

## INTERPRETAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE DADOS HIDROQUÍMICOS PARA USO HUMANO E AGRÍCOLA

Fenzi, N.; Rijo, L.; Piuci, J.; Guimarães, P.B.M.

### ABSTRACT

The quality control of natural water for human consumption requires an increasingly efficient interpretation, classification and presentation of analytical data. The present work attempts to solve this problem by computer programming. All analytical data and varying water grades are treated simultaneously and plotted directly in figures and maps.

This classification system uses the potability standard of W.H.O. (1963) and the limits for the following variables:

- a) Substances affecting water potability and detrimental to human health if consumed in excess for long periods. (Fe, Mg, Cu, Zn, Mn, SO<sub>4</sub>, chlorides, etc).
- b) Substances detrimental to health if directly consumed in excess (Nitrates and Fluorides).
- c) Toxic substances; As, Ba, Cd, CN, Cr-6, Pb, etc)
- d) Chemical and biochemical pollution indicators: DQO, DBO, total Nitrogen, NH<sub>3</sub>, CCE, oil and fat, phenol, ABS and bacteriological characteristics.
- e) Radioactive substances.

Water samples are grouped and mapped by their similar characteristics. The described method is particularly effective for a periodic water supply control in greater urban areas and for observations of quality-variation of ground-water systems.

### INTRODUCTION

Durante as pesquisas hidrogeológicas desenvolvidas na Ilha de Marajó, Pará, (Fig.1), ficou cada vez mais claro que o problema fundamental do abastecimento das diversas comunidades com água potável não é problema quantitativo mas um problema qualitativo. Geralmente (com a exceção da região de Genipapo e Santa Cruz do Arari) existem aquíferos de fácil acesso, com boas características hidrodinâmicas. Porém, dois fatores contribuem a perda da qualidade das águas de consumo:

- a) Fator climático: A variação natural das concentrações iônicas por efeitos climatológicos prejudica a qualidade e a potabilidade das águas subterrâneas rasas que contribuem 100% do abastecimento público. (PIUCI, FENZL, 1978a).
- b) Poluição antropogênica: A grande maioria dos sistemas de abastecimento (em geral poços) encontram-se em estado de preservação muito precários. A situação sanitária geral, a falta de esgotos e o desconhecimento básico da população sobre a relação água-doença é altamente deficiente. (FENZL, PIUCI, 1979).

A poluição antropogênica constitui evidentemente o perigo maior, porque ela é sempre fonte de bactérias, germes em geral e vírus, responsáveis em parte para o estado de saúde precária da população.

Um dos objetivos principais das pesquisas hidrogeológicas do Projeto Marajó é o abastecimento das comunidades com água potável. Daí resulta nossa preocupação com o estudo qualitativo das águas

destinadas ao consumo humano. Em consequência desses objetivos foram desenvolvidos a capacidade analítica do Laboratório de Hidroquímica e um programa de computação que tem condições de fornecer uma interpretação, e classificação imediata da água. O presente trabalho tem como objetivo de apresentar todas as possibilidades do programa.

Para testar o programa foi utilizada uma campanha de amostragem da região de Ponta de Pedras (Fig.2), sendo a região mais estudada com uma ampla rede de piezômetros, facilitando assim o mapeamento dos resultados. Na época da campanha, o laboratório de hidroquímica não dispunha ainda da possibilidade de analisar os elementos traços, assim como alguns indicadores de poluição. Por esta razão, os elementos faltantes foram introduzidos posteriormente.

#### AS ETAPAS DO PROGRAMA

##### - Reconhecimento físico-químico da água

A primeira etapa consiste em um certo número de cálculos relativamente simples que fornecem informações sobre o estado químico da amostra mais não indicam nada sobre a qualidade da água para o consumo humano.

- Entrada dos dados analíticos fornecidos em mg/l. Todas as informações referentes a uma determinada amostra serão armazenadas em 6 cartões.

- Transformação das concentrações fornecidas para meg./l e mmol/l.

- Cálculo da Força Iônica  $I=0,5 \cdot \sum C_i \cdot Z_i^2$   
onde:  $\sum C_i$  = sùmula das concentrações iônicas em mol/l.

$Z_i$  = carga de cada ion.

- Cálculo das Atividades Iônicas, segundo ALEKIN (1962)

$$\log \gamma_i = 0,5 \cdot Z_i^2 \cdot \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \quad \text{Condições } I < 0,2$$

Atividade = concentração molar  $\times \gamma_i$

- Determinação do erro analítico

$$\% e = 100 \frac{rp \cdot rn}{rp + rn} \quad rp = \sum \text{ions positivos em meg/l}$$

$$rn = \sum \text{ions negativos em meg/l}$$

- Classificação química da água segundo H. SCHOELLER (1962)

- Cálculos dos coeficientes  $S0 = \sqrt{(rSO_4)(rCa)}$   
e  $Kr = \sqrt[3]{(rHCO_3 + rCO_3)^2(rCa)}$

Para determinar a solubilidade em Sulfatos e carbonatos.

- Determinação da Agressividade da água através do CO<sub>2</sub>-equilíbrio e o pH-equilíbrio

$$CO_2 \text{ EQ} = \frac{K}{F} \cdot C_{HCO_3}^2 \cdot C_{Ca} +$$

$$pH \text{ EQ} = pk - \lg C_{Ca} - \lg C_{HCO_3} + \lg f$$

K, F, pK, f = sendo valores tabelados (MATTE, 1972)

$$\Delta CO_2 = CO_2 \text{ Livre} - CO_2 \text{ EQ}$$

$$\Delta pH = pH \text{ Medido} - pH \text{ EQ}$$

$\Delta CO_2$  e  $\Delta pH$  indicam com precisão a agressividade contra calcário, equilíbrio ou a saturação da água em carbonato.

- Cálculo dos índices de troca iônica

$$I_1 = r \frac{Cl - (Na+K)}{Cl}$$

$$I_2 = r \frac{Cl - (Na+K)}{SO_4 + HCO_3 + NO_3}$$

- Cálculos de diversas razões características

- Classificação da água para o consumo humano e agrícola

A segunda e mais importante etapa consiste na aplicação de critérios (aqui serão usadas as normas e critérios da Organização



Mundial de Saúde de 1963 em Custódio, Lomas, 1976) para classificar a água para seu uso como água potável e na agricultura. Nos somos conscientes de que todo tipo de classificação das águas tem um caráter subjetivo porque o resultado final tem que ser uma síntese de todos os elementos da análise. Várias possibilidades de classificação foram experimentadas e rejeitadas por não serem adequadas às condições objetivas da região.

O sistema apresentado aqui nos parece o mais adequado para nossa realidade e achamos que pode ser aplicado em várias outras cidades e regiões modificando apenas alguns critérios específicos mas conservando o princípio.

#### - Classificação para o consumo humano

Os elementos analisados são primeiro classificados em 4 grupos fundamentais. (Tab.1).

GRUPO A: Elementos que afetam a potabilidade. Isto é: os elementos desse grupo não trazem um perigo imediato para a saúde do consumidor, se forem consumidos em quantidades superiores aos valores indicados, porém deve ser evitado um consumo a longo prazo.

GRUPO B: Substâncias tóxicas. Trata-se aqui de metais traços que podem trazer consequências imediatas para o consumidor se forem consumidos em concentrações superiores às máximas permitidas.

GRUPO C: Indicadores de poluição.

Os elementos desse grupo não apresentam necessariamente um perigo imediato para o consumidor se forem ingeridos em concentrações superiores aos limites indicados. Mas elas indicam possíveis fontes de poluição que podem trazer consequências perigosas para o usuário. Neste grupo nós incluímos as bactérias e uma eventual fonte radioativa.

GRUPO D: Elementos específicos que podem afetar a saúde, sem apresentar uma toxidez direta.

O conjunto de todos esses elementos foi comparado às normas de potabilidade da Organização Mundial de Saúde (1963) daí resultando a possibilidade mais conveniente da classificação da água em quatro grupos (Tabela 1).

- 1) Aceitável sem restrição
- 2) Tolerável
- 3) Tolerância restrita. Tratamento aconselhável para os seguintes elementos (segue a enumeração destes elementos)
- 4) Imprópria para o consumo humano. Tratamento necessário para os seguintes elementos (segue a enumeração dos elementos).

#### - Classificação para o uso agrícola

A classificação da água para fins agrícolas é mais simples porque o número de elementos e fatores a serem considerados é menor. Daí resulta uma objetividade maior na aplicação dos critérios. Para o procedimento foram escolhidos os seguintes critérios:

- a) Cálculo da SAR. (Sodium absorption ratio)

$$SAR = \frac{r_{Na}}{\sqrt{\frac{r_{Ca+Mg}}{2}}}$$

- b) Determinação do perigo de salinização do solo através da condutividade de (em  $\mu$ hos/cm)
- c) Determinação do perigo de alcalinização do solo usando os resultados de a) e b).
- d) Sensibilidade ao Boro, verifica a utilidade da água para irrigação de cultivos sensíveis, semitolerantes e tolerantes alBoro.
- e) Cálculo do Carbonato Sódico Residual (CSR).

$$CSR = (rCO_3 + rHCC_3) \cdot (rCa + rMg)$$

A água será classificada em BOA, DUVIDOSA ou MÁ segundo os valores do CSR.

f) Classificação da água segundo Tamés (1965) que utiliza os sólidos dissolvidos, Boro, CSR e a relação  $\frac{rCa}{r\Sigma cations}$  para classificar a água em BOA, MÁ e DUVIDOSA.

- Apresentação gráfica e mapeamento dos resultados

A última etapa do programa consiste em apresentar visualmente os resultados, tanto de uma amostra só, como também de um conjunto de amostras (mapas). Essa parte será desenvolvida por um programa separado ligado a um plotter.

Cada amostra será apresentada graficamente no diagrama semilogarítmico de Schoeller Berkaloff (adaptado por J.D. Hem) (Fig.3). A parte mais importante porém é a apresentação de um mapa de qualidade de uma determinada região numa determinada época (Fig.4). Nós achamos esta forma de apresentação especialmente eficaz para controlar a qualidade das águas de consumo humano em grandes áreas urbanas. As figuras 6 a,b, representam o out-put de uma amostra da região de Ponta de Pedras.

#### CONCLUSÕES

As condições e necessidades das pesquisas hidrogeológicas nos levaram a dar prioridade aos estudos da qualidade das águas. A quantidade de amostras analisadas justificou o desenvolvimento de um programa de computação que porém foi ampliado além das necessidades imediatas das pesquisas com a previsão de usá-lo futuramente para o controle de qualidade das águas de consumo da cidade de Belém. A vantagem do programa a nosso ver é a sua utilidade especialmente em centros urbanos. A classificação para o uso agrícola é um subproduto deste trabalho com utilidade em regiões onde a água de abastecimento popular também é usada na agricultura como no caso justamente da área de Ponta de Pedras, Marajó. (Fig. 5).

O programa pode, devido a sua estrutura altamente flexível, ser facilmente adaptada a regiões e condições diferentes. Da mesma maneira é bastante fácil modificar os padrões de potabilidade se estes não correspondem com as normas da Organização Mundial de Saúde.

#### LISTAGEM DAS FIGURAS

- Fig. 1 - Localização da Ilha do Marajó
- Fig. 2 - Localização dos piezômetros da Região Ponta de Pedras
- Fig. 3 - Diagrama de classificação segundo Hem
- Fig. 4 - Mapa de qualidade da água pelo consumo humano
- Tab. 1 - Padrões de Potabilidade e método de classificação
- Fig. 5 - Mapa de qualidade para o uso agrícola
- Fig. 6a,b, - out put completo de uma amostra de água

#### BIBLIOGRAFIA

- ALEKIN, O.A. - 1962 - "Grundlagen der Wasserchemie - Eine Einführung" 260 p.m 61 Abb., 1kt, 74 Tab. Leipzig (VEB-Deutsch-Verl).
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. - 1976 - "Hidrologia Subterrânea" Tomo II, 235 p., Barcelona (ED.Omega).
- FENZL, N., PIUCI, J. - 1979 - "Estudos da qualidade das Águas Subterrâneas na parte Este da Ilha de Marajó - Metodologia e Resultados. Apresentação no I Simpósio Internacional sobre o controle da qualidade das Águas Subterrâneas CETESB - São Paulo, Março.
- HEM, J.D. - 1970 - Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 2nd. Ed. Geological Survey Water-Supply Paper 1473, C.S. Gov.Print. Office, Washington.
- PIUCI, J., FENZL, N. - 1978a. - "Avaliação do quimismo das Águas Subterrâneas rasas durante o ano hidrológico e suas consequências para o uso humano." Apresentação na XXX Reunião Anual da SBPC, São Paulo, julho.

SCHOELLER, H. - 1962 - "Les eaux Souterraines"  
642 p., 187 Abb., Paris (Masson & Cie).

TAMES, C. - 1965 - Utilization de águas salgadas para riego. Inst Nac .  
de Invest.Agron.Madrid.



Tab. 1 - Padrões de potabilidade e modo de classificação da água para o consumo humano.

Elemento	Categoria	I Aceitável sem restrição	II Tolerável	III Tolerância res- trita	IV Impróprio para o con- sumo humano
Odor		sem	ligeiro	razoável	forte
Sabor		sem	ligeiro	razoável	forte
Res.seco.tot.		I 500	II 1500	III +	
Cor		I 5	II 50	III +	
Turbidez		I 5	II 25	III +	
Ferro-total		I 0,3	II 1,0	III +	
Manganês		I 0,1	II 0,5	III +	
Cobre		I 1,0	II 1,5	III +	
Zinco		I 5,0	II 15	III +	
Cálcio		I 75	II 200	III +	
Magnésio		I 50	II 150	III +	
Sulfato		I 200	II 400	III +	
Cloreto		I 200	II 600	III +	
pH		7 < pH < 8,5	5,5 < pH < 7 e 8,5 < pH < 9	pH < 5,5 e pH > 9,2	
Chumbo		I 0	II 0,05	III 0,1	IV
Arsênio		I 0	II 0,05	III 0,2	IV
Cromio-6		I 0	II +	III 0,05	IV
Sênio		I 0	II 0,01	III 0,05	IV
Cianito		I 0	II 0,01	III 0,02	IV
Cádmio		I 0	II +	III 0,01	IV
Bário		I 0	II +	III 1,0	IV
Prata		I 0	II +	III 0,04	IV
DOO			+ II 10	III +	
DEO			+ II 6	III +	
Nitrogênio			+ II 1,0	III +	
Total, ex. NO <sub>2</sub>			+ II 0,5	III +	
NH <sub>3</sub>			+ II 0,5	III +	
CCE		I 0,2	II 0,5	III +	
Óleos & Crxs			+ II 1,0	III +	
Fenóis		I 0,001	II 0,002	III +	
ABS		I 0,5	II 1,0	III +	
Bactérias (em N colônias/100ml)		I 0N	II 2N	III + 4N	IV
Fluores		I 0,5	II 1,5	III	
Nitratos			+ II 2N	III +	
Radioatividade (em µC <sub>1</sub> /l)		I 0		III 10 <sup>-4</sup>	IV

FIG. 1- LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ILHA DE MARAJÓ

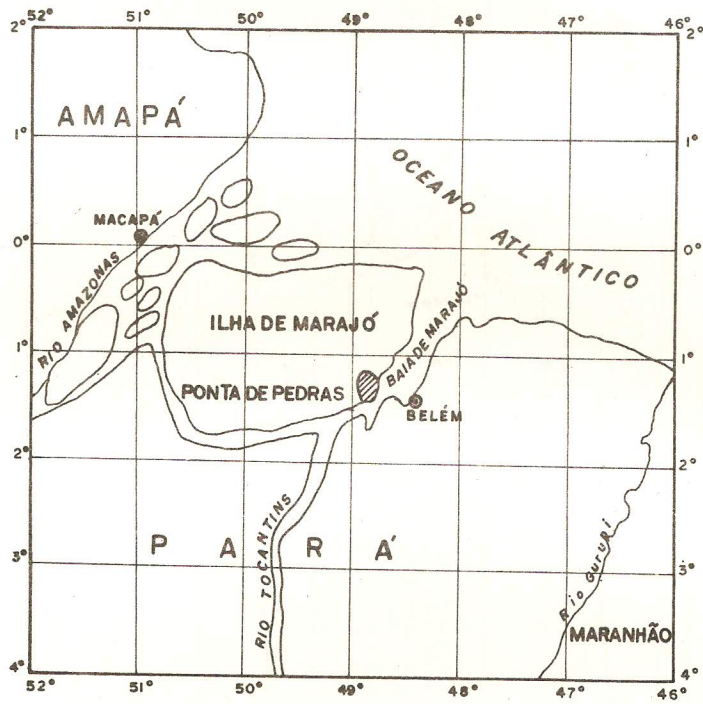
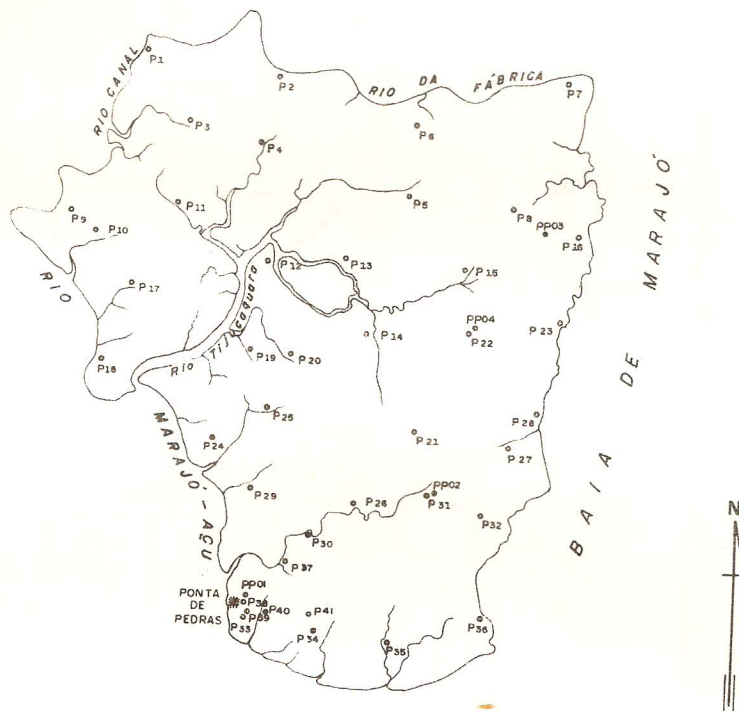


FIG.2-LOCALIZAÇÃO DOS PIEZÔMETROS  
E PERFURAÇÕES DE ENSAIO



PROJETO: AVALIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS  
HÍDRICOS DA ILHA DE MARAJÓ

ÁREA PILOTO: PONTA DE PEDRAS

MALHA: 2 x 2,5 km<sup>2</sup>

ESCALA: 1:150.000



# FIG.3 - DIAGRAMA DE ANÁLISE DE ÁGUA

( ADAPTADO J.D. HEM TEORES EM mg/l)

Nº DA AMOSTRA: PP 006

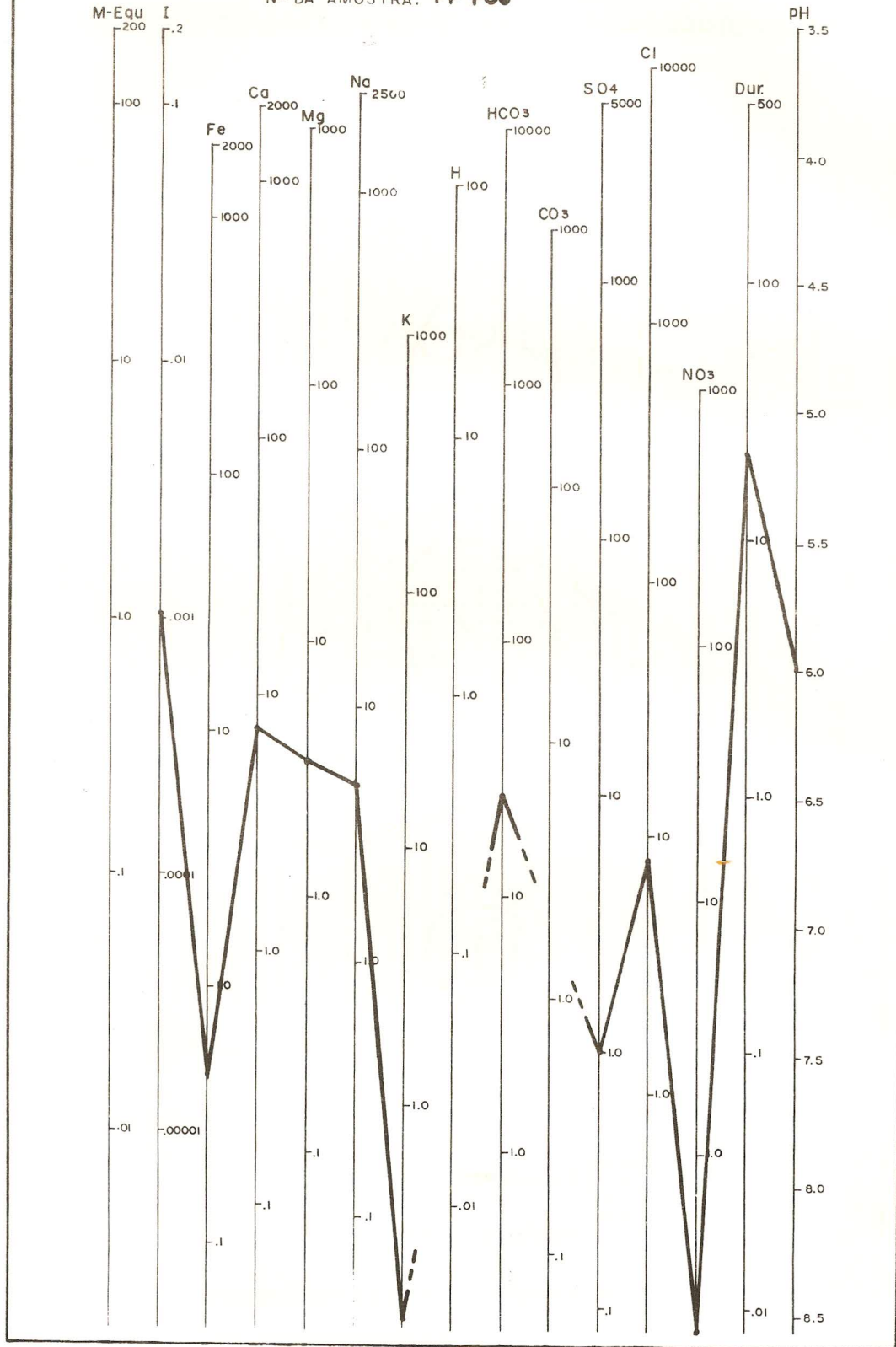


FIG. 4 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO

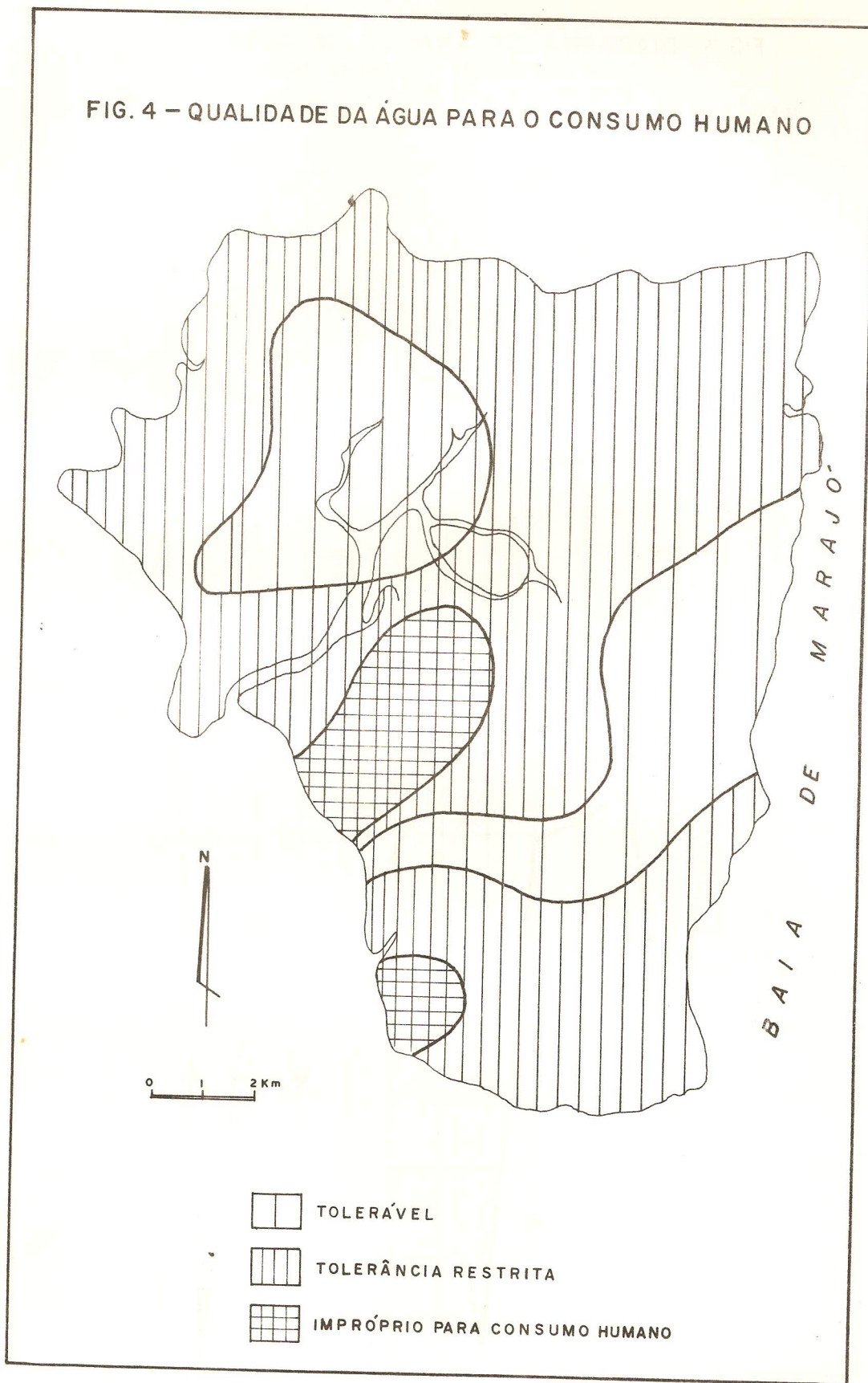


FIG.5 - ÁGUA PARA USO DE IRRIGAÇÃO  
PERIGO DE SALINIZAÇÃO E ALCALINIZAÇÃO

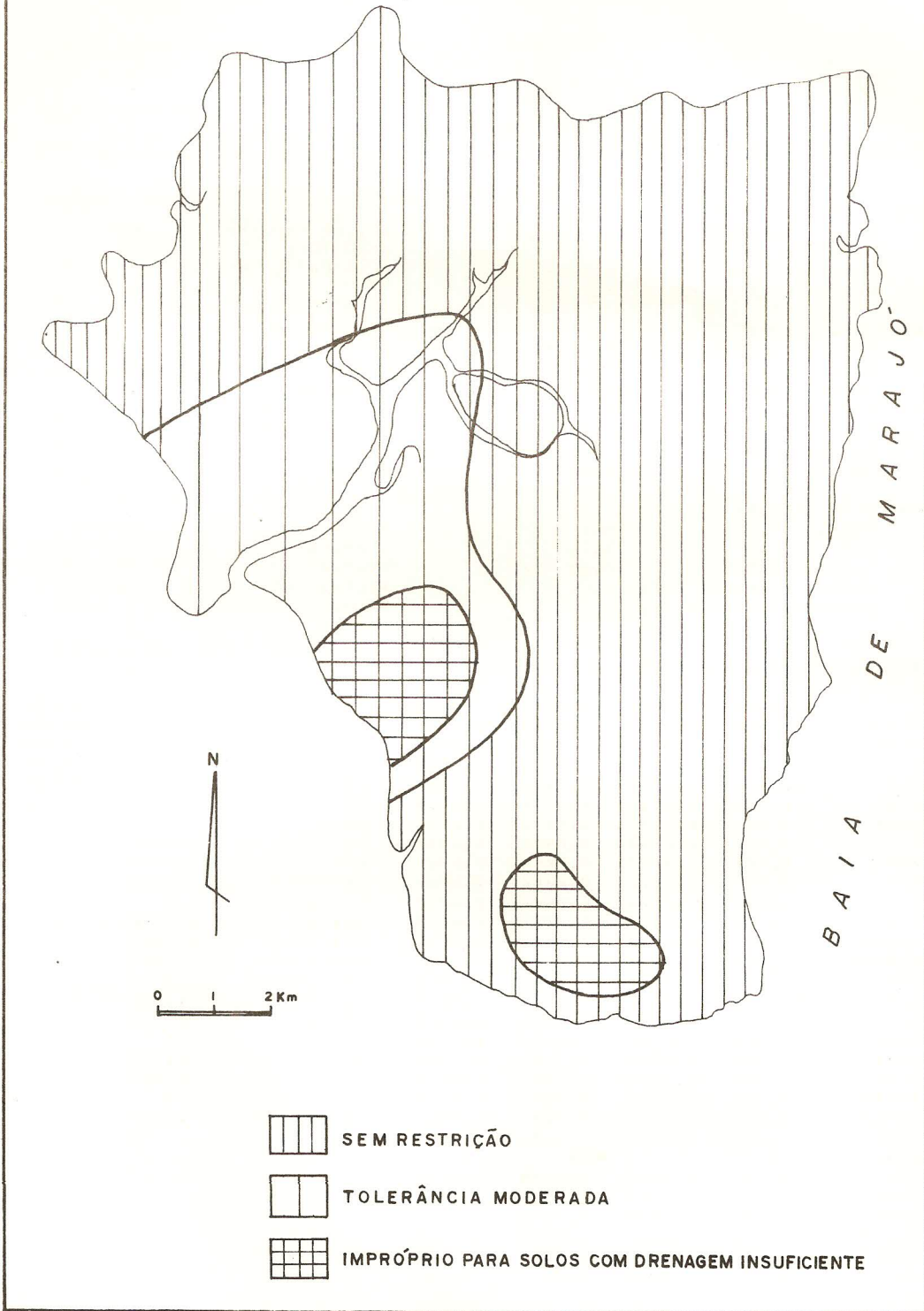




Fig. a, b, out put do programa para amostra PPP06.

ANALISE DE AGUA 8-OCT-86 10:51 LABC NCGG UFPA DECSYSTEM-10

DADOS GERAIS

LOC. GEOGRAFICA	EE	Nº. DA AMOSTRA	EE6
LATITUDE		LONGITUDE	
NIVEL DA AGUA	07.20 m	COTA LA SUPERFICIE	*
PROFUND. DA COLETA	03.20 m		

DADOS DA COLETA

DATA	27.11.78
HORA	17.00
RESPONSAVEL	JACYRO
TEMP. DO AR	32.50 C
TEMP. DA AMOSTRA	30.00 C
CONDUTIVIDADE	
PH	6.50

DADOS DA ANALISE

DATA	01.12.78
HORA	11.40
RESPONSAVEL	MAGAL
TEMP. DO AR	20.00 C
TEMP. DA AMOSTRA	25.30 C
CONDUTIVIDADE	57.00 MS
PH	6.00

DADOS DA AMOSTRA

ODOR	FRACO
COR	4.00
RESIDUO TOTAL	48.45 MG/L
ALCAL. FERROLIFINA	0.00
BACTERIAS(COL/100ML)	1.00

SABOR	FRACO
TURBIDEZ	3.00
DUREZA	15.50
ALCAL. FENOLORANGE	23.00
RADIOATIVIDADE	

ALCULO DAS CONCENTRACOES (\* = NAO MEDIDO)

	MG/L	MEQ/L	MMOL/L	CAIV.		MG/L	MMOL/L
HC03-	28.060	0.4599	0.4599	0.4599	B	0.700	0.0040
CO3--	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	SI02	2.750	0.0450
SO4--	1.000	0.0208	0.0104	0.0208	CR	0.000	0.0000
CL-	12.150	0.3428	0.3428	0.3428	FB	0.000	0.0003
NO2-	0.060	0.0014	0.0014	0.0014	AG	0.020	0.0002
NO3-	0.200	0.0032	0.0032	0.0031	SE	0.000	
F-	1.800	0.0948	0.0948	0.0912	AS	0.000	
OH-	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	CN	0.000	
BR-	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	FE TOTAL	1.400	
I-	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	ALZ03	*	
PO4---	0.200	0.0063	0.0021	0.0015	CO2 LIVRE	12.890	
HF04--	0.200	0.0042	0.0021	0.0018	CO2 TOTAL	37.500	
H2PO4-	0.200	0.0021	0.0021	0.0020	ACID. TOT.	0.400	
S--	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	O2 DISSOL.	*	
NA+	12.000	0.5220	0.5220	0.5027	O2 CONSUM.	1.700	
K+	2.000	0.0511	0.0511	0.0492	FERRO	0.005	
CA++	0.000	0.0399	0.0200	0.0172	CCE	*	
MG++	3.540	0.2912	0.1450	0.1252	ABS	0.000	
FE++	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	MS	0.120	
FE+++	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	DEU	*	
CU++	1.000	0.0315	0.0157	0.0135	OLEOS-GRAS	0.000	
MN++	0.100	0.0035	0.0018	0.0016			
ZN++	*	*	*	*			
BA++	0.500	0.0073	0.0030	0.0031			
CL++	0.000	0.0000	0.0000	0.0000			
NH4+	0.130	0.0072	0.0072	0.0069			
AL+++	0.000	0.0000	0.0000	0.0000			
CU++	0.000	0.0000	0.0000	0.0000			
H+	0.000	0.0000	0.0000	0.0000			

CLASSIFICACAO QUIMICA DA AGUA

TIPO QUIMICO:  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> CL<sup>-</sup> NA<sup>+</sup> MG<sup>++</sup>

SO<sub>4</sub> = 0.0288 AGUA SUBSATURADA EM SULFATOS  
KR = 0.2036 AGUA BIFOCARBONATADA

AGRESSIVIDADE:  
CO<sub>2</sub> LIVRE-CO<sub>2</sub> EQ. = 12.89 MG/L AGUA AGRESSIVA  
PH CAMPO-PH EQ. = -2.26 AGUA AGRESSIVA CONTRA CALCARIO

RAZORES CARACTERISTICAS (CONC. EM MEQ/L):  
CA/MG = 0.1371 SO<sub>4</sub>/CL = 0.0607  
(CL-NA)/CL = -0.5230 NA/(CA+MG) = -2.0714  
LI = -0.6722 Z = -0.4761

FORCA IONICA = 0.11502E-02 ERRO ANALITICO = 0.98 %

CLASSIFICACAO PARA USO HUMANO

QUALIDADE:  
TOLENCIA RESTRITA

TRATAMENTO RECOMENDAVEL PARA:  
FERRO CHUMBO FENOLIS FLUOR

CLASSIFICACAO PARA USO AGRICOLA

SAR = 1.614 MEQ/L

PERIGO DE SALINIZACAO DO SOLO:  
BAIXO

PERIGO DE ALCALINIZACAO DO SOLO:  
BAIXO

USO PARA IRRIGACAO:  
SEM RESTRICAO

SENSIBILIDADE AO BORO:  
ADEQUADO PARA CULTIVOS TOLERANTES  
ACEITAVEL PARA CULTIVOS SENSIVEIS SEMITOLERANTES

CARBONATO SODICO RESIDUAL:  
BOM

CLASSIFICACAO DE TAMES (1965):  
BA