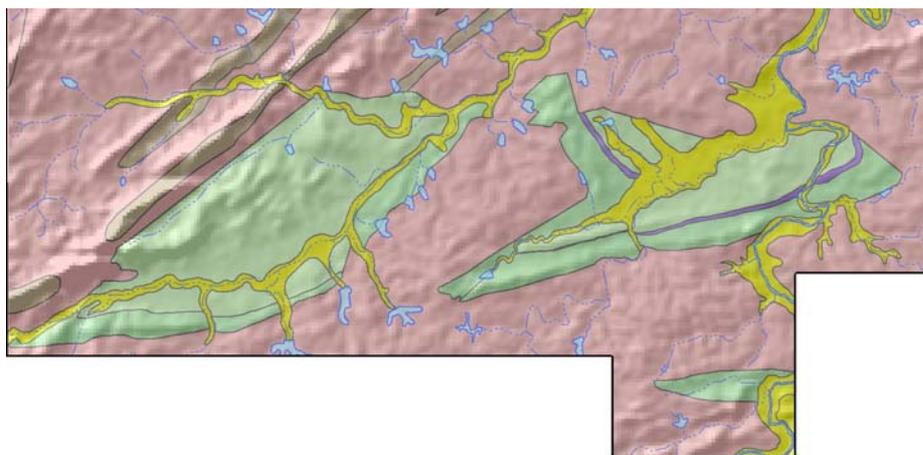




## Rede Cooperativa de Pesquisa

# COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO



## *HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DE LAVRAS DA MANGABEIRA*

### Meta D

### Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade

Outubro / 2007

Ministério de  
Minas e Energia

Ministério da  
Ciência e Tecnologia



**Rede Cooperativa de Pesquisa**

**COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO  
SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**

***HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DE  
LAVRAS DA MANGABEIRA***

**Meta D**

**Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade**

Execução:

**Serviço Geológico do Brasil - CPRM**

**Universidade Federal do Ceará - UFC**

Outubro / 2007

## REDE COOPERATIVA DE PESQUISA

### **COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**

#### **Coordenação:**

Período 2004/2005 – Dr. *Waldir Duarte Costa*

Período 2006/2007 – MSc. *Fernando A. C. Feitosa*

#### **Instituições Participantes:**

##### **Serviço Geológico do Brasil – CPRM**

Coordenação: MSc. *Fernando A. C. Feitosa*

MSc. *Jaime Quintas dos Santos Colares*

##### **Universidade Federal da Bahia – UFBA**

Coordenadora: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz

##### **Universidade Federal de Campina Grande – UFCG**

Coordenador: Dr. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

##### **Universidade Federal do Ceará – UFC**

Coordenadora: Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago

##### **Universidade Federal de Pernambuco – UFPE**

Coordenador: Dr. José Geilson Alves Demetrio

##### **Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN**

Coordenador: Dr. José Geraldo de Melo

---

---

#### **Bacia Sedimentar do Araripe**

#### ***Hidrogeologia da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira***

#### **Meta A – Relatório Diagnóstico do Estado da Arte**

##### **1 AUTORIA:**

CPRM

MSc. Liano Silva Veríssimo

MSc. Robério Boto de Aguiar

## **Meta B – Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos**

### 1. AUTORIA:

CPRM

MSc. Jaime Quintas dos Santos Colares

MSc. Sara Maria Pinotti Benvenuti

Francisco Edson Mendonça Gomes

Felissimo Melo

UFC:

Dr. David Lopes de Castro - LGPSR

Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco - LGPSR

Dr. Enéas Lousada – LGPSR

## **Meta C – Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos**

### 1. AUTORIA:

CPRM:

MSc. Robério Boto de Aguiar

MSc. Liano Silva Veríssimo

UFC:

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - Dept. de Geologia

### 2. CONSULTORIA:

Dr. João Manoel Filho

### 3. COLABORADORES:

CPRM:

Francisco Alves Pessoa

Armando Arruda Câmara Filho

Jorge de Vasconcelos Oliveira

Julimar de Araújo

Carlos Alberto Ramos

## **Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade**

### 1 AUTORIAS:

CPRM:

MSc. Liano Silva Veríssimo

UFC:

Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago - Dept. de Física

Dra. Carla Maria S. Vidal Silva - Dept. de Física

Dr. Horst Frischkorn - Dept. de Engenharia Hidráulica e Ambiental

Dr. Josué Mendes Filho - Dept. de Física

2 COLABORADORES:

CPRM:

Francisco Alves Pessoa

UFC:

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - Dept. de Geologia

Nirlando de Oliveira Viana - Mestrando Dept. de Geologia

Cláudio César de Aguiar Cajazeiras - Mestrando Dept. de Geologia

Érika Grasielli C. Peixoto - Aluno de Iniciação Científica do Dept. de Geologia

Michel Lopes Granjeiro - Mestrando Dept. de Física

Roberto Namor Silva Santiago - Aluno de Iniciação Científica Dept. de Física

**Meta E – Suporte ao Planejamento e a Gestão das Águas Subterrâneas**

1 AUTORIA:

UFC:

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - Dept. de Geologia

**Meta F – Estruturação e Alimentação da Base de Dados em SIG**

1 COODENAÇÃO:

CPRM:

Francisco Edson Mendonça Gomes

2 COLABORADORES:

CPRM:

Eriveldo da Silva Mendonça

Érika Gomes de Brito

Vicente Calixto Duarte Neto

Antônio Celso Rodrigues de Melo

MSc. Robério Boto de Aguiar

MSc. Liano Silva Veríssimo

# HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DE LAVRAS DA MANGABEIRA

## Relatório Integrado - Meta D Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade

### SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	1
<b>1. ESTUDOS HIDROQUÍMICOS E ISÓTOPICOS</b>	2
1.1. Coleta de amostras	2
1.2. Análise hidroquímica	3
1.3. Análise bacteriológica	8
1.4. Análises isotópicas	10
1.5. Interpretação dos resultados	11
<b>2. ESTUDOS DE VULNERABILIDADE E RISCO DE POLUIÇÃO DAS     ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b>	32
2.1. Fontes potenciais de poluição	32
2.1.1. Fontes pontuais	32
2.1.1.1. Disposição dos Resíduos Sólidos	32
2.1.1.2. Construção de poços tubulares	32
2.1.2. Fontes difusas	33
2.1.2.1. Atividade agrícola	33
2.2. Caracterização da vulnerabilidade do aquífero	33
2.2.1. Metodologias e características da vulnerabilidade natural dos aquíferos da área estudada	33
2.2.2. Classes de vulnerabilidade natural dos aquíferos	34
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	36
<b>ANEXOS</b>	
Tabela 4. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 1 em outubro de 2005.	38
Tabela 5. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 2 em dezembro de 2005.	38
Tabela 6. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 3 em abril de 2006.	38
Tabela 7. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 4 em junho de 2006.	39
Tabela 8. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 5 em outubro de 2006.	39
Tabela 9. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 6 em fevereiro de 2007.	39

## LISTA DE FIGURAS

1. Mapa de localização da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira e da área do Projeto	1
2. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar em Lavras da Mangabeira	3
3. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P3, em Lavras da Mangabeira	13
4. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P4, em Lavras da Mangabeira	14
5. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P6, em Lavras da Mangabeira	15
6. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P8, em Lavras da Mangabeira	16
7. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P22, em Lavras da Mangabeira	17
8. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P24, em Lavras da Mangabeira	18
9. Variação temporal de parâmetros físico-químico e químicos no poço P27, em Lavras da Mangabeira	19
10. Pluviometria de um posto meteorológico em Lavras da Mangabeira de abril de 2005 a fevereiro de 2007	20
11. Variação da condutividade elétrica no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira	20
12. Variação da concentração de nitrato de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira	21
13. Variação da dureza no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira	21
14a. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em outubro de 2005	22
14b. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em dezembro de 2005	23
14c. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em abril de 2006	23
14d. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em junho de 2006	24
14e. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em outubro de 2005	24
14f. Diagramas de Piper em Lavras da Mangabeira em outubro de 2006 e fevereiro de 2007	25
15. Diagramas USDA no Cariri Oriental (a) em outubro de 2005, (b) em dezembro de 2005, (c) em abril de 2006, (d) em junho de 2006, (e) em outubro de 2006 e (f) em fevereiro de 2007	26
16. Diagrama USDA modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) em Lavras da Mangabeira	27
17. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados em Lavras da Mangabeira em junho de 2006 e em fevereiro de 2007	28
18. <i>E. Coli</i> nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Oriental em junho de 2006 e em fevereiro de 2007	29
19. $\delta D$ versus $\delta^{18}O$ em águas subterrâneas do Cariri.	30
20. $\delta^{18}O$ versus condutividade elétrica (CE) de amostras de águas subterrâneas	31
21. Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero	34
22. Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos.	35

## LISTA DE QUADROS

1. Locais amostrados em Lavras da Mangabeira nas sub-bacias, Riacho do Meio e Riacho do Rosário	3
2. Valores máximos permitidos (VMP) para as águas potáveis (Portaria n o 518 do Ministério da Saúde)	4
3. Classificação das águas quanto ao grau de dureza (Fonte: FNS, 1999)	7

## LISTA DE TABELAS

1. Identificação dos poços amostrados em Lavras da Mangabeira	12
2. Resultados das análises bacteriológicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Cariri coletadas em julho de 2006 e em fevereiro de 2007	28
3. Resultados das análises isotópicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Cariri	29

## LISTA DE FOTOS

1. Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC.	8
2. Etapas iniciais do método Colilert.	9
3. Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC	10

## SIGLAS E ABREVEATURAS

CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CE	Ceará
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
EDTA	Ethylene DiamineTetrAcetic acid.(ácido etilenodiamino tetra-acético)
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará
MPN	Número máximo permitido
MS	Ministério da Saúde
NITRAVER	Método espectrofotométrico
OMS	Organização Mundial de Saúde
PE	Pernambuco
pH	Concentração de hidrogênio
PI	Piauí
PMC	Prefeitura Municipal do Crato
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SIAGAS	Sistema de Informações de Água Subterrâneas
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UCCC	Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

## **SIGLAS E ABREVEATURAS (cont.)**

UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
VCAS	Vórtice Ciclônico de Ar Superior
VMP	Valores máximos permitidos
VSMOW	Viena Standard Mean Ocean Water
LGPSR	Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## INTRODUÇÃO

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil, firmou junto ao Ministério da Ciência e Tecnologia, por intermédio da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, responsável pela implementação do Fundo Setorial de Recursos Hídricos, o convênio 01.04.0623.00 denominado Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.

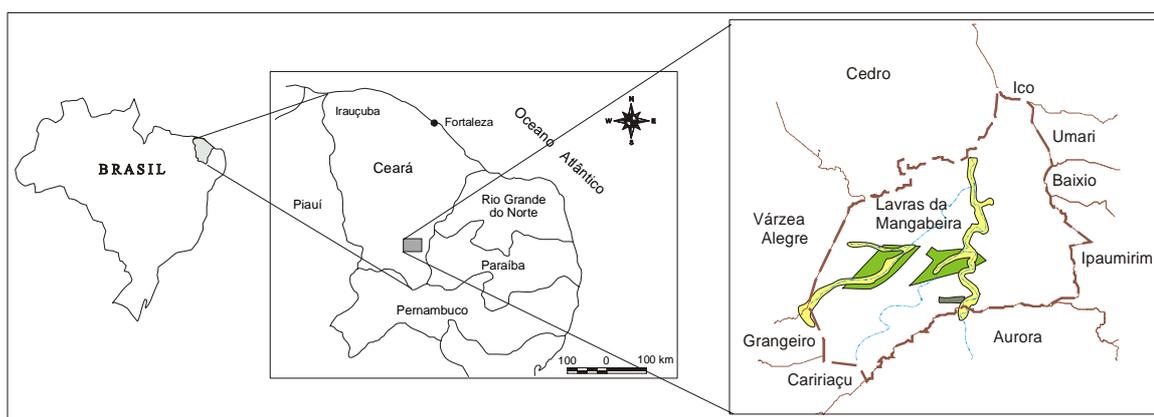
Essa parceria tem como objetivo levantar, gerar e disponibilizar informações sobre a ocorrência, potencialidades, circulação e utilização das águas subterrâneas em bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste.

Participam também deste convênio, formando uma rede cooperativa de pesquisa, as seguintes instituições: Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

O presente documento corresponde a Meta D - Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira. Esta etapa do projeto teve como objetivo o estudo hidroquímico, isotópico e de vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas na área.

A Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira localiza-se no município de mesmo nome, situado na porção sudeste do estado do Ceará (Figura 1). Faz limítrofe com os municípios de Aurora, Cedro, Caririaçu, Granjeiro, Várzea Alegre, Baixio, Umari e Ipaumirim; compreendendo uma área de 60,2 km<sup>2</sup>. Tem posição geográfica entre os paralelos 06<sup>o</sup>46'00" e 06<sup>o</sup>51'00" de latitude sul e meridianos 39<sup>o</sup>10'00" e 38<sup>o</sup>56'00" de longitude oeste de Greenwich. O acesso ao município, a partir de Fortaleza, pode ser feito através da rodovia BR 116 no sentido Fortaleza/Russas/Icó.

A Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira constitui um conjunto de três pequenas bacias: a Bacia do Riacho do Meio com uma área aproximada de 33,2 km<sup>2</sup>, a Bacia do Riacho do Rosário com 24,8 km<sup>2</sup> e a mini-bacia de Ipoberi com 2,2 km<sup>2</sup>.



**Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira e da área do Projeto.**

## **1. ESTUDOS HIDROQUÍMICOS E ISÓTOPICOS**

Autores: Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago - UFC; Dra. Carla Maria S. Vidal Silva - UFC; Dr. Horst Frischkorn - UFC; Dr. Josué Mendes Filho - UFC; Michel Lopes Granjeiro - Mestrando/UFC.

O uso extensivo de água subterrânea está condicionado à sua quantidade e à sua qualidade; ou seja, ter água não resolve o problema de abastecimento, mas é necessário ter água de qualidade adequada. Estas duas condições são importantes não somente para o consumo humano, mas também para o uso em geral, principalmente na agricultura. O conhecimento deste aspecto do abastecimento tem exigido estudos adequados que permitam viabilizar a exploração de reservas que supram as necessidades as quais elas se propõem.

Embora indispensável para a manutenção da vida, a água é igualmente determinante na propagação de doenças de veiculação hídrica. Também, ela pode produzir danos aos solos, nos quais é utilizada, o que os tornam totalmente inadequados ao uso na agricultura. Em alguns casos são inadequadas para a utilização até mesmo em processos industriais.

O crescente conhecimento das reservas hídricas e da interação da água com o meio fizeram com que fossem identificados parâmetros que devem ser levados em conta quando se propõe um uso para ela, o mais nobre sendo o consumo humano. É por isso que órgãos públicos a nível mundial e nacional que trabalham na área de saúde sentiram a necessidade de produzir normas que servem como orientação e proteção ao consumidor.

Estas normas, dentre as quais se destaca a Portaria de nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, indicam limites para uma gama de substâncias e elementos dissolvidos nas águas. Embora muitos dos elementos dissolvidos nas águas sejam necessários para a vida, algumas vezes eles estão presentes em concentrações excessivamente elevadas, necessitando da estipulação de limites máximos. A presença de elementos nocivos à saúde pode tornar o uso da água proibitivo. Além das substâncias químicas, as normas também contemplam certas formas microbiológicas, as bactérias e os fungos.

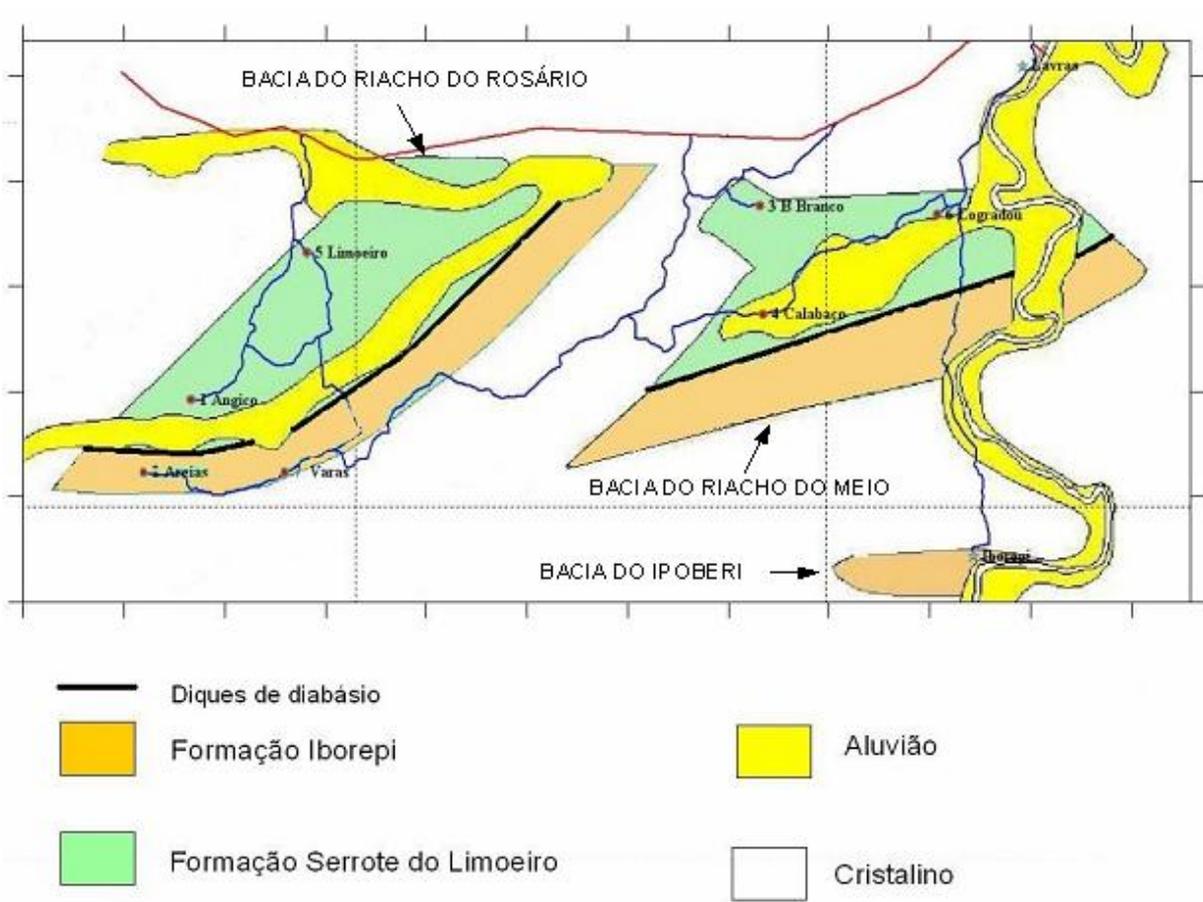
Para identificar a qualidade química da água é necessário determinar as concentrações iônicas dos elementos que estão nela dissolvidos em forma iônica. Nas águas naturais, encontram-se “elementos maiores” em concentrações da ordem de mg/L; outros elementos podem estar presentes em concentrações bem mais baixas (ppm), por isso são chamados de “elementos traços”.

### **1.1. Coleta de amostras**

A qualidade da água subterrânea na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira foi monitorada através de seis coletas, em outubro e dezembro de 2005, abril, junho e outubro de 2006 e fevereiro de 2007, em 7 poços distribuídos nas duas sub-bacias indicadas no Quadro 1. A localização os poços amostrados nas duas sub-bacias estão mostradas na Figura 2.

**Quadro 1. Locais amostrados em Lavras da Mangabeira nas sub-bacias, Riacho do Meio e Riacho do Rosário**

Bacia do Riacho do Meio	Poço	Bacia do Riacho do Rosário	Poço
Sítio Calabaço	P4	Sítio Angico	P3
Sítio Logradouro	P6	Areias	P22
Sítio Barro Branco	P8	Limoeiro	P24
		Sítio Varas 2	P27



**Figura 2. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar em Lavras da Mangabeira.**

## 1.2. Análise hidroquímica

A água contém naturalmente íons dissolvidos, sendo os mais abundantes (elementos maiores) os cátions cálcio, magnésio, sódio e potássio e os ânions, cloreto, bicarbonato e sulfato.

Os íons mais abundantes na água são discutidos a seguir quanto às suas variações naturais e quanto aos danos mais prováveis quando as concentrações são excessivas. As discussões se baseiam principalmente em dados de Davis & De Wiest (1966), Richter & Netto (1991), Sales & Gouveia (1997) e FUNASA (2001). Para alguns íons, a Portaria nº 518 (MS) estipula limites superiores que são listados no Quadro 2.

**Quadro 2. Valores máximos permitidos (VMP) para as águas potáveis (Portaria n.º 518 do Ministério da Saúde).**

<b>Parâmetro</b>	<b>VMP (mg/L)</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP (mg/L)</b>
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	250	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	250
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	45	Sódio (Na <sup>+</sup> )	200

**(i) Cálcio**

Os íons de cálcio (Ca<sup>++</sup>) em águas subterrâneas, em contato com rochas sedimentares de origem marinha são provenientes da dissolução da calcita, dolomita e gipsita. Eles são desde moderadamente solúveis a muito solúveis e são muito fáceis de precipitar como carbonato de cálcio.

Nas águas doces as concentrações de Ca<sup>++</sup> variam de 10 a 250 mg/L. Grandes quantidades de cálcio podem provocar formação de pedras nos rins, hipercalcemia. No uso industrial, nos sistemas de refrigeração podem produzir entupimento através da produção de incrustações. O cálcio contribui para o aumento da dureza na água.

**(ii) Magnésio**

O íon magnésio (Mg<sup>++</sup>) tem propriedades similares às do íon cálcio, porém ele é mais solúvel e difícil de precipitar. Devido sua solubilidade, o magnésio é geralmente encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que o cálcio, ou seja, de 1 a 40 mg/L. Águas armazenadas em rochas ricas em magnésio têm concentrações que podem atingir até 100 mg/L. Concentrações maiores que 100 mg/L são raramente encontradas, exceto em águas do mar e salmouras.

O excesso de magnésio reduz a frequência cardíaca em pessoas com problemas do coração; no entanto, em dosagens adequadas, trata tensão pré-menstrual e a hipertensão, previne cálculos renais e biliares e ajuda os músculos a trabalhar. O magnésio também contribui para a dureza da água.

**(iii) Sódio**

O íon sódio (Na<sup>+</sup>) apresenta solubilidade muito elevada e é muito difícil de precipitar. Em água doce, a concentração de sódio varia de 1 a 150 mg/L; nas salmouras naturais pode chegar a 100.000 mg/L. Concentrações de sódio elevadas nas águas podem ser prejudiciais às plantas por reduzir a permeabilidade do solo, principalmente se as concentrações de Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup> forem baixas.

**(iv) Potássio**

O íon potássio (K<sup>+</sup>) apresenta solubilidade similar à do sódio. É facilmente afetado por troca de base e é absorvido de forma pouco reversível pelas argilas em formação para fazer parte de sua estrutura, o que o diferencia do íon sódio. Em água doce sua concentração varia de 0,1 a

10 mg/L. Ao contrário do sódio, o potássio é um elemento vital para o crescimento das plantas e é um dos constituintes de fertilizantes agrícolas.

#### **(v) Cloreto**

Os cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) são muito solúveis, são estáveis em solução e de difícil precipitação; não sofrem oxidação nem redução em águas naturais e estão, em geral, associados aos íons de sódio, na proporção molar 1:1, principalmente, em águas salinas. Os padrões de potabilidade, geralmente, limitam o teor de cloreto em 250 mg/L, pois quando esse valor é ultrapassado confere um sabor salgado à água. Os cloretos podem funcionar como indicadores de poluição por esgotos sanitários ou por intrusão salina em aquíferos costeiros. Águas com alto teor de cloreto são prejudiciais às plantas, são corrosivas e atacam estruturas e recipientes metálicos.

#### **(vi) Sulfato**

Os sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) são desde moderadamente solúveis a muito solúveis, formados por oxidação de sulfitos. Os mais importantes depósitos de sulfato são encontrados em sedimentos evaporados como gipsita, anidrida e sulfato de sódio.

Nas águas naturais, as concentrações de sulfato variam de 0,2 mg/L a mais de 100.000 mg/L. As menores concentrações estão em águas de chuva, neve e águas superficiais sujeitas à redução de sulfato. As maiores concentrações estão em salmouras de sulfato de magnésio. Em águas potáveis, as concentrações de sulfato não devem exceder 250 mg/L; acima deste valor, ele confere à água um sabor amargo e pode causar efeitos laxativos quando em níveis elevados.

#### **(vii) Bicarbonatos e Carbonatos**

A maioria dos íons bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) em águas subterrâneas são derivados do dióxido de carbono na atmosfera e no solo, e de soluções de rochas carbonatadas. Águas bicarbonatadas sódicas podem ser concentradas nos solos produzidos por evaporação, mas se muito cálcio estiver presente, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de carbonato de cálcio.

A concentração de bicarbonato em águas subterrâneas varia de 10 a 800 mg/L; sendo mais comuns concentrações entre 50 e 400 mg/L. Existe uma forte relação entre o pH da água e as concentrações do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), dos bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e dos carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ); estes íons definem a alcalinidade das águas.

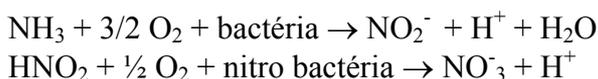
#### **(viii) Nitrato**

A quantidade de nitrogênio na água pode indicar uma poluição recente ou remota. O nitrogênio pode estar presente sob as suas diversas formas compostas: orgânica, amoniacal, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ); ele segue um ciclo desde o organismo vivo até a mineralização total, onde está presente sob a forma de nitrato.

Assim, é possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos

próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio.

Os nitratos são muito solúveis, e por isso, dificilmente precipitam. Eles tendem a estabilidade em meios redutores, podendo passar a  $N_2$  ou  $NH_4^+$  e excepcionalmente a nitrito ( $NO_2^-$ ). Esta redução é um fenômeno principalmente biológico produzido pelas bactérias Nitrossomas. A maioria dos compostos nitrogenados passa a  $NO_3^-$  em meio oxidante, enquanto a amônia ( $NH_4^+$ ) pode transformar-se em parte para  $N_2$ . O solo pode fixar nitrato ( $NO_3^-$ ), em especial através da vegetação. A nitrificação é um processo de oxidação que ocorre em dois estágios e através dele a amônia é convertida em nitrito e depois em nitrato.



As concentrações de nitrato nas águas naturais estão na faixa de 0,1 a 10 mg/L; porém, em águas muito poluídas podem chegar a 200 mg/L, e em alguns casos de áreas influenciadas por aplicações excessivas de fertilizantes, as concentrações podem ser maiores que 600 mg/L. Independente da sua origem, que também pode ser mineral, os nitratos em concentrações acima de 45 mg/L, provocam em crianças a cianose ou metahemoglobinemia, condições mórbidas associadas à descoloração da pele, em consequência de alterações no sangue.

### **(ix) pH**

Nos sistemas de abastecimento público de água, o pH está entre 6,5 e 9,5. De um modo geral, águas de pH baixo tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento-amianto, enquanto que águas de alto pH tendem a formar incrustações na maior parte das águas naturais, o pH é controlado pelo sistema de equilíbrio do gás carbônico – bicarbonatos – carbonatos.

O pH é a medida da concentração do íon hidrogênio ou de sua atividade, e é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio.

$$pH = - \log[H^+]$$

Por causa da concentração iônica das águas, o pH se encontra na faixa de 0 a 14. A classificação da água quanto ao pH é feita utilizando os seguintes critérios:

pH < 7 – água ácida;  
pH = 7 – água neutra;  
pH > 7 – água básica.

### **(x) Condutividade Elétrica**

A condutividade elétrica expressa quantitativamente a capacidade da água conduzir corrente elétrica, depende da concentração total das substâncias dissolvidas ionizadas e de sua mobilidade que, por sua vez, depende da temperatura na qual a medida é realizada. Para o consumo humano, é importante que a água possua uma condutividade entre 50 e 1500  $\mu S/cm$ .

Ela é considerada como um bom critério na avaliação do grau de mineralização da água, contribuindo para o estudo do efeito de diversos íons sobre o equilíbrio químico, sobre o

sistema fisiológico das plantas e animais e sobre a taxa de corrosão, além disso, servindo para verificar o grau de pureza das águas destiladas e deionizadas.

Sua determinação dá uma estimativa do conteúdo de sólidos totais dissolvidos em uma amostra. Pode-se estimar os sólidos totais dissolvidos (STD) em mg/L, utilizando a equação,

$$\text{STD} = 0,65 \text{ CE}$$

### (xi) Dureza

A dureza da água mede o grau de impedimento da ação do sabão e pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. A dureza temporária ou dureza de carbonatos é causada pelos íons de cálcio e de magnésio que se combinam com o bicarbonato e o carbonato, podendo ser eliminada com a ebulição da água.

A dureza permanente ou dureza não carbonatada é a dureza que persiste após a fervura da água. É produzida pelos íons de cálcio e de magnésio, que se combinam com os íons de sulfato, cloreto nitrato e outros. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente e é usualmente expressa em termos de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) equivalente. As águas podem ser classificadas em termos do grau de dureza de acordo com a Quadro 3.

**Quadro 3. Classificação das águas quanto ao grau de dureza (Fonte: FNS, 1999).**

Dureza de $\text{CaCO}_3$ (mg/L)	Classificação
0 – 50	Mole
>50 – 150	Moderadamente dura
>150 – 300	Dura
> 300	Muito dura

### (xii) Determinação química dos íons

As determinações das concentrações iônicas foram realizadas em dois laboratórios da Universidade Federal do Ceará, o Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física (70% das medidas) e o Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Geologia (30% das medidas). A metodologia adotada foi a seguinte:

$\text{Ca}^{++}$ e $\text{Mg}^{++}$	método titulométrico com EDTA
$\text{Na}^+$ e $\text{K}^+$	fotometria de chama (Foto 1)
$\text{Cl}^-$	método titulométrico com $\text{AgNO}_3$
$\text{SO}_4^{=}$	método espectrofotométrico com cloreto de bário (Foto 1)
$\text{CO}_3^{=}$ e $\text{HCO}_3^-$	método titulométrico com HCl
$\text{NO}_3^-$	método espectrofotométrico do NITRAVER (Foto 1).

As curvas de calibração elaboradas para os diferentes tipos de determinações, tanto fotométricas como espectrofotométricas, mostram coeficientes de correlação da ordem de 0,99; as análises titulométricas foram realizadas sempre em duplicata, com diferença de valores na faixa de 0-5%. Os resultados das análises, que têm erros de balanço iônico da ordem de até 6,0%, estando, portanto, numa faixa abaixo daqueles admissíveis pela literatura

(10%), indicam que as análises físico-químicas realizadas têm características de alta precisão, estando de acordo com o perfil de qualidade exigida pela OMS.

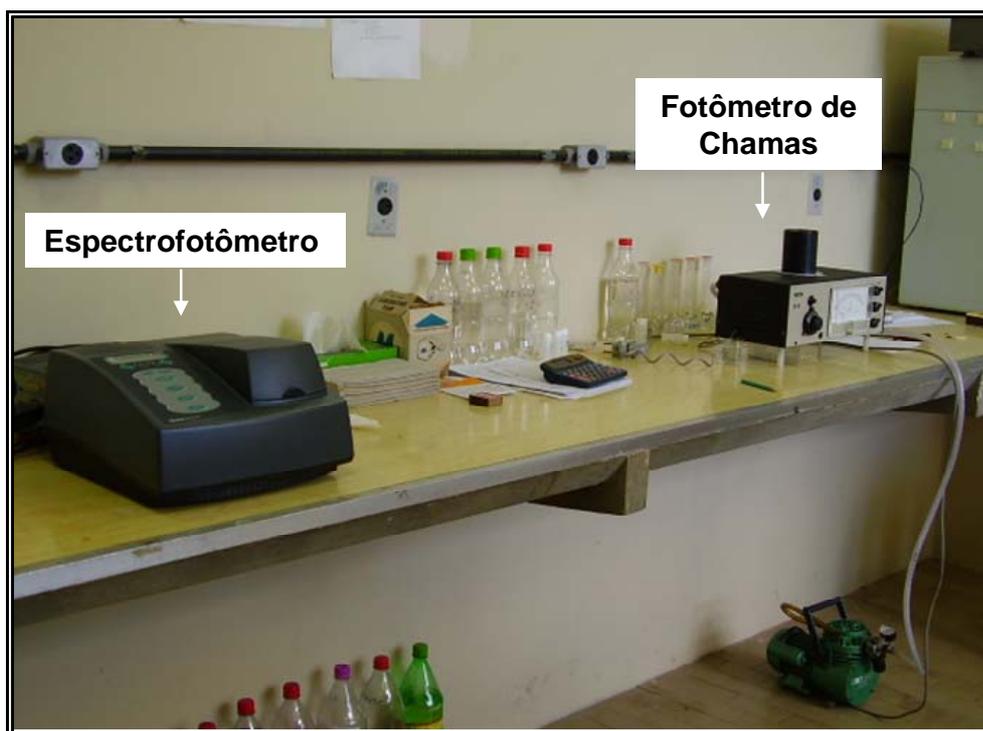


Foto 1. Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC.

### 1.3. Análise bacteriológica

Além das análises físico-químicas e químicas das águas para consumo humano, é preciso pesquisar a presença de microorganismos patogênicos através de análise bacteriológica. Microorganismos provenientes de materiais fecais podem produzir uma série de doenças infecciosas causadas por bactérias, protozoários ou vírus, representando um risco para a saúde humana.

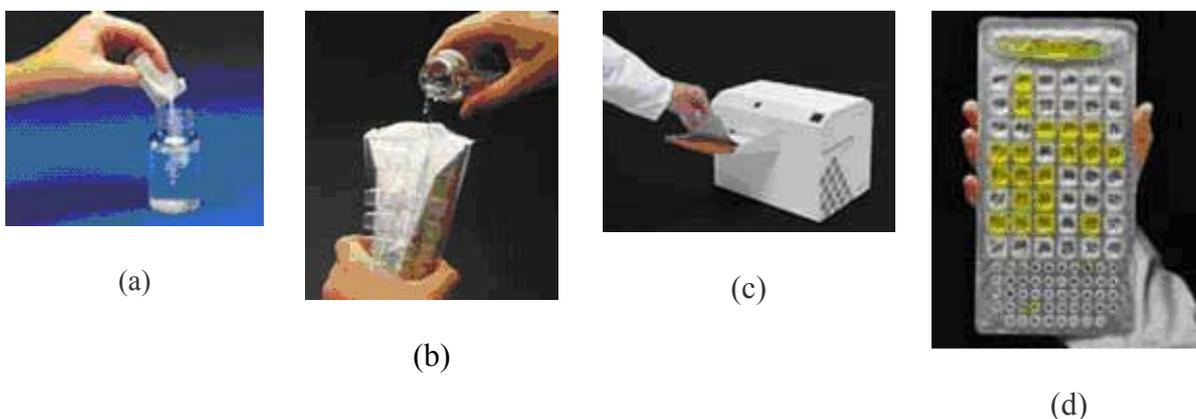
Estas análises não podem deixar de ser feitas se as águas são utilizadas para beber ou para a produção, lavagem ou mesmo o cozimento de alimentos. A contaminação da água pode ser direta ou indireta, por águas de esgotos ou por excrementos de animais. Águas com microorganismos patogênicos são responsáveis pela ocorrência de epidemias, principalmente em países onde a infra-estrutura, os cuidados sanitários e os cuidados de higiene pessoal são insuficientes ou inexistentes.

O "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APAHA, 2005) define o grupo coliforme como: "todas as bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas, gram negativas, não esporuladas e na forma de bastonete", as quais fermentam a lactose com formação de gás dentro de 48h a 35°C. Neste grupo incluem-se organismos que diferem nas características bioquímicas, sorológicas e no seu habitat. Podem ser classificadas em: *Escherichia*, *Aerobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e outros gêneros que quase nunca aparecem em fezes, como a *Serratia*.

A presença de coliformes totais e *E. coli* nas amostras da Bacia Sedimentar do Cariri foi determinada no Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC por meio da técnica do Colilert em cartela através da qual foi detectada presença quantitativa de coliformes totais e *E. coli*.

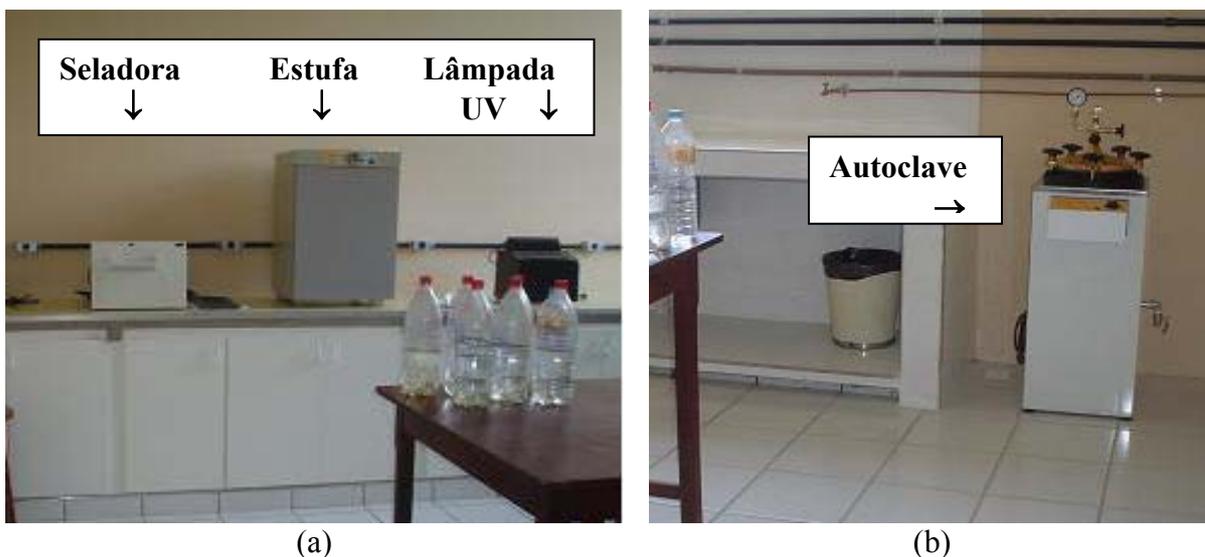
Usando recipientes assépticos, coleta-se 100 mL de água. Após a coleta, a amostra é manuseada na presença de fogo usando um bico de Bunsen até que a amostra seja selada e adiciona-se o reagente (Colilert) ao frasco com água (Foto 2a) que é agitado até a completa dissolução dos grânulos. A solução é colocada em uma cartela composta de quarenta e nove cúpulas maiores e quarenta e oito cúpulas menores (Foto 2b); a cartela é colocada em uma seladora (Foto 2c, Foto 3a), a solução é distribuída igualmente e incubada a 35°C em estufa (Foto 3a) por 24 horas.

A leitura para coliformes totais é feita a olho nu observando-se a coloração amarela para resultado positivo (Foto 2d) ou ausência de coloração, para resultado negativo. A leitura para *E. coli* é feita na presença de uma lâmpada ultravioleta; o resultado é positivo quando a coloração amarela se apresentava fluorescente. Os resultados são expressos de acordo com a tabela NMP (número mais provável em 100 mL de água).



**Foto 2. Etapas iniciais do método Colilert.**

Quando as amostras apresentam resultado positivo há necessidade de esterilizar as cartelas usando autoclave, antes de descartá-las. Na autoclave (Foto 3b), as amostras permanecem por no mínimo 15 minutos a uma pressão de 1 kgf/cm<sup>2</sup> e uma temperatura de 120 °C.



**Foto 3. Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC**

#### 1.4. Análises isotópicas

O hidrogênio e o oxigênio fazem parte da molécula da água e apresentam, cada um deles, três formas isotópicas diferentes; o hidrogênio:  $^1\text{H}$ , D ( $^2\text{H}$ ) e T ( $^3\text{H}$ ) e o oxigênio:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ . Por isso, a água pode ser encontrada em formas isotópicas diferentes, sendo as mais abundantes  $\text{H}_2\ ^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}\ ^{16}\text{O}$ . As abundâncias relativas (em %) médias destas três moléculas da água são, respectivamente:

99; 73; 0,20; 0,032

Portanto, a quantidade de moléculas  $\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}\ ^{16}\text{O}$  é muito pequena em relação à quantidade de moléculas  $\text{H}_2\ ^{16}\text{O}$ , porém varia dependendo da origem da água e de processos que ocorrem durante o seu deslocamento e de seu armazenamento superficial. Assim, estas moléculas marcam a água e são usadas como traçadores para pesquisar a história da água.

Os resultados são dados em termos de  $\delta\%$ , definido por,

$$\delta\% = [(R_a - R_p)/R_p] \times 10^3$$

Onde,  $R_a$  é a razão isotópica  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ou  $\text{D}/^1\text{H}$ , respectivamente, da amostra e  $R_p$  seu valor para uma água padrão “VSMOW” (Viena Standard Mean Ocean Water da IAEA em Viena /Áustria).

O valor de  $\delta$  mede, portanto, o enriquecimento (ou o empobrecimento, quando  $< 0$ ) no isótopo pesado na amostra em relação ao padrão. É importante que, devido à grande predominância do isótopo mais leve ( $^1\text{H}$  ou  $^{16}\text{O}$ ), o  $\delta$  comporta-se como uma concentração em misturas de águas de valores de  $\delta$  diferentes (i.e. segue uma reta de mistura).

Os aspectos mais importantes para interpretação dos dados obtidos são:

- As chuvas modernas na região apresentam valores médios ponderados em torno de  $\delta^{18}\text{O}\% = -3$  e  $\delta\text{D}\% = -14$ .

- Paleoáguas com idade maior que  $\approx 10.000$  anos são marcadas por um clima mais frio no final do Pleistocênio apresentando  $\delta^{18}\text{O}$  em torno de  $-6\text{‰}$  ( $\delta\text{D}$  de aproximadamente  $-38\text{‰}$ ).
- Águas que sofreram evaporação mostram em enriquecimento nos isótopos mais pesados e apresenta, portanto,  $\delta$  significativamente elevado em relação aos das águas pluviais.

A determinação do oxigênio-18 ( $^{18}\text{O}$ ) e do deutério (D) na água dá excelente contribuição no estudo do ciclo hidrológico. Relacionando estes dois isótopos, Craig (1961) observou que as águas naturais guardam uma relação do tipo  $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  e que, se as águas sofrem evaporação, apresentam uma relação também linear, mas com coeficiente angular menor do que 8. Especialmente nas regiões onde as águas subterrâneas são muito salinas é possível identificar se a concentração salina decorre do processo de evaporação ou de processos internos do aquífero.

Como as águas ficam marcadas pelos isótopos, as águas subterrâneas que não evaporaram antes da infiltração guardam as características isotópicas das águas de chuva, se a infiltração não ocorre através de um reservatório superficial. Água subterrânea que recebe contribuição de reservatórios superficiais fica marcada pelo efeito (de elevação da concentração dos isótopos pesados) da evaporação nas águas dos reservatórios. Assim, com estes isótopos é possível identificar interações água superficial/ água subterrânea.

As medidas de oxigênio-18 e de deutério foram feitas por Espectrometria de Massa no Laboratório de Física Nuclear Aplicada – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia. O erro das medidas é de  $\pm 1\text{‰}$  para o hidrogênio e de  $\pm 0,1\text{‰}$  para o oxigênio.

### 1.5. Interpretação dos resultados

Como a qualidade das águas subterrâneas pode variar com o tempo devido à entrada de água no processo de recarga, monitoramento dos poços em diferentes épocas do ano hidrológico permite identificar as condições atuais como água potável. As localizações dos poços amostrados estão apresentadas na Tabela 1. Os resultados das análises físico-químicas e químicas estão apresentados no Anexo (Tabelas 4 a 9).

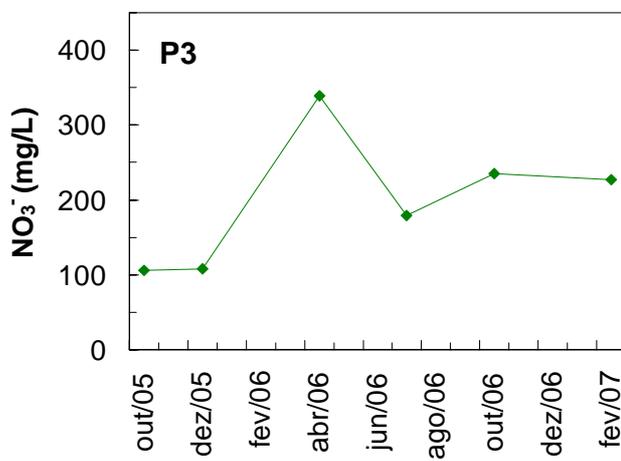
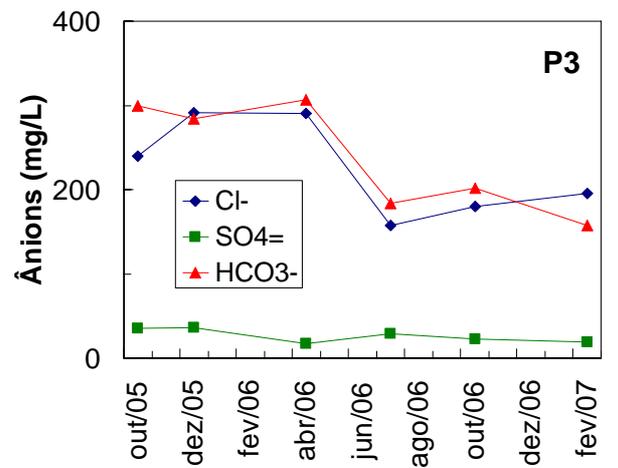
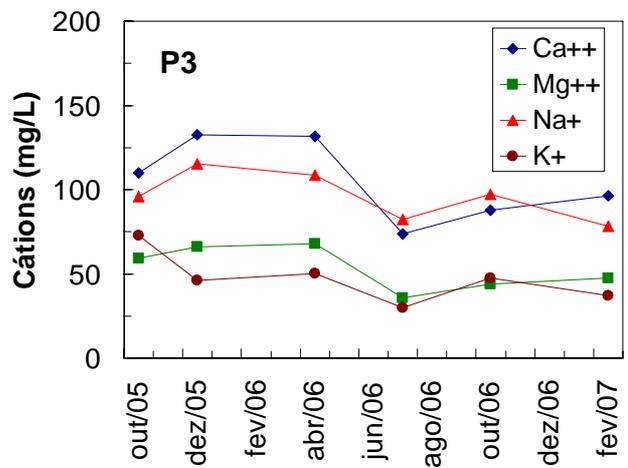
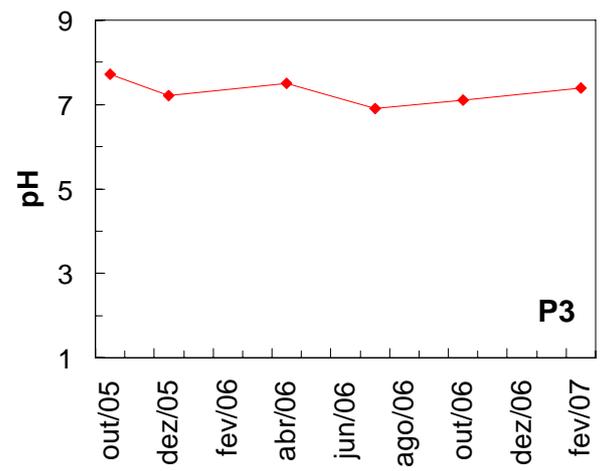
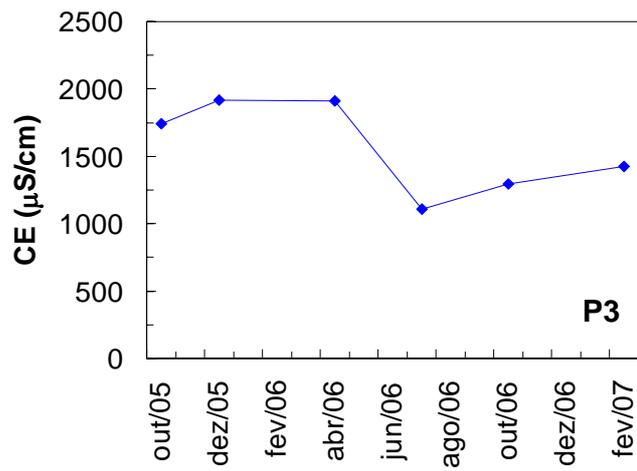
**Tabela 1. Identificação dos poços amostrados em Lavras da Mangabeira.**

Poço N <sup>o</sup>	Localidade	UTMN	UTME
P3	Sítio Angico	9246709	487539
P4	Sítio Calabaço 2	9248351	498650
P6	Sítio Logradouro	9250367	502177
P9	Varas 1	9245579	489986
P8	Sítio Barro Branco	9250516	498827
P11	Tabuleiro Alegre	9246684	491657
P13	Associação Logradouro	9249652	489814
P15	Limoeiro, 05	9249600	489808
P22	Areias	9245479	487265
P24	Limoeiro,06	9249600	489808
P27	Varas 2	9245289	489383

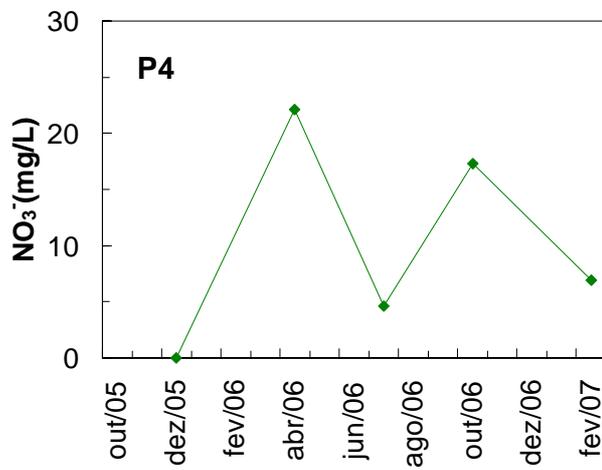
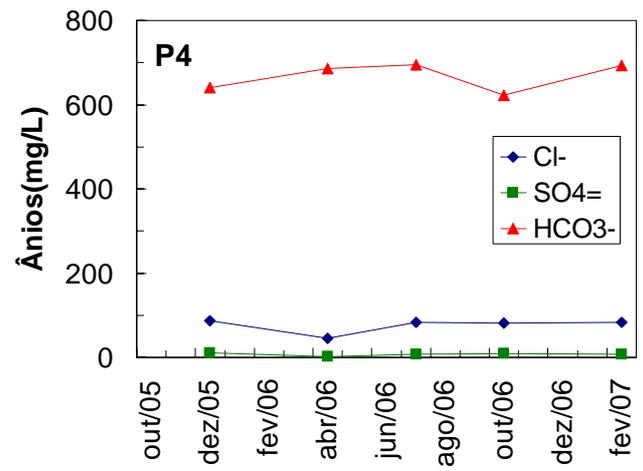
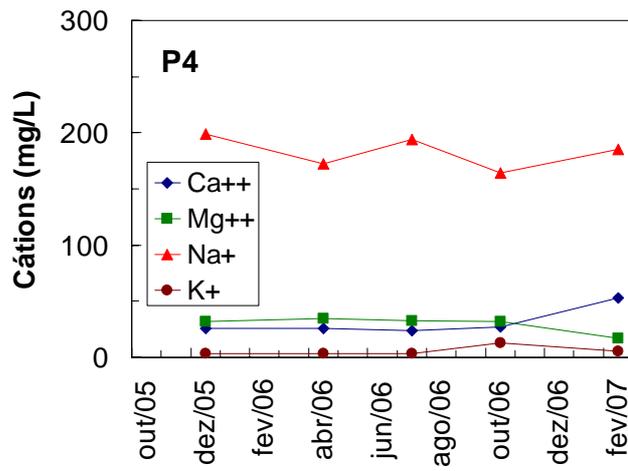
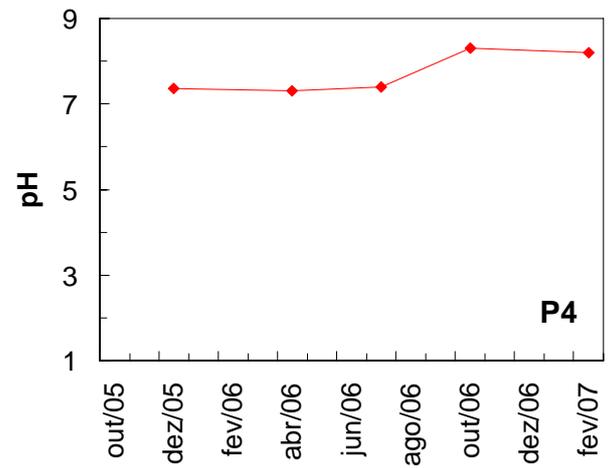
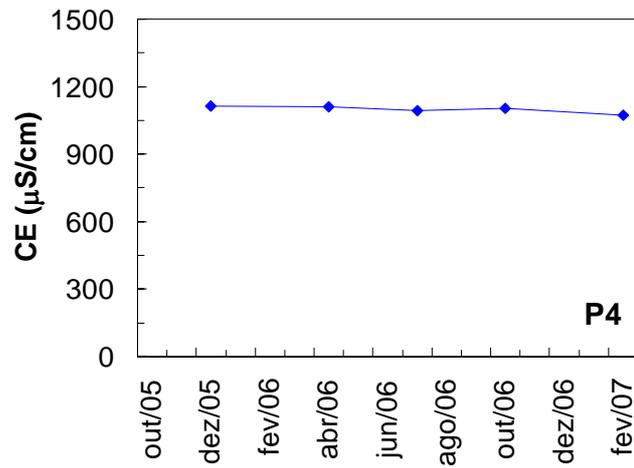
As Figuras 3 a 72 apresentam as variações temporais dos parâmetros determinados em cada um dos 7 poços:

- (a) condutividade elétrica;
- (b) pH;
- (c) cátions:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ;
- (d) ânions:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^-$
- (e)  $\text{NO}_3^-$ .

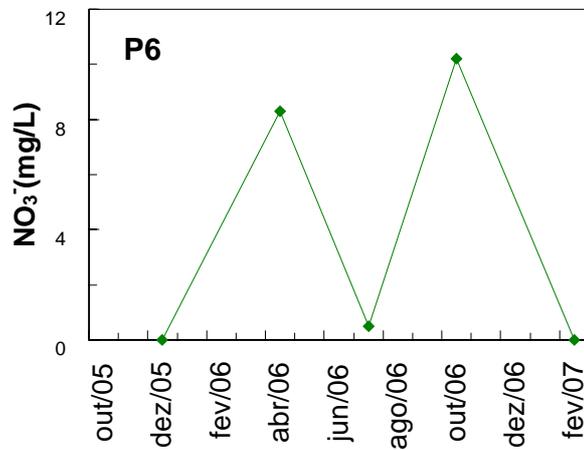
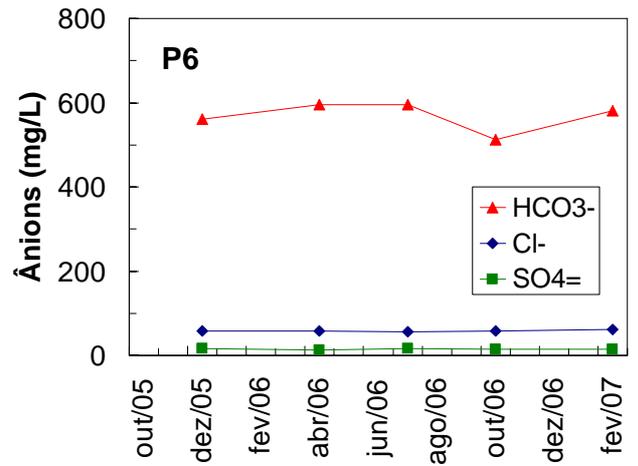
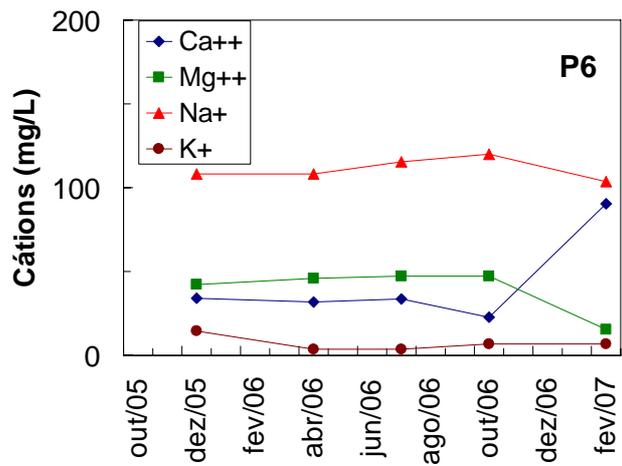
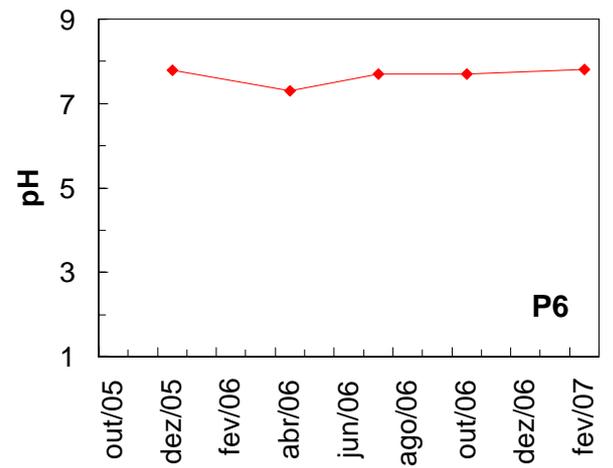
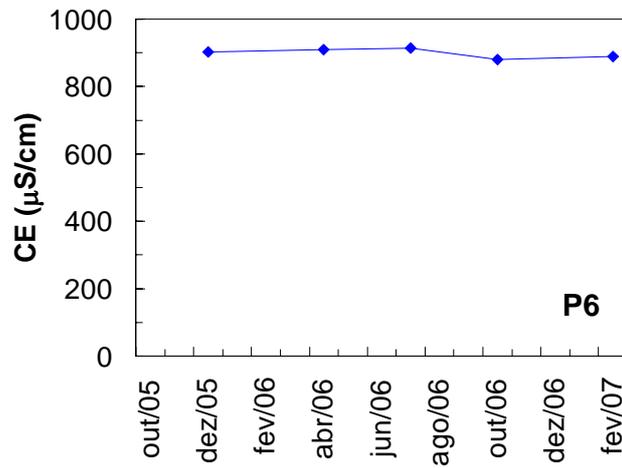
Os resultados mostram que todos os parâmetros variaram durante o período de amostragem, embora as variações sejam em estreitas faixas em cada poço, com exceção das águas do poço P3, que não estava sendo continuamente bombeado. Somente a água do poço P24, na terceira coleta, apresentou concentração de  $\text{NO}_3^-$  acima de 45 mg/L, o limite para as águas potáveis.



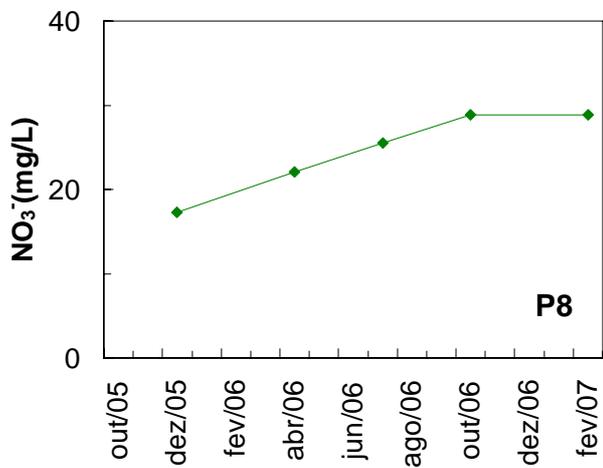
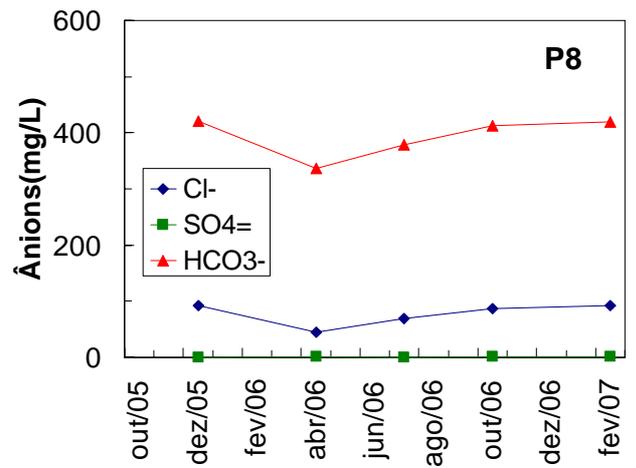
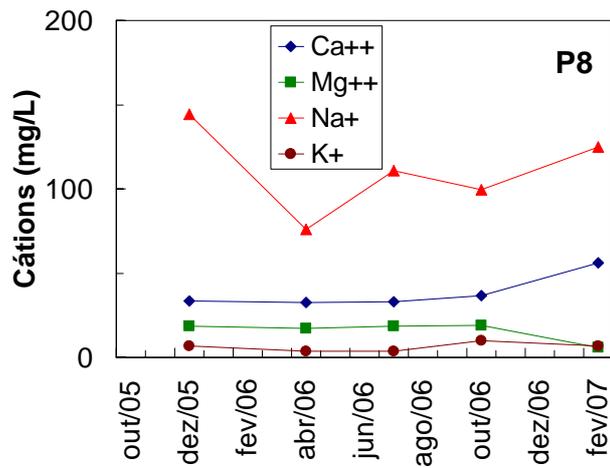
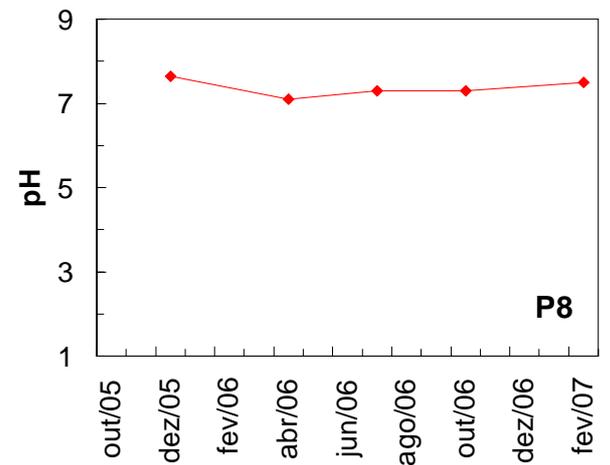
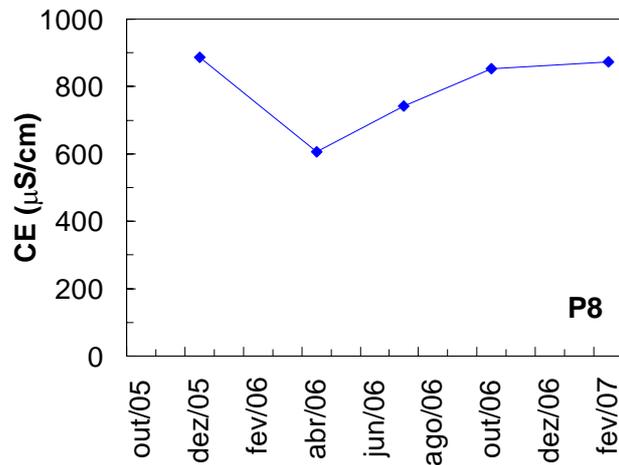
**Figura 3. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P3, em Lavras da Mangabeira.**



**Figura 4. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P4, em Lavras da Mangabeira.**



**Figura 5. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P6, em Lavras da Mangabeira.**



**Figura 6. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P8, em Lavras da Mangabeira.**

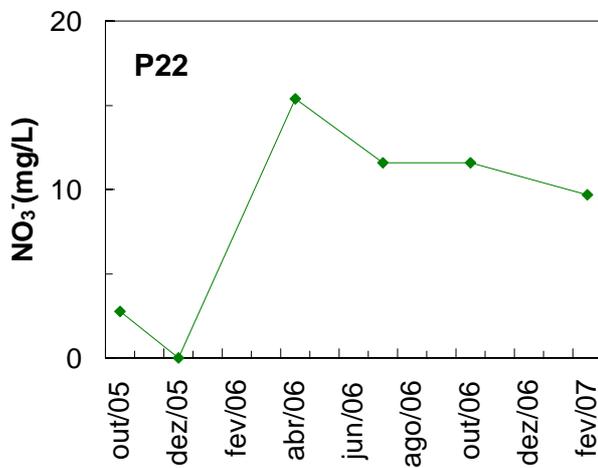
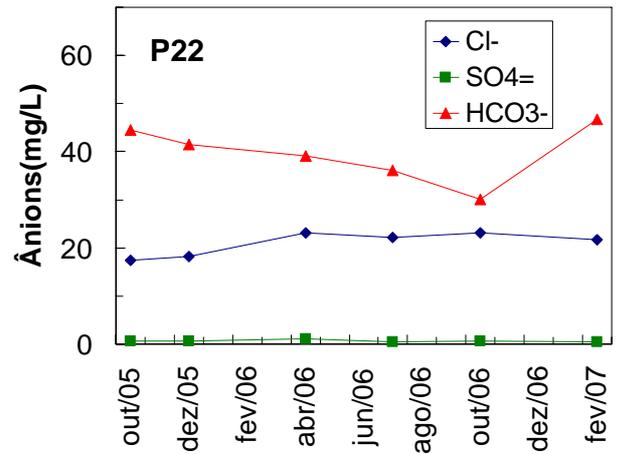
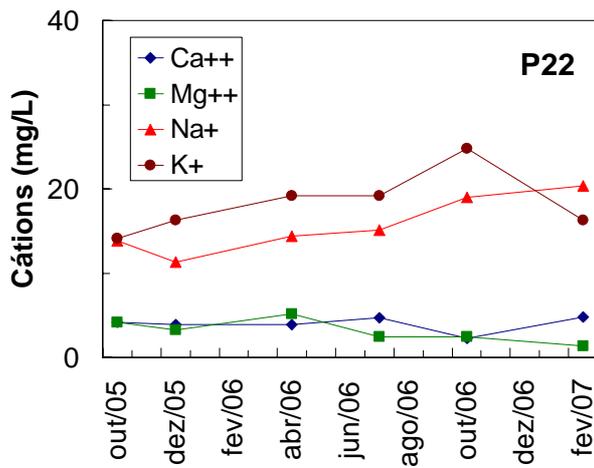
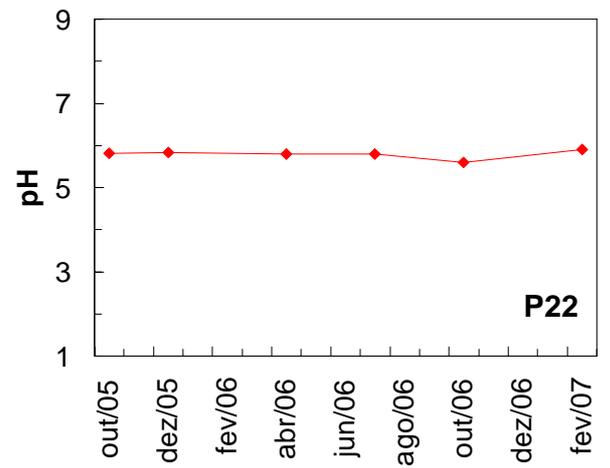
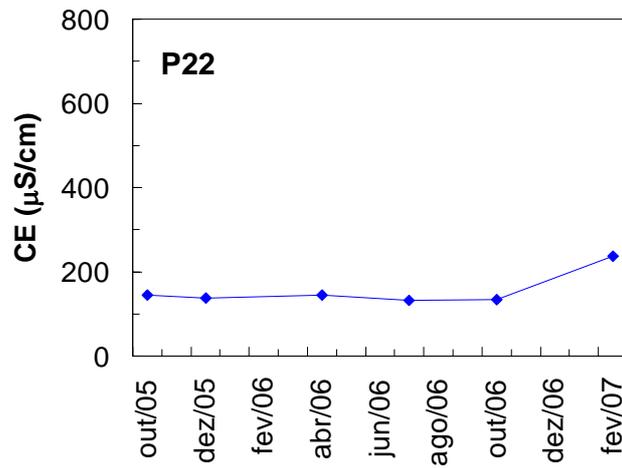
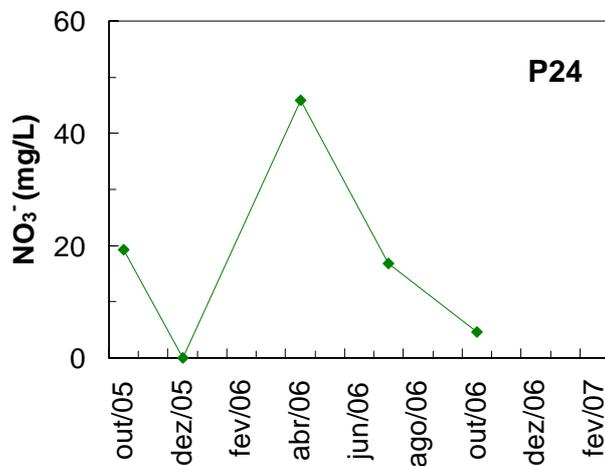
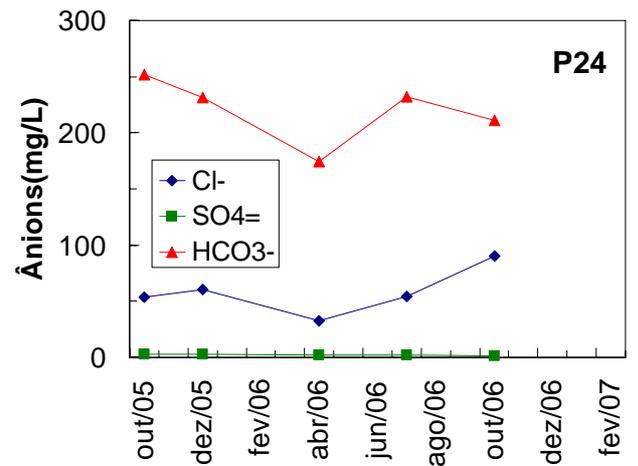
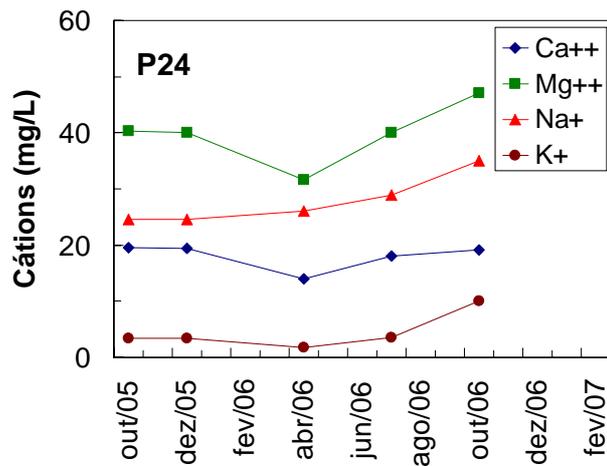
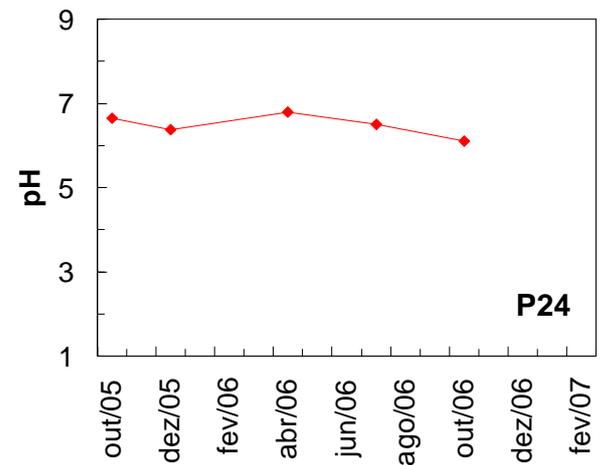
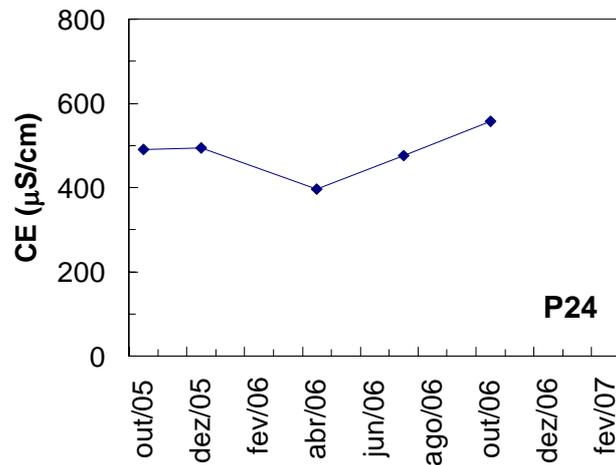
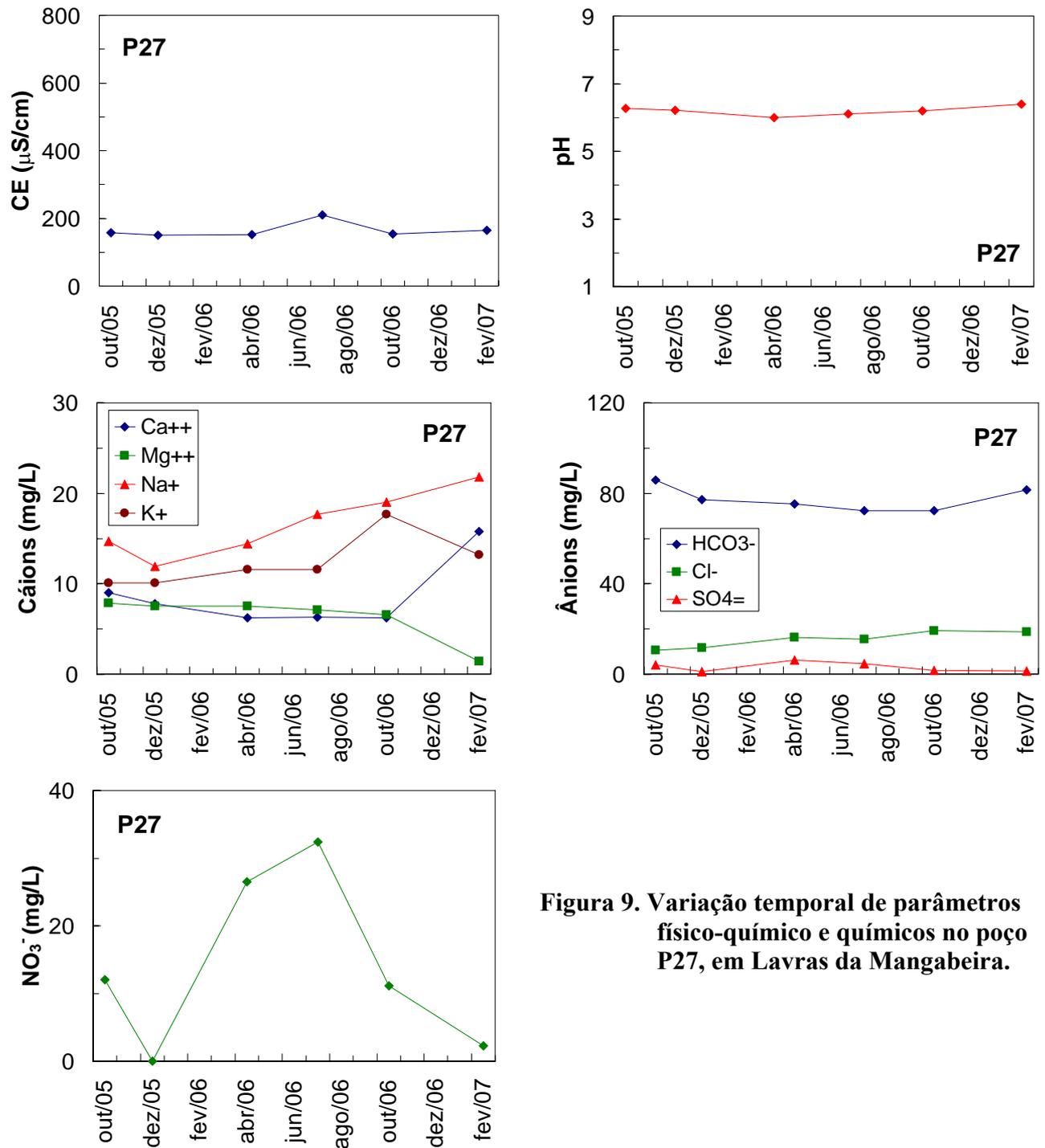


Figura 7. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P22, em Lavras da Mangabeira.

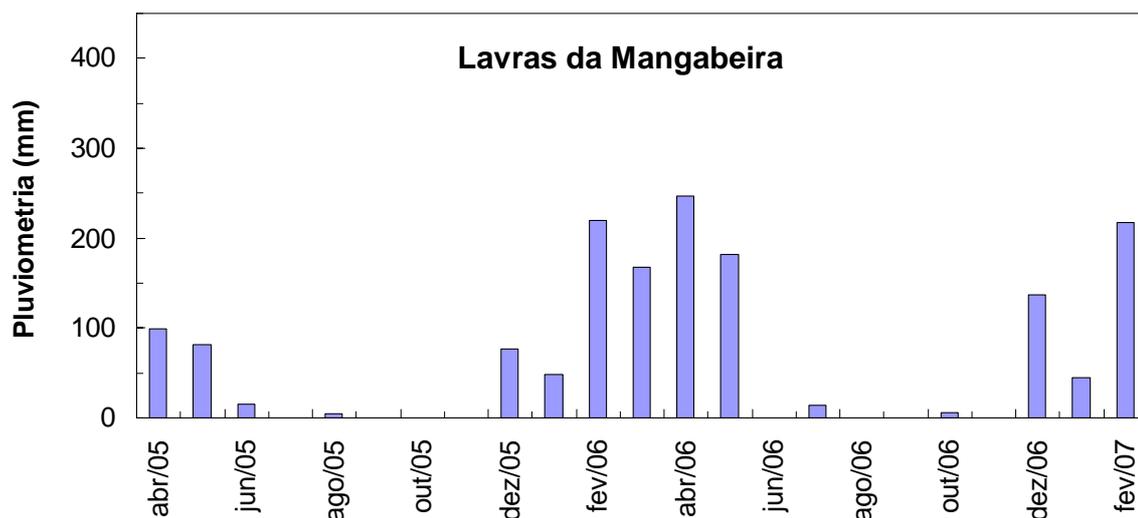


**Figura 8. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P24, em Lavras da Mangabeira.**



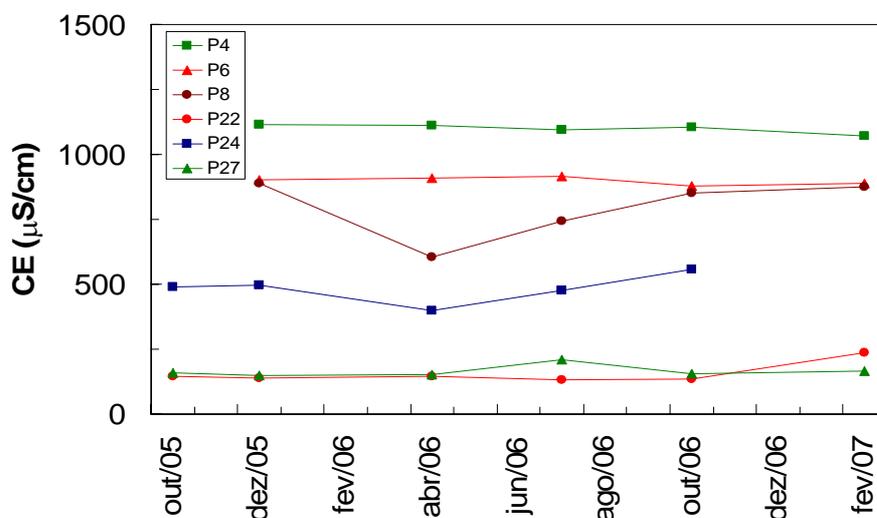
**Figura 9. Variação temporal de parâmetros físico-químico e químicos no poço P27, em Lavras da Mangabeira.**

Na Figura 10 pode-se ver a pluviometria na área através de dados de um posto meteorológico localizado no município de Lavras da Mangabeira. Considerando que as coletas foram feitas no período seco de 2005, nos períodos seco e chuvoso de 2006, e no início do período chuvoso de 2007, observa-se a influência da recarga sobre a qualidade das águas, principalmente sobre as concentrações dos cátions e dos ânions.



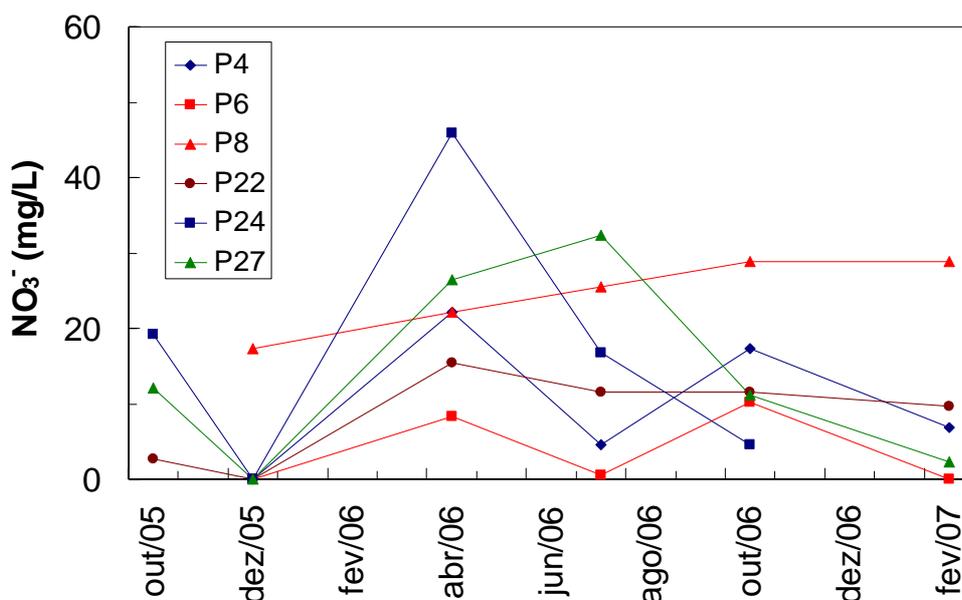
**Figura 10. Pluviometria de um posto meteorológico em Lavras da Mangabeira de abril de 2005 a fevereiro de 2007.**

A Figura 11 permite comparar as condutividades elétricas do conjunto de poços nas duas sub-bacias. Nas águas do Riacho do Meio (P4, P6 e P8) as condutividades elétricas estão em faixas de valores mais altas do que as águas da Bacia do Riacho do Rosário (P3, P22, P24 e P27). Na comparação de dados do conjunto de poços não será incluído o poço P3 porque ele não estava sendo bombeado o suficiente para ser representativo do aquífero.



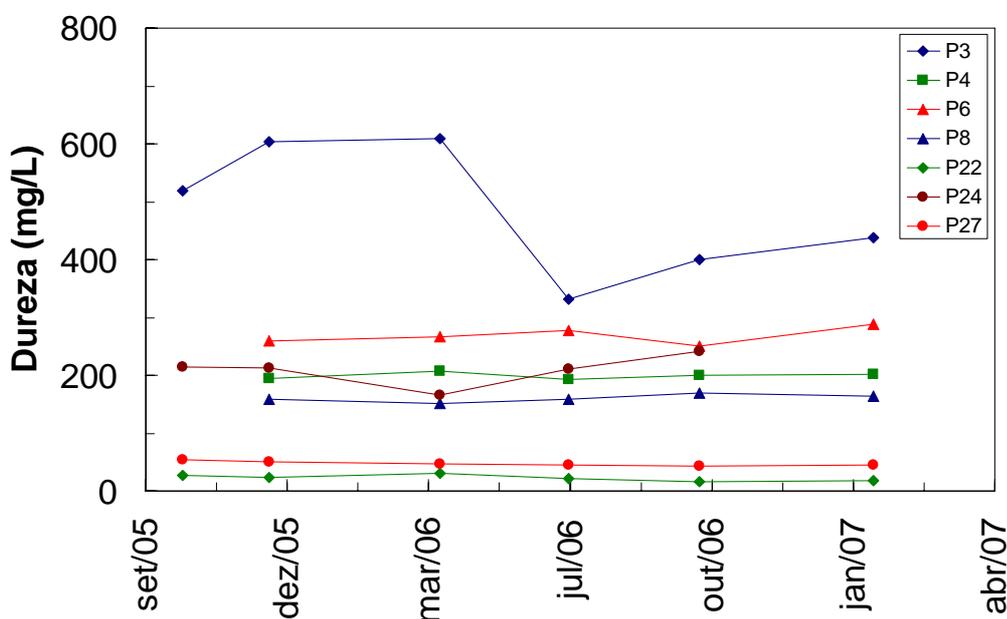
**Figura 11. Variação da condutividade elétrica no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira.**

As concentrações de nitrato (Figura 12) variaram durante o período de coleta em todos os poços embora só atingindo valor acima do permitido para as águas potáveis em uma das amostras.



**Figura 12. Variação da concentração de nitrato de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira.**

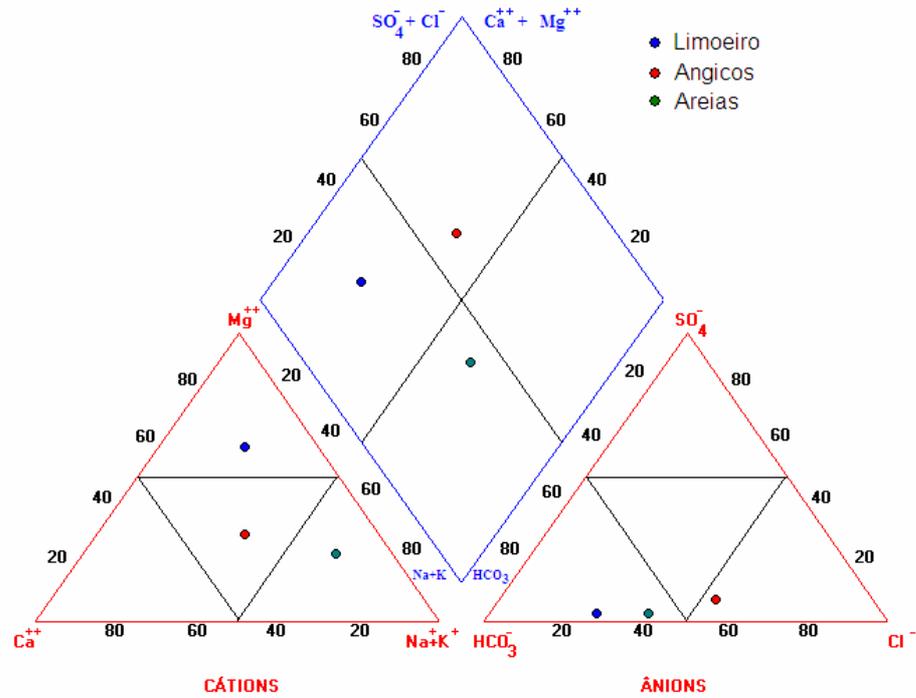
No gráfico da Figura 13 para comparação das durezas foi adicionado o poço P3. Ela mostra que este poço não pertence ao mesmo conjunto, ou seja, não é representativo das águas subterrâneas da área. São águas moles (com Dureza de 0 a 50) as águas dos poços P2, P22 e P27; são águas duras (com Dureza de 150 a 300) as dos demais poços.



**Figura 13. Variação da dureza no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira.**

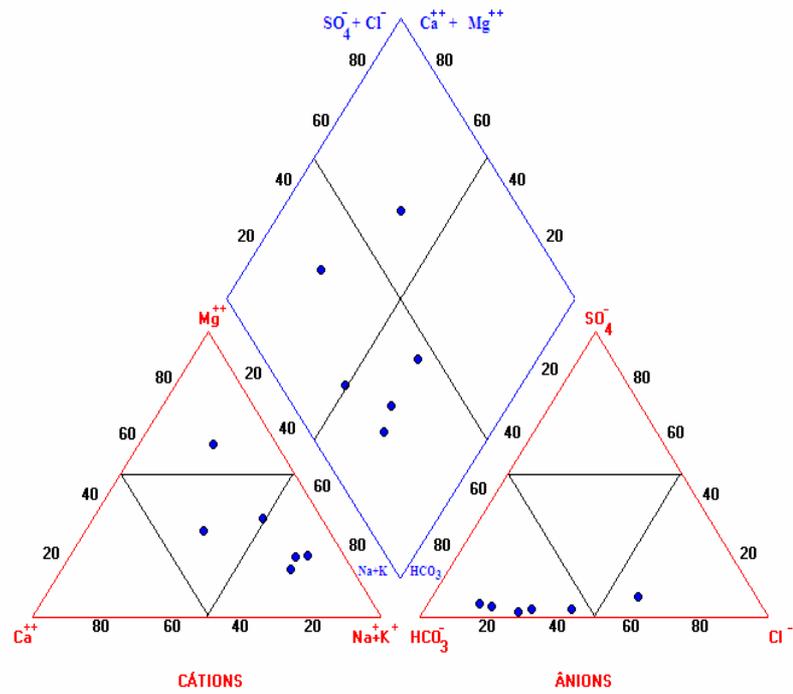
A Figura 14 mostra os diagramas de Piper com dados dos poços no município de Lavras da Mangabeira nas coletas feitas no período seco de 2005 (Figuras 14a e 14b), no período chuvoso de 2006 (Figura 14c), final do período chuvoso de 2006 (Figura 14d), no período seco de 2006 (Figura 14e) de 2006 e no início do período chuvoso de 2007 (Figura 14f).

Com relação aos cátions, em todas as coletas havia águas dos tipos, mista e magnésiana e quanto aos ânions, as águas sempre foram de dois tipos, bicarbonatadas e cloretadas.



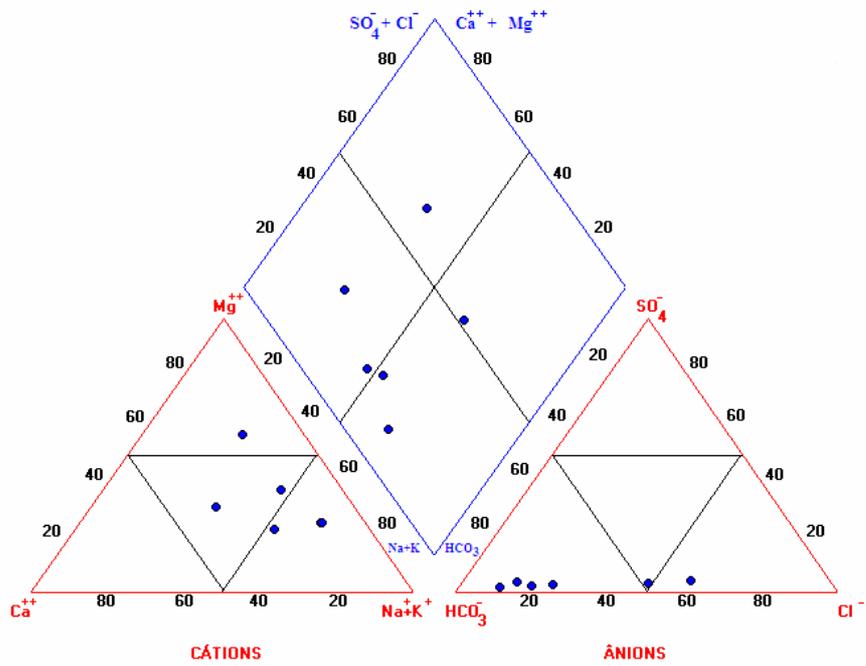
(a)

Figura 14a. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em outubro de 2005.



(b)

Figura 14b. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em dezembro de 2005.



(c)

Figura 14c. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em abril de 2006

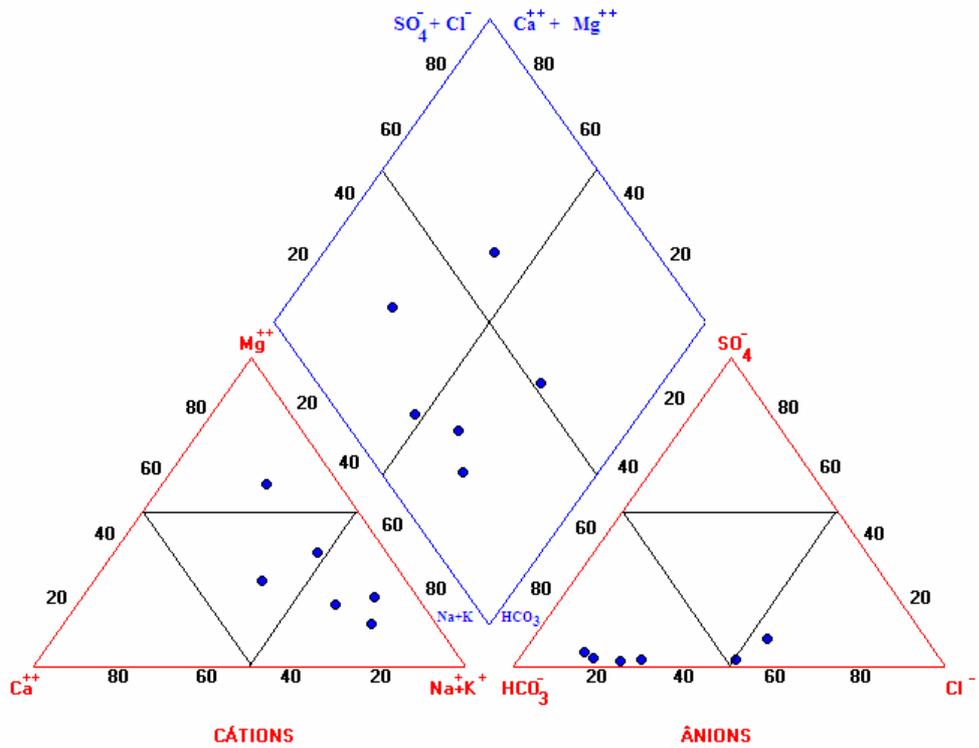


Figura 14d. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em junho de 2006.

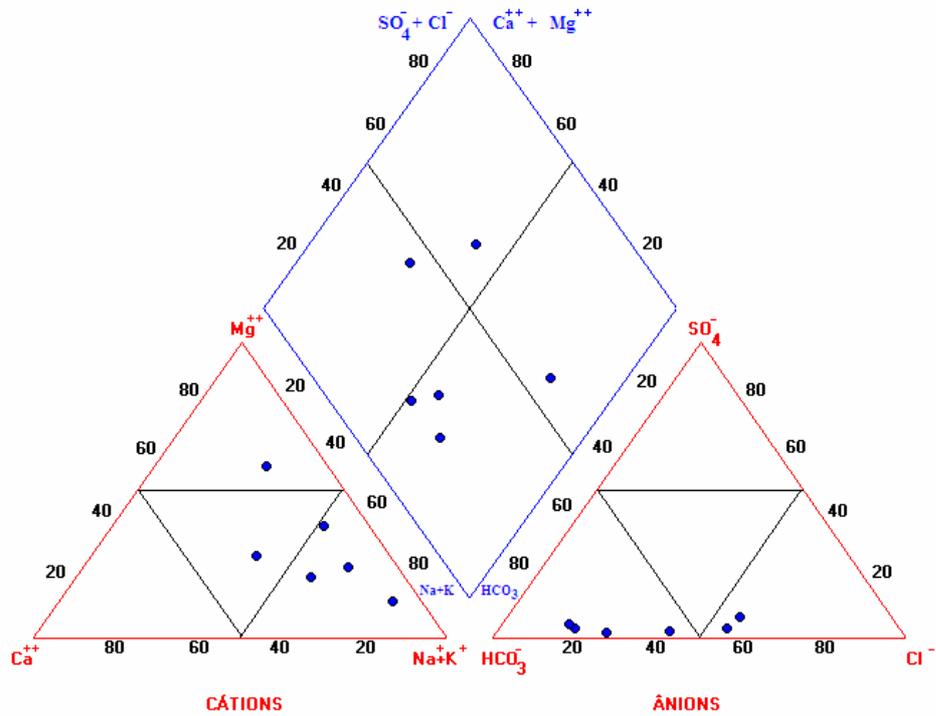
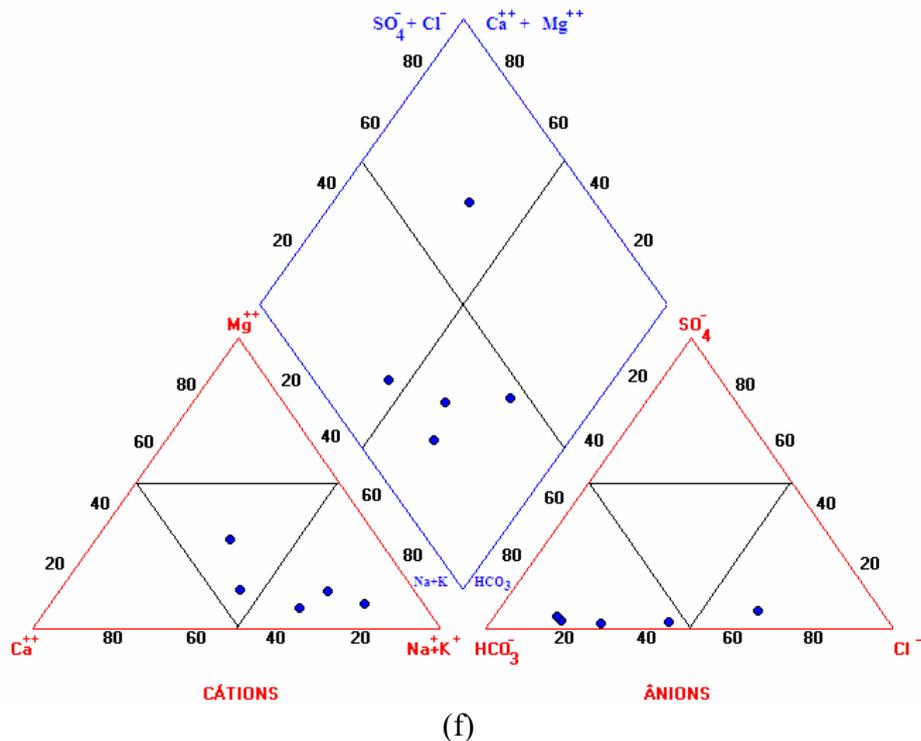


Figura 14e. Diagrama de Piper em Lavras da Mangabeira em outubro de 2005



**Figura 14f. Diagramas de Piper em Lavras da Mangabeira em outubro de 2006 e fevereiro de 2007.**

Para identificar a adequação das águas de Lavras da Mangabeira para uso na agricultura, as amostras das seis coletas foram colocadas em seis diagramas do USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) mostrados na Figura 15, para o período seco de 2005 (Figuras 15a e 15b) no período chuvoso (Figura 15c), final do período chuvoso (Figura 15d) e período seco (Figura 15e) de 2006 e no início do período chuvoso de 2007 (Figura 15f). O diagrama USDA usa quatro classes, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, para os níveis de salinidade e quatro classes, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> e S<sub>4</sub>, para o risco de sodicidade (RICHARDS, 1954). Neste diagrama, a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), que representa o risco de sodicidade, é dada por:

$$RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$$

Sendo as concentrações expressas em mmol/L.

Quanto ao risco de salinidade, durante todo o período, as águas apresentaram baixo, médio e alto risco; a maioria apresentou risco de sódio baixo, mesmo para valores elevados de condutividade elétrica, e uma amostra teve risco médio de sódio.

O diagrama USDA foi modificado pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia (UCCC). Este diagrama usa uma que na definição da Razão de Adsorção de Sódio Corrigida, com uma concentração de cálcio corrigida na água do solo (Ca<sup>0</sup>) é obtida a partir da razão  $rHCO_3^- / rCa^{++}$  e da condutividade elétrica da água de irrigação (PIZARRO, 1985). Este diagrama usa quatro classes para risco de salinidade e três classes para risco de sodicidade, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>.

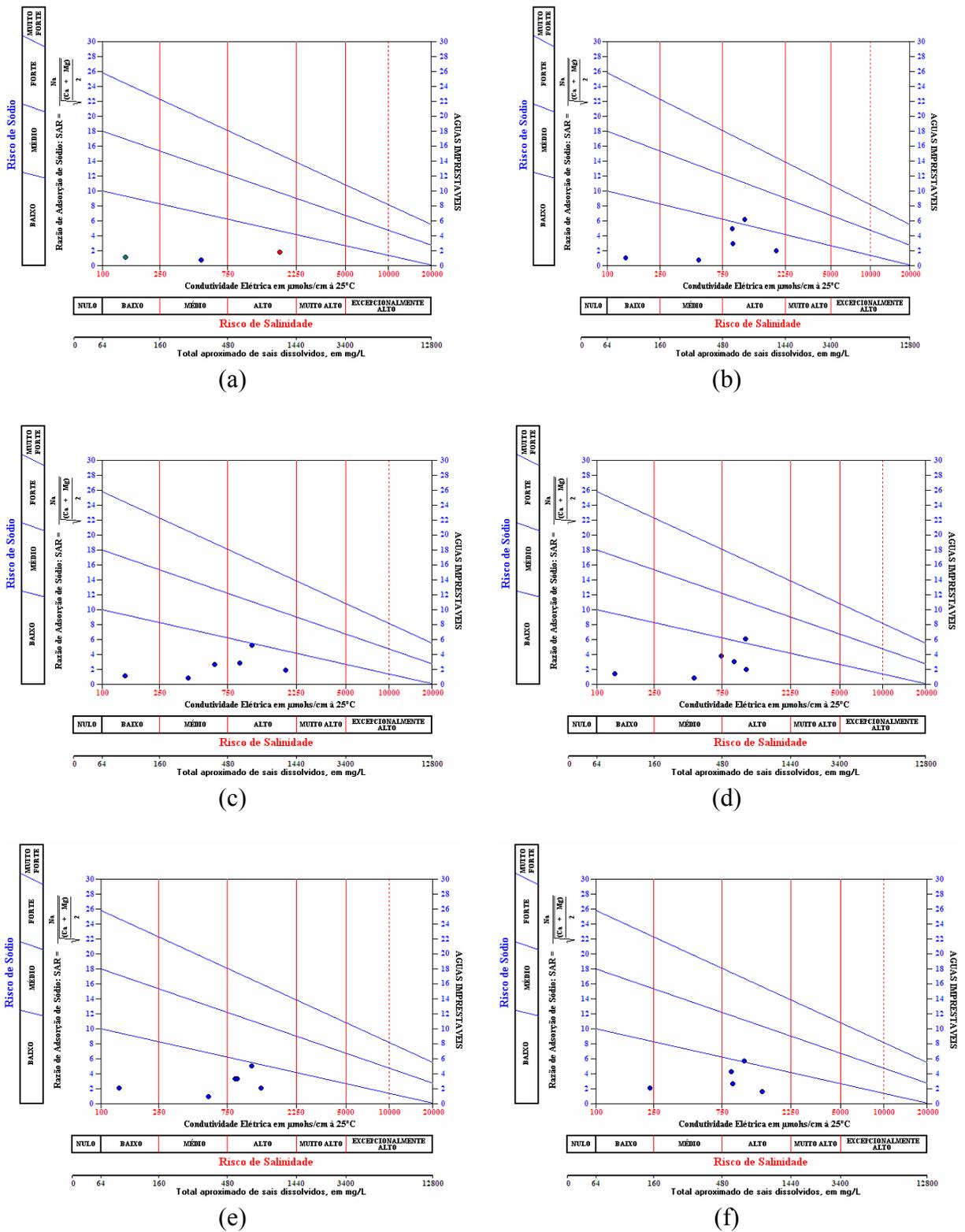
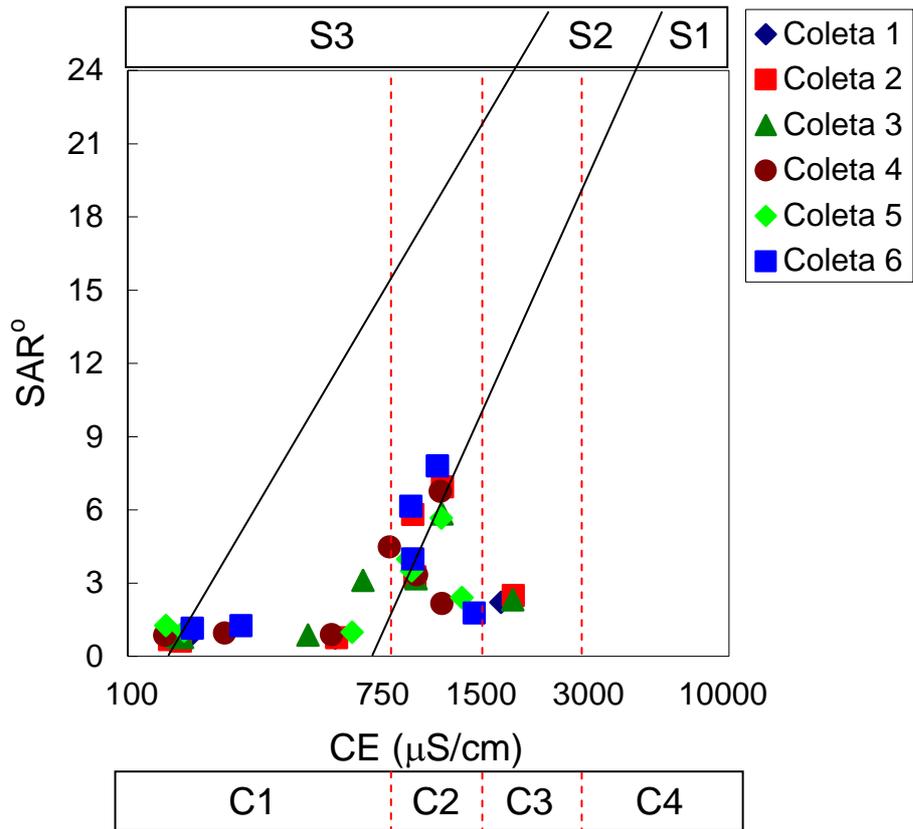


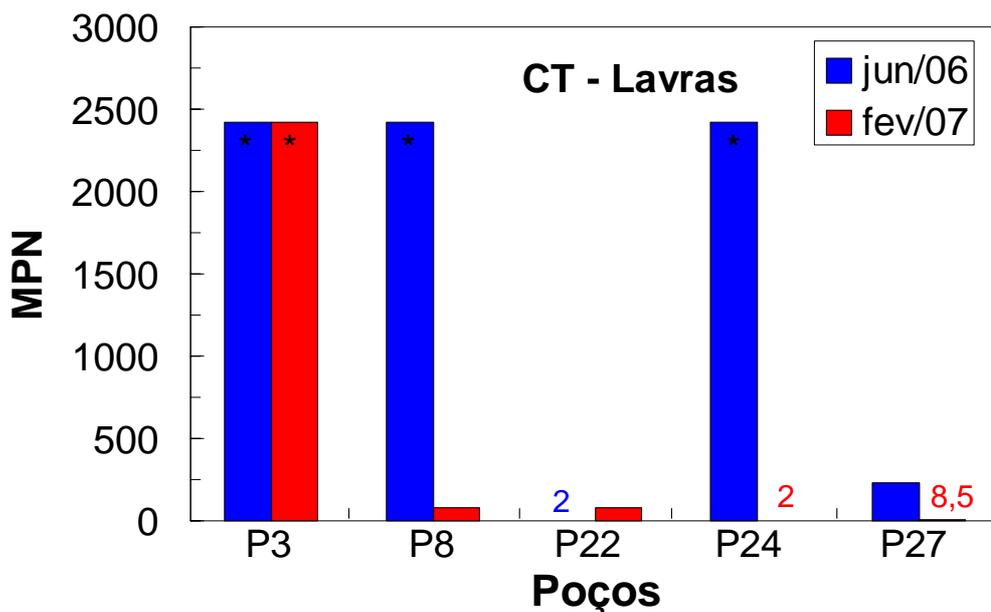
Figura 15. Diagramas USDA no Cariri Oriental (a) em outubro de 2005, (b) em dezembro de 2005, (c) em abril de 2006, (d) em junho de 2006, (e) em outubro de 2006 e (f) em fevereiro de 2007.

A Figura 16 mostra as águas de Lavras da Mangabeira em todas as coletas apresentaram risco de sodicidade nas três classes; ou seja, algumas águas não são adequadas ao uso na agricultura.



**Figura 16. Diagrama USDA modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) em Lavras da Mangabeira**

A Figura 17 mostra um histograma com medidas de coliformes totais em amostras coletadas em junho de 2006, logo após o período chuvoso, e em fevereiro de 2007, no início do período chuvoso seguinte. Em todos os cinco poços amostrados em Lavras da Mangabeira foi detectada a presença de coliformes totais; no poço P3 os valores foram os mesmos nas duas coletas e em Fev./07 os valores foram mais altos do que em Jun./06 no poço P22 e mais baixos, nos demais poços, P8, P24, P27. A Tabela 2 mostra os resultados das análises bacteriológicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira coletadas em julho de 2006 e em fevereiro de 2007.



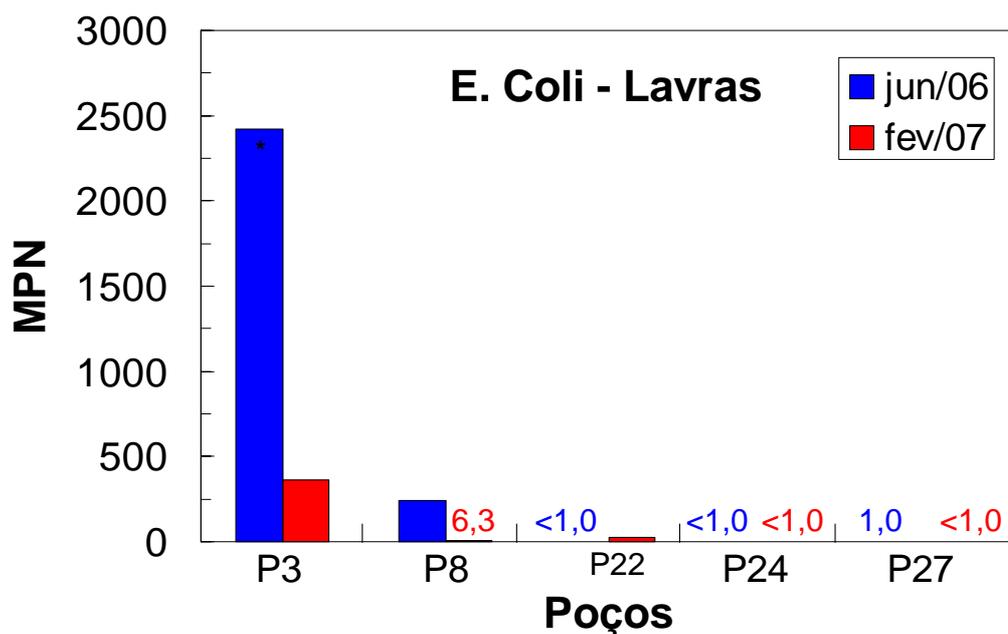
**Figura 17. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados em Lavras da Mangabeira em junho de 2006 e em fevereiro de 2007**

**Tabela 2. Resultados das análises bacteriológicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira coletadas em julho de 2006 e em fevereiro de 2007.**

Poço Nº	C.T. (MPN)		E. Coli (MPN)	
	07/2006	02/2007	07/2006	02/2007
P3	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	365,4
P8	2419,6	80,9	240,0	6,3
P22	2,0	81,3	< 1,0	25,6
P24	> 2419,6	2,0	1,0	< 1,0
P27	228,2	8,5	1,0	< 1,0

Medidas em amostras de Lavras da Mangabeira (Figura 18) mostram a presença de coliformes fecais em todas as coletas; em Fev./07 o valor foi maior que o de Jun./06 no poço P22 e menor nos outros poços, P3, P8, P24 E P27.

Os resultados mostram que, sem um tratamento prévio, as águas analisadas não são adequadas para o consumo humano uma vez que a presença de coliformes totais com ou sem *E. Coli* produz danos à saúde do consumidor.



**Figura 18. *E. Coli* nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Oriental em junho de 2006 e em fevereiro de 2007**

Do conjunto dos poços na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira seis foram amostrados para análise dos isótopos estáveis, oxigênio-18 e deutério; um poço está localizado na Sub-bacia Riacho do Meio (P13) e os demais na Sub-bacia Riacho do Rosário. Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) encontram-se no intervalo de -3,1 a -0,2 e de  $\delta\text{D}$  (‰) de -17,9 a -3,6 (Tabela 3). Considerando que as chuvas atuais na região têm em média  $\delta^{18}\text{O} = -3,2$  ‰ e  $\delta\text{D} = -15,6$  ‰ os valores isotópicos nas águas dos poços indicam águas evaporadas.

**Tabela 3. Resultados de análises isotópicas de águas subterrâneas em Lavras da Mangabeira**

Poço	Local	$\delta\text{O}^{18}$ (‰)	$\Delta\text{D}$ (‰)	Prof. (m)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
03	Angico	-3.1	-17.9	60	1111
13	Associação - Logradouro	-0.2	-3.6	209	412
22	Areias	-3.0	-17.1	60	133
24	Limoeiro	-2.2	-13.7	42	476
11	Tabuleiro Alegre	-2.2	-12.7	64	964
27	Varas 2	-2.6	-14.5	60	210

A Figura 19 mostra que a relação entre  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  destas amostras de água subterrânea é uma reta com coeficiente de correlação  $R = 0,96$ ,

$$\delta\text{D} = 4,8 \delta^{18}\text{O} - 2,6$$

O coeficiente angular 4,8 indica que elas sofreram processos de evaporação. Esta figura mostra também a Reta Meteórica Mundial (CRAIG, 1961),

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$$

Este valor de coeficiente angular igual a 8 corresponde à águas que não evaporaram. O ponto mais separado dos demais é a medida do poço na sub-bacia Riacho do Meio.

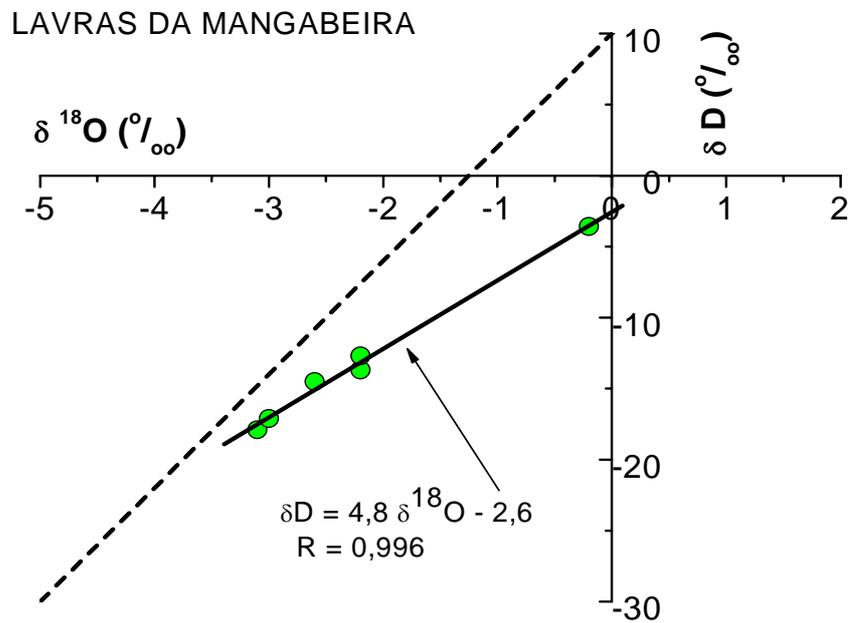


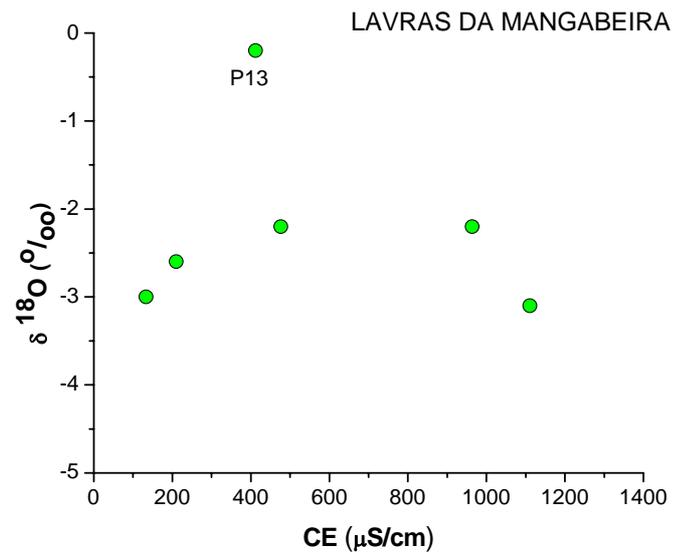
Figura 19.  $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$  em águas subterrâneas do Cariri.

Adotando o gradiente evaporimétrico encontrado por Santiago (1984) para a região de,

$$\Delta\delta^{18}O / \Delta f \approx 1,3\text{‰}/10\%$$

(onde f é a fração de água remanescente) o valor de -0,2‰ para o poço P13 significa um enriquecimento da água em  $^{18}O$  pela evaporação de 23% do volume de água.

Relacionando a condutividade elétrica com as medidas de  $\delta^{18}O$ , o poço P13 também se separa dos demais como mostra a Figura 20 mostrando que este isótopo discrimina os diferentes sistemas aquíferos.



**Figura 20.  $\delta^{18}\text{O}$  versus condutividade elétrica (CE) de amostras de águas subterrâneas.**

## **2 VULNERABILIDADE E RISCO DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Autor: MSc. Liano Silva Veríssimo – CPRM

### **2.1 Fontes potenciais de poluição**

As fontes potenciais de poluição para as águas subterrâneas são consideradas todas aquelas que, em função de suas características físico-químicas e de localização quanto aos sistemas aquíferos, poderão vir a representar uma fonte poluente comprovada, ou efetiva.

A área de estudo no município de Lavras da Mangabeira, constitui-se de um conjunto de três pequenas bacias denominadas Bacia do Riacho do Meio, Bacia do Riacho do Rosário e Bacia de Iborepi, situadas entre 12 e 7 km da sede municipal, local este que poderia vir a representar uma fonte poluente. Assim as prováveis fontes potenciais de poluição para as águas subterrâneas, que estão dentro da área das bacias são os pontos de disposição de resíduos, os poços tubulares construídos sem critérios (fontes pontuais) e a atividade agrícola (fontes difusas).

#### **2.1.1 Fontes pontuais**

As fontes pontuais são aquelas originadas das atividades concentradas em uma pequena superfície, e de fácil identificação.

##### **2.1.1.1 Disposição dos Resíduos Sólidos**

A disposição dos resíduos sólidos (lixo) gerados pela atividade antrópica, pode gerar substâncias prejudiciais à saúde e poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O lixo é formado de uma massa heterogênea, variando em função da comunidade que o produz. O principal poluidor produzido pelo lixo é o chorume. É um líquido escuro gerado pela degradação dos resíduos em aterros sanitários ou lixões, originado da umidade natural do lixo, da água de constituição da matéria orgânica e das bactérias em decomposição.

Para a avaliação da geração da carga poluidora, utiliza-se a produção de resíduos sólidos por habitantes, considerando o valor de 0,5 kg/habitante/dia.

Na área da bacia a população esta toda dispersa e conseqüentemente a produção de resíduos sólidos é pequena. Assim é de se esperar que nesses locais que são despejados o lixo não apresenta capacidade de alterar a qualidade da águas subterrâneas.

##### **2.1.1.2 Construção de poços tubulares**

Um poço tubular é uma obra de engenharia hidrogeológica, requerendo para sua construção um projeto técnico, baseado no conhecimento hidrogeológico local, para fundamentar a correta locação, perfuração, completação, desenvolvimento e teste de bombeamento (CAVALCANTE, 1998).

A interligação da zona superficial com zonas mais profundas, nos poços, constitui-se em um meio direto de poluição das águas subterrâneas. Um erro na construção de poços colocará as águas subterrâneas em risco de poluição, daí o tamponamento de poços ser de extrema importância, para evitar o contato da superfície com a zona saturada, através de poços abandonados.

Através do inventário de 20 poços representativos da bacia, foram identificados os 16 poços quanto sua situação. Existem 12 poços produtivos (em uso) e 4 não produtivos (bandonado, paralisado, não instalado), que podem ser enquadrados como ponto de geração de carga poluidora às águas subterrâneas.

Os resultados da análise físico-química da água do poço LV-07 na localidade de Angicos, mostraram valores dentro dos padrões de potabilidade, porém a análise bacteriológica confirmou a presença de bactérias do tipo *Klebsiella Sp* (6,3 NMP/100 mL). Este fato pode estar relacionado a um contato direto da zona superficial poluída por animais e inseticidas utilizados na plantação.

## **2.1.2 Fontes difusas**

### **2.1.2.1 Atividade agrícola**

Na área de estudo a atividade agrícola foi à única identificada como possível fonte de contaminação difusa. A agricultura de subsistência é principal atividade, através das culturas de feijão, milho e mandioca, além de monoculturas de algodão, banana, abacate, cana-de-açúcar, castanha de caju e frutas diversas.

Nenhuma dessas culturas oferece risco efetivo de geração de carga poluidora às águas subterrâneas, entretanto o processo de utilização de fertilizantes como nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) e dos pesticidas (inseticidas, formicidas, herbicidas), pode alterar a cobertura do solo e as camadas importantes da zona não saturada, aumentando a sua vulnerabilidade.

## **2.2 Caracterização da vulnerabilidade do aquífero**

O termo vulnerabilidade à contaminação do aquífero é utilizado para representar as características intrínsecas que determinam a suscetibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante (FOSTER, 1987 *apud* FOSTER & HIRATA, 1993).

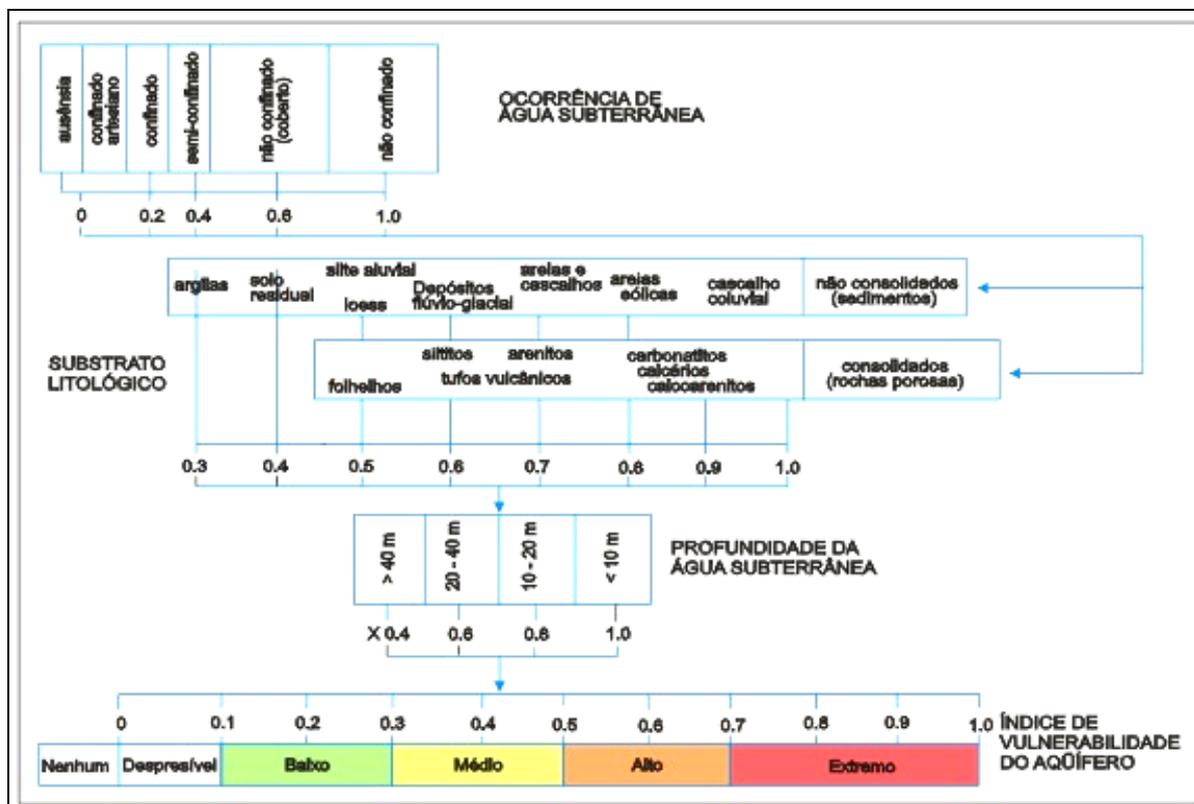
A vulnerabilidade do aquífero é função da inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante. Esses dois componentes da vulnerabilidade do aquífero interagem com os seguintes componentes da carga contaminante no subsolo: *a*) o modo de disposição do contaminante no subsolo e, em particular, a magnitude de qualquer carga hidráulica associada; *b*) a classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência. Esta interação determinará o tempo de residência na zona não saturada e a demora na chegada do contaminante ao aquífero (FOSTER, *op. cit.*).

### **2.2.1 Metodologia e características da vulnerabilidade natural dos aquíferos da área estudada**

Nas últimas décadas diversos métodos têm sido propostos para a gestão da qualidade das águas, trabalhando com aspectos de vulnerabilidade natural e potencial de poluição.

Na avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos da área, utilizou-se dos critérios propostos por FOSTER, 1987 *apud* FOSTER & HIRATA, 1993, o método GOD adaptado às condições da

área de estudo. Esse método engloba sucessivamente três fatores a serem determinados em fases distintas (Figura 21): *a*) Ocorrência da água subterrânea (condição do aquífero), representado numa escala de 0,0 até 1,0; *b*) Substrato litológico (características em termos litológicos e grau de consolidação dos estratos acima da zona não saturada), representado numa escala de 0,3 a 1,0; *c*) Profundidade em metros da água subterrânea (topo do aquífero confinado), numa escala de 0,4 a 1,0. O produto destes três parâmetros é o índice de vulnerabilidade, expresso numa escala de 0,0 a 1,0.



**Figura 21. Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero.**

(Fonte: FOSTER e HIRATA, 1993 - modificado).

### 2.2.2 Classes de vulnerabilidade natural dos aquíferos

Na determinação das classes de vulnerabilidade foram utilizadas as informações de nível estático de 16 poços tubulares e do mapa geológico.

Para o parâmetro “ocorrência da água subterrânea” (condição do aquífero), foi atribuído índice igual a 0,8 nas áreas aflorantes das formações Serrote do Limoeiro e Formação Iborepí.

Para o “substrato litológico”, nos arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Serrote do Limoeiro foi atribuído índice igual a 0,6. Para a Formação Iborepí (arenitos, grosseiros a conglomerático) foi atribuído 0,8.

No parâmetro “profundidade da água subterrânea” os poços mais rasos (07), com NE menor do que 10,0 m receberam índice 1,0 e para poços com NE maior ou igual a 10,0 m e menor do que 20,0 m (09) foi atribuído 0,8.

Com o cruzamento dessas informações, obteve-se o Quadro 3, onde estão os índices de vulnerabilidade pontual de cada unidade geológica e os valores atribuídos a cada um dos fatores que compõem tais índices.

**Quadro 3. Índice de vulnerabilidade dos aquíferos e sua classificação.**

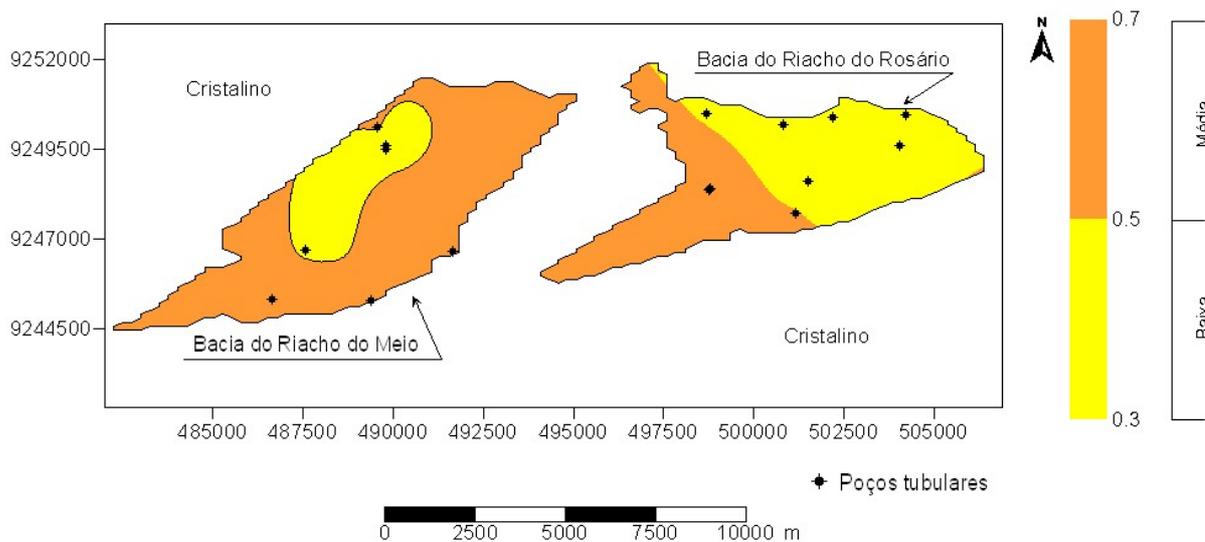
Formação Geológica	Condição do aquífero	Substrato litológico	Profundidade da água subterrânea (m)	Nível Estático (m)	Índice de Vulnerabilidade	Classes
Serrote do Limoeiro	0,8	0,6	1,0	< 10	0,48	Média
			0,8	10 – 20	0,38	Média
Iborepí	0,8	0,8	1,0	< 10	0,64	Alta
			0,8	10 – 20	0,51	Alta

(Fonte HIRATA *et al*, 1997 – modificado).

Utilizando-se os índices encontrados no Quadro 3, foram definidas duas classes de vulnerabilidade natural: Média e Alta. O estudo dessas informações proporcionou a confecção do Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos, com a distribuição espacial dos poços e zonas mais suscetíveis à poluição (Figura 22).

As áreas com baixo índice de vulnerabilidade ocorrem na parte norte e leste da Bacia do Riacho do Rosário e na Bacia do Riacho do Meio ocorre na parte central. Essa classe compreende 9 poços (56%), localizados na zona de afloramento da formação Serrote do Limoeiro. Nessa zona as águas dos aquíferos são menos suscetíveis à contaminação, e quando atingidas por contaminantes esses atuam de forma lenta.

As áreas com médio índice de vulnerabilidade ocorrem na parte sul e oeste da bacia do Riacho do Rosário e em 80% da Bacia do Riacho do Meio. Essa classe compreende 7 poços (44%), localizados na zona de afloramento da formação Iborepí. Nessa zona as águas dos aquíferos estão expostas a uma suscetividade relativa à contaminação, podendo sofrer alterações quando atingidas por contaminates.



**Figura 22. Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos.**

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCANTE I. N. 1998. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

CRAIG H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, **133**: 1702.

DAVIS S. N. & DE WIEST R. J. M. 1966. *Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York, 463 p.

FOSTER, S & HIRATA, C. A. R. 1993. *Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: Um método baseado em dados existentes*. Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Iratini. Instituto Geológico, São Paulo, 90p. Bol. 10.

FRISCHKORN, H.; M. M. F. SANTIAGO, M. FORSTER. *Groundwater as Indicator for Paleoclimatic changes in the Northeast of Brazil*. In: *Global Change and Regional Impacts*. Ed. Springer p. 193-204 2003

FRISCHKORN, H.;TORQUATO, J.R. e SANTIAGO, M.F. *Medidas isotópicas em aquíferos profundos na região centro-leste do Piauí*. In: CONGR. BRAS. ÁG. SUBT., 3<sup>o</sup>, Anais... Fortaleza, 02 a 06/09/1984, p.42-51, 1984.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. 1999. *Manual técnico de análise de água para consumo humano*, FUNASA, Brasília, 211p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. 2001. Portaria N<sup>o</sup> 1.469. Ministério da Saúde, Brasília.

PIZARRO F. 1985. *Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos*. Agrícola Española, Madrid, 542p.

RICHARDS L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soil*. US Department of Agriculture, Washington DC, 160 p. USDA Agriculture Handbook, 60

RICHTER, C. A. & NETTO, J. M. A. 1991. *Tratamento de Água –Tecnologia Atualizada*. Editora Edgard Blücher LTDA. 3<sup>a</sup> reimpressão –2000. 132 p.

ROZANSKI K, ARAGUÁS-ARAGUÁS L, GONFIANTINI R. 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. In: *Continental Isotope Indicators of Climate*. American Geophysical Union Monograph.

SALES H. B. & GOUVEIA S. T. 1997. *Manual de técnicas analíticas para análise de águas*. Laboratório de Química Ambiental. - UFC, Fortaleza, 50 p.

SANTIAGO M. F., MENDES FILHO J., SILVA C.M.S., FRISCHKORN H. 1996. Modelo isotópico da dinâmica dos aquíferos do Cariri. In: *Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe*. Ministério de Minas e Energia, Recife, p.89-102.

SANTIAGO M. M. F. 1984. *Mecanismos de salinização em regiões semi-áridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 176p.

STUTE M., FORSTER M., FRISCHKORN H., SEREJO A.N.C., CLARCK, J. F., SCHLOSSER P, BROECKER W.S., BONANI G. 1995. Couling of Tropical Brazil(5°C) during the Least Glacial Maximum. *Science*, **269**: 379-383.

SUASSUNA J. 2007. *O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no Nordeste*. (disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/orig2.html>>), acesso em: em julho de 2007.

## ANEXOS

**Tabela 4. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 1 em outubro de 2005.**

Poço N <sup>o</sup>	pH	CE (µS/cm)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza
P3	7,7	1741	109,8	59,3	96,0	72,9	240,1	35,6	299,4	105,7	518,1
P22	5,8	144	4,2	4,1	13,8	14,1	17,4	0,6	44,5	2,8	27,4
P24	6,7	490	19,6	40,3	24,6	3,5	53,6	2,8	252,0	19,2	214,6
P27	6,3	158	9,0	7,9	14,7	10,1	10,6	4,2	86,0	12,1	54,9

**Tabela 5. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 2 em dezembro de 2005.**

Poço N <sup>o</sup>	pH	CE (µS/cm)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza
P3	7,2	1917	132,7	66,0	115,4	46,0	291,3	35,9	284,6	107,5	602,9
P4	7,4	1114	25,6	31,6	198,7	3,5	87,5	11,7	640,4	0,0	193,9
P6	7,8	903	34,1	42,4	108,4	14,8	57,7	17,1	560,3	0,0	259,8
P8	7,7	888	33,5	18,4	144,2	6,9	92,3	0,3	421,0	17,3	159,2
P22	5,8	138	3,9	3,3	11,3	16,3	18,3	0,7	41,5	0,0	23,3
P24	6,4	495	19,4	40,1	24,6	3,5	60,6	2,8	231,2	0,0	213,3
P27	6,2	150	7,8	7,5	11,9	10,1	11,5	1,0	77,1	0,0	50,4

**Tabela 6. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 3 em abril de 2006.**

Poço N <sup>o</sup>	pH	CE (µS/cm)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza
P3	7,5	1909	131,9	67,9	108,4	50,1	290,3	17,5	307,1	338,8	608,8
P4	7,3	1111	25,6	34,9	172,7	3,5	45,2	1,1	686,5	22,1	207,5
P6	7,3	909	31,8	45,7	108,4	3,5	57,7	12,6	596,2	8,3	267,5
P8	7,1	606	32,6	17,0	76,1	3,5	45,2	1,1	337,2	22,1	151,4
P22	5,8	145	3,9	5,2	14,4	19,2	23,1	1,1	39,1	15,4	31,1
P24	6,8	397	14,0	31,6	26,0	1,7	32,7	2,0	174,6	45,9	165,0
P27	6,0	152	6,2	7,5	14,4	11,6	16,3	6,2	75,3	26,5	46,3

**Tabela 7. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 4 em junho de 2006.**

Poço N <sup>o</sup>	pH	CE (µS/cm)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza
P3	6,9	1111	73,7	35,8	82,2	30,0	157,2	29,1	183,7	179,2	331,3
P4	7,4	1095	23,5	32,5	194,2	3,5	83,1	8,1	695,3	4,6	192,4
P6	7,7	914	33,7	47,1	115,4	3,5	57,0	16,9	596,2	0,5	278,0
P8	7,3	743	32,9	18,4	110,7	3,5	69,6	0,6	379,4	25,5	157,9
P22	5,8	133	4,7	2,4	15,1	19,2	22,2	0,4	36,1	11,6	21,6
P24	6,5	476	18,0	40,1	28,9	3,5	54,1	1,9	231,8	16,8	210,0
P27	6,1	210	6,3	7,1	17,7	11,6	15,5	4,7	72,3	32,4	44,9

**Tabela 8. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 5 em outubro de 2006.**

Poço N <sup>o</sup>	pH	CE (µS/cm)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza
P3	7,1	1293	87,7	43,8	97,1	47,7	179,8	22,5	201,7	235,5	399,2
P4	8,3	1105	27,2	32,1	164,3	13,2	81,7	8,7	623,3	17,3	200,0
P6	7,7	880	22,5	47,1	120,1	6,8	58,7	15,1	511,9	10,2	250,0
P8	7,3	853	36,5	18,9	99,7	10,1	87,5	0,7	412,5	28,9	168,9
P22	5,6	134	2,3	2,4	19,0	24,8	23,1	0,7	30,1	11,6	15,6
P24	6,1	558	19,1	47,1	35,0	10,1	90,4	1,4	210,8	4,6	241,5
P27	6,2	154	6,2	6,6	19,0	17,7	19,2	1,6	72,3	11,1	42,6

**Tabela 9. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 6 em fevereiro de 2007.**

Poço N <sup>o</sup>	pH	CE (µS/cm)	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza
P3	7,4	1423	96,6	47,6	78,1	37,1	195,8	19,1	157,5	227,5	437,1
P4	8,2	1072	53,1	16,8	185,5	5,1	83,8	8,0	694,0	6,9	201,7
P6	7,8	889	90,3	15,4	103,8	6,8	61,2	14,6	580,2	0,0	288,9
P8	7,5	874	56,2	5,8	125,0	6,8	92,3	0,8	419,9	28,9	164,2
P22	5,9	238	4,8	1,4	20,4	16,3	21,7	0,4	46,7	9,7	17,7
P27	6,4	164	15,8	1,4	21,8	13,2	18,8	1,3	81,6	2,3	45,2