	95,0	8,32	-	-	
A1S:B3S = 1:1	516,5	480,0	0,020	0,022	153,0	155,0	72,0	69,0	8,20	-	-	
A2S:B1S = 1:1	572,5	701,0	0,027	0,030	223,0	205,0	72,0	79,0	8,32	-	-	
A2S:B2S = 1:3	427,5	430,0	0,025	0,024	244,0	218,0	102,0	101,0	8,43	-	-	
A2S:B3S = 1:3	412,5	448,0	0,023	0,021	185,0	154,0	66,0	62,0	8,11	-	-	
A3S:B1S = 1:3	595,0	620,0	0,021	0,029	113,0	105,0	84,0	74,0	8,16	-	-	
MISTURAS COM Cl- > 600 mg/l												
A2S:B2S = 1:1	637,5	739,0	0,034	0,034	316,0	247,0	120,0	98,0	8,33	-	-	
A2S:B3S = 1:1	673,5	750,0	0,029	0,031	257,0	205,0	60,0	72,0	8,24	-	-	
A3S:B1S = 1:1	987,5	1196,0	0,037	0,042	102,0	106,0	92,0	81,0	8,20	-	-	
A3S:B2S = 1:1	1137,5	1233,5	0,042	0,046	113,0	146,0	84,0	100,0	8,12	-	-	
A3S:B2S = 1:3	645,0	678,0	0,022	0,030	121,0	168,0	78,0	102,0	8,32	-	-	
A3S:B3S = 1:1	1180,0	1246,0	0,041	0,043	103,0	105,0	76,0	74,0	8,13	-	-	
A3S:B3S = 1:3	595,0	696,0	0,022	0,027	106,0	105,0	66,0	63,0	8,15	-	-	

TABELA 6.C3a - Comparacao entre os valores medios experimentais e os resultados teoricos para as misturas de aguas de alta salinidade com aguas dessalinizadas (MD) do sistema II, com a 25 °C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	Cl- (mg/l)		I		AlcT(mg/lCaCO3)		Ca2+(mg/CaCO3)		PH		OBSERVACOES COM
	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	
MISTURAS COM Cl- ≤ 200 mg/l											
A13:A10 = 1:3	173,0	170,0	0,011	0,008	29,0	34,0	36,0	34,0	8,12	7,70	Subsaturada
A15:A10 = 1:4	131,0	138,0	0,011	0,007	41,0	29,0	24,0	30,0	7,86	7,25	Subsaturada
A15:A10 = 1:5	107,5	116,0	0,010	0,006	40,0	27,0	24,0	27,0	7,83	7,60	Subsaturada
A25:A20 = 1:5	198,0	162,0	0,006	0,006	36,0	20,0	19,0	8,0	7,84	7,48	-
MISTURAS COM 200 mg/l < Cl- ≤ 400 mg/l											
A13:A10 = 1:1	313,5	331,0	0,015	0,015	56,0	56,0	58,0	56,0	8,04	7,95	Subsaturada
A15:A10 = 1:2	231,0	224,0	0,012	0,010	31,0	41,0	47,0	41,0	7,92	7,80	Subsaturada
A25:A20 = 1:2	326,0	315,0	0,015	0,011	38,0	37,0	19,0	16,0	7,83	7,80	Subsaturada
A25:A20 = 1:3	284,0	234,0	0,012	0,009	35,0	29,0	23,0	12,0	7,94	8,18	Subsaturada
A25:A20 = 1:4	252,0	192,0	0,007	0,007	37,0	24,0	20,0	10,0	7,73	7,55	Subsaturada
A35:A30 = 1:3	384,0	358,0	0,014	0,013	43,0	31,0	29,0	19,0	8,03	7,60	Subsaturada
A35:A30 = 1:4	275,0	288,0	0,010	0,010	38,0	27,0	25,0	16,0	7,70	7,63	Subsaturada
A35:A30 = 1:5	226,5	241,0	0,010	0,010	36,0	24,0	24,0	14,0	7,08	7,95	Subsaturada
A45:A40 = 1:4	351,0	329,0	0,015	0,011	25,0	28,0	24,0	12,0	7,60	7,65	Subsaturada
A55:A50 = 1:5	302,5	275,0	0,012	0,010	24,0	24,0	20,0	10,0	7,45	7,58	Subsaturada
A55:A50 = 1:5	384,5	324,0	0,012	0,011	22,0	21,0	16,0	16,0	7,05	7,40	Subsaturada
A65:A60 = 1:5	388,0	381,0	0,013	0,013	29,0	27,0	19,0	16,0	7,45	7,60	Subsaturada

TABELA 6.C3b - Comparacao entre os valores medios experimentais e os resultados teoricos para as misturas de aguas de alta salinidade com aguas dessalizadas (MD) do sistema II, a 25<sup>o</sup> C.

TIPO E PROPOR- CAO DE MISTURA	Cl-(mg/l)		I		AlcT(mg/lCaCO3)		Ca2+(mg/CaCO3)		pH		OBSERVACOES COM X = mg/lCaCO3
	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	
MISTURAS COM 400 mg/l ≤ Cl- ≤ 600 mg/l											
A2S:A2D = 1:1	489,5	469,5	0,016	0,016	47,0	53,0	25,0	25,0	7,92	8,05	Subsaturada
A3S:A3D = 1:2	414,0	474,0	0,015	0,016	45,0	39,0	34,0	23,0	7,74	7,80	Subsaturada
A4S:A4D = 1:2	485,0	544,0	0,021	0,016	41,0	40,0	33,0	20,0	7,92	7,85	Subsaturada
A4S:A4D = 1:3	476,5	409,0	0,018	0,013	32,0	32,0	28,0	15,0	7,67	7,85	Subsaturada
A5S:A5D = 1:3	532,5	482,0	0,018	0,016	29,0	29,0	21,0	21,0	7,14	7,68	Subsaturada
A5S:A5D = 1:4	433,0	387,0	0,015	0,013	22,0	24,0	20,0	18,0	7,10	7,65	Subsaturada
A6S:A6D = 1:3	570,0	569,0	0,020	0,018	37,0	34,0	26,0	20,0	7,85	7,60	Subsaturada
A6S:A6D = 1:4	458,0	459,0	0,017	0,015	32,0	30,0	24,0	18,0	7,70	7,58	Subsaturada
MISTURAS COM Cl- > 600 mg/l											
A3S:A3D = 1:1	623,5	706,0	0,017	0,024	47,0	54,0	36,0	31,0	7,85	-	-
A4S:A4D = 1:1	773,5	813,0	0,026	0,026	47,0	55,0	40,0	30,0	7,97	-	-
A5S:A5D = 1:1	964,0	956,0	0,031	0,031	49,0	52,0	36,0	34,0	7,52	-	-
A5S:A5D = 1:2	649,0	640,0	0,020	0,020	36,0	36,0	29,0	25,0	7,32	-	-
A6S:A6D = 1:1	1127,0	1130,0	0,036	0,036	56,0	56,0	37,0	30,0	8,00	-	-
A6S:A6D = 1:2	762,0	756,0	0,023	0,024	46,0	41,0	31,0	23,0	7,96	-	-

TABELA 6.03a - Comparação entre os valores médios experimentais e os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II, com a 25°C.

TIPO E PROPOR- ÇÃO DE MISTURA	Cl <sup>-</sup> (mg/l)		I		AlcT(mg/lCaCO <sub>3</sub> )		Ca <sup>2+</sup> (mg/CaCO <sub>3</sub> )		pH		OBSERVAÇÕES COM X = mg/lCaCO <sub>3</sub>
	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	
MISTURAS COM Cl <sup>-</sup> ≤ 200 mg/l											
A1S:B1S = 1:3	181,5	201,0	0,010	0,012	56,0	59,0	54,0	61,0	8,17	8,05	Subsaturada
MISTURAS COM 200mg/l ≤ Cl <sup>-</sup> ≤ 400 mg/l											
A1S:B1S = 1:1	314,5	352,0	0,015	0,017	65,0	73,0	65,0	74,0	8,27	8,15	Subsaturada
A1S:B2S = 1:1	363,0	382,0	0,015	0,018	79,0	79,0	77,0	80,0	8,24	8,00	Subsaturada
A1S:B2S = 1:3	236,0	247,0	0,012	0,014	74,0	69,0	65,0	63,0	8,26	7,85	Subsaturada
A1S:B3S = 1:3	396,5	284,0	0,012	0,014	61,0	62,0	80,0	67,0	8,29	8,00	Subsaturada
A2S:B1S = 1:3	302,5	271,0	0,011	0,014	58,0	60,0	52,0	48,0	8,25	8,05	Subsaturada
A2S:B2S = 1:3	314,0	317,0	0,014	0,015	70,0	70,0	64,0	51,0	8,25	8,20	Subsaturada
A2S:B3S = 1:3	404,0	354,0	0,015	0,015	61,0	63,0	61,0	54,0	8,22	8,15	Subsaturada
A3S:B1S = 1:3	389,0	389,0	0,019	0,018	60,0	63,0	53,0	50,0	8,24	8,50	Subsaturada
A4S:B1S = 1:5	301,0	312,0	0,015	0,015	57,0	55,0	48,0	58,0	8,23	8,28	Subsaturada
A4S:B2S = 1:5	335,5	363,0	0,014	0,015	74,0	61,0	60,0	43,0	8,24	7,73	Subsaturada
A5S:B2S = 1:5	349,0	404,0	0,015	0,015	67,0	65,0	64,0	43,0	8,27	8,20	Subsaturada

TABELA 6.03b - Comparacao entre os valores experimentais medios e os resultados teóricos para as misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB) do sistema II, a 25 °C.

TIPO E PROPOR-	Cl-(mg/l)		I		AlcT(mg/lCaCO3)		Ca2+(mg/CaCO3)		pH		OBSERVAÇÕES COM
	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	EXP	TEOR	
MISTURAS COM 400 mg/l < Cl- ≤ 600 mg/l											
A15:B35 = 1:1	449,0	407,0	0,015	0,018	73,0	75,0	79,0	78,0	8,28	8,20	Saturada
A25:B15 = 1:1	499,0	492,0	0,021	0,019	70,0	74,0	47,0	49,0	8,27	-	-
A25:B25 = 1:1	519,0	522,5	0,024	0,020	63,0	81,0	57,0	50,0	8,14	-	-
A25:B35 = 1:1	599,0	547,0	0,023	0,022	75,0	76,0	61,0	52,0	8,26	-	-
A35:B15 = 1:1	605,0	726,0	0,022	0,028	71,5	73,0	56,0	74,0	8,28	-	-
A35:B25 = 1:3	412,5	435,0	0,020	0,019	70,0	69,0	57,0	63,0	8,23	-	-
A35:B35 = 1:3	426,5	471,0	0,020	0,020	57,0	63,0	64,0	67,0	8,19	-	-
A45:B15 = 1:3	418,0	443,5	0,020	0,019	62,0	60,0	51,0	61,0	8,21	-	-
A45:B25 = 1:3	464,0	489,0	0,019	0,018	71,0	70,0	57,0	63,0	8,23	8,00	Subsaturada
A45:B35 = 1:3	509,0	526,0	0,021	0,021	65,0	63,0	63,0	57,0	8,25	-	-
A45:B35 = 1:5	424,0	404,0	0,017	0,016	64,0	59,0	71,0	56,0	8,29	8,20	Subsaturada
A55:B15 = 1:5	485,0	359,0	0,020	0,015	56,0	54,0	51,0	50,0	8,30	7,70	Subsaturada
A55:B25 = 1:3	539,0	560,0	0,022	0,022	70,0	69,0	60,0	53,0	8,29	-	-
A55:B35 = 1:5	444,0	410,0	0,018	0,018	58,0	58,0	65,0	54,0	8,26	8,00	Subsaturada
A65:B15 = 1:3	574,0	601,0	0,022	0,022	63,0	60,0	52,0	48,0	8,16	-	-
A65:B15 = 1:5	412,5	418,0	0,015	0,017	58,0	55,0	57,0	48,0	8,10	8,00	Subsaturada
A65:B25 = 1:5	476,5	469,0	0,018	0,018	68,0	66,0	52,0	51,0	8,13	8,20	Subsaturada
A65:B35 = 1:5	536,5	510,0	0,022	0,020	62,0	58,0	71,0	54,0	8,18	-	-
MISTURAS COM Cl- > 600 mg/l											
A35:B25 = 1:1	736,5	757,5	0,027	0,028	79,0	80,0	60,0	52,0	8,30	-	-
A35:B35 = 1:1	775,0	782,0	0,027	0,029	67,0	76,0	48,0	50,0	8,13	-	-
A45:B15 = 1:1	773,5	837,0	0,028	0,030	75,0	74,0	56,0	54,0	8,31	-	-
A45:B25 = 1:1	763,5	867,0	0,028	0,031	83,0	80,0	56,0	56,0	8,27	-	-
A45:B35 = 1:1	802,0	891,0	0,030	0,032	78,0	76,0	64,0	58,0	8,37	-	-
A55:B15 = 1:1	912,5	977,0	0,031	0,032	68,0	72,0	54,0	54,0	8,22	-	-
A55:B25 = 1:3	782,5	514,0	0,030	0,020	57,0	59,0	48,0	51,0	8,27	-	-
A55:B35 = 1:1	984,0	1008,0	0,034	0,038	72,0	78,0	64,0	55,0	8,31	-	-
A55:B35 = 1:1	1029,0	1032,0	0,036	0,035	60,0	74,0	65,0	57,0	8,25	-	-
A55:B35 = 1:3	615,5	597,0	0,024	0,023	65,0	62,0	67,0	56,0	8,29	-	-
A65:B15 = 1:1	1052,5	1152,0	0,035	0,038	74,0	73,0	50,0	49,0	8,21	-	-
A65:B25 = 1:1	1131,5	1183,0	0,038	0,039	77,0	80,0	59,0	50,0	8,24	-	-
A65:B25 = 1:3	641,5	647,5	0,025	0,024	74,0	69,0	60,0	51,0	8,20	-	-
A65:B35 = 1:1	1254,5	1207,5	0,041	0,040	74,0	75,0	58,0	52,0	8,22	-	-
A65:B35 = 1:3	694,0	684,0	0,026	0,025	67,0	63,0	64,0	54,0	8,16	-	-



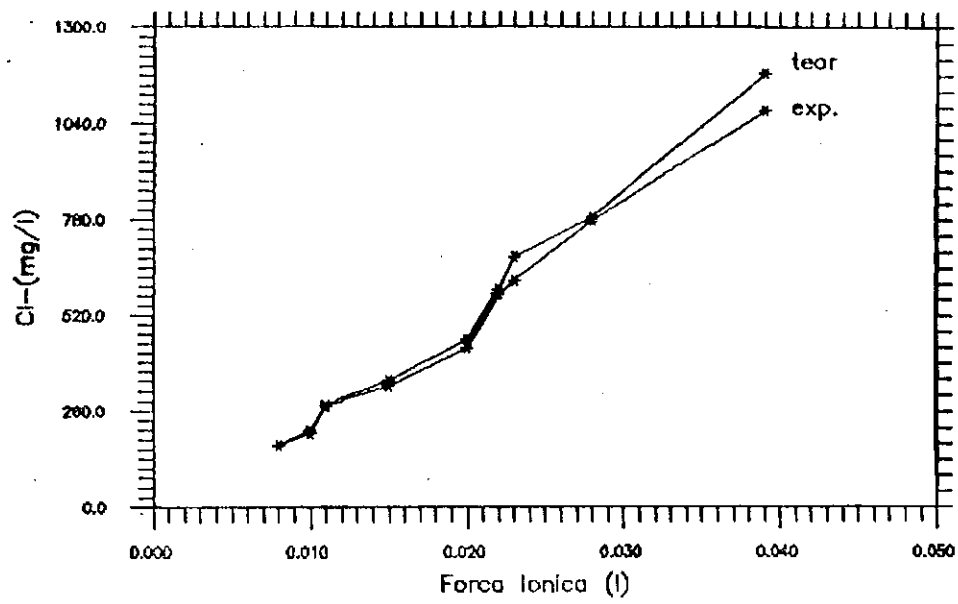


Fig.6.4 -Relação entre Cl- e I para MD do Sistema I.

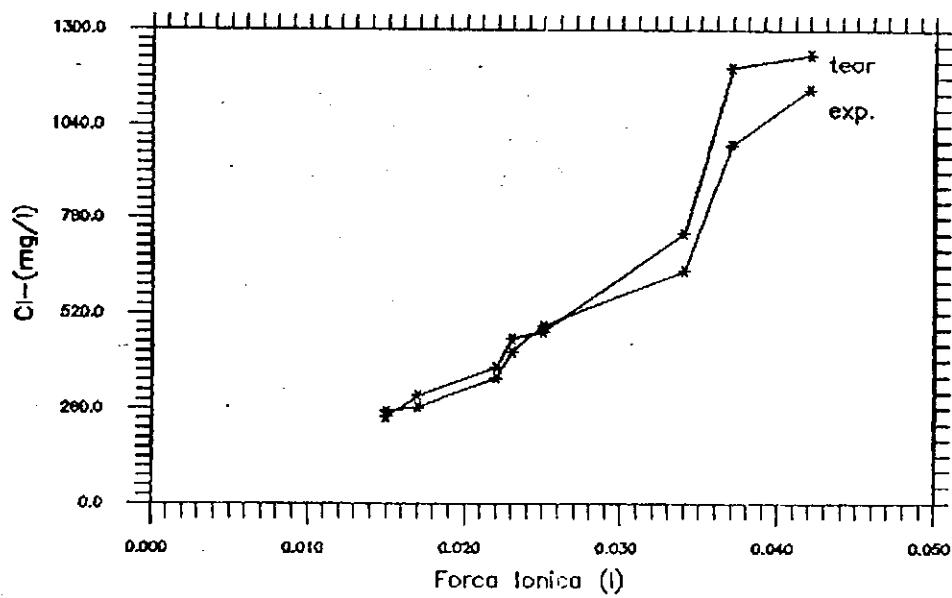


Fig.6.5 -Relação entre Cl- e I para MB do Sistema I.

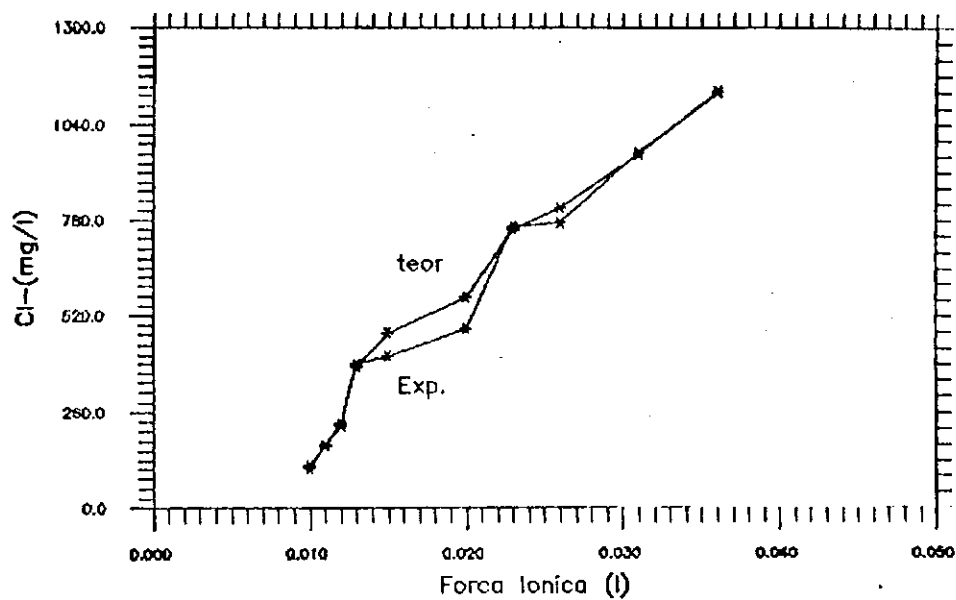


Fig.6.6 - Relacao entre Cl- e I para MD do Sistema II.

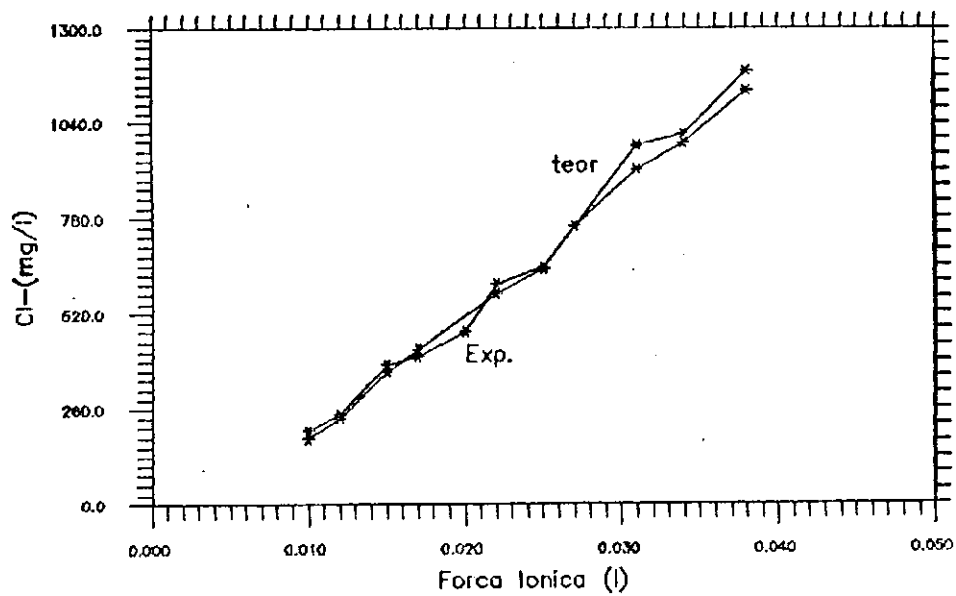


Fig.6.7 - Relacao entre Cl- e I para MB do Sistema II.

## CAPITULO VII

### CONCLUSOES E RECOMENDACOES

Um estudo de misturas de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (via dessalinizador solar) e com águas de baixa salinidade foi realizado com objetivo de diminuir o grau de salinidade das águas da região da Semi-Arido da Paraíba, de modo a torná-las potáveis. As conclusões e recomendações são apresentadas a seguir:

#### 7.1 CONCLUSOES

(1) O processo de tratamento de águas de alta salinidade através do dessalinizador solar mostrou ser eficiente porque reduz ou praticamente elimina a concentração de cloreto da água, ou seja; sua salinidade. O dessalinizador solar produz uma água deficiente em cálcio e espécies carbônicas. Dessa forma, conclui-se que o processo não pode ser utilizado sozinho para resolver problemas de qualidade de água.

(2) O processo de mistura de águas de alta salinidade com águas dessalinizadas (MD), mostrou ser um método eficiente e adequado para resolver problemas de qualidade e quantidade de água. A mistura de águas resulta em um maior volume de água com qualidade melhor que a água produzida pelo

dessalinizador. É válido salientar que todas as águas mostraram uma leve tendência a subsaturação.

(3) As misturas de águas de alta salinidade com águas de baixa salinidade (MB), também mostrou ser um bom processo para melhorar a qualidade da água com relação ao teor salino.

(4) O tratamento de águas através da mistura de águas (MD ou MB), permite o ajuste dos parâmetros físico-químicos como alcalinidade, acidez e pH, para valores aceitáveis para consumo humano sem nenhum condicionamento ou dosagem química.

(5) Com relação ao grau de saturação das águas, conclui-se que em todas as misturas (tanto do tipo MD como MB), as águas apresentaram tendências à subsaturação, com potencial de dissolução de carbonato de cálcio da ordem de 5 mg/lCaCO<sub>3</sub> para as misturas do sistema I, e de 8 mg/lCaCO<sub>3</sub> para as do sistema II. Loewenthal & Marais (1986) estabelecerem como princípio básico uma tendência à supersaturação (precipitação de carbonato de cálcio entre 4 e 5 mg/lCaCO<sub>3</sub>). Todavia, pode-se dizer que as águas são de boa qualidade, porque esse potencial de dissolução tende a desaparecer com tempo.

(6) Nas misturas tipo MB do sistema I, os potenciais de dissolução foram baixos, e as águas foram consideradas estáveis.

(7) Com relação ao fator de diluição das misturas, conclui-se que quanto maior o seu valor, menor a concentração de cloreto

da mistura. Para os demais parâmetros observou-se que isto acontece apenas até um fator de diluição de 1:3, pois acima deste, existe uma tendência de estabilização desses valores.

(8) A aplicação da teoria de mistura de Loewenthal & Marais (1976), com relação as espécies da fase aquosa (Alc, Ac e pH) no cálculo das concentrações teóricas de cloreto e de cálcio das misturas, provou ser eficiente pois esses resultados são bastante próximos dos valores experimentais.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES

(1) Para uma produção de água dessalinizada em quantidades maiores, aconselha-se o uso de outro tipo de dessalinizador. Pode ser usado por exemplo o dessalinizador solar de múltiplo efeito, com dez (10) estágio que produz aproximadamente seis (6) vezes mais água dessalinizada que o tipo convencional utilizado nesta pesquisa, para uma mesma área. Deve-se considerar no entanto, que a produtividade do dessalinizador solar depende, principalmente, da intensidade de radiação solar da região.

(2) Para águas de alta salinidade com concentração de cloreto ( $\text{Cl}^-$  > 1000 mg/l), recomenda-se que o processo de dessalinização seja realizado em múltiplas etapas. A água dessalinizada coletada na primeira etapa deve ser misturada com a água de alta salinidade, e esta deve ser sucessivamente dessalinizada e misturada até se obter uma concentração de cloreto em níveis aceitáveis para consumo humano.



## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1975) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14<sup>a</sup> ed. Washington, E.U.A. 1193 p.
- BENJAMIN, L.; LOEWENTHAL, R.E. & MARAIS, G.O.R. (1977) Calcium Carbonate Precipitation Kinetics, Part 2. Effects of Magnesium. Water S.A., Vol 3, No 3.
- BEZERRA, A.M. (1986) Aplicações Técnicas da Energia Solar, 2<sup>a</sup> Ed. João Pessoa, Editora Universitária/UFPb. 224p.
- BONIFACIO, M. (1990) Avaliação da Eficiência do Tratamento na ETA de Gravatá e Estudo Químico de Abrandamento e de Estabilização à 25°C. Tese de Mestrado, CCT-UFPb. Campina Grande.
- CALDWELL, D.H. & LAWRENCE, W.B. (1953) Water Softening and Conditioning Problems. E.U.A. Ind. Eng. Chem., 45(3). p 535-548.
- CAVALCANTI, B.F. & URTIGA, E.F. (1992) Análise de um sistema de tratamento de baixo custo para a remoção de ferro e manganês de águas subterrâneas. (a ser apresentado no 7<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1a4/12/92. Belo Horizonte - MG).

- CAVALCANTI, B.O.H. (1981) A Determinação da Alcalinidade em Aguas de Alta Salinidade. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza - Ce.
- CAVALCANTI, B.O.H. & LOEWENTHAL, R.E. (1981) Residual Liquid Junction Potencial in Binary Chloride Systems Research Report Nº W36 - Univ. Cap. Town, Africa do Sul.
- CETESB (1974) Água: Qualidade, Padrões de Potabilidade e Poluição. São Paulo. Caps 4 e 5.
- COMETTA, E. (1987) Energia Solar. Utilização e Empregos Práticos. Ed. Hemus. Tradução de Roberto de Paula Lima. São Paulo.
- COSTA, S.H. & CAVALCANTI, B.F. (1992) Interpretation of the Water Quality for Blending Natural and Dessalinized Waters for the Semi-Arid Region of Paraíba. I SIBESA - Seminário Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Rio Janeiro, Março 1992.
- DELLA PORTA, J.B. (1608), De Distillatione Libri IX. Roma (in DELYANNIS & DELYANNIS, 1984).
- DELYANNIS, A.A. & DELYANNIS, E. (1984) Solar Dessalination, Dessalination, 50. p 71-81.
- FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA DE SÃO PAULO (1970) Processos Simplificados para Exame e Análise da Água. SUBIN - USAID B.N.H.

- GARRELS, R.M. & THOMPSON, M.E. (1962) Amer. J.Sci, 260(7).
- HIRSCHMANN, J.R. (1970) Investigaciones de Energia Solar in Chile. Ciencia Interamericana, Vol 7 No 6.
- LAME, J. E. & MANSFIELD, W.W. Thermodynamics of Saline Water. (Saline and Water Use/Talsma T. and Philip, J.R. 1971) p 43-58).
- LANGELIER, W.F. (1936) The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment. E.U.A. Journal AWWA, 28, p. 1500.
- LAVOISIER, L. (1872) Premier Essai du Grand Verre Ardent. Memoires Academie Royale Science, 62. (in DELYANNIS & DELYANNIS, 1984).
- LOEWENTHAL, R.E. & MARAIS, G.V.R. (1976) Carbonate Chemistry of Aquatic Systems: Theory and Application. Ann. Arbor. Sc. Michigan, E.U.A.
- LOEWENTHAL, R.E., WIECHERS, H.M.S. & MARAIS, G.V.R. (1986) Softening and Stabilization of Municipal Waters. Water Research Comission. Pretoria, Africa do Sul.
- LOF, G.O.G. (1960) Design and Operating Principles in Solar Distillation Basins. p. 156-165.
- LOF, G.O.G. (1961) Application of Theoretical Principles in Improving the Performance of Basin-Type Solar Distillers. p 266-275.

NATURAL RESOURCES WATER (1985) The Use of Non-Conventional Water Resources in Developing Countries. Water Series No 14. United Nations. New York.

OLIVEIRA, J.F. (1988) A Determinação da Alealinidade de Aguas de Alta Salinidade e Alta Força Iônica à 25°C. Tese de Mestrado. CCT-UFPb, Campina Grande.

PALZ, W. (1981) Energia Solar e Fontes Alternativas. Ed. Hemus. 1ª Edição.

RAJVANSHI, A.K. (1979) Analytical and Experimental Investigation of the Effect of Dyes on Solar Distillation. Ph.D. Dissertation, University of Florida, Gainesville, Florida. (in NATURAL RESOURCES WATER, 1985).

REDDY, M.M. & MANCOLLAS, G.H. (1971) The Crystallization of Calcium Carbonate II. Calcite Growth Mechanism. E.U.A. J. Colloid and Interface Science, 37.

SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L. (1967) Chemistry for Sanitary Engineers, 2ª ed.. McGraw - Hill Book Company. Kagakusha Company, Ltda. Tokyo.

SNOEYINK, V.L. & JENKINS, D. (1980) Water Chemistry. John Wiley & Sons, Inc., E.U.A.

SORENSEN & LINDERSTROM (1924) in HAWLEY, J.E. & PYTKOWICZ, R.M. (1973) Interpretation of pH Measurements in concentrated electrolyte solutions. Trans. Faraday Soc. 51,

1235.

STUMM, W. & MORGAN, J.J. (1970) Aquatic. Chemistry. Wiley-Interscience, New York, E.U.A.

TALSMA, T. & PHILIP, J.R. (1971) Salinity and Water Use. A National Symposium on Hydrology, Sponsored by the Australian Academy of Science. Division of Environmental Mechanics, CSIRO, Canberra. ACT, Austrália.

UNITED STATES DEPARTMENT OF INTERIOR (1970) Manual on Distillation of Saline Water (in BEZERRA 1986).

URTIGA, E.F. (1992) Análise da Eficiência de uma ETA - Piloto para a Remoção de Ferro e Manganês. Tese de Mestrado. CCT/UFPB, Campina Grande, PB. 156 p.

WIECHERS, H.N.S. (1978) Engineering Aspects of Calcium Carbonate and Magnesium Hydroxide Precipitation in Waste Water Reclamation: Ph.D. Thesis. Dep. of Civil Eng. Univ. of Cape Town. Africa do Sul.

TELKES, M. (1945) Office Tech. Serv. Rept. N<sup>o</sup> 5225 (in DELYANNIS & DELYANNIS, 1984)

(1984) "Solar Thermal Process in Thailand. Studies on Solar Distillation and Solar Refrigeration". National Energy Administration. Ministry of Science, Technology and Energy U.S. Agency for International Development, Bangkok, Thailand.



ANEXO A

DIVERSOS

MUNICIPIOS	MICRO-REGIOES HOMOGENEAS	PERIODO	TIPO DE MANANCIAL	PARAMETROS						GRAU DE SALINIDADE
				STD (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Alc (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	pH	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	
Barra Sta Rosa	Curimatau	Chuvoso	Superf.	2.611,0	1.400,0	185,0	8,22	880,0	Pres.	Alta
			"	2.297,0	1.300,0	160,0	8,40	726,0	Pres.	Alta
		Seco	Superf.	6.663,0	3.250,0	138,0	8,50	2.090,0	Pres.	Alta
			"	2.267,0	1.400,0	180,0	8,50	950,0	Pres.	Alta
Cuite	Curimatau	Chuvoso	Superf.	4.687,0	2.060,0	208,0	8,00	1.390,0	Aus.	Alta
			"	2.038,0	1.075,0	105,0	7,90	560,0	Aus.	Alta
Nova Floresta	Curimatau	Chuvoso	Superf.	2.864,0	1.390,0	85,0	8,20	870,0	Aus.	Alta
Cacimba de Dentro	Curimatau	Seco	Superf.	2.092,0	1.350,0	219,0	8,45	810,0	Pres.	Alta
Piloes	Curimatau	Seco	Superf.	1.342,0	640,0	90,0	7,85	362,0	Pres.	Media
Dona Ines	Curimatau	Seco	Superf.	4.962,0	2.650,0	159,0	8,30	1.340,0	Pres.	Alta
Tacima	Curimatau	Seco	Superf.	2.942,0	1.450,0	110,0	7,74	790,0	Pres.	Alta
Arara	Curimatau	Seco	Superf.	11.066,0	5.500,0	288,0	8,30	3.000,0	Pres.	Alta
Solanea	Curimatau	Seco	Superf.	3.460,0	1.890,0	130,0	8,00	900,0	Pres.	Alta
Cubati	Serido	Seco	Subt.	3.440,0	1.215,0	252,0	8,30	1.230,0	Pres.	Alta
Picui	Serido	Seco	Superf.	2.092,0	805,0	171,0	8,51	520,0	Pres.	Media
			Subt.	1.137,0	500,0	175,0	7,30	230,0	Pres.	Media
			"	5.207,0	2.300,0	183,0	8,30	1.300,0	Aus.	Alta
Lage do Grande	Serido	Seco	Subt.	3.710,0	1.690,0	700,0	7,60	840,0	Pres.	Alta
Juazeirinho	Serido	Seco	Superf.	3.287,0	1.585,0	168,0	8,40	-	Aus.	Alta
			"	2.190,0	1.135,0	185,0	8,40	-	Aus.	Alta
Sao Vicente	Serido	Chuvoso	Superf.	955,0	400,0	128,0	7,60	390,0	Aus.	Media
			"	2.783,0	1.625,0	318,0	8,60	735,0	Aus.	Alta
Serido	Serido	Seco	Superf.	2.783,0	1.625,0	318,0	8,60	-	Aus.	Alta
			"	1.790,0	716,0	150,0	8,50	-	Aus.	Media
Umbuzeiro	Cariri	Seco	Superf.	5.520,0	2.950,0	160,0	8,10	1.200,0	Pres.	Alta
			"	11.390,0	6.000,0	270,0	8,00	3.200,0	Pres.	Alta
		Chuvoso	Subt.	1.850,0	850,0	401,0	8,30	740,0	Pres.	Media
Barra Sao Miguel	Cariri	Seco	Superf.	1.210,0	500,0	138,0	8,40	-	Pres.	Media
Olivedos	Cariri	Seco	Superf.	4.399,0	3.850,0	118,0	8,10	-	Pres.	Alta
Soledade	Cariri	Chuvoso	Superf.	4.778,0	2.599,0	110,0	7,10	-	Pres.	Alta
Taperoa	Cariri	Seco	Superf.	1.050,0	550,0	259,0	8,40	-	Aus.	Media
Sume	Cariri	Seco	Superf.	889,0	413,0	255,0	8,50	-	Pres.	Media
Monteiro	Cariri	Seco	Superf.	878,0	340,0	116,0	8,30	-	Pres.	Baixa
Gurjao	Cariri	Seco	Subt.	7.058,0	3.700,0	310,0	8,30	2.480,0	Pres.	Alta
Sao Joao do Cariri	Cariri	Seco	Superf.	867,0	250,0	37,0	7,50	-	Pres.	Baixa
			Subt.	13.210,0	8.050,0	385,0	7,45	4.710,0	Pres.	Alta
			"	3.952,0	2.450,0	133,0	8,00	1.380,0	Pres.	Alta
Assuncao	Cariri	Seco	Subt.	8.234,0	4.400,0	189,0	7,80	3.500,0	Pres.	Alta
			"	10.398,0	5.650,0	149,0	7,80	4.600,0	Pres.	Alta
Aroeiras	Cariri	Seco	Subt.	11.077,0	5.300,0	274,0	7,38	2.140,0	Pres.	Alta
			"	8.491,0	4.600,0	209,0	7,60	3.520,0	Pres.	Alta
Cabaceiras	Cariri	Seco	Superf.	1.730,0	905,0	325,0	8,30	-	Pres.	Alta
		Chuvoso	Subt.	1.350,0	745,0	272,0	8,10	512,0	Pres.	Media

Table 5.1 - Parametros fisico-quimicos das aguas superficiais e subteraneas da regio do Semi-arido da Paraiba (Dados fornecidos pela CAGEPA)

CARACTERISTICAS	U.S.P.H.S.	ABNT		ORG. MUNDIAL DE SAUDE	
		RECOMENDAVEL	TOLERAVEL	PERMISSIVEL	EXCESSIVO
<b>FISICAS</b>					
Turbidez (sil).	10 (1)	1	5	5	25
Cor (esc. cobalto)	20 (1)	10	30	5	50
Odor ou cheiro	Rus. de odor	Inobjetivo		Inobjetivo	
Sabor	Rus. de sabor	Inobjetivo		Inobjetivo	
<b>QUIMICAS</b>					
Manganês (em Mn)	-	-	0,1	0,1	0,5
Chumbo (em Pb)	0,1	-	0,1	0,1	-
Cobre	3,0 (2)	-	3,0	1,0	1,5
Zinco	15,0 (2)	-	15,0	5,0	15,0
Ferro (em Fe)	0,3 (3)	-	0,3	0,3	1,0
Magnésio (em Mg)	125,0 (2)	-	-	5,0	15,0
Arsênio (em As)	0,05	-	0,10	0,2	-
Selenio (em Se)	0,05	-	0,05	0,05	-
Cromo hexavalente	0,05	-	0,05	0,05	-
Fluor	1,5	1,0	1,5	-	-
Cloratos (Cl)	250,0 (2)	-	250	200	600
Comps. fenol	0,001 (2)	-	0,001	0,001	0,002
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	250,0 (2)	-	250	200	400
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )		100	200		
Cloro livre		0,2	0,5		
Nitrog. nítrico				-	50
Sólidos totais	500,0 (1000)	500	1000	500	1500
Cianetos (em CN)				0,01	-
Calcio (em Ca)				75	200
pH		pHs	6	7,0-8,5 > 6,5 ou < 9,2	
<b>BACTERIOLOGICAS</b>		Tratadas		90% tempo inf. 1	
				100% tempo inf. 10	
N.M.P. Coliformes 100 ml		Natural		90% tempo inf. 10	
				100% tempo inf. 20	

TABELA DE PADRÕES DE POTABILIDADE (Índices em mg/l - p.p.m.)

- (1) Para água filtradas  
(2) Limites recomendados ou sugeridos, porém não exigidos  
(3) Para ferro em manganês em conjunto.

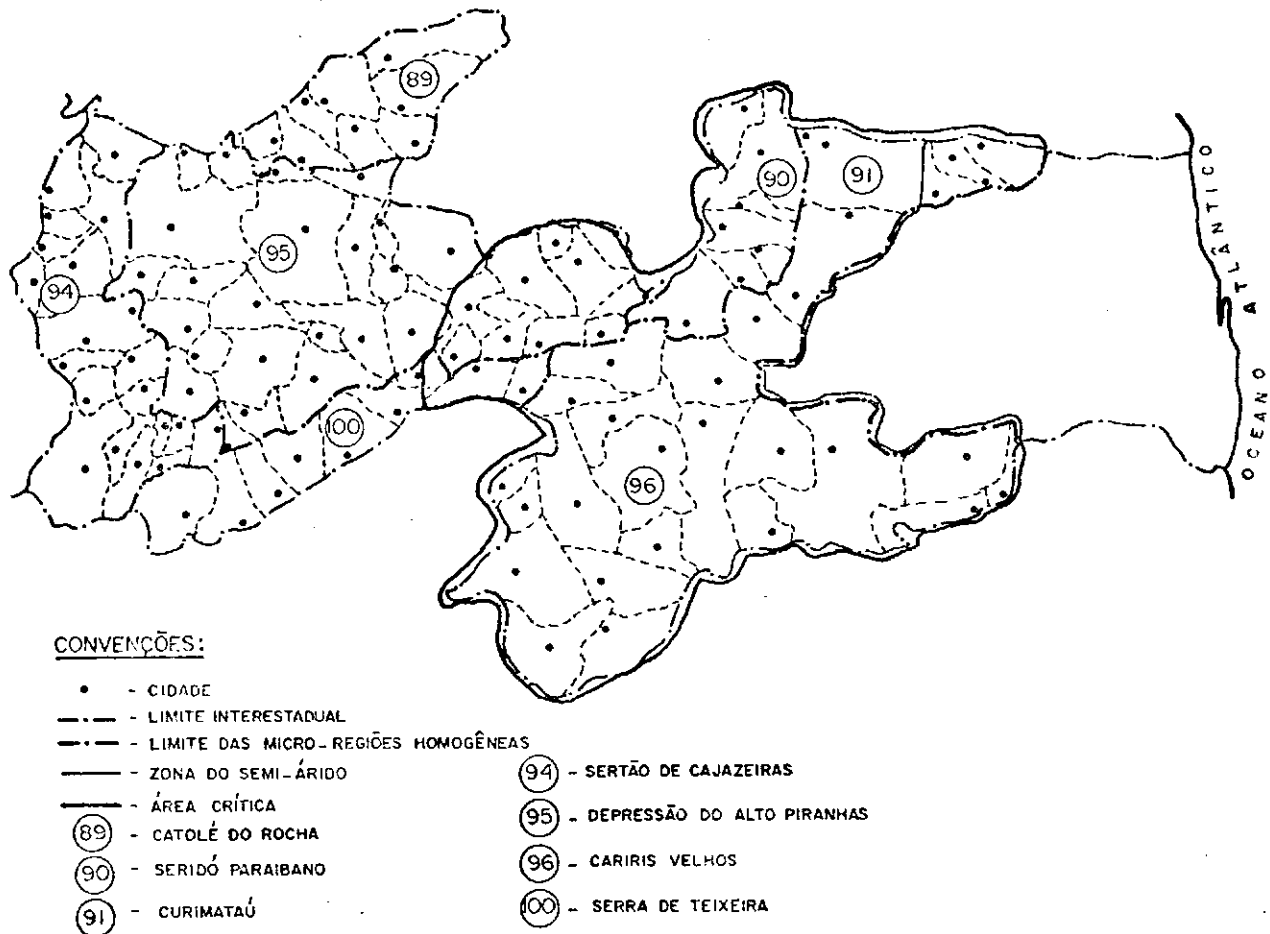


Fig. A.1 - Mapa do Estado da Paraíba, com destaque para a região semi-árida.

## ANEXO I

Tabelas dos Valores Experimentais dos Parâmetros  
Físico-Químicos das Amostras de Águas do Sistema  
I, à Temperatura de 25°C.

Sistema I:  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$



TABELA I.1 - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas de alta salinidade(AS), à temperatura de 25°C.  
Sistema I :  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

TIPOS DE AMOSTRAS	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	DT (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fH+op	
A1S -	Exp.1	8,12	0,040	1.325,0	207,0	84,0	84,0	815,0		
	Exp.2	8,10	0,040	1.329,0	205,0	86,0	86,0	815,0		
	Media	8,11	0,040	1.327,0	206,0	85,0	85,0	815,0	163,0	0,8330
A2S -	Exp.1	8,11	0,060	2.512,0	306,0	92,0	92,0	1.350,0		
	Exp.2	8,13	0,060	2.516,0	304,0	92,0	92,0	1.360,0		
	Media	8,12	0,060	2.514,0	305,0	92,0	92,0	1.355,0	176,0	0,8084
A3S -	Exp.1	8,05	0,090	3.098,0	106,0	96,0	96,0	2.350,0		
	Exp.2	8,01	0,090	3.090,0	106,0	96,0	96,0	2.340,0		
	Media	8,03	0,090	3.094,0	106,0	96,0	96,0	2.345,0	184,0	0,7827

TABELA I.2 - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas de baixa salinidade(BS), à temperatura de 25°C.  
Sistema I :  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

TIPOS DE AMOSTRAS	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	S04 <sup>2-</sup> (mg/l)	fH+op	
B1S -	Exp.1	8,07	0,006	236,0	106,0	68,0	68,0	45,0		
	Exp.2	8,10	0,006	238,5	104,0	64,0	64,0	47,0		
	Media	8,08	0,006	237,3	105,0	66,0	66,0	46,0	126,0	0,9218
B2S -	Exp.1	8,35	0,014	566,0	188,0	104,0	104,0	125,0		
	Exp.2	8,33	0,014	569,0	190,0	104,0	104,0	120,0		
	Media	8,34	0,014	567,5	189,0	104,0	104,0	122,5	199,0	0,8817
B3S -	Exp.1	8,06	0,009	362,0	104,0	52,0	52,0	145,0		
	Exp.2	8,11	0,009	363,5	104,0	52,0	52,0	147,0		
	Media	8,08	0,009	362,8	104,0	52,0	52,0	146,0	99,0	0,9069

TABELA I.3 - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas dessalinizadas(AD), à temperatura de 25°C.  
Sistema I :  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ .

TIPOS DE AMOSTRAS	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fh+op	
A1D -	Exp.1	6,93	0,0003	13,80	5,0	0,0	0,0	5,0		
	Exp.2	6,88	0,0003	12,50	5,0	0,0	0,0	5,0		
	Media	6,90	0,0003	13,15	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,9819
A2D -	Exp.1	7,13	0,0003	12,65	8,0	0,0	0,0	3,0		
	Exp.2	7,15	0,0003	11,50	8,0	0,0	0,0	3,0		
	Media	7,14	0,0003	12,07	8,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,9819
A3D -	Exp.1	7,05	0,0003	10,85	3,0	0,0	0,0	6,0		
	Exp.2	7,00	0,0003	11,50	3,0	0,0	0,0	6,0		
	Media	7,02	0,0003	11,17	3,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,9819

TABELA I.4 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(AS1; Cl<sup>-</sup> = 815mg/l) com água dessalinizada(A1D; Cl<sup>-</sup> = 5mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A1S:A1D		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,21	0,016	621,5	106,0	36,0	36,0	405,0		
	Exp.2	8,15	0,016	618,5	104,0	36,0	36,0	400,0		
	Media	8,18	0,016	620,0	105,0	36,0	36,0	402,5	69,0	0,8850
1:2	Exp.1	8,13	0,011	456,0	72,0	28,0	28,0	275,0		
	Exp.2	8,10	0,011	450,5	70,0	28,0	28,0	270,0		
	Media	8,11	0,011	453,3	71,0	28,0	28,0	272,5	53,0	0,8937
1:3	Exp.1	8,09	0,010	368,5	58,0	24,0	24,0	197,0		
	Exp.2	8,15	0,010	361,5	58,0	24,0	24,0	203,0		
	Media	8,12	0,010	364,7	58,0	24,0	24,0	200,0	46,0	0,9027
1:4	Exp.1	8,05	0,008	285,0	46,0	20,0	20,0	170,0		
	Exp.2	8,09	0,008	281,5	44,0	20,0	20,0	165,0		
	Media	8,07	0,008	283,7	45,0	20,0	20,0	167,5	38,0	0,9114

TABELA I.5 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A2S; Cl<sup>-</sup> = 1355mg/l) com água dessalinizada(A2D; Cl<sup>-</sup> = 3mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A2S:A2D		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO4- (mg/l)	fHtop
1:1	Exp.1	8,29	0,027	1.030,0	202,0	32,0	32,0	614,0		
	Exp.2	8,28	0,027	1.028,5	200,0	32,0	32,0	616,0		
	Media	8,28	0,027	1.029,2	201,0	32,0	32,0	615,0	61,0	0,8553
1:2	Exp.1	8,25	0,020	824,5	134,0	20,0	20,0	431,5		
	Exp.2	8,29	0,020	820,5	132,0	24,0	24,0	430,5		
	Media	8,27	0,020	822,5	133,0	22,0	22,0	431,0	42,0	0,8710
1:3	Exp.1	8,17	0,015	608,5	104,0	22,0	22,0	325,0		
	Exp.2	8,22	0,015	612,5	104,0	22,0	22,0	330,0		
	Media	8,19	0,015	610,5	104,0	22,0	22,0	327,5	42,0	0,8850
1:4	Exp.1	8,24	0,010	436,0	82,0	20,0	20,0	255,0		
	Exp.2	8,26	0,010	428,5	82,0	20,0	20,0	260,0		
	Media	8,25	0,010	432,2	82,0	20,0	20,0	257,5	38,0	0,9027



TABELA 1.6 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 2345mg/l) com água dessalinizada(A3D; Cl<sup>-</sup> = 6mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A3S:A3D		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	fh+op
1:1	Exp.1	8,08	0,040	1.485,0	56,0	32,0	32,0	1.080,0		
	Exp.2	8,13	0,040	1.478,5	56,0	32,0	32,0	1.070,0		
	Media	8,11	0,040	1.481,7	56,0	32,0	32,0	1.075,0	61,0	0,8330
1:2	Exp.1	8,19	0,029	1.026,0	42,0	28,0	28,0	780,0		
	Exp.2	8,13	0,029	1.034,5	40,0	30,0	30,0	775,0		
	Media	8,16	0,029	1.030,2	41,0	29,0	29,0	777,5	57,0	0,8514
1:3	Exp.1	8,21	0,022	886,0	36,0	24,0	24,0	580,0		
	Exp.2	8,16	0,022	892,0	34,0	20,0	20,0	575,0		
	Media	8,18	0,022	889,0	35,0	22,0	22,0	577,5	42,0	0,8661
1:4	Exp.1	8,17	0,015	636,0	28,0	20,0	20,0	480,0		
	Exp.2	8,22	0,015	643,5	30,0	20,0	20,0	470,0		
	Media	8,19	0,015	639,7	30,0	20,0	20,0	475,0	38,0	0,8850

TABELA 1.7 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A1S; Cl<sup>-</sup> = 815mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 40mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A1S:B1S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,26	0,022	909,0	156,0	84,0	84,0	410,0		
	Exp.2	8,29	0,022	912,0	156,0	84,0	84,0	413,0		
	Media	8,27	0,022	910,7	156,0	84,0	84,0	411,5	160,0	0,8661
1:3	Exp.1	8,31	0,015	606,5	134,0	72,0	72,0	250,0		
	Exp.2	8,34	0,015	608,0	136,0	74,0	74,0	253,0		
	Media	8,32	0,015	607,0	135,0	73,0	73,0	251,5	140,0	0,8650

TABELA 1.8 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A1S; Cl<sup>-</sup> = 815mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 122,5mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A1S:B2S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,33	0,025	1.096,0	186,0	92,0	92,0	485,0		
	Exp.2	8,34	0,025	1.093,5	184,0	92,0	92,0	485,0		
	Media	8,32	0,025	1.094,7	185,0	92,0	92,0	485,0	176,0	0,8594
1:3	Exp.1	8,28	0,017	693,5	182,0	88,0	88,0	265,0		
	Exp.2	8,30	0,017	698,0	182,0	84,0	84,0	263,0		
	Media	8,29	0,017	695,7	182,0	86,0	86,0	264,0	167,0	0,8790

TABELA I.9 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A1S; Cl<sup>-</sup> = 815mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 146mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A1S:B2S	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>	
1:1	Exp.1	8,24	0,020	806,0	154,0	72,0	72,0	515,0		
	Exp.2	8,20	0,020	803,5	152,0	72,0	72,0	518,0		
	Media	8,20	0,020	804,7	153,0	72,0	72,0	516,5	138,0	0,8710
1:3	Exp.1	8,18	0,015	668,0	130,0	68,0	68,0	350,0		
	Exp.2	8,22	0,015	665,5	130,0	68,0	68,0	347,0		
	Media	8,20	0,015	666,7	130,0	68,0	68,0	348,5	130,0	0,8850

TABELA I.10 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A2S; Cl<sup>-</sup> = 1355mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 46mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A2S:B1S	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	fH <sup>top</sup>	
1:1	Exp.1	8,36	0,027	1.086,0	260,0	72,0	72,0	575,0		
	Exp.2	8,30	0,027	1.084,5	256,0	72,0	72,0	570,0		
	Media	8,33	0,027	1.085,0	258,0	72,0	72,0	572,5	138,0	0,8553
1:3	Exp.1	8,15	0,022	887,5	182,0	80,0	80,0	345,0		
	Exp.2	8,18	0,022	883,5	180,0	76,0	76,0	340,0		
	Media	8,17	0,022	885,5	181,0	78,0	78,0	342,5	150,0	0,8661

TABELA I.11 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A2S; Cl<sup>-</sup> = 1355mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 122,5mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A2S:B2S	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	fH <sup>top</sup>	
1:1	Exp.1	8,31	0,034	1.614,0	318,0	120,0	120,0	640,0		
	Exp.2	8,35	0,034	1.610,0	314,0	120,0	120,0	635,0		
	Media	8,33	0,034	1.612,0	316,0	120,0	120,0	637,5	239,0	0,8424
1:3	Exp.1	8,40	0,024	1.078,0	246,0	100,0	100,0	425,0		
	Exp.2	8,45	0,024	1.070,5	242,0	104,0	104,0	430,0		
	Media	8,43	0,024	1.074,0	244,0	102,0	102,0	427,5	195,0	0,8616

TABELA I.12 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A2S; Cl<sup>-</sup> = 1355mg/l) com baixa salinidade(B3S; Cl<sup>-</sup> = 146mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A2S:B3S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,27	0,032	1.486,0	258,0	60,0	60,0	675,0		
	Exp.2	8,21	0,032	1.481,5	256,0	60,0	60,0	670,0		
	Media	8,24	0,032	1.483,8	257,0	60,0	60,0	673,5	115,0	0,8459
1:3	Exp.1	8,11	0,023	936,0	186,0	68,0	68,0	415,0		
	Exp.2	8,10	0,023	931,5	184,0	64,0	64,0	410,0		
	Media	8,11	0,023	934,0	185,0	66,0	66,0	412,5	126,0	0,8638



TABELA I.13 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 2350mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 46mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A3S:B1S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,21	0,041	1.236,0	102,0	92,0	92,0	990,0		
	Exp.2	8,20	0,041	1.242,0	102,0	92,0	92,0	985,0		
	Media	8,20	0,041	1.239,0	102,0	92,0	92,0	987,5	176,0	0,8315
1:3	Exp.1	8,14	0,021	845,0	114,0	84,0	84,0	620,0		
	Exp.2	8,19	0,021	842,5	112,0	84,0	84,0	615,0		
	Media	8,16	0,021	844,0	113,0	84,0	84,0	617,5	160,0	0,8685

TABELA I.14 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 2350mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 122,5mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A3S:B2S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,11	0,046	1.444,5	114,0	84,0	84,0	1.140,0		
	Exp.2	8,13	0,046	1.441,0	112,0	84,0	84,0	1.135,0		
	Media	8,12	0,046	1.442,7	113,0	84,0	84,0	1.137,5	160,0	0,8227
1:3	Exp.1	8,34	0,022	868,0	122,0	80,0	80,0	650,0		
	Exp.2	8,30	0,022	870,5	120,0	76,0	76,0	640,0		
	Media	8,32	0,022	869,0	121,0	78,0	78,0	645,0	150,0	0,8561

TABLEA I.15 - Parâmetros físico-químicos das amostras de mistura das águas de alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 2350mg/l) com baixa salinidade(B3S; Cl<sup>-</sup> = 146mg/l), à temperatura de 25°C.  
Sistema I : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A3S:B3S	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	fH+op	
1:1	Exp.1	8,11	0,047	1.388,0	104,0	76,0	76,0	1.185,0		
	Exp.2	8,15	0,047	1.385,0	102,0	76,0	76,0	1.175,0		
	Media	8,13	0,047	1.386,5	103,0	76,0	76,0	1.180,0	146,0	0,8234
1:3	Exp.1	8,13	0,022	812,0	106,0	68,0	68,0	600,0		
	Exp.2	8,17	0,022	810,5	106,0	64,0	64,0	590,0		
	Media	8,15	0,022	811,0	106,0	66,0	66,0	595,0	126,0	0,8661

## ANEXO II

Tabelas dos Valores Experimentais dos Parâmetros  
Físico-Químicos das Amostras de Águas do Sistema  
II, à Temperatura de 25°C.

Sistema II :  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

TABELA II.1 - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas de alta salinidade(AS), à temperatura de 25° C.  
Sistema II :  $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

TIPOS DE AMOSTRAS	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	fH+op	
A1S -	Exp.1	8,31	0,030	1.046,0	99,0	100,0	104,0	4,0	650,0	
	Exp.2	8,30	0,030	1.055,0	100,0	100,0	102,0	2,0	656,0	
	Media	8,30	0,030	1.050,5	99,5	100,0	103,0	3,0	653,0	0,8495
A2S -	Exp.1	8,40	0,040	1.563,0	100,0	48,0	52,0	4,0	930,0	
	Exp.2	8,36	0,040	1.571,0	104,0	59,0	52,0	2,0	936,0	
	Media	8,38	0,040	1.567,0	102,0	49,0	52,0	3,0	933,0	0,8330
A3S -	Exp.1	8,33	0,050	2.128,0	101,0	56,0	60,0	4,0	1.400,0	
	Exp.2	8,31	0,050	2.135,0	99,0	56,0	60,0	4,0	1.406,0	
	Media	8,32	0,050	2.131,5	100,0	56,0	60,0	4,0	1.403,0	0,8196
A4S -	Exp.1	8,30	0,060	2.835,0	103,0	60,0	68,0	8,0	1.625,0	
	Exp.2	8,28	0,060	2.842,0	100,0	60,0	66,0	6,0	1.620,0	
	Media	8,29	0,060	2.838,5	101,5	60,0	67,0	7,0	1.622,5	0,8084
A5S -	Exp.1	8,31	0,070	3.364,0	96,0	60,0	68,0	8,0	1.900,0	
	Exp.2	8,25	0,070	3.373,0	98,0	58,0	66,0	8,0	1.905,0	
	Media	8,28	0,070	3.368,5	97,0	59,0	67,0	8,0	1.904,0	0,7992
A6S -	Exp.1	8,23	0,080	3.728,0	102,0	48,0	54,0	6,0	2.250,0	
	Exp.2	8,29	0,080	3.723,0	98,0	50,0	54,0	4,0	2.255,0	
	Media	8,26	0,080	3.725,5	100,0	49,0	54,0	5,0	2.254,0	0,7902

TABELA II.2 - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas de baixa salinidade(BS), à temperatura de 25° C.  
Sistema II : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

TIPOS DE AMOSTRAS:	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op	
B1S -	Exp.1	8,07	0,002	89,0	46,0	48,0	52,0	4,0	51,0	
	Exp.2	8,12	0,002	93,0	46,0	48,0	54,0	6,0	50,0	
	Media	8,09	0,002	91,0	46,0	48,0	53,0	5,0	50,5	0,9500
B2S -	Exp.1	8,11	0,005	194,0	60,0	52,0	56,0	4,0	109,0	
	Exp.2	8,15	0,005	189,0	58,0	50,0	56,0	6,0	115,0	
	Media	8,13	0,005	191,5	59,0	51,0	56,0	5,0	112,0	0,9278
B3S -	Exp.1	8,09	0,010	407,0	50,0	55,0	60,0	5,0	162,0	
	Exp.2	8,11	0,010	410,0	50,0	56,0	60,0	4,0	160,0	
	Media	8,10	0,010	408,5	50,0	55,5	60,0	4,5	161,0	0,9027



TABELA II.3 - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas dessalinizadas(AD), à temperatura de 25°C.  
Sistema II : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

TIPOS DE AMOSTRAS		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op
A1D -	Exp.1	7,11	0,0008	33,60	12,0	12,0	12,0	0,0	10,0	
	Exp.2	7,15	0,0008	35,50	12,0	12,0	12,0	0,0	8,0	
	Media	7,13	0,0008	34,55	12,0	12,0	12,0	0,0	9,0	0,9690
A2D -	Exp.1	6,90	0,0003	10,40	4,0	0,0	0,0	0,0	5,0	
	Exp.2	6,95	0,0003	12,80	4,0	0,0	0,0	0,0	6,5	
	Media	6,97	0,0003	11,60	4,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,9819
A3D -	Exp.1	7,09	0,0005	20,30	8,0	6,0	6,0	0,0	8,0	
	Exp.2	7,05	0,0005	21,68	9,0	6,0	6,0	0,0	9,5	
	Media	7,07	0,0005	20,99	8,5	6,0	6,0	0,0	9,0	0,9752
A4D -	Exp.1	7,05	0,0003	13,80	10,0	0,0	0,0	0,0	4,0	
	Exp.2	7,01	0,0003	13,00	8,0	0,0	0,0	0,0	5,5	
	Media	7,06	0,0003	13,40	9,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,9806
A5D -	Exp.1	7,01	0,0005	19,50	6,0	8,0	8,0	0,0	8,0	
	Exp.2	7,00	0,0005	17,80	6,0	8,0	8,0	0,0	8,0	
	Media	7,00	0,0005	18,65	6,0	8,0	8,0	0,0	8,0	0,9752
A6D -	Exp.1	7,17	0,0007	28,80	12,0	10,0	10,0	0,0	7,0	
	Exp.2	7,13	0,0007	26,65	12,0	10,0	10,0	0,0	7,0	
	Media	7,15	0,0007	26,22	12,0	10,0	10,0	0,0	7,0	0,9709

TABELA II.4 - Parâmetros físico-químicos das amostras de misturas das águas de alta salinidade(AIS); Cl<sup>-</sup> 653 mg/l) com água dessalinizada (AID; Cl<sup>-</sup> = 9 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II : NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA AIS:AID		PARÂMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,03	0,015	587,0	57,0	54,0	60,0	6,0	315,0	
	Exp.2	8,05	0,015	591,0	56,0	56,0	60,0	4,0	312,0	
	Media	8,04	0,015	589,0	56,5	55,0	60,0	5,0	313,5	0,8850
1:2	Exp.1	7,91	0,012	495,0	30,0	48,0	50,0	2,0	230,0	
	Exp.2	7,93	0,012	493,0	32,0	46,0	50,0	4,0	232,0	
	Media	7,92	0,012	494,0	31,0	47,0	50,0	3,0	231,0	0,6950
1:3	Exp.1	8,13	0,011	446,0	28,0	36,0	36,0	0,0	172,0	
	Exp.2	8,12	0,011	449,5	30,0	36,0	38,0	2,0	174,0	
	Media	8,12	0,011	447,7	29,0	36,0	37,0	1,0	173,0	0,8987
1:4	Exp.1	7,85	0,011	468,0	42,0	24,0	26,0	2,0	130,0	
	Exp.2	7,87	0,011	472,0	40,0	24,0	26,0	0,0	132,0	
	Media	7,86	0,011	471,5	41,0	24,0	26,0	2,0	131,0	0,8987
1:5	Exp.1	7,85	0,010	378,0	40,0	24,0	26,0	2,0	105,0	
	Exp.2	7,82	0,010	380,0	40,0	24,0	28,0	4,0	110,0	
	Media	7,83	0,010	379,0	40,0	24,0	27,0	3,0	107,5	0,9027

TABELA II.5 - Parâmetros físico-químicos das amostras de misturas das águas de alta salinidade (A2S; Cl<sup>-</sup> = 933 mg/l) com água dessalinizada (A2D; Cl<sup>-</sup> = 6,0 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A2S:A2D		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	7,93	0,016	639,0	48,0	24,0	28,0	4,0	487,5	
	Exp.2	7,91	0,016	643,0	46,0	26,0	28,0	2,0	490,5	
	Media	7,92	0,016	641,0	47,0	25,0	28,0	3,0	489,5	0,8819
1:2	Exp.1	7,85	0,015	586,0	38,0	18,0	24,0	6,0	325,0	
	Exp.2	7,81	0,015	593,0	38,0	20,0	24,0	4,0	327,0	
	Media	7,83	0,015	589,0	38,0	19,0	24,0	5,0	326,0	0,8650
1:3	Exp.1	7,95	0,012	508,0	34,0	24,0	28,0	4,0	287,5	
	Exp.2	7,93	0,012	504,0	36,0	22,0	26,0	4,0	291,0	
	Media	7,94	0,012	506,0	35,0	23,0	27,0	4,0	289,0	0,8950
1:4	Exp.1	7,76	0,007	296,0	36,0	20,0	20,0	0,0	250,0	
	Exp.2	7,70	0,007	303,0	38,0	20,0	22,0	2,0	254,0	
	Media	7,73	0,007	299,5	37,0	20,0	21,0	1,0	252,0	0,9164
1:5	Exp.1	7,86	0,006	258,0	36,0	18,0	18,0	0,0	203,0	
	Exp.2	7,83	0,006	265,0	36,0	20,0	20,0	0,0	206,0	
	Media	7,84	0,006	261,5	36,0	19,0	19,0	0,0	205,0	0,9218

TABELA II.6 - Parâmetros físico-químicos das amostras de misturas das Águas alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 1403 mg/l) com água dessalinizada (A3D; Cl<sup>-</sup> = 9 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A3S:A3D		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	7,87	0,017	713,0	48,0	36,0	38,0	4,0	620,0	
	Exp.2	7,83	0,017	705,0	46,0	36,0	40,0	2,0	626,0	
	Media	7,85	0,017	709,0	47,0	36,0	39,0	3,0	623,5	0,8790
1:2	Exp.1	7,76	0,015	620,0	46,0	36,0	38,0	4,0	416,0	
	Exp.2	7,72	0,015	615,0	44,0	32,0	40,0	6,0	412,0	
	Media	7,74	0,015	617,5	45,0	34,0	39,0	5,0	414,0	0,8850
1:3	Exp.1	8,06	0,014	565,0	44,0	28,0	32,0	4,0	383,0	
	Exp.2	8,01	0,014	568,0	42,0	30,0	32,0	2,0	385,0	
	Media	8,03	0,014	566,5	43,0	29,0	32,0	3,0	384,0	0,8881
1:4	Exp.1	7,72	0,010	436,0	38,0	24,0	28,0	4,0	275,0	
	Exp.2	7,68	0,010	441,0	38,0	26,0	28,0	2,0	275,0	
	Media	7,70	0,010	438,5	38,0	25,0	28,0	3,0	275,0	0,9027
1:5	Exp.1	8,03	0,010	389,0	36,0	24,0	24,0	0,0	228,0	
	Exp.2	7,98	0,010	395,0	36,0	24,0	26,0	2,0	225,0	
	Media	8,00	0,010	392,0	36,0	24,0	25,0	1,0	226,5	0,9027

TABELA II.7 - Parâmetros físico-químicos das amostras de misturas das águas alta salinidade(A4S; Cl<sup>-</sup> = 1623 mg/l) com água dessalinizada (A4D; Cl<sup>-</sup> = 5 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A4S:A4D		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	7,99	0,031	1.112,0	46,0	40,0	44,0	4,0	775,0	
	Exp.2	7,96	0,031	1.120,0	48,0	40,0	44,0	4,0	772,0	
	Media	7,97	0,031	1.116,0	47,0	40,0	44,0	4,0	773,5	0,8477
1:2	Exp.1	7,95	0,021	856,0	42,0	34,0	36,0	4,0	487,5	
	Exp.2	7,90	0,021	860,0	40,0	32,0	36,0	2,0	482,5	
	Media	7,92	0,021	858,0	41,0	33,0	36,0	3,0	485,0	0,8685
1:3	Exp.1	7,69	0,018	740,0	32,0	28,0	28,0	0,0	475,0	
	Exp.2	7,65	0,018	742,0	32,0	28,0	28,0	0,0	476,0	
	Media	7,67	0,018	741,0	32,0	28,0	28,0	0,0	476,5	0,8763
1:4	Exp.1	7,61	0,015	598,0	26,0	24,0	24,0	0,0	350,0	
	Exp.2	7,59	0,015	595,0	24,0	24,0	26,0	2,0	352,0	
	Media	7,60	0,015	596,5	25,0	24,0	25,0	1,0	351,0	0,8950
1:5	Exp.1	7,48	0,012	490,0	24,0	20,0	20,0	0,0	300,0	
	Exp.2	7,43	0,012	486,0	24,0	20,0	22,0	2,0	304,0	
	Media	7,45	0,012	488,0	24,0	20,0	21,0	1,0	302,5	0,8950



TABELA II.8 - Parâmetros físico-químicos das amostras de misturas das águas alta salinidade(A5S; Cl<sup>-</sup> 1904 mg/l) com água dessalinizada (A5D; Cl<sup>-</sup> = 8 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A5S:A5D		PARÂMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sup>top</sup>
1:1	Exp.1	7,54	0,037	1.580,0	48,0	36,0	40,0	4,0	965,0	
	Exp.2	7,50	0,037	1.565,0	50,0	36,0	40,0	4,0	963,0	
	Media	7,52	0,037	1.582,5	49,0	36,0	40,0	4,0	964,0	0,8363
1:2	Exp.1	7,31	0,020	829,0	36,0	30,0	30,0	0,0	650,0	
	Exp.2	7,32	0,020	825,0	36,0	28,0	28,0	0,0	648,0	
	Media	7,32	0,020	827,0	36,0	29,0	29,0	0,0	649,0	0,8710
1:3	Exp.1	7,15	0,018	749,0	30,0	22,0	22,0	0,0	535,0	
	Exp.2	7,13	0,018	746,0	28,0	20,0	20,0	0,0	530,0	
	Media	7,14	0,018	747,5	29,0	21,0	21,0	0,0	532,5	0,8763
1:4	Exp.1	7,12	0,015	618,0	24,0	20,0	20,0	0,0	436,0	
	Exp.2	7,08	0,015	612,0	20,0	20,0	20,0	0,0	430,0	
	Media	7,10	0,015	615,0	22,0	20,0	20,0	0,0	433,0	0,8850
1:5	Exp.1	7,08	0,012	496,0	22,0	16,0	16,0	0,0	385,0	
	Exp.2	7,03	0,012	493,0	22,0	16,0	18,0	2,0	384,0	
	Media	7,05	0,012	494,5	22,0	16,0	17,0	1,0	384,5	0,8950

TABELA II.9 - Parâmetros físico-químicos das amostras de misturas das águas alta salinidade (A6S; Cl<sup>-</sup> 2254 mg/l) com água dessalinizada (A6D; Cl<sup>-</sup> = 7 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A6S:A6D		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,01	0,043	1.628,0	57,0	38,0	41,0	3,0	1.128,0	
	Exp.2	7,99	0,043	1.636,0	55,0	36,0	39,0	3,0	1.126,0	
	Media	8,00	0,043	1.632,0	56,0	37,0	40,0	3,0	1.127,0	0,6287
1:2	Exp.1	7,95	0,023	938,0	47,0	32,0	38,0	6,0	764,0	
	Exp.2	7,97	0,023	944,0	45,0	30,0	22,0	2,0	760,0	
	Media	7,96	0,023	941,0	46,0	31,0	35,0	4,0	762,0	0,8638
1:3	Exp.1	7,88	0,020	826,0	36,0	28,0	32,0	4,0	568,0	
	Exp.2	7,83	0,020	835,0	38,0	24,0	28,0	4,0	572,0	
	Media	7,85	0,020	830,5	37,0	26,0	30,0	4,0	570,0	0,6710
1:4	Exp.1	7,80	0,017	686,0	32,0	24,0	26,0	2,0	456,0	
	Exp.2	7,75	0,017	692,0	32,0	24,0	26,0	2,0	460,0	
	Media	7,77	0,017	689,0	32,0	24,0	26,0	2,0	458,0	0,6790
1:5	Exp.1	7,33	0,013	536,0	30,0	20,0	22,0	2,0	380,0	
	Exp.2	7,57	0,013	530,0	28,0	18,0	18,0	0,0	380,0	
	Media	7,45	0,013	533,0	29,0	19,0	20,0	1,0	388,0	0,6915

TABELA II.10 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A1S; Cl<sup>-</sup> = 653 mg/l) com águas de baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 51 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A1S:B1S	PARAMETROS										
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	IH <sup>top</sup>		
1:1	Exp.1	8,29	0,015	612,0	66,0	66,0	70,0	4,0	312,5		
	Exp.2	8,25	0,015	619,5	64,0	64,0	68,0	4,0	316,5		
	Media	8,27	0,015	615,7	65,0	65,0	69,0	4,0	314,5	0,8850	
1:3	Exp.1	8,19	0,010	398,0	56,0	54,0	58,0	4,0	182,5		
	Exp.2	8,16	0,010	402,0	56,0	54,0	60,0	4,0	180,5		
	Media	8,17	0,010	400,0	56,0	54,0	59,0	4,0	181,5	0,9027	

TABELA II.11 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A1S; Cl<sup>-</sup> = 653 mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 112 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A1S:B2S	PARAMETROS										
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	IH <sup>top</sup>		
1:1	Exp.1	8,25	0,015	635,0	80,0	78,0	80,0	2,0	362,5		
	Exp.2	8,23	0,015	639,0	78,0	76,0	80,0	4,0	364,0		
	Media	8,24	0,015	637,0	79,0	77,0	80,0	3,0	363,2	0,8850	
1:3	Exp.1	8,27	0,012	481,0	74,0	64,0	72,0	8,0	237,5		
	Exp.2	8,25	0,012	478,0	74,0	66,0	70,0	4,0	235,0		
	Media	8,26	0,012	479,5	74,0	65,0	71,0	6,0	236,0	0,8950	

TADELA II.12 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(AIS;  $Cl^- = 653$  mg/l) com baixa salinidade(B3S;  $Cl^- = 161$  mg/l) à temperatura de 25° C.  
Sistema II:  $NaHCO_3 + NaCl + CaCl_2 + MgCl_2 + H_2O$

PROPORÇÃO DA MISTURA AIS:B3S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,28	0,015	598,0	74,0	80,0	80,0	0,0	450,0	
	Exp.2	8,28	0,015	600,0	72,0	78,0	80,0	2,0	448,0	
	Media	8,28	0,015	599,0	73,0	79,0	80,0	1,0	449,0	0,8850
1:3	Exp.1	8,30	0,012	497,0	62,0	80,0	80,0	0,0	395,0	
	Exp.2	8,28	0,012	500,0	60,0	80,0	80,0	0,0	398,0	
	Media	8,29	0,012	498,5	61,0	80,0	80,0	0,0	396,5	0,8950

TABELA II.13 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A2S; Cl<sup>-</sup> = 933 mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 51 mg/l) à temperatura de 25° C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A2S:B1S	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sup>top</sup>	
1:1	Exp.1	8,25	0,021	842,0	70,0	48,0	56,0	8,0	500,0	
	Exp.2	8,30	0,021	848,0	70,0	46,0	54,0	8,0	498,0	
	Media	8,27	0,021	845,0	70,0	47,0	55,0	8,0	499,0	0,8650
1:3	Exp.1	8,22	0,011	441,0	58,0	52,0	56,0	4,0	300,0	
	Exp.2	8,28	0,011	445,0	58,0	52,0	56,0	4,0	304,0	
	Media	8,25	0,011	443,0	58,0	52,0	56,0	4,0	302,0	0,8987

TABELA II.14 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A2S; Cl<sup>-</sup> = 933 mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 112 mg/l) à temperatura de 25° C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A2S:B2S	PARAMETROS									
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sup>top</sup>	
1:1	Exp.1	8,16	0,024	982,0	62,0	56,0	60,0	4,0	520,0	
	Exp.2	8,12	0,024	950,0	64,0	58,0	60,0	2,0	518,0	
	Media	8,14	0,024	981,0	63,0	57,0	60,0	3,0	519,0	0,8616
1:3	Exp.1	8,26	0,014	565,0	70,0	64,0	68,0	4,0	312,5	
	Exp.2	8,24	0,014	570,0	70,0	64,0	68,0	4,0	315,5	
	Media	8,25	0,014	567,5	70,0	64,0	68,0	4,0	314,0	0,8881



TABELA II.15 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A2S; Cl<sup>-</sup> = 933 mg/l) com baixa salinidade(B3S; Cl<sup>-</sup> = 161 mg/l) a temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sup>3</sup> + NaCl + CaCl<sup>2</sup> + MgCl<sup>2</sup> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A2S:B3S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,26	0,023	907,0	76,0	60,0	68,0	8,0	600,0	
	Exp.2	8,26	0,023	903,0	74,0	62,0	68,0	6,0	598,0	
	Media	8,26	0,023	905,0	75,0	61,0	68,0	7,0	599,0	0,8638
1:3	Exp.1	8,20	0,015	606,0	62,0	62,0	64,0	2,0	405,0	
	Exp.2	8,24	0,015	602,0	60,0	60,0	62,0	2,0	403,0	
	Media	8,22	0,015	604,0	61,0	61,0	63,0	2,0	404,0	0,8850

TABELA II.16 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 1403 mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 51 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A3S:B1S		PARAMETROS									
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fh <sup>top</sup>	
1:1	Exp.1	8,27	0,022	896,0	73,0	56,0	60,0	4,0	605,0		
	Exp.2	8,29	0,022	900,0	70,0	56,0	60,0	4,0	608,0		
	Media	8,28	0,022	898,0	71,5	56,0	60,0	4,0	605,5	0,8661	
1:3	Exp.1	8,23	0,019	784,0	60,0	52,0	58,0	6,0	387,0		
	Exp.2	8,25	0,019	786,0	60,0	54,0	60,0	6,0	391,0		
	Media	8,24	0,019	785,0	60,0	53,0	59,0	6,0	389,0	0,8736	

TABELA II.17 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 1403 mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 112 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A3S:B2S		PARAMETROS									
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fh <sup>top</sup>	
1:1	Exp.1	8,29	0,030	1.096,0	80,0	60,0	64,0	4,0	735,0		
	Exp.2	8,32	0,030	1.090,0	78,0	60,0	62,0	2,0	738,0		
	Media	8,30	0,030	1.093,0	79,0	60,0	63,0	3,0	736,5	0,8495	
1:3	Exp.1	8,22	0,020	810,0	70,0	56,0	64,0	8,0	412,0		
	Exp.2	8,25	0,020	815,0	70,0	58,0	64,0	6,0	413,0		
	Media	8,23	0,020	812,5	70,0	57,0	64,0	7,0	412,5	0,8710	

TABELA II.18 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A3S; Cl<sup>-</sup> = 1403 mg/l) com baixa salinidade(B3S; Cl<sup>-</sup> = 161 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A3S:B3S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,11	0,031	1.130,0	68,0	48,0	52,0	4,0	775,0	
	Exp.2	8,15	0,031	1.125,0	66,0	48,0	52,0	4,0	775,0	
	Media	8,13	0,031	1.127,5	67,0	48,0	52,0	4,0	775,0	0,8477
1:3	Exp.1	8,18	0,020	836,0	56,0	64,0	70,0	6,0	425,0	
	Exp.2	8,20	0,020	838,0	58,0	64,0	70,0	6,0	428,0	
	Media	8,19	0,020	837,0	57,0	64,0	70,0	6,0	426,5	0,8710

TABELA II.19 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A4S; Cl<sup>-</sup> = 1623 mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 112 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A4S:B1S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,32	0,031	1.345,0	76,0	56,0	60,0	4,0	775,0	
	Exp.2	8,30	0,031	1.341,0	74,0	56,0	60,0	4,0	772,0	
	Media	8,31	0,031	1.343,0	75,0	56,0	60,0	4,0	773,5	0,8477
1:3	Exp.1	8,21	0,020	784,0	62,0	52,0	56,0	4,0	417,5	
	Exp.2	8,22	0,020	780,0	62,0	50,0	56,0	4,0	420,0	
	Media	8,21	0,020	782,0	62,0	51,0	56,0	4,0	418,0	0,8710
1:5	Exp.1	8,21	0,015	586,0	56,0	48,0	52,0	4,0	300,0	
	Exp.2	8,25	0,015	588,0	58,0	48,0	54,0	6,0	302,0	
	Media	8,23	0,015	587,0	57,0	48,0	53,0	5,0	301,0	0,8850

TABELA II.20 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A4S; Cl<sup>-</sup> = 1623 mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 112 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A4S:B2S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>
1:1	Exp.1	8,25	0,031	1.337,0	84,0	56,0	64,0	8,0	762,5	
	Exp.2	8,30	0,031	1.330,0	82,0	56,0	62,0	6,0	768,0	
	Media	8,27	0,031	1.333,5	83,0	56,0	63,0	7,0	763,0	0,8477
1:3	Exp.1	8,22	0,019	758,0	72,0	56,0	64,0	8,0	462,5	
	Exp.2	8,24	0,019	760,0	70,0	58,0	64,0	6,0	465,5	
	Media	8,23	0,019	759,0	71,0	57,0	64,0	7,0	464,0	0,8736
1:5	Exp.1	8,26	0,014	575,0	74,0	60,0	64,0	4,0	337,5	
	Exp.2	8,22	0,014	570,0	74,0	60,0	64,0	4,0	333,5	
	Media	8,24	0,014	572,5	74,0	60,0	64,0	4,0	335,5	0,8881

TABELA II.21 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A4S; Cl<sup>-</sup> = 1623 mg/l) com baixa salinidade(B3S; Cl<sup>-</sup> = 161 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORCAO DA MISTURA A4S:B3S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO3)	Ca2+ (mg/lCaCO3)	Dt (mg/lCaCO3)	Mg2+ (mg/lCaCO3)	Cl- (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,37	0,032	1.454,0	78,0	64,0	72,0	6,0	800,0	
	Exp.2	8,37	0,032	1.450,0	78,0	64,0	70,0	8,0	804,0	
	Media	8,37	0,032	1.452,0	78,0	64,0	71,0	7,0	802,0	0,8459
1:3	Exp.1	8,24	0,021	874,0	64,0	64,0	68,0	4,0	507,5	
	Exp.2	8,26	0,021	878,0	66,0	62,0	68,0	6,0	510,0	
	Media	8,25	0,021	876,0	65,0	63,0	68,0	5,0	509,0	0,8685
1:5	Exp.1	8,31	0,017	686,0	64,0	72,0	76,0	4,0	425,0	
	Exp.2	8,28	0,017	690,0	64,0	70,0	74,0	4,0	423,0	
	Media	8,29	0,017	688,0	64,0	71,0	75,0	4,0	424,0	0,8790



TABELA II.22 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A5S; Cl<sup>-</sup> = 1904 mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> = 51 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O.

PROPORÇÃO DA MISTURA A5S:B1S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,23	0,033	1.695,0	68,0	56,0	56,0	0,0	910,0	
	Exp.2	8,21	0,033	1.698,0	68,0	54,0	56,0	2,0	915,0	
	Media	8,22	0,033	1.696,5	68,0	54,0	56,0	1,0	912,5	0,8441
1:3	Exp.1	8,28	0,031	1.355,0	56,0	48,0	56,0	8,0	780,0	
	Exp.2	8,26	0,031	1.350,0	58,0	48,0	54,0	6,0	785,0	
	Media	8,27	0,031	1.352,5	57,0	48,0	55,0	7,0	782,5	0,8477
1:5	Exp.1	8,31	0,020	816,0	56,0	52,0	56,0	4,0	485,0	
	Exp.2	8,30	0,020	810,0	56,0	50,0	54,0	4,0	485,0	
	Media	8,30	0,020	813,0	56,0	51,0	55,0	4,0	485,0	0,8710

TABELA II.23 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A5S; Cl<sup>-</sup> = 1904 mg/l) com baixa salinidade(B2S; Cl<sup>-</sup> = 112 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A5S:B2S		PARAMETROS								
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH+op
1:1	Exp.1	8,32	0,034	1.730,0	72,0	64,0	68,0	4,0	983,0	
	Exp.2	8,30	0,034	1.735,0	72,0	64,0	68,0	4,0	985,0	
	Media	8,31	0,034	1.732,5	72,0	64,0	68,0	4,0	984,0	0,8424
1:3	Exp.1	8,30	0,022	886,0	70,0	60,0	68,0	8,0	540,0	
	Exp.2	8,29	0,022	890,0	70,0	60,0	66,0	6,0	538,0	
	Media	8,29	0,022	888,0	70,0	60,0	67,0	7,0	539,0	0,8661
1:5	Exp.1	8,28	0,015	615,0	68,0	64,0	68,0	4,0	350,0	
	Exp.2	8,26	0,015	618,0	66,0	64,0	68,0	4,0	348,0	
	Media	8,27	0,015	616,5	67,0	64,0	68,0	4,0	349,0	0,8850

TABELA II.24 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A5S; Cl<sup>-</sup> = 1904 mg/l) com baixa salinidade(B3S; Cl<sup>-</sup> = 161 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A5S:B3S		PARAMETROS									
		pH	I	STD (mg/l)	Alc <sup>T</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sup>top</sup>	
1:1	Exp.1	8,25	0,040	1.285,0	60,0	66,0	70,0	4,0	1.028,0		
	Exp.2	8,25	0,040	1.280,0	60,0	64,0	70,0	6,0	1.030,0		
	Media	8,25	0,040	1.282,5	60,0	65,0	70,0	5,0	1.029,0	0,8330	
1:3	Exp.1	8,28	0,023	915,0	64,0	68,0	72,0	4,0	615,0		
	Exp.2	8,30	0,023	920,0	66,0	66,0	70,0	4,0	616,0		
	Media	8,29	0,023	917,5	65,0	67,0	71,0	4,0	615,5	0,8638	
1:5	Exp.1	8,27	0,018	736,0	58,0	64,0	72,0	8,0	445,0		
	Exp.2	8,25	0,018	730,0	58,0	66,0	70,0	4,0	443,0		
	Media	8,26	0,018	733,0	58,0	65,0	71,0	5,0	444,0	0,8763	

TABELA II.25 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A6S; Cl<sup>-</sup> = 22554 mg/l) com baixa salinidade(B1S; Cl<sup>-</sup> 51 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A6S:B1S	PARAMETROS										
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fh <sup>top</sup>		
1:1	Exp.1	8,22	0,040	1.380,0	74,0	50,0	54,0	4,0	1.055,0		
	Exp.2	8,20	0,040	1.382,0	74,0	50,0	52,0	2,0	1.050,0		
	Media	8,21	0,040	1.380,0	74,0	50,0	53,0	3,0	1.052,5	0,8330	
1:3	Exp.1	8,15	0,022	887,0	64,0	52,0	52,0	0,0	573,0		
	Exp.2	8,17	0,022	885,0	62,0	52,0	52,0	0,0	575,0		
	Media	8,16	0,022	886,0	63,0	52,0	52,0	0,0	574,0	0,8661	
1:5	Exp.1	8,10	0,015	630,0	58,0	58,0	62,0	4,0	415,0		
	Exp.2	8,10	0,015	626,0	58,0	56,0	60,0	4,0	410,0		
	Media	8,10	0,015	628,0	58,0	57,0	61,0	4,0	412,5	0,8850	

TABELA II.26 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A6S) com baixa salinidade(B2S), A6S:B2S à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A6S:B2S	PARAMETROS										
	pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fh <sup>top</sup>		
1:1	Exp.1	8,25	0,044	1.436,0	78,0	58,0	62,0	4,0	1.130,0		
	Exp.2	8,23	0,044	1.440,0	76,0	60,0	62,0	2,0	1.133,0		
	Media	8,24	0,044	1.438,0	77,0	59,0	62,0	3,0	1.131,5	0,8638	
1:3	Exp.1	8,20	0,023	936,0	74,0	60,0	68,0	8,0	640,0		
	Exp.2	8,21	0,023	939,0	74,0	60,0	66,0	6,0	642,0		
	Media	8,20	0,023	937,5	74,0	60,0	67,0	7,0	641,5	0,8638	
1:5	Exp.1	8,15	0,018	745,0	68,0	52,0	60,0	8,0	475,0		
	Exp.2	8,11	0,018	749,0	68,0	52,0	58,0	6,0	478,0		
	Media	8,13	0,018	747,0	68,0	52,0	59,0	7,0	476,5	0,8763	

TABELA II.27 - Parâmetros físico-químicos das amostras da mistura das águas alta salinidade(A6S; Cl<sup>-</sup> = 2254 mg/l) com baixa salinidade(B3S; Cl<sup>-</sup> = 161 mg/l) à temperatura de 25°C.  
Sistema II: NaHCO<sub>3</sub> + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + MgCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PROPORÇÃO DA MISTURA A6S:B3S		PARAMETROS									
		pH	I	STD (mg/l)	AlcT (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dt (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Mg <sup>2+</sup> (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	fH <sub>top</sub>	
1:1	Exp.1	8,22	0,045	1.533,0	74,0	58,0	62,0	4,0	1.256,0		
	Exp.2	8,22	0,045	1.530,0	74,0	58,0	64,0	2,0	1.253,0		
	Media	8,22	0,045	1.531,5	74,0	58,0	61,0	3,0	1.254,5	0,8260	
1:3	Exp.1	8,18	0,028	1.210,0	66,0	64,0	72,0	8,0	695,0		
	Exp.2	8,14	0,028	1.205,0	68,0	64,0	70,0	6,0	693,0		
	Media	8,16	0,028	1.207,5	67,0	64,0	71,0	7,0	694,0	0,8533	
1:5	Exp.1	8,16	0,022	896,0	62,0	72,0	80,0	8,0	535,0		
	Exp.2	8,20	0,022	893,0	62,0	70,0	78,0	8,0	538,0		
	Media	8,18	0,022	894,5	62,0	71,0	79,0	8,0	536,5	0,8661	