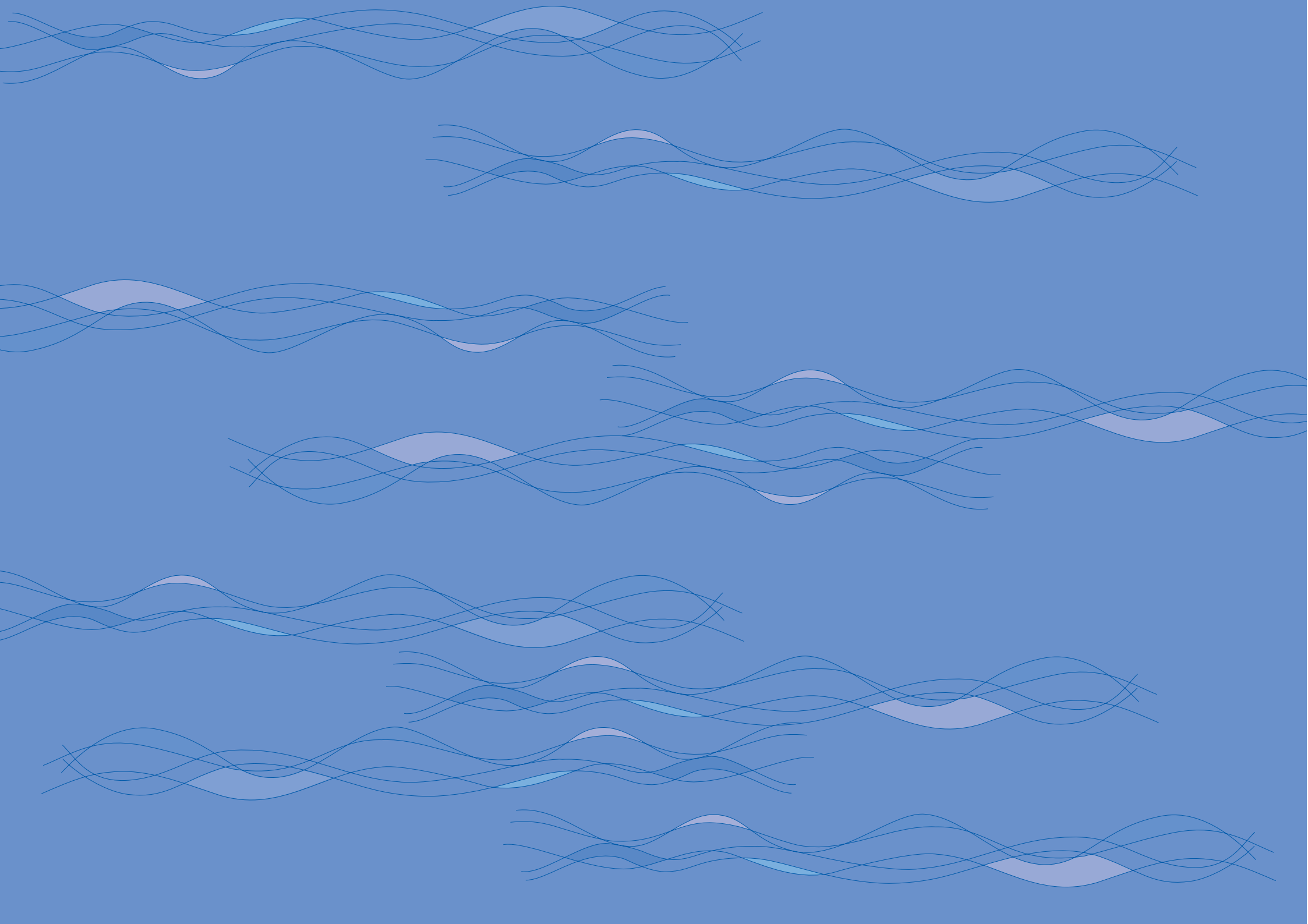




Plano de monitoramento e gestão dos aquíferos da

# Bacia do Araripe





# PLANO DE MONITORAMENTO E GESTÃO DOS AQUÍFEROS DA BACIA DO ARARIPE, ESTADO DO CEARÁ

RELATÓRIO FINAL  
Outubro, 2009



FOTO AÉREA DA BACIA ARARIPE

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
Governador: Cid Ferreira Gomes

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS  
Secretário: Cesar Augusto Pinheiro

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
Diretor-Presidente: Francisco José Coelho Teixeira

CHEFIA DE GABINETE  
Antônio Treze de Melo Lima

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO  
João Lúcio Farias de Oliveira

DIRETORIA DE OPERAÇÕES  
José Ricardo Adeodato

DIRETORIA FINANCEIRA  
Paulo Henrique Studart Pinho

UNIDADE DE GERENCIAMENTO DOS PROJETOS ESPECIAIS - UGPE  
Mônica Holanda Freitas

SUPERVISOR DE PROJETOS ESPECIAIS - PROÁGUA NACIONAL / COGERH  
Hugo Estenio Rodrigues Bezerra

COORDENAÇÃO TÉCNICA  
Zulene Almada Teixeira

PROJETO GRÁFICO / DIAGRAMAÇÃO / CAPA  
Dialógica  
Cristiana Andrade  
Denise de Castro

COMISSÃO COORDENADORA DA EDIÇÃO  
Antônio Treze de Melo Lima  
Maria Vanja Boaventura Apolinário

Este projeto foi financiado pelo Banco Mundial através do Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará/Progerirh. A edição deste projeto foi financiada pelo Proágua Nacional.

## EQUIPE TÉCNICA

### GERÊNCIA DE ESTUDOS E PROJETOS

Nelson Neiva de Figueiredo

Água Subterrânea  
Zulene Almada Teixeira  
Napoleão Quesado Júnior  
Larissa Silva e Silva

### GERÊNCIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Ubirajara Álvares Patrício

### GERÊNCIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Fernanda Azevedo Benevides  
Victor Hugo P. S. de Joinville

### Geoprocessamento

José Alves Carneiro Neto  
João Sílvio Dantas de Moraes  
Paula Nágela de N. Lopes

### GERÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO OPERACIONAL

Walt Disney Paulino  
Francimeyre Freire Avelino

### GERÊNCIA DE TECNOLOGIA

Débora Maria Rios Bezerra  
Edgney Sárvio O. Holanda  
Landolfo de Sousa Xavier  
Siomara Peixoto

### GERÊNCIA DE CRATO

José Yarley Brito Gonçalves

### Núcleo Técnico

Claire Anne Viana de Sousa  
Thiago Alves da Silva  
Antônio de Araújo Pereira  
Antenor Bezerra Luna Júnior  
Cleudivan Freire da Rocha

### COLABORADORES

#### IFCE

Maria Inês Teixeira Pinheiro

#### COGERH

Lucrécia Nogueira de Sousa  
Manuel Pereira da Costa  
Paulo Miranda Pereira  
Jonhy Leanderson Lima dos Santos

#### SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Liduína Carvalho Costa  
Luiz Amisterdam A. de Oliveira  
Victor Ygor B. de Melo

#### FUNCEME

Gilberto Mobus  
Nelson Raulino de Paiva

#### UFC

Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago  
Dra. Carla Maria Vidal Salgado  
Dr. Horst Frischkorn  
Dr. Josué Mendes Filho Física  
Ph. Dra. Sônia Maria S. Vasconcelos  
Dra. Helena Becker  
Dr. Ronaldo Ferreira do Nascimento

# Apresentação

A Bacia Sedimentar do Araripe, que se localiza na região sul do estado do Ceará, possui uma área de aproximadamente 11.000Km<sup>2</sup>. Apesar de estar inserida no “polígono das secas”, é detentora de alguns dos Aquíferos mais importantes do Nordeste do Brasil.

A região apresenta uma dinâmica econômica baseada, principalmente, nos setores da agricultura, de serviços além do turismo religioso. A principal alternativa de fonte hídrica é a água subterrânea, responsável pelo suprimento de 530.000 pessoas sem considerar a população flutuante.

Nesse contexto, a Secretaria dos Recursos Hídricos, através da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, desenvolveu estudos nessa região com o objetivo de implantar um sistema de monitoramento contínuo, assim como fazer um diagnóstico da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas.

A COGERH acredita que as informações apresentadas neste relatório constituem uma importante base de dados voltada para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos para a região do Cariri.



Francisco José Coelho Teixeira  
Diretor-Presidente da COGERH

# Sumário

## APRESENTAÇÃO 11

### INTRODUÇÃO 14

## CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO 17

### Aspectos Fisiográficos 17

### Geologia e Hidrogeologia da Bacia Araripe 18

### Sistema Aquífero Superior 22

### Sistema Aquífero Médio 23

### Aquíclides Brejo Santo e Santana 23

### Sistema Aquífero Inferior 24

## IDENTIFICAÇÃO DE POÇOS CADASTRADOS NA REGIÃO 25

### Município de Barbalha 26

#### Características das Obras de Captação 26

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Barbalha 27

### Município de Brejo Santo 28

#### Características das Obras de Captação 28

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Brejo Santo 29

### Município de Crato 30

#### Características das Obras de Captação 30

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Crato 31

### Município de Juazeiro do Norte 32

#### Características das Obras de Captação 32

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Juazeiro do Norte 33

### Município de Mauriti 34

#### Características das Obras de Captação 34

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Mauriti 35

### Município de Milagres 36

#### Características das Obras de Captação 36

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Milagres 37

### Município de Missão Velha 38

#### Características das Obras de Captação 38

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Missão Velha 39

### Município de Porteiras 40

#### Características das Obras de Captação 40

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Porteiras 41

### Município de Abaiara 42

#### Características das Obras de Captação 42

#### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Abaiara 42

## Discussão 43

## CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA 44

### Levantamento planialtimétrico 44

### Modelo digital do terreno 50

### Monitoramento Quantitativo Manual Regional 52

#### Fluxo Subterrâneo Regional 53

#### Mapas Potenciométricos 53

#### Discussões do monitoramento quantitativo manual Regional 59

### Monitoramento Quantitativo Manual Mensal 60

#### Discussões do monitoramento quantitativo manual mensal 89

### Estações de Monitoramento Automático

#### (*datalogger*) 90

#### Unidades de monitoramento (poço) 90

#### Sistema de armazenamento de dados 90

#### Software de armazenamento e tratamento de dados 91

#### Metodologia 91

#### Descritivo operacional 94

#### Detalhe operacional por parâmetro monitorado 94

#### Nível de água no poço 94

#### Medidor de nível por borbulhamento 94

#### Acesso para medição de nível de água 97

#### Horas de funcionamento do conjunto moto-bomba 97

#### Sensor de temperatura do solo 98

#### Sensor de precipitação pluviométrico 99

#### Abrigo do painel da unidade de monitoramento 100

#### Placa de identificação padronizada para os poços monitorados 100

#### Implantação das estações de monitoramento 101

#### Discussões 110

#### Análise do Monitoramento Quantitativo

#### por *Datalogger* 111

#### Discussão da análise do monitoramento quantitativo

#### por *datalogger* 137

### Identificação de Áreas Irrigadas por Poços Tubulares

### que Captam Água dos Sistemas Aquífero Médio e

### Inferior da Bacia Araripe, Porção Ceará. 138

### Balanço Hídrico e Estimativa de Reservas 141

#### Recarga subterrânea 142

#### Balanço hídrico 143

#### Variações sazonais do nível potenciométrico 147

#### Resultados 149

#### Balanço hídrico 149

#### Variações sazonais do nível potenciométrico 152

#### Análise e Discussão dos Resultados 167

#### Reserva Renovável 172

#### Reserva Permanente 174

## CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA 176

### Locais de amostragem 176

### Metodologia 180

### Hidroquímica 180

### Bacteriologia 181

### Metais pesados 181

### Agrotóxicos 182

### Isótopos 182

## Resultados e discussões 183

### Hidroquímica 183

### pH 195

### Condutividade elétrica (CE) 198

### Sólidos Totais Dissolvidos (STD) 202

### Cor aparente 205

### Turbidez 206

### Dureza 208

### Ferro 210

### Concentração de cátions 213

### Concentração de ânions 221

### Diagramas de Piper 227

### Compostos Nitrogenados 230

### Classificação das águas 234

### Uso das águas na Agricultura 236

### Coliformes 239

### Metais Pesados 242

### Agrotóxicos 246

### Isótopos Ambientais 248

### Origem das águas 253

## GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

## NA BACIA DO SALGADO 256

## CONCLUSÃO 260

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 264

# Introdução

A maior reserva de água subterrânea do estado do Ceará está localizada na Bacia Sedimentar do Araripe, porção sul do estado, na divisa com os estados de Pernambuco e Piauí (Figura 1.1). O relevo é constituído por dois domínios principais, planalto e depressão, conhecidos como Chapada do Araripe e Vale do Cariri, respectivamente.

A Chapada ocupa 73% da Bacia Sedimentar do Araripe e compreende altitudes que variam de 1.000m ao norte de Porteiras-CE, no setor oriental (porção leste), a 700m nas imediações de Araripe-PE, no setor ocidental (porção oeste) (DNPM, 1996), destacando-se na paisagem nordestina devido os desníveis em torno de 400m com a superfície sertaneja que circunda a chapada.

A área de interesse do estudo corresponde à porção oriental (leste) da Bacia Sedimentar do Araripe. Nela estão localizadas as três principais cidades da região do cariri cearense, que são Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, além de Missão Velha, Brejo Santo, Mauriti, Milagres, Porteiras, Jardim e Abaiara.

O Governo do Estado do Ceará através da Política de Gestão dos Recursos Hídricos, considerando a importância da água subterrânea, compreendeu a necessidade de se monitorar esse recurso na Bacia do Araripe, porção que compreende o Aquífero Médio. Dessa forma, foi elaborado o projeto "Plano de Monitoramento e Gestão dos Aquíferos da Bacia Araripe, Estado do Ceará", cujo objetivo é conhecer o comportamento dos sistemas Aquífero Médio e Mauriti.

É importante informar que a área de estudo está dentro do território da Bacia Hidrográfica do Salgado fazendo com que seja imprescindível a participação e envolvimento dos membros das respectivas instituições, Comitê de Bacia Hidrográfica e da Câmara Técnica de Água Subterrânea da região, na participação e acompanhamento do Projeto de Monitoramento e Gestão dos Aquíferos da Bacia do Araripe.

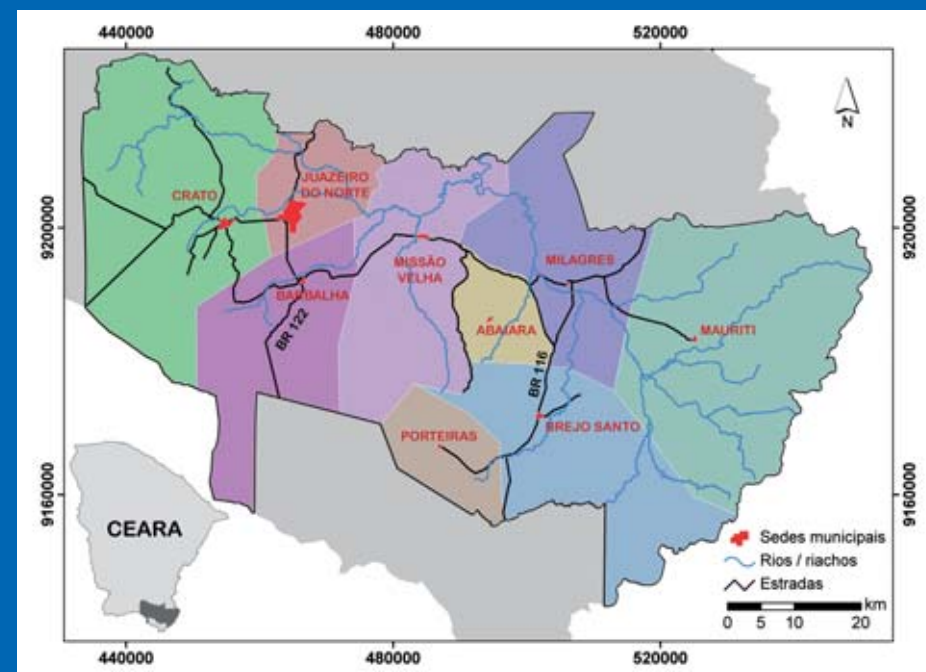


Figura 1.1- Localização da área de estudo.

Fonte: Adaptado de PERH/RN, 1999.

As atividades previstas para o desenvolvimento do projeto foram: identificação de poços cadastrados na região, levantamento planialtimétrico, análises hidroquímica, isótopos ambientais e bacteriológicas, implantação de estações monitoramento, balanço hídrico com estimativas de recarga e reservas.

Essas atividades compreenderam os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Abaiara, Porteiras, Milagres e Brejo Santo, são municípios que no geral, se abastecem com água do Aquífero Médio, foco do estudo, que tem uma área de aproximadamente 1.600Km<sup>2</sup>. Devido à extensão da área de estudo, algumas das atividades antecipadamente citadas não abrangeram todos os municípios.

Com os conhecimentos adquiridos no projeto, o Governo do Estado através da COGERH, órgão responsável pela gestão das águas, executará o Plano de Gestão e Monitoramento dos Aquíferos da Bacia do Araripe para equalizar as ações políticas e sócioambientais na manutenção e preservação dos recursos hídricos subterrâneos através da aplicação dos instrumentos de gestão.

## Caracterização da Região

### Aspectos Fisiográficos

De acordo com dados do Guia Municipal 2009/2010 (FROTA, 2009), a região estudada é caracterizada em sua maioria por um clima tropical quente semi-árido brando, tropical quente e tropical quente sub-úmido. As chuvas ocorrem de janeiro a abril, podendo se estender até maio, nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte; a precipitação pluviométrica média para a região encontra-se em torno de 668,6mm a 1.153mm. Registros de postos pluviométricos na porção leste da Bacia do Araripe apresentam uma precipitação média anual de 945,5 mm, sendo os maiores valores registrados em Barbalha e Crato, conforme mostra a Tabela 2.1.

A vegetação é basicamente formada por carrasco, floresta caducifólia espinhosa, floresta subcaducifólia tropical pluvial, floresta subcaducifólia xeromorfa e floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular. A região é caracterizada por duas unidades geomorfológicas: a Chapada do Araripe e a Depressão Sertaneja.

Diversos solos são encontrados na região, sendo a maioria: latossolo amarelo distrófico, podzólico vermelho amarelo eutrófico, aluviais eutrófico, litólico eutrófico, areias quartzosas distróficas e vertissolo.

Tabela 2.1													Médias de totais mensais de precipitação com base em séries históricas de registros de precipitação nas estações existentes na porção leste da Bacia Sedimentar do Araripe.
Cidades	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Barbalha	184.2	213.8	263.3	179.2	54.0	17.9	13.3	5.6	9.0	25.6	38.7	88.0	1092.6
Crato	160.7	212.1	267.4	180.5	61.7	19.1	9.8	4.2	10.0	24.8	47.3	89.5	1087.2
Missão Velha	138.6	198.4	251.9	174.9	56.0	15.4	8.1	4.3	7.1	15.2	39.5	67.7	977.0
Juazeiro do Norte	147.7	195.4	239.6	151.4	58.0	15.2	12.0	3.4	5.5	14.2	27.6	81.6	951.3
Milagres	130.1	191.9	244.9	153.4	55.6	21.0	11.3	4.6	6.3	17.6	35.1	66.7	938.7
Brejo Santo	123.6	185.1	214.4	146.7	45.7	21.8	12.4	4.5	6.2	19.2	45.7	73.8	899.7
Porteiras	131.5	155.5	171.2	141.5	60.2	17.5	14.7	2.8	4.0	13.4	25.4	81.7	819.3
Mauriti	120.5	154.1	192.7	147.0	49.6	19.1	12.3	4.3	7.2	13.5	24.9	53.1	798.2
Média	142.1	188.3	230.7	159.3	55.1	18.4	11.7	4.2	6.9	17.9	35.5	75.3	945.5

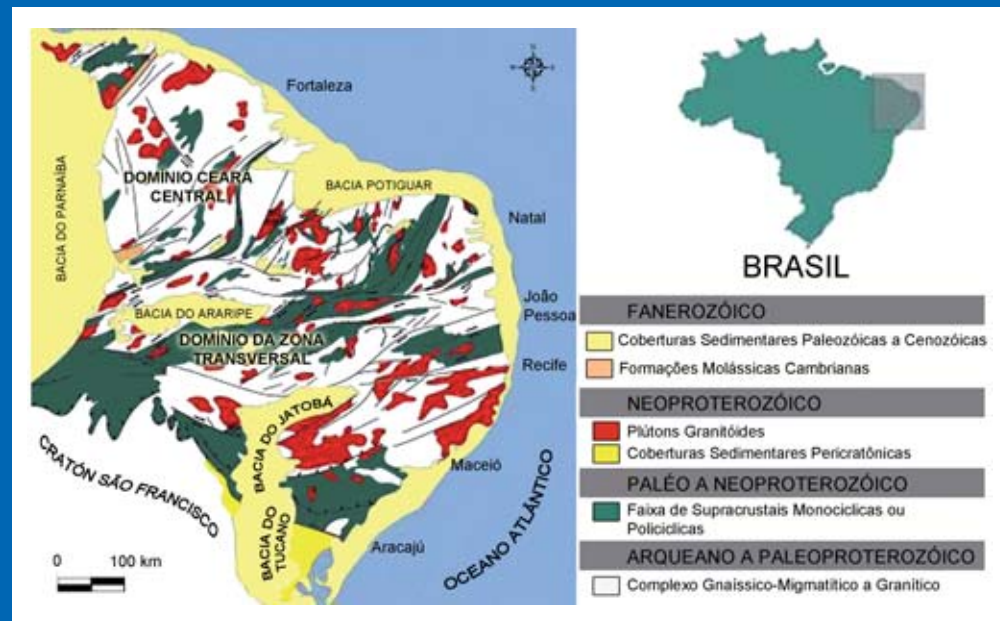
## Geologia e Hidrogeologia da Bacia Araripe

A Bacia Araripe é composta por um pacote de rochas sedimentares que se sobrepõem em rochas do embasamento cristalino. Neste trabalho, apresenta-se de forma simplificada a geologia da bacia, a qual poderá ser encontrada de uma forma mais completa no trabalho desenvolvido pela COGERH em 2005 no projeto Implantação do Sistema de Monitoramento/Gestão de uma Área Piloto do Aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri.

A Bacia do Araripe está localizada na Província Borborema, no Nordeste do Brasil, (Figura 2.1) desenvolveu-se em consequência de uma série de eventos geológicos relacionados ao rifteamento do Gondwana e subsequente abertura do Atlântico Sul. Sua evolução tectônica tem sido interpretada com base no registro geológico preservado que abrange rochas com idades que variam do Paleozóico ao Cretáceo (MORAIS NETO *et al.*, 2006 *apud* OLIVEIRA e LIMA, 2008).

Fonte: Modificado de Jardim de Sá, 1994.

Figura 2.1 - Mapa geológico simplificado da Província Borborema, nordeste do Brasil.



De acordo com Morais Neto *et al* (2006 *apud* OLIVEIRA e LIMA) a estratigrafia da Bacia do Araripe pode ser resumida pela seguinte sequência (Figura 2.2):

- (i) uma sequência paleozóica (Formação Mauriti, de idade siluriana-ordoviciano);
- (ii) uma sequência pré-rifte de idade jurássica, que segundo Ponte (1991) é representada por um sistema deposicional, denominado de Sistema Lacustre-Raso, Fluvial e Eólico do Andar Donjoaniano, que comporta duas unidades litoestratigráficas: a Formação Brejo Santo e a Formação Missão Velha;
- (iii) uma sequência rifte de idade neocomiana (Formação Abaiara, composta por arenitos, folhelhos e argilas carbonáticas depositados por sistemas flúvio-lacustres); e
- (iv) uma sequência pós-rifte cretácea representada por três sistemas deposicionais distintos: sedimentos de fácies carbonáticas, fluviais e lacustres de idade Albo-aptiana (Formação Rio da Batateira); sedimentos lacustre-evaporíticos e fácies marinha depositadas no Mesoalbio (Formações Santana e Arajara); e sedimentos com fácies fluviais meandrante a entrelaçada, depositados do Albiano ao Cenomaniano (Formação Exu). (Figura 2.3)

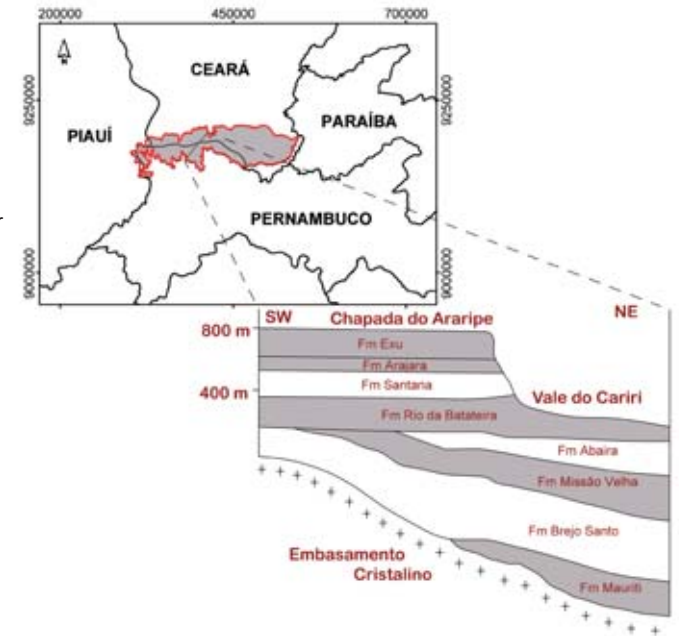


Figura 2.2 - Mapa da Bacia Sedimentar do Araripe com esboço esquemático de sua estratigrafia. Fonte: Machado, 2004.

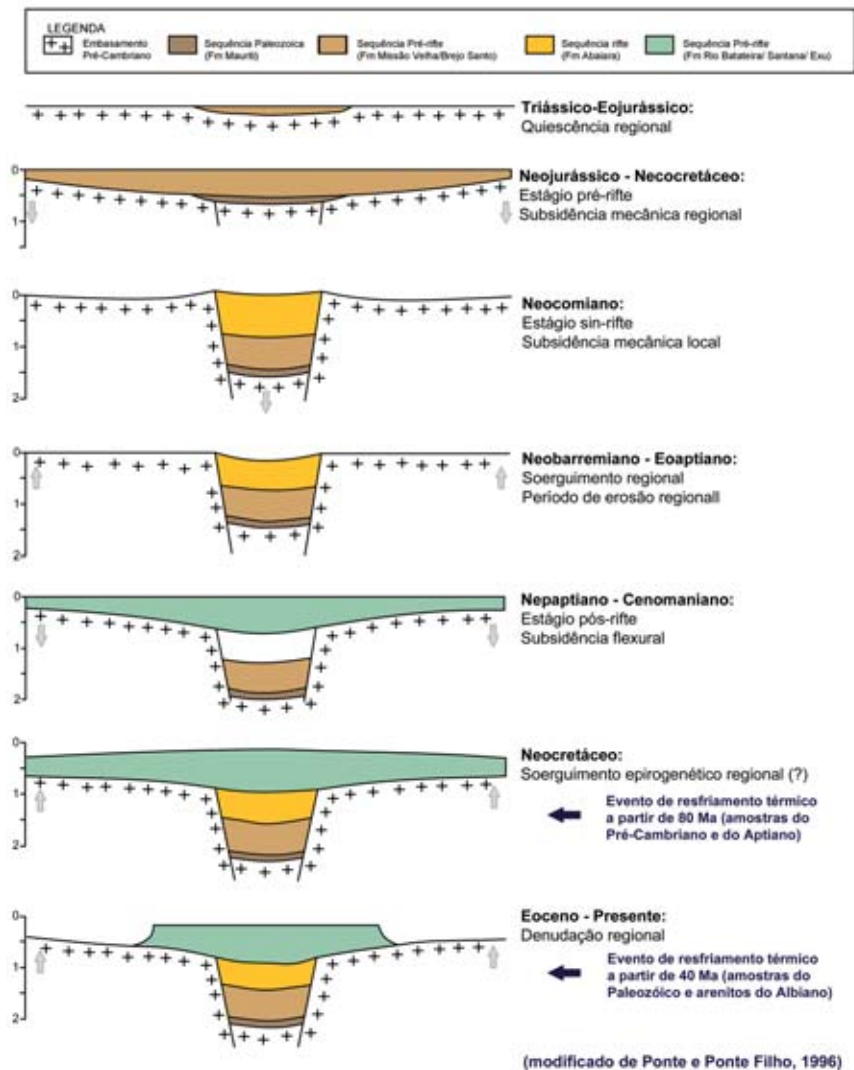


Figura 2.3 - Evolução hipotética da Bacia do Araripe (modificado de Ponte & Ponte Filho, 1996; In: Morais Neto et al., 1996).

A Bacia Sedimentar do Araripe apresenta, portanto, uma diversificação litológica caracterizada por sequências alternadas de arenitos, siltitos, calcários e folhelhos, podendo alcançar uma espessura total de aproximadamente 1.600m. Essa diversificação litoestratigráfica propicia a ocorrência de uma alternância de Aquíferos, aquíferos e aquícludes, variando espacialmente e apresentando descontinuidades verticais e laterais.

De acordo com Mont'Alverne et al. (1996), a similitude de características hidrogeológicas, a imprecisão na descrição de grande parte dos perfis litológicos e a pequena profundidade dos poços tubulares adotaram a seguinte divisão hidrogeológica na Bacia do Araripe (Figura 2.4):

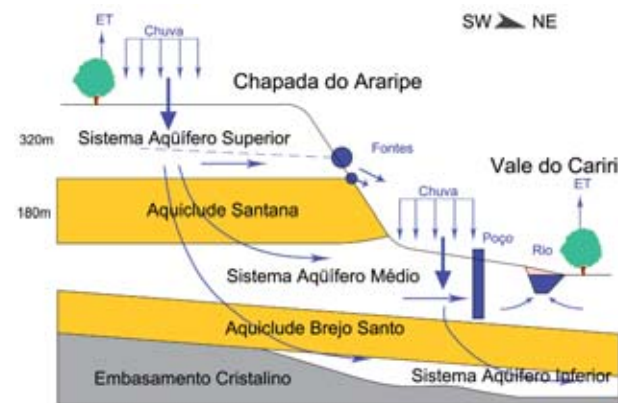


Figura 2.4 - Esboço esquemático do funcionamento dos sistemas aquíferos da Chapada do Araripe (Mendonça, 2001).

- a) Sistema Aquífero Superior (Formações Exu e Arajara) apresenta aproximadamente 320m de espessura;
- b) Aquíclode Santana tem aproximadamente 180m de espessura;
- c) Sistema Aquífero Médio (Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha) tem aproximadamente 500m de espessura;
- d) Aquíclode Brejo Santo tem aproximadamente 400m de espessura;
- e) Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo) com 60 a 100m de espessura.

## Sistema Aquífero Superior

Esse sistema não apresenta características hidrodinâmicas uniformes nas duas formações envolvidas, pois a Exu apresenta maior permeabilidade do que a Arajara, explicada pela composição litológica, sendo a primeira mais arenosa, e a segunda mais argilosa, funcionando mais como um aquífero do que um aquífero. Esse sistema pertencente ao Grupo Araripe do Cretáceo Médio, com 52Km<sup>2</sup> de exposição.

De acordo com Mendonça (2006), a condutividade hidráulica para a Formação Exu é de  $K \approx 3 \times 10^{-5}$  m/s e para a Formação Arajara  $K \approx 10^{-6}$  m/s. A Formação Exu constitui o topo da chapada, com altitudes entre 900 e 1.000m; e a Arajara ocorre bordejando o sopé da chapada, com cotas variando entre 760 e 900m. Mont'Alverne *et al.* (1996) atribuem a esta unidade uma espessura média de 320m e mergulho suave de 5° para norte.

Existem diferenças na espessura de um local para outro, devendo-se, em primeiro lugar, a processos erosivos no topo da superfície e a ocasionais basculamentos tectônicos sofridos por blocos, provocados por reativação dos falhamentos que ocorreram no Neocomiano (Mont'Alverne *et al.*, *op. cit.*).

A recarga desse sistema é realizada pela precipitação direta da chuva, observando-se ausência de drenagem no topo da chapada provocada pela presença de um solo muito arenoso e poroso (Mont'Alverne *et al.*, *op. cit.*).

Como descarga tem-se a evapotranspiração e as fontes naturais, classificadas como exutórios naturais formados a partir da infiltração de água no topo da chapada, que desce por gravidade até o contato com a Formação Arajara, de caráter argiloso. Do total de 344 fontes cadastradas por Mont'Alverne *et al.*, *op. cit.*, cerca de 85 % (294) escoam para o Ceará, com vazão média de 18m<sup>3</sup>/h, contribuindo com 44 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/ano.

## Sistema Aquífero Médio

Segundo Mendonça (2006), o Sistema Aquífero Médio é formado pelas formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha e possui  $K \approx 10^{-6}$  m/s. A alimentação dessa unidade é realizada diretamente nas áreas aflorantes pelas águas da chuva e através da infiltração de águas dos rios influentes, alimentados pelas fontes, muito comuns no "pé" da Chapada do Araripe.

Estudos realizados por Mont'Alverne *et al.* (1996) atribuem para a região entre Crato e Missão Velha uma vazão de escoamento natural de 2,88m<sup>3</sup>/s, com uma recarga anual de 90,8 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, mais a contribuição das fontes de 2,32 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/ano, perfazendo um total de 93,1 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/ano.

Constituem-se como exutórios naturais os rios efluentes e evapotranspiração, representando uma pequena parcela e, em maiores proporções, tem-se a exploração das águas subterrâneas através de poços tubulares que representa o exutório artificial.

A descarga do sistema Aquífero para os rios ocorre no período de estiagem, através de infiltração inversa, ou seja, quando o rio se torna influente podendo ser comprovado através do rebaixamento de nível estático, observado nos poços entre Crato e Missão Velha. Considerando o volume de descarga o mesmo que o de recarga, o volume final de descarga seria a recarga menos o volume explorado nos poços situados na área (VIANA, 2007).

## Aquíclides Brejo Santo e Santana

Este sistema apresenta predominância de litotipos de baixa permeabilidade (calcários, argilitos, folhelhos e níveis de gipsita) e pequena potencialidade hídrica (níveis arenosos e fraturas), constituídos pelas formações Brejo Santo (Jurássico Superior) e Santana (Cretáceo Médio) classificado como aquíclide, isto é, representa uma formação geológica que pode conter água (até mesmo em quantidades significativas), mas é incapaz de transmiti-las em condições naturais.

A Formação Brejo Santo apresenta-se entre as cotas de 400 a 440 metros, com espessura em torno de 300 metros sendo designada como

uma seqüência de folhelhos, argilitos e arenitos que afloram na porção central da área.

A Formação Santana aflora na porção sul da área. Estudos realizados por Mont'Alverne *et al* (1996) indicam uma espessura em torno de 200 metros, constituída por folhelhos cinzas, castanho-escuros e negros, calcíferos, laminados, calcários micríticos cinza-claros e creme argilosos, bancos de gipsita e anidrita, com intercalações de folhelhos cinzas e verdes, e um horizonte carbonático contendo fósseis de peixes.

Apesar desse sistema ser formado por material pelítico, ele pode ser explotado de maneira restrita nas intercalações arenosas e no sistema cárstico. A recarga ou renovação nesse sistema é impossibilitada devido às espessas camadas impermeáveis (MONT'ALVERNE *et al.*, *op cit.*).

### Sistema Aquífero Inferior

Este sistema Aquífero é caracterizado predominantemente pela Formação Mauriti, correspondente à borda setentrional oriental da região do Cariri, numa extensão de 600Km<sup>2</sup>, com relevo ondulado, atuando como elemento morfológico intermediário, ou de transição, entre a planície e o embasamento cristalino ondulado (LOPES, 2004).

Além da Formação Mauriti, a base da Formação Brejo Santo pertence ao Sistema Aquífero Inferior, que é composta por arenitos finos com estratificações cruzadas, siltitos e argilitos vermelhos (VIANA, 2007).

Existem diferenças na espessura de um local para outro, ocasionadas pelos basculamentos tectônicos representados pelos graben e horst.

A recarga desse sistema é realizada através das drenagens existentes e pela precipitação pluviométrica direta na área livre em que aflora a Formação Mauriti, pois na zona confinada a camada situada diretamente sobre a mesma é a Formação Brejo Santo, predominantemente argilosa, impedindo a circulação descendente da água do Sistema Aquífero Médio que lhe é sobreposto.

Como exutórios naturais têm-se as ressurgências dos cursos d'água superficiais na forma de escoamento de base da rede fluvial da região e a descarga artificial que é a exploração pelo homem através de poços.

## Identificação de poços cadastrados na região

Os dados de poços utilizados no desenvolvimento deste trabalho têm como base, principalmente, o cadastro de poços da COGERH, realizado em 2001 através de consultoria, consórcio Golder/Pivot e do SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas, com dados de 2002 a 2010 totalizando 1.596 poços. O objetivo deste capítulo é apresentar um panorama dos parâmetros hidráulicos das obras de captação da área de estudo. Dessa forma, a abordagem se limita aos seguintes parâmetros: profundidade, nível estático, nível dinâmico e vazão. A Figura 3.1 apresenta a distribuição espacial dos poços e fontes. Na região foram cadastradas 344 fontes pelo DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, em 1996, sendo 293 no Ceará, 43 em Pernambuco e 8 no Piauí.

Os dados de área, aspectos demográficos, pluviometria, temperatura, abastecimento de água e esgotamento sanitário foram obtidos do IPECE (2009).

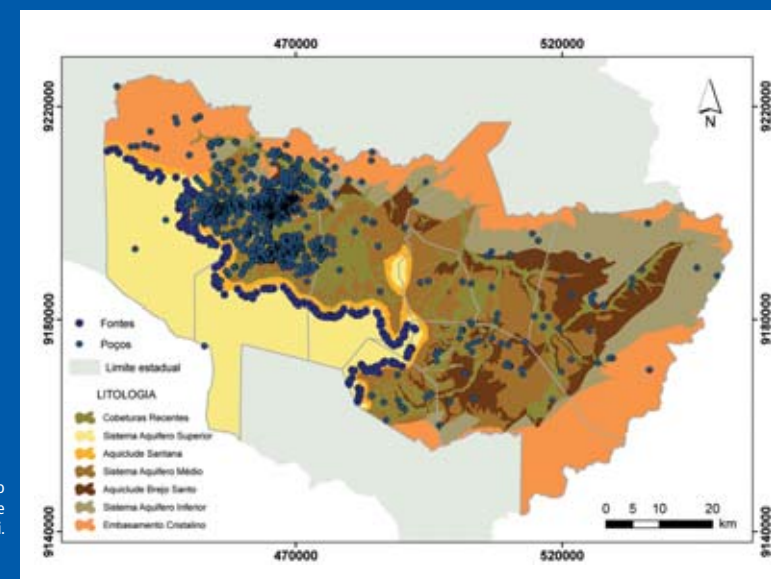


Figura 3.1 - Distribuição espacial dos poços e fontes do Cariri.

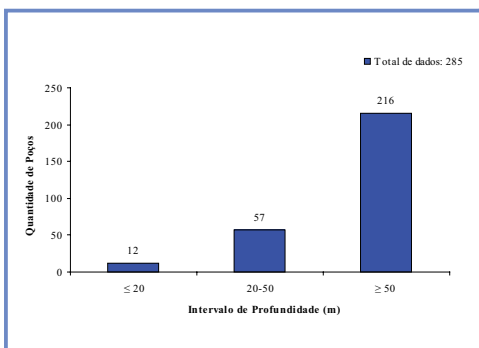
# Barbalha

## Localização

O município de Barbalha tem 479,18Km<sup>2</sup> de área, sua população foi estimada para 2007/2008 em 50.386 habitantes, com maior concentração na zona urbana (34.133 habitantes), e na zona rural 16.253 habitantes.

A temperatura varia de 24°C a 26°C, com média anual de pluviosidade de 1.153mm. O abastecimento de água e o esgotamento sanitário no ano de 2007 em Barbalha foram respectivamente de 97,72% e 50,68%.

## Características das Obras de Captação



Em Barbalha, identificou-se um total de 306 poços. A Figura 3.2 mostra a profundidade de 285 poços, onde a maioria (216) tem profundidade igual e/ou superior a 50,00m.

Figura 3.2 - Intervalo de profundidade dos poços de Barbalha.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Barbalha

Sobre os aspectos hidrodinâmicos, têm-se os valores de vazão, níveis estáticos e dinâmicos dos poços.

A Figura 3.3 apresenta os intervalos de vazão para um total de 99 poços identificados em Barbalha, dessa forma, 39 deles possuem vazão entre 1,00 a 10,00m<sup>3</sup>/h, 40 entre 10,00 a 50,00m<sup>3</sup>/h, 16 variando de 50,00 a 100,00m<sup>3</sup>/h, e quatro com vazão acima de 100,00m<sup>3</sup>/h.

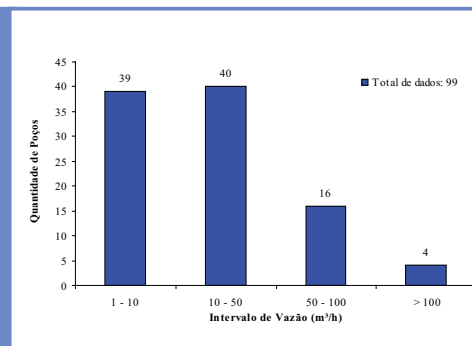


Figura 3.3 - Intervalo de vazão dos poços de Barbalha.

A Figura 3.4 apresenta o intervalo de nível estático de 136 poços, destes, a grande maioria, 85 poços encontram-se até 20,00m, seguidos por 26 poços no intervalo entre 20,00 a 40,00m, nove poços entre 40,00 e 60,00m e dois acima de 70,00m.

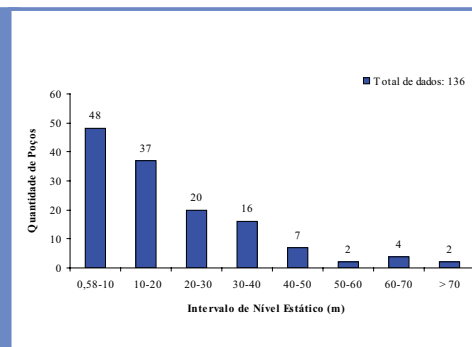


Figura 3.4 - Intervalo de nível estático dos poços de Barbalha.

Dos 127 poços identificados em Barbalha, 28 apresentam nível dinâmico com intervalo até 20,00m, 61 poços de 20,00 a 40,00m, 31 entre 40,00 e 70,00m e sete poços acima de 70,00m, conforme Figura 3.5.

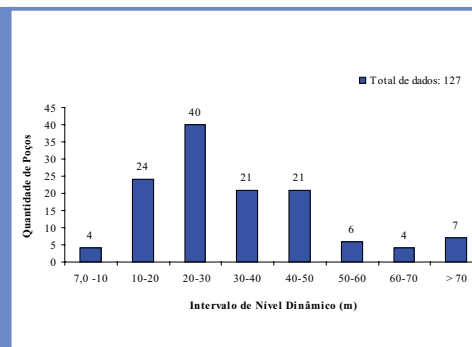


Figura 3.5 - Intervalo de nível dinâmico dos poços de Barbalha.

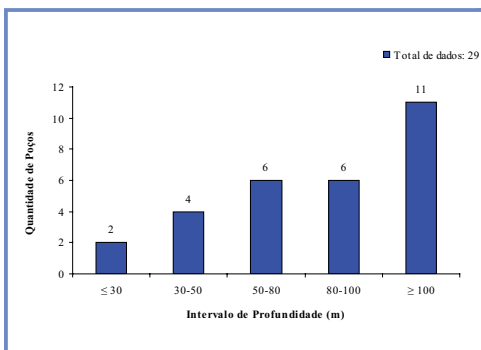
# Brejo Santo

## Localização

A área territorial de Brejo Santo é de 661,96 Km<sup>2</sup>, com população estimada em 2007/2008 de 39.613 habitantes, sendo esta concentrada em sua maioria na zona urbana (24.346 habitantes).

A temperatura varia de 24°C a 26°C, e a pluviosidade apresenta média de 895,8mm por ano. As taxas de cobertura d'água urbana são de 95,54% e de cobertura urbana de esgoto de 87,48%.

## Características das Obras de Captação



Em Brejo Santo foram cadastrados 29 pontos d'água. A Figura 3.6 apresenta a profundidade dos poços, onde dois poços têm profundidade menor ou igual a 30,00m; quatro estão entre 30,00 e 50,00m; em 12 a profundidade varia de 50,00 a 100,00m e 11 poços tem profundidade igual ou superior a 100,00m.

Figura 3.6 - Intervalo de profundidade dos poços de Brejo Santo.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Brejo Santo

Na Figura 3.7 verifica-se o intervalo de vazão de 23 poços, do total de 29 identificados em Brejo Santo. Dessa forma, 16 poços têm vazão que variam de 10,00 a 50,00m<sup>3</sup>/h; dois possuem vazão entre 50,00 e 100,00m<sup>3</sup>/h e quatro apresentaram vazões superiores a 100,00m<sup>3</sup>/h.

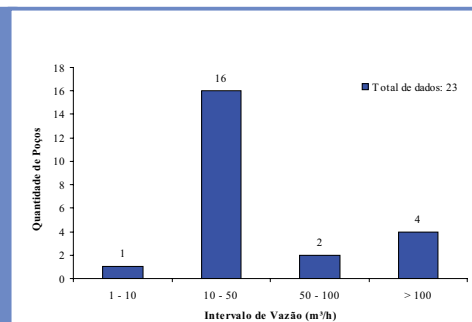


Figura 3.7 - Intervalo de vazão dos poços de Brejo Santo.

A Figura 3.8 apresenta o intervalo de nível estático de 23 poços, onde seis possuem nível estático que varia de dois até 10,00m; 12 poços encontram-se no intervalo de 10,00 a 30,00m; quatro entre 30,00 a 50,00m e um poço possui NE acima de 50,00m.

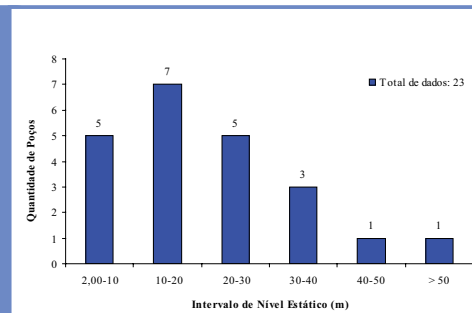


Figura 3.8 - Intervalo de nível estático dos poços de Brejo Santo.

A Figura 3.9 mostra o intervalo de nível dinâmico de 22 poços, destes, quatro estão no intervalo de 7,00 a 20,00m, 12 entre 20,00 e 40,00m e seis poços apresentaram ND acima de 40,00m.

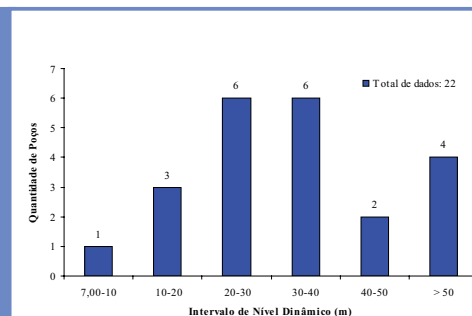


Figura 3.9 - Intervalo de nível dinâmico dos poços de Brejo Santo.

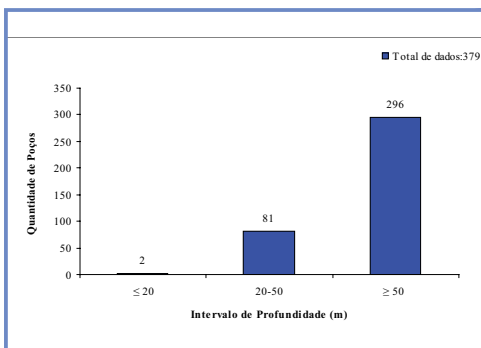
# Crato

## Localização

O município do Crato possui uma área de 1.009,20Km<sup>2</sup>, a população estimada em 2007/2008 foi de 111.198 habitantes, com concentração na zona urbana de 92.884 habitantes e na zona rural de 18.314 habitantes.

Nesse município a temperatura varia de 24°C a 26°C, com média anual de pluviosidade de 1.090,9mm. As taxas de cobertura d'água urbana são de 94,36% e de cobertura urbana de esgoto 25,15 %.

## Características das Obras de Captação



No município do Crato foram identificados 436 pontos d'água. Na Figura 3.10 observa-se a profundidade de 379 poços, dos quais dois possuem profundidades menor e/ou igual a 20,00m; em 81 poços a profundidade varia de 20,00m a 50,00m e 296 poços tem profundidade igual ou maior que 50,00m.

Figura 3.10 - Intervalo de profundidade dos poços de Crato.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Crato

Na Figura 3.11 está representada a vazão de 264 poços, em relação a determinados intervalos, no qual, 128 possuem vazão entre 1,00 e 10,00m<sup>3</sup>/h, 99 poços entre 10,00 e 50,00m<sup>3</sup>/h, nove variando de 50,00 a 100,00m<sup>3</sup>/h, dez poços acima de 100,00m<sup>3</sup>/h e 18 poços com vazão abaixo de 1,00m<sup>3</sup>/h, considerados poços seco.

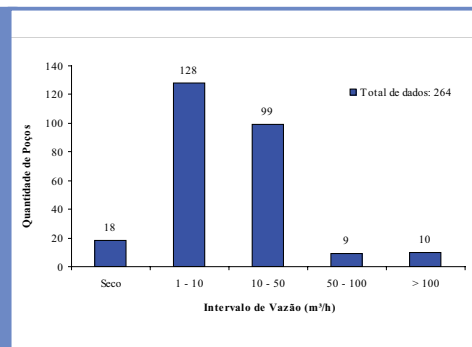


Figura 3.11- Intervalo de vazão dos poços de Crato.

A Figura 3.12 mostra o intervalo de nível estático de 252 poços, onde 48 estão entre 1,00 e 10,00m, 139 entre 20,00 a 30,00m, 43 poços entre 30,00 a 50,00m e 22 poços apresentam NE acima de 50,00m.

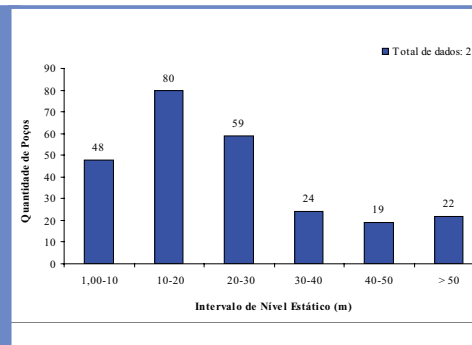


Figura 3.12 - Intervalo de nível estático dos poços de Crato.

O intervalo de nível dinâmico de 230 poços está representado na Figura 3.13, onde, 11 poços possuem ND entre 6,00 e 10,00m; 81 encontram-se no intervalo de 10,00 e 30,00m; 83 variam de 30,00 a 50,00m e 55 poços acima de 50,00m.

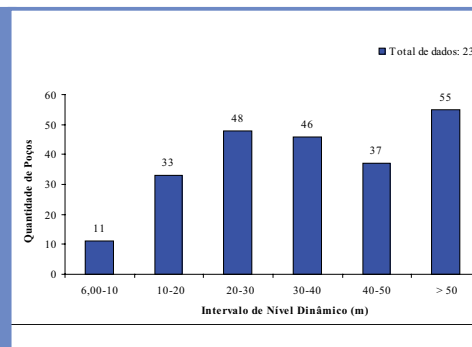


Figura 3.13 - Intervalo de nível dinâmico dos poços de Crato.

# Juazeiro do Norte

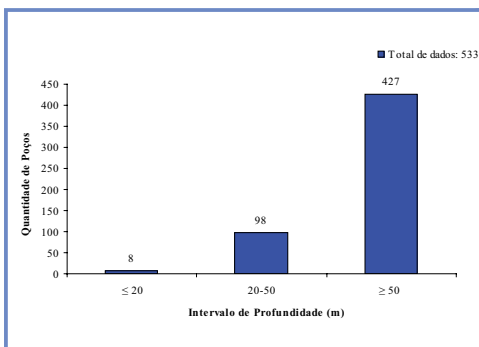
## Localização

A área total do município de Juazeiro do Norte é de 248,55Km<sup>2</sup>. A população estimada é de 242.139 habitantes para os anos de 2007/2008.

Em Juazeiro do Norte a temperatura varia de 24°C a 26°C, e a pluviosidade apresenta média de 925,1mm como média anual.

A infraestrutura de saneamento neste município no ano de 2007 corresponde às taxas de 97,67% para cobertura d'água urbana e de 40,32% para cobertura urbana de esgoto.

## Características das Obras de Captação



Foram identificados em Juazeiro do Norte 763 poços, destes, 533 apresentou informações de profundidade. Oito poços têm profundidade menor ou igual a 20,00m; 98 estão entre 20,00m e 50,00m, e em 427 a profundidade é menor ou igual a 50,00m (Figura 3.14).

Figura 3.14 - Intervalo de profundidade dos poços de Juazeiro do Norte.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Juazeiro do Norte

A Figura 3.15 apresenta os intervalos de vazão de poços de Juazeiro do Norte. Considerando um total de 392 poços, 15 possuem vazão entre 50,00m e 100,00m<sup>3</sup>/h, 20 acima de 100,00m<sup>3</sup>/h, 135 entre 10,00 a 50,00m<sup>3</sup>/h, 204 com vazão variando de 1,00 a 10,00 m<sup>3</sup>/h e 18 secos.

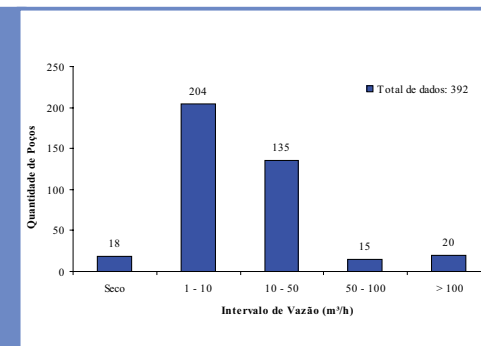


Figura 3.15 - Intervalo de vazão dos poços de Juazeiro do Norte.

O intervalo de nível estático de 387 poços identificados em Juazeiro do Norte pode ser visto na Figura 3.16, onde, a maioria, 178 poços estão no intervalo entre 0,30 e 20,00m, seguidos por 150 poços no intervalo de 20,00 a 40,00m; 32 de 40,00 a 50,00m; 25 poços entre 50,00 e 70,00m e dois com NE maior que 70,00m.

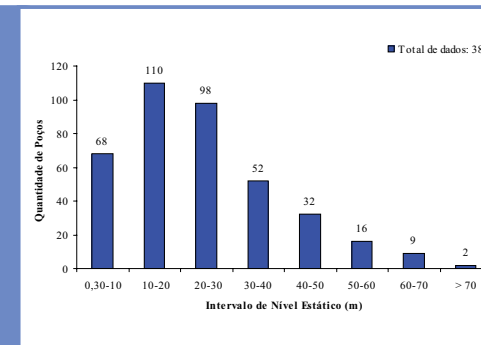


Figura 3.16 - Intervalo de nível estático dos poços de Juazeiro do Norte.

A Figura 3.17 mostra o intervalo de nível dinâmico de 392 poços, destes, 41 encontram-se entre 0,20 e 30,00m, seguidos por 269 que variam de 30,00 a 50,00m; 58 entre 50,00 e 70,00m; em 24 poços o ND é acima de 70,00m.

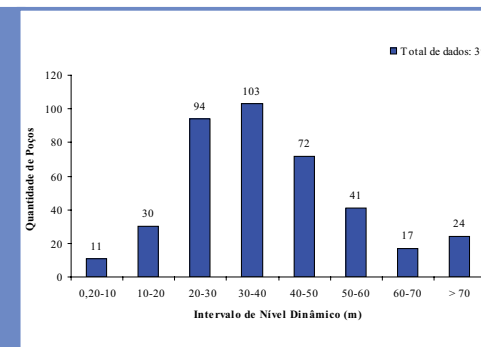


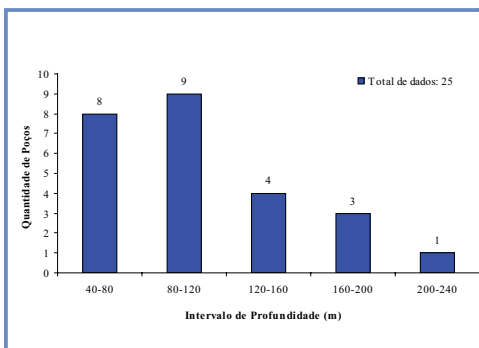
Figura 3.17- Intervalo de nível dinâmico dos poços de Juazeiro do Norte.

# Mauriti

## Localização

O município de Mauriti compreende uma área total de 1.111,86 Km<sup>2</sup> sendo a sua população estimada em 41.679 habitantes durante o período de 2007/2008, estando maioria concentrada na zona urbana (21.277 habitantes). A temperatura varia de 24°C a 26°C, e a pluviosidade média é de 872,3mm por ano. A infraestrutura de saneamento é 68,07% e 14,39% respectivamente para cobertura d'água urbana e cobertura urbana de esgoto.

## Características das Obras de Captação



Em Mauriti foram identificados 25 pontos d'água. A Figura 3.18 mostra a profundidade dos poços, onde, 17 variam de 40,00 a 120,00m; sete de 120,00 a 200,00m e um poço no intervalo de 200,00 a 240,00m.

Figura 3.18 - Intervalo de profundidade dos poços de Mauriti.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Mauriti

A vazão para um total de 23 poços apresentou intervalos entre 1,00 e 10,00m<sup>3</sup>/h em 12 poços; oito poços com vazão de 10,00 a 50,00m<sup>3</sup>/h, dois variam de 50,00 a 100,00m<sup>3</sup>/h; e um poço com vazão acima de 100,0 m<sup>3</sup>/h, conforme Figura 3.19.

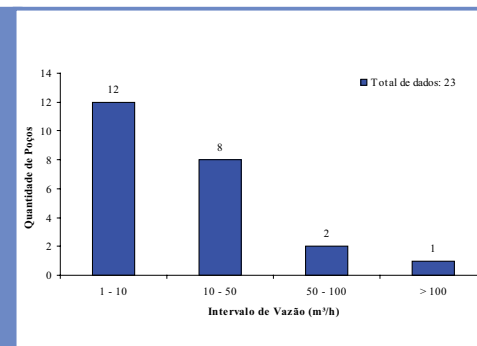


Figura 3.19 - Intervalo de vazão dos poços de Mauriti.

Na Figura 3.20 está representado o intervalo de nível estático de 22 poços, onde a maioria 14 variam de 2,00 a 20,00m, seis estão no intervalo de 20,00 a 40,00 m e dois acima de 40,00m.

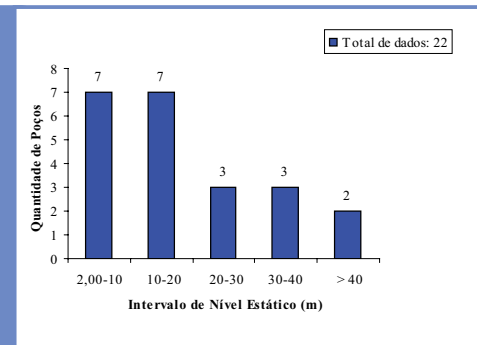


Figura 3.20 - Intervalo de nível estático dos poços de Mauriti.

O nível dinâmico foi identificado em 23 poços como mostra a Figura 3.21, destes, 14 apresentam ND acima de 40,00m, seis entre 30,00 a 40,00m, seguidos por dois poços entre 20,00 e 30,00m e um com até 20m.

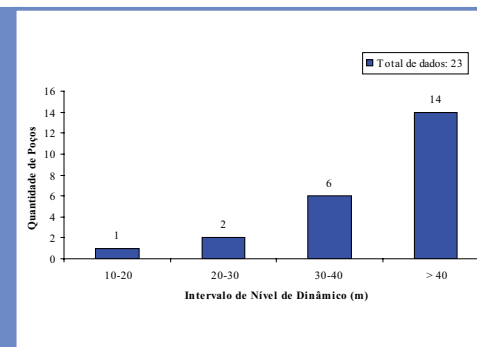


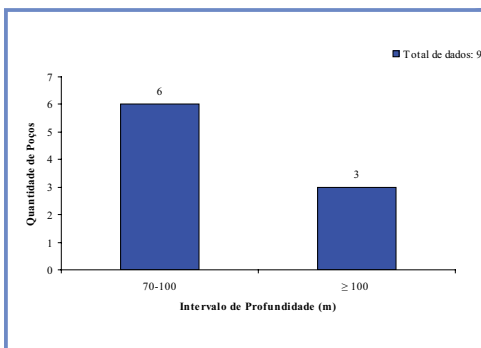
Figura 3.21 - Intervalo de nível dinâmico dos poços de Mauriti.

# Milagres

## Localização

O município de Milagres ocupa uma área de 546,64 Km<sup>2</sup>, apresentando uma população de 27.355 habitantes estimada durante o período de 2007/2008, onde na zona urbana há 11.508 habitantes e na zona rural 15.847 habitantes. A temperatura varia de 24°C a 26°C, e a pluviosidade apresenta média de 938,8mm por ano. As taxas de cobertura d'água urbana correspondem ao percentual de 68,56% e de 29,87% para cobertura urbana de esgoto.

## Características das Obras de Captação



Em Milagres foram identificados nove poços. A Figura 3.22 mostra a profundidade dos poços, em que, seis possuem profundidades entre 70,00 a 100,00m e três estão acima de 100,00m.

Figura 3.22 - Intervalo de profundidade dos poços de Milagres.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Milagres

A Figura 3.23 apresenta a vazão dos poços em determinados intervalos, de um total de oito poços, um apresenta vazão de 1,00 a 10,00m<sup>3</sup>/h, três variam a vazão de 10,00 a 50,00m<sup>3</sup>/h, um poço apresentou vazão 50,00 e 100,00m<sup>3</sup>/h e três apresentam acima de 100,00m<sup>3</sup>/h.

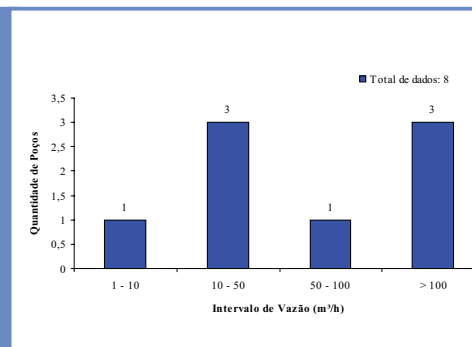


Figura 3.23 - Intervalo de vazão dos poços de Milagres.

Foram obtidos seis dados de nível estático de poços do município de Mauriti. Como pode ser observado na Figura 3.24, três poços possuem NE que varia de 2,80 a 10,00m e outros três estão no intervalo de 10,00 a 30,00m.

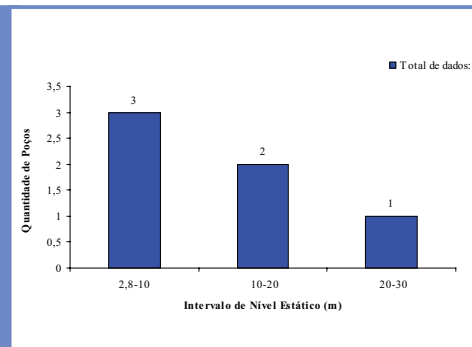


Figura 3.24 - Intervalo de nível estático dos poços de Milagres.

Na Figura 3.25 pode-se observar os níveis dinâmicos de sete poços, destes, dois apresentam ND de 10,00 a 20,00m; três estão entre 20,00 e 30,00m, seguidos por dois poços com ND superior a 50,00m.

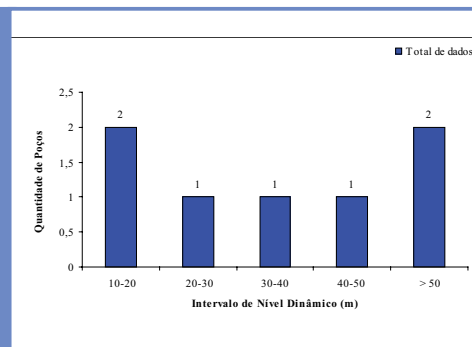


Figura 3.25 - Intervalo de nível dinâmico dos poços de Milagres.

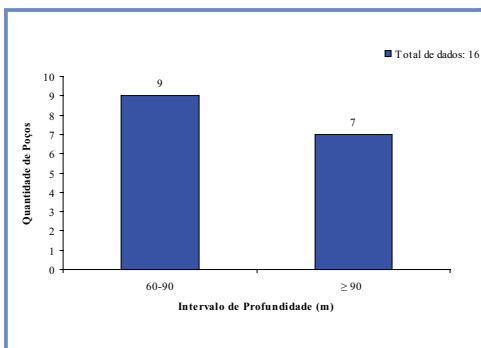
# Missão Velha

## Localização

O município de Missão Velha possui uma área de 651,11Km<sup>2</sup>, a população estimada foi de 33.690 habitantes para os anos de 2007/2008, com concentração maior na zona rural (19.073 habitantes).

Nesse município a temperatura varia de 24°C a 26°C, e a pluviometria apresenta média de 987,3mm. A infraestrutura de saneamento no ano de 2007 apresentou, respectivamente, taxas de cobertura d'água urbana de 86,36 % e de cobertura urbana de esgoto 7,49 %.

## Características das Obras de Captação



Em Missão Velha foram identificados 16 poços. O poço menos profundo tem 60,00m e o mais profundo 146,00m; nove poços estão no intervalo de 60,00 a 90,00m e sete poços com profundidades acima de 90,00m (Figura 3.26).

Figura 3.26 - Intervalo de profundidade dos poços de Missão Velha.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Missão Velha

Dos 15 poços identificados com dados de vazão, três variam de 1,00 a 10,00m<sup>3</sup>/h; em dez a vazão varia de 10,00 a 50,00m<sup>3</sup>/h e em dois as vazões superiores a 50,00m<sup>3</sup>/h, conforme Figura 3.27.

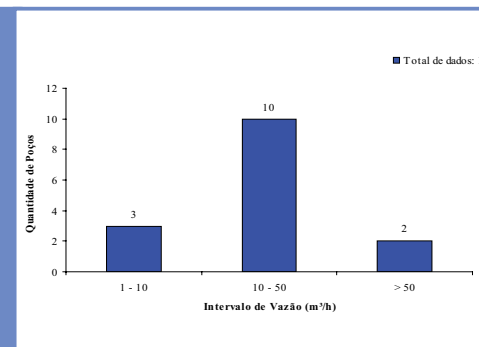


Figura 3.27 - Intervalo de vazão dos poços de Missão Velha.

Na Figura 3.28 está representado o intervalo de nível estático de 13 poços, onde a maioria, quatro, varia de 1,00 a 10,00m, três estão entre 10,00 e 30,00m; em três o intervalo é de 30,00 a 50,00 e, ainda, três apresenta NE acima de 50,00m.

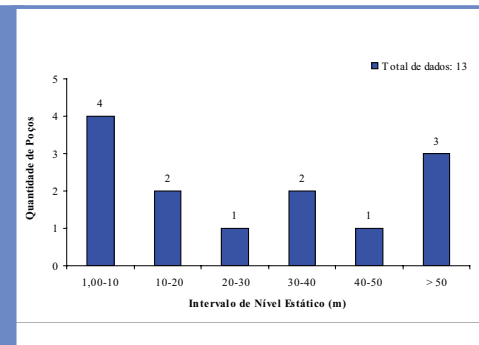


Figura 3.28 - Intervalo de nível estático dos poços de Missão Velha.

A Figura 3.29 mostra o intervalo do ND de 13 poços, onde quatro poços apresentam nível dinâmico entre 10,00 e 20,00m; três estão entre 20,00 e 40,00m, seguidos por seis poços com ND acima de 40,00m.

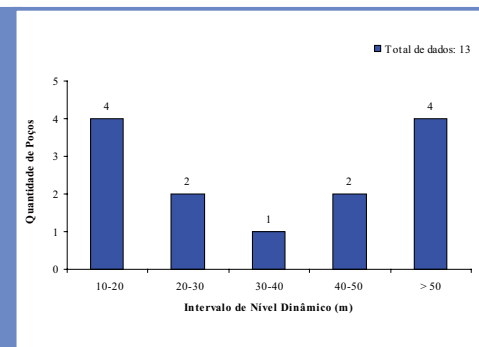


Figura 3.29 - Intervalo de nível dinâmico dos poços de Missão Velha.

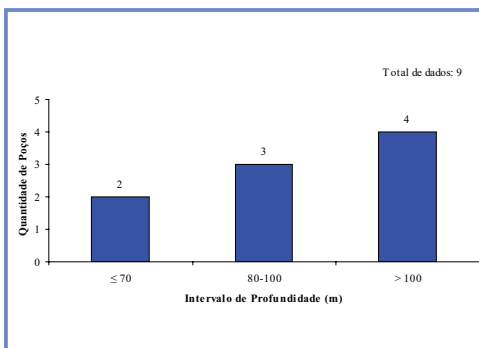
# Porteiras

## Localização

Porteiras possui uma área de 217.57Km<sup>2</sup>, sendo a população estimada em 2007/2008 de 14.792 habitantes, com concentração na zona urbana de 5.093 habitantes e na zona rural de 9.699 habitantes.

A temperatura varia de 24°C a 26°C, e a média anual de pluviosidade de 904,20mm. A infraestrutura de saneamento neste município no ano de 2007 correspondeu à taxa de cobertura d'água urbana de 99,08% e cobertura urbana de esgoto 0,56 %.

## Características das Obras de Captação



No município de Porteiras, foram identificados nove pontos d'água; destes, dois possuem profundidades igual a 70,00m; três poços variam de 80,00 a 100,00m e quatro têm profundidade superior a 100,00m (Figura 3.30).

Figura 3.30 - Intervalo de profundidade dos poços de Porteiras.

## Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Porteiras

A Figura 3.31 mostra o intervalo de vazão de nove poços identificados no município de Porteiras, onde quatro variam de 1,00 a 10,00m<sup>3</sup>/h; quatro estão entre 10,00 e 30,00m<sup>3</sup>/h e um poço tem vazão acima 40,00m<sup>3</sup>/h.

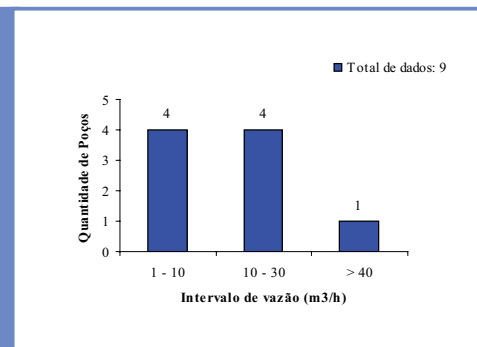


Figura 3.31 - Intervalo de vazão dos poços de Porteiras.

Na Figura 3.32 pode ser visto o intervalo do nível estático em nove poços de Porteiras, onde dois estão no intervalo de 7,00 a 30,00m; quatro entre 30,00 e 60,00m e em três o NE é superior a 60,00m.

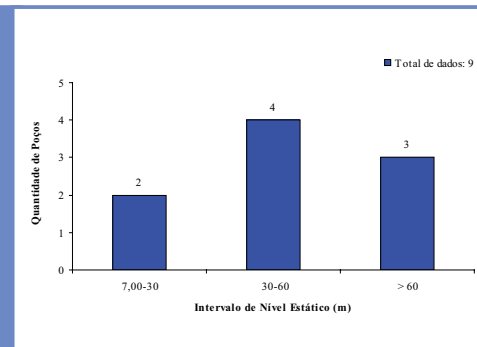


Figura 3.32 - Intervalo de nível estático dos poços de Porteiras.

O intervalo do nível dinâmico em nove poços pode ser observado na Figura 3.33, destes, um tem nível dinâmico entre 10,00 e 30,00m; quatro entre 30,00 e 60,00m; em outro quatro o ND está acima de 60,00m.

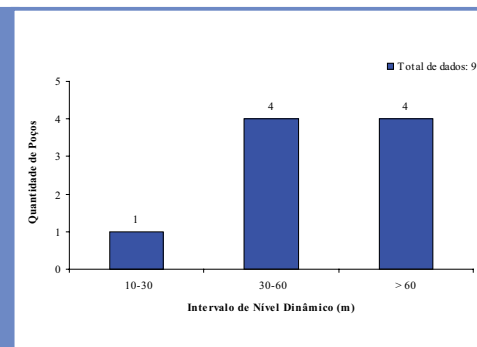


Figura 3.33 - Intervalo de nível dinâmico dos poços de Porteiras.

## Abaiara

### Localização

O município de Abaiara compreende uma área total de 179,91 Km<sup>2</sup>, com população estimada em 16.227 habitantes durante o período de 2007/2008, estando a maioria concentrada na zona rural (6.089 habitantes). A temperatura varia de 24°C a 26°C e a média de pluviosidade é de 668,6mm por ano. A taxa de cobertura d'água urbana é de 83,84%, sem registro da taxa de cobertura urbana de esgoto (%).

### Características das Obras de Captação

No município de Abaiara foram identificados três poços. A profundidade desses poços é superior a 100,00m.

### Características Dinâmicas das Águas Subterrâneas em Abaiara

Com relação à vazão, os três poços possuem valores acima de 50,00m<sup>3</sup>/h; o nível estático para um poço é de 10,00m; dois poços apresentam NE que varia de 10,00 a 20,00m. Enquanto que, para o nível dinâmico, os níveis dinâmicos estão acima de 30,00m.

## Discussões

De um total de 1.597 poços apresentados nesse relatório, 1437 foram cadastrados em 2001 pela COGERH e 159 foram pesquisados no SIAGAS. As informações referem-se aos dados de profundidade, níveis estáticos, níveis dinâmicos e vazão. Os municípios com maior número de poços são Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha com valores totais de 763, 436 e 306, respectivamente. Do total analisado, 79,43% dos poços têm profundidade superior a 50,00m, estando o poço mais profundo localizado no município

de Juazeiro do Norte com 350,00m. Considerando as características dinâmicas das obras de captação, no que se refere aos aspectos hidrodinâmicos dos poços tubulares, tem-se que 51,78% dos 842 poços com informações de vazão são iguais ou superiores a 10,00m<sup>3</sup>/h, sendo que 11,24% apresentaram vazão acima de 50,00m<sup>3</sup>/h. Quanto ao nível estático na região analisada do vale do Cariri, foram identificadas variações de 0,30 a 143,00m, com nível dinâmico variando de 4,50 a 135,00m.

# Caracterização Hidrogeológica

## Levantamento Planialtimétrico

Em campo foram realizados levantamentos de cotas geodésicas em 214 poços, medidas de níveis estáticos e altura de boca, de forma não sistemática, distribuídos espacialmente para se obter resultados eficientes da carga hidráulica, da direção e sentido de fluxo, essenciais para o aprofundamento do conhecimento da área em estudo.

No levantamento foram utilizadas técnicas de precisão, utilizando GPS diferencial - DGPS (*Differential Global Positioning System*) e nível de precisão, a partir dos marcos de referência de nível do IBGE localizados na região. Os dados obtidos serviram para construir mapas potenciométricos e de fluxo. A Tabela 4.1 apresenta o resultado do nivelamento dos poços, Número de Ordem, coordenadas UTM's e parâmetros hidráulicos.

Tabela 4.1		Resultado do levantamento planialtimétrico dos poços na região de estudo.			
Nº de Ordem	Município	UTM_N	UTM_E	Cota (m)	DATA
1	Abaiara	9187763	494327	409,54	09/01/08
2	Abaiara	9186928	493044	437,51	09/01/08
3	Abaiara	9186055	494132	437,05	10/01/08
4	Abaiara	9182206	497052	432,91	10/01/08
5	Abaiara	9181165	497439	432,73	10/01/08
6	Abaiara	9184933	497209	393,63	28/12/07
7	Abaiara	9186944	496968	387,76	10/01/08
8	Abaiara	9183069	495173	423,56	09/01/08
9	Abaiara	9186938	496970	401,03	28/12/07
10	Abaiara	9183219	498365	412,01	28/12/07
11	Abaiara	9197082	490374	377,59	09/01/08
12	Abaiara	9186939	495074	402,00	28/12/07
13	Abaiara	9189127	501451	375,00	09/01/08
14	Abaiara	9193385	496213	413,00	28/12/07
15	Abaiara	9187148	495034	406,00	09/01/08
16	Aurora	9211522	484000	329,17	28/08/08
17	B. Santo	9172402	499942	403,37	03/09/08
18	B. Santo	9172859	498957	424,63	14/01/08
19	B. Santo	9172654	501036	401,52	28/12/07
20	B. Santo	9164973	498465	436,00	28/12/07
21	B. Santo	9176506	506418	382,59	28/12/07
22	B. Santo	9175297	510414	375,40	25/01/08
23	B. Santo	9171286	510745	381,06	28/12/07
24	B. Santo	9166318	496232	434,51	28/12/07
25	B. Santo	9179234	499231	407,90	28/12/07
26	B. Santo	9178088	502080	392,20	28/12/07
27	B. Santo	9171826	501566	381,47	25/01/08
28	B. Santo	9171927	501339	394,55	05/12/07
29	B. Santo	9175888	503330	381,51	25/01/08
30	B. Santo	9175876	504952	371,53	25/01/08

Continua...

Continuação...

Tabela 4.1					
Resultado do levantamento planialtimétrico dos poços na região de estudo.					
Nº de Ordem	Município	UTM_N	UTM_E	Cota (m)	DATA
31	B. Santo	9172036	502368	382,72	25/01/08
32	B. Santo	9174940	507598	384,79	25/01/08
33	B. Santo	9167943	516594	389,00	05/12/07
34	B. Santo	9169226	517707	377,00	05/12/07
35	B. Santo	9165843	517661	371,84	25/01/08
36	B. Santo	9166277	516050	371,34	25/01/08
37	B. Santo	9165415	515276	375,16	25/01/08
38	B. Santo	9164076	512880	383,40	25/01/08
39	B. Santo	9162543	512236	380,19	25/01/08
40	B. Santo	9163936	509740	405,57	25/01/08
41	B. Santo	9172032	506176	386,49	05/12/07
42	B. Santo	9172580	499875	402,47	14/01/08
43	Barbalha	9191432	466729	411,21	04/12/07
44	Barbalha	9192316	466805	401,09	04/12/07
45	Barbalha	9193629	470349	384,99	04/12/07
46	Barbalha	9192742	461613	453,30	04/12/07
47	Barbalha	9192891	460527	457,16	07/12/07
48	Barbalha	9196095	470898	433,10	04/12/07
49	Barbalha	9193694	465486	415,50	04/12/07
50	Barbalha	9190971	471591	402,32	28/08/08
51	Barbalha	9192323	464385	407,98	28/08/08
52	Barbalha	9192275	473167	409,85	28/08/08
53	Barbalha	9195677	467988	405,73	28/08/08
54	Barbalha	9188844	459719	471,00	04/12/07
55	Barbalha	9191132	462078	430,91	04/12/07
56	Barbalha	9192891	460527	457,16	07/12/07
57	Barbalha	9190692	461326	448,28	07/12/07
58	Barbalha	9193548	465175	427,53	04/12/07
59	Barbalha	9193755	465895	403,49	04/12/07
60	Barbalha	9191770	465591	401,77	04/12/07
61	Barbalha	9193817	470215	383,82	27/08/08
62	Crato	9196467	458093	464,71	06/11/07
63	Crato	9198155	457980	483,92	06/11/07
64	Crato	9200139	454080	432,76	07/11/07
65	Crato	9200950	457576	412,63	07/11/07
66	Crato	9200863	459034	440,97	07/11/07
67	Crato	9209385	455075	431,47	26/08/08
68	Crato	9198034	452140	536,51	26/08/08
69	Crato	9200638	459349	433,54	26/08/08
70	Crato	9201159	464170	446,30	06/12/07
71	Crato	9201895	458741	418,62	06/12/07
72	Crato	9198021	456125	460,83	07/12/07
73	Crato	9201120	459220	432,96	07/11/07
74	Crato	9201453	456942	407,56	07/11/07
75	Crato	9196028	457485	506,27	06/11/07
76	Crato	9201587	452448	435,37	07/11/07
77	Crato	9202321	451514	472,99	08/11/07
78	Crato	9198832	450927	572,09	08/11/07
79	Crato	9200445	456313	411,09	06/11/07
80	Crato	9201607	460038	392,44	07/11/07

Continua...

Continuação...

Tabela 4.1					
Resultado do levantamento planialtimétrico dos poços na região de estudo.					
Nº de Ordem	Município	UTM_N	UTM_E	Cota (m)	DATA
81	Crato	9199704	455539	418,24	06/11/07
82	Crato	9201835	456234	408,01	07/12/07
83	Crato	9201195	456359	424,72	06/11/07
84	Crato	9200340	454877	427,99	06/11/07
85	Crato	9200928	455772	423,45	06/11/07
86	Crato	9200514	458564	449,39	06/12/07
87	Crato	9201895	458741	402,91	06/12/07
88	Crato	9202250	459613	394,36	07/11/07
89	Crato	9200566	455582	435,26	07/11/07
90	Crato	9197435	452544	595,88	07/11/07
91	Crato	9196639	458693	439,71	09/11/07
92	Crato	9199989	454458	430,00	26/08/08
93	Crato	9197542	461219	448,83	26/08/08
94	J.Norte	9202612	465414	408,84	21/12/07
95	J.Norte	9199110	465190	396,30	20/12/07
96	J.Norte	9204444	467403	338,19	08/12/07
97	J.Norte	9202352	467249	363,96	08/12/07
98	J.Norte	9200777	464414	448,00	09/09/08
99	J.Norte	9200380	466956	387,51	08/12/07
100	J.Norte	9199123	466009	406,29	08/12/07
101	J.Norte	9203198	464815	413,23	20/12/07
102	J.Norte	9201700	465421	381,07	08/12/07
103	J.Norte	9201019	461015	384,07	08/12/07
104	J.Norte	9201182	463216	420,50	20/12/07
105	J.Norte	9201315	463721	422,11	20/12/07
106	J.Norte	9201365	463577	418,27	20/12/07
107	J.Norte	9200266	464260	454,14	20/12/07
108	J.Norte	9199422	466613	444,16	20/12/07
109	J.Norte	9199279	468460	411,99	20/12/07
110	J.Norte	9200778	464667	462,36	21/12/07
111	J.Norte	9205875	470413	360,00	21/12/07
112	J.Norte	9204869	465199	372,62	21/12/07
113	J.Norte	9209029	469863	363,98	08/12/07
114	J.Norte	9210889	464708	397,89	08/12/07
115	J.Norte	9204030	466881	383,59	21/12/07
116	J.Norte	9200809	467819	378,67	08/12/07
117	J.Norte	9201034	466034	351,65	08/12/07
118	J.Norte	9201247	466244	350,00	08/12/07
119	J.Norte	9199123	466095	406,29	08/12/07
120	J.Norte	9199238	464949	370,89	08/12/07
121	J.Norte	9198667	462776	432,68	08/12/07
122	J.Norte	9201130	463009	424,53	20/12/07
123	J.Norte	9201561	467462	412,50	21/12/07
124	J.Norte	9202447	470147	405,98	21/12/07
125	J.Norte	9206529	469923	379,03	21/12/07
126	J.Norte	9201152	464453	444,61	26/08/08
127	M. Velha	9187099	481179	453,74	30/08/08
128	M. Velha	9198222	484086	356,64	05/12/07
129	M. Velha	9198273	483915	365,53	05/12/07
130	M. Velha	9198794	482519	367,83	05/12/07

Continua...

Continuação...

Tabela 4.1 Resultado do levantamento planialtimétrico dos poços na região de estudo.					
Nº de Ordem	Município	UTM_N	UTM_E	Cota (m)	DATA
131	M. Velha	9196208	482044	377,00	05/12/07
132	M. Velha	9189687	483565	404,04	05/12/07
133	M. Velha	9191207	478577	386,02	05/12/07
134	M. Velha	9185783	477013	443,97	05/12/07
135	M. Velha	9202884	483414	375,00	30/08/08
136	M. Velha	9206206	479480	359,00	30/08/08
137	M. Velha	9198429	484706	390,00	30/08/08
138	M. Velha	9198642	484916	391,00	30/08/08
139	M. Velha	9198781	482443	395,00	05/12/07
140	M. Velha	9198231	482024	384,00	05/12/07
141	M. Velha	9198231	482024	401,00	05/12/07
142	M. Velha	9193336	480005	383,36	09/01/08
143	M. Velha	9196522	480737	360,55	09/01/08
144	M. Velha	9198985	482030	384,86	09/01/08
145	M. Velha	9204584	489437	346,61	09/01/08
146	M. Velha	9205594	490314	360,10	09/01/08
147	M. Velha	9203695	488567	328,19	09/01/08
148	M. Velha	9199194	476958	355,17	09/01/08
149	M. Velha	9187245	476399	429,00	05/12/07
150	M. Velha	9186669	476604	453,00	29/08/08
151	M. Velha	9186451	475894	439,00	29/08/08
152	M. Velha	9186327	476209	450,00	05/12/07
153	M. Velha	9186226	476490	439,00	05/12/07
154	M. Velha	9186956	477472	473,00	05/12/07
155	M. Velha	9187425	474992	453,00	29/08/08
156	M. Velha	9187830	475314	434,35	29/08/08
157	M. Velha	9194422	482795	380,07	05/12/07
158	M. Velha	9189223	477380	405,86	05/12/07
159	M. Velha	9202773	483576	346,66	29/08/08
160	M. Velha	9203553	483854	360,67	29/08/08
161	M. Velha	9197206	490026	363,48	09/01/08
162	Mauriti	9178032	524773	376,29	04/09/08
163	Mauriti	9190515	519436	370,00	04/09/08
164	Mauriti	9187689	532730	395,00	04/09/08
165	Mauriti	9192291	521463	381,22	09/05/08
166	Mauriti	9176271	519164	370,00	09/05/08
167	Mauriti	9175144	521848	364,25	09/04/08
168	Mauriti	9179619	515751	355,00	09/05/08
169	Mauriti	9176508	516338	357,00	04/09/08
170	Mauriti	9192857	520517	376,00	04/09/08
171	Mauriti	9187809	536342	404,46	04/09/08
172	Mauriti	9189135	527405	385,17	04/09/08
173	Mauriti	9186319	532625	386,44	09/05/08
174	Mauriti	9188043	519768	382,00	09/05/08
175	Mauriti	9192076	522256	392,98	09/05/08
176	Mauriti	9185375	531715	389,19	04/09/08
177	Mauriti	9180096	526541	378,57	09/04/08
178	Mauriti	9192572	539571	426,00	09/04/08
179	Mauriti	9182729	527435	369,70	04/09/08
180	Mauriti	9189595	538607	412,07	04/09/08

Continua...

Continuação...

Tabela 4.1 Resultado do levantamento planialtimétrico dos poços na região de estudo.					
Nº de Ordem	Município	UTM_N	UTM_E	Cota (m)	DATA
181	Mauriti	9191321	526955	386,90	09/05/08
182	Mauriti	9190803	522862	376,21	09/05/08
183	Mauriti	9180380	520989	357,21	09/05/08
184	Milagres	9191842	505947	336,87	03/09/08
185	Milagres	9183115	495211	429,98	09/03/08
186	Milagres	9191849	505936	357,00	09/03/08
187	Milagres	9192129	506687	343,64	09/03/08
188	Milagres	9192204	503862	336,54	09/03/08
189	Milagres	9192856	520524	375,76	09/03/08
190	Milagres	9192372	507543	373,57	04/12/07
191	Milagres	9195536	502278	368,80	04/12/07
192	Milagres	9195960	492230	384,10	04/12/07
193	Milagres	9183037	506940	378,54	04/12/07
194	Milagres	9181117	507427	380,45	04/12/07
195	Milagres	9198621	499450	368,80	09/03/08
196	Milagres	9199542	502122	364,10	09/03/08
197	Milagres	9188039	519774	376,33	09/03/08
198	Milagres	9186990	505929	383,32	03/09/08
199	Porteiras	9166379	493884	456,74	29/01/08
200	Porteiras	9165698	494012	479,66	28/12/07
201	Porteiras	9163232	490100	466,59	28/12/07
202	Porteiras	9167868	492410	484,34	29/01/08
203	Porteiras	9165569	488481	482,00	28/12/07
204	Porteiras	9163747	489711	472,00	28/12/07
205	Porteiras	9163576	489525	475,07	29/01/08
206	Porteiras	9164885	488918	478,00	28/12/07
207	Porteiras	9163612	488891	475,14	29/01/08
208	Porteiras	9161850	486693	507,40	29/01/08
209	Porteiras	9165847	496553	418,35	28/12/07
210	Porteiras	9166435	496412	441,20	28/12/07
211	Porteiras	9164504	496804	442,78	28/12/07
212	Porteiras	9168799	492028	484,77	29/01/08
213	Porteiras	9166834	491482	520,83	29/01/08
214	Porteiras	9169054	488792	543,40	29/01/08



## Modelo Digital do Terreno

Os modelos numéricos de terreno são utilizados como representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Normalmente são associados à altimetria (modelos em três dimensões), mas também podem ser utilizados para modelar informações relativas a unidades geológicas e propriedades de solo e subsolo. A criação de modelos matemáticos de uma superfície consiste no agrupamento de amostras (x, y, z) que descrevem uma superfície real (CÂMARA E MEDEIROS, 1998).

No levantamento foram utilizadas técnicas de precisão, utilizando GPS diferencial - DGPS (*Differential Global Positioning System*) e nível de precisão, a partir dos marcos de referência de nível do IBGE localizados na região. Utilizou-se o equipamento LEICA CS900, com pós-processamento - *software* LEICA GEO Office 5.0 e o *software* MAPGEO 2004 produzido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) como modelo geoidal de definição da cota final do terreno.

Os dados obtidos serviram para construir um modelo numérico do terreno (MDT) referente ao Vale do Cariri, porém a ausência de dados altimétricos na Chapada do Araripe e nas bordas do vale provocaram um desnível tendencioso para as extremidades do vale, influenciando, significativamente, na qualidade do modelo de fluxo superficial da região.

O presente texto tem como objetivo a utilização do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission Data*) e do sistema de informação geográfica (SIG) aplicados a metodologias de destaque de informações topográficas visando à compreensão da morfologia da área de estudos. (Figura 4.2)

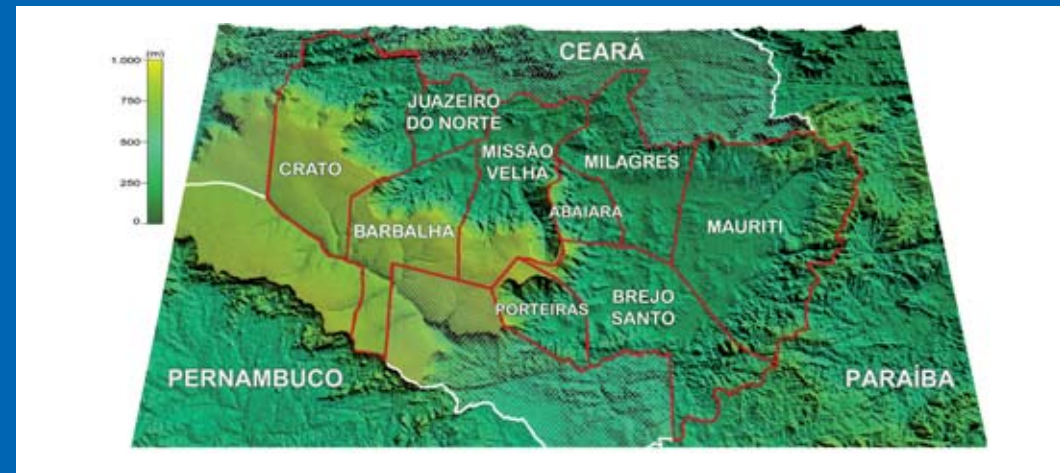


Figura 4.2- Modelo Digital do Terreno, com destaque na região de estudo.

O dado SRTM pode ser considerado a melhor informação topográfica em grande parte do nosso território. Porém, por se tratar de um dado de banda C, o MDE gerado não é fiel à topografia, pois sofre influências diversas, como a vegetação em áreas florestadas e estruturas verticais de engenharia em centro urbanos.

O modelo foi avaliado utilizando-se os pontos de referência obtidos nos levantamentos geodésicos realizados. A análise apresentou adequada uniformidade com os dados centrais ao vale, com acréscimos de valores nos pontos extremos, assim apresentando resultados mais coesos para os fluxos superficiais, que convergem, predominantemente, para as regiões centrais do vale, conforme Figura 4.3.

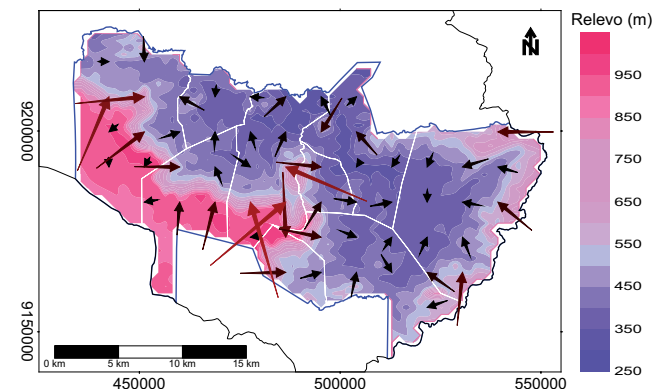


Figura 4.3 - Fluxo d'água superficial

## Monitoramento Quantitativo Manual Regional

O monitoramento teve como objetivo o levantamento trimestral de dados, porém não de forma sistemática, visando conhecer o comportamento do nível estático e da carga hidráulica regionalmente. Na Figura 4.4 visualiza-se a distribuição espacial dos poços amostrados considerando grábens e horsts, que são estruturas geológicas causadas por falhas geológicas normais onde houve deslocamento vertical em que um bloco de terra desce (gráben) enquanto que o outro sobe (horst). Foram realizadas sete campanhas de monitoramento potenciométrico da seguinte forma: na primeira etapa, realizada em dezembro de 2007, foram medidos 139 poços; na segunda, em 2008 as medidas foram feitas nos meses de maio, julho e dezembro em 117, 155 e 214 poços, respectivamente; em 2009 as medidas ocorreram em abril, julho, outubro e dezembro, assim distribuídos, 151, 160, 81 e 164 poços seguindo a seqüência, conforme Anexo 02.

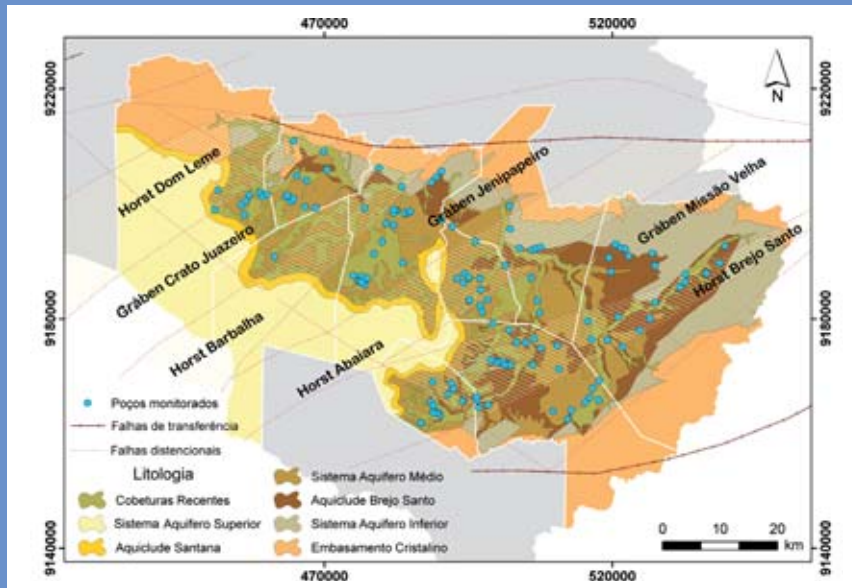


Figura 4.4 - Distribuição dos poços do monitoramento regional.

## Fluxo Subterrâneo Regional

O fluxo subterrâneo regional pode ser representado por uma rede resultante da solução da equação de Laplace que expressa o fluxo em estado estacionário e que é resolvida para diferentes condições de contorno. As várias soluções irão representar as diferentes condições de condutividade hidráulica e geometria do aquífero. Funções de potencial hidráulico são soluções para um modelo do sistema aquífero. Neste procedimento, uma das questões mais críticas nas condições de contorno é a forma da superfície hidrostática ou da superfície potenciométrica (FETTER, 2001).

Quando se utiliza o procedimento geoestatístico de interpolação, as isolinhas de potenciais são traçadas a partir de medidas diretas nos poços, e, neste caso, as diferenças de condutividade hidráulica e de geometria do sistema aquífero deverão ser apresentadas no traçado das isolinhas resultante do processo de interpolação.

## Mapas Potenciométricos

O fluxo é o resultado da diferença da carga hidráulica entre dois pontos, ou seja, o sentido do fluxo ocorre da maior para menor carga. Esse estudo possibilita identificar as áreas de recarga e descarga, localização de poços a serem perfurados, no caso de o meio ser isotrópico, além de guiar as possíveis áreas onde podem estar acontecendo contaminação, pois define o caminho da água no aquífero.

A determinação da carga e do gradiente hidráulica é importante, pois auxilia no cálculo do balanço hídrico e nos estudos de ordem ambiental, pois permite conhecer a direção e o sentido do fluxo. Com base no levantamento de cota dos poços, medidas das alturas de boca e do monitoramento dos níveis estáticos foram elaborados mapas potenciométricos com a finalidade de se obter a variação da carga hidráulica de forma temporal e espacial, que é uma forma de visualização geral do comportamento da água subterrânea em épocas diferentes. Os mapas potenciométricos foram produzidos através do método de interpolação por krigagem linear utilizando-se o *software Surfer v.8.0*.

As Figuras 4.5 até a 4.12 apresentam os comportamentos das superfícies potenciométricas e do fluxo na área do Sistema Aquífero Médio, e as Figuras 4.13 a 4.17 representam o comportamento hidráulico do Sistema Aquífero Inferior (Brejo Santo e Mauriti).

Decidiu-se separar o Sistema Aquífero Médio do Inferior por ser hidráulicamente diferenciado, o primeiro é predominantemente livre enquanto que o segundo é confinado e silicificado na sua maior parte.

No Aquífero Médio, o fluxo em geral é de S-SW para N-NE, embora haja separação estrutural dos blocos, as linhas de fluxo indicam conectividade hidráulica. A maior parcela da recarga é direta da chuva, com contribuição das fontes que se encontram no sopé da chapada. As confluências de fluxos foram bem determinadas nas porções dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Milagres, Brejo Santo e Crato, indicando as áreas com maior potencial de exploração; com exceção do mês de dezembro de 2007, todos os outros períodos observados apresentaram uma zona de divergência no município de Barbalha.

O gradiente hidráulico apresentou variações em todas as etapas do monitoramento, o mês em que houve maior diferença foi o de outubro de 2009, ficando o valor máximo em 0,041 e o mínimo  $5,3 \times 10^{-5}$ . Os maiores gradientes ocorrem próximo à borda da chapada causados pela influência do relevo e os menores nas áreas mais planas.

As medidas no Aquífero Inferior (Mauriti) foram realizadas nos meses de maio e julho de 2008 e em abril, julho e dezembro de 2009. Comentado anteriormente, o Sistema Aquífero Inferior tem comportamento diferente do Sistema Aquífero Médio, dessa forma, o fluxo tem sentido preferencial NE – SW, ocorrendo pequenas variações de sentido dentro do contexto geral da área de estudo.

Os gradientes hidráulicos verificados nesse sistema aquífero variaram de 0,014, valor máximo observado em julho de 2008, e  $9,3 \times 10^{-5}$ , valor mínimo observado em dezembro de 2009.

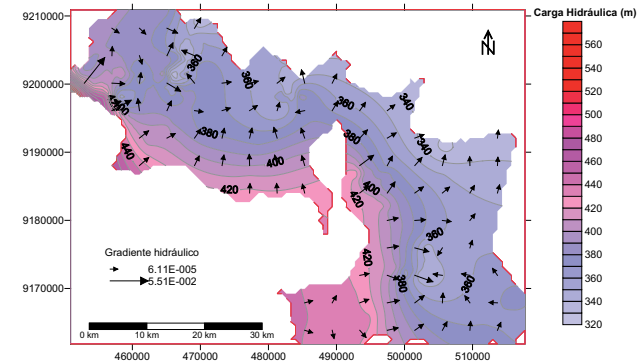


Figura 4.5 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em dezembro de 2007.

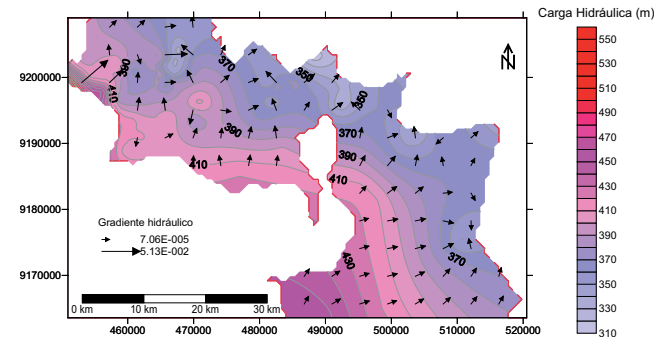


Figura 4.6 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em maio de 2008.

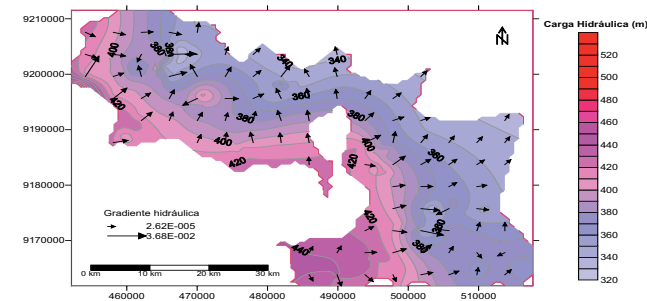


Figura 4.7 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em julho de 2008.

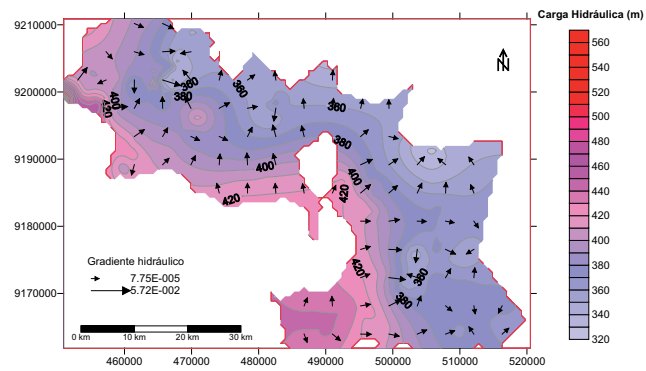


Figura 4.8 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em dezembro de 2008.

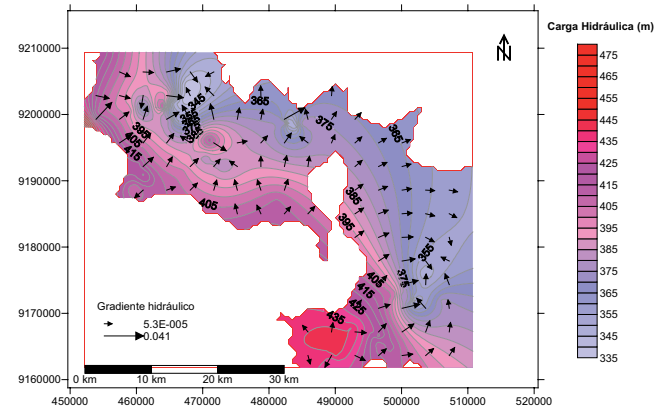


Figura 4.11 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em outubro de 2009.

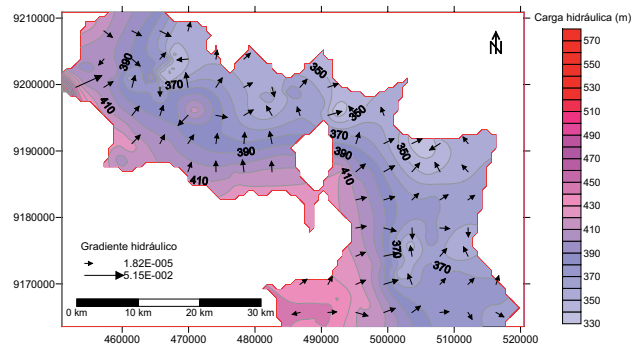


Figura 4.9 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em abril de 2009.

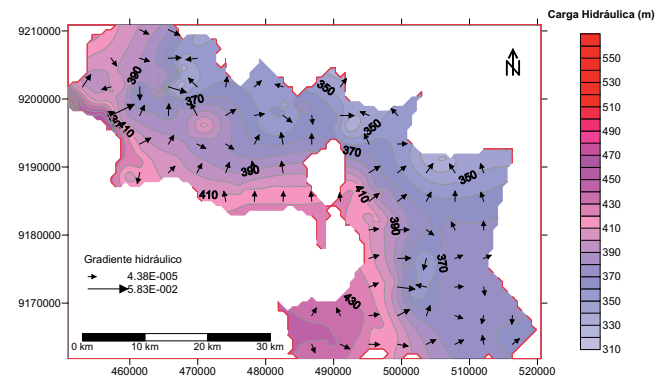


Figura 4.12 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em dezembro de 2009.

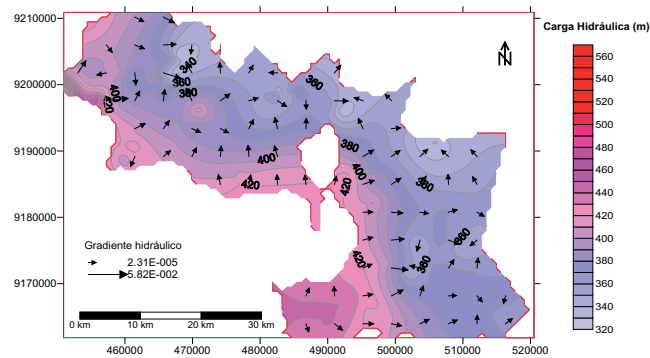


Figura 4.10 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero médio em julho de 2009.

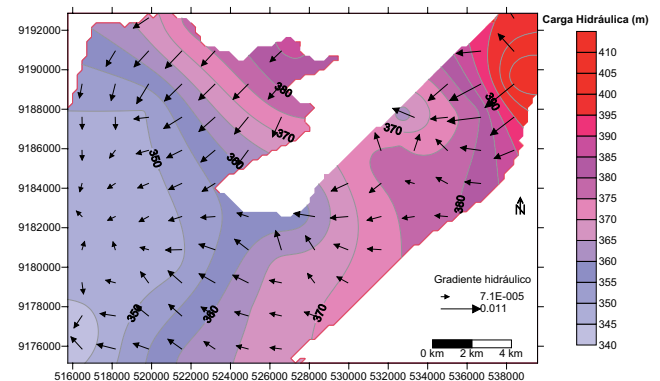


Figura 4.13 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero mauriti em maio de 2008.

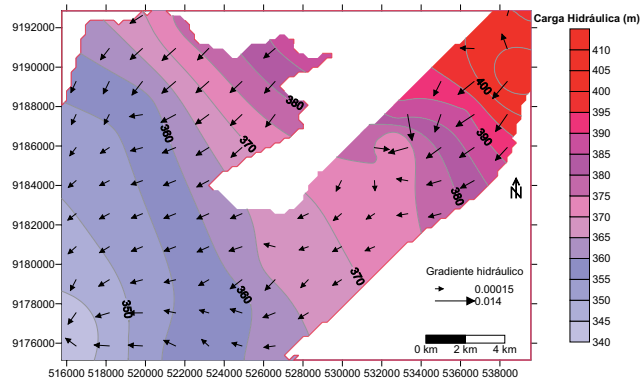


Figura 4.14 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero mauriti em julho de 2008.

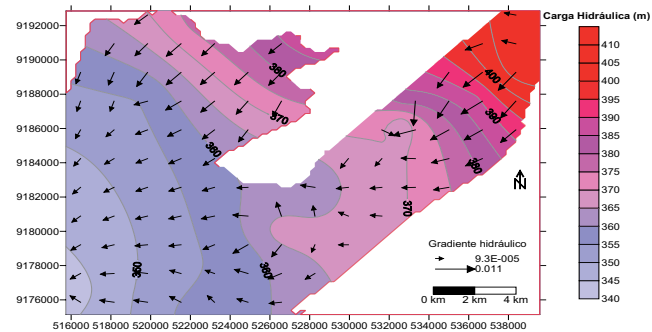


Figura 4.17 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero mauriti em dezembro de 2009.

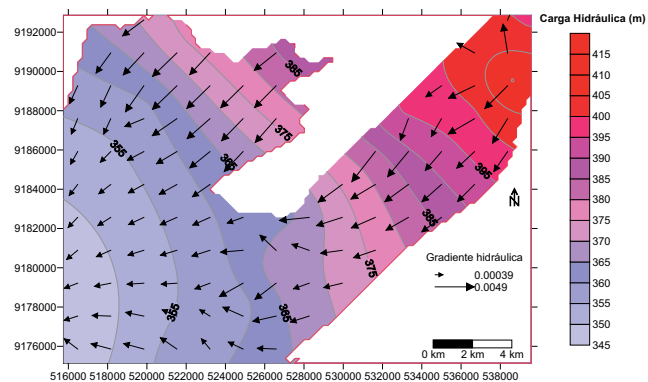


Figura 4.15 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero mauriti em abril de 2009.

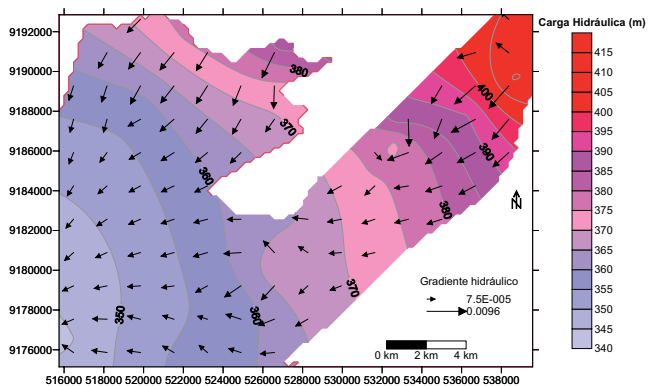
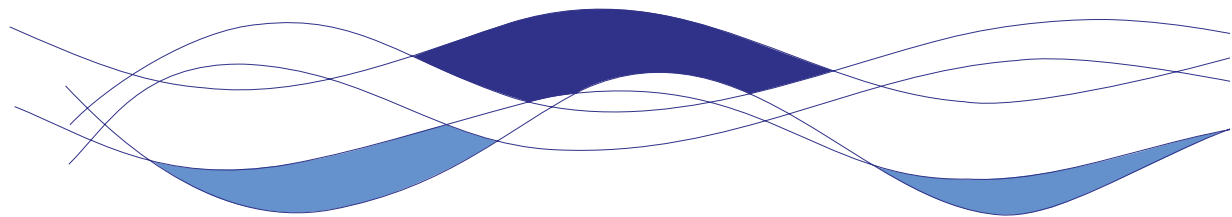


Figura 4.16 - Representação da carga e do gradiente hidráulico do aquífero mauriti em julho de 2009.

## Discussões do Monitoramento Quantitativo Manual Regional

De forma geral, o aquífero médio e inferior apresentou pequenas variações de carga e gradiente hidráulico durante todas as etapas do monitoramento. Observou-se que existe individualização no contexto

hidráulico entre os sistemas aquífero médio e o inferior. Explicado pelo fato do sistema aquífero inferior ser fissural e apresentar características de confinamento.



## Monitoramento Quantitativo Manual Mensal

O monitoramento é um instrumento importante para avaliação do estado atual do aquífero, auxilia nas decisões relativas à exploração, desenvolvimento e gerenciamento das águas subterrâneas. É feito através da medição sistemática dos níveis estáticos (NE) em poços, adequadamente espacializados, fornecendo informações importantes da dinâmica do aquífero, vindo a refletir na variação da recarga ou descarga como subsídio para avaliar, através de séries históricas, as mudanças ocasionadas por efeitos naturais ou efeitos antrópicos.

Tem como objetivo desenvolver o conhecimento para uma gestão coordenada e participativa com intuito de promover a proteção e o aproveitamento sustentável de todo um sistema aquífero. A COGERH monitora manualmente, na região do Cariri, 180 poços, sendo 40 mensalmente e 140 poços trimestralmente, utilizados na indústria, irrigação e, em sua grande maioria, para o abastecimento humano. Essa atividade é realizada pelos técnicos da Gerencia Regional do Cariri, situada no município de Crato. Os aquíferos monitorados através desses poços são: o Sistema Aquífero Médio constituído pelas formações Rio da Batateira, Missão Velha e Abaiara e o Sistema Aquífero Inferior representado pelo Aquíclude Brejo Santo e Aquífero Mauriti e que por sua vez está em contato com o embasamento cristalino. A Tabela 4.2 apresenta as características principais dos poços monitorados mensalmente e, em seguida, as discussões relativas ao monitoramento.

Tabela 4.2		Dados técnicos construtivos dos poços monitorados mensalmente							
No Poços	Poço	UTM_N	UTM_E	AB (m)	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Sw (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)
Pt 01	St. Santana	9190971	471591	0,74	80,00				
Pt 02	Barro Vermelho/ Baixa	9192891	460527	0,16					
Pt 03	Cab. EEE Ana Ramalho	9191132	462078	0,23	92,00				
Pt 04	Bulandeira de Cima	9192323	464385	0,42	88,00				
Pt 05	PSF Barro Verm/ Escola	9192742	461613	0,47	54,00				
Pt 06	Epace Centec	9193629	470349	0,60	20,00		8,71		3,60
Pt 07	St Cerquinha/Usina MCF	9192275	473167	0,51	100,00	15,15	28,50	13,35	
Pt 08	St. Lg.Prox. EEF St. Luzia	9195677	467988	0,18	76,00	18,00	24,00	6,00	
Pt 09	St. Estrela	9196095	470898	0,34					
Pt 10	Bulandeira PSF	9193694	465486	0,39	60,00	29,00	33,00	4,00	8,00
Pt 11	St Correntinho	9188844	459719	0,54	100,00				
Pt 12	Pq de Eventos St. Antonio	9191432	466729	0,73	40,00				
Pt 13	CGC Centro	9192316	466805	0,63					
Pt 14	St. Belo Horizonte	9198040	452135	0,33					
Pt 15	Engenho Brigadeiro	9201791	456276	0,60		6,32			
Pt 16	Baixio do Muquem	9196454	458081	0,53	72,00				
Pt 17	Chapada do Calangio	9198152	457981	0,67	116,00				
Pt 18	Urca Laboratório	9199853	454251	0,40					
Pt 19	St. S. José-Conj. Belas Artes	9200640	459345	0,80					
Pt 20	Pt DERT	9199988	454453	0,53					
Pt 21	Pt SESI	9201195	456359	0,58	62,50	20,00			10,00
Pt 22	Woojim	9200515	458562	0,35	150,00	51,12	53,00	1,88	12,00
Pt 23	Pt Café Itayera	9200950	457576	0,48	80,00				
Pt 24	Secretaria de Agricultura	9200566	455582	0,22					
Pt 25	Posto SP Crato	9200863	459034	0,24					
Pt 26	St. Santa Rosa	9197543	461214	0,43	107,50	43,00	51,36	8,36	11,31
Pt 27	ASFACOM - PSF	9203198	464814	0,77	24,00	19,00	21,00	2,00	4,00
Pt 28	Rodoviária	9201154	464447	0,17					
Pt 29	PSF São José	9201062	461087	0,20					
Pt 30	APUC	9199110	465190	0,31	76,00	9,16	26,21	17,05	18,50
Pt 31	CEFET	9199169	466135	0,55	148,50	53,80	54,70	0,90	6,00
Pt 32	Mercado Pirajá	9201744	465476	0,20					
Pt 33	Cemitério Pq Flores	9202392	467283	0,51					
Pt 34	Vila Carité	9204486	467442	0,28	68,00	0,70	8,56	7,86	80,00/12
Pt 35	PSF Lavanderia - Tiradentes	9200421	466994	0,50					
Pt 36	Rancho Romeiros	9202612	465413	0,31					
Pt 37	Faz. Boca das Cobras	9205713	465822	0,66	80,00	11,70			38,00
Pt 38	Subestação da COELCE	9200863	464408	0,09					
Pt 39	St. Gangorra	9211524	483996	1,34					
Pt 40	St. Canta Galo II	9187085	481186	0,79					

A precipitação pluviométrica da região de estudo está representada nas Figuras 4.18 a 4.26 por município e ano, onde se pode observar a variação da precipitação ao longo dos anos de 2007, 2008 e 2009, sendo o maior índice pluviométrico registrado no ano de 2008.

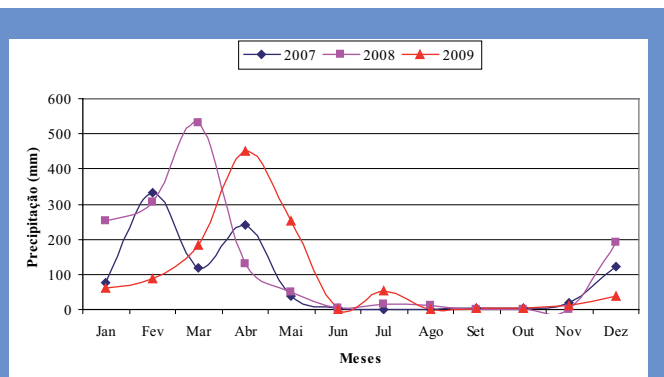


Figura 4.18 - Precipitação pluviométrica do município de Crato para os anos de 2007, 2008 e 2009.

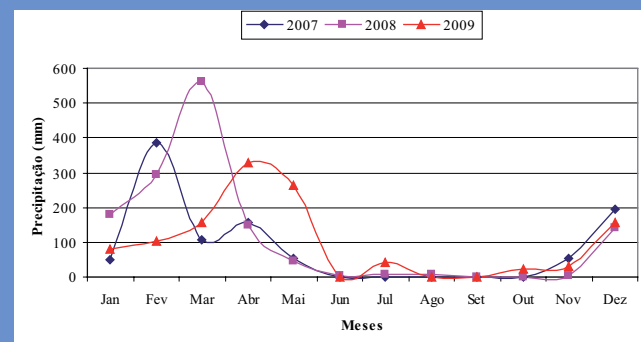


Figura 4.19 - Precipitação pluviométrica do município de Barbalha para os anos de 2007, 2008 e 2009.

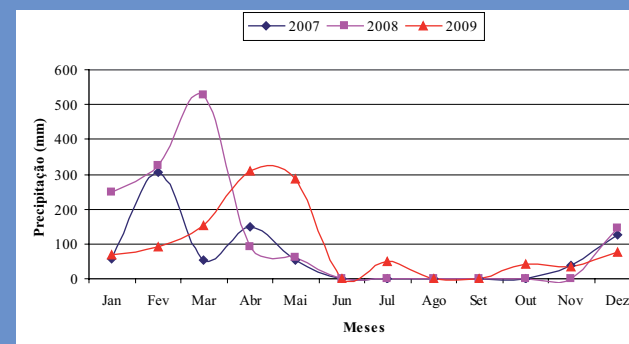


Figura 4.20 - Precipitação pluviométrica do município de Juazeiro do Norte para os anos de 2007, 2008 e 2009.

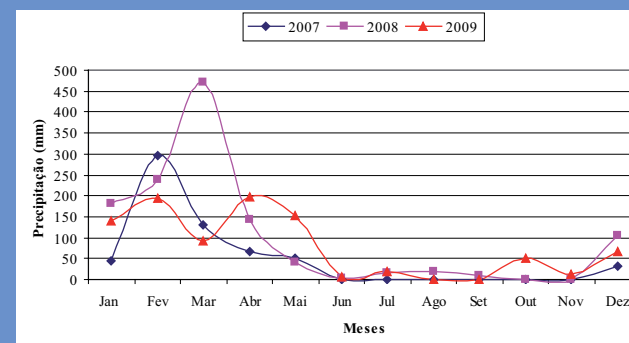


Figura 4.21 - Precipitação pluviométrica do município de Brejo Santo para os anos de 2007, 2008 e 2009.

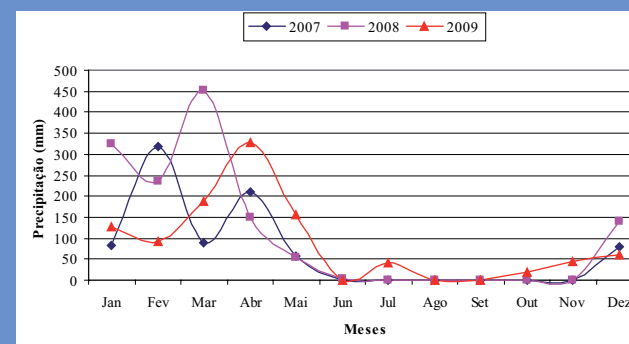


Figura 4.22 - Precipitação pluviométrica do município de Missão Velha para os anos de 2007, 2008 e 2009.

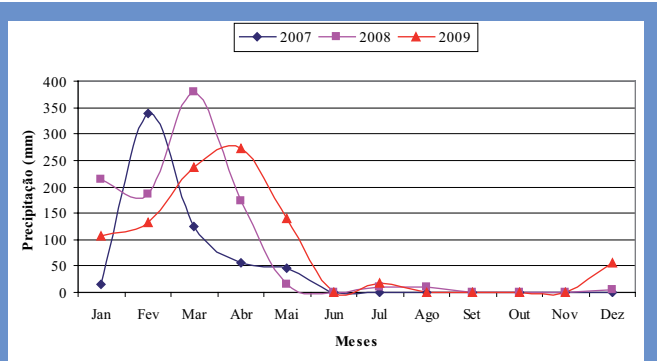


Figura 4.23 - Precipitação pluviométrica do município de Mauriti para os anos de 2007, 2008 e 2009.

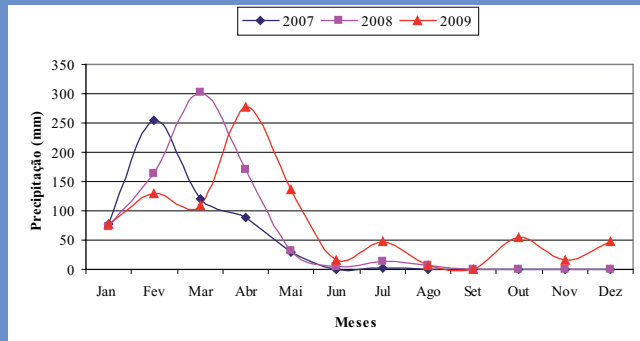


Figura 4.24 - Precipitação pluviométrica do município de Porteiras para os anos de 2007, 2008 e 2009.

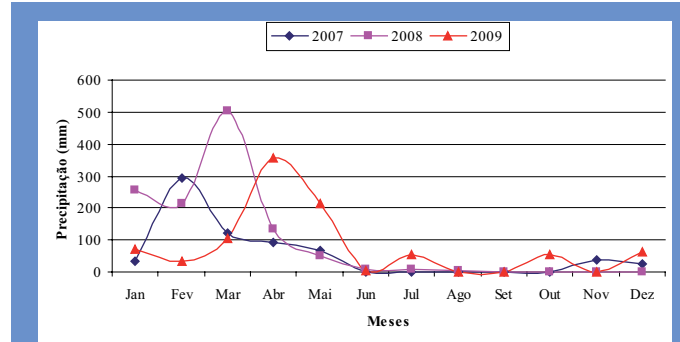


Figura 4.25 - Precipitação pluviométrica do município de Abaiara para os anos de 2007, 2008 e 2009.

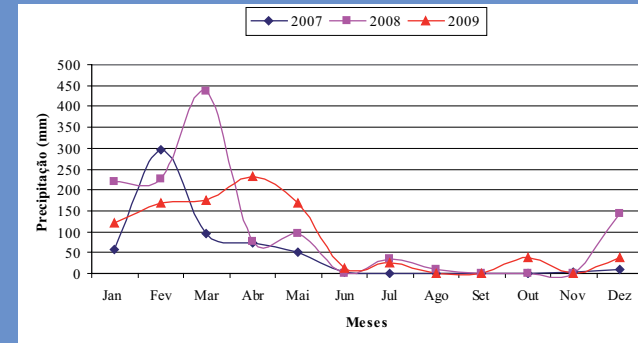


Figura 4.26 - Precipitação pluviométrica do município de Milagres para os anos de 2007, 2008 e 2009.

A Figura 4.27 apresenta a distribuição espacial dos 40 poços monitorados na região do Cariri no estado do Ceará. Em todos os poços, foram instalados tubos guias e medidas as alturas de bocas, dado esse já descontado nas medidas dos níveis estáticos.

Nesta figura nota-se que a concentração dos poços está no Gráben Crato-Juazeiro, onde estão localizadas as cidades de Barbalha, Crato e Juazeiro do Norte que são as mais populosas.

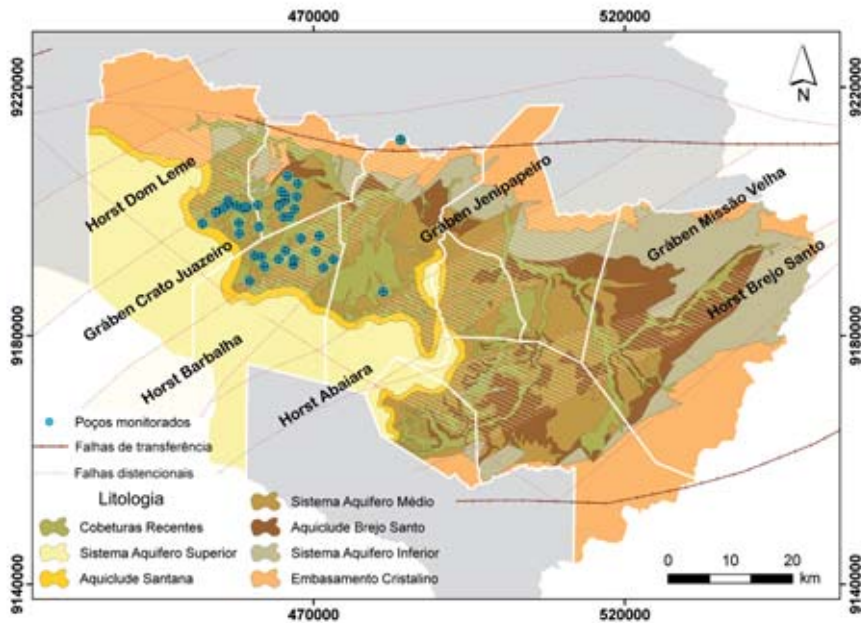


Figura 4.27 - Distribuição espacial dos 40 poços monitorados manualmente e mensalmente.

A seguir será representada a evolução temporal do nível da água dos aquíferos em estudo através da correlação entre os níveis estáticos as precipitações mensais. Em todos os poços foram subtraídas as alturas das bocas para obter os níveis estáticos em relação ao nível do terreno. Estão destacados nos gráficos abaixo os valores de níveis estáticos máximos e mínimos (valores em vermelho) nos 40 poços monitorados mensalmente.

A Figura 4.28 apresentou variação máxima de 0,70 e 0,97m do nível estático (NE) durante as medidas realizadas em 2008 e 2009, respectivamente, para o poço Sítio Santana no município de Barbalha; Observa-se que o maior rebaixamento ocorreu em março de 2009 com valor de 13,21m e, entre os meses de abril e maio de 2009, ocorreu o maior índice de precipitação que elevou o nível da água para 12,24m em apenas dois meses.

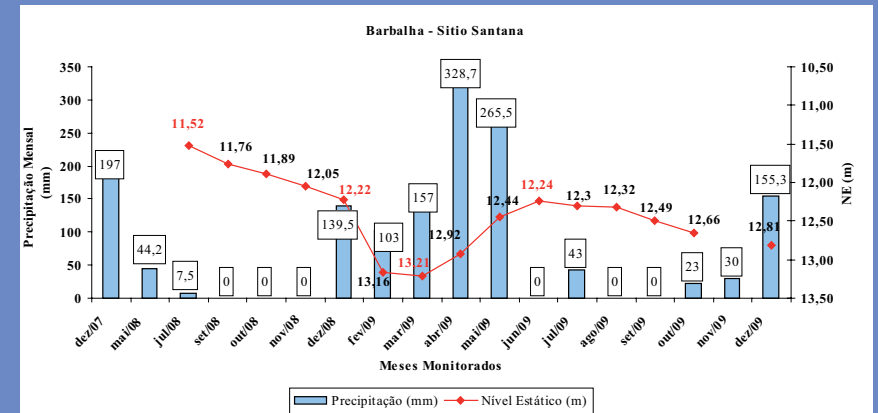


Figura 4.28 - Variação de 0,70m do NE em 2008 e 0,97m em 2009 e maior rebaixamento no mês de março para o poço Sítio Santana em Barbalha.

Na Figura 4.29 podem ser observados os rebaixamentos do nível estático em 0,56 e 0,63m nos anos de 2008 e 2009, respectivamente; observa-se um comportamento semelhante para os dois anos monitorados. O maior rebaixamento é notado no mês de dezembro de 2007, apresentando uma diferença de 7,78m quando comparado a medida de dezembro de 2008, porém no geral é pouco expressiva as variações temporais dos níveis observados.

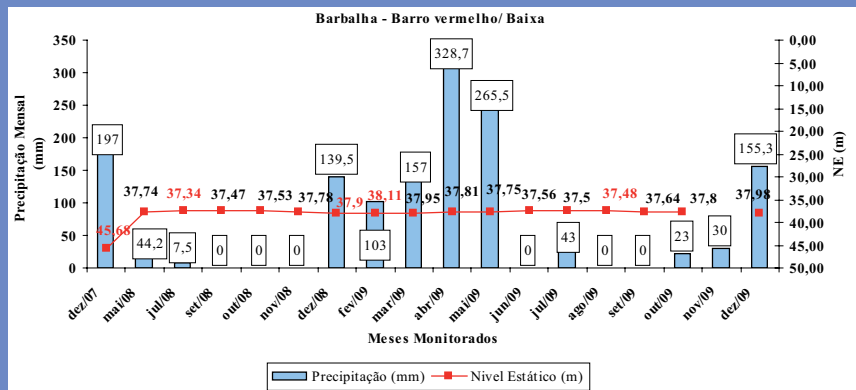


Figura 4.29 - Variação de 0,56m do NE em 2008 e 0,63m em 2009 e maior rebaixamento no mês de dezembro de 2007 no poço Barro Vermelho/Baixa em Barbalha.

Considerando a Figura 4.30, verifica-se que os maiores rebaixamentos ocorreram em dezembro de 2007 e em maio de 2009, porém é presumível que esta medida não seja do nível estático, mas obtida durante a recuperação do nível. Em 2008, devido à ausência de medidas nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, que correspondem ao período chuvoso da região, não foi possível fazer uma avaliação consistente. A partir de julho de 2008, observamos que as medidas de nível apresentam variações pouco expressivas. Em 2009, a recarga foi observada no mês de junho, logo após as maiores precipitações; ocorreu uma variação no nível estático de 2,47m, onde o maior rebaixamento foi em dezembro com 15,14m correspondente ao final do período seco.

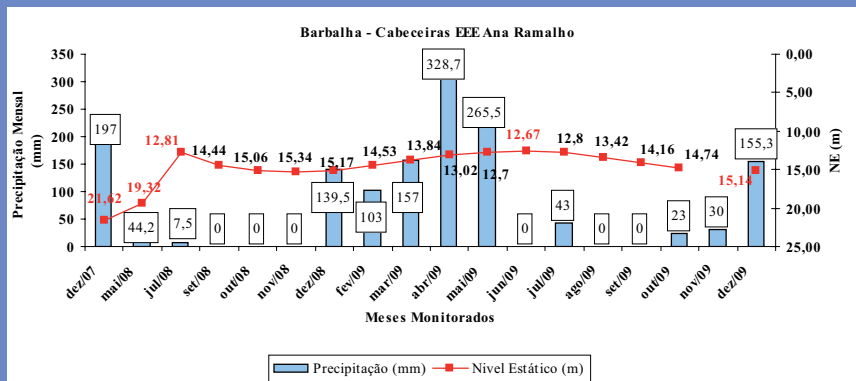


Figura 4.30 - Variação de 2,53m entre os meses de julho e dezembro de 2008 e 2,47 em 2009 com maior rebaixamento no mês de dezembro no poço Cabeceiras EEE Ana Ramalho em Barbalha.

A Figura 4.31 apresenta as variações de nível estático de 1,54 e 1,98m em 2008 e 2009, respectivamente. No ano de 2009, verifica-se que a recarga atinge seu ponto máximo em maio, após os meses mais chuvosos.

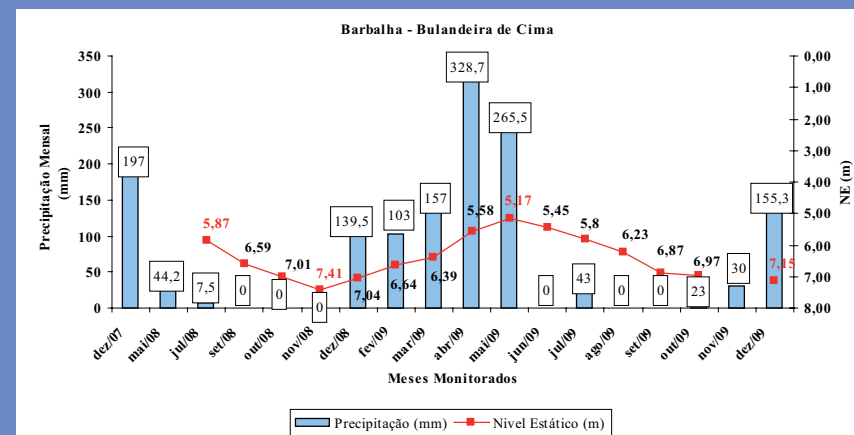


Figura 4.31 - Variação de 1,54m em 2008 com maior rebaixamento em novembro e 1,98m no ano de 2009 para o poço Bulandeira de Cima em Barbalha.

O poço EPACE – CENTEC, Figura 4.32, apresentou oscilação do nível estático de 0,49m em 2008 e de 1,13 m em 2009. Observando o comportamento dos níveis estáticos em 2008 e 2009, pode-se concluir que esta medida, possivelmente, foi obtida durante a recuperação do nível ou quando o nível estático não tenha se recuperado totalmente após o bombeamento.

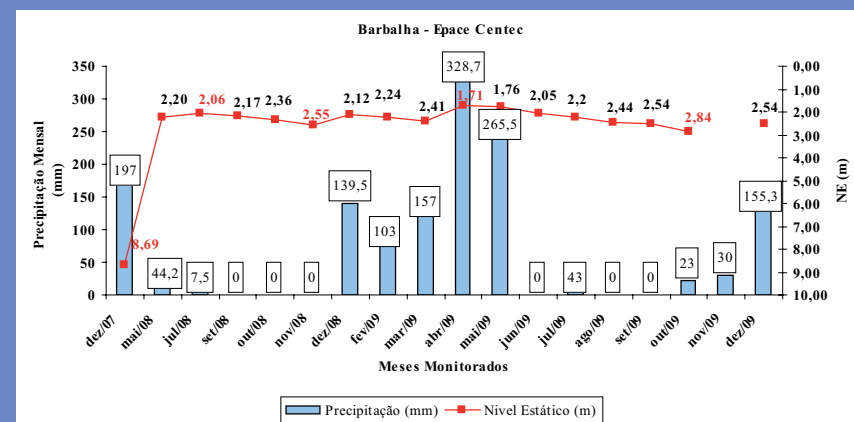


Figura 4.32 - Variação de 0,49m do NE em 2008 e de 1,13m em 2009 no poço EPACE-CENTEC em Barbalha.

O poço Barro Vermelho/Escola, observado na Figura 4.33, apresenta, no ano de 2008, uma recuperação do nível de água de 2,56m. Em 2009, a variação do nível estático é de 0,78m, o comportamento do nível freático, acompanha a sazonalidade ao longo do período chuvoso e seco, ou seja, de carga e descarga, respectivamente.

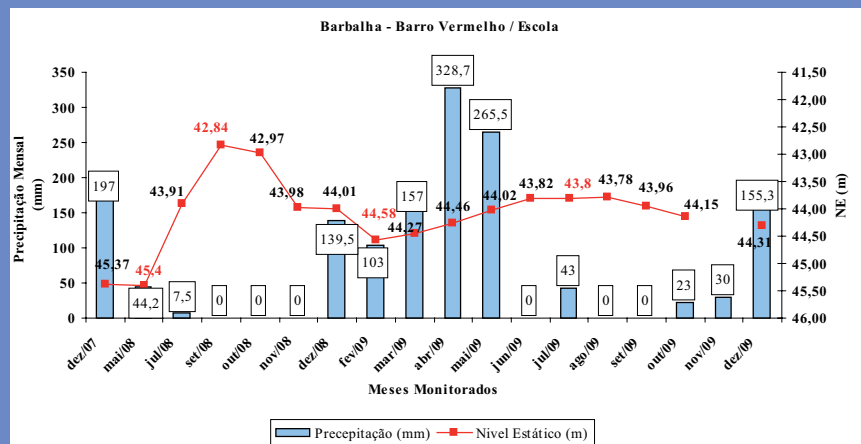


Figura 4.33 - Variação de 2,56m do NE em 2008 e 0,78m em 2009, poço Barro Vermelho/Escola em Barbalha.

Na Figura 4.35 observou-se que a variação de nível no poço Sítio Lagoa, durante os meses monitorados de 2008, foi de 0,60m. Em 2009, esta variação foi de 0,41m, com rebaixamento máximo do nível estático de 19,31 m ocorrido em dezembro, início da estação chuvosa na região. Em abril de 2009, precipitou 328,7mm e logo no mês seguinte observa-se que começa a recuperação do nível, seguindo gradualmente com a sazonalidade.

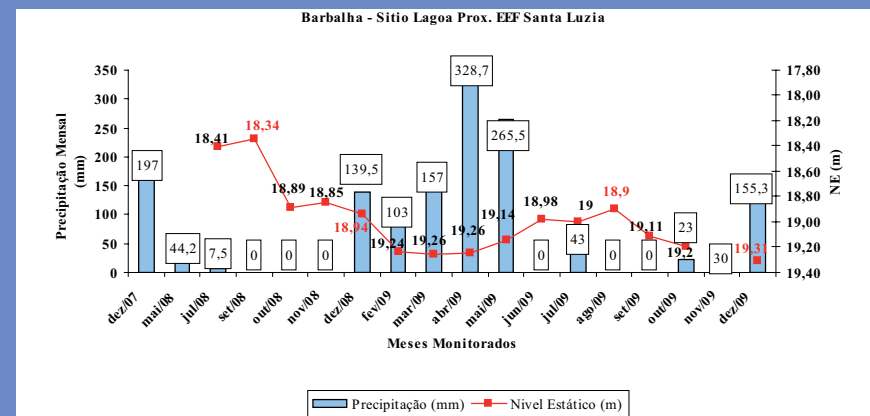


Figura 4.35 - Variação de 0,60m do NE em 2008 e 0,41m em 2009 com rebaixamento acentuado no mês de dezembro no poço Sítio Lagoa.

Na Figura 4.34, nota-se que no poço Sítio Cerquinha Usina MCF o monitoramento iniciou apartir de julho de 2008, a diferença de variação máxima e mínima foi de 0,71m. Em 2009, as medidas apresentam rebaixamento máximo em abril e maior recuperação em agosto, três meses após os meses das maiores precipitações registradas.

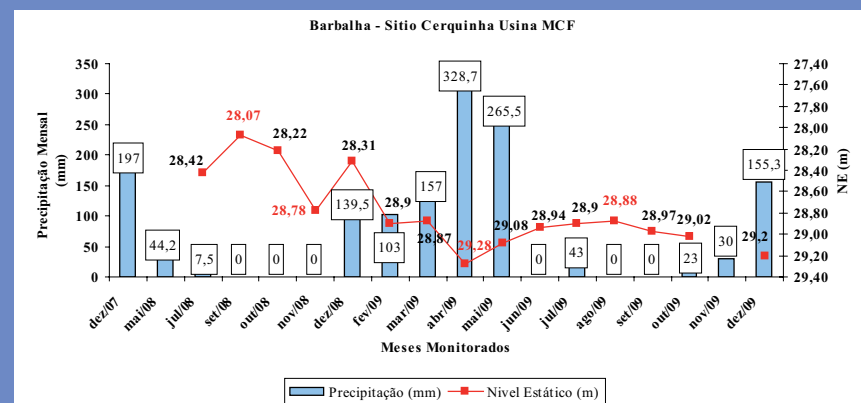


Figura 4.34 - Variação de 0,71m do NE para o ano de 2008 e 0,40m em 2009, poço Sítio Cerquinha Usina MCF, Barbalha.

No poço Sítio Estrela, Figura 4.36, visualiza-se que, no mês de novembro de 2008, ocorreu maior rebaixamento, resultando uma diferença de 1,23m entre o maior e o menor valor medido. Em 2009, a variação foi de 2,06m e mostra que a recuperação é proporcional à chuva.

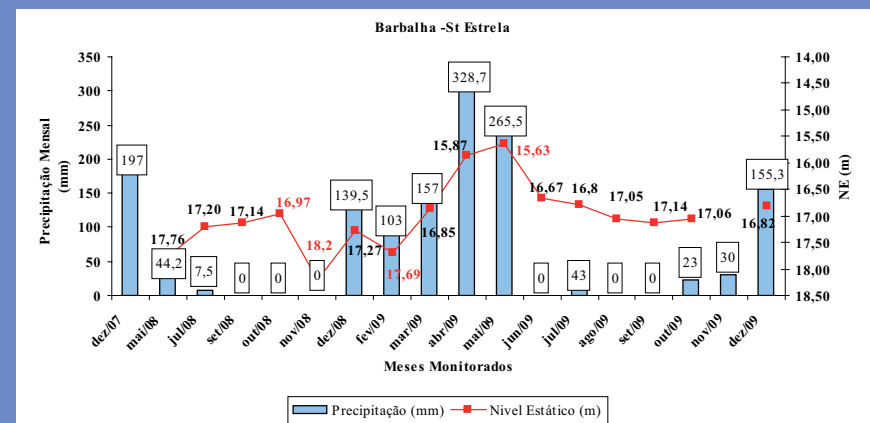


Figura 4.36 - Variação de 1,23m do NE em 2008 e 2,06m em 2009, a recarga é percebida logo nos primeiros meses de chuva, poço St. Estrela em Barbalha.

Na Figura 4.37, nota-se que os maiores rebaixamentos ocorrem em dezembro, final do período seco na região. Em 2008, a variação do nível estático foi de 1,29m. No ano de 2009, o nível inicia a sua recuperação significativamente após 5 meses de precipitação e sua variação foi de 1,42m.

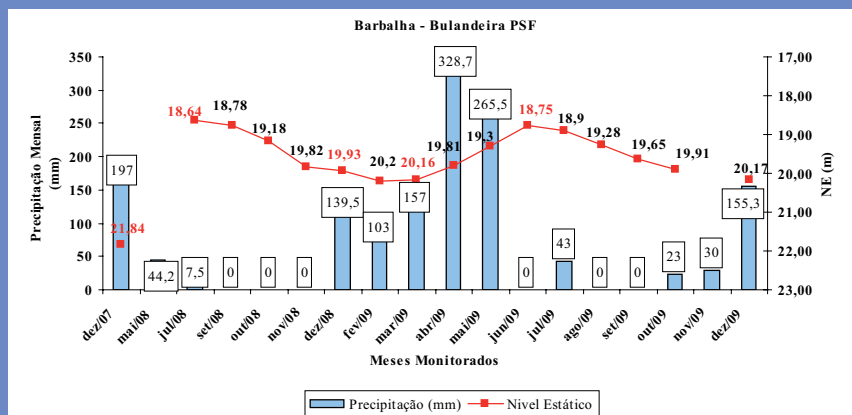


Figura 4.37 - Variação de 1,29m do NE em 2008 e de 1,42m em 2009 no poço Bulandeira – PSF, em Barbalha.

Na Figura 4.38, o poço Sítio Correntinho apresentou pouca variação ao longo dos anos de 2008 e 2009, ficando com 0,8 e 0,34m entre o máximo e o mínimo valor medido, respectivamente. Nota-se que, mesmo nos meses em que a precipitação foi maior, a recarga não foi significativa.

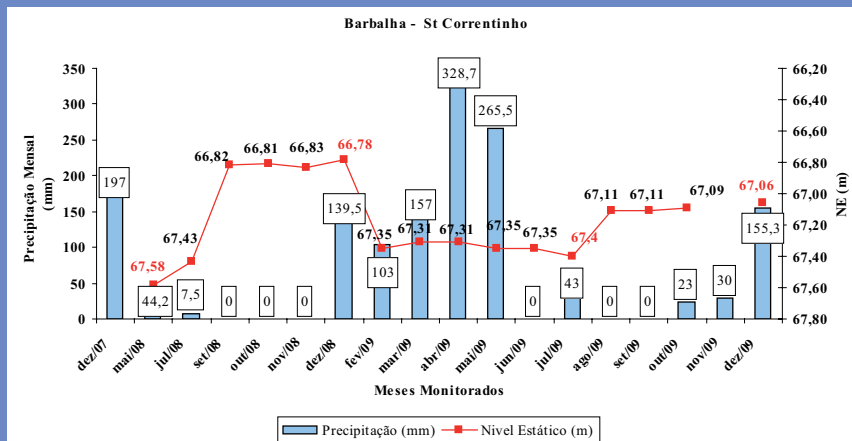


Figura 4.38 - Variação de 0,80m do NE em 2008 e 0,34m em 2009 não havendo rebaixamento acentuado durante os meses monitorados, poço St. Correntinho, Barbalha.

A Figura 4.39 apresenta o comportamento do poço Parque de Eventos Santo Antonio onde a variação de nível em 2008 foi de 0,50m e em 2009 foi de 1,11m. A recarga máxima ocorreu no mês de maio de 2009 considerando o período de monitoramento.

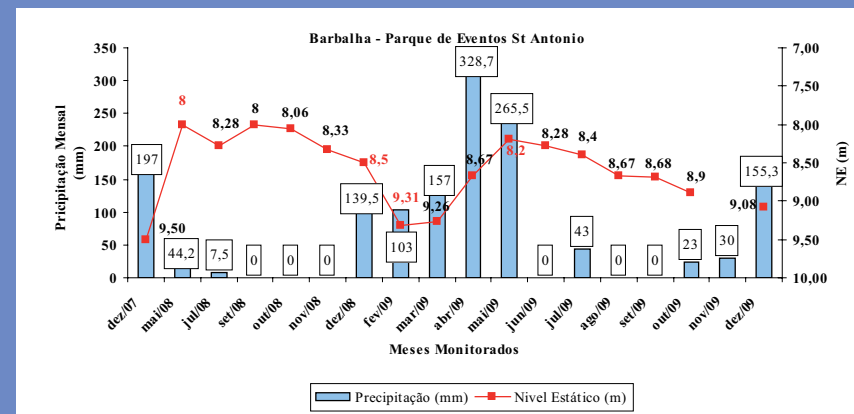


Figura 4.39 - Variação de 0,50m do NE em 2008 e 1,11m em 2009 não apresentou rebaixamento acentuado, poço Parque de Eventos Santo Antonio, Barbalha.

Na Figura 4.40, o poço CGC Centro apresentou rebaixamento maior em novembro de 2008, a variação desse ano foi de 1,43m, já em 2009 a variação foi de 1,25m. Comparando-se as cargas dos dois anos monitorados verifica-se que a diferença entre estes é de 0,18m e que o rebaixamento foi maior em novembro de 2008, ano em que choveu no município de Barbalha 1.384,5mm, em 2009 a precipitação foi de 1.185,5mm.

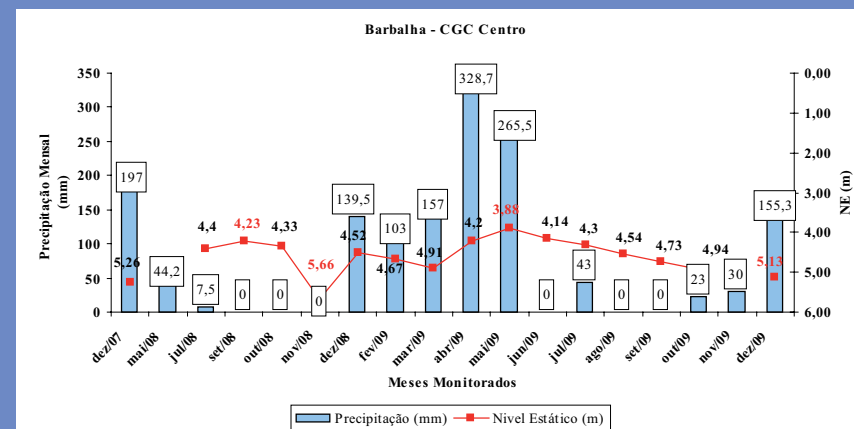


Figura 4.40 - Variação de 1,43 m do NE em 2008 e de 1,25m em 2009 apresenta rebaixamentos no final do segundo semestre de cada ano observado, poço CGC Centro.

A Figura 4.41 apresenta uma variação de nível estático máximo e mínimo foi de 0,32 m em 2008 e em 2009 de 0,27m, portanto a variação foi pouco significativa durante o período de monitoramento.

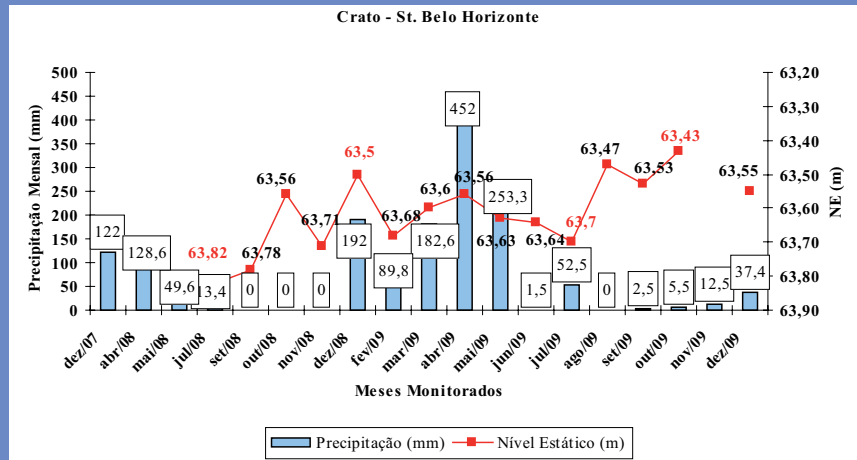


Figura 4.41 - Variação de 0,32m do NE em 2008 e de 0,27m em 2009 no poço Sítio Belo Horizontes em Crato.

A Figura 4.42 mostra o monitoramento no poço Brigadeiro realizado durante o segundo semestre de 2008 e nos meses de fevereiro e março de 2009. A variação, em 2008, foi de 1,01m. Verifica-se que em fevereiro de 2009 houve recuperação, elevando o nível estático para 0,91 m da superfície.

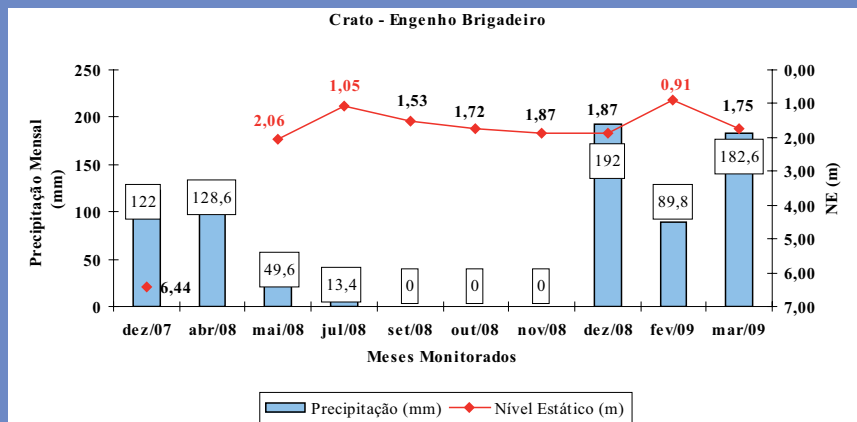


Figura 4.42 - Variação de 1,01m do NE em 2008, ocorrendo elevação do NE em fevereiro de 2009 no poço Engenho Brigadeiro.

A variação do nível estático do poço Baixio do Muquem pode ser visualizada na Figura 4.43, que mostra que o nível variou de 0,64 m em 2008 e 1,04 m em 2009, não sendo observados rebaixamentos acentuados por todo o período monitorado.

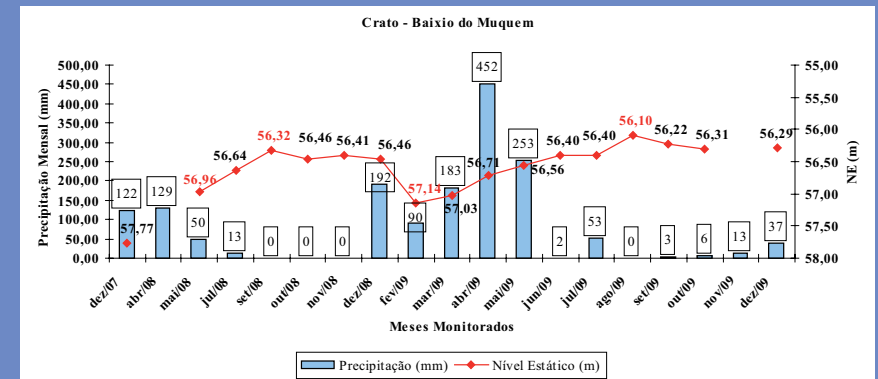


Figura 4.43 - Variação de 0,64m do NE em 2008 e de 1,04m em 2009 no poço Baixio do Muquem.

Na Figura 4.44 vê-se que em 2008 a carga foi de 1,20 m e em 2009 de 0,60m. Nos meses subsequentes aos de maiores precipitações, os níveis vão se elevando de forma gradual com variações menos acentuadas.

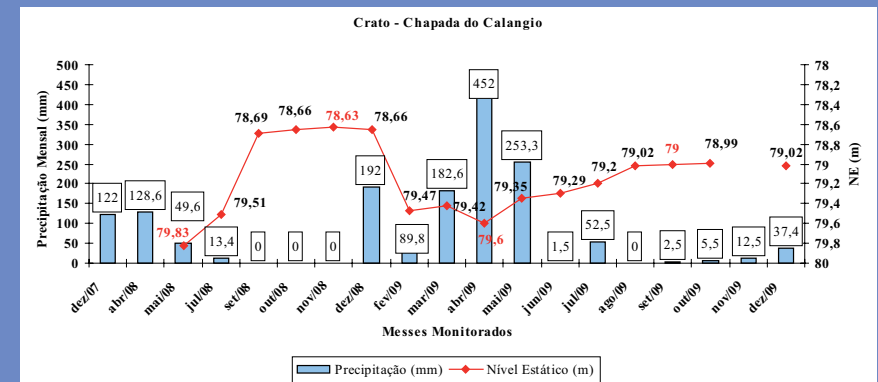


Figura 4.44 - Variação de 1,20m da carga hidráulica em 2008 e de 0,60 em 2009 no poço Chapada do Calangio em Crato.

A Figura 4.45 mostra que a oscilação do nível estático no poço Laboratório - URCA não foi acentuada durante os meses monitorados. A variação foi de 0,54m em 2008 e de 1,18m em 2009.

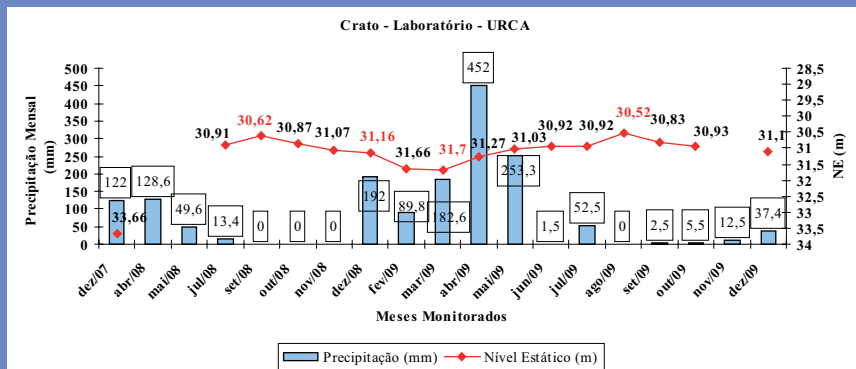


Figura 4.45 - Variação da carga hidráulica foi de 0,54m em 2008 e de 1,18m em 2009 no poço Laboratório – URCA, no Crato.

A variação do nível estático, representado na Figura 4.46 para o poço Sítio São José (Conj. Belas Artes), mostra que em 2008 o maior rebaixamento ocorreu no mês de julho e a carga hidráulica foi de 0,79m. No ano seguinte, variação foi de 0,50m, no qual o nível mais elevado registrado foi em agosto de 2009, com 39,14m.

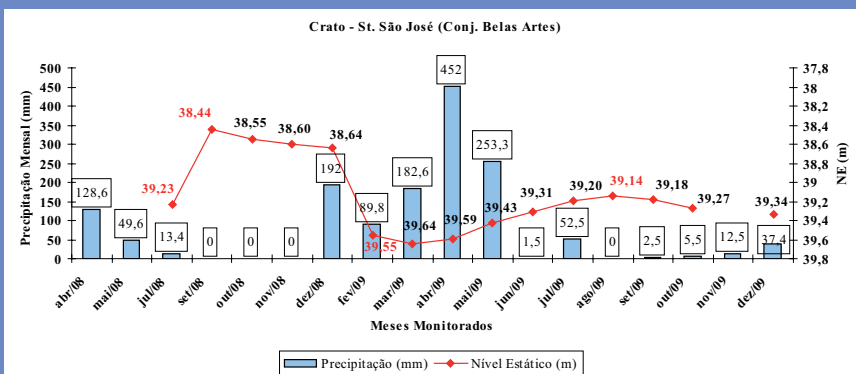


Figura 4.46 - Variação de 0,79m do NE em 2008 e de 0,50 em 2009 do poço St. São José (Conj. Belas Artes), Crato.

A Figura 4.47 representa o período de monitoramento do poço DERT iniciado a partir do segundo semestre de 2008 até março de 2009, é notável que o rebaixamento ocorre de forma gradual correspondendo aos meses de baixa pluviometria. Embora a chuva tenha iniciado em dezembro de 2008, percebe-se que em março de 2009 ainda há queda do nível, indicando que a recarga ainda não aconteceu.

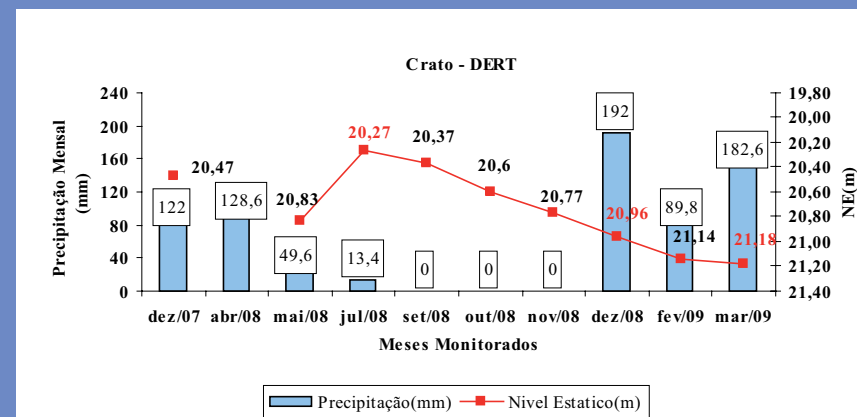


Figura 4.47 - Variação de 0,56m do NE com rebaixamento acentuado no mês de maio de 2008 no poço DERT, no Crato.

Na Figura 4.48 o valor mais baixo do nível estático observado no poço SESI foi de 20,00m registrado em dezembro de 2007. Em 2008, a variação máxima foi de 1,13m. Além da coleta manual, este poço passou a ser monitorado automaticamente por datalogger.

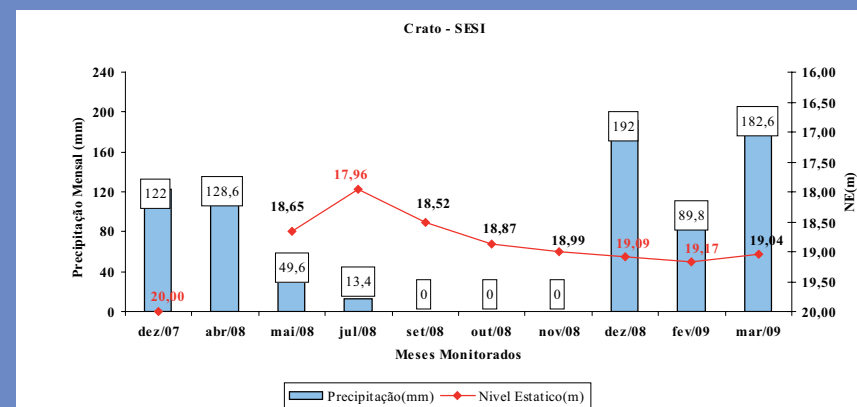


Figura 4.48 - Variação de 1,13m nos meses monitorados em 2008 no poço SESI do Crato.

O nível estático do poço Woojim representado pela Figura 4.49 mostra que o rebaixamento máximo ocorrido em maio de 2008 foi de 51,71m e maior elevação (50,95m) em outubro, uma variação de 0,76m de recuperação, indicando que a recarga é lenta. Esse poço passou a ser monitorado por *datalogger*.

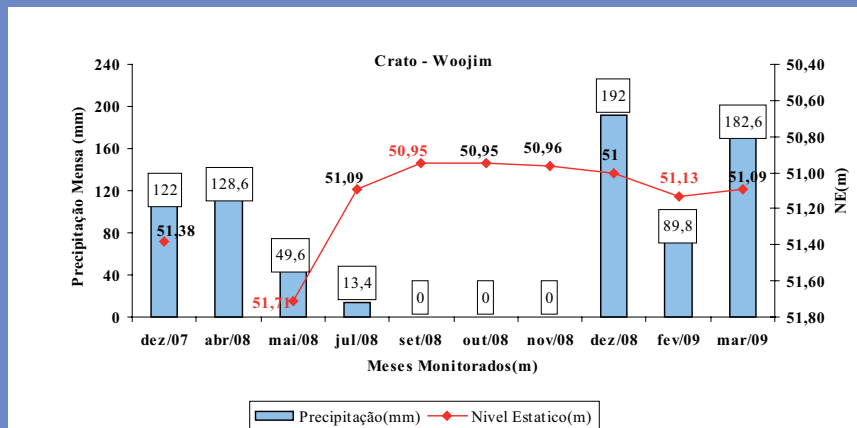


Figura 4.49 - Variação de 0,75m do NE com rebaixamento acentuado no mês de maio de 2008 no poço Woojim no Crato.

A Figura 4.50 mostra que a oscilação sazonal do nível estático no poço Café Itaytera variou entre o valor máximo e mínimo de 0,86m. Em 2008 e em 2009, esta variação foi de 1,05m. Percebe-se um maior rebaixamento em fevereiro de 2009 de 14,05m; a recuperação do nível ocorre três meses após o fim do período chuvoso.

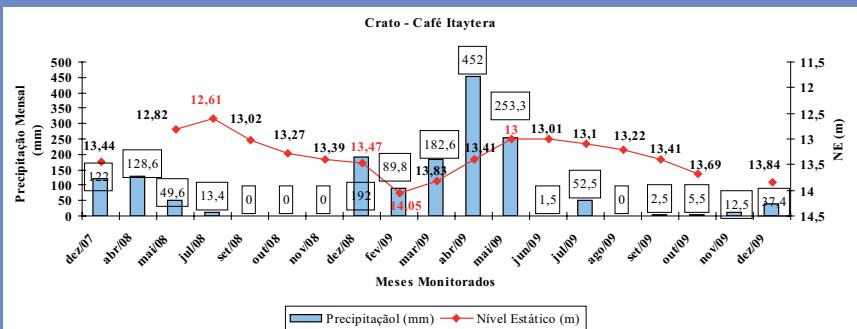


Figura 4.50 - Variação de 0,86m do NE em 2008 e de 1,05m em 2009, no poço Café Itaytera.

Na Figura 4.51, onde apresenta as medidas do NE do poço da Secretaria de Agricultura, observa-se que a variação foi de 0,78m entre os valores máximos e mínimos, referentes aos meses de monitoramento de 2008, nota-se que a recarga nesse poço ocorre quatro meses após o período chuvoso. Esse poço é, também, monitorado automaticamente pelo sistema *datalogger*.

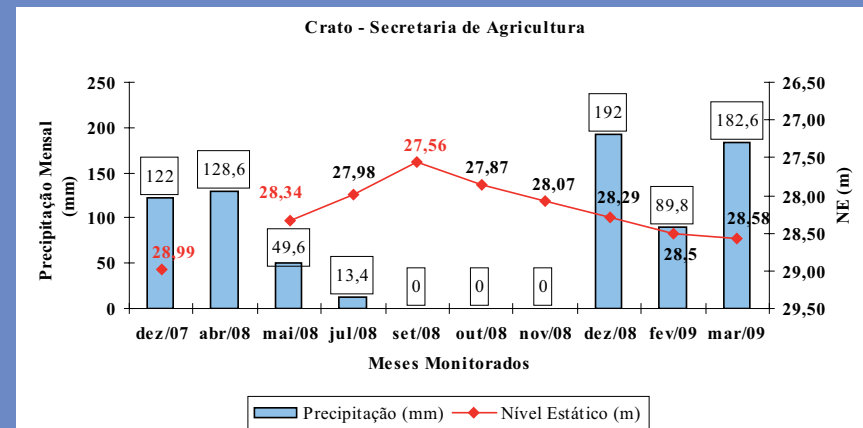


Figura 4.51 - Variação de 0,78m do NE em 2008 durante os meses monitorados, poço da Secretaria de Agricultura no Crato.

Na Figura 4.52 observa-se que o nível estático do poço Posto SP teve variação de carga de 0,53m em 2008 e de 0,47m em 2009; a precipitação ocorrida no primeiro semestre de 2009 promove uma elevação gradual do nível estático com pico em setembro.

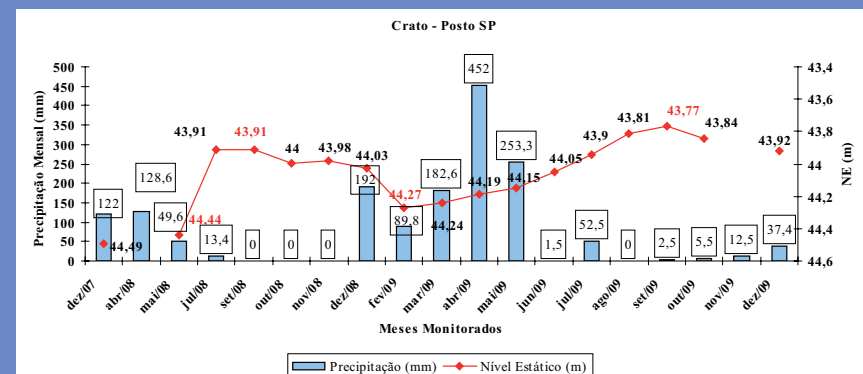


Figura 4.52 - Variação de 0,53m do NE em 2008 e de 0,48m em 2009, no poço Posto SP no Crato.

Na Figura 4.53 verifica-se que na carga no poço Santa Rosa a maior variação foi de 1,23m durante o monitoramento de 2008. Esse passou a ser monitorado por *datalogger*.

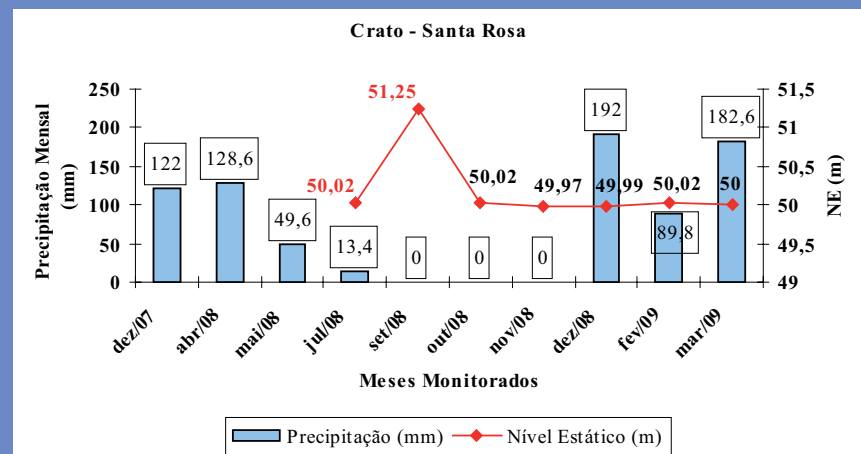


Figura 4.53 - Variação de 1,23m do NE em 2008, no poço Santa Rosa no Crato.

O comportamento do nível estático do poço Rodoviária é mostrado na Figura 4.55 apresentando uma variação de carga hidráulica máxima de 0,90m durante os meses monitorados de 2008. A partir de 2009, o poço passou a ser monitorado por *datalogger*.

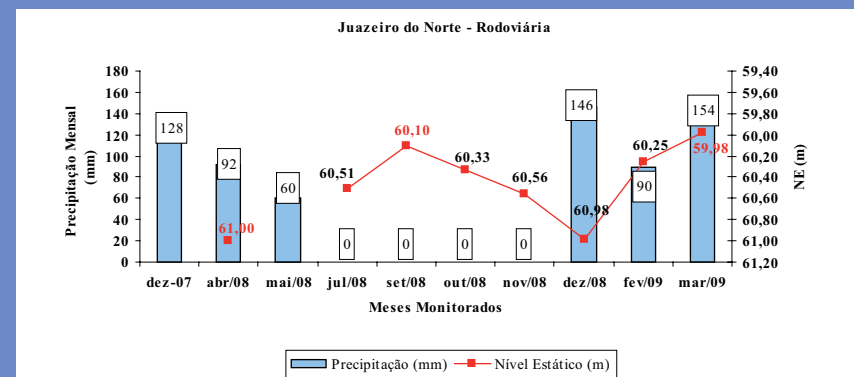


Figura 4.55 - Variação de 0,90m do NE em 2008 do poço Rodoviária em Crato.

A Figura 4.54 apresenta o comportamento do poço ASFACOM, onde a carga hidráulica máxima foi de 0,58m em 2008 e 0,42m em 2009. O rebaixamento máximo medido foi obtido nos meses de: dezembro de 2008, fevereiro e dezembro de 2009, apresentando os seguintes valores: 20,63m, 21,3 m e 21,34m, respectivamente. Nota-se que o valor de 21,34m se repete em fevereiro e dezembro de 2009.

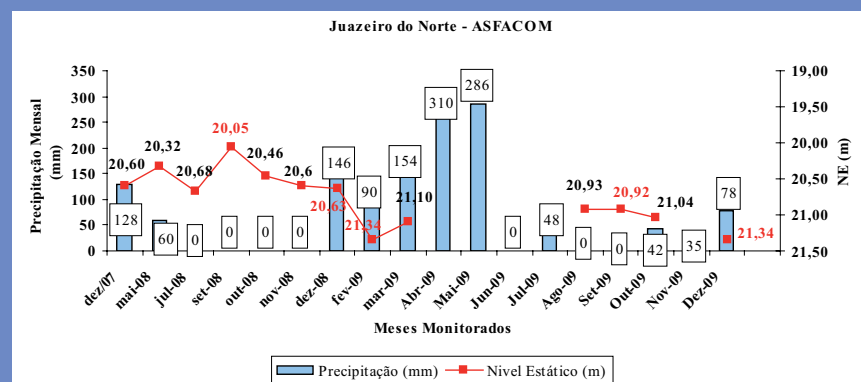


Figura 4.54 - Variação de 0,58m em 2008 e de 0,42m em 2009 observado no poço ASFACOM em Juazeiro do Norte.

A Figura 4.56 apresenta as variações das cargas hidráulicas de 0,87m e 0,63m respectivamente para os anos de 2008 e 2009. A recarga nesse poço ocorre três meses após o período de maior precipitação.

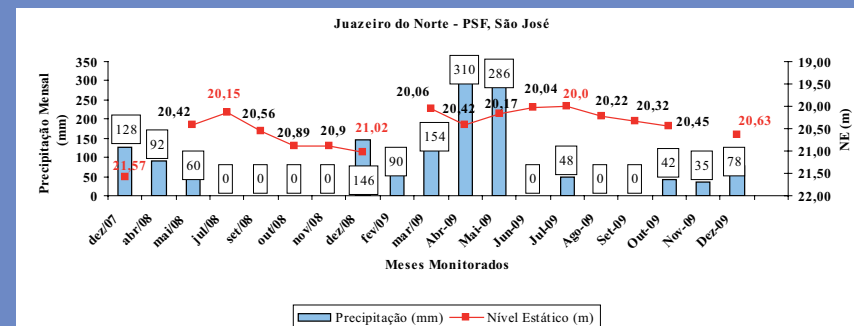


Figura 4.56 - Variação da carga hidráulica máxima de 0,87m em 2008 e 0,63m em 2009 no poço PSF São José em Juazeiro do Norte.

A variação do nível estático do poço APUC é representada pela Figura 4.57, onde a variação máxima da carga foi de 4,49m em 2008 e de 1,13m em 2009. A medida mais baixa observada foi em dezembro de 2007 apresentando valor de 18,92m.

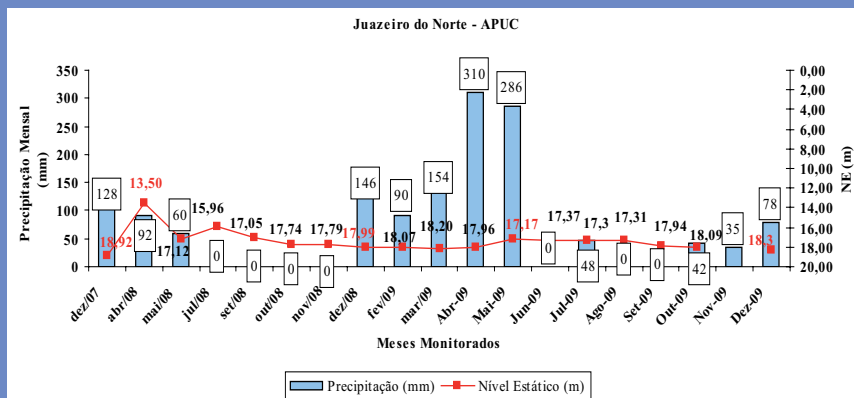


Figura 4.57 - Variação de 4,49m máxima do NE em 2008 e de 1,13m em 2009 no poço APUC em Juazeiro do Norte.

Na Figura 4.58 observa-se a variação do nível estático do poço CEFET, onde o mais baixo foi registrado em dezembro de 2007 com 54,17m e o mais elevado em julho de 2008; a diferença de carga ficou em 0,83m em 2008 e em 2009 com 0,15m. Verifica-se que a recarga é muito lenta e a oscilação é muito baixa.

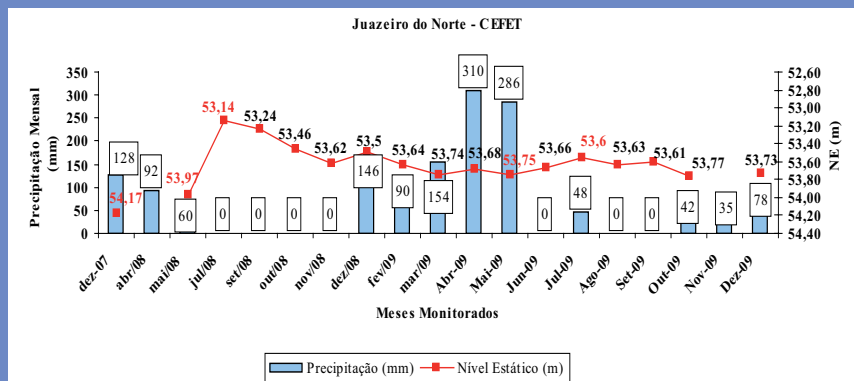


Figura 4.58 - Variação de 0,83m em 2008 e de 0,15m em 2009 no poço CEFET em Juazeiro do Norte.

A Figura 4.59 mostra a variação máxima da carga hidráulica em 2008 de 0,63m e em 2009 de 0,62m; no entanto se considerar os meses de dezembro de 2007 e dezembro de 2008, constata-se um valor de 4,83m de diferença, ou seja, o maior rebaixamento medido.

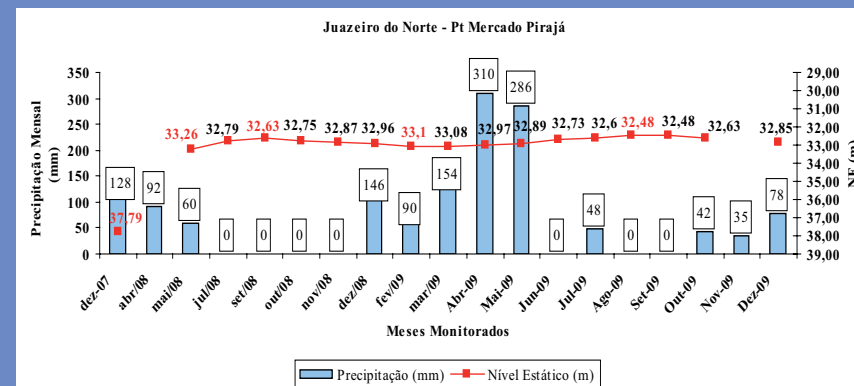


Figura 4.59 - Variação de 0,63m da carga hidráulica em 2008 e de 0,62 em 2009 com rebaixamento acentuado no mês de dezembro de 2007 no poço Mercado Pirajá.

A Figura 4.60 apresenta as oscilações do NE do poço Cemitério Parque das Flores, nesse poço a variação ocorre de uma forma que reflete a sazonalidade e os rebaixamentos não são expressivos. A carga mais elevada foi observada em 2008 com valor de 1,32m em 2009 apresentou 0,63m.

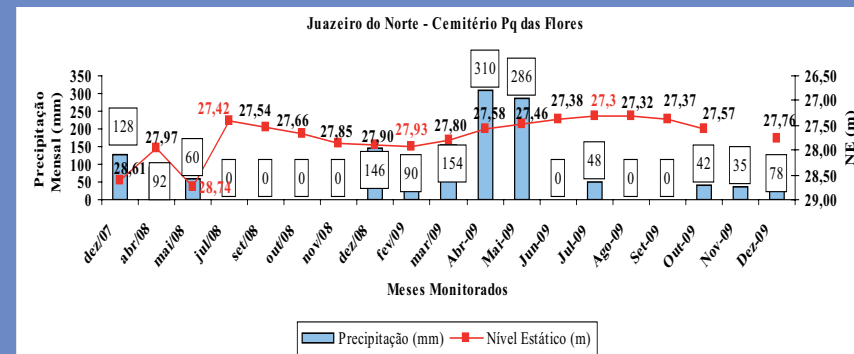


Figura 4.60 - Variação de 1,32m do NE em 2008 e de 0,63m em 2009 no poço Cemitério Parque das Flores em Juazeiro do Norte.

As oscilações do NE do poço Vila Carité são visualizadas na Figura 4.61; a variação do nível da água é mais acentuada do que nos poços observados anteriormente. A carga máxima variou em 2008 de 3,38m e em 2009 de 3,34m em dezembro de 2007, o nível ficou em 6,96m. Comparando com o nível do mesmo mês do ano de 2008, a diferença fica em 5,96m. O poço apresenta boa recarga, após a chuva de 310mm, em abril de 2009, o nível passa de 1,40m para 0,36m da superfície do terreno.

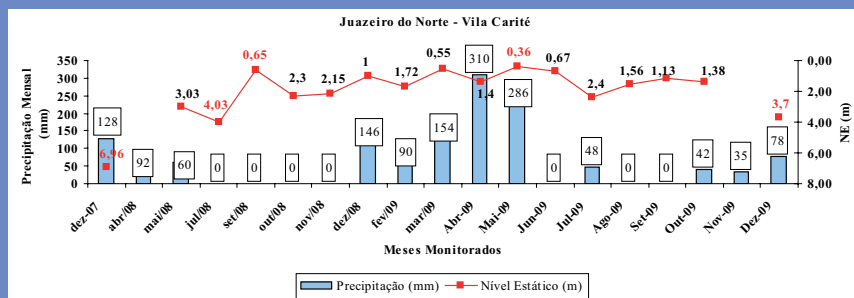


Figura 4.61 - Variação de 3,38m do NE em 2008 e de 3,34m em 2009 no poço Cemitério Parque das Flores em Juazeiro do Norte.

A Figura 4.62 representa as oscilações do NE para o poço PSF Lavanderia, nesse poço a carga hidráulica máxima variou de 1,17m em 2008 e de 1,0m em 2009. A elevação máxima do nível ocorreu em setembro de 2008 e agosto de 2009, refletindo que recarga é lenta, ocorrendo três meses após o período de maior precipitação.

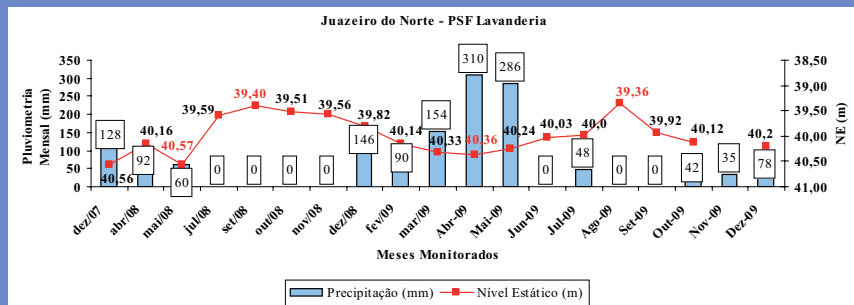


Figura 4.62 - Variação de 1,17m do NE em 2008 e de 1,0m em 2009 no poço PSF Lavanderia em Juazeiro do Norte.

A Figura 4.46 apresenta a variação do nível estático do poço Rancho dos Romeiros, a carga hidráulica máxima ficou em 0,78m em 2008 e 0,52m em 2009. O maior rebaixamento foi registrado em dezembro de 2007 com 32,66m. Nesse poço a recarga ocorre gradualmente de acordo com as chuvas, atingindo o nível de elevação máxima em agosto de 2009 com 31,90m.

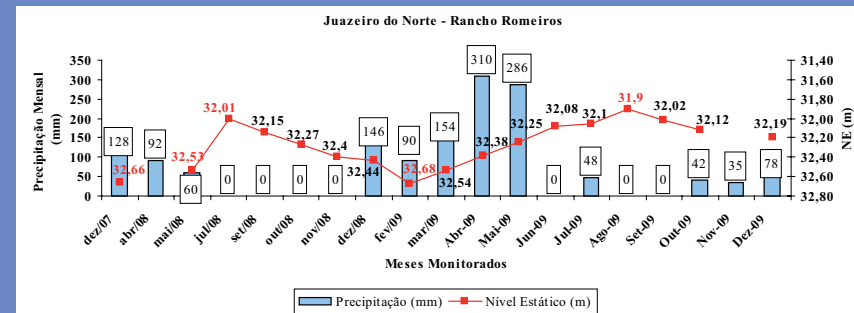


Figura 4.63 - Variação máxima da carga hidráulica de 0,78m em 2008 e de 0,52m em 2009, poço Rancho dos Romeiros em Juazeiro do Norte.

A Figura 4.64 mostra a carga hidráulica máxima do poço Boca das Cobras, onde foi registrado 1,24m de nível máximo entre abril e novembro de 2008. Nesse poço o rebaixamento é observado a partir de julho que corresponde ao início do período seco. Esse poço passou a ser monitorado pelo sistema *datalogger*.

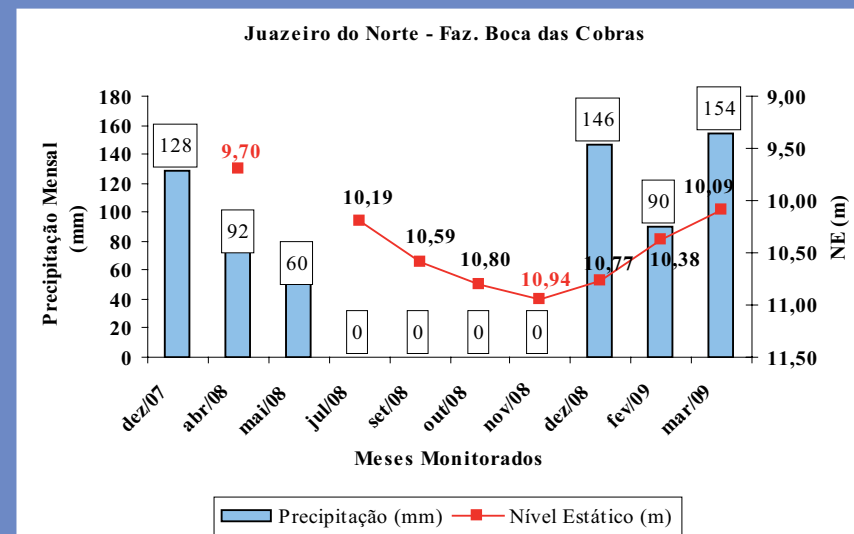


Figura 4.64 - Variação máxima da carga hidráulica de 1,24m em 2008 com rebaixamento máximo em novembro de 2008, poço Boca das Cobras em Juazeiro do Norte.

A Figura 4.65 apresenta as oscilações do NE para o poço Subestação Coelce, nota-se que a carga hidráulica máxima variou de 0,29m em 2008 e de 0,55m em 2009. O rebaixamento máximo ocorreu em maio de 2008 considerando o período de monitoramento.

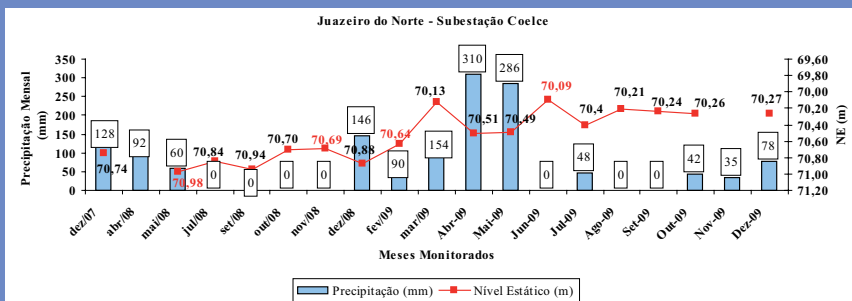


Figura 4.65 - Variação máxima da carga hidráulica de 0,29m em 2008 e de 0,55m em 2009 no poço Subestação Coelce em Juazeiro do Norte.

O poço Sítio Gangorra apresentado na Figura 4.66 mostra que a variação máxima da carga foi de 2,42m durante o segundo semestre de 2008, com rebaixamento máximo observado em dezembro do mesmo ano.

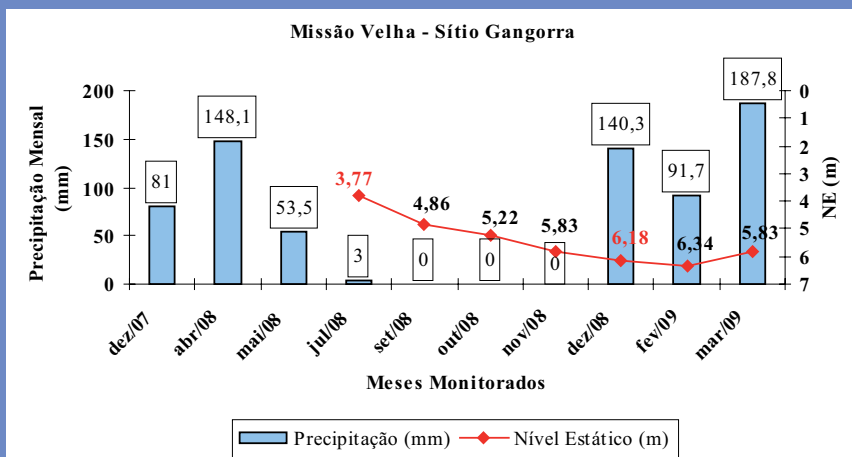


Figura 4.66 - Variação máxima da carga hidráulica de 2,42m em 2008 no poço Sítio Gangorra em Missão Velha.

A Figura 4.67 representa a variação do nível estático do poço Canto Galo II; a carga hidráulica máxima ficou em 0,16m em 2008 e 0,27m em 2009. Observa-se que as oscilações do nível são mínimas por todos os meses monitorados e que o poço recarrega logo após as primeiras precipitações.

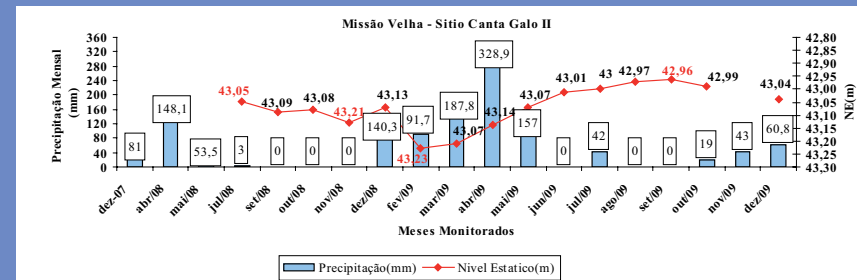


Figura 4.67 - Variação máxima da carga hidráulica de 0,16m em 2008 e de 0,27m em 2009 no poço Sítio Santa Galo II em Missão Velha.

Na Figura 4.68 visualiza-se o comportamento dos níveis estáticos de 13 poços monitorados no município de Barbalha, no período de dezembro de 2007 a dezembro de 2009. Nesta figura, verifica-se que os poços 06, 13, 04, 12, 02, 03, 09, 08 e 10 estão com níveis entre 05 e 20m; os poços 07, 02 e 05 estão com os níveis entre 28m e 45m e apenas o poço 11 está com o nível variando entre 66,78m e 67,58m. Todos os poços apresentam comportamento semelhante, onde não se observa grandes rebaixamentos durante o período monitorado.

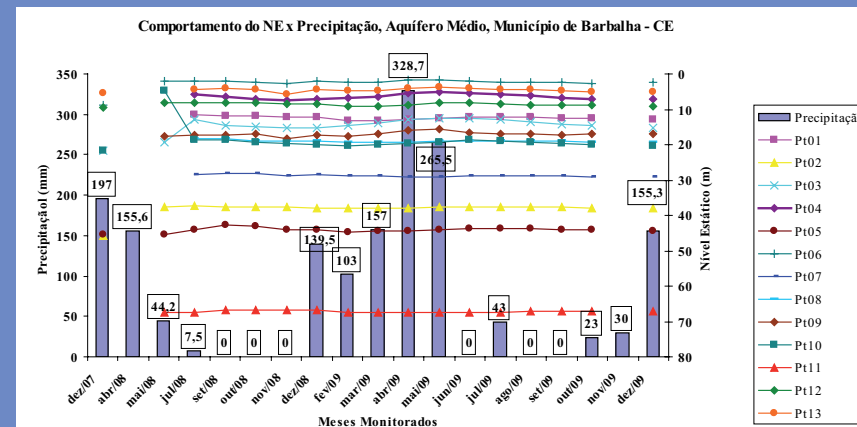


Figura 4.68 - Comportamento e profundidade dos NEs de 13 poços monitorados em Barbalha.

A Figura 4.69 mostra os 13 poços monitorados no município do Crato, onde é possível visualizar o comportamento e a profundidade dos níveis estáticos; notam-se as várias profundidades de níveis que os poços apresentam, onde a variação está entre um metro e, aproximadamente, 80m; as oscilações não são acentuadas.

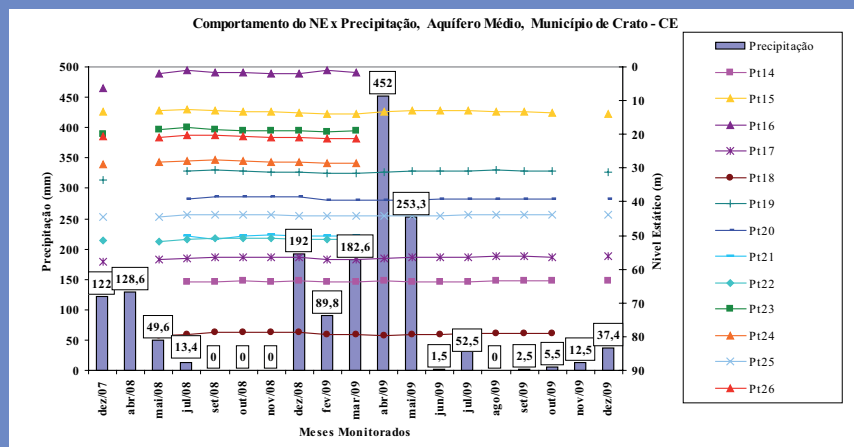


Figura 4.69 - Comportamento e profundidade dos NEx de 13 poços monitorados em Crato.

Em Missão Velha são monitorados os níveis estáticos de dois poços como pode ser visto na Figura 4.71. Os níveis observados nesses poços apresentaram profundidades e comportamento diferentes, no Pt 38 se encontra próximo à superfície e o Pt 39 a profundidade é de no máximo 43,23m e as oscilações são centimétricas.

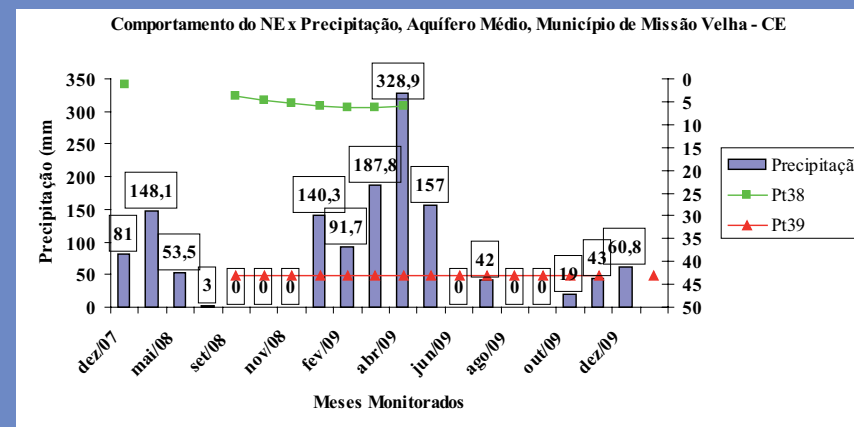


Figura 4.71 - Comportamento e profundidade dos NEx de 2 poços monitorados em Missão Velha.

A Figura 4.70 apresenta o comportamento e profundidade dos níveis estáticos dos 12 poços monitorados no município de Juazeiro do Norte; verifica-se que a profundidade varia de 0,55m a 70,94m e, em todos os poços, os níveis mostram pequenas oscilações ao longo do monitoramento.

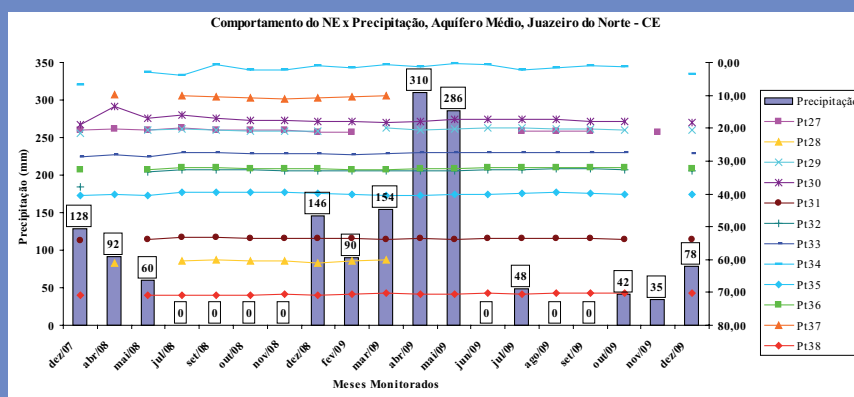


Figura 4.70 - Comportamento e profundidade dos NEx de 12 poços monitorados em Juazeiro do Norte.

## Discussões do Monitoramento Quantitativo Manual

Considerando que para o órgão gestor a vazão é o principal parâmetro utilizado para emissão de outorgas de direito de uso da água, o monitoramento quantitativo deve ser eficiente. Os dados apresentados são o resultado consistido de 40 poços monitorados no Aquífero Médio, do total de poços monitorados, 31 se encontra no grabên Crato-Juazeiro. Registramos que o monitoramento vem ocorrendo mensalmente, porém não ocorreu de forma regular e sistemática em alguns poços.

Os gráficos mostram que a recarga é lenta e varia de um ponto a outro. Analisando o

monitoramento dos 40 poços, a média da carga hidráulica ficou em 1,00m para o ano de 2008 e 0,89m em 2009.

Dos 13 poços monitorados em Barbalha, nove estão com o nível estático acima de 20m e três entre 20 e 50m, somente um poço apresentou nível estático acima de 65m. Nos poços do município de Crato, os níveis estáticos variam de 1,00m a aproximadamente 80m e, em Juazeiro do Norte a variação ficou entre 0,36m a no máximo 70,94m. Em Missão Velha os níveis dos dois poços monitorados foram 6,34m no Pt38 e 43,23m no Pt39.

## Estações de Monitoramento Automático (*datalogger*)

O sistema de monitoramento por meio de *datalogger* implantado pela SRH/COGERH compreendeu 24 estações em poços tubulares em aquíferos que fazem parte da Bacia do Araripe, região sul do estado do Ceará. O objetivo do sistema é formar uma série histórica, gerando um banco de dados que possibilite a elaboração de relatórios com o fim de manutenção e gestão, dando condições de simular situações para auxiliar a emissão de licença de construção de poços e de outorga da água juntamente com outras ações gerenciais tais como: cobrança pelo uso da água, fiscalização da construção de obras de captação e do cumprimento da legislação específica. Os parâmetros medidos são níveis da água, vazão explorada, pluviometria e temperatura do solo. Vale ressaltar que em todos os poços foram instalados tubos-guia.

### Unidades de Monitoramento (Poço)

As unidades monitoradas são compostas por poços tubulares equipados com instrumentos que executam as tarefas de aquisição e armazenamento de dados dos dispositivos e equipamentos associados, dependendo da configuração de cada sistema, contendo em cada unidade um Controlador Lógico Programável – CLP para executar essas funções.

### Sistema de Armazenamento de Dados

Cada unidade (poço monitorado) acumulará os dados coletados de forma horária e manterá o histórico mínimo de 30 dias.

Os dados serão coletados, mensalmente, com o uso do terminal de programação (notebook) pelos técnicos da COGERH (Gerência Crato), e enviados para a base de dados da COGERH, os dados brutos serão então tratados de acordo com a parametrização definida em campo.

## Software de Armazenamento e Tratamento de Dados

O *software* para armazenamento e tratamento de dados foi desenvolvido para ambiente WEB (Java) e implantado em um servidor de dados da COGERH, o que permitiu acesso direto à Gerência Regional de Crato, via intranet. O procedimento permite a transmissão das informações à medida que os dados são coletados. O *software* permite, ainda, alteração nos parâmetros operacionais de monitoramento dos poços.

A operação é simples, porém possibilita controlar e manipular um grande volume de informações, através do banco de dados corporativo da COGERH - Oracle. Os relatórios constarão basicamente de informações por poço, tais como: níveis d'água (horário, média do dia, do mês e do ano); volume no período (horário, diário, mensal, anual, média totalizada e total no período); pluviometria (horária, diária, mensal, anual, média totalizada e total no período); temperatura do solo (horária, média do dia, do mês e do ano).

### Metodologia

Houve, inicialmente, uma pré-seleção de poços para implantação da rede de monitoramento, baseada no cadastro de poços tubulares profundos realizado pela COGERH/SRH, em 2001, que compreendeu os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha; e em dados do SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Posteriormente, foram realizadas visitas em campo com o objetivo de fazer o primeiro contato com os proprietários/responsáveis e uma avaliação *in loco* de cada poço.

A distribuição da rede de monitoramento procurou representar os aquíferos Rio da Batateira e Missão Velha, que formam o sistema aquífero Médio e o aquífero Mauriti, seguindo a ordem de importância sócioeconômica da água. Por isso, um maior número de estações foram instaladas no Sistema Aquífero Médio, considerado o mais explorado da região.

Na Tabela 4.3 são apresentados os poços selecionados para a instalação dos equipamentos de monitoramento com *datalogger* e na Figura 4.72 a distribuição espacial.

Como os poços são de propriedade particular ou pertencem a instituições públicas, foi elaborado um Termo de Parceria entre a COGERH e o dono e/ou responsável por cada unidade de *datalogger* instalada, em que ambas as partes firmaram um compromisso de responsabilidade, ficando claras as suas obrigações.

A seleção definitiva dos poços obedeceu aos seguintes critérios:

- Poços em função da sua importância regional com maior possibilidade de ocorrência de impactos potenciais;
- Poços com captação no sistema aquífero médio ou inferior;
- Locais com ênfase para zonas de recarga, circulação e descarga da água;
- Poços de consumo prioritário (abastecimento humano);
- Local de fácil acesso com proteção para vandalismo;
- Poços que durante o período de análise não apresentaram rebaixamento superior a 25 m, obedecendo ao *ranger* do equipamento;
- Poços em que o proprietário concordou com o termo de responsabilidade.

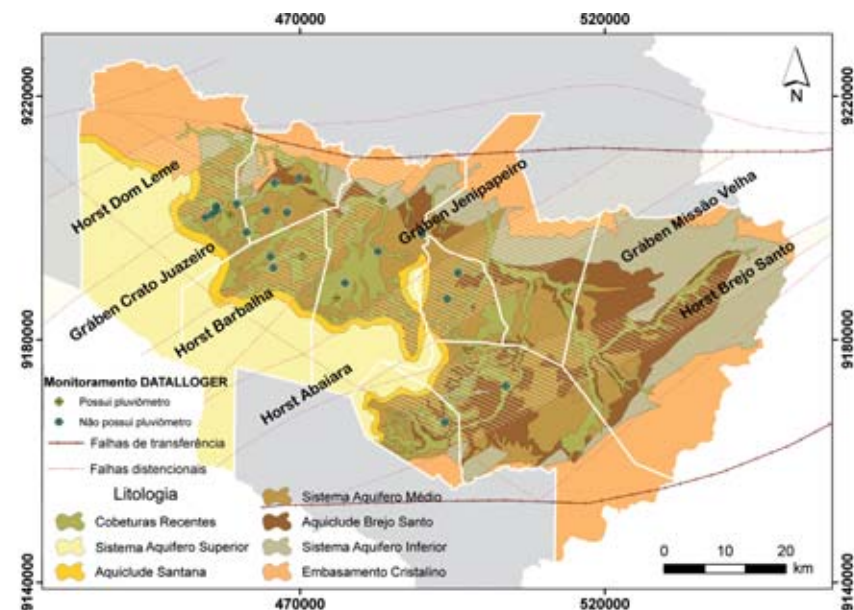


Figura 4.72 - Distribuição espacial dos poços monitorados.

Tabela 4.3		Poços selecionados para instalação dos equipamentos de <i>datalogger</i>													
ID SOFTWARE	COD COGERH	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	UTM_N	UTM_E	COTA (m)	PROF. (m)	D. (pol)	ALT. BOCA (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m³/h)	AQUÍFERO	USO	
66	COG/ABA/0001	Abaiara	Baixa Dantas	9190957	495916	363		6	0,65	8,95	25,00	8,30	Missão Velha	Abastecimento humano	
71	COG/ABA/0002	Abaiara	Sítio Capoeira	9186612	495145	419		6	0,60	10,50	17,49	4,20	Abaiara	Abastecimento humano	
61	COG/BJS/0001	Brejo Santo	Garanhuns/Pau D'Arco (SAAEBS)	9172385	503763	416		6	0,53	24,72	34,08	16,00	Missão Velha	Abastecimento humano	
73	COG/BAR/0001	Barbalha	Tupinambá II	9191711	465623		100,00	6	0,62	6,08	23,70	144,00	Rio da Batateira	Abastecimento público	
54	COG/BAR/0002	Barbalha	JB – Jeans do Brasil	9193548	465175	427	88,00	6	0,49	26,90	31,00	65,00	Rio da Batateira	Indústria	
57	COG/BAR/0003	Barbalha	EPACE/EMBRAPA/FATECE	9193631	470345	396	20,00	8	0,43	7,88	25,19	43,00	Rio da Batateira	Irrigação	
51	COG/CRT/0001	Crato	Engenho Brigadeiro	9201837	456231	419		6	0,35	6,32	8,14	15,20	Rio da Batateira	Indústria	
52	COG/CRT/0002	Crato	Santa Rosa (SAAEC)	9197545	461212	455	107,50	6	0,43	43,00	51,36	11,31	Rio da Batateira	Abastecimento público	
53	COG/CRT/0003	Crato	Woojin	9200515	458560	455	150,00	6	0,20	51,12	53,00	12,00	Rio da Batateira	Indústria	
55	COG/CRT/0004	Crato	Dep. Estradas e Rodagens - DER	9199989	454458	430		6	0,42	20,05	21,28	5,07	Rio da Batateira	Abastecimento humano	
64	COG/CRT/0005	Crato	Sítio Alto (SISAR)	9202250	459613	410		6		5,40	22,58	6,70	Rio da Batateira	Abastecimento público	
74	COG/CRT/0006	Crato	SESI	9201195	456359	425		6	0,46	18,14	22,51	5,30	Rio da Batateira	Abastecimento humano	
70	COG/CRT/0007	Crato	Secretaria da Agricultura	9200566	455582	435		6		27,00			Rio da Batateira	Abastecimento humano	
69	COG/JUN/0001	Juazeiro do Norte	Vila Sto. Antonio (SISAR)	9206529	469922	395		6	0,55	17,68	20,14	5,30	Missão Velha	Abastecimento público	
68	COG/JUN/0002	Juazeiro do Norte	Faz. Boca das Cobras	9205713	465821	388	80,00	6	0,68	10,19	21,00	25,50	Rio da Batateira	Irrigação	
67	COG/JUN/0003	Juazeiro do Norte	Rodoviária Pe. Cícero	9201152	464453	445	110,00	6	0,34	60,43	67,90	2,14	Rio da Batateira	Abastecimento humano	
56	COG/JUN/0004	Juazeiro do Norte	Centro de Integração	9200852	467855	417	78,00	6	0,25	27,60	28,90	18,00	Rio da Batateira	Abastecimento humano	
65	COG/MIL/0001	Milagres	Carnaúba dos Lacerdas	9187918	514056	350	60,00	6	0,50	3,00		6,00	-	Abastecimento público	
62	COG/MIV/0001	Missão Velha	Chiqueiro das Cabras (SISAR)	9189222	477381	421		6	0,40	12,90	14,47	7,00	-	Abastecimento público	
59	COG/MIV/0002	Missão Velha	Sítio Logradouro (SISAR)	9194422	482790	386	70,00	6	0,62	12,20	13,65	5,10	Rio da Batateira	Abastecimento público	
60	COG/MIV/0003	Missão Velha	Sítio Cachoeira	9202774	483565	353	160,00	6	0,41	8,50		13,20	Mauriti	Abastecimento humano	
58	COG/MIV/0004	Missão Velha	Sítio Barreiras	9186739	476020	431		8	0,28	27,97	36,75	27,50	Rio da Batateira	Irrigação	
72	COG/MIV/0005	Missão Velha	Olho D'Água Cumprido (SISAR)	9197206	490024	377	76,00	6	0,30	1,75	13,80	52,00	Missão Velha	Abastecimento público	
63	COG/POT/0001	Porteiras	Sítio Abreu	9166424	493809	459	84,00	6	0,20	21,50	26,66	15,20	-	Abastecimento público	

## Descritivo Operacional

Neste item descreve-se em detalhe o sistema operacional padrão para as unidades instaladas, desde as variáveis monitoradas até os equipamentos propriamente ditos. A instalação do sistema foi executada pela empresa DPM Engenharia através do contrato nº 02/SRH/PROGERIRH/2009.

Cada unidade funcionará via Controlador Lógico Programável (CLP), onde os dados serão armazenados em sua memória através da função "datalogger". O módulo adicional para armazenamento de dados tem a capacidade para armazenar até dois meses de informações. Os dados armazenados serão coletados pela equipe de campo a cada mês utilizando um *notebook* que se conectará ao CLP através de cabo de comunicação padrão PPI/USB.

O *software* dedicado à comunicação com o CLP realiza a transferência do histórico de dados do *datalogger* para o coletor procedimento é realizado pela equipe de campo da Gerência Regional do Salgado (COGERH). Em seguida enviados para a sede onde serão processados, armazenados e disponibilizados para consultas públicas (via internet ou local).

## Detalhe Operacional por Parâmetro Monitorado

### Nível de Água no Poço

#### Medidor de Nível por Borbulhamento

O princípio de funcionamento é baseado na medida de ar através de um tubo pneumático submerso, ficando sua extremidade localizada na parte mais profunda do corpo de água a ser medido. O sistema é alimentado por meio de um minicompressor acoplado ao sistema, conforme esquema apresentado na Figura 4.73.

Quando iniciar o borbulhamento na ponta da tubulação, a pressão resultante corresponde precisamente à pressão hidrostática acima da extremidade do tubo, sendo diretamente proporcional ao nível da água. Na Figura 4.74 pode ser observado, de forma simplificada, o conjunto de equipamentos utilizados para o monitoramento.

O compressor é acionado em intervalo ajustáveis de tempo sendo as medidas da pressão realizadas pelo controlador através da leitura do transmissor de pressão após o desligamento do compressor, obtendo-se assim uma leitura estável.

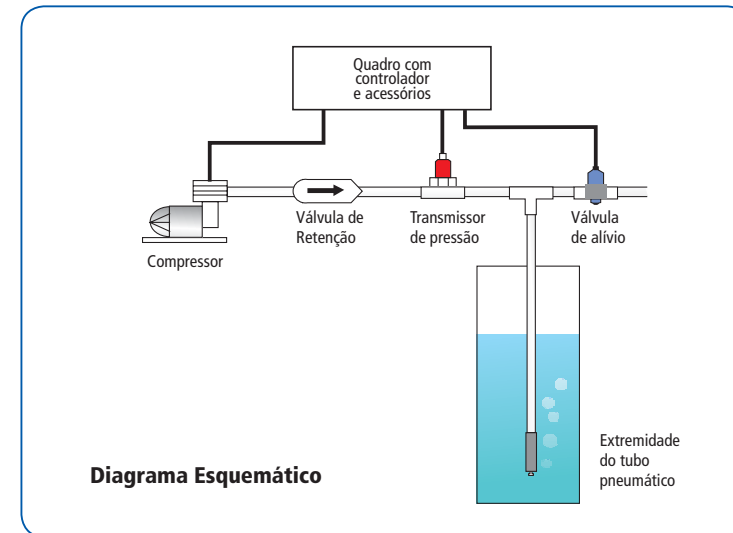


Figura 4.73- Esquema de medição de nível da água por borbulhamento.

#### Especificação do medidor de nível por borbulhamento:

- Fabricação: DPM / JUMO
- Faixa de funcionamento: 0 – 25 m
- Resolução: 6 mm
- Consumo: 20mA
- Alimentação: 13-30 Vcc
- Sinal de saída: 4-20 mA 2 fios
- Dimensões: 30 x 29 x 15 cm
- Temperatura máxima: 65°C
- Umidade: 15 – 98%
- Tubo de medição: PU (6 mm)

Os tubos pneumáticos foram instalados em diferentes poços já construídos e com suas devidas bombas em funcionamento. Considerando esse fato, os tubos pneumáticos tiveram que ter diâmetro de corpo máximo de 17,6mm para que desta forma pudessem ser mantidos os tubos-guia já instalados com diâmetro máximo de 3/4", de forma a facilitar futuras manutenções.

Acrescenta-se ainda que a quantidade de tubo utilizado por poço foi definida em campo, variando de acordo com o poço.

Procedimentos de supervisão foram realizados através de configurações no CLP para: indicação e registro do nível dinâmico (LIR) e cálculo da taxa de variação de nível (LK).

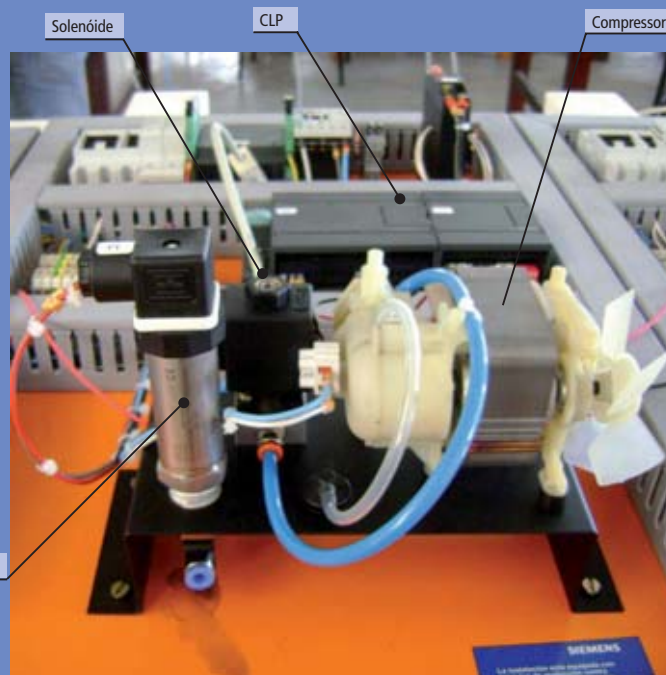


Figura 4.74 - Sensor de nível por borbulhamento em detalhe e Controlador Lógico Programável (CLP).

## Acesso para Medição de Nível de Água

Todos os poços foram equipados com acesso para os medidores de nível com tubos pneumáticos. O acesso teve profundidade superior à profundidade da bomba, assim, evitando que o mesmo fique com sua extremidade fora d'água.

O tubo é de PVC roscável com diâmetro mínimo de 3/4" e possui sistema de sustentação na boca do poço com abraçadeira, evitando sua movimentação. A extremidade superior da tubulação de acesso ao sensor possui vedação adequada para evitar queda de materiais no poço (Figura 4.75).



Figura 4.75 - Poço tubular com tubo guia instalado, destacado em vermelho.

## Horas de Funcionamento do Conjunto Moto-bomba

O volume explotado do poço será quantificado em função da variável tempo *versus* vazão da bomba, obtido com a implantação do horímetro (Figura 4.76).

**Característica:** Sensor de interface de entrada por presença de corrente no conjunto moto-bomba.

**Supervisão:** Indicação de presença de corrente para registro de horas de funcionamento;

Entrada digital no CLP;

Vazão: Dado de placa da bomba;

Volume explotado do poço.



Figura 4.76 - Medidor de vazão tipo horímetro.

## Sensor de Temperatura do Solo

A temperatura do solo é uma observação importante para avaliar a evapotranspiração potencial, por esse motivo, foram instalados cinco sensores que fazem parte do conjunto de monitoramento (Figura 4.77).

**Características:** Transmissor de temperatura a ser instalado próximo ao poço a uma profundidade de cerca de 20cm.

**Supervisão:** Indicação e registro de temperatura do solo no local (TIR); Função configurável no CLP.



Sensor de temperatura montado

Figura 4.77 - Sensor de temperatura montado e em detalhe.

### Especificação do transmissor de temperatura do solo:

- Material da ponteira - aço inox
- Faixa de operação, -15 a 70°C
- Precisão, 0,2°C a 25°C
- Transdutor - circuito integrado
- Saída - 4-20mA linear com a temperatura
- Alimentação - 4 a 30Vcc
- Cabo recomendado - 4 x AWG 22
- Protetor para o cabo - sim
- Montagem - enterrado no solo

## Sensor de Precipitação Pluviométrico

Foram instalados cinco pluviômetros do tipo balsa para compor a rede de monitoramento (Figura 4.78).

**Característica:** Pluviômetro tipo balsa.

**Supervisão:** Nível de precipitação no local (RSH) – entrada digital no CLP.

**Alarmes:** Alarme de chuva acima da média (RAH) – função configurável no CLP.



Figura 4.78 - Pluviômetro tipo balsa.

### Especificação do pluviômetro tipo balsa:

- Capacidade – ilimitada
- Calibração - métrica
- Incrementos, 0,1mm
- Tela de proteção - sim
- Diâmetro do funil, 24,5cm
- Resolução, 0,1mm
- Transdutor - reed switch magnético normalmente aberto
- Saída - fechamento de contato
- Frequência de saída, 1 ciclo por basculada
- Limites do contato, 30Vcc a 2a, 115Vca a 1A
- Temperatura operacional, 0°C a 52°C
- Cabo recomendado, 24aWG, 2 condutores
- Montagem, em plataforma horizontal ou em mastro vertical

## Abrigo do Painel da Unidade de Monitoramento

Para todas as unidades monitoradas foram criados abrigos que foram instalados em postes para ficarem melhores protegidos como podem ser vistos na Figura 4.79.



Figura 4.52- Vista geral dos abrigos contendo equipamentos de monitoramento por *datalogger*.

## Placa de Identificação Padronizada para os Poços Monitorados

ESTÁÇÃO DE MONITORAMENTO DE POÇOS	
COD.POÇO	
ID. POÇO	
DESCRIÇÃO	
UTM(E)	
UTM(N)	
ALTITUDE(M)	
<b>ATENÇÃO</b>	
POR FAVOR COMUNIQUE À COGERH PELO TELEFONE (88) 3523.6302 ANTES DA REALIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO NO POÇO PARA QUE POSSAMOS RETIRAR E REINSTALAR OS SENSORES OBEDECENDO O PROCEDIMENTO INDICADO PELO FABRICANTE.	

Figura 4.80 - Placa de Identificação Padronizada para os Poços Monitorados.

A placa de identificação possui detalhes de cadastramento, conforme apresentado na Figura 4.80; apresenta COD.POÇO (código de identificação do poço conforme o cadastro de campo), ID.POÇO (identificador do software), DESCRIÇÃO (local de instalação), UTM(E)/UTM(N) (coordenadas métricas do poço – UTM SAD 69 zona 24), ALTITUDE (altura ortométrica obtida a partir da rede altimétrica do IBGE através da transposição de cotas com GPS geodésico – Modelo de Geóide MAPGEO 2004).

## Implantação das Estações de Monitoramento

O sistema de monitoramento dos aquíferos da Bacia do Araripe, estado do Ceará, contempla a instalação de 24 (vinte e quatro) estações, distribuídas nos municípios de Abaiara, Brejo Santo, Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Milagres e Potiretama de acordo com relação abaixo:

### Abaiara

- Assentamento Baixa Dantas; Sítio Capoeira.

### Brejo Santo

- Garanhuns/ Pau D'Arco.

### Barbalha

- Tupinambé II; JB Jeans; EPACE/EMBRAPA/FATEC.

### Crato

- Engenho Brigadeiro; Santa Rosa/SAEAC; Woojin; DER; Sítio Alto/SISAR; SESI; Secretaria de Agricultura.

### Juazeiro do Norte

- Vila Sto. Antonio/SISAR; Faz. Boca das Cobras; Rodoviária Pe. Cícero; Centro de Integração.

### Missão Velha

- Chiqueiro das Cabras/SISAR; Sítio Logradouro/SISAR; Sítio Cachoeira; Sítio Barreiras; Olho D'Água Cumprido/SISAR.

### Milagres

- Carnaúba dos Lacerdas.

### Potiretama

- Sítio Abreu.

### Estação Assentamento Baixa Dantas

A estação de monitoramento instalada no assentamento Baixa Dantas localiza-se no município de Abaiara. A água é usada para abastecimento humano, explorada do aquífero Missão Velha. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/ABA/0001
Localização
Abaiara
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.190.957
Longitude: 495.916



### Estação Assentamento Sítio Capoeira

A estação de monitoramento instalada no Sítio Capoeira localiza-se no município de Abaiara. A água desse poço é usada para abastecimento humano, explorada do aquífero Abaiara. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/ABA/0002
Localização
Abaiara
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.186.612
Longitude: 494.145



### Estação Garanhuns/Pau D'Arco

A estação de monitoramento Garanhuns/Pau D'Arco localiza-se no município de Brejo Santo. A água desse poço é usada para abastecimento humano, sendo explorada do Aquífero Missão Velha. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/BJS/0001
Localização
Brejo Santo
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.172.385
Longitude: 503.763



### Estação Tupinambá II

A estação de monitoramento Tupinambá II localiza-se no município de Barbalha. A água desse poço é usada para abastecimento público e o aquífero monitorado é o Rio da Bateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.



Código do Cadastro de Poços
COG/BAR/0001
Localização
Barbalha
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.191.711
Longitude: 465.623

### Estação JB - Jeans do Brasil

A estação de monitoramento Jeans do Brasil - JB localiza-se no município de Barbalha. A água desse poço tem uso industrial e o monitoramento é do sistema aquífero Rio da Bateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.



Código do Cadastro de Poços
COG/BAR/0002
Localização
Aracati
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.193.548
Longitude: 465.175

### Estação EPACE/EMBRAPA/FATEC

A estação de monitoramento Alto da Cheia 2 localiza-se no município de Barbalha. A água desse poço é usada para irrigação e o monitoramento é do aquífero Rio da Bateira. Nesta estação são monitorados: nível da água, volume explorado, temperatura do solo e pluviometria.



Código do Cadastro de Poços
COG/BAR/0003
Localização
Barbalha
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.193.631
Longitude: 465.175

### Estação Engenho Brigadeiro

A estação de monitoramento Engenho Brigadeiro localiza-se no município de Crato. A água desse poço tem uso industrial e o monitoramento é do aquífero Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/CRT/0001
Localização
Crato
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.201.837
Longitude: 456.231



### Estação DER

A estação de monitoramento DER localiza-se no município de Crato. A água desse poço é usada para abastecimento humano e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/CRT/0004
Localização
Crato
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.199.989
Longitude: 454.458



### Estação Santa Rosa/SAaec

A estação de monitoramento Santa Rosa/SAaec localiza-se no município de Crato. A água desse poço é usada para abastecimento público e o monitoramento é do aquífero Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/CRT/0002
Localização
Crato
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.197.545
Longitude: 461.212



### Estação Sítio Alto (SISAR)

A estação de monitoramento Sítio Alto (SISAR) localiza-se no município de Crato, a água desse poço é usada para abastecimento humano e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/CRT/0005
Localização
Crato
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.202.250
Longitude: 459.613



### Estação Woojin

A estação de monitoramento Woojin localiza-se no município do Crato. A água desse poço tem uso industrial e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água, temperatura do solo, pluviometria e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/CRT/0003
Localização
Crato
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.200.515
Longitude: 458.560



### Estação SESI

A estação de monitoramento SESI localiza-se no município de Crato. A água desse poço é usada para abastecimento humano e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/CRT/0006
Localização
Crato
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.201.195
Longitude: 456.359



### Estação Secretaria da Agricultura

A estação de monitoramento Secretaria da Agricultura localiza-se no município de Crato. A água desse poço é usada para abastecimento público e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/CRT/0007
Localização
Crato
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.200.566
Longitude: 455.582



### Estação Rodoviária Pe. Cícero

A estação de monitoramento Rodoviária Pe. Cícero localiza-se no município de Juazeiro do Norte. A água desse poço é usada para abastecimento humano e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/JUN/0003
Localização
Juazeiro do Norte
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.201.152
Longitude: 464.453



### Estação Vila Santo Antonio/SISAR

A estação de monitoramento Vila Santo Antonio/SISAR localiza-se no município de Juazeiro do Norte. A água desse poço é usada para abastecimento público e o aquífero monitorado é o Missão Velha. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/JUN/0001
Localização
Juazeiro do Norte
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.206.529
Longitude: 469.922



### Estação Centro de Integração

A estação de monitoramento Centro de Integração localiza-se no município de Juazeiro do Norte. A água desse poço é usada para abastecimento humano e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/JUN/0004
Localização
Juazeiro do Norte
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.200.852
Longitude: 467.855



### Estação Boca das Cobras

A estação de monitoramento Boca das Cobras localiza-se no município de Juazeiro do Norte. A água desse poço é usada para irrigação e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/JUN/0002
Localização
Juazeiro do Norte
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.205.713
Longitude: 465.821



### Estação Chiqueiro das Cabras/SISAR

A estação de monitoramento Chiqueiro das Cabras/SISAR localiza-se no município de Missão Velha. A água desse poço é usada para abastecimento público e o sistema aquífero monitorado é o Médio. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explorado.

Código do Cadastro de Poços
COG/MIV/0001
Localização
Missão Velha
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.189.222
Longitude: 477.381



### Estação Sítio Logradouro/SISAR

A estação de monitoramento Sítio Logradouro/SISAR localiza-se no município de Missão Velha. A água desse poço é usada para abastecimento público e o aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/MIV/0002
Localização
Quixeré
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.194.422
Longitude: 482.790



### Estação Sítio Cachoeira

A estação de monitoramento Sítio Cachoeira localiza-se no município de Missão Velha. A água desse poço é usada para abastecimento humano e o aquífero monitorado é o Mauriti. Nessa estação são monitorados: nível da água, temperatura do solo, pluviometria e volume explotado.

Código do Cadastro de Poços
COG/MIV/0003
Localização
Missão Velha
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.202.774
Longitude: 483.565



### Estação Sítio Barreiras

A estação de monitoramento instalada no Sítio Barreiras localiza-se no município de Missão Velha. A água desse poço é usada para irrigação. O aquífero monitorado é o Rio da Batateira. Nessa estação são monitorados: nível da água, volume explotado, temperatura do solo e pluviometria.

Código do Cadastro de Poços
COG/MIV/0004
Localização
Missão Velha
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.186.739
Longitude: 476.020



### Estação Olho D'Água Cumprido/SISAR

A estação de monitoramento Olho D'Água Cumprido/SISAR localiza-se no município de Missão Velha. A água desse poço é usada para abastecimento público e o aquífero monitorado é o Missão Velha. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.



Código do Cadastro de Poços
COG/MIV/0005
Localização
Missão Vela
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.197.206
Longitude: 490.024

### Estação Carnaúba dos Lacerdas

A estação de monitoramento Carnaúba dos Lacerdas localiza-se no município de Missão Velha. A água desse poço é usada para abastecimento público, sendo monitorado o Sistema Aquífero Médio. Nessa estação são monitorados: nível da água, temperatura do solo, pluviometria e volume explotado.



Código do Cadastro de Poços
COG/MIL/0001
Localização
Milagres
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.187.918
Longitude: 514.056

### Estação Sítio Abreus

A estação de monitoramento Sítio Abreus localiza-se no município de Porteiras. A água desse poço é usada para abastecimento público, sendo monitorado o Sistema Aquífero Médio. Nessa estação são monitorados: nível da água e volume explotado.



Código do Cadastro de Poços
COG/POT/0001
Localização
Porteiras
Coordenadas – UTM – SAD 69
Latitude: 9.166.424
Longitude: 493.809

## Discussões

Neste relatório foram apresentadas as 24 estações de monitoramento através de *datalogger* dos aquíferos da Bacia do Araripe no estado do Ceará, uma das atividades previstas no projeto Plano de Monitoramento e Gestão dos Aquíferos da Bacia do Araripe, estado do Ceará. Além do conhecimento do comportamento dos

aquíferos, será possível elaborar uma série histórica com dados de variação dos níveis da água, volume explorado, pluviometria e temperatura do solo. Assim, pode-se traçar um plano de gerenciamento eficiente dos recursos hídricos subterrâneos na região facilitando a tomada de decisão por parte do órgão gestor.



## Análise do Monitoramento Quantitativo por *Datalogger*

O monitoramento através de *datalogger* permite a acumulação de dados em tempo real, ou seja, apresenta com fidelidade o comportamento do nível da água, data, hora, vazão e volume acumulado. Neste item se faz uma apresentação preliminar dos 24 poços monitorados por *datalogger* instalados em poços que captam água do Sistema Aquífero Médio e Mauriti. Cada poço tem o seu número de registro, chamado de ID (identificação) que é um número único para o *software* desenvolvido para o campo e o de processamento.

Como os dados são acumulados a cada hora, optou-se utilizar valores médios mensais da variação do nível e da precipitação e a média diária do nível d'água e vazão explorada. O volume apresentado é o acumulado do mês, de forma que os valores correspondem aos cinco meses monitorados.

A seguir são apresentadas figuras que mostram a correlação temporal do nível d'água com a precipitação e outro da vazão explorada com nível d'água; registrados em *datalogger* de agosto a dezembro de 2009.

A Figura 4.81a apresenta a variação do nível d'água correlacionado com a pluviometria ocorrida no segundo semestre, onde a precipitação é comumente baixa, esse período corresponde à estação conhecida como seca. A carga hidráulica máxima foi de 0,50m entre os meses de agosto a dezembro; os valores registrados indicam que o poço mesmo em bombeamento não ocorrem grandes rebaixamentos. Na Figura 4.81b pode se visualizar o comportamento da água no poço antes e durante o bombeamento de acordo com a escala usada para cada parâmetro; o volume retirado registrado durante os cinco meses foi de 10.287m<sup>3</sup>. No geral, o poço é bombeado seis dias por semana como pode ser visto no gráfico; de acordo com informações do proprietário o poço é ligado em média 8 horas/dia. O nível estático desse poço é 6,30m e o nível dinâmico 8,14m, a vazão de produção do poço é 15,20m<sup>3</sup>/h, conforme os dados construtivos.

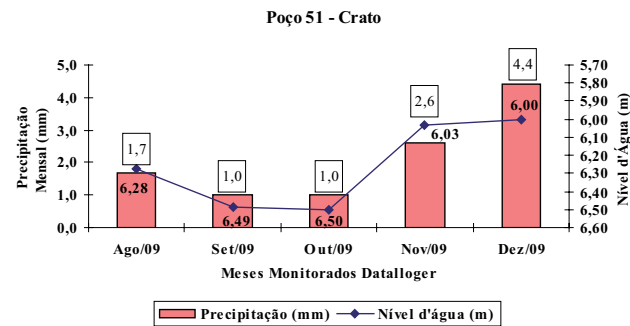


Figura 4.81a- Comportamento do nível d'água x precipitação no poço 51, Crato.

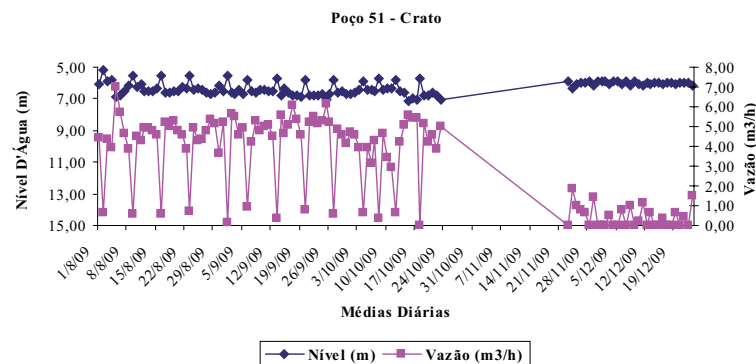


Figura 4.81b- Oscilação do nível d'água x vazão explotada, poço 51, Crato.

Na Figura 4.82a verifica-se que não houve variação do nível d'água, considerando a média mensal, já na Figura 4.82b percebe-se que a vazão média diária bombeada varia de 3,00 a 4,00m<sup>3</sup>/h e a variação máxima registrada do nível foi de 1,10m, no mês de agosto. O volume retirado registrado foi de 14.420m<sup>3</sup>. O nível estático desse poço é 43,00m e o dinâmico de 51,36m; vazão de 11,31m<sup>3</sup>/h, de acordo com os dados do teste de vazão. Segundo informação do responsável, o poço é bombeado 14 horas/dia.

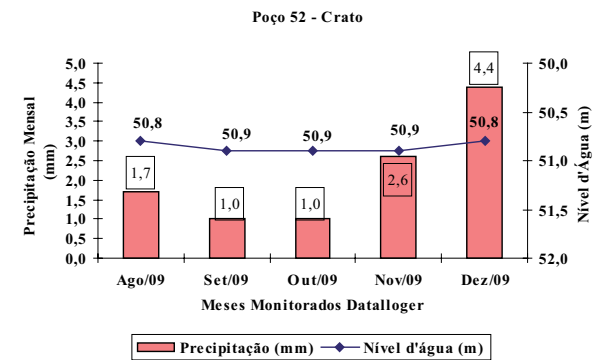


Figura 4.82a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 52, Crato.

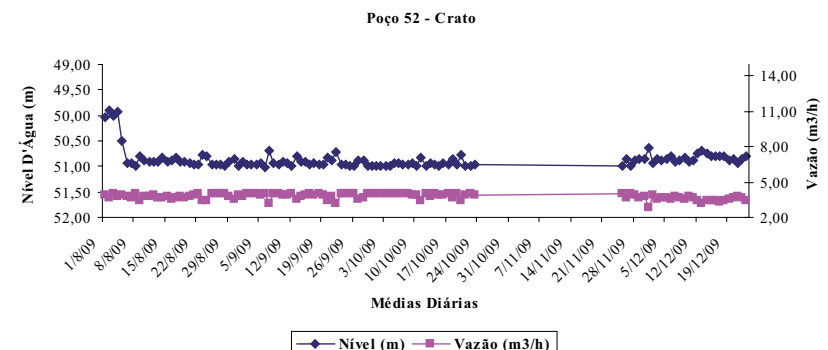


Figura 4.82b- Oscilação do nível d'água x vazão explotada, poço 52, Crato.

No poço 53 (Figura 4.83a) observa-se que a variação foi mínima durante os cinco meses de acompanhamento, considerando a média mensal. Na Figura 4.83b os valores estão por média diária, dessa forma o nível d'água variou de 50,89 a 51,21; o poço é bombeado, em geral de dois em dois dias nos meses de agosto e setembro, nos meses seguintes o bombeamento é mais constante; a vazão média explotada foi de 2,92m<sup>3</sup>/h; e o volume retirado durante os cinco meses foi de 4.040m<sup>3</sup>. O nível estático é 51,12m, o dinâmico de 53,00m e a vazão 12,00m<sup>3</sup>/h, neste caso, também a variação é muito pequena.

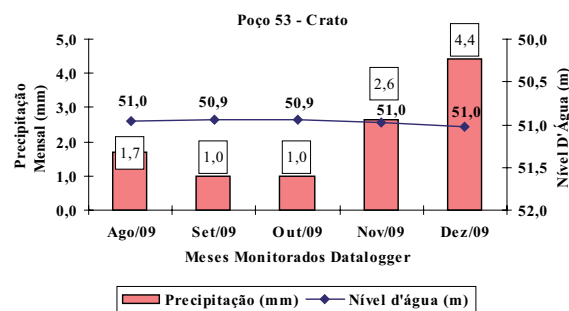


Figura 4.83a- Comportamento do nível d'água x precipitação no poço 53, Crato.

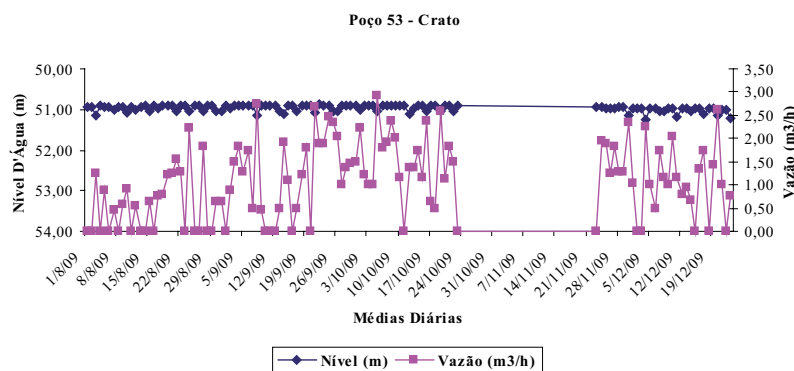


Figura 4.83b- Oscilação do nível d'água x vazão explotada, poço 53, Crato.

O poço 54 (Figura 4.84a) mostra que a variação média mensal do nível d'água foi de 0,65m no período monitorado; percebe-se que a tendência do nível é baixar gradativamente durante o segundo semestre. Na Figura 4.84b observa-se a variação média diária da vazão e do nível d'água, onde a vazão máxima retirada foi de 2,75m<sup>3</sup>/h e o nível máximo variou em 1,19m; o volume registrado foi de 2.120m<sup>3</sup>. De acordo com o relatório de construção, o poço tem vazão de 65,00m<sup>3</sup>/h, o NE é 28,00m e ND 31,00m.

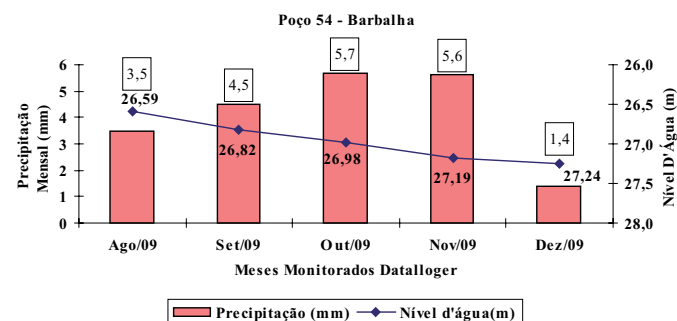


Figura 4.84a- Comportamento do nível d'água x precipitação no poço 54, Barbalha.

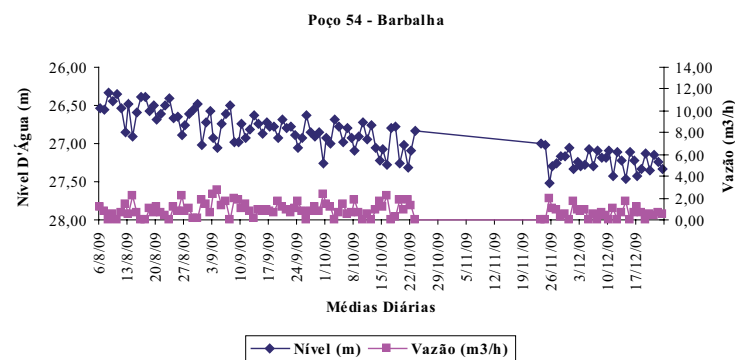


Figura 4.84b- Comportamento do nível d'água x vazão no poço 54, Barbalha.

Na Figura 4.85a visualiza-se a variação máxima ocorrida no poço 55 durante os meses observados, que foi de 2,00m, considerando a média mensal, enquanto que a Figura 4.85b mostra que o nível dinâmico chega até 35,2m para uma vazão de 6,7m<sup>3</sup>/h e o nível estático não apresenta variação, então o poço é pouco bombeado. O volume retirado durante os cinco meses foi de 2.931m<sup>3</sup>. O nível estático é 20,05m, o dinâmico de 21,28m e a vazão 5,07m<sup>3</sup>/h.

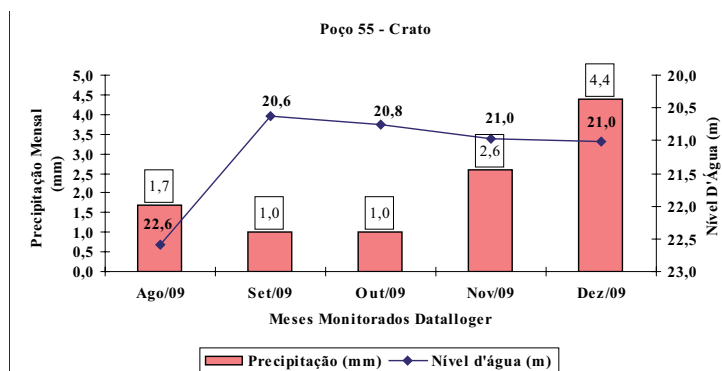


Figura 4.85a- Comportamento do nível d'água x precipitação no poço 55, Crato.

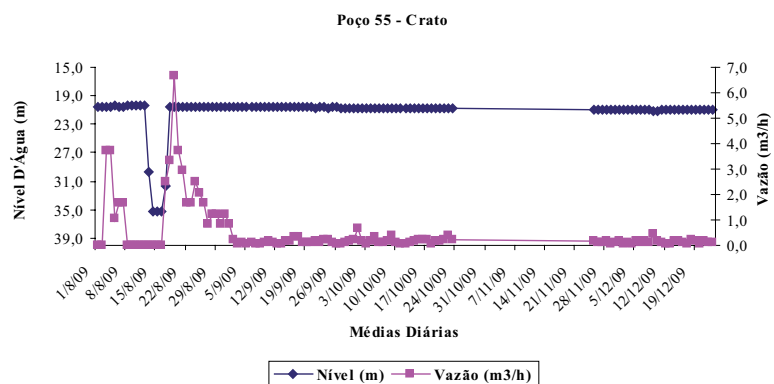


Figura 4.85b- Comportamento do nível d'água x vazão no poço 55, Crato.

O nível d'água médio mensal observado na Figura 4.86a variou no máximo 0,4m nos meses monitorados. A Figura 4.86b mostra que o poço geralmente é bombeado uma vez por semana e a vazão explotada é insignificante. O volume registrado durante os cinco meses monitorados foi 313m<sup>3</sup>. O nível estático desse poço é 27,60m e o dinâmico de 28,90m, vazão de 18,00m<sup>3</sup>/h.

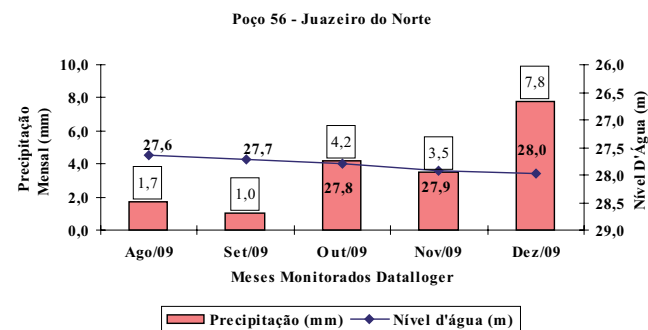


Figura 4.86a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 56, Juazeiro do Norte.

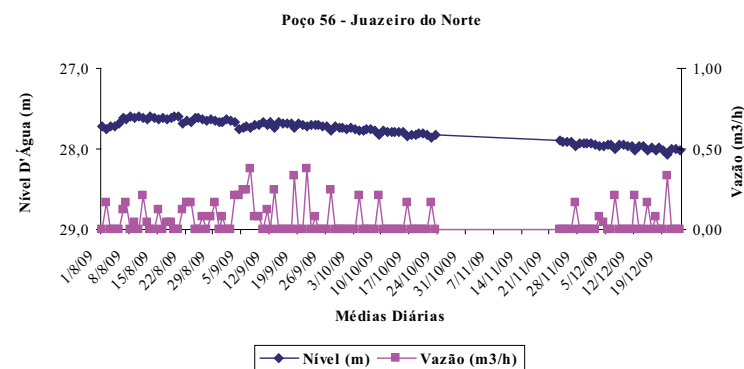


Figura 4.86b- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 56, Juazeiro do Norte.

A Figura 4.87a apresenta a variação média mensal do nível d'água no poço 57, onde se percebe que o rebaixamento máximo ocorrido foi de 4,40m, entre os meses de setembro e dezembro, enquanto que a Figura 4.87b mostra valores médios diários de NE 7,84m e ND 16,77m para uma vazão de 31,2m³/h. De acordo com relatório construtivo do poço, 7,88m (NE); 25,19 (ND) e vazão 43,00m³/h. O volume explotado durante os cinco meses foi de 34.268m³. De acordo com informações do responsável, o poço é bombeado em média 20 horas por dia, quando se inicia o ciclo das culturas.

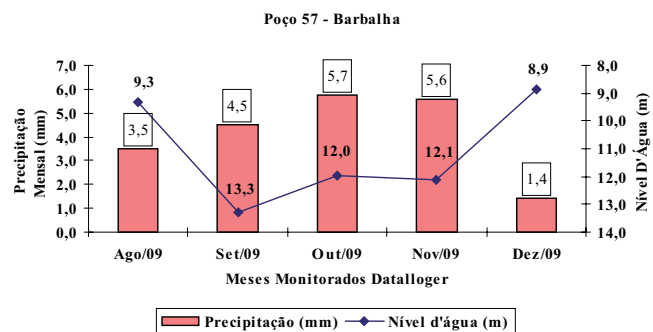


Figura 4.87a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 57, Barbalha.

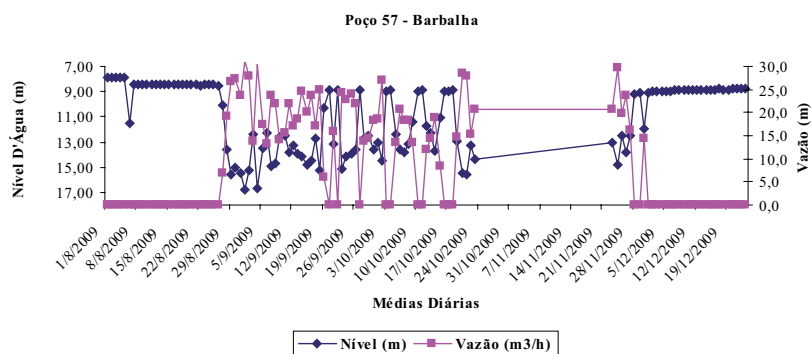


Figura 4.87b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 57, Barbalha.

A Figura 4.88a apresenta a variação média mensal do nível d'água no poço 58, onde se verificou rebaixamento máximo de 4,90m, entre os meses de setembro e outubro; o ND médio diário máximo foi de 35,5m; NE de 13,50m e vazão 27,00m³/h, conforme Figura 4.88b. O volume explotado durante os cinco meses foi de 47.599m³. De acordo com informações do responsável, o poço é bombeado em média 20 horas/dia, sendo confirmado pelo monitoramento.

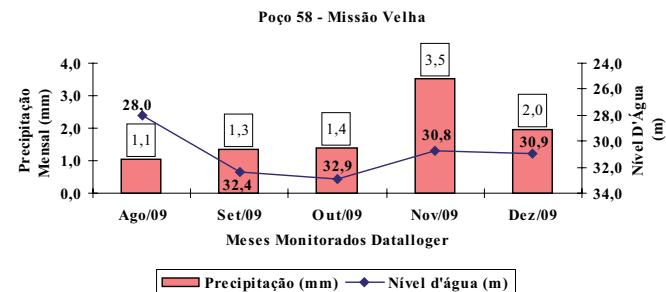


Figura 4.88a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 58, Missão Velha.

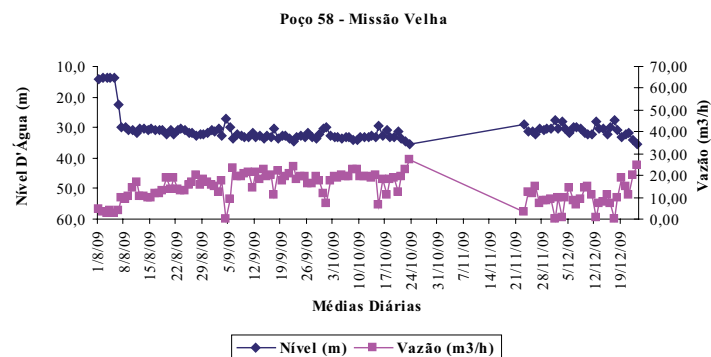


Figura 4.88b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 58, Missão Velha.

Na Figura 4.89a observa-se a variação média mensal do nível d'água no poço 59, onde se verificou que o rebaixamento é insignificante. Na Figura 4.89b mostra o ND médio diário máximo de 14,22m e vazão 3,75m<sup>3</sup>/h, esse poço é bombeado diariamente. O volume explotado durante os cinco meses foi de 7.434m<sup>3</sup>.

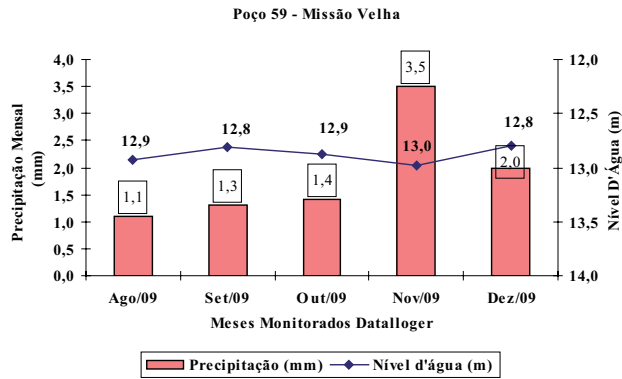


Figura 4.89a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 59, Missão Velha.

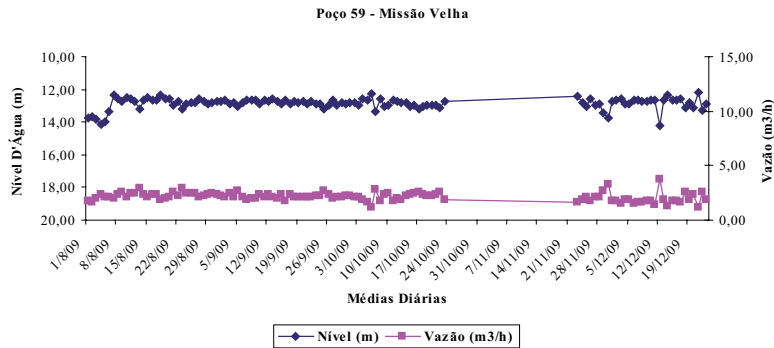


Figura 4.89b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 59, Missão Velha.

Na Figura 4.90a, a variação média mensal do nível d'água no poço 60 oscilou de 12,00 a 13,20m, nos meses de agosto a dezembro, respectivamente, tendo carga máxima de 1,20m. A Figura 4.90b mostra que o poço é bombeado todos os dias, o nível d'água varia de 11,33 a 14,19m, a vazão máxima explotado foi de 6,14m<sup>3</sup>/h e o volume retirado durante os cinco meses foi 13.881m<sup>3</sup>.

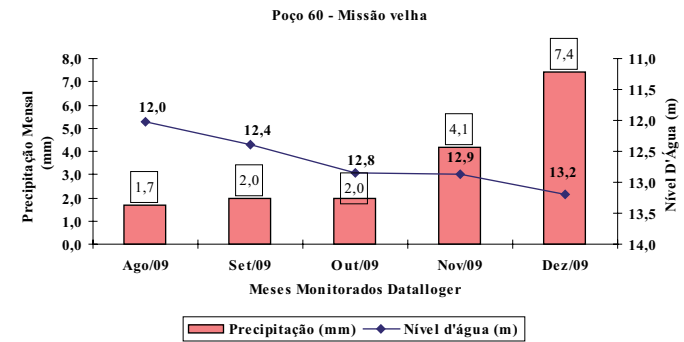


Figura 4.90a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 60, Missão Velha.

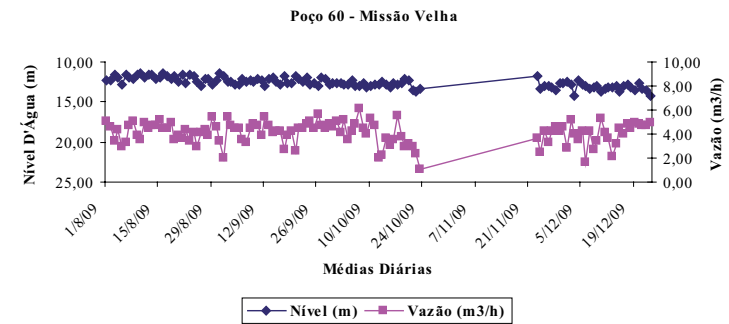


Figura 4.90b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 60, Missão Velha.

A Figura 4.91a apresenta a variação média mensal do nível d'água no poço 61, onde se percebe que o rebaixamento máximo ocorrido foi 1,50m, entre os meses de agosto e outubro; enquanto que na Figura 4.91b o valor médio diário máximo ficou em 31,94m para uma vazão de 9,21m<sup>3</sup>/h; o volume explotado durante os cinco meses foi de 23.091m<sup>3</sup>.

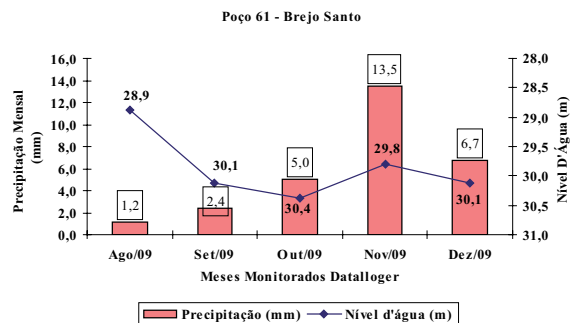


Figura 4.91a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 61, Brejo Santo.

O poço 62 (Figura 4.92a) mostra que a variação média mensal do nível d'água foi de 2,90m no período monitorado. Na Figura 4.92b em geral o nível médio diário oscila de 13 a 14m, porém quando a retirada é maior, 16,67m<sup>3</sup>/h, o nível cai para 33,64m; o volume explotado durante os cinco meses foi 10.616m<sup>3</sup>.

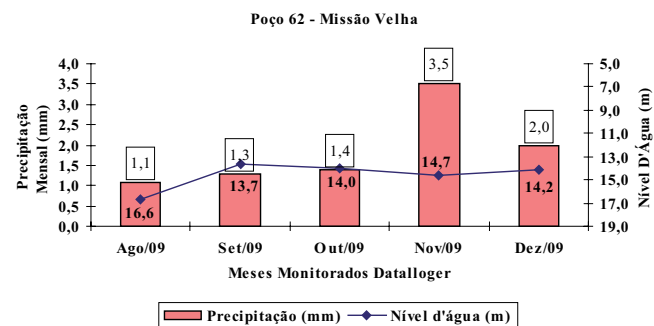


Figura 4.92a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 62, Missão Velha.

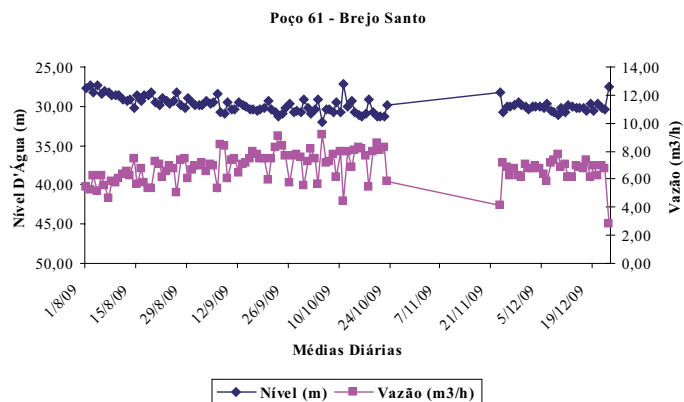


Figura 4.91b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 61, Brejo Santo.

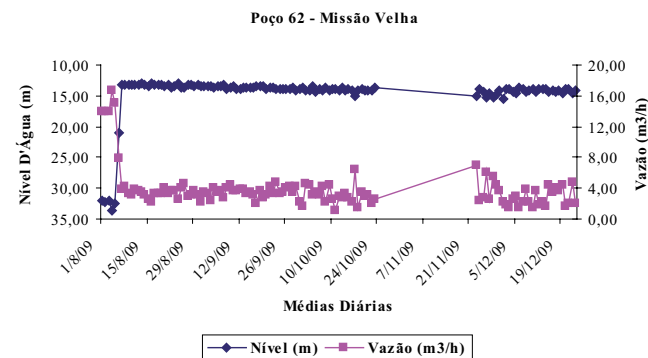


Figura 4.92b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 62, Missão Velha.

A Figura 4.93a mostra que a variação média mensal ocorrida no poço 63 foi insignificante durante os meses monitorados, enquanto que na Figura 4.93b visualiza-se que o poço é diariamente bombeado e que a vazão média diária é baixa, em torno de 3,33m<sup>3</sup>/h (máximo registrado). O volume explotado durante os cinco meses foi de 10.437m<sup>3</sup>. O nível estático é 20,05m, o dinâmico de 21,28m e a vazão 5,07m<sup>3</sup>/h. Segundo informação do responsável, o poço é bombeado 12 horas por dia.

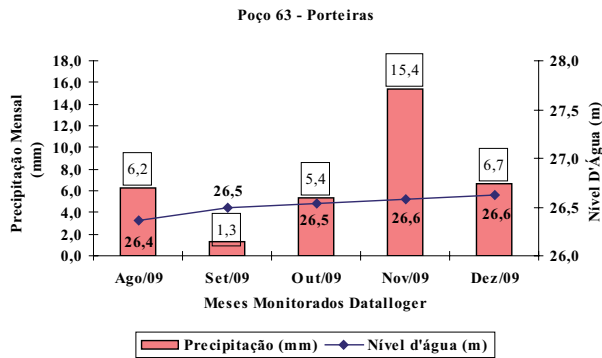


Figura 4.93a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 63, Porteiras.

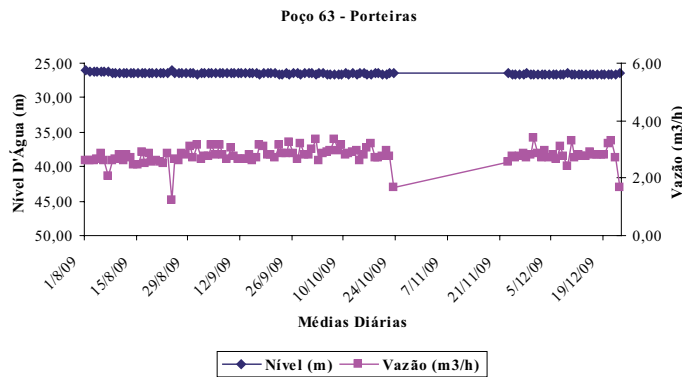


Figura 4.93b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 63, Porteiras.

A variação média mensal do nível d'água no poço 64 foi 3,30m entre agosto e dezembro refletindo a sazonalidade (Figura 4.94a). Na Figura 4.94b visualiza-se que o poço é bombeado diariamente e que a vazão média diária máxima é aproximadamente 4m<sup>3</sup>/h, enquanto que o nível d'água oscila de 10,90 a 18,75m. o volume explotado durante os cinco meses foi de 10.682m<sup>3</sup>.

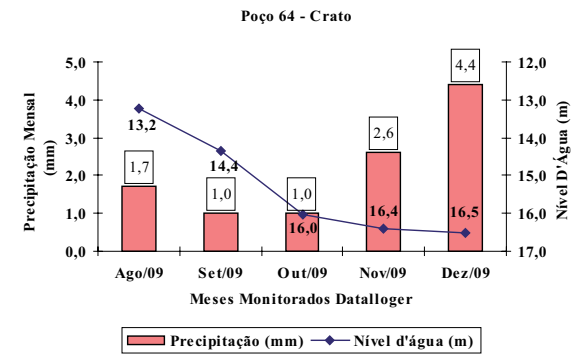


Figura 4.94a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 64, Crato.

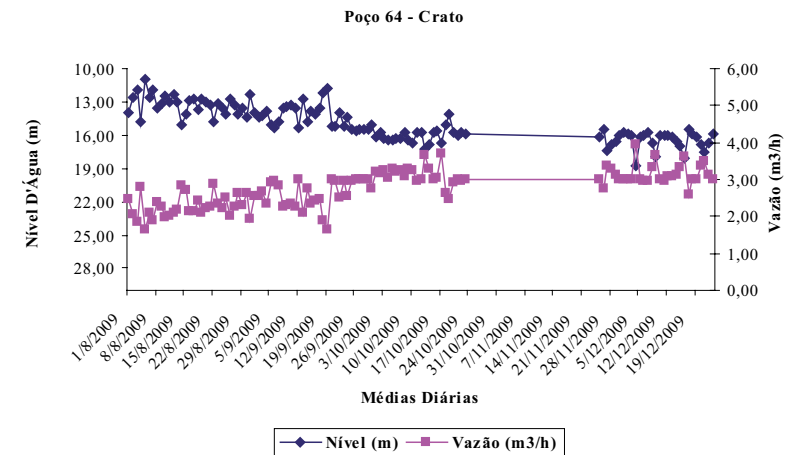


Figura 4.94b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 64, Crato.

A Figura 4.95a apresenta a variação média mensal máxima do nível d'água do poço 65 de 3,10m entre os meses de outubro e novembro; já a Figura 4.95b mostra que a vazão é muito baixa; o NE é 5,35m e o ND 19,69m; visualiza-se que o poço é diariamente bombeado. O volume explotado durante os cinco meses foi de 4.951m<sup>3</sup>. Segundo informação do responsável, o poço é bombeado nove horas por dia.

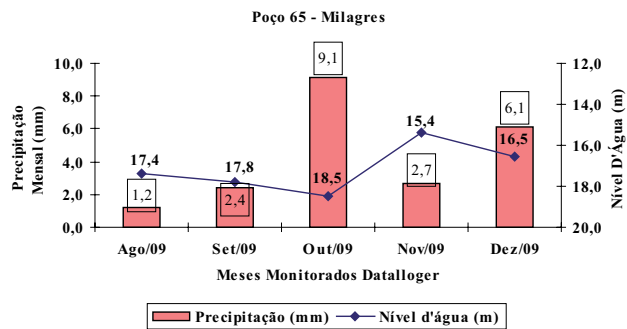


Figura 4.95a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 65, Milagres.

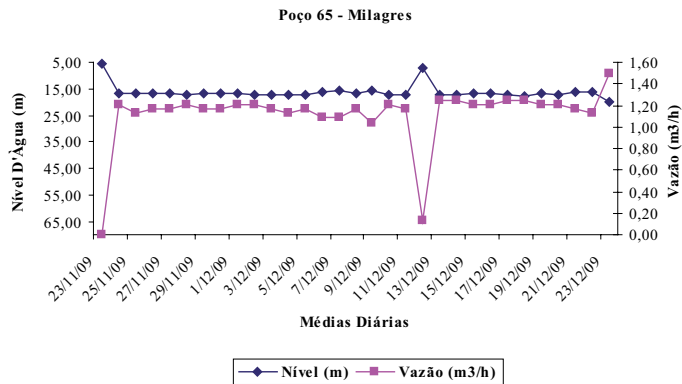


Figura 4.95b - Comportamento do nível d'água x vazão, poço 65, Milagres.

A variação média mensal máxima do nível d'água no poço 66 foi 3,00m entre agosto e novembro (Figura 4.96a). Na Figura 4.96b visualiza-se que o poço é bombeado diariamente e que a vazão é muito baixa, o nível d'água oscila de 9,00 a 15,00m; o volume explotado durante os cinco meses foi de 5.501m<sup>3</sup>.

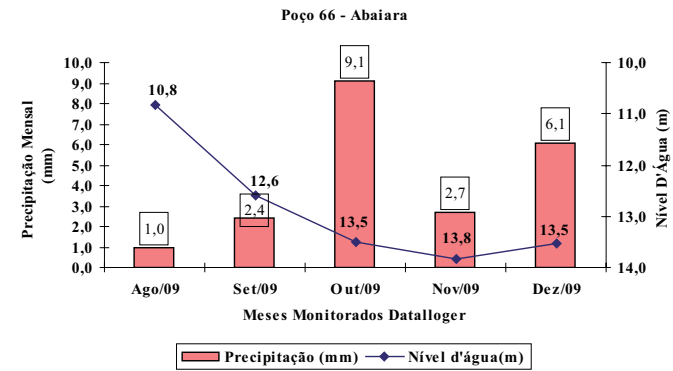


Figura 4.96a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 66, Abaiara.

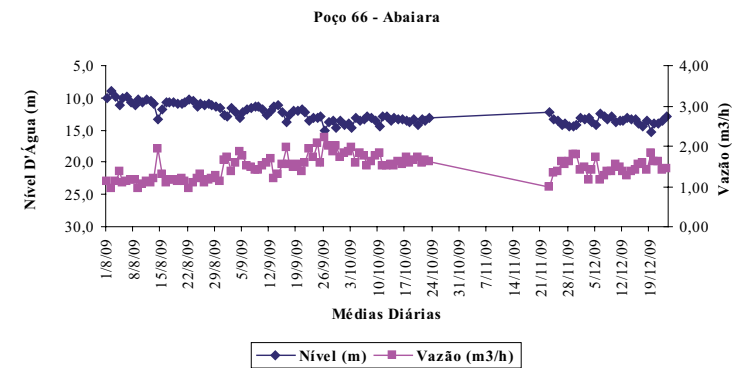


Figura 4.96b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 66, Abaiara.

O poço 67 da Figura 4.97a mostra que a variação média mensal máxima do nível d'água foi 2,10m no período monitorado. Na Figura 4.97b, o NE registrado é de 59m e o ND 66,17m, a vazão é muito baixa. O volume retirado foi 1.164m<sup>3</sup>.

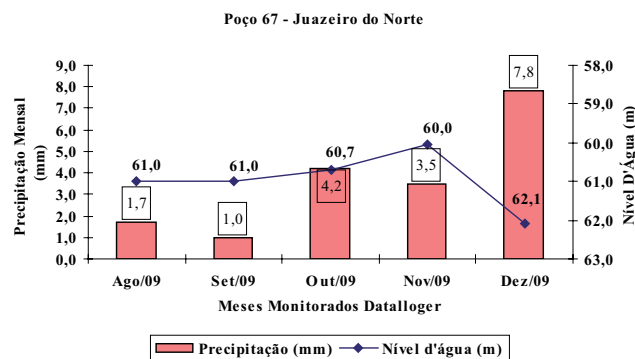


Figura 4.97a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 67, Juazeiro do Norte.

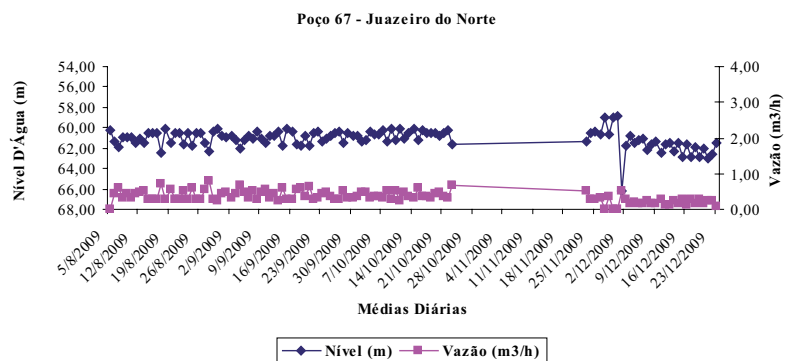


Figura 4.97b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 67, Juazeiro do Norte.

Os dados de nível d'água do poço 68 de Juazeiro do Norte não foram suficientes para fazer a média mensal e elaborar o gráfico de nível d'água com a precipitação, porém, seguindo a padronização do relatório, a Figura 4.98 mostra que as variações médias diárias do nível d'água e da vazão são baixas assim, porém não sendo possível fazer avaliação mais adequada. O volume retirado foi 463m<sup>3</sup>.

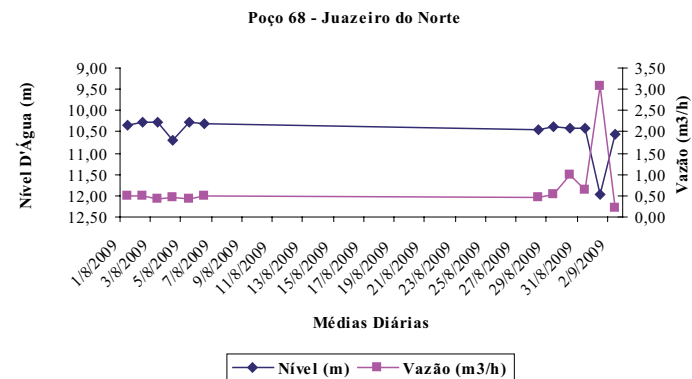


Figura 4.98- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 68, Juazeiro do Norte.

Conforme a Figura 4.99a, a variação média mensal do nível d'água no poço 69 foi 0,40m entre setembro e novembro. Na Figura 4.99b visualiza-se que o poço é bombeado diariamente e que o nível d'água varia de 17,5 a 20,9m; a vazão média diária máxima é 5m³/h; o volume explotado durante os cinco meses foi de 9.953m³.

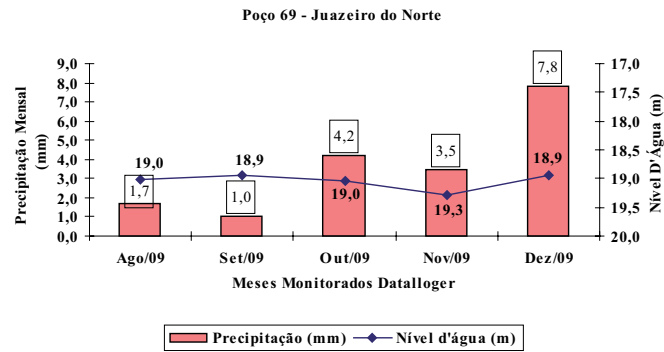


Figura 4.99a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 69, Juazeiro do Norte.

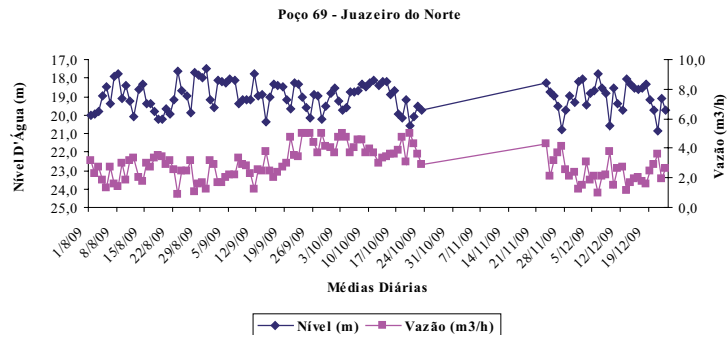


Figura 4.99b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 69, Juazeiro do Norte.

A variação média mensal do nível d'água ocorrida no poço 70 (Figura 4.100a) foi 0,90m entre os meses de agosto e setembro. A Figura 4.100b mostra que o poço não foi bombeado durante o período monitorado, o rebaixamento percebido é em função da sazonalidade, ou seja, está representado o nível freático.

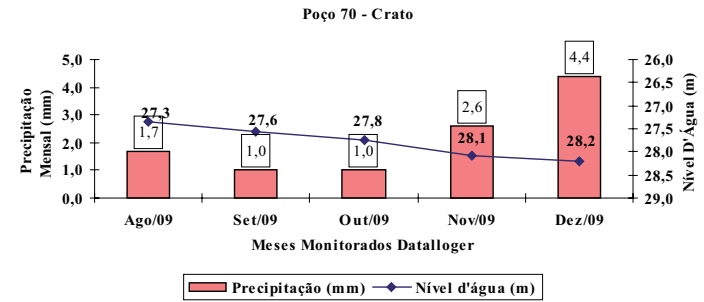


Figura 4.100a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 70, Crato.

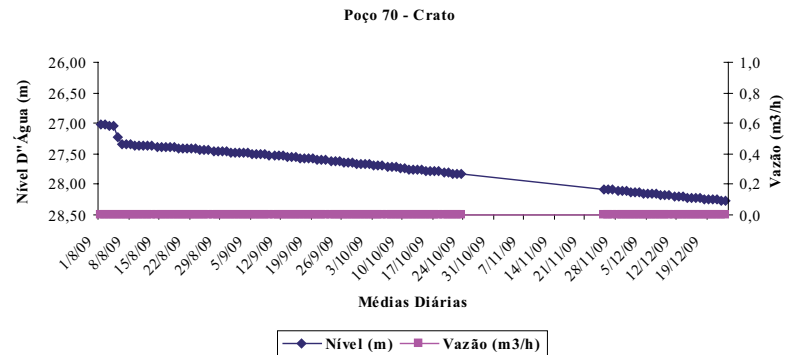


Figura 4.100b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 70, Crato.

O poço 71 (Figura 4.101a) apresentou oscilação média mensal do nível d'água de 5,00m entre agosto e dezembro, representando rebaixamento significativo no período de registro dos dados. A Figura 4.101b mostra que o poço é diariamente bombeado; a vazão explotada varia de 3 a 4m<sup>3</sup>/h e o nível d'água oscila com certa constância de valores. O volume explotado desse poço foi 6.628m<sup>3</sup>.

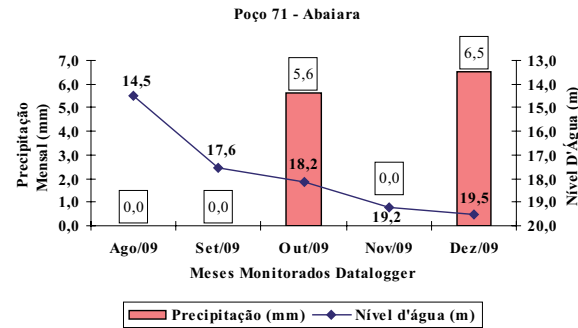


Figura 4.101a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 71, Abaiara.

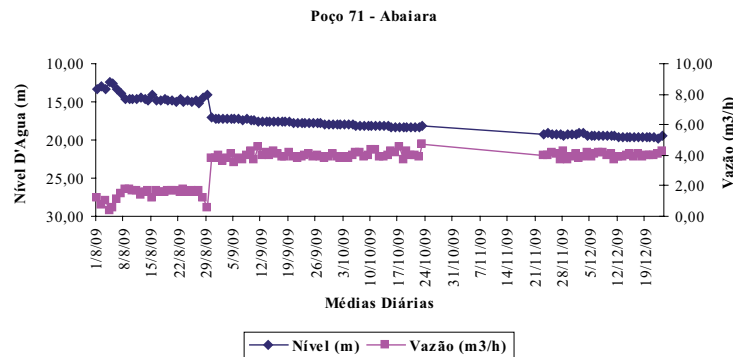


Figura 4.101b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 71, Abaiara.

No poço 72 visualiza-se a variação média mensal do nível d'água foi 0,50m (Figura 4.102a). A Figura 4.102b mostra que o poço foi bombeado todos os dias, durante os meses monitorados; o nível oscila de 1,81 a 3,26m; a vazão retirada é baixa, em torno de 4m<sup>3</sup>/h. O volume explotado nos cinco meses monitorados foi 10.254m<sup>3</sup>. De acordo com os dados construtivos do poço, o NE é 1,75m, ND 13,80m e Vazão 52,00m<sup>3</sup>/h.

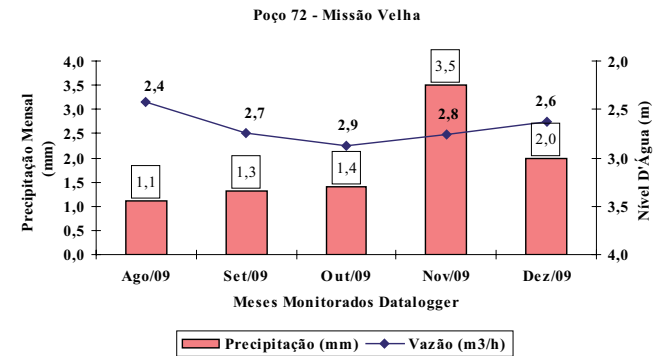


Figura 4.102a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 72, Missão Velha.

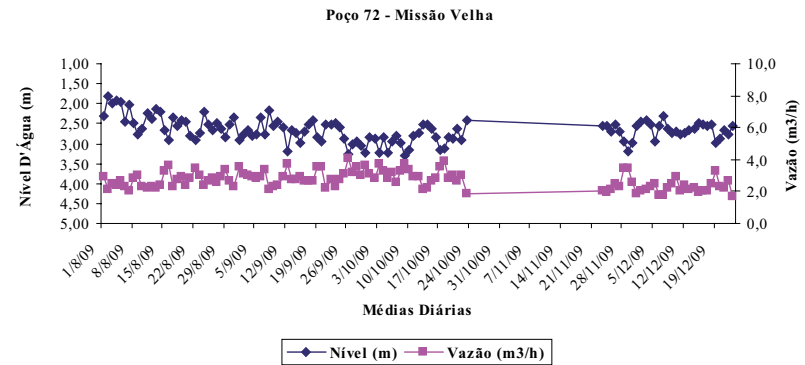


Figura 4.102b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 72, Missão Velha.

O poço 73 representado na Figura 4.103a mostra que a variação média mensal do nível d'água foi de 0,40m e que a oscilação é compatível com os meses de baixa precipitação. Na Figura 4.103b observa-se que o poço não foi bombeado no período monitorado, porém o nível apresenta oscilações que refletem a sazonalidade e o bombeamento.

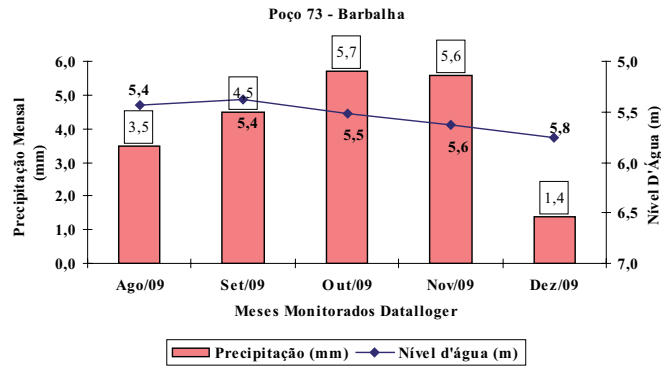


Figura 4.103a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 73, Barbalha.

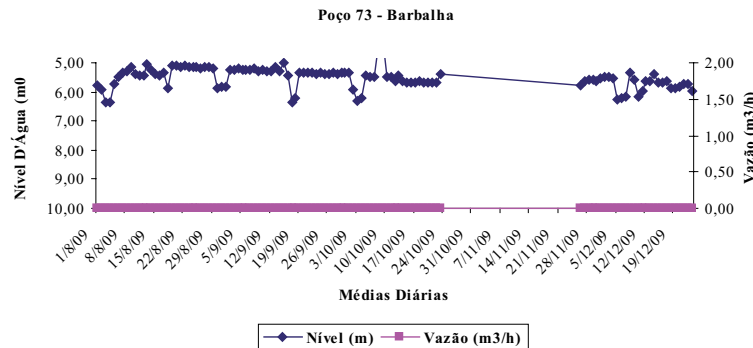


Figura 4.103b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 73, Barbalha.

A Figura 4.104a mostra que a variação média mensal do nível d'água foi de 1,20m entre os meses de agosto e novembro, enquanto que na Figura 4.104b visualiza-se que o poço é bombeado diariamente e o nível oscila de 18,5 a 21,2m; a vazão máxima explorada registrada foi 4,00m³/h. O volume registrado foi de 3.992m³.

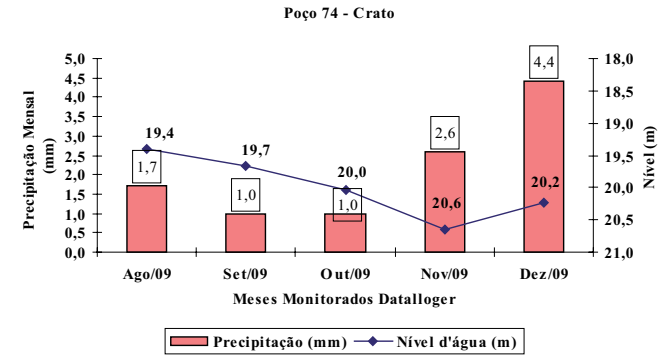


Figura 4.104a- Comportamento do nível d'água x precipitação, poço 74, Crato.

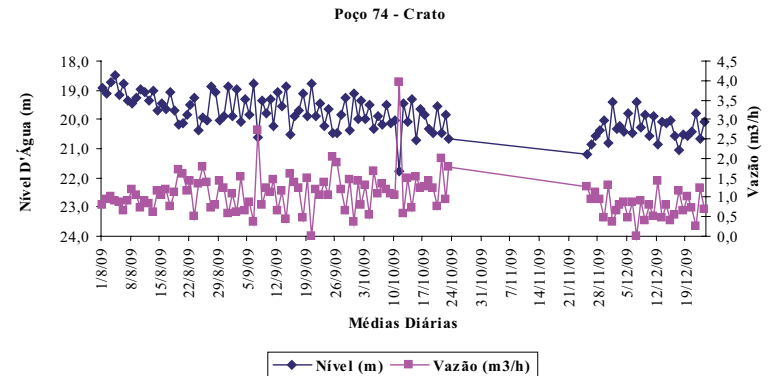


Figura 4.104b- Comportamento do nível d'água x vazão, poço 74, Crato.

O volume total registrado nos poços monitorados foi de 234.562m<sup>3</sup> durante os cinco meses de registro. A Figura 4.105 apresenta os volumes explorados por poço, apenas três poços não foram bombeados no período de monitoramento; o poço que ocorreu maior volume de exploração foi o de ID 58 cujo uso é na irrigação.

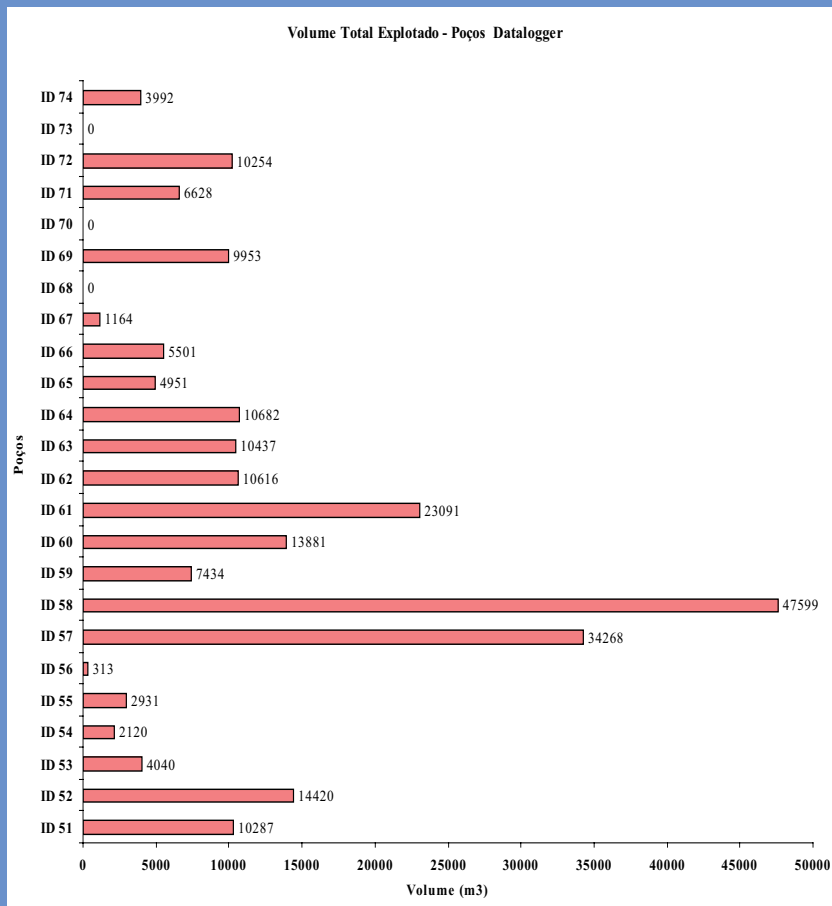


Figura 4.105 - Volume explorado registrado por *datalogger*.

## Discussões da Análise do Monitoramento por *Datalogger*

O monitoramento é uma ferramenta que retrata o comportamento dos aquíferos e os dados apresentados através do sistema de *datalogger*, registrado de forma horária, apresentam eficiência no registro de dados dos poços monitorados. Os gráficos mostram a variação do nível d'água correlacionado com a vazão a partir do momento exato em que o poço é ligado. Desta forma, tem-se o registro da vazão, do volume retirado, do nível estático e dos

níveis dinâmicos. Através destes registros obtém-se a variação sazonal do nível estático, esta não sendo bem representada neste relatório porque os dados são do segundo semestre do ano, que corresponde ao período seco. As variações dos níveis no monitoramento através de *datalogger* permitem dizer que os níveis d'água na região do Cariri não apresentam grandes rebaixamentos.

## Identificação de Áreas Irrigadas por Poços Tubulares que captam Água dos Sistemas Aquífero Médio e Inferior da Bacia do Araripe, Porção Ceará.

Para identificação, quantificação e análise das áreas irrigadas com água subterrânea na área de estudo, foram utilizadas técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto.

Uma das técnicas de sensoriamento remoto que tem sido mais utilizada é o imageamento da superfície terrestre por satélites com a extração de informações através de classificações visuais ou estatísticas. Vários métodos de classificação buscam identificar com precisão a informação de cada pixel da imagem, classificando-o em categorias de acordo com sua informação espectral. Os níveis de acurácia variam dependendo da abordagem utilizada pelo método e da especificação dos parâmetros de entrada.

O levantamento foi realizado utilizando-se as imagens CBERS 2B CCD disponíveis no catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br>). Foram avaliadas visualmente através dos *quicklooks* somente as cenas com cobertura de nuvens inferior ao limite de 10% em cada quadrante da imagem. Para cada órbita foram selecionadas pelo menos duas datas, uma adquirida na fase inicial de plantio e outra na fase de pleno desenvolvimento, a fim de permitir uma análise temporal das imagens.

Usou-se o *software* ARVIEW com extensão *Image Analysis* para tratamento e análise das imagens; inicialmente realizando o controle de posicionamento ou georreferenciamento das imagens com base nos dados do datum geodésico IBGE - SAD69, com precisão submétrica, obtida com o uso de um par de GPS geodésico LEICA 900CS; reestruturação da imagem através do melhoramento dos seus histogramas por derivação e uma classificação semicontrolada das poligonais das áreas irrigadas com um processo de máxima verossimilhança.

O método da Máxima Verossimilhança é o mais utilizado em sensoriamento remoto dentro da abordagem estatística. É um método considerado paramétrico, pois envolve parâmetros (vetor média e matriz de covariância) da distribuição gaussiana multivariada e é supervisionado, pois estima estes parâmetros através de amostras (ERBERT, 2001). Este método está presente em vários SIGs, mas o uso deste classificador apresenta algumas dificuldades na estimação de parâmetros; para que produza bons resultados, é necessário definir muito bem as áreas de amostragem, requerendo uma extensa seleção de píxeis (INPE, 2002).

Antes da checagem em campo das áreas irrigadas, foram realizadas entrevistas com agricultores, FETRAECE – Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado do Ceará, Câmeras Municipais e fornecedores de produtos para irrigação na região do Cariri. Juntamente com o banco de dados da COGERH (informações de outorga e licença de poços e fontes naturais) foi feita uma sobreposição nas imagens identificadas e a localização das áreas irrigadas em campo com GPS GARMIM ETREX.

Neste levantamento foram identificados 1.792,14 ha de áreas irrigadas exclusivas com águas dos poços do aquífero médio para fruticultura, floricultura e pastagem (exceto para cana-de-açúcar) distribuídas em oito municípios, Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Brejo Santo, Abaiara, Porteiras e Milagres; e, 613,57 ha irrigados com água do Aquífero Mauriti, onde podemos destacar as grandes áreas de cultivo de banana em Barbalha e Missão Velha e a diversidade de produtos em Porteiras, Brejo Santo e Crato.

Os levantamentos margearam os cursos de rios, canais e demais abastecimentos em condutos livres em uma distância aproximada de 500 metros do eixo. Foram mapeadas, em campo, apenas as áreas que apresentaram uso continuado de águas subterrâneas. As informações de campo foram utilizadas para a definição dos limites das áreas de irrigação e definição dos padrões de classificação supervisionada por estimativas de máxima verossimilhança. O fechamento das poligonais foi manual de forma a tentar minimizar o erro inerente ao método de classificação estatístico.

Neste levantamento foram identificados 2.405,71 ha de áreas irrigadas exclusivamente com água subterrânea, os municípios com maior concentração são Brejo Santo, Missão Velha e Mauriti, conforme Tabela 4.5 e Figura 4.106.

A área de cana de açúcar de acordo com dados informados pela Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Ceará – SDA soma 800,00 ha, a irrigação começando em junho e finalizando em dezembro.

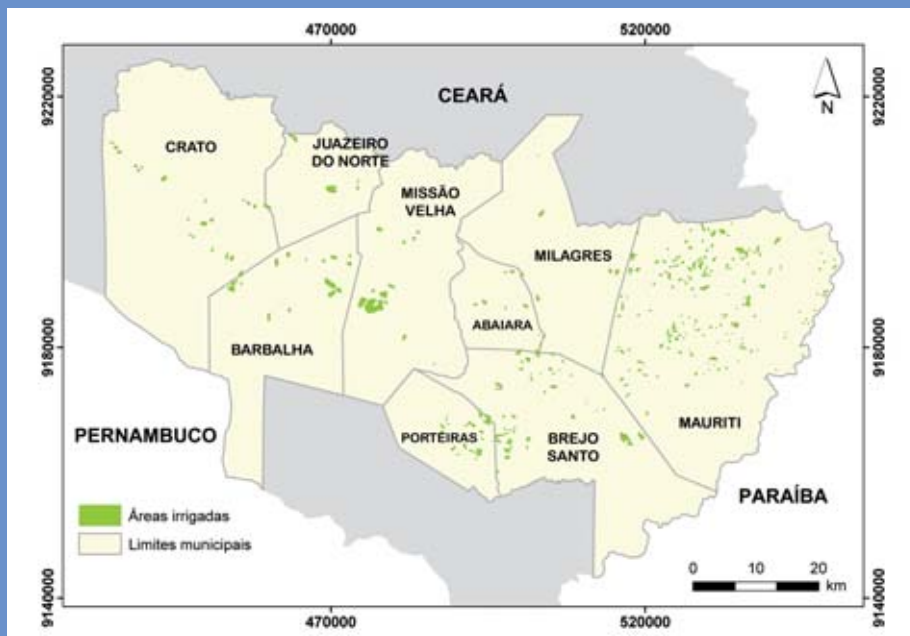


Figura 4.106 - Áreas irrigadas com água subterrânea.

Município	Área (ha)
Abaiara	69,87
Barbalha	273,91
Brejo Santo	435,47
Crato	185,97
Juazeiro do Norte	126,99
Milagres	79,77
Missão Velha	462,09
Porteiras	158,07
Mauriti	613,57
<b>TOTAL</b>	<b>2.405,71</b>

## Balço Hídrico e Estimativa de Reservas

Sônia Maria Silva Vasconcelos – Ph.D Geologia

O balanço hídrico de uma bacia ou região hidrográfica, de um sistema aquífero, no todo ou em parte, tem sido empregado como método para quantificar elementos não conhecidos da equação do balanço de massa do ciclo hidrológico no sistema considerado como, por exemplo, a recarga subterrânea.

No presente caso de estudo, a determinação da recarga do sistema aquífero se reveste de especial importância, na medida em que esta grandeza representa os recursos hídricos do sistema, que podem ser potencialmente utilizados de forma sustentável.

A quantificação da recarga de águas subterrâneas através do balanço hídrico é um processo estimativo, uma vez que utiliza valores médios de séries históricas na equação de balanço de massa.

Nas regiões semi-áridas, a evapotranspiração potencial normalmente ultrapassa as taxas médias de precipitação, o que significa que apenas em situações favoráveis a água precipitada é suficiente para a recarga. A recarga dos aquíferos é irregular e a observação dos processos dinâmicos nos aquíferos é muito limitada.

Estes fatores junto com a variação na topografia, na cobertura vegetal, nos tipos de solo e em outros elementos hidrológicos, dificultam extremamente a quantificação da recarga subterrânea.

A complexidade inerente ao problema de quantificação da recarga subterrânea é simplificada quando se dispõe de dados de monitoramento do nível potenciométrico do sistema aquífero que permite a obtenção de resultados confiáveis para a recarga da água subterrânea. No entanto, devido à grande quantidade de fatores intervenientes no processo de recarga e a variabilidade diferenciada de cada um destes fatores no tempo e no espaço, a quantificação da recarga subterrânea será tão mais precisa quanto maior for o período de monitoramento e quanto mais detalhada for a observação das variáveis envolvidas neste processo.

## Recarga Subterrânea

Recarga subterrânea é usualmente considerada como um processo de movimento de água que atinge a zona saturada sob forças gravitacionais, ou em uma direção específica por condicionamento hidráulico. De forma geral, recarga subterrânea é a quantidade de água que contribui para aumentar a reserva subterrânea permanente ou temporária de um aquífero, e, no caso da reserva temporária, é considerada como reserva reguladora ou renovável, e, em geral, reserva explotável.

Lerner et al. (1990) define, de forma geral, a recarga de água subterrânea como sendo o fluxo de água que alcança o aquífero, constituindo uma adição ao reservatório de água subterrânea, e faz uma distinção entre a quantidade de água disponível para recarga e a recarga real como definida acima, ou seja, nem toda a água disponível para recarga subterrânea, água infiltrada, irá se constituir em acréscimo às reservas do aquífero. Rushton (1988) já mencionara esta distinção sugerindo que estas duas quantidades poderiam diferir devido à influência da zona não saturada e/ou à não aceitação do valor potencial pelo aquífero. Ele denomina de **recarga potencial** aquela que penetra no solo e **recarga real** aquela que, efetivamente, chega até o aquífero.

Nas expressões de balanço hídrico, a parcela da precipitação relativa à recarga subterrânea é denominada de **infiltração eficaz** (Castany, 1975). Fazendo uma uniformização da terminologia, a **infiltração eficaz** corresponde à **recarga real**, enquanto que a **recarga potencial** corresponde à **infiltração total** mencionada nas expressões de balanço hídrico.

A recarga de águas subterrâneas constitui um parâmetro de fundamental importância no conhecimento e manejo adequado dos aquíferos, entretanto, este parâmetro é muito difícil de ser avaliado notadamente em regiões semi-áridas (Lerner *et. al.*, 1990).

Existem várias metodologias propostas para avaliar recarga de águas subterrâneas, no presente trabalho, será realizada uma estimativa de recarga através do balanço hídrico e uma avaliação

utilizando os dados resultantes do monitoramento do nível potenciométrico que registra a recarga subterrânea através da variação sazonal do nível estático dos poços monitorados.

## Balanço Hídrico

Castany (1975), partindo do balanço hídrico global para um ano hidrológico, propõe uma expressão para o balanço hídrico de aquíferos livres a partir de simples discriminação das parcelas em que se divide a água proveniente da precipitação.

Sabe-se que a lâmina precipitada sobre o solo, **PPT**, pode ser dividida em três parcelas: o escoamento superficial **ES**, a infiltração total  $I_t$  e a evapotranspiração real **ETR**. Portanto, a expressão geral do balanço hídrico médio é:

$$PPT = ES + ETR + I_t \quad (1)$$

A infiltração total  $I_t$  inclui a água retida no solo  $I_r$  e a água que penetra no sistema formado pelo aquífero livre  $I_e$  denominada infiltração eficaz, que corresponde à parcela da precipitação que alimenta a reserva subterrânea. Esta parcela está diretamente relacionada com as flutuações da superfície potenciométrica que refletem a variação das reservas de água subterrânea.

As regras gerais de balanço hídrico, originalmente utilizadas em bacias hidrográficas, são aplicáveis no caso de aquíferos livres sendo que o principal aporte de um aquífero livre é a infiltração eficaz  $I_e$ .

Castany (1975) sugere a introdução da infiltração eficaz  $I_e$ , calculada por diferença a partir da precipitação **PPT**, da evapotranspiração real **ETR** e do escoamento superficial **ES**, segundo a expressão:

$$I_e = PPT - (ETR + ES) \quad (2)$$

No caso de balanço hídrico de aquíferos, dependendo das características do solo, o escoamento superficial **ES** pode ser considerado insignificante por conta da morfologia do solo. Quando é importante, uma parte infiltra, outra evapora e o resto

volta ao fluxo. Todas estas quantidades já estão contabilizadas no balanço e, portanto, pode-se omitir o escoamento superficial ES e escrever a seguinte expressão para a obtenção da infiltração eficaz:

$$I_e = \text{PPT} - \text{ETR} \quad (3)$$

A infiltração eficaz determinada desta maneira, rigorosamente, deveria ser considerada como **infiltração potencial**, de acordo com Rushton (1988).

A evapotranspiração real ETR é o termo mais importante, porém o menos conhecido, de um balanço hídrico. Em geral, sua determinação é feita com a utilização de fórmulas empíricas baseadas em fatores climáticos: temperatura média, altura de precipitação e, às vezes, insolação e velocidade dos ventos. No caso de regiões com estações secas e chuvosas bem distintas, a variação dos fatores climáticos com o tempo, no decorrer de um ano hidrológico, é de extrema importância para a avaliação da evapotranspiração real ETR, e a altura média mensal de precipitação é muito mais importante que dados anuais. O método proposto por Thornthwaite é o que melhor se adapta às áreas com as características climáticas que apresentam alternância de períodos secos e chuvosos bem diferenciados (VASCONCELOS, 1996).

A fórmula de Thornthwaite, considerando a temperatura média mensal, fornece a evapotranspiração potencial mensal (ETP), em milímetros, através da seguinte fórmula:

$$\text{ETP} = 16K(10T/I)^a \quad (4)$$

onde, T é a temperatura média mensal em °C, I é o índice térmico e K é um fator de correção que depende da latitude (VILLELA e MATOS, 1975).

O índice térmico I é obtido da seguinte maneira:

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (5)$$

onde,

$$I_i = (T_i/5)^{1,5} \quad (6)$$

sendo T a temperatura média de cada mês do ano, portanto, i varia de 1 a 12 e os índices térmicos mensais, assim obtidos, somados darão o índice térmico anual.

O termo a é obtido em função do índice térmico através da seguinte expressão:

$$a = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3 \quad (7)$$

A evapotranspiração real ETR é obtida a partir da comparação da evapotranspiração potencial com a precipitação, estabelecendo-se um valor para a quantidade máxima de água que o solo pode armazenar. Este valor é arbitrado de acordo com a natureza do terreno. Sabe-se que é de 50mm em solos arenosos e 200mm em solos argilosos (Castany, 1975), e corresponde à quantidade de água retida no solo C que é denominada de **capacidade de retenção do solo** que pode ser correlacionável com a **Capacidade de campo** utilizada em agronomia. Na ausência de valores medidos, utiliza-se o valor de 100mm como sendo a quantidade de água de precipitação que fica retida no solo não atingindo o lençol subterrâneo.

Então, a ETR é determinada para cada um dos meses do ano, considerando a retenção de água no solo C, as médias mensais de precipitação PPT e os valores de evapotranspiração potencial ETP, calculados para a série de anos utilizada na determinação das médias mensais de precipitação e temperatura.

Com a ETR e a PPT chega-se a uma estimativa para a infiltração eficaz  $I_e$  que corresponde à quantidade da água de precipitação disponível para a recarga subterrânea e que, na ausência de medidas diretas da variação de carga hidráulica anual, pode ser também uma estimativa para a reserva renovável do sistema aquífero.

Nos cálculos da balanço são efetuadas as seguintes considerações:

- 1 -  $C \leq 100m$  Parcela de água retida no solo
- 2 - ETR=PPT, se PPT-ETP<0 e ETR = ETP em caso contrário.
- 3 -  $I_e = PPT - ETR$ , depois de esgotada a capacidade de retenção de água no solo.

A infiltração efetiva calculada corresponde à disponibilidade da água de precipitação para a recarga subterrânea. Mesmo partindo da hipótese de que o sistema aquífero é homogêneo no que se refere à porosidade efetiva e condutividade hidráulica, sabe-se que a recarga assimilada por este sistema é variável em função da posição, tendo em vista que a “transmissividade” e a carga hidráulica assumem valores diferenciados para diferentes locais. Desta forma, esta estimativa de recarga exige a consideração de hipóteses simplificadoras tornando qualquer avaliação quantitativa vulnerável a questionamentos, porém, sem estas considerações seria impossível chegar a uma avaliação quantitativa da recarga direta para área de estudo. A Tabela 4.5 faz referência às séries históricas dos postos pluviométricos utilizados para as estimativas.

Tabela 4.5		Postos pluviométricos utilizados para estimativa da infiltração efetiva			
Nome do Posto	UTM-E	UTM-N	Série	Anos sem Observação	Anos Observados
Crato	456450	9201050	1912-2009	2	96
Brejo Santo	501840	9172820	1911-2009	6	93
Missão Velha	483440	9198610	1912-2009	7	92
Milagres	505520	9191240	1912-2009	12	86
Barbalha	465660	9191230	1911-2009	33	66
Juazeiro do Norte	469343	9186319	1912-2009	48	50
Mauriti	522684	9182024	1962-2009	3	45
Porteiras	487129	9167287	1979-2009	0	31

O método do balanço hídrico estima excedente e déficit hídricos usando apenas dados climatológicos, médias de precipitação e de temperatura fornecendo um valor estimado para o volume de água disponível para a recarga subterrânea.

## Variações Sazonais do Nível Potenciométrico

Neste método, a suposição básica é que o acréscimo da espessura saturada de um aquífero livre é devido à recarga por precipitação. Em suas áreas aflorantes, os aquíferos são do tipo livre, suas potencialidades estão condicionadas à infiltração direta das águas de chuva, cujo volume efetivamente infiltrado restitui as reservas de águas subterrâneas que alimentam os escoamentos naturais e a exploração por poços.

Em condições de estado estacionário, o nível hidrostático é uma função da quantidade de recarga, da transmissividade do aquífero e de sua geometria. Considerando uma área A, se a variação na espessura saturada em um período  $\Delta Dt$  é  $\Delta Dh$ , a recarga devido à precipitação corresponderá à variação no armazenamento do aquífero  $\Delta DS$ , que em unidade de volume, pode ser estimada como:

$$\Delta DS = S_y \Delta Dh \times A + Q_a \Delta Dt - R_i \quad (8)$$

onde,  $S_y$  é a porosidade específica,  $Q_a$  é o fluxo subterrâneo natural e  $R_i$  é a recarga devida a outras fontes.

Desprezando o fluxo subterrâneo e considerando a precipitação como única fonte de recarga, a recarga por unidade de área será:

$$\Delta DS = S_y \Delta Dh \quad (9)$$

A porosidade efetiva é um termo importante neste procedimento de determinação de recarga, na medida em que é utilizada para transformar uma variação de nível hidrostático de um aquífero livre em uma variação equivalente do armazenamento de água neste aquífero.

A avaliação da recarga das águas subterrâneas a partir das variações sazonais do nível potenciométrico se constitui na forma mais confiável de determinação da recarga subterrânea. A dificuldade existe na falta de um conhecimento adequado da porosidade efetiva do material aquífero sujeito à variação sazonal e no desconhecimento de variações espaciais das características do aquífero.

A porosidade efetiva  $S_y$  é definida como a quantidade de água por unidade de volume de material poroso que é drenada de uma coluna deste material a partir do nível hidrostático até o nível mais profundo, por unidade de rebaixamento do nível hidrostático. Esta é a porosidade de drenagem e, neste sentido, pode ser avaliada pela equação de Biecinski (Pazdro, 1983, In: Alvarez e Niedzielski, 1996):

$$S_y = 0,117\sqrt{K} \quad (10)$$

para a condutividade hidráulica K expressa em m/dia.

A interpretação de testes de bombeamento fornece valores de transmissividade, conhecendo-se a espessura do aquífero determina-se a condutividade hidráulica (K).

## RESULTADOS

### Balço Hídrico

Foram coletados dados de todos os postos existentes através dos bancos de dados disponibilizados no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.

A infiltração efetiva foi obtida para cada um destes postos, calculando-se a evapotranspiração potencial (ETP) mensal pela fórmula de Thornthwaite usando valores de temperatura obtidos por regressão linear múltipla, em seguida a evapotranspiração real (ETR) mensal e a infiltração efetiva, admitido que a retenção da água de precipitação no solo é de 100mm. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 4.6 a 4.13.

Tabela 4.6		Balço hídrico para Crato							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.1	11.93	1.08	139.2	160.7	21.5	21.5	139.2	0.0
FEV	25.0	11.18	0.97	108.8	212.1	103.3	100	108.8	24.8
MAR	24.8	11.05	1.05	114.8	267.4	152.7	100	114.8	152.7
ABR	24.6	10.91	0.99	105.4	180.5	75.1	100	105.4	75.1
MAI	24.2	10.65	1.01	102.0	61.7	-40.4	59.6	61.7	0.0
JUN	23.8	10.39	0.96	91.9	19.1	-72.8	0	19.1	0.0
JUL	23.9	10.45	1.00	97.1	9.8	-87.2	0	9.8	0.0
AGO	24.6	10.91	1.01	107.6	4.2	-103.4	0	4.2	0.0
SET	26.1	11.93	1.00	128.9	10.0	-118.9	0	10.0	0.0
OUT	26.8	12.41	1.06	148.8	24.8	-124.0	0	24.8	0.0
NOV	26.9	12.48	1.05	149.1	47.3	-101.8	0	47.3	0.0
DEZ	26.6	12.27	1.10	150.7	89.5	-61.2	0	89.5	0.0
lanual = 136.55		Totais anuais		1087.2				734.6	252.6

Tabela 4.7		Balanço hídrico para Brejo Santo							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.3	12.06	1.08	142.4	123.6	-18.9	0.0	123.6	0.0
FEV	25.0	11.18	0.97	108.3	185.1	76.8	74.9	108.3	0.0
MAR	24.9	11.11	1.05	115.7	214.4	98.7	100.0	115.7	73.6
ABR	24.8	11.05	0.99	107.7	146.7	39.1	100.0	107.7	39.1
MAI	24.5	10.85	1.01	105.6	45.7	-59.8	40.2	45.7	0.0
JUN	24.0	10.52	0.96	93.8	21.8	-71.9	0.0	21.8	0.0
JUL	24.1	10.58	1.00	99.0	12.4	-86.6	0.0	12.4	0.0
AGO	24.9	11.11	1.01	111.3	4.5	-106.9	0.0	4.5	0.0
SET	26.4	12.13	1.00	133.5	6.2	-127.3	0.0	6.2	0.0
OUT	27.1	12.62	1.06	154.2	19.2	-135.0	0.0	19.2	0.0
NOV	27.1	12.62	1.05	152.8	45.7	-107.1	0.0	45.7	0.0
DEZ	26.8	12.41	1.10	154.3	73.8	-80.5	0.0	73.8	0.0
<b>lanual=138.24</b>		<b>Totais anuais</b>		<b>899.1</b>			<b>684.6</b>	<b>112.7</b>	

Tabela 4.8		Balanço hídrico para Missão Velha							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.6	12.27	1.08	147.5	138.6	-8.9	0.0	138.6	0.0
FEV	25.5	11.52	0.97	114.9	198.4	83.6	83.6	114.9	0.0
MAR	25.2	11.31	1.05	119.4	251.9	132.5	100.0	119.4	116.0
ABR	25.1	11.25	0.99	111.1	174.9	63.8	100.0	111.1	63.8
MAI	24.8	11.05	1.01	108.8	56.0	-52.9	17.5	56.0	0.0
JUN	24.4	10.78	0.96	97.9	15.4	-82.5	0.0	15.4	0.0
JUL	24.5	10.85	1.00	103.4	8.1	-95.4	0.0	8.1	0.0
AGO	25.3	11.38	1.01	116.4	4.3	-112.2	0.0	4.3	0.0
SET	26.7	12.34	1.00	138.3	7.1	-131.2	0.0	7.1	0.0
OUT	27.4	12.83	1.06	160.0	15.2	-144.9	0.0	15.2	0.0
NOV	27.4	12.83	1.05	158.5	39.5	-119.0	0.0	39.5	0.0
DEZ	27.2	12.69	1.10	162.0	67.7	-94.3	0.0	67.7	0.0
<b>lanual =141.09</b>		<b>Totais anuais</b>		<b>977.0</b>			<b>697.2</b>	<b>179.8</b>	

Tabela 4.9		Balanço hídrico para Milagres							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.8	12.41	1.08	151.2	130.1	-21.1	0.0	130.1	0.0
FEV	25.5	11.52	0.97	114.5	191.9	77.4	77.4	114.5	0.0
MAR	25.3	11.38	1.05	120.7	244.9	124.3	100.0	120.7	101.6
ABR	25.2	11.31	0.99	112.2	153.4	41.2	100.0	112.2	41.2
MAI	24.9	11.11	1.01	109.9	55.6	-54.3	45.7	55.6	0.0
JUN	24.5	10.85	0.96	98.8	21.0	-77.8	0.0	21.0	0.0
JUL	24.7	10.98	1.00	105.9	11.3	-94.5	0.0	11.3	0.0
AGO	25.5	11.52	1.01	119.3	4.6	-114.7	0.0	4.6	0.0
SET	26.9	12.48	1.00	141.8	6.3	-135.5	0.0	6.3	0.0
OUT	27.6	12.97	1.06	164.1	17.6	-146.5	0.0	17.6	0.0
NOV	27.6	12.97	1.05	162.6	35.1	-127.5	0.0	35.1	0.0
DEZ	27.3	12.76	1.10	164.1	66.7	-97.3	0.0	66.7	0.0
<b>lanual =142.26</b>		<b>Totais anuais</b>		<b>938.7</b>			<b>695.9</b>	<b>142.8</b>	

Tabela 4.10		Balanço hídrico para Barbalha							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.1	11.93	1.08	139.1	184.2	45.1	45.1	139.1	0.0
FEV	25.0	11.18	0.97	108.7	213.8	105.1	100.0	108.7	50.2
MAR	24.8	11.05	1.05	114.6	263.3	148.6	100.0	114.6	148.6
ABR	24.7	10.98	0.99	106.7	177.7	71.1	100.0	106.7	71.1
MAI	24.3	10.71	1.01	103.2	54.0	-49.3	50.7	54.0	0.0
JUN	23.9	10.45	0.96	93.0	17.9	-75.0	0.0	17.9	0.0
JUL	23.9	10.45	1.00	96.9	13.1	-83.8	0.0	13.1	0.0
AGO	24.7	10.98	1.01	108.8	5.6	-103.2	0.0	5.6	0.0
SET	26.2	11.99	1.00	130.4	9.0	-121.4	0.0	9.0	0.0
OUT	26.9	12.48	1.06	150.5	25.6	-124.9	0.0	25.6	0.0
NOV	26.9	12.48	1.05	149.1	38.7	-110.4	0.0	38.7	0.0
DEZ	26.7	12.34	1.10	152.5	88.0	-64.5	0.0	88.0	0.0
<b>lanual = 137.0</b>		<b>Totais anuais</b>		<b>1091.0</b>			<b>721.0</b>	<b>269.9</b>	

Tabela 4.11		Balanço hídrico para Juazeiro do Norte							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.5	12.20	1.08	145.7	147.7	2.0	2.0	147.7	0.0
FEV	25.4	11.45	0.97	113.5	195.4	81.8	83.8	113.5	0.0
MAR	25.1	11.25	1.05	118.1	239.6	121.5	100.0	118.1	105.3
ABR	25.0	11.18	0.99	109.9	151.4	41.5	100.0	109.9	41.5
MAI	24.7	10.98	1.01	107.6	58.0	-49.7	50.3	58.0	0.0
JUN	24.3	10.71	0.96	96.8	15.2	-81.7	0.0	15.2	0.0
JUL	24.4	10.78	1.00	102.3	12.0	-90.3	0.0	12.0	0.0
AGO	25.2	11.31	1.01	115.1	3.4	-111.7	0.0	3.4	0.0
SET	26.6	12.27	1.00	136.7	5.5	-131.2	0.0	5.5	0.0
OUT	27.4	12.83	1.06	160.0	14.2	-145.8	0.0	14.2	0.0
NOV	27.4	12.83	1.05	158.5	27.6	-130.9	0.0	27.6	0.0
DEZ	27.1	12.62	1.10	160.0	81.6	-78.5	0.0	81.6	0.0
<b>lanual =140.41</b>		<b>Totais anuais</b>		<b>951.3</b>			<b>706.4</b>	<b>146.8</b>	

Tabela 4.12		Balanço hídrico para Mauriti							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.3	12.06	1.08	142.4	120.5	-21.9	0.0	120.5	0.0
FEV	25.0	11.18	0.97	108.4	154.1	45.8	45.8	108.4	0.0
MAR	25.0	11.18	1.05	117.3	192.7	75.4	100.0	117.3	21.1
ABR	24.9	11.11	0.99	109.2	147.0	37.8	100.0	109.2	37.8
MAI	24.5	10.85	1.01	105.6	49.6	-56.0	44.0	49.6	0.0
JUN	24.0	10.52	0.96	93.8	19.1	-74.8	0.0	19.1	0.0
JUL	24.1	10.58	1.00	99.1	12.3	-86.8	0.0	12.3	0.0
AGO	24.9	11.11	1.01	111.4	4.3	-107.1	0.0	4.3	0.0
SET	26.3	12.06	1.00	131.9	7.2	-124.7	0.0	7.2	0.0
OUT	26.9	12.48	1.06	150.5	13.5	-137.0	0.0	13.5	0.0
NOV	27.0	12.55	1.05	150.9	24.9	-126.0	0.0	24.9	0.0
DEZ	26.8	12.41	1.10	154.3	53.1	-101.3	0.0	53.1	0.0
<b>lanual =138.10</b>		<b>Totais anuais</b>		<b>798.2</b>			<b>639.3</b>	<b>58.9</b>	

Tabela 4.13		Balanço hídrico para Porteiras							
Mês	Tmédia (oC)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
JAN	26.1	11.93	1.08	139.1	131.5	-7.6	-7.6	131.5	0.0
FEV	25.0	11.18	0.97	108.7	155.5	46.8	46.8	108.7	0.0
MAR	24.8	11.05	1.05	114.6	171.2	56.6	100.0	114.6	3.4
ABR	24.7	10.98	0.99	106.7	141.5	34.8	100.0	106.7	34.8
MAI	24.3	10.71	1.01	103.2	60.2	-43.0	57.0	60.2	0.0
JUN	23.9	10.45	0.96	93.0	17.5	-75.5	0.0	17.5	0.0
JUL	23.9	10.45	1.00	96.9	14.7	-82.2	0.0	14.7	0.0
AGO	24.7	10.98	1.01	108.8	2.8	-106.0	0.0	2.8	0.0
SET	26.2	11.99	1.00	130.4	4.0	-126.5	0.0	4.0	0.0
OUT	26.9	12.48	1.06	150.5	13.4	-137.2	0.0	13.4	0.0
NOV	26.9	12.48	1.05	149.1	25.4	-123.8	0.0	25.4	0.0
DEZ	26.7	12.34	1.10	152.5	81.7	-70.8	0.0	81.7	0.0
lanual =137.02		Totais anuais		819.3				681.1	38.2

### Variações Sazonais do Nível Potenciométrico

A avaliação da recarga das águas subterrâneas a partir das variações sazonais do nível potenciométrico se constitui no método que efetivamente determina a recarga subterrânea. O maior problema apresentado na aplicação desta metodologia consiste na dificuldade de determinar o valor da porosidade específica do material aquífero sujeito à variação sazonal de nível d'água que registra a ocorrência da recarga subterrânea.

No caso da Bacia Sedimentar do Araripe existem dados de monitoramento da carga hidráulica (H) e de ensaios de bombeamento que permitem uma avaliação para a porosidade efetiva ( $S_e$ ), no entanto, há uma grande dificuldade de individualizar as unidades aquíferas através do exame dos perfis litológicos apresentados nos relatórios de construção dos poços. Além disso, existe a possibilidade do poço estar explorando simultaneamente unidades aquíferas distintas, o que dificulta a aplicação desta metodologia para avaliação da recarga subterrânea de cada uma das unidades presentes na bacia.

Após a interpretação dos testes de bombeamento, a observação cuidadosa dos perfis litológicos de cada um destes poços e o posicionamento de todos eles sobre uma base cartográfica litológica (Figura 4.107), os resultados obtidos para caracterização dos sistemas aquíferos estão apresentados nas Tabelas 4.14 e 4.15.

A Tabela 4.16 contém os valores das variações máximas de carga hidráulica ( $\Delta H$ ) observadas em 2008 (184 poços) e em 2009 (163 poços) (Figura 4.107). Vários registros de nível estático resultaram em valores de  $\Delta H$  apresentando diferenças significativas entre o ano de 2008 e de 2009. Esta constatação nos leva a considerar a possibilidade de erro de registro ou de registro inadequado (valor não estático). Nesta tabela destacam-se os pontos (16 pontos com valores em vermelho) que apresentaram diferenças superiores a 10 m para as variações de carga registradas nos anos de 2008 e 2009. Todos os que apresentam registros com diferenças superiores a 1m de um ano para outro merecem uma observação mais cuidadosa para confirmar se ocorreu algum erro de observação.

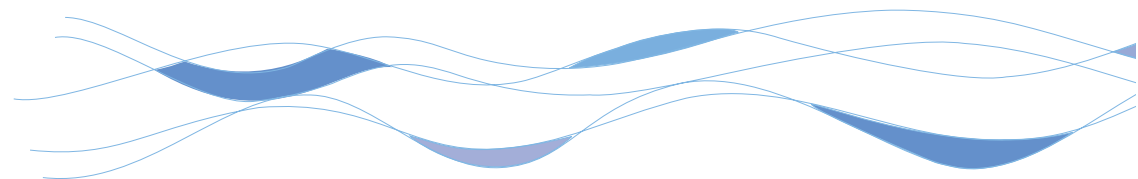


Tabela 4.14		Características do aquífero Inferior, valores de vazão (Q), nível estático (NE), espessura (Esp.), transmissividade (T), condutividade hidráulica (K), coeficiente de armazenamento (S) e porosidade efetiva (Sy).											
UTM N	UTM E	MUNICÍPIO	LOCALIZAÇÃO	Q (m³/h)	NE (m)		Esp. (m)	T (m²/min.)	K (m/min.)	S	K (m/dia)	Sy (%)	Tipo Aquífero
9182816	533597	Mauriti	Vila Agrícola/Coité	45.00	53.00		147.00	2.30E-02	1.57E-04		2.26E-01	9.46	LIVRE
9193489	519128	Mauriti	Santo Antonio II	18.00	44.60		81.40	3.78E-02	4.65E-04		6.70E-01	11.05	LIVRE
9187054	532466	Mauriti	Cond.Valdemar Alcantara II	44.00	20.00		130.00	3.74E-02	2.88E-04		4.15E-01	10.32	LIVRE
9187052	536145	Mauriti	Cond.Valdemar Alcantara III	52.80	5.80		110.00	5.84E-02	2.77E-04		3.99E-01		CONFINADO
9189389	529447	Mauriti	Tanquinho I	33.00	34.00		122.00	1.46E-02	1.20E-04		1.73E-01	9.10	LIVRE
9206779	475069	Juazeiro do Norte	Vila Lobos / Marrocos	8.80	13.00		72.00	3.90E-03	5.41E-05		7.79E-02	8.13	LIVRE
9205172	475270	Juazeiro do Norte	Cachoeira	8.30	20.00		60.00	1.16E-02	1.94E-04		2.79E-01	9.75	LIVRE
9208519	474708	Juazeiro do Norte	Sítio Moleque	5.50	6.00		66.00	3.49E-03	5.29E-05		7.62E-02	8.10	LIVRE
9170292	519450	Mauriti	Várzea Grande	1.50	18.00		50.00	7.44E-05	1.48E-06	6.79E-02	2.13E-03		SEMICONFINADO
9186292	532586	Mauriti	Marcela	16.68	17.00		44.00	2.80E-03	6.37E-05	2.14E+00	9.17E-02		SEMICONFINADO
9188002	519730	Mauriti	Carnaubinha dos Peús	5.00	20.00		32.00	1.23E-04	3.85E-06	1.23E-03	5.54E-03		SEMICONFINADO
9179833	507231	Brejo santo	Sítio Barreiro Branco	15.00	27.00		54.00	2.10E-03	3.90E-05	5.15E-01	5.62E-02		CONFINADO
9191892	506011	Milagres	Sítio Coqueiro	41.38	2.80		79.20	7.48E-02	9.45E-04		1.36E+00	12.23	LIVRE
9202147	492034	Missão Velha	Caçara	10.23	7.30		52.70	2.12E-02	4.02E-04		5.79E-01	10.82	LIVRE
9210900	464715	Juazeiro do Norte	Palmeirinha	5.62	5.00		26.00	2.01E-02	7.75E-04		1.12E+00	11.88	LIVRE
9196094	514010	Milagres	Sítio Catolé	5.82	8.00		36.00	5.12E-03	1.42E-04		2.04E-01	9.33	LIVRE
9194760	515101	Milagres	Sítio Malhada	12.80	11.00		89.00	4.52E-02	5.08E-04		7.32E-01	11.19	LIVRE
9208856	473938	Juazeiro do Norte	Sertãozinho	2.59	3.50		92.50	7.57E-04	8.18E-06		1.18E-02	6.20	LIVRE
9212700	462630	Juazeiro do Norte	Tabuleiro Sagrada Família	5.63	13.30		44.70	2.08E-03	4.65E-05		6.70E-02	7.95	LIVRE
9184664	525572	Mauriti	Sede - Bairro Bela Vista	20.31	55.52		224.48	4.88E-02	2.17E-04		3.12E-01	9.91	LIVRE
9183116	525269	Mauriti	Sede - Área Escritório Cagece	56.57	9.37		117.00	3.53E-02	3.01E-04	4.71E-01	4.33E-01		CONFINADO
9184030	525023	Mauriti	Sede - Praça das Populares	8.01	33.57		118.43	2.28E-02	1.93E-04		2.78E-01	9.74	LIVRE
9180703	514376	Mauriti	Sítio Saco das Amoras	2.14	10.00		10.00	2.00E-04	2.00E-05	6.95E-02	2.88E-02		SEMICONFINADO
9178742	516040	Mauriti	Paus dos Ferros	15.76	25.00		25.00	2.34E-03	9.37E-05	2.29	1.35E-01		SEMICONFINADO
9192198	509810	Milagres	Subestação Iracema / CHESF	15.00	0.00		52.00	2.76E-03	5.31E-05	6.61E-01	7.65E-02		CONFINADO
			<b>Mínimo</b>	<b>1.50</b>	<b>0.00</b>		<b>10.00</b>	<b>7.44E-05</b>	<b>1.48E-06</b>	<b>1.23E-03</b>	<b>2.13E-03</b>	<b>6.20</b>	
			<b>Máximo</b>	<b>56.57</b>	<b>55.52</b>		<b>224.48</b>	<b>7.48E-02</b>	<b>9.45E-04</b>	<b>2.29E+00</b>	<b>1.36E+00</b>	<b>12.23</b>	
			<b>Média</b>	<b>18.22</b>	<b>18.51</b>		<b>77.42</b>	<b>1.91E-02</b>	<b>2.17E-04</b>	<b>7.77E-01</b>	<b>3.12E-01</b>	<b>9.73</b>	

Tabela 4.15		Características do aquífero Médio, valores de vazão (Q), nível estático (NE), espessura (Esp.), transmissividade (T), condutividade hidráulica (K), coeficiente de armazenamento (S) e porosidade efetiva (Sy).											
UTM N	UTM E	MUNICÍPIO	LOCALIZACAO	Q (m/h)	NE (m)	Esp. (m)	T (m/min.)	K (m/min.)	S	K (m/dia)	Sy (%)	Tipo Aquífero	
9191500	465200	Barbalha	Barreiros	180.00	4.00	146.00	6.14E-01	4.20E-03		6.05E+00	15.13	LIVRE	
9191600	466602	Barbalha	Sede - Maternidade São Vicente	80.00	13.00	137.00	2.97E-01	2.17E-03		3.12E+00	13.77	LIVRE	
9201276	463657	Juazeiro do Norte	Fabrica de Cajuina	13.00	36.00	107.00	1.31E-01	1.22E-03		1.76E+00	12.68	LIVRE	
9201169	463205	Juazeiro do Norte	Sede - Sínger	33.54	37.00	65.00	2.92E-02	3.52E-04		5.07E-01	10.62	LIVRE	
9202744	464180	Juazeiro do Norte	Sede - Fabrica Imboplaza	16.00	24.00	121.00	2.23E-04	2.67E-06	1.36E-01	3.84E-03		SEMICONFINADO	
9200964	465347	Juazeiro do Norte	Sede - Bairro Romeirão	55.00	51.00	119.00	3.03E-01	2.54E-03		3.66E+00	14.08	LIVRE	
9190931	471548	Barbalha	Santana/Cabeludo (Santana 3)	12.00	12.50	69.50	2.86E-02	4.11E-04		5.92E-01	10.86	LIVRE	
9169146	493380	Brejo santo	Mutamba I - Área 5 SEV 4	40.00	56.00	64.00	1.31E-01	2.04E-03		2.94E+00	13.65	LIVRE	
9169930	493660	Brejo santo	Mutamba V Área 13-SEV 7	25.00	102.00	48.00	2.50E-01	5.20E-03		7.49E+00	15.60	LIVRE	
9208115	459760	Crato	Serraria	3.90	34.00	12.00	1.09E-01	9.12E-03		1.31E+01	16.90	LIVRE	
9200529	458723	Crato	Sede - Woojin	12.00	52.00	86.00	9.86E-01	1.14E-02		1.64E+01	17.45	LIVRE	
9202762	461213	Juazeiro do Norte	Pau Seco	7.60	8.00	52.00	7.83E-03	1.50E-04		2.16E-01	9.40	LIVRE	
9201660	453386	Crato	Bataeira	26.70	9.70	90.30	2.68E-01	2.96E-03		4.26E+00	14.39	LIVRE	
9196430	480664	Missão Velha	Sítio Jerimum	27.30	9.70	74.00	2.56E-03	3.46E-05	7.06E-01	4.98E-02		SEMICONFINADO	
9195414	475670	Missão Velha	Passagem de Pedra	20.07	10.00	34.00	1.88E-03	5.54E-05	4.62E+00	7.98E-02		SEMICONFINADO	
9189224	477381	Missão Velha	Chiqueiro de Cabras	13.04	12.90	48.00	2.35E-03	4.89E-05	5.48E+00	7.04E-02		SEMICONFINADO	
9193516	465133	Barbalha	J.B. Jeans	65.13	28.00	60.00	2.78E-01	9.94E-03		1.43E+01	17.11	LIVRE	
9196819	462184	Barbalha	IBEVE	8.80	64.00	36.00	3.52E-02	9.79E-04		1.41E+00	12.29	LIVRE	
9163203	490056	Porteiras	Lagoa Nova	5.01	34.00	36.00	2.65E-02	7.36E-04		1.06E+00	11.80	LIVRE	
9164837	488874	Porteiras	Sabão	20.02	30.00	40.00	2.05E-01	5.12E-03		7.37E+00	15.56	LIVRE	
9193870	465965	Barbalha	Sítio Lagoa	55.96	18.00	82.00	3.68E-02	4.49E-04		6.47E-01	10.99	LIVRE	
9201288	464715	Juazeiro do Norte	Cagece PT28	20.64	62.70	80.30	3.53E-02	4.40E-04		6.34E-01	10.96	LIVRE	
9201262	464678	Juazeiro do Norte	Cagece PT29	75.17	63.00	97.00	1.17E-01	1.20E-03		1.73E+00	12.65	LIVRE	
9200932	464667	Juazeiro do Norte	Cagece PT30	9.00	69.00	84.00	1.96E-01	2.34E-03		3.37E+00	13.92	LIVRE	
9200568	466275	Juazeiro do Norte	Cagece PT31	10.03	17.30	85.70	1.79E-02	1.20E-04		3.00E-01	9.85	LIVRE	
9198784	482515	Missão Velha	Hotel Municipal	8.85	19.00	105.00	6.41E-03	6.10E-05		8.78E-02	8.27	LIVRE	
9197928	465445	Juazeiro do Norte	Fund. Cear. Pesq. Cultura	8.60	76.65	43.35	1.97E-01	4.55E-03		6.55E+00	15.30	LIVRE	
9205245	452130	Crato	Sítio Serrinha	5.00	110.00	18.00	8.84E-03	4.91E-04		7.07E-01	11.13	LIVRE	
9193272	470603	Barbalha	Buriti II	20.35	15.00	33.00	6.04E-03	1.83E-04	4.18E+00	2.64E-01		SEMICONFINADO	
9199979	462926	Juazeiro do norte	Sede - Vila Real - CAGECE (PT-36)	30.44	58.49	36.51	1.78E-01	4.88E-03		7.03E+00	15.46	LIVRE	
9198722	465072	Juazeiro do norte	Sede - Lagoa Seca - CAGECE (PT-37)	46.60	27.75	58.25	1.37E-01	2.35E-03		3.38E+00	13.93	LIVRE	
9198723	466973	Juazeiro do norte	Sede - RAP 08 P. de Vaquejada - CAGECE (PT-34)	18.04	73.00	85.00	5.42E-02	6.38E-04		9.19E-01	11.56	LIVRE	
9201579	467463	Juazeiro do norte	Sede - RAP 07 - Limoeiro - CAGECE (PT-35)	18.04	43.27	44.00	5.35E-03	2.23E-04	7.47E-01	3.21E-01		SEMICONFINADO	
9192320	467846	Barbalha	Sede - Alto da Alegria - CAGECE (PT-09)	41.70	10.00	60.00	4.39E-03	7.32E-05	1.07E+00	1.05E-01		SEMICONFINADO	
9191984	469070	Barbalha	Sede - Bairro Malvinas - CAGECE (PT-10)	31.69	51.30	44.00	1.78E-02	4.04E-04	5.71E-01	5.82E-01		SEMICONFINADO	
9199436	466406	Juazeiro do norte	Centro de Controle de Zoonose	3.52	41.69	38.31	1.40E-02	3.67E-04		5.28E-01	10.68	LIVRE	
9203555	465000	Juazeiro do norte	Sede - Mercado de Juazeiro - Centro	10.34	12.90	71.10	6.58E-02	9.25E-04		1.33E+00	12.19	LIVRE	
9206198	474730	Juazeiro do norte	Vila São Gonçalo / Sítio Amaro Coelho (Horta)	10.02	4.83	55.17	1.67E-02	3.03E-04		4.36E-01	10.39	LIVRE	
9207350	470113	Juazeiro do norte	Sítio Porções	10.02	12.64	47.36	2.10E-03	4.44E-05	2.59E+00	6.39E-02		SEMICONFINADO	
9165758	483932	Porteiras	Baixio dos Vieiras	6.08	55.00	55.00	4.36E-04	7.92E-06	5.16E-01	1.14E-02		SEMICONFINADO	
9161102	486543	Porteiras	Sítio Logradouro de Baixo	1.23	80.00	66.00	3.39E-05	5.13E-07	5.36E-02	7.39E-04		SEMICONFINADO	
9203639	477042	Missao velha	Sítio Velame - Arraial de Cima	1.43	3.00	9.00	3.25E-04	3.62E-05		5.21E-02	7.67	LIVRE	
9176086	504119	Brejo santo	Barreiro Preto	22.03	33.00	31.00	2.91E-04	9.39E-06	1.31E+00	1.35E-02		SEMICONFINADO	
9195892	470264	Barbalha	Sítio Estrela / Morro dos Ventos	20.24	25.00	22.00	4.77E-03	2.16E-04	3.70E+00	3.11E-01		SEMICONFINADO	
9175754	502972	Brejo santo	Recanto São Camilo	22.31	33.00	66.00	3.65E-03	5.53E-05	2.98E+00	7.96E-02		SEMICONFINADO	
9197290	464946	Barbalha	Sítio Venha Ver	25.00	26.00	126.00	7.93E-02	6.29E-04		9.06E-01	11.54	LIVRE	
9191060	465080	Barbalha	FARMACE	45.00	12.00	92.00	2.49E-01	2.70E-03		3.89E+00	14.20	LIVRE	
			<b>Mínimo</b>	<b>1.23</b>	<b>3.00</b>	<b>9.00</b>	<b>3.39E-05</b>	<b>5.13E-07</b>	<b>5.36E-02</b>	<b>7.39E-04</b>	<b>7.67</b>		
			<b>Máximo</b>	<b>180.00</b>	<b>110.00</b>	<b>146.00</b>	<b>9.86E-01</b>	<b>1.14E-02</b>	<b>5.48E+00</b>	<b>1.64E+01</b>	<b>17.45</b>		
			<b>Média</b>	<b>26.41</b>	<b>35.77</b>	<b>65.53</b>	<b>1.10E-01</b>	<b>1.75E-03</b>	<b>2.05E+00</b>	<b>2.53E+00</b>	<b>12.79</b>		

Tabela 4.16		Máxima variação anual de carga hidráulica			2008			2009		
Nº	POÇO	UTM		MUNICÍPIO	NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)	NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)
		N	E							
1	PT ST AREIAS	9187763	494327	Abaiara	21.35	9.51	11.84	9.93	9.55	0.38
2	PT SITIO CAMELO	9186928	493044	Abaiara	16.28	12.00	4.28	16.72	16.31	0.41
3	PT CASAS POPULAR	9186055	494132	Abaiara	44.38	27.54	16.84	26.55	25.65	0.90
4	PT ST TABUL-PAUS	9182206	497052	Abaiara	21.41	20.99	0.42	21.51	21.41	0.10
5	PT ST CUPIM	9181165	497439	Abaiara	33.00	19.91	13.09	32.90	32.68	0.22
6	PT ST POCINHOS	9184933	497209	Abaiara	9.00	7.44	1.56	6.89	5.90	0.99
7	PT ST RONCADEIRA	9186944	496968	Abaiara	16.08	15.36	0.72	14.98	14.90	0.08
8	OLHO D'ÁGUA DA PEDRA	9183069	495173	Abaiara	18.53	15.29	3.24	19.29	17.20	2.09
9	PT ST ARAUJO	9186938	496970	Abaiara	8.81	7.28	1.53	7.43	6.20	1.23
10	PT EIT ABAIARA	9183219	498365	Abaiara	20.79	19.71	1.08	19.60	19.53	0.07
11	PT O.DAGUA CUMPRIDO ABAI.	9197082	490374	Abaiara	15.08	14.05	1.03	14.42	13.20	1.22
12	PT 01 CGC	9186939	495074	Abaiara	10.18	9.97	0.21	9.62	9.22	0.40
13	ST. EMAS	9189127	501451	Abaiara	23.67	20.57	3.10	21.60	18.28	3.32
14	CAFÉ DA LINHA ( POSTO)	9193385	496213	Abaiara	47.71	46.79	0.92	47.79	47.30	0.49
15	PT 02 CGC	9187148	495034	Abaiara	12.14	10.37	1.77	14.04	12.06	1.98
16	GANGORRA 01	9211522	484000	Aurora	4.86	3.77	1.09			
17	ESC.HIST.PE GOME	9172402	499942	B. Santo	39.48	22.43	17.05	24.94	22.35	2.59
18	PT LAD.VERMELHA	9172859	498957	B. Santo	24.20	20.26	3.94	21.32	20.76	0.56
19	PT BAIR.ARAUJAO	9172654	501036	B. Santo	23.96	22.93	1.03	25.32	22.22	3.10
20	ST. LAGOA DO MATO	9164973	498465	B. Santo	18.42	15.67	2.75	19.09	18.31	0.78
21	ST.ONÇA	9176506	506418	B. Santo	7.98	6.42	1.56	4.91	4.54	0.37
22	ST. SÃO BENTO	9175297	510414	B. Santo	26.31	23.51	2.80	26.91	25.70	1.21
23	ST. JENIPEIRO ASSOCIAÇÃO	9171286	510745	B. Santo	7.47	6.82	0.65	8.15	7.51	0.64
24	PT CHAC.PAROQUIA	9166318	496232	B. Santo	16.88	16.78	0.10	18.05	17.62	0.43
25	PT EIT BREJO SAT	9179234	499231	B. Santo	15.29	14.99	0.30	17.67	14.63	3.04
26	PT SITIO LUDUVIC	9178088	502080	B. Santo	17.87	16.51	1.36			
27	PT SERROTE/ B. VISTA II	9171826	501566	B. Santo	34.92	27.76	7.16	36.87	35.28	1.59
28	PT BELA VISTA	9171927	501339	B. Santo	23.84	23.36	0.48	25.39	24.24	1.15
29	PT BARREIRO PRETO	9175888	503330	B. Santo	39.22	38.83	0.39	37.57	33.90	3.67
30	PT DOIS RIACHOS	9175876	504952	B. Santo	14.68	14.42	0.26	14.04	12.84	1.20
31	PT SAÓ FRANCISCO ESC. JOÃO LANDIM	9172036	502368	B. Santo	41.13	30.34	10.79	29.39	28.00	1.39
32	PT SAÓ SEBASTIÃO	9174940	507598	B. Santo	25.31	24.29	1.02	22.37	22.25	0.12
33	PT PASSAGEM DE PEDRA 1	9167943	516594	B. Santo	11.98	11.28	0.70	12.60	12.43	0.17
34	PT PASSAGEM DE PEDRA 2	9169226	517707	B. Santo	6.60	6.00	0.60	6.49	6.24	0.25
35	PT POÇO DO PAUS	9165843	517661	B. Santo	8.52	7.47	1.05	8.23	7.54	0.69
36	PT CARRASCO 1	9166277	516050	B. Santo	5.08	4.37	0.71	4.64	3.34	1.30
37	PT CARRASCO 2	9165415	515276	B. Santo	7.39	6.60	0.79	7.26	6.57	0.69
38	PT MUQUEM GRANDE	9164076	512880	B. Santo	13.11	10.32	2.79	11.47	11.16	0.31
39	PT ST. VIEIRA	9162543	512236	B. Santo	4.54	4.08	0.46	4.75	4.32	0.43
40	PT DESERTO	9163936	509740	B. Santo	37.83	34.36	3.47	35.89	34.77	1.12
41	BARAUNAS	9172032	506176	B. Santo	9.13	8.90	0.23	10.13	9.50	0.63
42	RENE LUCENA	9172580	499875	B. Santo	35.57	21.82	13.75	24.38	21.97	2.41
43	PT PARQ EVENTOS	9191432	466729	Barbalha	9.50	8.00	1.50	9.08	8.41	0.67
44	PT CENTRO CAGECE	9192316	466805	Barbalha	5.66	4.23	1.43	5.13	4.20	0.93
45	PT CENTEC EPACE	9193629	470349	Barbalha	8.69	2.12	6.57	2.84	1.71	1.13
46	BARRO V. CRECHE MORANG.	9192742	461613	Barbalha	45.40	42.84	2.56	44.31	43.83	0.48
47	PT BARRO VERM / BAIXA	9192891	460527	Barbalha	45.68	37.47	8.21	37.98	37.46	0.52
48	PT ST ESTRELA	9196095	470898	Barbalha	18.20	16.97	1.23	17.06	15.87	1.19
49	PT PSF BULANDEIRA	9193694	465486	Barbalha	21.84	4.71	17.13	20.17	18.86	1.31
50	ST SANTANA	9190971	471591	Barbalha	12.22	11.76	0.46	12.92	12.26	0.66

Tabela 4.16		Máxima variação anual de carga hidráulica								
Nº	POÇO	UTM		MUNICÍPIO	2008			2009		
		N	E		NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)	NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)
51	BULANDEIRA DE CIMA	9192323	464385	Barbalha	7.41	6.59	0.82	7.15	5.58	1.57
52	ST CERQUINHA USINA MCF	9192275	473167	Barbalha	28.78	28.07	0.71	29.28	28.94	0.34
53	SITIO LAGOA PROX. EEF SANTA LUZIA	9195677	467988	Barbalha	18.94	18.34	0.60	19.31	19.00	0.31
54	ST CORRENTINHO	9188844	459719	Barbalha	67.58	66.78	0.80	67.35	67.06	0.29
55	PT ST CABECEIRAS/ESCOLA	9191132	462078	Barbalha	21.62	12.81	8.81	15.14	12.78	2.36
56	PT BAR VERM PSF	9192891	460527	Barbalha	47.15	45.31	1.84			
57	CABECEIRAS CAPELA	9190692	461326	Barbalha	20.20	19.31	0.89	20.03	19.37	0.66
58	PC JB JEANS	9193548	465175	Barbalha	26.50	22.23	4.27			
61	EPACE TUBO GUIA	9193817	470215	Barbalha	2.80	2.08	0.72			
62	PT BAIX.MUQUEM	9196467	458093	Crato	57.77	56.32	1.45	56.71	56.29	0.42
63	PT CHAP.CALANGIO	9198155	457980	Crato	130.81	78.63	52.18	79.60	78.99	0.61
64	PT HOSP FCO ASIS	9200139	454080	Crato	24.59	22.80	1.79	23.62	23.19	0.43
65	PT ITAYTERA	9200950	457576	Crato	13.47	12.82	0.65	13.84	13.13	0.71
66	PT POSTO SP CRATO	9200863	459034	Crato	44.49	43.67	0.82	44.19	43.84	0.35
67	VILA SAO FRANCISCO (ST. QUEBRA)	9209385	455075	Crato	8.40	7.31	1.09	8.76	5.98	2.78
68	PT ST BELO HORIZONTE	9198034	452140	Crato	63.78	63.50	0.28	63.73	63.43	0.30
69	ST SÃO JOSE - COJUNTO BELAS ARTES	9200638	459349	Crato	38.64	38.44	0.20	39.59	39.24	0.35
70	URCA LABORATORIO BIOLOGIA	9201159	464170	Crato	33.66	30.62	3.04	31.27	30.92	0.35
71	PT BR DISTRIBUIDORA/ PETROBRAS	9201895	458741	Crato	11.09	9.38	1.71	10.67	9.83	0.84
72	CONSTATINO	9198021	456125	Crato	4.81	0.42	4.39	1.99	1.47	0.52
73	PT JODIBE	9201120	459220	Crato	39.16	38.31	0.85	39.08	38.22	0.86
74	PT ACIMBEL	9201453	456942	Crato	7.62	7.23	0.39	8.14	7.17	0.97
75	PT BAIXI PALMEI	9196028	457485	Crato	87.73	73.00	14.73			
76	PT BATATEIRAS	9201587	452448	Crato	42.00	25.10	16.90	24.82	24.26	0.56
77	PT ESC AGROTEC	9202321	451514	Crato	63.52	61.87	1.65	61.88	61.56	0.32
78	PT MA TEIXERA SZ	9198832	450927	Crato	7.15	6.05	1.10	7.27	5.00	2.27
79	PT MANGUEIRA	9200445	456313	Crato	10.37	10.24	0.13	6.07	4.90	1.17
80	PT MA. SOCORRO/ ZELIA	9201607	460038	Crato	11.61	6.25	5.36	6.28	5.37	0.91
81	PT VILA LOBO 4 (NOVO)	9199704	455539	Crato	10.84	10.54	0.30	11.83	10.77	1.06
82	CRT BRIGADEIRO	9201835	456234	Crato	6.44	1.05	5.39			
83	PT SESI	9201195	456359	Crato	20.00	17.96	2.04			
84	PC CRISTO REI	9200340	454877	Crato	20.55	19.80	0.75			
85	PC PRACA DETRAN	9200928	455772	Crato	18.51	16.83	1.68			
86	WOQJIM	9200514	458564	Crato	51.71	50.95	0.76			
87	CRT WPT 102 - SAAEC	9201895	458741	Crato	41.00	40.41	0.59			
89	PC SECR AGRC	9200566	455582	Crato	28.99	27.56	1.43			
91	PC BX DO MUQUEM	9196639	458693	Crato	58.30	56.85	1.45			
92	DER	9199989	454458	Crato	20.83	20.27	0.56			
93	SANTA ROSA 14	9197542	461219	Crato	51.25	50.02	1.23			
94	RANCHO ROMEIROS -FRANCISCANOS	9202612	465414	J.Norte	32.66	31.84	0.82	32.38	32.06	0.32
95	PT APUC	9199110	465190	J.Norte	18.61	15.65	2.96	18.30	17.30	1.00
96	PT VILA CARITE	9204444	467403	J.Norte	6.96	0.65	6.31	3.70	1.38	2.32
97	PT CEMITERIO (P. DAS FLORES)	9202352	467249	J.Norte	28.23	27.03	1.20	27.76	27.30	0.46
98	PT SUBESTAÇÃO COELCE	9200777	464414	J.Norte	70.98	70.60	0.38	70.51	70.26	0.25
99	PT PSF LAVANDERIA	9200380	466956	J.Norte	40.07	38.90	1.17	40.36	39.99	0.37
100	PT CEFET	9199123	466009	J.Norte	53.62	52.69	0.93	53.77	53.55	0.22
101	PT ASFACOM - PSF	9203198	464815	J.Norte	20.63	20.05	0.58	21.34	21.04	0.30
102	MERCADO PIRAJA	9201700	465421	J.Norte	37.59	32.43	5.16	32.97	32.63	0.34
103	PT PSF - SAO JOSE	9201019	461015	J.Norte	21.37	20.22	1.15	20.63	20.01	0.62
104	PT SINGER	9201182	463216	J.Norte	38.63	37.93	0.70	38.57	37.98	0.59

Tabela 4.16		Máxima variação anual de carga hidráulica								
Nº	POÇO	UTM		MUNICÍPIO	2008			2009		
		N	E		NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)	NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)
105	PT CAJUINA S. GERALDO	9201315	463721	J.Norte	42.37	41.00	1.37	42.85	42.27	0.58
106	PT TOYOTA	9201365	463577	J.Norte	37.83	37.07	0.76	37.40	36.97	0.43
107	PT APAE	9200266	464260	J.Norte	75.28	74.28	1.00	74.87	74.63	0.24
108	PT CLUBE UFFEC	9199422	466613	J.Norte	52.32	51.68	0.64	52.42	52.34	0.08
109	PT PRESIDIO TOURÃO	9199279	468460	J.Norte	31.78	31.25	0.53			
110	PT VIAÇÃO PERNAMBUCANA	9200778	464667	J.Norte	65.91	62.03	3.88	65.44	64.58	0.86
111	PT V. SANTO ANTONIO-PREFE.	9205875	470413	J.Norte	3.27	1.44	1.83	1.05	0.66	0.39
112	PT SEBRAE	9204869	465199	J.Norte	1.53	0.88	0.65	2.12	0.80	1.32
113	PT CARÁS UMARI	9209029	469863	J.Norte	32.43	14.97	17.46	17.81	13.92	3.89
114	PT SISAR PALMEIRINHA	9210889	464708	J.Norte	10.62	8.78	1.84	8.00	7.09	0.91
115	PT JOSE GONDIM	9204030	466881	J.Norte	4.04	3.70	0.34	8.07	1.36	6.71
116	8 - Novo Juazeiro	9200809	467819	J.Norte	28.62	27.56	1.06			
119	14 CEFET	9199123	466095	J.Norte	54.17	53.14	1.03			
122	PT AUTO VALE	9201130	463009	J.Norte	45.28	43.60	1.68			
124	POCO AEROPORTO	9202447	470147	J.Norte	29.71	28.50	1.21			
125	POCO SISAR VILAS	9206529	469923	J.Norte	17.47	16.50	0.97			
126	RODOVIARIA JN16	9201152	464453	J.Norte	61.00	60.10	0.90			
127	ST CANTA GALO II	9187099	481179	M. Velha	42.34	42.28	0.06	43.14	42.99	0.15
128	PT 01 CGC CASIMIRO FARIAS	9198222	484086	M. Velha				9.63	7.81	1.82
129	PT 05 CGC CASIMIRO FARIAS	9198273	483915	M. Velha				8.87	8.36	0.51
130	PT 03 CGC BOA VISTA	9198794	482519	M. Velha				25.81	24.03	1.78
131	PT ESCONDIDO SISAR	9196208	482044	M. Velha	26.54	23.05	3.49	25.20	23.32	1.88
132	PT RCH SECO/CANA BRAVA	9189687	483565	M. Velha	5.88	4.94	0.94	8.20	4.96	3.24
133	PT MISSAONOVA 1/ PRAÇA	9191207	478577	M. Velha	6.79	6.22	0.57	6.18	5.52	0.66
134	PT ST BARREIRAS / ESCOLA	9185783	477013	M. Velha	28.17	26.04	2.13			
135	CALDEIRÃO	9202884	483414	M. Velha	22.98	22.18	0.80	23.37	22.55	0.82
136	PT ANTON MIRANDA	9206206	479480	M. Velha	8.73	7.68	1.05	8.50	7.47	1.03
137	PT ASS.C.ST.GROS	9198429	484706	M. Velha	30.72	0.55	30.17	31.11	31.05	0.06
138	PT ESTADIO	9198642	484916	M. Velha	12.33	10.54	1.79	12.19	11.18	1.01
139	PT HOSPITAL	9198781	482443	M. Velha	21.15	20.76	0.39	21.37	20.52	0.85
140	HOTEL MUNICIPAL	9198231	482024	M. Velha	13.03	12.28	0.75	12.99	10.96	2.03
141	PT PROJ.J.FRUTCU	9198231	482024	M. Velha	33.05	31.87	1.18			
142	PT ST COQUEIRO / ESCOLA	9193336	480005	M. Velha	14.27	13.01	1.26	14.08	13.49	0.59
143	PT ST JERIM.SISA	9196522	480737	M. Velha	10.51	10.08	0.43	10.04	9.18	0.86
144	PT SANT M.RAINHA	9198985	482030	M. Velha	30.10	29.50	0.60	29.43	29.32	0.11
146	PT ST.QUIMAMI	9205594	490314	M. Velha	37.64	24.45	13.19	31.34	21.91	9.43
149	PROJET. ST BARREIRAS PT 09	9187245	476399	M. Velha	12.20	10.91	1.29	27.95	22.62	5.33
151	PROJ. ST. BARR. PT 06	9186451	475894	M. Velha	13.66	12.00	1.66	32.84	31.70	1.14
152	PROJ. ST. BARR. PT 03	9186327	476209	M. Velha	7.45	1.42	6.03	47.84	45.45	2.39
153	PROJ. ST. BARR. PT 04	9186226	476490	M. Velha				19.46	18.85	0.61
154	PROJ. ST. BARR. PT 08	9186956	477472	M. Velha				66.00	65.40	0.60
155	PT 03 ÁREA NOVA ST. BARR.	9187425	474992	M. Velha				49.31	49.17	0.14
157	MV LOGRADOURO	9194422	482795	M. Velha						
158	MV MISSAONOVA 2	9189223	477380	M. Velha						
161	OLHO D'ÁGUA MV159	9197206	490026	M. Velha						
162	MANDASSAIA	9178032	524773	Mauriti	18.05	11.99	6.06	19.83	18.15	1.68
164	ST. VIEIRA	9187689	532730	Mauriti	32.33	6.36	25.97	12.32	0.62	11.70
165	ST. ALTO DO MEIO	9192291	521463	Mauriti	6.72	6.20	0.52	6.94	6.31	0.63
166	ST. SOLEDADE	9176271	519164	Mauriti	19.90	17.38	2.52	29.83	18.28	11.55
167	ST. L.DO MEIO/PALESTINA/COOP.	9175144	521848	Mauriti	6.27	2.22	4.05	7.99	5.76	2.23

Tabela 4.16		Máxima variação anual de carga hidráulica								
Nº	POÇO	UTM		MUNICÍPIO	2008			2009		
		N	E		NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)	NE (m) Máximo	NE (m) Mínimo	ΔH (m)
168	ST. VOLTA	9179619	515751	Mauriti	7.98	7.29	0.69	9.62	8.59	1.03
169	ST. LUCIANO DOS PEREIRÓS	9176508	516338	Mauriti	16.21	15.77	0.44	13.74	11.24	2.50
170	ST. SANTO ANTONIO II	9192857	520517	Mauriti	5.48	4.31	1.17	4.09	2.38	1.71
171	COND. VALDEMAR ALCANTARA	9187809	536342	Mauriti	27.05	14.42	12.63	15.90	6.33	9.57
172	TANQUINHO I	9189135	527405	Mauriti	2.65	2.36	0.29	12.00	2.64	9.36
173	ST. MACELA	9186319	532625	Mauriti	16.70	11.91	4.79	19.24	0.00	19.24
174	ST. CARNAUBINHA DOS PÉU	9188043	519768	Mauriti	31.86	24.81	7.05	26.09	23.75	2.34
175	ST. ALTO VELHO	9192076	522256	Mauriti	16.31	15.66	0.65	16.44	15.78	0.66
176	ST. BREJO GRANDE	9185375	531715	Mauriti	13.82	11.92	1.90	18.86	6.60	12.26
177	ST. CATANDUVA	9180096	526541	Mauriti	11.58	11.24	0.34	11.17	10.79	0.38
178	ST. CURTUME	9192572	539571	Mauriti	28.82	26.85	1.97	27.06	17.44	9.62
179	ST. EXTREMA	9182729	527435	Mauriti	12.68	1.95	10.73	9.64	5.13	4.51
180	ST. LAGOA FUNDA	9189595	538607	Mauriti	2.09	2.04	0.05	2.06	1.62	0.44
181	ST. LAGOA CERCADA	9191321	526955	Mauriti	0.44	0.42	0.02	0.71	0.26	0.45
184	PT BAIRRO SOCORRO	9191842	505947	Milagres	27.14	15.98	11.16	16.85	13.80	3.05
185	PT ST OLHO DAGUA	9183115	495211	Milagres	16.57	11.92	4.65			
186	FREI DAMIÃO	9191849	505936	Milagres	25.22	24.26	0.96	23.80	22.78	1.02
187	PT TRIÂNGULO	9192129	506687	Milagres	5.15	4.65	0.50	6.05	4.61	1.44
188	PT ST. LIMOEIRO	9192204	503862	Milagres	3.88	2.32	1.56	4.54	1.95	2.59
189	ST. OITIS/MALHADA	9192856	520524	Milagres	57.20	47.21	9.99	56.05	35.25	20.80
190	ST. CABEZEIRAS	9192372	507543	Milagres	28.87	4.43	24.44	30.68	19.92	10.76
191	ST. GAMELEIRA	9195536	502278	Milagres	10.07	9.18	0.89	10.00	8.86	1.14
192	FAZ. BARRIERO GRANDE/ZÉ LANDIM	9195960	492230	Milagres	7.97	5.55	2.42	53.32	53.26	0.06
193	JENIPAPEIRO	9183037	506940	Milagres	11.54	8.14	3.40	8.44	7.02	1.42
194	ÁGUA VERMELHA	9181117	507427	Milagres	9.69	8.16	1.53	10.35	9.40	0.95
196	ST. SANATA CATARINA	9199542	502122	Milagres	5.75	5.41	0.34	10.98	10.57	0.41
197	ST. CARNAUBA II (CRECHE)	9188039	519774	Milagres	37.46	34.23	3.23	5.63	5.16	0.47
198	PT 01 PROJ. BENEZER	9186990	505929	Milagres	25.68	25.40	0.28	37.50	37.21	0.29
200	PT MUQUEM DOS REINALDOS SISAR	9165698	494012	Porteiras	48.89	39.75	9.14	49.37	49.17	0.20
201	PT ST SAB.SISAR	9163232	490100	Porteiras	38.42	30.31	8.11	30.66	30.50	0.16
202	ST. ABREU II	9167868	492410	Porteiras	43.83	43.68	0.15	44.20	43.78	0.42
203	ST. LAGOA NOVA DEPOIS DO SISAR	9165569	488481	Porteiras	38.50	38.09	0.41	38.79	38.52	0.27
204	ST. LAGOA NOVA PARTICULAR	9163747	489711	Porteiras	27.89	27.54	0.35	28.13	27.96	0.17
205	ST. LAGOA NOVA (ANÍSIO)	9163576	489525	Porteiras	39.30	19.74	19.56	39.21	39.17	0.04
206	PT ST. LAGOA NOVA/SISAR	9164885	488918	Porteiras	39.15	37.56	1.59	38.12	37.76	0.36
207	PT ST. AGRESTINO/MANUEL DANTAS	9163612	488891	Porteiras	39.15	39.00	0.15	39.13	39.04	0.09
208	PT ST. LOGRADOURO	9161850	486693	Porteiras	71.41	71.10	0.31	71.55	71.30	0.25
209	PT ST. MUQUEM T. PAU	9165847	496553	Porteiras	3.87	3.09	0.78	4.28	3.40	0.88
210	MUQUEM ASSOCIAÇÃO	9166435	496412	Porteiras	14.06	13.41	0.65	13.73	12.84	0.89
211	PT V. DOS PAULOS	9164504	496804	Porteiras	29.98	29.57	0.41	30.42	30.08	0.34
212	PT ST. BAIXIO DO FUMO	9168799	492028	Porteiras	51.60	51.16	0.44	51.97	51.77	0.20
213	PT AREIA BRANCA	9166834	491482	Porteiras	86.85	86.80	0.05			
214	PT ST.BARRO VERMELHO	9169054	488792	Porteiras	109.59	109.17	0.42	109.66	109.00	0.66

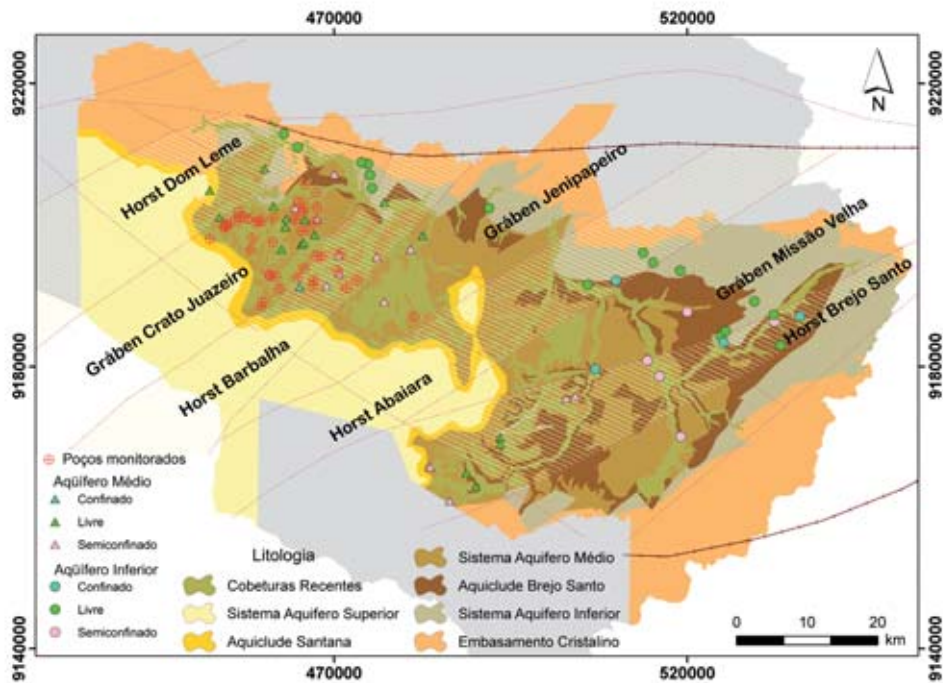


Figura 4.107 – Posicionamento dos poços cujos testes de bombeamento foram interpretados para caracterização dos aquíferos Médio e Inferior.

## Análise e Discussão dos Resultados

Registros de postos pluviométricos na porção leste da Bacia do Araripe apresentam uma precipitação média anual de 945,5mm, sendo os maiores valores registrados em Barbalha e Crato.

Ambos os métodos aplicados para a estimativa de recarga subterrânea padecem de um alto grau de incerteza. Contudo, trata-se de uma limitação inerente a todos os métodos conhecidos devido à enorme complexidade inerente ao fenômeno associada à falta de registros confiáveis de dados de campo. Para uma avaliação de maior confiabilidade da recarga subterrânea são necessárias observações espacialmente bem distribuídas durante um período suficientemente longo de todas as variáveis envolvidas no processo.

A porosidade efetiva se constitui em um termo de fundamental influência para avaliação dos volumes de água subterrânea presentes nos aquíferos, tanto os volumes

que constituem as reservas renováveis quanto aqueles que constituem as reservas permanentes. Nesta avaliação de reservas foi utilizada uma fórmula empírica para sua determinação, o que prejudica o grau de confiabilidade dos valores aqui avaliados.

Deve-se destacar a importância da descrição litológica e a realização do maior número possível de testes de aquífero nos poços presentes na área.

Os resultados estimados pelo balanço hídrico para a disponibilidade de água para recarga subterrânea em cada um dos postos pluviométricos foram utilizados para traçar isolinhas de infiltração efetiva. Desta forma, pode-se observar sua forma de variação espacial (Figura 4.108). Verifica-se, então, que é notória uma disponibilidade maior na parte noroeste da área onde estão os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha e Barbalha.

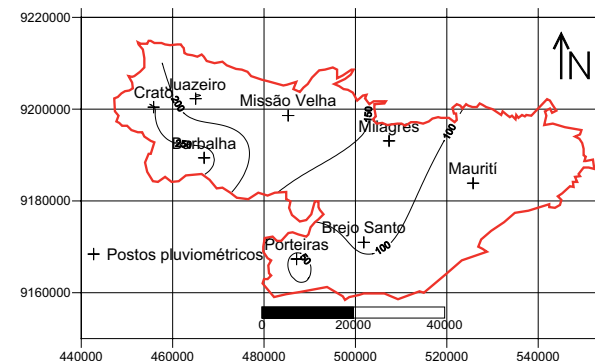


Figura 4.108 – Isolinhas de infiltração efetiva (Ie), em milímetros, obtidas pelo método do balanço hídrico para cada um dos postos pluviométricos.

Com os valores de  $S_y$  obtidos a partir da interpretação de testes de bombeamento (Tabela 14), foram traçadas isolinhas onde se pode verificar a variação espacial deste parâmetro para os aquíferos: médio e inferior em sua condição de aquífero livre (Figura 4.109).

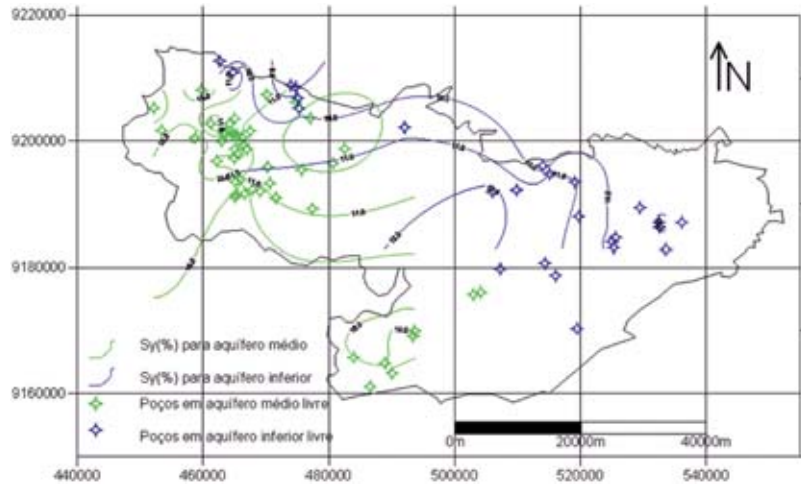


Figura 4.109 - Mapa de isolinhas de porosidade efetiva.

Todas as linhas de contorno (isolinhas) apresentadas foram traçadas com base em uma grade de interpolação obtida por krigagem usando o espaçamento, calculado de forma automática pelo programa utilizado a partir dos pontos de medida. Observa-se que os valores mais altos de porosidade efetiva estão registrados no aquífero médio na porção sul e noroeste. Os histogramas (Figuras 4.110 e 4.111) mostram que o valor da média aritmética pode ser considerado como representativo.

Com todos os valores registrados de  $\Delta H$ , foram geradas isolinhas para os anos de 2008 e 2009 (Figuras 4.112 e 4.113). Verifica-se a formação de "olhos" exatamente em torno dos poços cujas medidas estão sob suspeita e observa-se ainda que no mapa de 2008 os valores de  $\Delta H$  são bastante maiores que em 2009. Ao analisar o mapa de 2009 (Figura 4.113), verifica-se que o valor predominante de  $\Delta H$  é de 1,00m, esta isolinha está presente em toda região sul central da bacia.

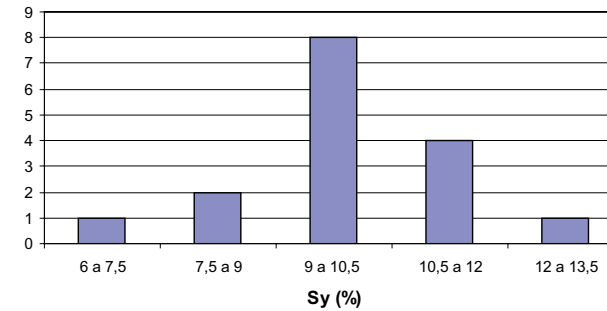


Figura 4.110 – Histograma dos 16 valores obtidos para a porosidade efetiva ( $S_y$ ) aquífero inferior.

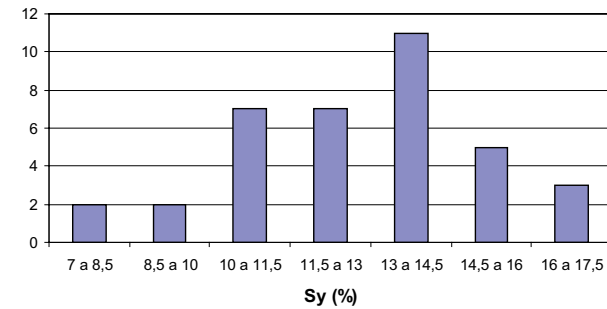
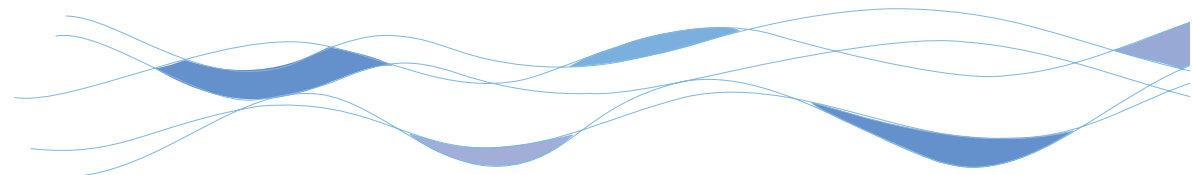


Figura 4.111 – Histograma dos 33 valores obtidos para a porosidade efetiva ( $S_y$ ) aquífero médio.



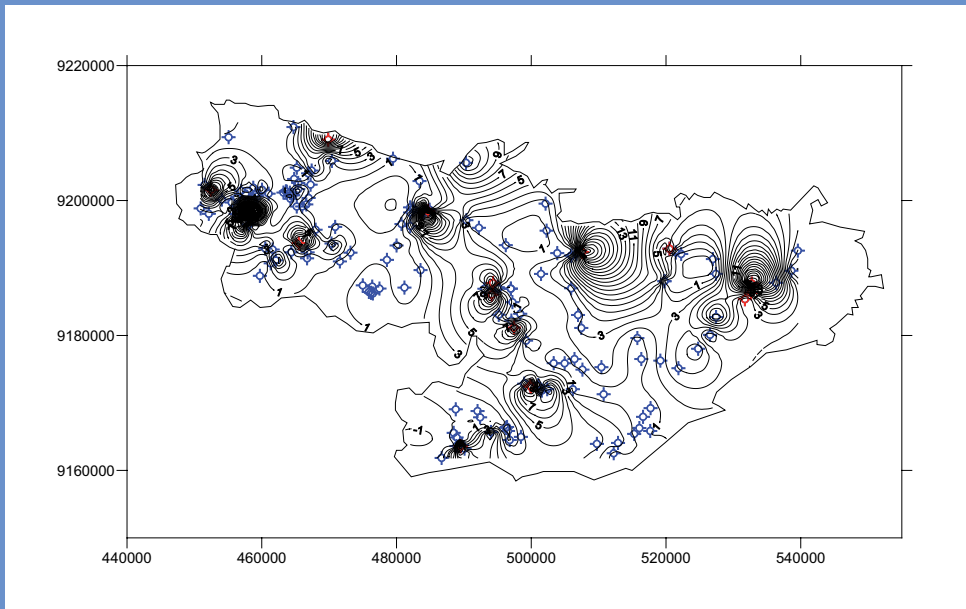


Figura 4.112 - Mapa de isolinhas da máxima variação anual de carga hidráulica ( $\Delta H$ ) no ano de 2008.

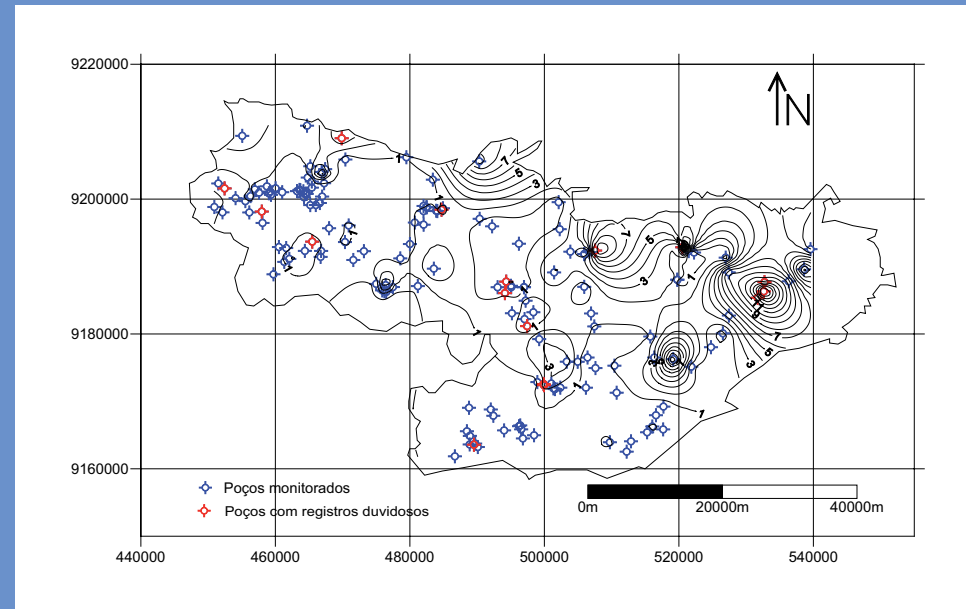
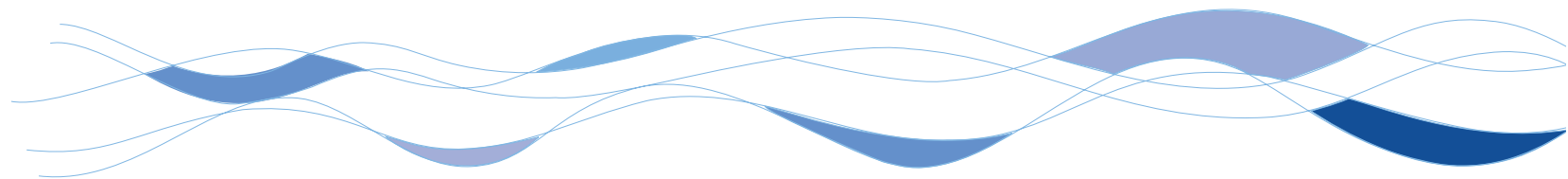


Figura 4.113 - Mapa de isolinhas da máxima variação anual de carga hidráulica ( $\Delta H$ ) no ano de 2009.



## Reserva Renovável

Com os valores de infiltração efetiva obtidos pelo balanço hídrico, considerando a variabilidade espacial, ou seja, usando a malha de interpolação, foi calculado o volume da disponibilidade anual de água de precipitação para recarga subterrânea para toda área limite da malha (2.632km<sup>2</sup>) que corresponde ao limite da bacia sedimentar onde afloram os aquíferos e para somente a soma das áreas dos polígonos que representam cada uma das áreas aflorantes dos sistemas aquíferos (731,6 km<sup>2</sup>), neste cálculo foi utilizado o valor médio da malha de interpolação para a infiltração efetiva (Tabela 4.114). Estes volumes são valores estimados utilizando uma série histórica de dados de precipitação e temperaturas calculadas por regressão linear múltipla.

A recarga subterrânea é efetivamente calculada a partir dos dados de monitoramento de níveis estáticos em poços de observação. Os valores apresentados na Tabela 4.18 correspondem à recarga subterrânea anual calculada para cada um dos sistemas usando parâmetros considerados representativos. Para a porosidade efetiva foram utilizadas as médias aritméticas e para  $\Delta H$  um valor que consideramos predominante (moda) nas áreas aflorantes de cada um dos sistemas aquíferos: Médio e Inferior.

Tabela 4.17		Disponibilidade de água de precipitação (infiltração efetiva - $I_e$ ) para recarga subterrânea estimada pelo balanço hídrico		
Área (km <sup>2</sup> )	$I_e$ (mm) (valor mínimo da malha interpolação)	$I_e$ (mm) (valor máximo da malha interpolação)	$I_e$ (m) (valor médio da malha interpolação)	Volume anual (x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
2632	39,5	267,4	0,13	356
731,6	-	-	-	95

Tabela 4.18 Recarga subterrânea avaliada a partir do monitoramento do nível potenciométrico					
Aquífero	Área (km <sup>2</sup> )	$S_y$ (%)	$\Delta H$ (m)		Volume anual (x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
			2008	2009	
Médio	216,4	12,8	2008	1,5	41,5
			2009	0,5	13,8
Inferior	515,2	9,7	2008	1,5	75,0
			2009	0,5	25,0
TOTAL	731,6	-	2008	-	116,5
			2009	-	38,8

A recarga subterrânea calculada para o ano de 2009 corresponde a 41% da disponibilidade de água de precipitação estimada pelo balanço hídrico considerando somente os polígonos de afloramento das formações (95 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), enquanto que a recarga obtida para 2008 excede este valor. Vale ressaltar que a disponibilidade hídrica resultante do balanço é um valor estimado a partir de uma série histórica, portanto, revela um valor de disponibilidade representativo para a região. Outro aspecto que deve ser ressaltado é que a avaliação calculada pela variação do nível potenciométrico não está levando em consideração a variabilidade espacial dos parâmetros envolvidos no cálculo.

## Reserva Permanente

Para um aquífero livre, a reserva permanente é o volume hídrico acumulado no meio aquífero não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica, portanto esta reserva não depende do ciclo hidrológico atual, dependendo apenas da porosidade efetiva e da espessura invariante correspondente à carga hidráulica mínima registrada no período de monitoramento.

A reserva permanente dos aquíferos confinados é a soma do volume de água calculado em sua porção confinada que depende do coeficiente de armazenamento com o volume de água calculado para sua porção livre.

A ausência de um modelo geométrico definindo as espessuras reais e de perfis de poços tubulares, com uma descrição litológica que nos permita determinar com segurança a espessura de cada uma das unidades, nos impede de levar em consideração a sua variabilidade espacial na estimativa para as reservas permanentes de cada um dos sistemas aquíferos. Desta forma, foram utilizados os valores médios de espessuras deduzidas a partir da descrição litológica disponível nos relatório dos poços cujos testes de bombeamento foram interpretados. Outra grande dificuldade está na determinação da área correspondente ao sistema confinado.

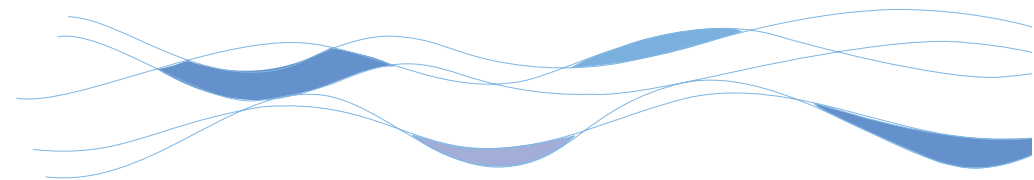
Diante da carência de dados, os valores constantes da Tabela 4.19 são resultado de algumas considerações que talvez não tenham a confiabilidade desejada, mas, sem as quais não poderíamos chegar a uma estimativa para a reserva permanente.

No caso da área, para o aquífero médio, tem-se que a soma das áreas dos polígonos que representam sua parte aflorante é de 216,4km<sup>2</sup>. Da área total de 1.114 km<sup>2</sup>, 515,2km<sup>2</sup> correspondem à soma dos polígonos cartografados como aquífero inferior,

portanto, a área onde o aquífero médio apresenta condições de semiconfinamento é 382,4 km<sup>2</sup> (1.114 km<sup>2</sup>-515,2 km<sup>2</sup>- 216,4 km<sup>2</sup>). O valor médio da carga de pressão neste aquífero em 12 dos poços cujos testes de bombeamento foram interpretados é de 21m.

Para o aquífero inferior, a soma das áreas dos polígonos que representam sua porção aflorante é de 515,2km<sup>2</sup>, subtraindo este valor da área total, tem-se uma área de 598,8km<sup>2</sup> onde o aquífero inferior apresenta condições de confinamento e/ou semiconfinamento. O valor médio da carga de pressão em nove dos poços cujos testes de bombeamento foram interpretados é de 23m.

Tabela 4.19		Valores estimados para as reservas permanentes						
Aquífero			Área (km <sup>2</sup> )	Espessura (m)	Carga de pressão (m)	S	Sy (%)	Reserva (x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )
Médio	Livre		216,4	70,7			12,8	1958
	Confinado (Semi)	Saturação	382,4	53,2				2604
		Pressão			21	2,05		16462
	TOTAL							
Inferior	Livre		515,2	90,1			9,7	4503
	Confinado	Saturação	598,8	57,7				3351
		Pressão			23	0,78		10742
	TOTAL							
TOTAL								39620



# Caracterização Hidroquímica

## Locais de amostragem

*Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago*

*Dra. Carla Maria Vidal Salgado*

*Dr. Horst Frischkorn*

A escolha dos pontos de amostragem na Bacia do Araripe foi feita utilizando como critérios uma distribuição espacial uniforme de poços e de locais próximos de reservatórios superficiais, poços próximos de ourivesarias, atividade industrial importante no município de Juazeiro do Norte, e de locais de abastecimento público. Com estes critérios, foram selecionados dentro de um arquivo geral de poços da região: 8 no município de Barbalha, 15 no município de Crato, 30 no município de Juazeiro do Norte e 07 no município de Missão Velha. A Figura 5.1 apresenta os pontos de coleta.

Os dados dos poços, em cada um dos municípios, estão apresentados nas Tabelas 5.1 a 5.4 que apresentam localização, profundidade (Prof.), nível estático (NE), nível dinâmico (ND) e vazão (Q) de cada um deles. As localizações das ourivesarias, no município de Juazeiro do Norte, estão mostradas na Tabela 5.5. Estes poços capitam água do Aquífero Missão Velha e Rio da Batateira, o mais bombeado na área, e têm profundidades que variam de 60 a 230m com exceção de dois poços mais rasos, com 8 e 24m, no município de Juazeiro do Norte.

A vazão específica, que é a vazão pelo rebaixamento, predomina na faixa de 0 a 5 (m<sup>3</sup>/h/m), tendo somente 12 dos sessenta poços valores na faixa de 5 a 10 (m<sup>3</sup>/h/m). Valores mais elevados são encontrados somente em cinco dos sessenta poços; no BAR/07 em Barbalha, em CRT/03 e no CRT/04 em Crato e no JN/25 e no JN/26 em Juazeiro do Norte.

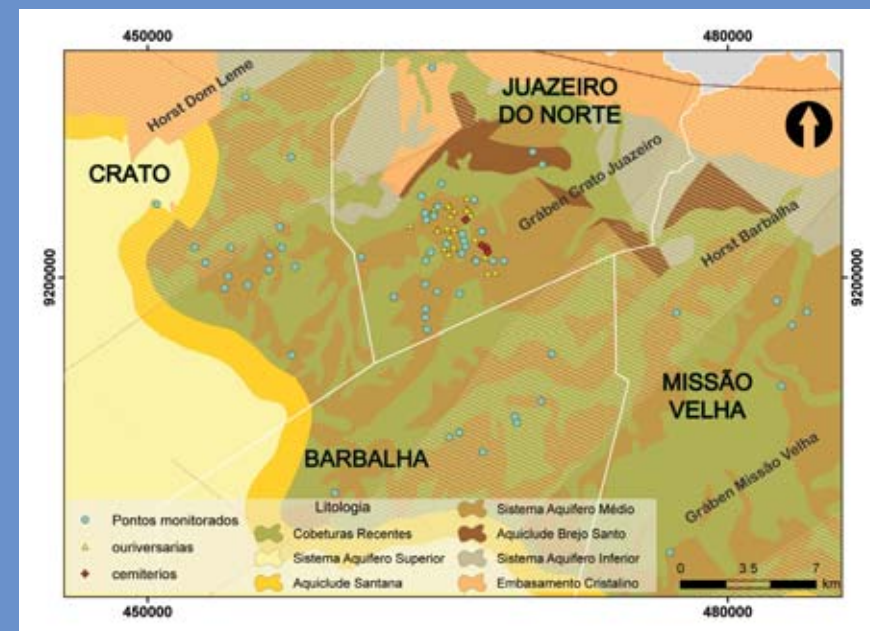


Figura 5.1 - Locais de amostragem.

Tabela 5.1 Localização de poços amostrados em Barbalha.							
Nº	Poço	UTM E	UTM N	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m³/h)
1	BAR/01	470348	9193629	82,0	0,7	44,0	13,2
2	BAR/02	467331	9190998	230,0	10,9	20,3	60,0
3	BAR/03	470898	9196094	120,0	48,0	65,0	80,0
4	BAR/04	459692	9188865	100,0	-	-	-
5	BAR/05	466123	9191997	-	-	-	-
6	BAR/06	465591	9191769	92,0	-	-	-
7	BAR/07	465133	9193516	88,0	28,0	31,0	65,0
8	BAR/08	468988	9192836	100,0	-	-	-

Tabela 5.2 Localização de poços amostrados no Crato							
Nº	Poço	UTM E	UTM N	Prof.(m)	NE (m)	ND (m)	Q (m³/h)
1	CRT/05	456936	9201544	60,0	8,0	18,7	52,0
2	CRT/06	457476	9196033	111,0	49,0	79,0	2,0
3	CRT/01	452429	9201565	118,0	24,8	39,2	126,0
4	CRT/07	455188	9199608	109,0	11,3	57,3	203,1
5	CRT/08	457423	9206271	70,0	-	-	10,0
6	CRT/02	450460	9203820	134,0	62,0	63,0	6,0
7	CRT/09	454000	9199465	129,7	29,0	56,0	202,3
8	CRT/10	454168	9200085	80,0	23,0	30,0	6,5
9	CRT/11	456272	9200409	82,0	10,6	22,0	19,2
10	CRT/12	457618	9200563	-	-	-	-
11	CRT/03	452995	9200773	130,0	12,5	28,0	250,0
12	CRT/13	456310	9201153	62,5	20,0	-	10,0
13	CRT/04	454313	9201544	107,7	11,8	35,8	263,0
14	CRT/14	456843	9202641	80,0	11,1	25,0	4,7
15	CRT/15	455069	9209384	-	-	-	-

Tabela 5.3 Localização de poços amostrados em Juazeiro do Norte							
Nº	Poço	UTM E	UTM N	Prof.(m)	NE (m)	ND (m)	Q (m³/h)
1	JN/01	464814	9203199	24,0	19,0	21,0	4,0
2	JN/02	468425	9200866	96,0	0,0	23,0	90,0
3a	JN/03	462730	9198633	96,0	0,0	23,0	90,0
3b	JN/03	462730	9198633	95,5	40,0	50,0	40,0
4	JN/04	466134	9199164	148,6	53,8	54,7	6,0
5	JN/05	467287	9202396	-	-	-	-
6	JN/06	464413	9203007	-	-	-	-
7	JN/07	464343	9203351	-	-	-	-
8	JN/08	464169	9204226	144,0	15,0	32,0	50,0
9	JN/09	464365	9199651	119,4	32,0	58,0	100,0
10	JN/10	464374	9198363	125,0	29,0	52,0	200,0
11	JN/11	464366	9197932	101,0	23,0	42,0	150,0
12	JN/12	464982	9199282	154,0	21,0	47,0	250,0
13	JN/13	464980	9197314	129,0	17,0	30,0	90,0
14	JN/14	464998	9203678	-	-	-	-
15	JN/15	467857	9200866	80,0	-	-	20,0
16	JN/16	464710	9210898	42,0	9,0	21,0	3,0
17	JN/17	466875	9204032	8,0	-	-	-
18	JN/18	465455	9201742	-	-	-	-
19	JN/19	461049	9201067	-	-	-	-
20	JN/20	464386	9200875	108,0	58,0	62,0	2,5
21	JN/21	464652	9201339	68,0	29,0	34,5	48,0
22	JN/22	465197	9204871	-	-	-	-
23	JN/23	466990	9200855	95,0	-	-	-
24	JN/24	466232	9201246	140,0	2,5	21,1	110,0
25	JN/25	466816	9201270	140,0	20,0	33,0	132,9
26	JN/26	466443	9201625	140,0	13,0	28,0	150,0
27	JN/27	466365	9201906	160,0	18,0	44,0	150,0
28	JN/28	466277	9202261	196,0	8,0	44,0	90,0
29	JN/29	469917	9206529	110,0	-	-	90,0
30	JN/30	470408	9205877	156,0	16,3	50,2	-

Tabela 5.4 Localização de poços amostrados em Missão Velha							
Nº	Poço	UTM E	UTM N	Prof.(m)	NE (m)	ND (m)	Q (m³/h)
1	MV/01	482518	9198793	-	-	-	-
2	MV/02	484086	9198222	90,0	-	-	-
3	MV/03	477342	9198179	100,0	10,3	20,0	22,6
4	MV/04	482795	9194422	-	-	-	-
5	MV/05	478571	9191208	-	-	-	-
6	MV/06	474993	9187425	-	-	-	-
7	MV/07	483332	9197507	-	-	-	-

Tabela 5.5 Localização das ourivesarias em Juazeiro do Norte					
Nº	Nome	UTM-N	UTM-E	Endereço	Bairro
1	ADJN	9203359	464848	R São Cândido, 24	Centro
2	Aline Jóias	9203589	466469	Av Carlos Cruz, 2603	São Miguel
3	Alternativa Jóias	9200988	466907	R Ivani Feitosa, 14	Limoeiro
4	Anderson Luiz Barros	9202484	465527	N. Sra. do Carmo, 263	Franciscanos
5	Bernardino Jóias	9203194	465660	R do Limoeiro, 232	S Miguel
6	Cariri Cromo	9203498	464760	R. Clovis Beviláqua, 386	Centro
7	CFC Jóias	9202460	464981	R das Flores, 136	Salesianos
8	Criativa Jóias	9200995	466944	Av Castelo Branco, 2710	Tiradentes
9	DPZ Joias	9202109	465632	R São Bento, 1651	Pirajá
10	Edilson Banho	9202877	464387	R. São José, 1639	Salesianos
11	Folh do Brasil	9201313	464517	R Delmiro Gouveia, 2248	Rodoviária
12	Folheados ED	9203380	466707	R Cel Raul, 680	Pio XII
13	França Jóias Banho	9203580	466496	Av Carlos Cruz, 2582	Vila Fátima
14	Garricha Banho	9203463	465852	R da Conceição, 1400	S Miguel
15	GC Folheados	9203261	466722	R Januário J Pereira, 289	Vila Fátima
16	GLGA	9203813	465532	R do Cruzeiro, 745	S Miguel
17	HB Folheados	9200215	467590	R Fco Dias Sobreira, 312	Tiradentes
18	Ivo Pita Jóias	9204103	466530	R Pedro C. Sampaio, 846	Malvas
19	Jemano'S	9201226	465553	Av Ailton Gomes, 2174	Pirajá
20	João Sobreira Bezerra	9202682	463583	R José Soares Filho, 90	Cohab
21	Kilates	9201064	467732	R Abilio J. Bezerra, 200	N Juazeiro
22	Lider JólAS	9203916	464996	R São Pedro	Centro
23	Lituan Folheados	9201520	465839	Rua do Limoeiro, 2033	Pirajá
24	Lohanna	9203480	466582	R Conceição, 1379	S Miguel
25	Mazinho Banho	9202539	465889	R. 1º de Maio, 368	Franciscanos
26	MM Folheados	9203480	466492	R Santa Luzia, 1977	Vila Fátima
27	MP Folheados	9203680	465573	R 15 de Novembro, 108	S Miguel
28	MZ Jóias	9202519	465860	R N. Sra. do Carmo, 565	Pio XII
29	Na Folheadas	9201597	465830	R do Limoeiro, 1969	Limoeiro
30	Nivaldo Banho	9203380	466707	R Coronel Raul, 680	Vila Fátima
31	Pedro De Aracaju	9201490	465342	R Joaquim Rocha, 281	Pirajá
32	4 R Folheados	9201062	467453	R Tem Ant Sales, 114	N Juazeiro
33	Rayana Jóias	9202582	465479	R D Pedro II, 1300	Franciscano
34	Rei do Cromo	9203544	464821	R. Delmiro Gouveia, 211	Centro
35	RM Jóias	9202007	466933	R Ver Antonio Braz, 1099	Limoeiro
36	Semi-Bijuterias	9200280	467982	Av. M. Az Sobreira, 343	Tiradentes
37	Tathiany Bijuterias	9202510	464992	R. das Flores, 87	Salesianos

# Metodologia

## Hidroquímica

As amostras de águas foram coletadas diretamente dos poços após serem bombeadas por, no mínimo, cinco minutos para análise de pH, condutividade elétrica (CE), temperatura, dureza total, cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), amônio ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), turbidez, cor aparente, sólidos totais dissolvidos (STD) e ferro. Temperatura, CE e pH foram medidos *in loco* utilizando uma sonda portátil e turbidez,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , dureza total,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados no mesmo dia em laboratório improvisado na sede da COGERH do Crato. As outras análises foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará - UFC, num intervalo máximo de 7 dias entre coleta e análise.

Os métodos utilizados para efetuar as análises foram baseadas no *Standard Methods* (APHA, 1992), exceto para o  $\text{NO}_3^-$ :

Alcalinidade,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  - método titulométrico/2320 B;  
Al - método do eriocromo cianina R/ 3500-Al B;  
 $\text{Ca}^{2+}$  - método titulométrico com EDTA/ 3500-Ca B;  
 $\text{Cl}^-$  - método argentométrico/4500 B;  
Cor - método espectrofotométrico/2120 C em = 410 nm;  
Dureza - método titulométrico com EDTA/2340 C;  
Fe - método da fenantrolina/3500-Fe B;  
 $\text{K}^+$  - fotômetro de chama/3500-K B;  
 $\text{Mg}^{2+}$  - método do cálculo/3500-Mg B;  
Mn - método do persulfato/3500-Mn B;  
 $\text{Na}^+$  - fotômetro de chama/3500-Na B;  
P - método do molibdato-vanadato/4500-P C;  
 $\text{SO}_4^{2-}$  - método turbidimétrico 4500- $\text{SO}_4^{2-}$  E;  
 $\text{SiO}_2$  - método do silicato de molibdênio/4500-  $\text{SiO}_2$  C;  
 $\text{NO}_3^-$  - Determinação pelo método espectrofotométrico do NITRAVER em = 500 nm;  
 $\text{NH}_3$  - Determinação pelo método espectrofotométrico em = 415 nm;  
 $\text{NO}_2^-$  - Determinação pelo método espectrofotométrico em = 520 nm;  
Turbidez – Nefelométrico, 2130 B.

As curvas de calibração, elaboradas para os diferentes tipos de determinação, tanto fotométricas como espectrofotométricas, mostraram coeficientes de correlação da ordem de 0,99, enquanto as análises titulométricas foram realizadas sempre em duplicata, com diferença de valores na faixa de 0-5%. Os resultados das análises tiveram erros de balanço iônico abaixo de 10%, valor admissível pela literatura (SANTOS, 2008) e indicam, assim, que as análises físico-químicas e químicas têm características de alta precisão, estando de acordo com o perfil de qualidade exigida pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 1998).

## Bacteriologia

As análises bacteriológicas foram realizadas utilizando o método colilert para obter o número mais provável (NMP) de coliformes totais e coliformes termotolerantes em 100 ml de água. As amostras foram realizadas no mesmo dia da coleta no laboratório improvisado na sede da COGERH.

## Metais Pesados

Os metais pesados (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr) e zinco (Zn) foram analisados em 15 amostras de águas dos poços. As análises foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental (LAQA) do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da UFC. Os métodos de análise utilizados pelo laboratório estão descritas no *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 1998), sendo o bário quantificado por espectrômetro de emissão atômica e os demais metais por espectrômetro de absorção atômica.

Para maior confiabilidade nos resultados de metais devido à restrição do limite de quantificação (LQ) (menor quantidade que pode ser medida com exatidão e precisão) dos métodos adotados no laboratório contratado, duas amostras de águas foram selecionadas para que três laboratórios realizassem as mesmas análises. Dessa forma, a Bioagri Ambiental, TASQA Serviços Analíticos Ltda e LAQA foram contratados para realizar as

análises. O primeiro laboratório adotou o método espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) citado no *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2005) e o laboratório TASQA a mesma fonte utilizou espectrometria de absorção atômica para análise de Pb e espectrometria de emissão atômica para os demais metais. Nesta etapa, o LAQA adotou os mesmos métodos utilizados na primeira etapa das análises de metais.

## Agrotóxicos

Os agrotóxicos triclorfon, paration metil, fenitrothion, malation e paration etil foram analisados em 10 amostras de águas dos poços. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise Traço (LAT) do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da UFC. O método de análise utilizado foi a cromatografia gasosa.

## Isótopos

As medidas de oxigênio-18 e deutério foram realizadas por Espectrometria de Massa no Laboratório de Isótopos Ambientais do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) em Piracicaba/SP com erro das medidas de  $\pm 1\%$  para o hidrogênio e  $\pm 0,1\%$  para o oxigênio.

## Resultados e discussões

### Hidroquímica

Os resultados dos parâmetros hidroquímicos (STD,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e Fe) estão apresentados nas Tabelas 5.6 a 5.9, respectivamente para amostras de água subterrânea dos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, onde o índice "a" refere-se à primeira coleta, realizada em dezembro de 2007 (final do período seco), e o índice "b" refere-se à segunda coleta, realizada em agosto de 2008 (final do período chuvoso), e os resultados para os parâmetros físico-químicos (turbidez, cor, dureza, condutividade elétrica (CE) e pH) encontram-se nas Tabelas 5.10 a 5.13, para as duas coletas, para os mesmos municípios.

A Bacia Sedimentar do Araripe caracteriza-se por intenso tectonismo que produziu uma sequência de horsts e grabens como mostra a Figura 5.1; por isso, os parâmetros determinados foram separados e analisados por municípios, ou seja, por diferentes localizações geográficas dos locais de coleta.

Os parâmetros pH, CE, STD, cor, turbidez, dureza, e ferro, característicos do sistema Aquífero, têm seus dados discutidos em histogramas estatísticos, permitindo caracterizar hidroquimicamente o sistema Aquífero, no final do período seco e no final do período chuvoso, quando o sistema Aquífero já recebeu recarga. O pH condiciona processos de dissolução e de precipitação de minerais do Aquífero; CE e STD expressam a salinidade das águas, embora sem indicar os íons envolvidos; a dureza e o ferro condicionam precipitação produzindo incrustação.

As concentrações dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e dos ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  são também apresentadas em histogramas. Para a caracterização hidroquímica das amostras de cada município, os resultados das duas coletas foram tratados através de diagramas de Piper, que permitem classificar as águas quanto ao ânion e ao cátion predominantes (sem considerar sua concentração absoluta).

Os compostos nitrogenados  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  são discutidos separadamente dos demais, porque são associados, geralmente, à ação antrópica e sua influência é local; por isso, estes parâmetros são identificados por poços em cada coleta. Nas Tabelas 5.14 a 5.17 estão apresentados os resultados para coliformes totais e termotolerantes para os municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, respectivamente.

As Figuras 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 apresentam a localização espacial dos poços monitorados nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, respectivamente.

Tabela 5.6a		Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Barbalha no período seco (dezembro/2007)												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)											
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Fe
1	1157	BAR/01	421,0	46,6	10,6	36,6	10,1	11,3	31,6	271,2	0,47	0,19	0,41	0,17
2	1159	BAR/02	327,3	21,7	17,8	27,5	8,4	15,1	21,9	195,4	0,74	ND	4,23	0,05
3	1154	BAR/03	61,4	2,3	2,4	7,7	3,5	13,2	0,1	17,5	1,90	0,05	2,85	ND
4	1156	BAR/07	73,4	1,6	0,5	12,6	11,6	17,0	1,1	26,2	0,74	0,05	0,41	0,05
5	1158	BAR/04	487,0	94,7	17,3	12,6	5,1	52,7	46,4	250,8	0,87	ND	1,47	0,05
6	1155	BAR/05	368,2	60,5	13,0	15,1	8,4	35,8	52,5	154,5	ND	3,62	3,68	0,13
7	1153	BAR/06	198,1	22,5	5,3	17,7	5,1	7,5	0,9	134,1	2,81	0,08	0,32	0,31
8	1160	BAR/08	221,4	13,2	11,1	24,6	5,1	14,1	12,2	137,0	0,67	0,03	0,72	ND

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.6b		Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Barbalha no período chuvoso (agosto/2008)												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)											
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Fe
1	1356	BAR/01	428,7	28,0	21,9	39,8	10,1	8,8	30,4	288,2	ND	0,38	ND	0,36
2	1362	BAR/02	339,1	20,0	19,4	33,5	6,8	14,6	19,4	203,6	0,74	0,22	4,57	0,02
3	1366	BAR/03	67,0	ND	3,9	7,7	6,8	11,7	0,43	25,1	0,47	0,23	2,31	ND
4	1360	BAR/07	57,4	ND	0,97	10,1	10,1	15,6	0,6	18,8	0,47	0,24	ND	0,04
5	1361	BAR/04	513,1	65,6	36,0	13,8	3,5	49,7	72,9	266,3	0,67	0,30	0,84	ND
6	1358	BAR/05	361,3	36,0	28,2	15,1	6,8	34,1	67,9	166,1	0,54	0,62	1,04	ND
7	1359	BAR/06	213,5	12,0	11,2	20,4	5,1	7,8	1,8	153,5	0,87	0,22	ND	0,07
8	1357	BAR/08	239,0	12,0	11,7	30,4	5,1	14,6	13,1	144,1	0,87	1,00	0,84	0,02

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.7a			Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas no Crato no período seco (dezembro/2007)												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)												
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Fe	
1	1165	CRT/05	91,0	7,0	3,4	11,3	8,4	18,8	1,0	35,0	0,99	0,09	1,04	0,11	
2	1164	CRT/06	520,2	80,7	30,8	24,6	10,1	133,7	32,7	201,2	3,66	0,08	0,52	0,05	
3	1174	CRT/01	142,8	10,1	7,2	13,8	14,8	20,7	21,6	46,7	1,11	0,08	1,47	0,04	
4	1169	CRT/07	335,7	38,0	32,7	13,8	5,1	86,6	1,7	93,3	0,99	0,27	14,13	0,03	
5	1161	CRT/08	118,8	4,7	13,0	8,9	6,8	44,3	0,2	23,3	1,30	ND	3,68	0,03	
6	1166	CRT/02	208,9	19,4	12,0	13,8	5,1	17,9	18,7	119,6	1,24	0,03	0,20	0,04	
7	1168	CRT/09	148,5	5,4	11,6	15,1	13,2	52,7	0,2	23,3	1,11	0,09	5,76	0,06	
8	1162	CRT/10	127,4	1,6	8,7	23,2	10,1	45,2	1,0	11,7	0,54	ND	5,76	0,07	
9	1173	CRT/11	254,5	19,4	20,2	13,8	10,1	32,0	0,4	119,6	2,71	0,20	7,98	0,11	
10	1171	CRT/12	193,2	11,6	14,0	12,6	10,1	20,7	10,8	110,8	1,48	0,33	ND	0,05	
11	1170	CRT/03	217,5	17,9	12,5	13,8	8,4	18,8	44,4	99,1	1,11	0,07	0,20	0,15	
12	1176	CRT/13	349,9	27,9	14,0	30,4	34,8	57,4	ND	125,4	2,92	0,19	12,70	ND	
12	1172	CRT/04	232,9	21,0	13,5	15,1	8,4	20,7	14,6	131,2	2,71	0,13	1,15	0,07	
14	1163	CRT/14	165,1	1,6	4,3	30,4	13,2	34,8	12,1	58,3	0,93	0,03	2,10	0,05	
15	1167	CRT/15	137,7	3,1	6,3	19,0	10,1	16,0	4,3	70,0	0,87	0,13	1,67	0,15	

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.7b			Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas no Crato no período chuvoso (agosto/2008)												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)												
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Fe	
1	1324	CRT/05	203,7	17,6	14,6	19,0	10,1	46,8	0,9	37,6	ND	0,15	12,81	ND	
2	1335	CRT/06	609,0	96,0	30,1	20,4	6,8	120,8	44,9	275,7	1,06	3,45	0,41	0,02	
3	1330	CRT/01	159,4	8,0	6,8	23,2	10,1	23,4	27,0	50,1	1,18	0,23	1,79	1,00	
4	1333	CRT/07	285,2	27,2	32,1	11,3	6,8	85,7	2,4	62,7	0,87	0,45	12,34	0,03	
5	1310	CRT/08	127,0	4,8	13,6	11,3	10,1	46,8	0,4	18,8	0,85	0,18	4,45	0,12	
6	1325	CRT/02	213,6	20,8	12,6	12,6	3,5	17,5	17,3	125,3	1,30	0,79	ND	0,01	
7	1332	CRT/09	144,1	4,0	12,6	13,8	13,2	47,7	0,8	21,9	0,41	0,62	6,22	0,07	
8	1326	CRT/10	133,5	1,6	5,8	33,5	10,1	44,8	1,0	18,8	0,34	0,14	3,80	0,34	
9	1328	CRT/11	242,2	21,6	20,9	7,7	6,8	30,2	6,0	119,1	1,11	0,70	5,99	0,02	
10	1329	CRT/12	193,7	12,8	15,6	7,7	10,1	17,5	12,8	112,8	1,24	0,54	0,32	0,03	
11	1331	CRT/03	163,7	11,2	9,7	12,6	6,8	11,7	22,8	87,7	0,54	0,17	ND	0,01	
12	1327	CRT/13	220,5	4,8	10,7	27,5	30,0	52,6	2,1	34,5	1,24	0,24	12,70	0,03	
12	1313	CRT/04	221,0	16,0	10,2	26,0	10,1	21,4	20,4	103,4	0,57	1,46	1,88	0,15	
14	1334	CRT/14	177,6	ND	6,3	35,0	13,2	37,0	11,4	62,7	0,34	0,30	2,42	0,02	
15	1312	CRT/15	151,0	4,8	6,8	20,4	10,1	9,7	3,9	87,7	0,28	0,36	1,47	0,10	

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.8a			Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Juazeiro do Norte no período seco (dezembro/2007).												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)											Fe	
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>		
1	1123	JN/01	223,0	24,8	6,7	28,9	16,3	54,6	0,7	29,2	1,55	0,08	13,54	0,02	
2	1144	JN/02	137,3	16,3	4,3	10,1	10,1	16,0	1,0	67,1	0,34	ND	2,73	0,10	
3	1142	JN/03	99,3	10,1	2,4	8,9	11,6	10,4	5,2	43,7	1,72	0,01	1,15	ND	
4	1145	JN/04	89,5	10,9	2,9	5,4	8,4	6,6	2,5	52,5	0,21	0,03	ND	ND	
5	1141	JN/05	123,2	14,7	2,9	12,6	11,6	19,8	0,6	35,0	ND	0,01	5,88	ND	
6	1125	JN/06	361,7	17,1	7,7	78,1	24,8	96,0	18,6	23,3	1,48	0,17	21,22	0,02	
7	1152	JN/07	129,9	10,1	2,9	12,6	13,2	23,5	4,5	52,5	3,01	ND	1,67	ND	
8	1151	JN/08	495,5	44,2	28,4	36,6	10,1	28,3	52,2	291,6	1,84	ND	0,52	ND	
9	1139	JN/09	155,8	15,5	4,3	13,8	11,6	12,2	2,9	90,4	2,74	0,05	0,41	ND	
10	1143	JN/10	214,8	29,5	4,3	13,8	8,4	8,5	5,4	134,1	0,80	1,17	1,36	0,05	
11	1130	JN/11	156,1	19,4	4,3	13,8	10,1	10,4	4,2	87,5	ND	0,25	1,25	0,13	
12	1129	JN/12	240,7	31,0	6,3	21,8	11,6	12,2	11,7	140,0	ND	0,04	1,36	ND	
13	1132	JN/13	156,7	14,7	3,9	17,7	11,6	9,4	3,8	93,3	0,99	0,04	0,20	0,14	
14	1127	JN/14	566,1	85,4	28,9	36,6	30,0	129,9	0,4	105,0	ND	0,18	33,76	ND	
15	1140	JN/15	113,3	6,2	3,9	15,1	17,8	31,1	1,6	17,5	0,21	0,51	4,14	0,06	
16	1148	JN/16	147,7	14,0	4,3	16,4	17,8	24,5	3,4	52,5	0,27	0,16	3,16	0,17	
17	1147	JN/17	579,6	66,7	22,6	74,1	37,1	180,8	1,6	35,0	0,67	0,31	35,98	0,84	
18	1149	JN/18	244,0	29,5	12,5	20,4	22,1	77,2	0,3	26,2	3,53	0,08	11,64	0,33	
19	1124	JN/19	286,5	54,3	5,8	13,8	10,1	26,4	34,9	131,2	2,71	0,04	1,56	0,17	
20	1138	JN/20	108,1	1,6	0,5	19,0	16,3	27,3	0,1	11,7	1,98	0,03	6,64	0,18	
21	1126	JN/21	300,6	15,5	7,7	68,2	16,3	77,2	1,1	5,8	ND	0,49	24,23	ND	
22	1150	JN/22	223,4	34,9	5,8	12,6	13,2	19,8	25,0	107,9	0,87	0,01	0,72	0,11	
23	1128	JN/23	109,9	7,0	3,9	13,8	10,1	26,4	0,4	26,2	ND	0,03	4,99	ND	
24	1133	JN/24	427,0	56,7	15,4	35,0	30,0	85,7	1,0	26,2	2,12	0,08	39,44	ND	
25	1134	JN/25	291,7	39,6	3,9	30,4	8,4	36,7	10,6	122,5	ND	0,99	8,20	0,01	
26	1135	JN/26	316,7	38,8	8,7	30,4	11,6	33,0	7,0	160,4	1,98	0,04	5,54	0,08	
27	1136	JN/27	349,4	39,6	8,7	28,9	8,4	12,2	11,1	230,4	ND	0,09	2,19	ND	
28	1137	JN/28	313,9	35,7	7,7	31,9	14,8	33,9	18,0	140,0	0,74	0,04	6,98	0,10	
29	1131	JN/29	428,1	32,6	14,0	66,3	8,4	19,8	39,0	247,8	ND	0,05	ND	0,08	
30	1146	JN/30	1807,9	197,9	86,6	203,1	11,6	418,1	455,2	428,6	0,99	0,05	1,15	0,54	

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.8b			Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Juazeiro do Norte no período chuvoso (agosto/2008)												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)											Fe	
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>		
1	1340	JN/01	180,0	8,0	15,6	19,0	13,2	50,7	0,1	25,1	0,47	0,26	10,60	0,11	
2	1349	JN/02	129,8	8,8	7,8	11,3	6,8	13,6	2,1	72,1	0,41	0,23	1,36	0,15	
3	1345	JN/03	58,7	ND	3,9	6,6	6,8	9,7	1,3	25,1	ND	0,22	1,04	ND	
4	1355	JN/04	91,7	6,4	4,9	8,9	6,8	3,9	4,0	37,6	ND	0,24	ND	0,02	
5	1343	JN/05	117,8	3,2	9,7	12,6	6,8	17,5	0,8	43,9	0,34	0,24	4,99	0,11	
6	1336	JN/06	336,0	3,2	14,6	74,1	24,8	91,6	29,8	18,8	0,85	0,24	17,49	0,12	
7	1337	JN/07	114,7	4,0	8,8	5,4	13,2	18,5	5,3	43,9	0,47	0,21	3,25	0,02	
8	1341	JN/08	520,7	51,2	21,4	44,7	6,8	25,3	74,6	294,5	1,43	0,20	ND	0,01	
9	1317	JN/09	146	12,8	5,8	13,8	6,8	9,7	2,2	87,7	ND	0,12	1,56	0,03	
10	1314	JN/10	205	20,8	9,7	10,1	6,8	7,8	6,8	137,9	0,85	0,12	0,84	0,03	
11	1315	JN/11	151	14,4	7,8	8,9	6,8	7,8	4,7	94,0	0,57	0,12	1,15	0,15	
12	1318	JN/12	227	25,6	9,7	13,8	3,5	9,7	10,9	144,1	0,57	1,34	0,93	0,11	
13	1316	JN/13	141	11,2	6,8	10,1	6,8	5,8	4,2	94,0	0,28	0,27	0,11	0,24	
14	1350	JN/14	448,2	24,0	55,4	26,0	27,5	126,6	2,1	31,3	0,87	0,34	31,84	0,02	
15	1348	JN/15	70,1	ND	3,9	11,3	10,1	20,5	0,8	15,7	ND	0,24	1,56	0,21	
16	1346	JN/16	140,7	5,6	7,3	13,8	19,2	24,4	1,6	53,3	0,34	0,23	3,25	0,07	
17	1353	JN/17	606,4	48,0	47,8	68,2	37,1	194,8	1,9	56,4	1,48	0,39	32,79	0,03	
18	1349	JN/18	280,0	6,4	33,1	23,2	24,8	87,7	0,2	18,8	0,60	0,32	18,98	0,23	
19	1344	JN/19	297,8	34,4	17,0	15,1	6,8	24,4	51,2	147,3	0,67	0,22	ND	0,25	
20	1339	JN/20	125,7	ND	1,9	24,6	19,2	27,3	0,2	12,5	0,87	0,23	8,66	0,03	
21	1338	JN/21	314,0	6,4	12,6	68,2	13,2	79,9	1,8	6,3	0,41	0,43	27,75	1,02	
22	1342	JN/22	214,1	22,4	12,6	10,1	6,8	15,6	32,4	112,8	0,60	0,22	ND	0,01	
23	1354	JN/23	92,8	1,6	6,8	8,9	6,8	15,6	0,6	31,3	0,14	0,39	4,45	ND	
24	1319	JN/24	380	30,4	33,1	24,6	27,5	93,5	1,7	31,3	ND	0,43	30,87	0,03	
25	1320	JN/25	285	28,8	17,5	23,2	6,8	35,1	5,3	131,6	ND	0,21	8,09	0,03	
26	1321	JN/26	295	30,4	13,6	19,0	6,8	23,4	8,4	156,7	ND	3,07	5,88	0,17	
27	1322	JN/27	372,5	32,0	14,6	35,0	3,5	7,8	12,1	244,4	ND	4,07	2,19	0,02	
28	1323	JN/28	319,1	24,8	15,1	35,0	10,1	35,1	16,3	147,3	ND	0,36	7,75	0,02	
29	1351	JN/29	413,6	33,6	12,6	60,6	6,8	15,6	64,1	188,0	0,67	0,24	ND	0,05	
30	1352	JN/30	2243,3	164,0	152,1	304,2	10,1	532,9	673,2	347,8	0,27	0,27	2,62	0,04	

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.9a			Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Missão Velha no período seco (dezembro/2007)												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)											Fe	
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>		
1	1180	MV/01	154,3	6,2	10,1	17,7	8,4	21,7	0,8	78,7	2,46	0,05	1,79	ND	
2	1177	MV/02	385,1	34,9	17,3	24,6	10,1	20,7	13,5	244,9	2,71	0,09	3,59	ND	
3	1183	MV/03	196,0	21,7	15,6	10,1	6,8	55,6	2,2	75,8	2,66	0,08	1,15	0,15	
4	1179	MV/04	354,8	31,0	20,7	20,4	10,1	17,0	4,6	242,0	2,40	0,14	1,36	ND	
5	1182	MV/05	238,4	3,9	16,8	39,8	19,2	92,3	0,7	29,2	3,07	0,45	7,21	ND	
6	1181	MV/06	196,4	16,3	7,2	11,3	13,2	12,2	6,4	72,9	3,01	10,77	4,12	ND	
7	1178	MV/07	244,7	17,9	12,5	16,4	10,1	10,4	10,1	154,5	3,21	0,25	1,36	2,71	

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.9b			Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Missão Velha no período chuvoso (agosto/2008)												
Nº	Nº Lab	Poço	Concentrações (mg/L)											Fe	
			STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>		
1	1370	MV/01	147,0	5,6	8,8	17,7	5,1	18,5	3,3	81,5	0,87	0,31	1,04	ND	
2	1365	MV/02	388,7	35,2	20,4	28,9	5,1	21,4	17,0	244,4	0,99	0,29	2,73	0,11	
3	1368	MV/03	198,3	19,2	15,6	12,6	6,8	46,8	3,1	87,7	1,36	0,23	0,93	0,22	
4	1364	MV/04	357,8	28,0	21,4	21,8	10,1	17,5	6,9	247,5	0,99	0,24	0,63	ND	
5	1367	MV/05	212,4	5,6	13,6	36,6	12,3	70,1	4,3	40,7	0,41	0,50	5,22	0,02	
6	1369	MV/06	135,4	10,4	8,3	11,3	3,4	15,6	6,3	75,2	0,87	0,24	0,72	0,01	
7	1363	MV/07	208,0	20,8	10,7	12,6	6,8	3,9	15,5	144,1	0,67	0,34	2,51	0,78	

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.10		Parâmetros físicos e químicos de amostras de água subterrânea em Barbalha, no período seco e no período chuvoso									
Nº	Poço	Primeira coleta					Segunda coleta				
		Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH
1	BAR/01	3,62	14,41	162,4	404	7,2	2,40	ND	160,0	660	8,3
2	BAR/02	0,60	9,02	128,7	391	7,1	0,49	16,2	130,0	530	8,0
3	BAR/03	1,02	6,0	15,8	73	6,0	0,90	18,01	16,0	99	7,0
4	BAR/07	2,40	14,41	5,9	102	6,0	1,32	3,61	4,0	89	7,0
5	BAR/04	0,72	9,02	312,8	639	7,1	0,50	1,80	312,0	800	8,1
6	BAR/05	0,01	23,40	207,9	510	6,6	0,47	3,61	206,0	560	8,0
7	BAR/06	2,82	41,30	79,2	211	6,9	1,30	5,41	76,0	330	7,8
8	BAR/08	0,62	7,21	79,2	265	7,3	0,34	ND	78,0	370	8,0

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.11		Parâmetros físicos e químicos de amostras de água subterrânea no Crato, no período seco e no período chuvoso									
Nº	Poço	Primeira coleta					Segunda coleta				
		Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH
1	CRT/05	0,95	14,40	31,7	113	6,2	0,47	3,61	104,0	343	5,4
2	CRT/06	1,00	10,82	332,6	769	6,5	0,49	7,21	364,0	950	6,6
3	CRT/01	0,62	21,60	55,4	143	5,9	0,38	5,41	48,0	240	5,7
4	CRT/07	0,62	12,62	231,7	528	6,1	0,50	35,93	200,0	445	6,4
5	CRT/08	0,41	9,02	65,3	216	5,4	1,3	7,20	68,0	190	5,1
6	CRT/02	0,63	9,02	99,0	254	6,5	0,70	18,01	104,0	330	6,4
7	CRT/09	0,51	25,19	61,4	258	5,3	0,40	18,01	62,0	220	5,5
8	CRT/10	1,20	9,02	39,6	322	4,6	7,8	12,62	28,0	205	4,0
9	CRT/11	0,71	16,21	132,7	303	6,6	0,55	10,82	140,0	370	6,5
10	CRT/12	0,50	9,02	87,1	209	6,7	1,26	12,62	96,0	300	7,0
11	CRT/03	1,32	12,62	97,0	222	6,9	0,97	35,93	68,0	250	6,2
12	CRT/13	0,54	12,62	128,7	374	5,6	0,55	9,02	56,0	340	5,4
13	CRT/04	0,60	27,00	108,9	299	6,5	0,6	7,20	82,0	345	6,0
14	CRT/14	0,81	7,21	21,8	231	6,4	5,89	19,81	26,0	270	6,1
15	CRT/15	3,50	23,40	33,7	161	6,2	1,5	3,6	40,0	248	6,3

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.13		Parâmetros físicos e químicos de amostras em Missão Velha, no período seco e no período chuvoso									
Nº	Poço	Primeira coleta					Segunda coleta				
		Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH
1	MV/01	0,52	16,21	57,4	187	6,5	0,45	14,4	50,0	230	7,7
2	MV/02	0,70	12,62	160,4	455	7,2	0,85	124,3	172,0	600	8,2
3	MV/03	1,50	6,40	118,3	304	6,4	3,69	34,1	112,0	298	7,7
4	MV/04	1,00	12,62	164,3	380	7,0	0,40	8,4	158,0	550	8,4
5	MV/05	0,70	10,82	79,2	500	5,4	0,45	12,6	70,0	330	7,2
6	MV/06	3,61	14,41	71,3	163	6,1	0,54	12,6	60,0	210	7,4
7	MV/07	33,05	21,60	97,0	250	7,5	28,60	103,28	96,0	350	8,3

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.12		Parâmetros físicos e químicos de amostras em Juazeiro do Norte no período seco e no período chuvoso									
Nº	Poço	Primeira coleta					Segunda coleta				
		Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH
1	JN/01	1,00	5,41	91,1	348	5,4	0,62	1,80	84,0	280	5,3
2	JN/02	0,53	18,00	59,4	133	6,1	0,42	ND	54,0	200	7,7
3	JN/03	0,58	14,40	35,6	120	5,8	0,43	ND	16,0	90	6,7
4	JN/04	0,80	12,62	39,6	110	6,0	0,56	5,41	36,0	140	7,7
5	JN/05	0,64	7,21	49,5	150	6,1	1,83	ND	48,0	180	6,9
6	JN/06	1,55	9,02	75,2	651	4,5	0,54	1,80	68,0	510	4,9
7	JN/07	2,82	10,82	37,6	143	5,8	0,43	18,0	46,0	170	5,9
8	JN/08	0,50	12,62	229,7	567	7,2	0,35	ND	216,0	810	7,0
9	JN/09	0,50	10,82	57,4	179	6,3	0,40	7,20	56,0	228	6,1
10	JN/10	1,01	9,02	93,1	222	6,6	0,50	1,80	92,0	318	6,1
11	JN/11	133,00	10,82	67,3	173	7,0	0,90	3,60	68,0	234	6,4
12	JN/12	151,00	23,40	104,9	261	6,8	0,40	1,80	104,0	353	6,1
13	JN/13	1,99	9,02	53,5	148	6,2	0,80	1,80	56,0	218	5,4
14	JN/14	0,83	9,02	336,6	900	5,3	0,65	ND	288,0	700	7,2
15	JN/15	1,12	19,81	31,7	180	5,4	0,65	ND	16,0	107	6,7
16	JN/16	1,62	21,60	53,5	165	5,9	0,65	ND	44,0	215	7,0
17	JN/17	1,21	16,21	263,3	1146	5,6	1,37	7,21	296,0	940	7,1
18	JN/18	0,23	12,62	126,7	497	5,2	0,57	ND	152,0	430	6,4
19	JN/19	1,91	19,81	162,4	348	6,8	1,90	1,80	156,0	460	6,6
20	JN/20	0,62	7,21	5,9	194	5,2	0,50	1,80	8,0	195	4,8
21	JN/21	0,88	10,82	71,3	586	4,2	0,45	ND	68,0	490	4,5
22	JN/22	0,60	7,21	112,9	273	6,2	0,45	ND	108,0	330	8,0
23	JN/23	0,54	16,21	33,7	125	5,6	1,30	3,61	32,0	138	6,9
24	JN/24	0,55	12,62	207,9	682	5,7	0,40	ND	212,0	592	5,1
25	JN/25	1,15	12,62	116,8	364	6,5	0,50	1,80	144,0	400	6,3
26	JN/26	1,32	21,60	134,6	392	7,0	0,44	3,60	132	459	6,7
27	JN/27	0,54	12,62	136,6	389	7,9	0,42	10,80	140,0	581	6,7
28	JN/28	0,78	18,01	122,8	423	6,7	0,51	5,40	124,0	490	6,7
29	JN/29	0,85	9,02	140,6	505	7,8	0,82	1,80	136,0	640	8,3
30	JN/30	10,90	9,02	861,3	2930	7,0	0,47	1,80	1036,0	3500	8,5

Nota: ND = Não detectado.

Tabela 5.14		Coliformes totais (CT) e termotolerantes (CF) em Barbalha			
Nº	Poço	CT (NMP)		CF (NMP)	
		12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
1	BAR/01	7,4	456,9	1,0	68,8
2	BAR/02	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
3	BAR/03	9,8	155,3	1,0	77,1
4	BAR/07	> 2419,6	112,6	< 1,0	8,4
5	BAR/04	980,4	435,2	< 1,0	< 1,0
6	BAR/05	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
7	BAR/06	1,0	23,3	< 1,0	< 1,0
8	BAR/08	2,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0

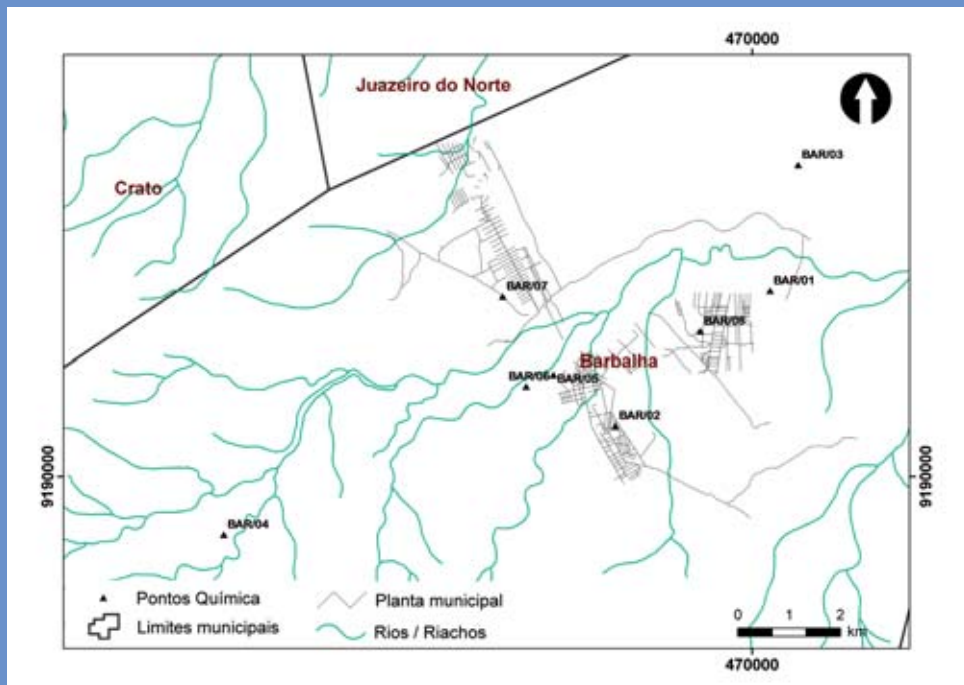


Figura 5.2 Localização espacial dos poços monitorados em Barbilha.

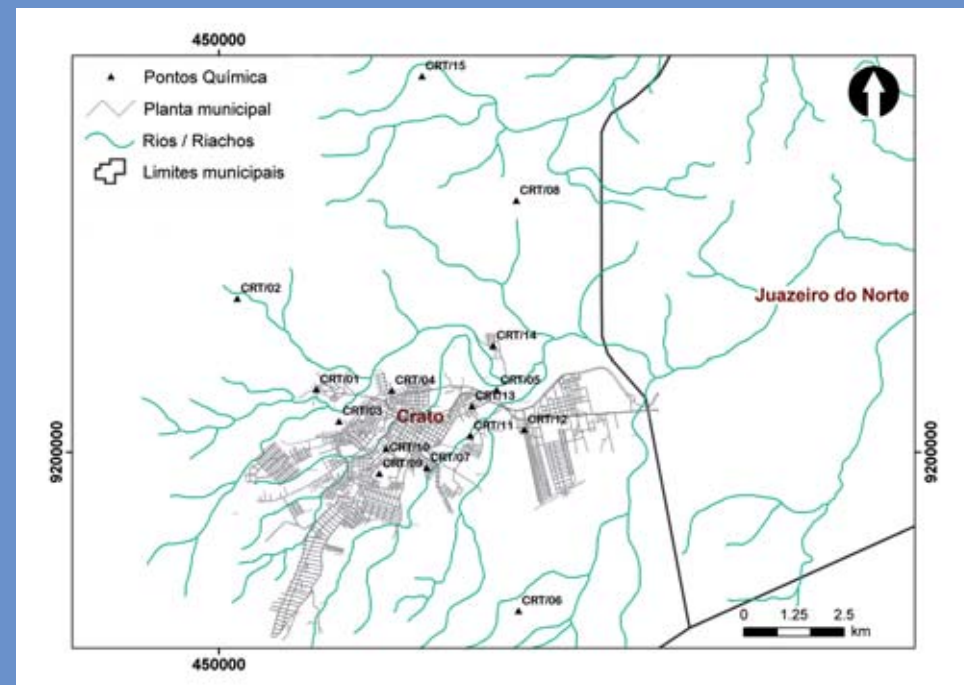
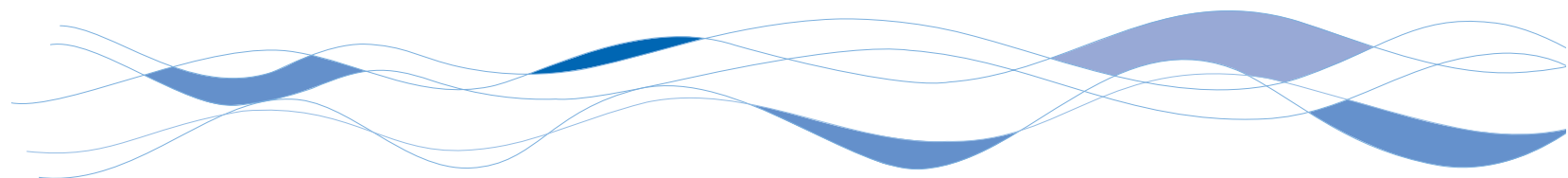


Figura 5.3 Localização espacial dos poços monitorados no Crato.



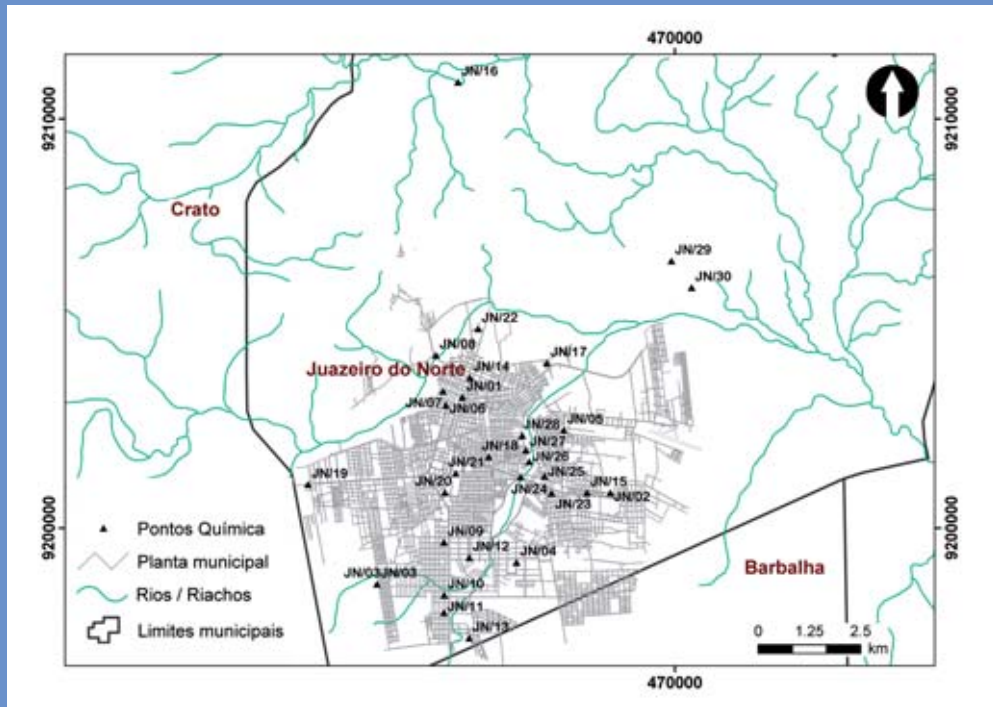


Figura 5.4 Localização espacial dos poços monitorados em Juazeiro do Norte.

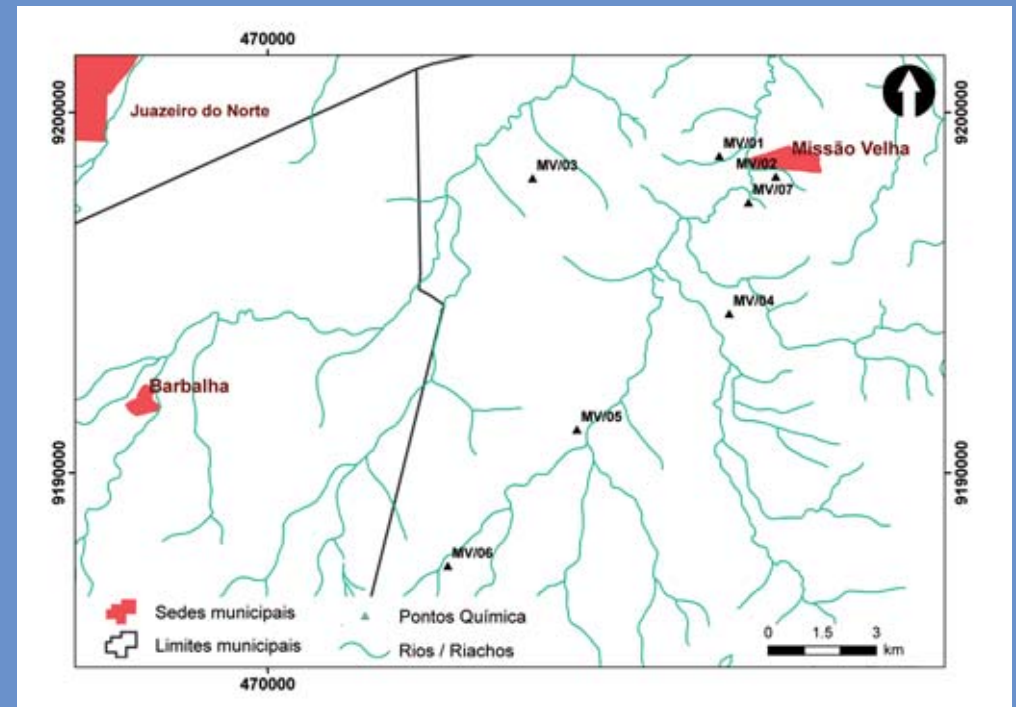


Figura 5.5 Localização espacial dos poços monitorados em Missão Velha.

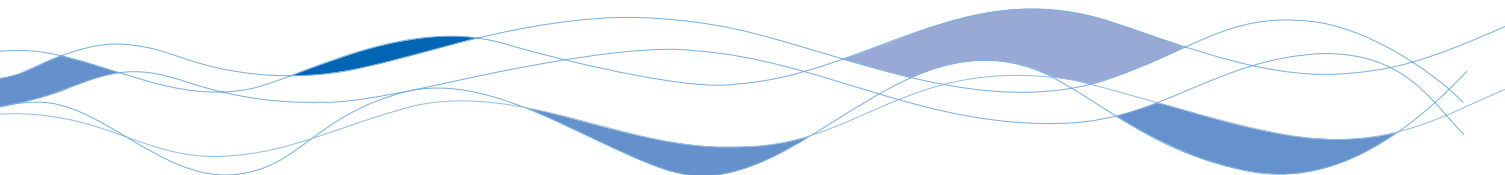


Tabela 5.15		Coliformes totais (CT) e termotolerantes (CF) no Crato			
Nº	Amostra	CT (NMP)		CF (NMP)	
		12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
1	CRT/05	1413,6	< 1,0	46,3	< 1,0
2	CRT/06	10,9	2,0	< 1,0	< 1,0
3	CRT/01	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
4	CRT/07	< 1,0	3,1	< 1,0	< 1,0
5	CRT/08	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
6	CRT/02	214,3	32,7	1,0	< 1,0
7	CRT/09	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
8	CRT/10	< 1,0	6,3	< 1,0	< 1,0
9	CRT/11	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
10	CRT/12	95,9	< 1,0	< 1,0	< 1,0
11	CRT/03	146,7	< 1,0	< 1,0	< 1,0
12	CRT/13	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
13	CRT/04	1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
14	CRT/14	2,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
15	CRT/15	344,8	82,0	< 1,0	56,1

Tabela 5.16		Coliformes totais (CT) e termotolerantes (CF) em Juazeiro do Norte			
Nº	Amostra	CT (NMP)		CF (NMP)	
		12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
1	JN/01	1986,3	593,8	< 1,0	5,2
2	JN/02	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
3	JN/03	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
4	JN/04	4,1	47,3	< 1,0	24,3
5	JN/05	16,1	146,7	11,0	4,1
6	JN/06	19,7	90,8	1,0	1,0
7	JN/07	118,7	2,0	< 1,0	< 1,0
8	JN/08	3,1	8,4	1,0	2,0
9	JN/09	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
10	JN/10	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
11	JN/11	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
12	JN/12	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
13	JN/13	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
14	JN/14	< 1,0	1,0	< 1,0	< 1,0
15	JN/15	17,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
16	JN/16	122,3	193,5	2,0	1,0
17	JN/17	648,8	1553,1	12,1	11,9
18	JN/18	129,6	178,0	< 1,0	< 1,0
19	JN/19	1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
20	JN/20	< 1,0	1,0	< 1,0	< 1,0
21	JN/21	1553,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
22	JN/22	> 2419,6	172,5	2,0	23,5
23	JN/23	5,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
24	JN/24	2,0	20,3	< 1,0	< 1,0
25	JN/25	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
26	JN/26	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
27	JN/27	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
28	JN/28	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
29	JN/30	18,9	< 1,0	< 1,0	< 1,0
30	JN/29	> 2419,6	31,8	1,0	< 1,0

Tabela 5.17		Coliformes totais (CT) e termotolerantes (CF) em Missão Velha			
Nº	Amostra	CT (NMP)		CF (NMP)	
		12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
1	MV/01	1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
2	MV/02	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
3	MV/03	3,1	190,4	< 1,0	< 1,0
4	MV/04	7,5	3,1	< 1,0	< 1,0
5	MV/05	1,0	93,1	< 1,0	< 1,0
6	MV/06	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
7	MV/07	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0

## pH

Nos sistemas de abastecimento público de água, segundo a Portaria Nº 518, o pH deve permanecer entre 6,5 e 9,5 (PORTARIA, 2004). 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 (RICHTER e AZEVEDO NETO, 2002). Na maior parte das águas naturais, o pH é controlado pelo sistema de equilíbrio do gás carbônico, bicarbonatos e carbonatos.

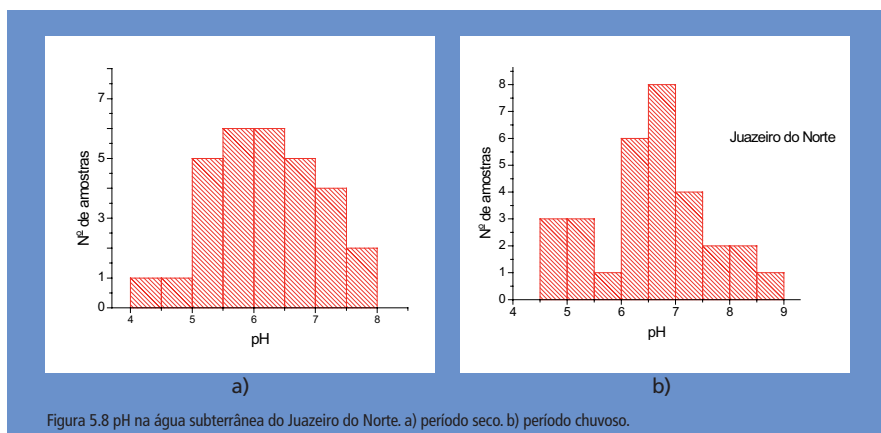
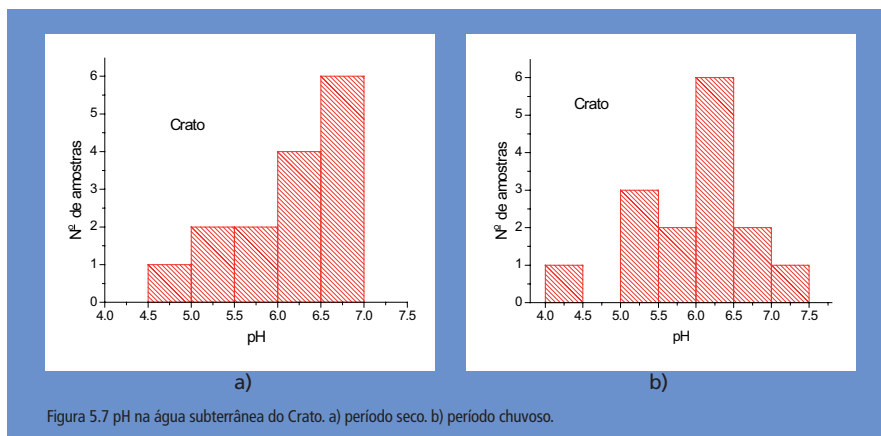
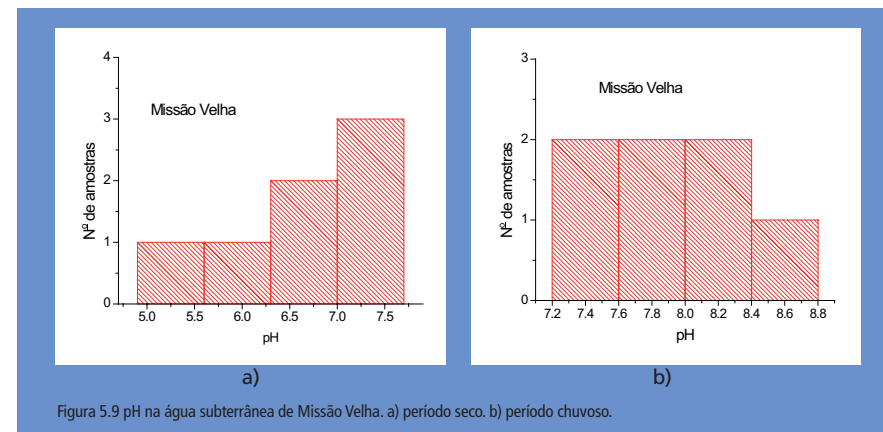
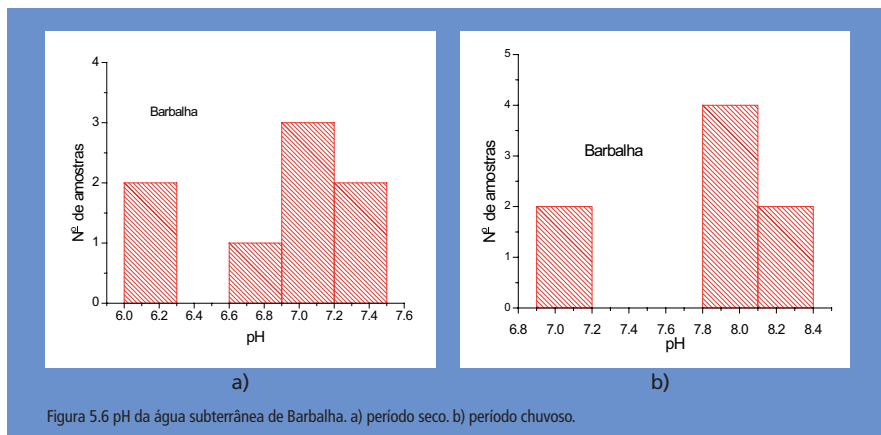
O pH é a medida da concentração do íon hidrogênio ou de sua atividade e é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

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 o seguinte critério:

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

As Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 apresentam pH das águas subterrâneas nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha respectivamente, nos períodos (a) seco e (b) chuvoso.



Durante o período seco, as águas dos poços de Barbalha apresentaram pH de 6,0 a 7,3 e no período chuvoso de 7,0 a 8,3, ocorrendo, no período chuvoso, aumento do pH em todas as amostras. No Crato, o pH das águas variou de 4,6 a 6,9 e de 4,0 a 6,6 respectivamente no período seco e chuvoso, observando no segundo período, na maioria das amostras, pouca variação nos valores de pH; as maiores reduções foram observadas nas amostras CRT/03, CRT/04, CRT/05 e CRT/10.

No período seco e chuvoso, as águas dos poços de Juazeiro do Norte apresentaram valores de pH de 5,2 a 7,8 e de 5,1 a 8,5, respectivamente. No período chuvoso, das 30 amostras analisadas, 43,3% houve aumento do pH, e 20% ocorreu redução, nas demais amostras de águas não se observou grandes variações. Quando a recarga do Aquífero é baixa, a variação do pH é pouco observada.

O pH das águas dos poços de Missão Velha variou de 5,4 a 7,5 no período seco e de 7,2 a 8,4 no período chuvoso, constatando aumento de pH em todas as amostras no segundo período. Essas variações indicam que as águas estão em constante interação com o ambiente.

Destaca-se que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) reage com a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e gera o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), que por sua vez, atuará na dissolução dos minerais. Assim, o pH das águas é influenciado diretamente pela litologia local e pelo fluxo das águas. Segundo

Mendonça, 2006 *apud* DNPM, 1996, a área de estudo apresenta uma diversificação litológica caracterizada por arenitos, siltitos, calcários e folhelhos.

O pH das águas subterrâneas também pode ser influenciado pelo carreamento de produtos agrícolas (fertilizantes e agrotóxicos), atividade biológica e despejos de efluentes domésticos e industriais. Dessa forma, a construção dos poços de acordo com as normas técnicas específicas contribuirá para a proteção das águas.

### Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) 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  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

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.

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 em função de CE, em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , utilizando a equação (SUASSUNA, 2007):

$$\text{STD} = 0,64\text{CE}$$

As Figuras 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13 apresentam condutividade elétrica das amostras de água subterrânea nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha: (a) para período seco e (b) para o período chuvoso.

Em Barbalha, no período seco, a CE das águas dos poços monitorados, variou de 73 a 639  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , já no período chuvoso a variação foi de 89 a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , observando um aumento na CE das

águas, exceto para a amostra do poço BAR/07 que permaneceu na mesma ordem, indicando que houve enriquecimento de sais.

No Crato a variação foi de 113 a 769  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 190 a 950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período seco e chuvoso respectivamente, resultando no aumento da CE na maioria das amostras. Já no Juazeiro, a CE variou de 110 a 2930  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período seco e de 90 a 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período chuvoso, a maioria (70%) teve aumento da CE com a recarga do Aquífero, em outras foi observado a redução devido certamente à diluição com as águas provenientes das precipitações. Por outro lado, as águas dos poços de Missão Velha variaram de 163 a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período seco e de 210 a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no chuvoso; apenas nas águas do poço MV/05 houve redução da CE e nas do poço MV/03 não se observou variação.

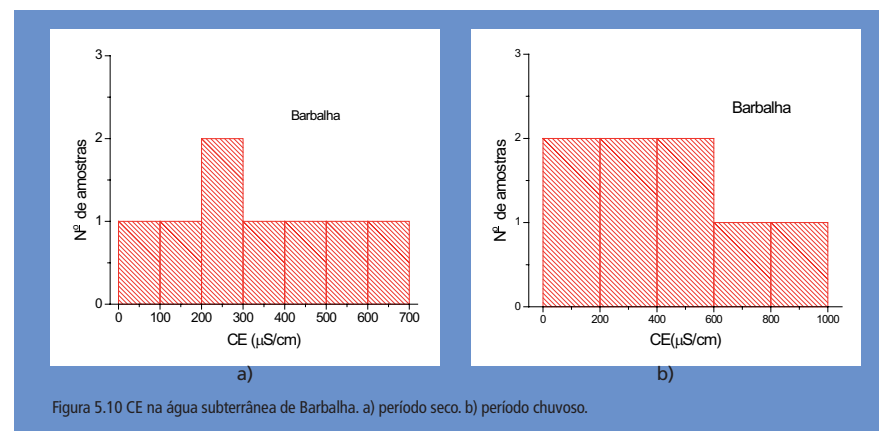


Figura 5.10 CE na água subterrânea de Barbalha. a) período seco. b) período chuvoso.

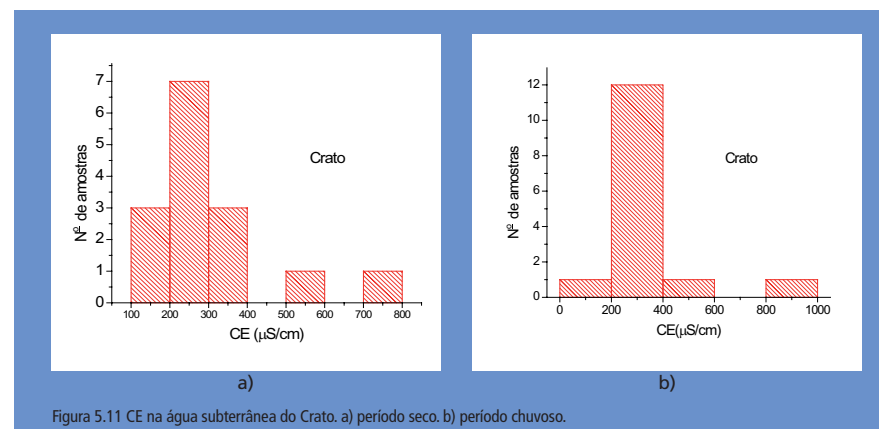


Figura 5.11 CE na água subterrânea do Crato. a) período seco. b) período chuvoso.

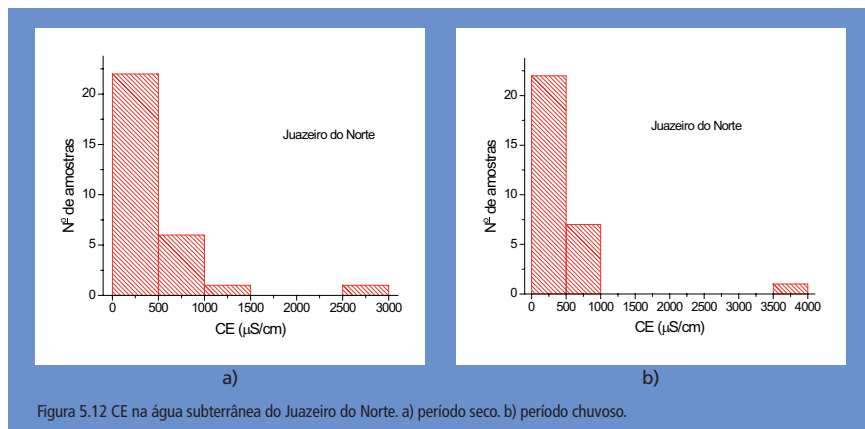


Figura 5.12 CE na água subterrânea do Juazeiro do Norte. a) período seco. b) período chuvoso.

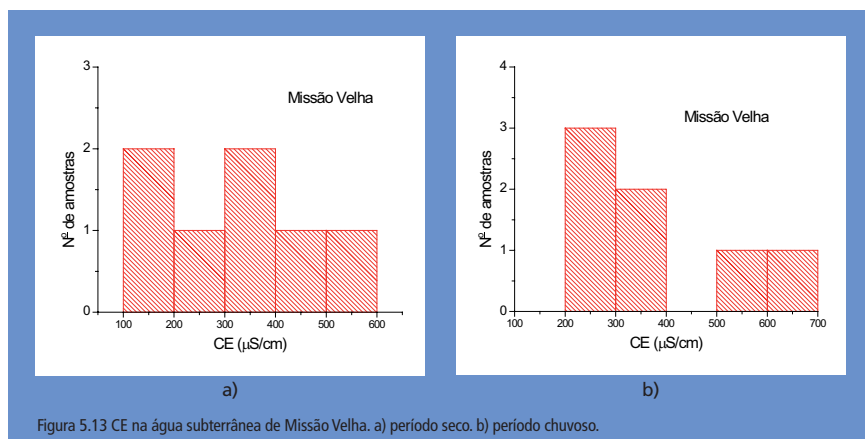


Figura 5.13 CE na água subterrânea de Missão Velha. a) período seco. b) período chuvoso.

As figuras 5.14 e 5.15 mostram a distribuição espacial da CE nos quatro municípios das coletas de dezembro de 2007 e setembro de 2008; elas indicam que os valores mais elevados estão nas águas do município de Juazeiro do Norte, o que é indício de águas com maior tempo de residência e/ou de mistura de águas modernas com paleoáguas. A parte norte de Juazeiro mostra CE muito elevada devido ao poço ser no cristalino.

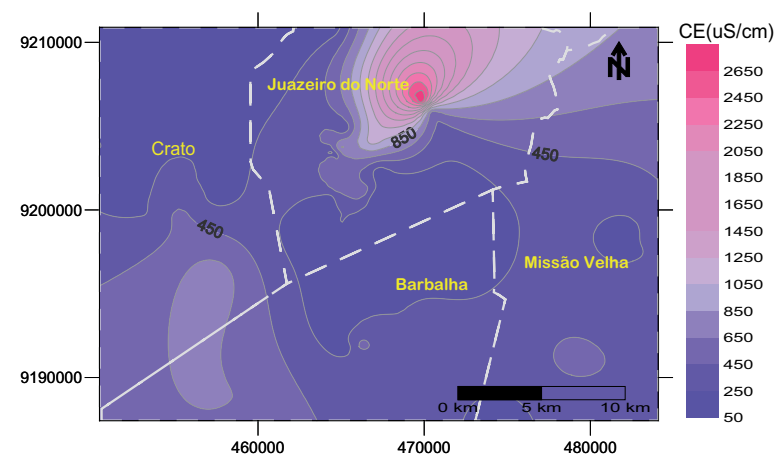


Figura 5.14 Distribuição espacial da CE nos municípios de Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha em dezembro de 2007.

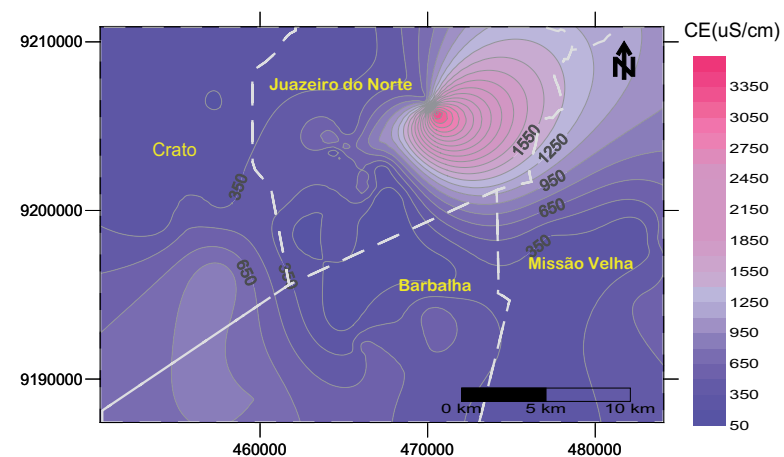


Figura 5.15 Distribuição espacial da CE nos municípios de Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha em agosto de 2008.

## Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Sólidos Totais Dissolvidos (STD) correspondem à massa total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Na maioria das águas naturais, a CE da água, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa de STD. No nordeste do Brasil, STD pode ser calculado a partir dos valores de CE, multiplicados por um fator de 0,64 (SUASSUNA, 2007).

STD correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado e é também chamado de resíduo à 105 ° C. As operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Com base nos valores estimados de STD, as águas são classificadas em doces, salobras ou salgadas de acordo com o Quadro 5.1.

Quadro 5.1	
Classificação das águas de acordo com STD	
Tipo de água	STD (mg/L)
Doce	0 - 500
Salobra	>500 - 1500
Salgada	>1500

As Figuras 5.16 a 5.19 apresentam STD das amostras de água subterrânea no município de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha (a) no período seco e (b) no período chuvoso.

Os valores de STD, nas águas dos poços em Barbalha, variaram de 61,4 a 487,0 mg/L no período seco e de 57,4 a 513,1 mg/L no período chuvoso; a maioria das águas permaneceu com valores de STD na mesma ordem, em outras foi observado um pequeno aumento. No Crato a variação foi de 91,0 a 520,2 mg/L no período seco e 127 a 609,0 mg/L no período chuvoso, verificando aumento na concentração de STD na maioria das águas, em outras, ocorreu redução; o maior aumento foi observado nas águas dos poços CRT/05 e CRT/06, e a maior redução nos poços CRT/07 e CRT/10, tais variações estão relacionadas com o fluxo das águas.

No município de Juazeiro do Norte, no período seco, a variação de STD foi de 89,3 a 1807,9 mg/L e no segundo período foi de 58,7 a 2243,3 mg/L, observando, no período de chuva, redução na maioria das amostras e aumento em outras. Em Missão Velha a variação foi de 154,3 a 385,1 mg/L e 135,4 a 388,7 mg/L no período seco e chuvoso respectivamente, não se observou aumento nos valores de STD, permaneceram na mesma ordem ou ocorreu pequena redução.

Das 60 amostras de águas analisadas, apenas a do poço JN/30 apresentou valores de STD acima de 1000 mg/L, valor máximo permitido (VMP) citado na Resolução N° 396 do CONAMA (2008).

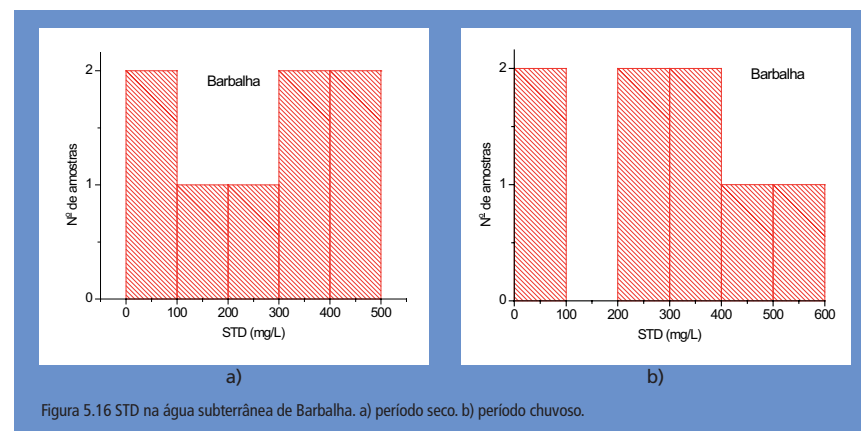


Figura 5.16 STD na água subterrânea de Barbalha. a) período seco. b) período chuvoso.

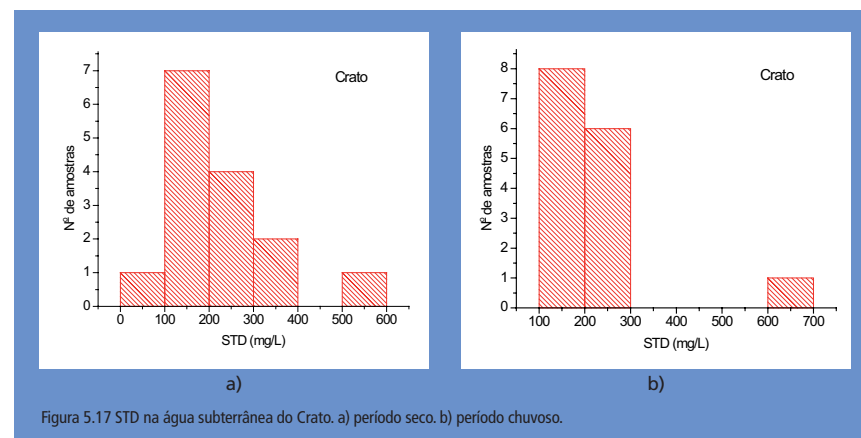


Figura 5.17 STD na água subterrânea do Crato. a) período seco. b) período chuvoso.

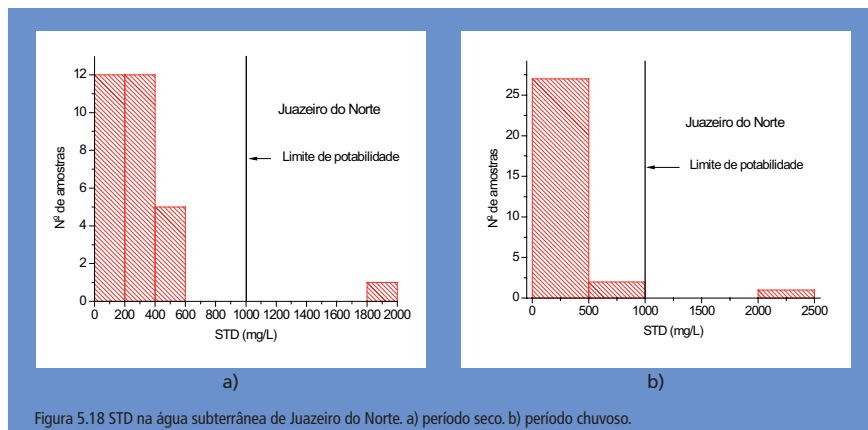


Figura 5.18 STD na água subterrânea de Juazeiro do Norte. a) período seco. b) período chuvoso.

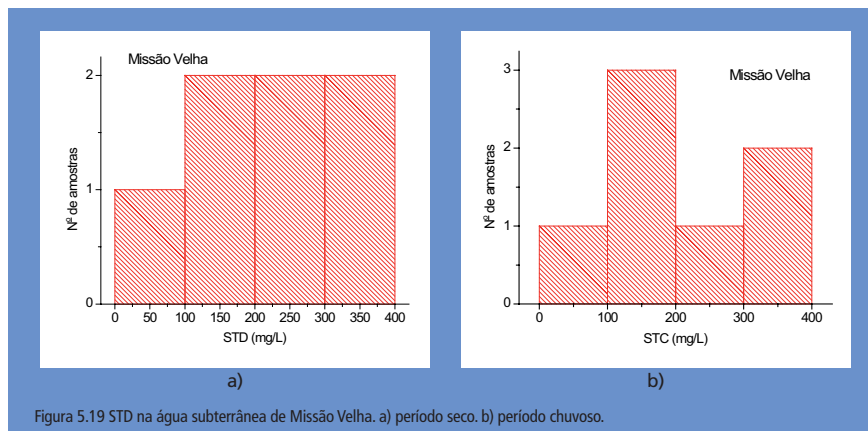


Figura 5.19 STD na água subterrânea de Missão Velha. a) período seco. b) período chuvoso.

## Cor aparente

A cor indica principalmente a presença de metais (Fe, Mn), ácidos húmicos (matéria oriunda da degradação de matéria de origem vegetal), plâncton (conjunto de plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas) dentre outras substâncias dissolvidas na água.

As Figuras 5.20, 5.21, 5.22 e 5.23 apresentam a cor das amostras de água subterrânea nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha no (a) período seco e (b) período chuvoso.

No período chuvoso, a cor aparente foi menor do que no período seco para a maioria das amostras. No Crato e em Missão Velha algumas águas apresentaram cor aparente maior no período chuvoso, sendo as águas dos poços CRT/03, CRT/07, MV/02 e MV/07 com maiores elevações.

Como a Resolução do CONAMA N° 396 não menciona VMP para cor aparente em águas subterrâneas, os valores deste parâmetro será relacionado com o VMP da Portaria N° 518. Assim, no período seco, dezoito poços tiveram águas com valores de cor aparente acima de 15 uH; observando os maiores valores de 41 uH no poço BAR/06, 25 uH no CRT/09, 23 uH no JN/12 e 21 uH no MV/07. Já no período chuvoso, nove amostras de águas resultaram em valores de cor aparente maior que o da legislação em vigor; sendo 18 uH na água do poço BAR/03, 36 uH nas águas dos poços CRT/03 e CRT/07, 18 uH no JN/07 e 124 uH no MV/02. Os valores de cor aparente podem estar relacionados com a presença de corantes, em consequência da poluição e, possivelmente, associada à decomposição de vegetais ou oxidação de metais.

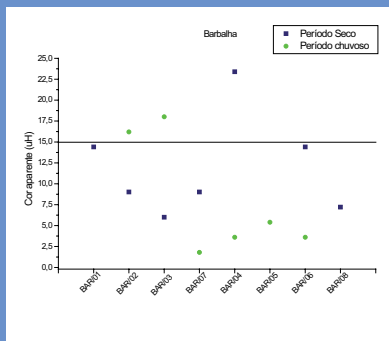


Figura 5.20 Cor aparente na água subterrânea de Barbalha.

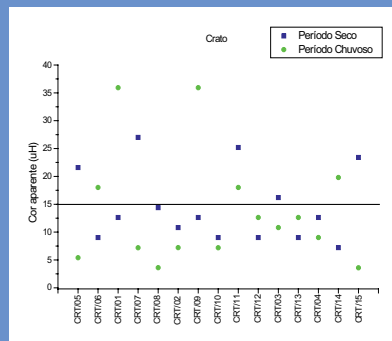


Figura 5.21 Cor aparente na água subterrânea de Crato.

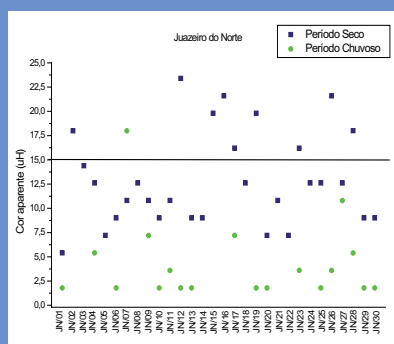


Figura 5.22 Cor aparente na água subterrânea de Juazeiro do Norte.

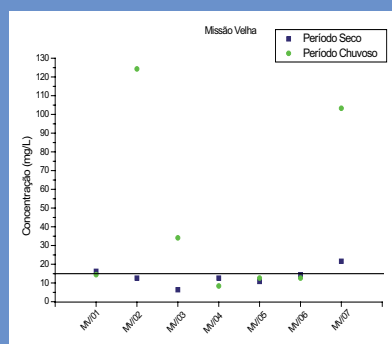


Figura 5.23 Cor aparente na água subterrânea de Missão Velha.

### 5.3. 1.5 Turbidez

A turbidez é uma medida do espalhamento de luz produzido pela presença de partículas coloidais ou em suspensão e é expressa como unidade nefelométrica de turbidez (NTU - *Nephelometric Turbidity Unity*), usando-se como padrão para calibração do turbidímetro uma suspensão de polímero formazin (sulfato de hidrazina + hexame tileno tetramina) ou uma suspensão de látex ou então micro esferas de estireno-divinilbenzeno, conforme o fabricante do equipamento.

A turbidez é um parâmetro indicador da possível presença de argila, silte, substâncias orgânicas (Ex: húmus) ou inorgânicas (Ex: óxidos) finamente divididas, plâncton e algas, indicando o risco de entupimentos de filtros e tubulações.

As Figuras 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27 apresentam a turbidez das amostras de água subterrânea nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha na (a) período seco e (b) período chuvoso.

No período chuvoso, a maioria das águas dos poços monitorados apresentou valores de turbidez menor que no período seco, as maiores elevações ocorridas no período chuvoso foram nas águas dos poços CRT/10 e CRT/14, sendo respectivamente de 6,6 e 5,0. No entanto, apesar de constatar turbidez menor no período seco, no poço MV/07 resultou em 28,6 NTU.

As amostras dos poços JN/11 e JN/12, localizadas em Juazeiro do Norte, apresentaram turbidez de 133 e 151 NTU, não identificando o motivo dos valores, já que a concentração de ferro nas águas era baixa e manganês não foi analisado. Presumi-se que partículas de argila possam ter sido carregadas, ocasionando aumento da turbidez.

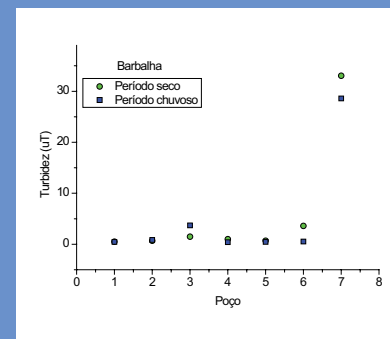


Figura 5.24 Turbidez na água subterrânea de Barbalha.

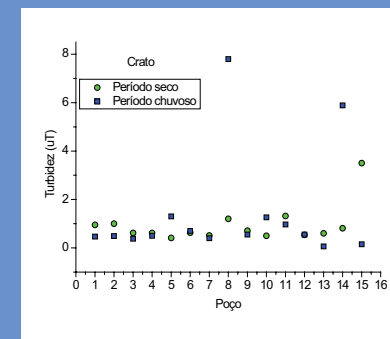


Figura 5.25 Turbidez na água subterrânea de Crato.

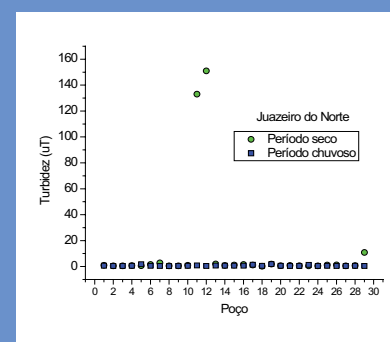


Figura 5.26 Turbidez na água subterrânea de Juazeiro do Norte

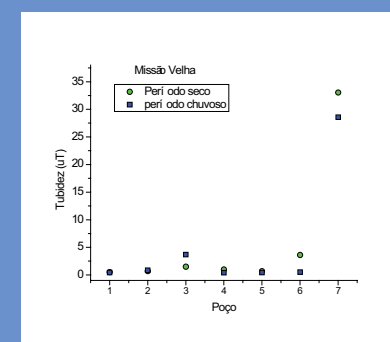


Figura 5.27 Turbidez na água subterrânea de Missão Velha.

## Dureza

A dureza é uma característica conferida à água pela presença de alguns íons metálicos, principalmente os de cálcio e magnésio e, em menor grau, os íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e do estrôncio. A dureza é reconhecida pela sua propriedade de impedir a formação de espuma com o sabão e que, além disto, produz incrustações nos sistemas de água quente (RICHTER E AZEVEDO NETO, 2002). As águas podem ser classificadas em termos do grau de dureza de acordo com o Quadro 5.2.

Quadro 5.2	Classificação das águas quanto ao grau de dureza
Dureza de $\text{CaCO}_3$ (mg/L)	Classificação da Água
0 – 50	Mole
>50 – 150	Moderadamente dura
>150 – 300	Dura
> 300	Muito dura

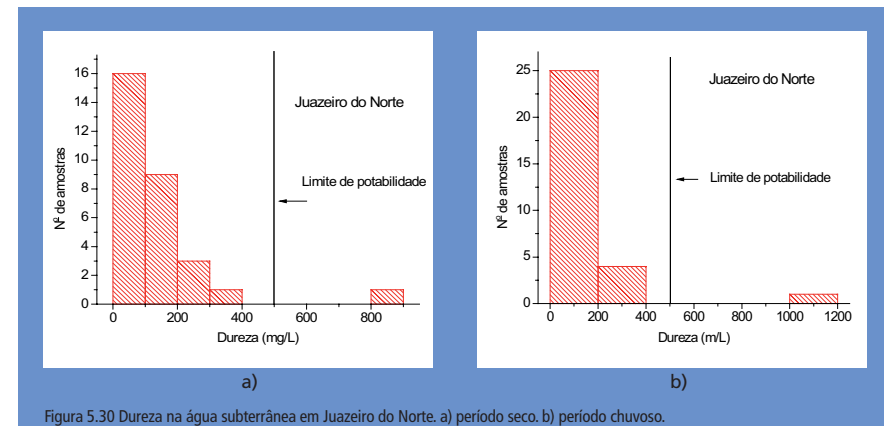
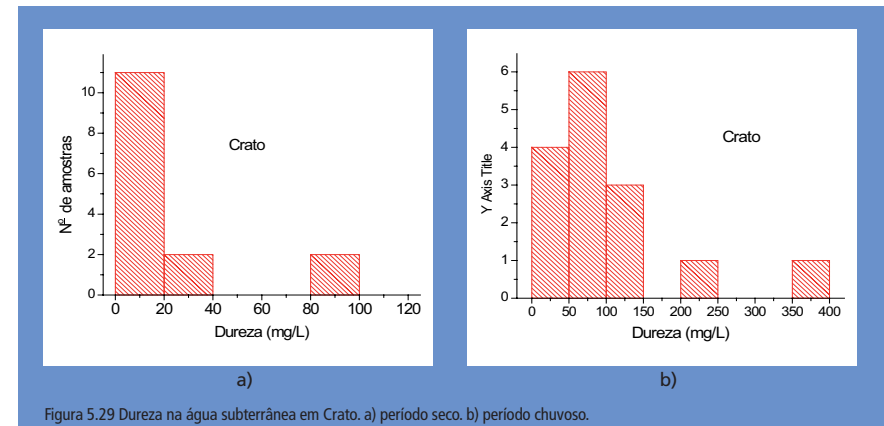
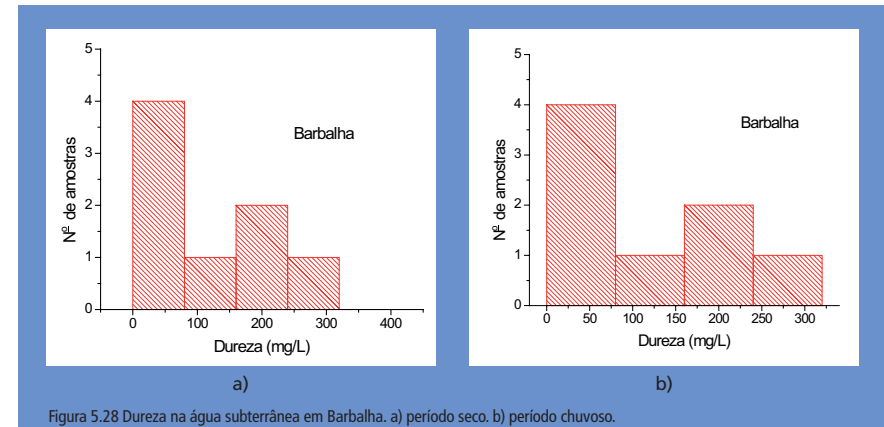
Fonte: FNS, 1999.

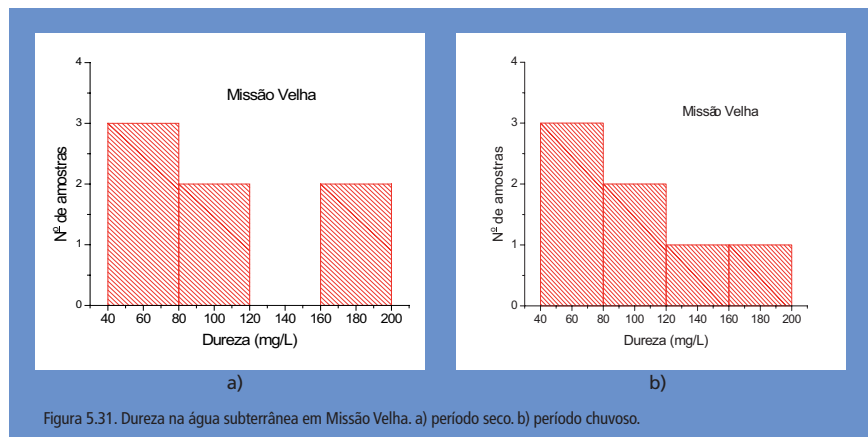
As Figuras 5.28, 5.29, 5.30 e 5.31 apresentam dureza das amostras de água subterrânea nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha (a) período seco e (b) período chuvoso.

A dureza total das águas de Barbalha variou de 4,0 a 312,8 mg  $\text{CaCO}_3$ /L, não ocorrendo variações no período seco e chuvoso. No Crato, a variação da dureza total foi de 21,8 a 332,6 mg  $\text{CaCO}_3$ /L no período seco e de 26,0 a 364,0 mg  $\text{CaCO}_3$ /L no período chuvoso. A maior variação observada foi de 72 mg  $\text{CaCO}_3$ /L, sendo mais nas águas do poço CRT/05 e para menos no poço CRT/13.

A dureza total das águas dos poços de Juazeiro do Norte, no período seco e chuvoso, variou respectivamente de 5,9 a 861,3 mg  $\text{CaCO}_3$ /L e de 8,0 a 1036,0 mg  $\text{CaCO}_3$ /L; sendo o menor valor nas águas do poço JN/20 e maior no poço JN/30, o último localizado no cristalino.

Em Missão Velha, a dureza total variou de 57,4 a 164,3 mg  $\text{CaCO}_3$ /L no período seco e de 50,0 a 172,0 mg  $\text{CaCO}_3$ /L no período chuvoso. Poucas variações foram observadas.





## Ferro

Ferro é um elemento presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de 0,3 mg/L. São fontes de ferro os minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios; pela afinidade geoquímica quase sempre é acompanhado pelo manganês.

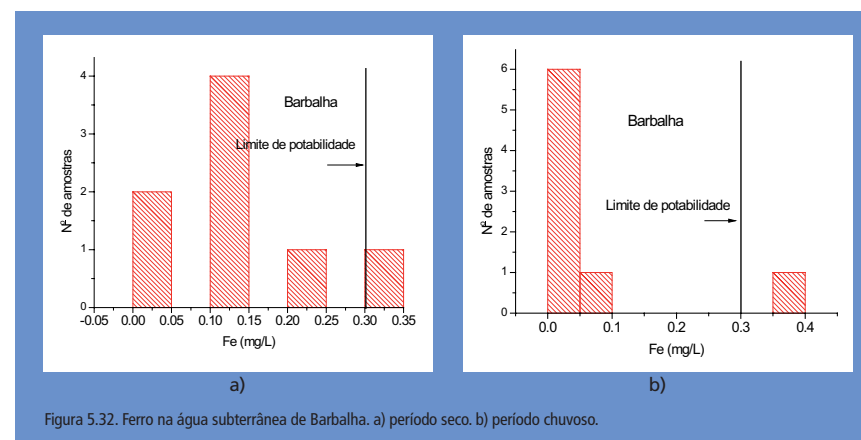
O ferro no estado ferroso ( $Fe^{2+}$ ) forma compostos solúveis, principalmente polifosfatos nos processos de perfuração e desenvolvimento dos poços criam condições para que as ferro-bactérias, naturalmente ocorrente nos Aquíferos, proliferem com mais facilidade, fazendo-se necessário uma boa limpeza no processo de completação do poço. Em ambientes oxidantes o  $Fe^{2+}$  passa a  $Fe^{3+}$  dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água. Por isso, águas com alto conteúdo de Fe, ao saírem do poço, são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam amareladas.

A precipitação de ferro presente nas águas é a principal responsável pela perda da capacidade específica de poços profundos; as incrustações são produtos da atividade das ferro-bactérias. O uso de substâncias orgânicas emulsificantes e polifosfatos nos processos de perfuração e desenvolvimento dos

poços criam condições para que as ferro-bactérias, naturalmente ocorrente nos Aquíferos, proliferem com mais facilidade, fazendo-se necessário uma boa limpeza no processo construtivo do poço.

As Figuras 5.32, 5.33, 5.34 e 5.35 mostram as concentrações de ferro nas águas subterrâneas dos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha. Observa-se que as concentrações de ferro total nos municípios, na maioria das águas estão abaixo de 0,3 mg/L, VMP nas águas para consumo humano (CONAMA, 2008). Em Barbalha, no período seco e chuvoso, a maior concentração identificada foi respectivamente de 0,31 mg/L (BAR/06) e 0,36 mg/L (BAR/01). No Crato, a maior concentração de ferro (0,34 mg/L) foi quantificada no período chuvoso (poço CRT/10).

No período seco, em Juazeiro do Norte, três poços apresentaram águas em concentração de ferro acima de 0,3 mg/L: JN/17 (0,84 mg/L), JN/18 (0,33 mg/L) e JN/29 (0,54 mg/L). Já no período chuvoso, 1,02 mg/L de ferro foi quantificado nas águas do poço JN/21. No entanto, a maior concentração de ferro identificada (2,71 mg/L) foi no poço MV/07, localizado em Missão Velha. O mesmo poço, no período chuvoso, apresentou concentração de 0,78 mg/L.



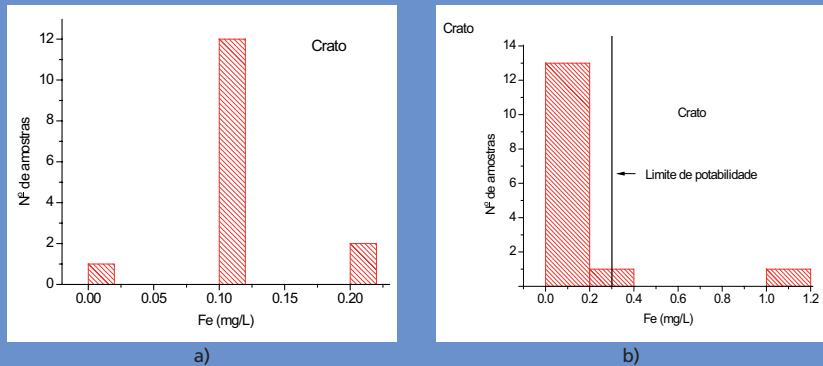


Figura 5.33 Ferro na água subterrânea em Crato. a) período. Seco. b) período chuvoso.

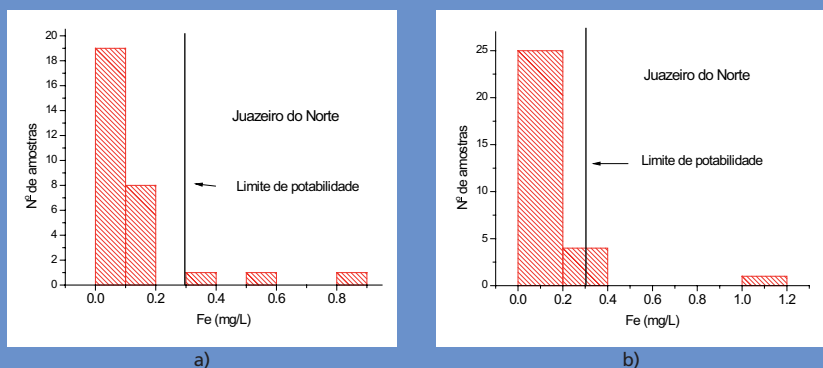


Figura 5.34 Ferro na água subterrânea em Juazeiro do Norte. a) período chuvoso. b) período seco.

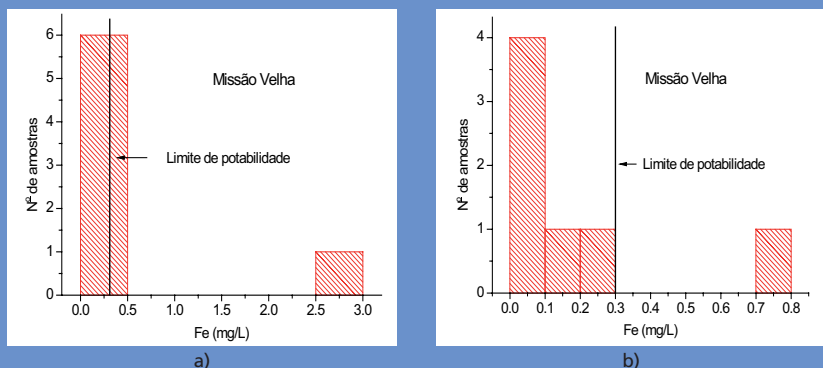


Figura 5.35 Ferro na água subterrânea em Missão Velha. a) período chuvoso. b) período seco.

## Concentração de cátions

Os íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) em águas subterrâneas em contato com rochas carbonatadas 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.

Em águas doces, as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  variam de 10 a 250mg/L. Elevadas concentrações de cálcio podem provocar formação de pedras nos rins, hipercalemia. 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.

O íon magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ) tem propriedades similares às do íon cálcio, porém é mais solúvel e difícil de precipitar. Devido a sua solubilidade, o magnésio é geralmente encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que o cálcio, ou seja, de 1 a 40mg/L. Águas armazenadas em rochas ricas em magnésio têm concentrações que podem atingir até 100mg/L. Concentrações maiores que 100mg/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.

O íon sódio ( $\text{Na}^+$ ) 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 100.000mg/L. Concentrações de sódio elevadas nas águas podem ser prejudiciais às plantas por reduzir a permeabilidade do solo, principalmente se as concentrações de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  forem baixas.

O íon potássio ( $\text{K}^+$ ) 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 10mg/L. Ao contrário do sódio, o potássio é um elemento vital para o crescimento das plantas e é um dos constituintes de fertilizantes agrícolas.

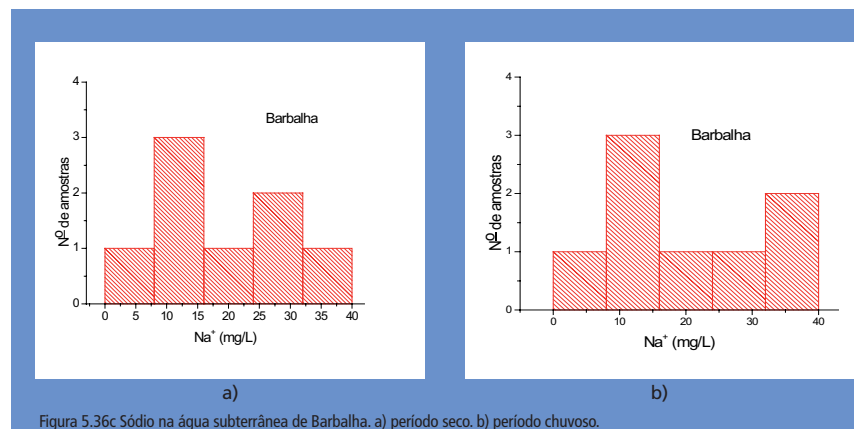
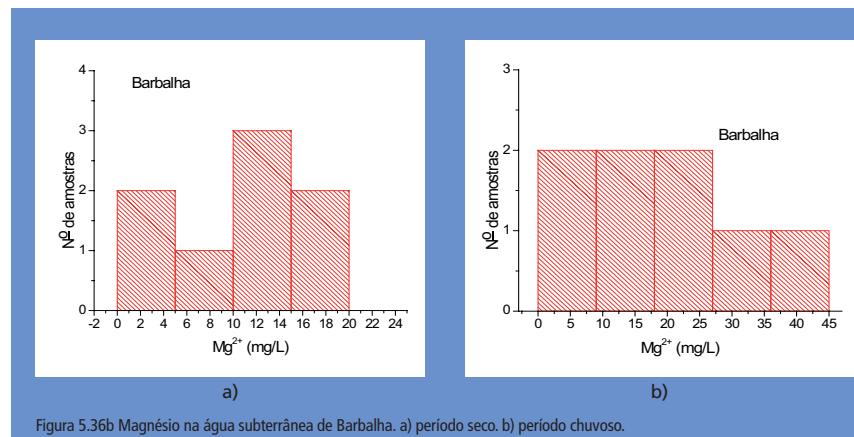
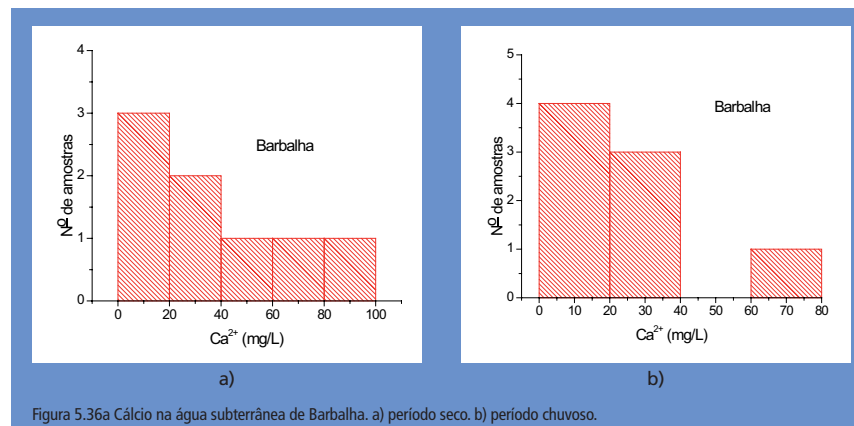
De acordo com a Resolução 396 do CONAMA (2008), não há restrição quanto às concentrações de cálcio, magnésio e potássio. Para o sódio o VMP é de 200 mg/L para consumo humano e 300mg/L para recreação. As distribuições estatísticas das concentrações de cátions em amostras dos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha no período seco (a) e no período chuvoso (b) são mostradas nas Figuras 5.36, 5.37, 5.38, 5.39 e 5.40 onde a, b, c e d se referem à distribuição de cálcio, magnésio, sódio e potássio, respectivamente.

As águas de Barbalha apresentaram maior concentração de cálcio no período seco, enquanto magnésio e sódio reduziram. A concentração de potássio manteve-se na mesma ordem. No primeiro período, o cálcio predominou em quatro amostras e o sódio nas demais amostras, no período chuvoso, o cátion sódio prevaleceu em oito amostras e o cálcio em duas.

No período seco e chuvoso, as águas do Crato apresentaram concentração de cátions similares, pouca redução ou aumento foi constatado em alguns poços. Dos quatro cátions relacionados neste item, o sódio predominou em 53% das águas.

No Juazeiro do Norte, no período chuvoso, houve redução de cálcio, magnésio e potássio na maioria das amostras, ocorrendo o inverso para o sódio. No período seco, o cálcio predominou em 53,3% das águas e, no período chuvoso o sódio com maior concentração (50%) das águas analisadas.

Nas águas do município de Missão Velha, no período chuvoso, praticamente não houve redução ou aumento nas concentrações de cálcio, magnésio, sódio e potássio. O cátion predominante nas águas foi o cálcio.



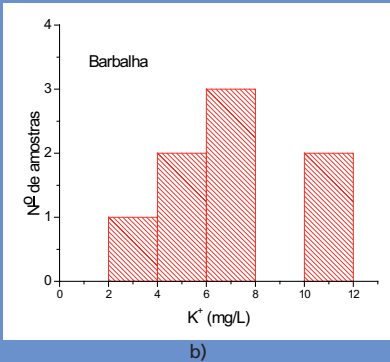
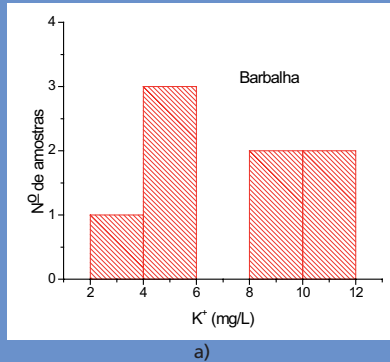


Figura 5.36d Potássio na água subterrânea de Barbalha. a) período seco. b) período chuvoso.

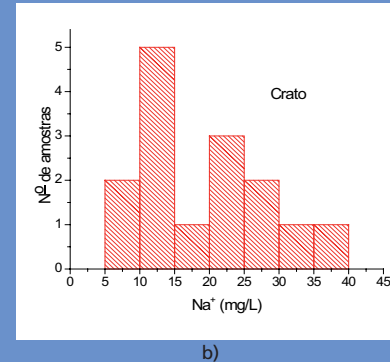
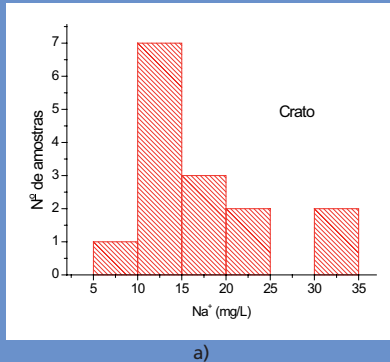


Figura 5.37c Sódio na água subterrânea do Crato. a) período seco. b) período chuvoso.

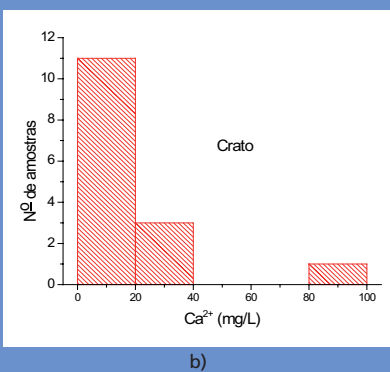
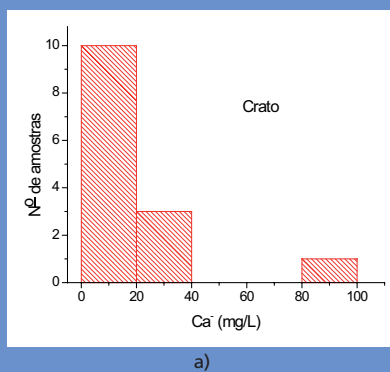


Figura 5.37a Cálcio na água subterrânea do Crato. a) período seco. b) período chuvoso.

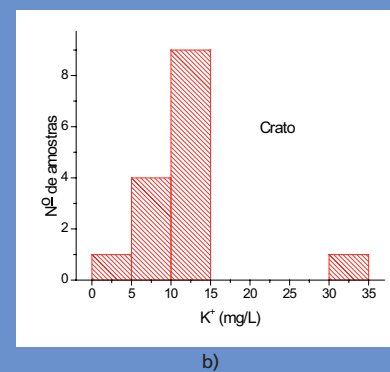
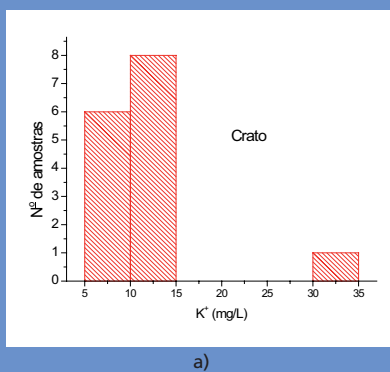


Figura 5.37d Potássio na água subterrânea do Crato. a) período seco. b) período chuvoso.

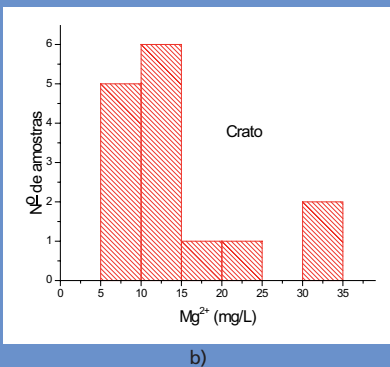
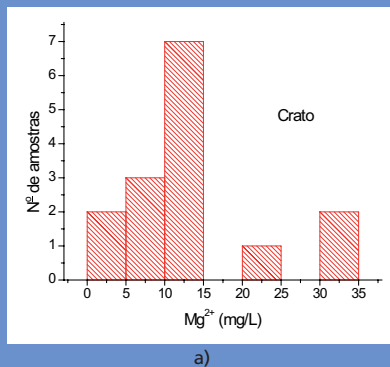


Figura 5.37b Magnésio na água subterrânea do Crato. a) período seco. b) período chuvoso.

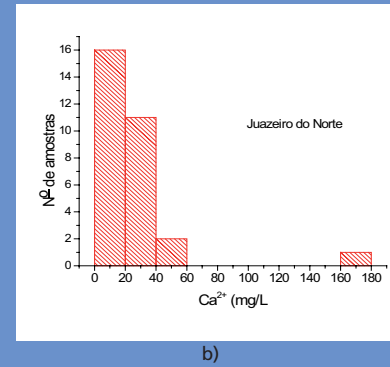
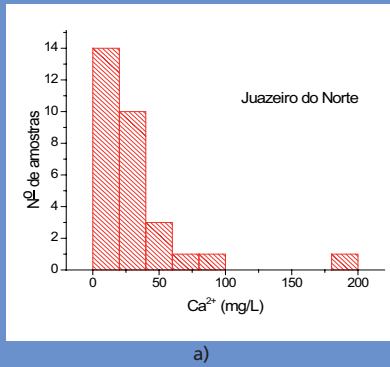
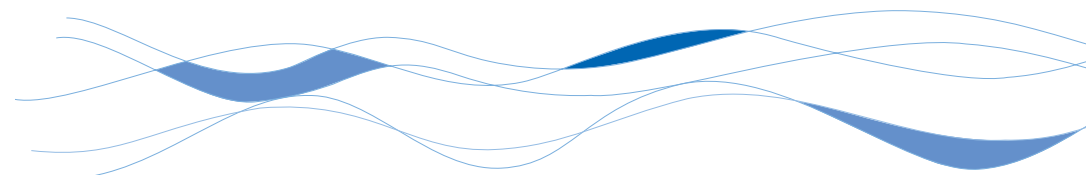
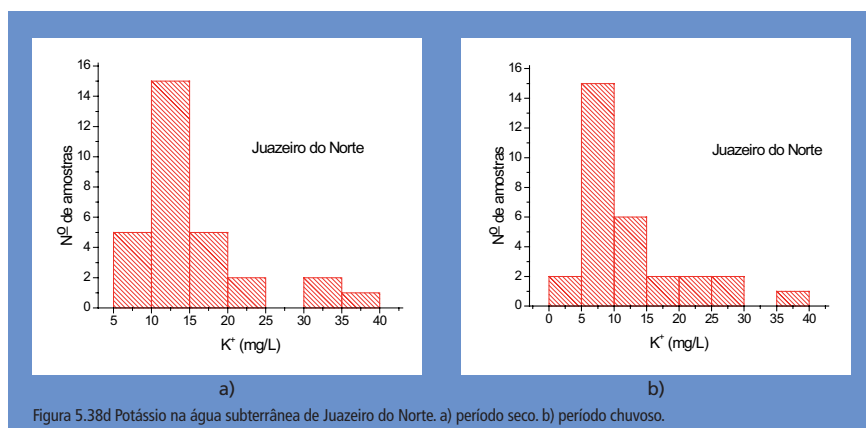
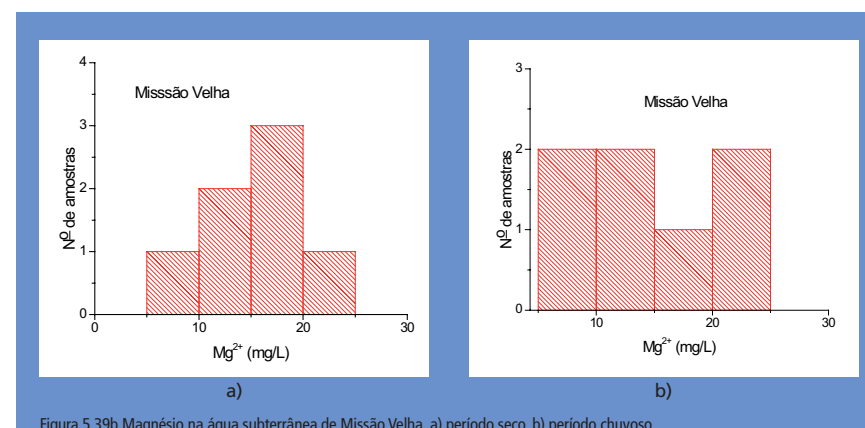
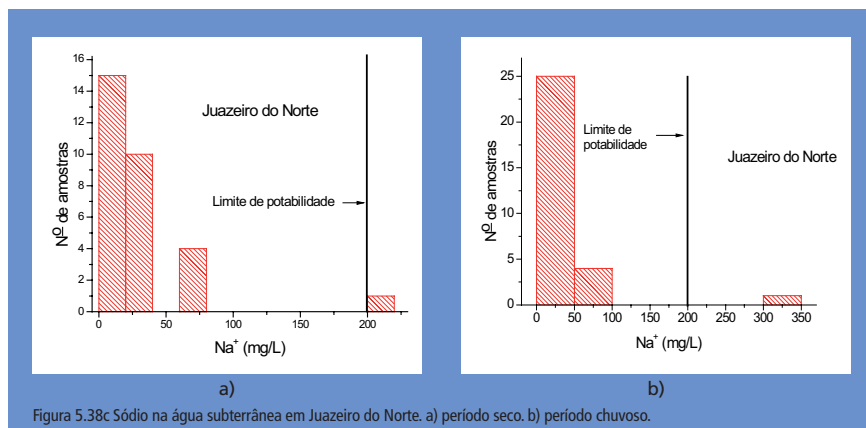
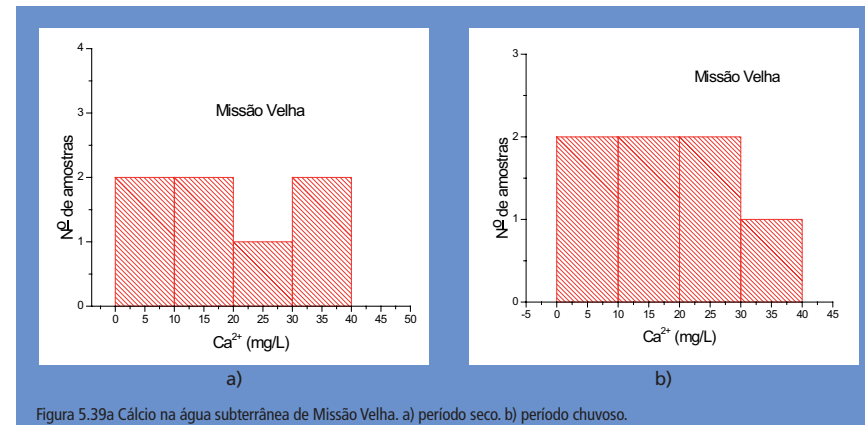
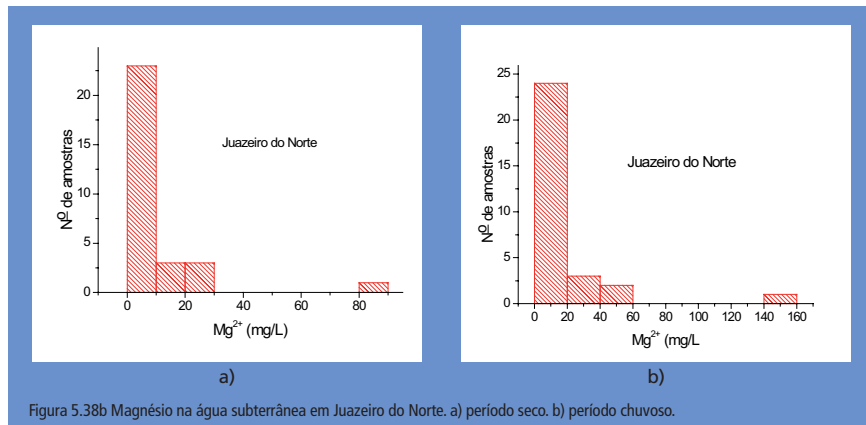
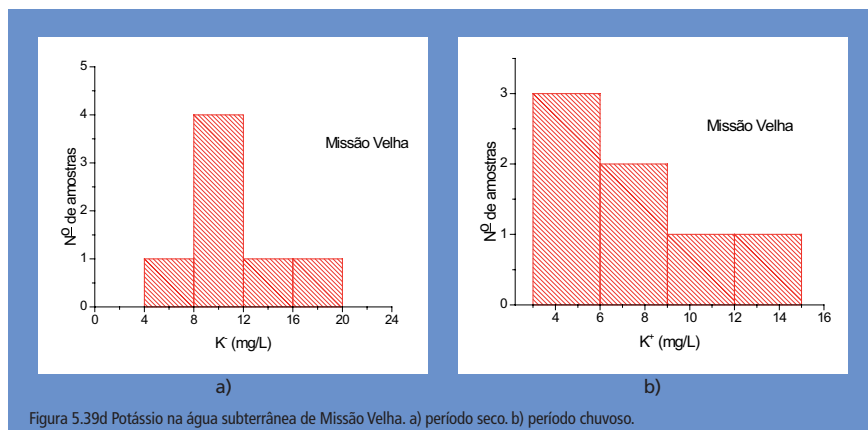
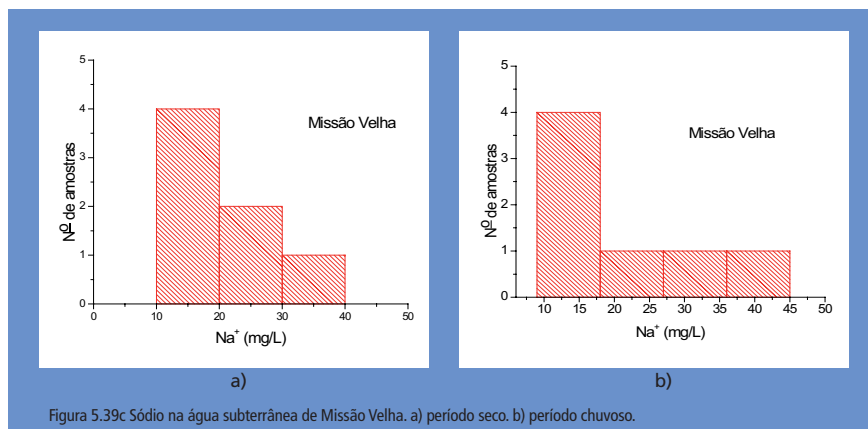


Figura 5.38a Cálcio na água subterrânea de Juazeiro do Norte. a) período seco. b) período chuvoso.





## Concentração de ânions

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.

Os sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) são desde moderadamente solúveis a muito solúveis, formados por oxidação de sulfetos. 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, ela confere à água um sabor amargo e pode causar efeitos laxativos.

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 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.

De acordo com a Resolução N° 396 do CONAMA (2008), não há restrição quanto às concentrações de bicarbonato, e para o cloreto e o sulfato os valores de VMP são mostrados no quadro 5.3.

Uso	Valores Máximos Permitidos para Cl <sup>-</sup> e SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> CONAMA (2008)	
	VMP (mg/L)	
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Consumo Humano	250	250
Dessedentação de animais	-	100
Irrigação	100 - 700	-
Recreação	400	400

As distribuições estatísticas das concentrações de ânions das águas dos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha no período seco (a) e no período chuvoso (b) estão mostradas nas Figuras 5.40, 5.41, 5.42 e 5.43 onde a, b e c mostram a distribuição de cloreto, sulfato e bicarbonato, respectivamente.

Em Barbalha, as águas dos poços apresentaram concentrações de cloreto, sulfato e bicarbonato sem muitas variações no período seco e chuvoso, o ânion em maior concentração foi o bicarbonato. No Crato, o comportamento foi similar ao de Barbalha, porém nos poços CRT/06 e CRT/13 as águas tiveram diferenças no período da primeira e segunda coleta; no período seco, as águas dos poços mencionados tinham respectivamente 201,2 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e 125,7 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, e no período chuvoso 275,7 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e 34,5 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L.

As águas dos poços do Juazeiro do Norte e Missão Velha não apresentaram grandes variações nas concentrações de cloreto, sulfato e bicarbonato no período seco e chuvoso, exceto nas águas dos poços JN/14, JN/29 e JN/30. O primeiro poço tinha 105,0 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L no período seco e 31,3 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L no chuvoso; os poços JN/29 e JN/30, estando o poço JN/30 localizado no cristalino com águas com características diferentes dos demais poços, carbonatos também foram quantificados (46,2 e 30,8 mg CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/L). Destaca-se que os pHs dessas águas foram respectivamente de 8,3 e 8,5, o que gera a conversão de bicarbonato a carbonato.

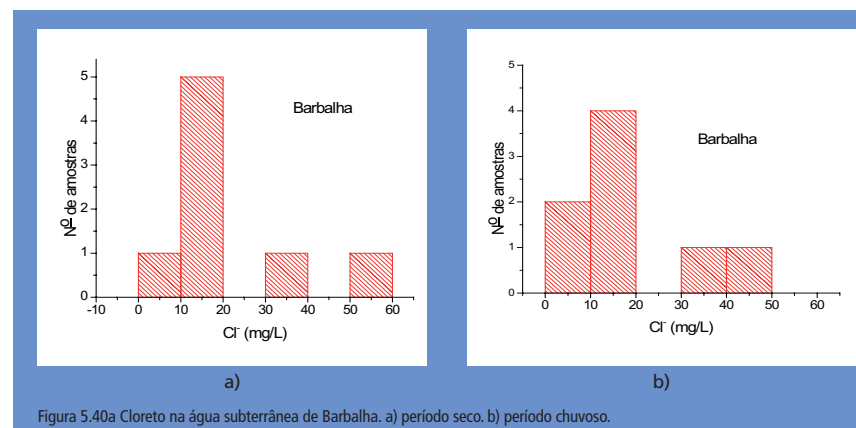


Figura 5.40a Cloreto na água subterrânea de Barbalha. a) período seco. b) período chuvoso.

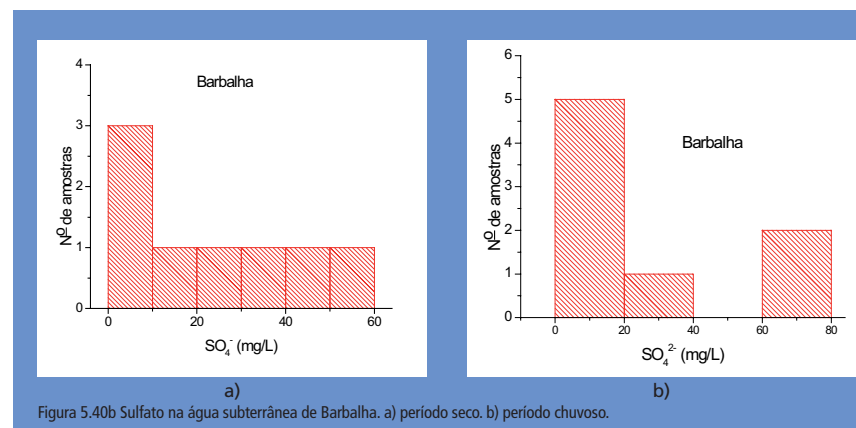


Figura 5.40b Sulfato na água subterrânea de Barbalha. a) período seco. b) período chuvoso.

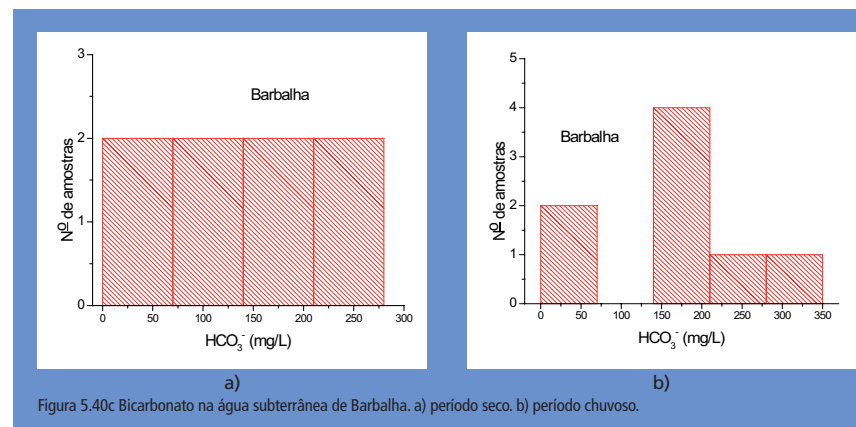
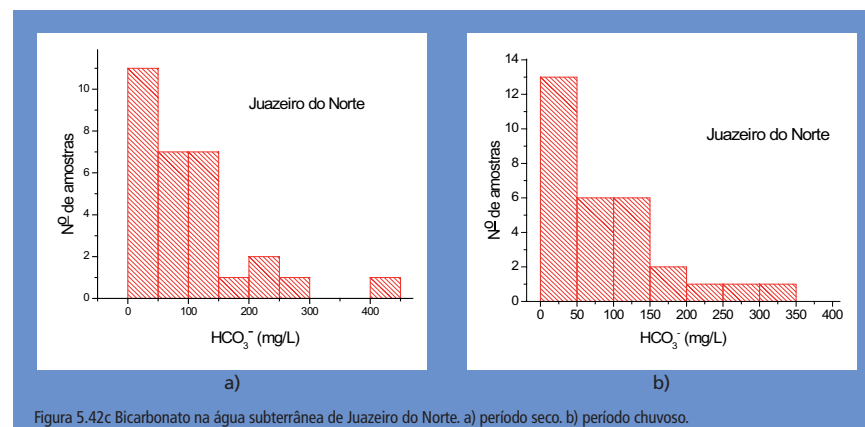
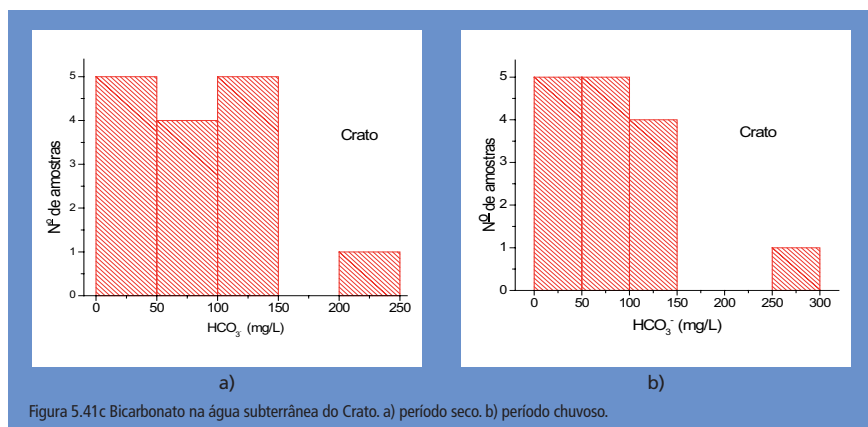
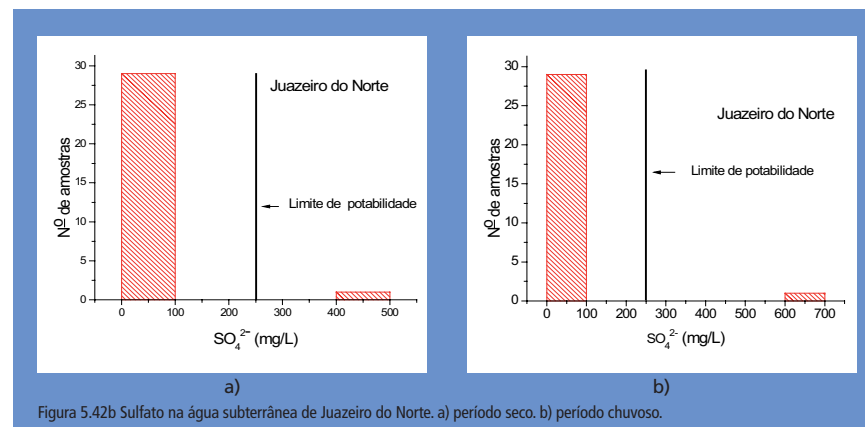
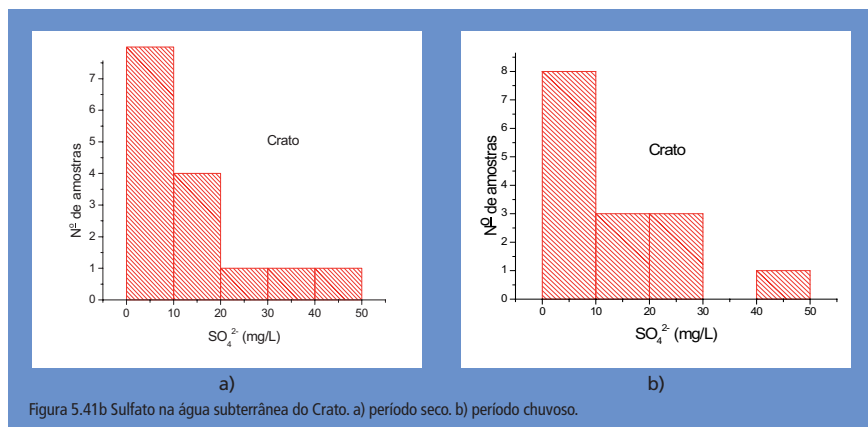
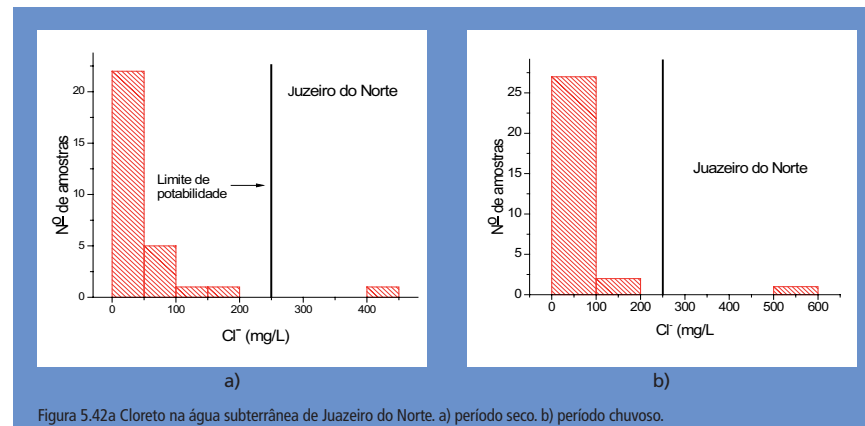
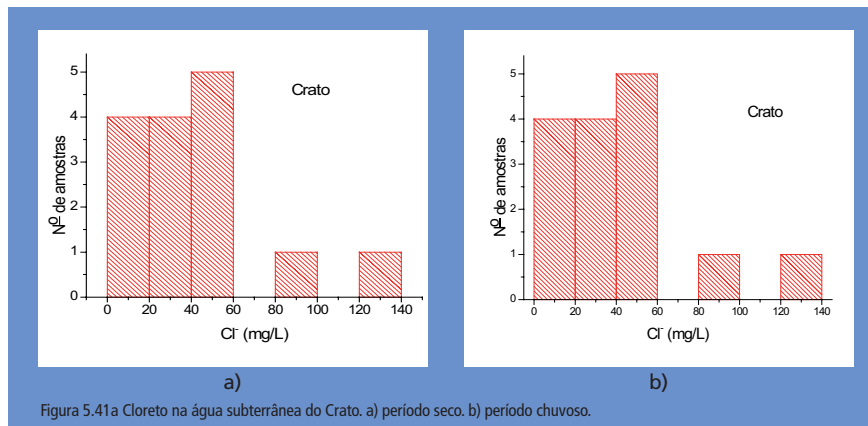
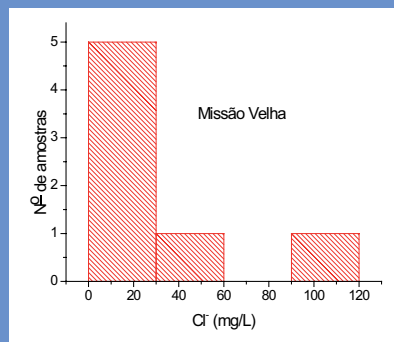
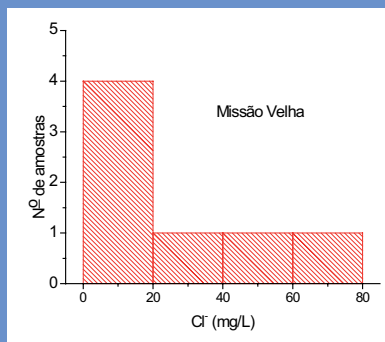


Figura 5.40c Bicarbonato na água subterrânea de Barbalha. a) período seco. b) período chuvoso.



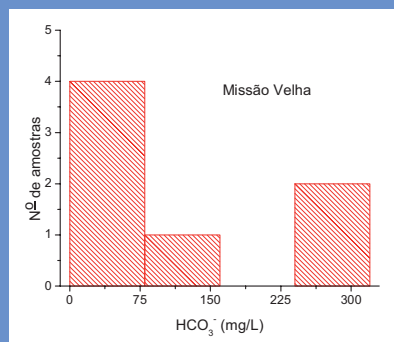


a)

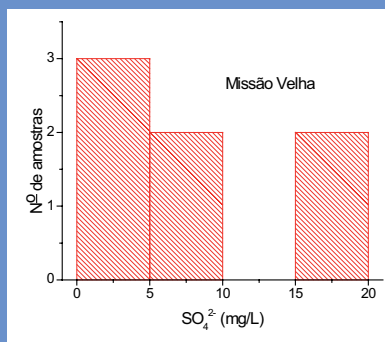


b)

Figura 5.43a Cloreto na água subterrânea de Missão Velha. a) período seco. b) período chuvoso.

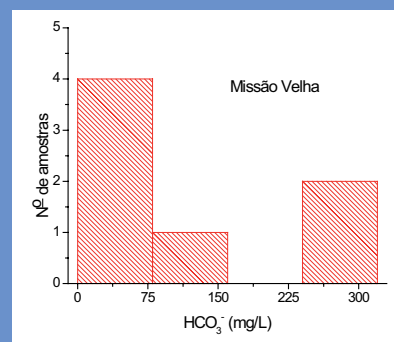


a)

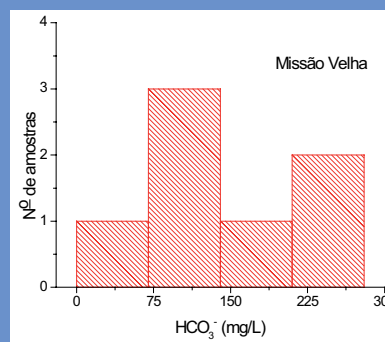


b)

Figura 5.43b Sulfato na água subterrânea de Missão Velha. a) período seco. b) período chuvoso.



a)



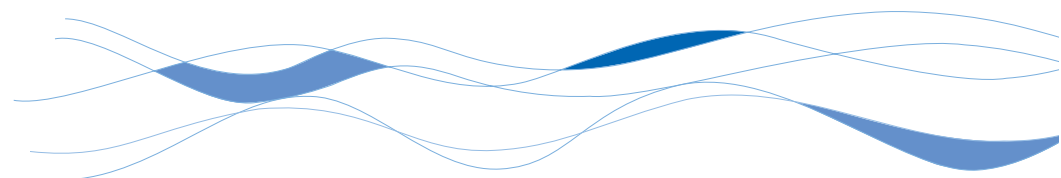
b)

Figura 5.43c Bicarbonato na água subterrânea de Missão Velha. a) período seco. b) período chuvoso.

## Diagrama de Piper

O Diagrama de Piper é utilizado para classificação e comparação de distintos tipos de águas quanto aos íons dominantes. A representação gráfica pode evidenciar possíveis relações entre íons de uma mesma amostra ou ressaltar variações temporais ou espaciais existentes. Ele pode também identificar mistura de água e reações químicas na água subterrânea.

As Figuras 5.44 a 5.47 representam os diagramas de Piper com amostras dos municípios Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte, e Missão Velha, respectivamente. As águas dos quatro municípios são predominantemente águas bicarbonatadas mistas. Águas cloretadas sódicas aparecem em menor número de amostras em cada município. Estas classificações são as mesmas para as amostras das duas coletas.



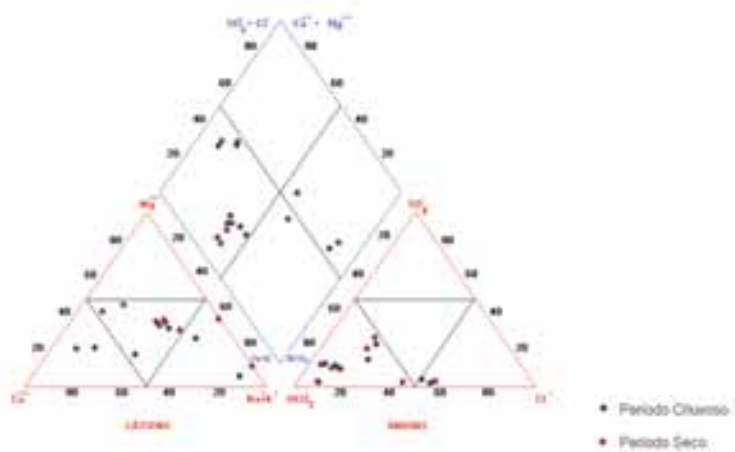


Figura 5.44 Diagrama de Piper - Barbalha.

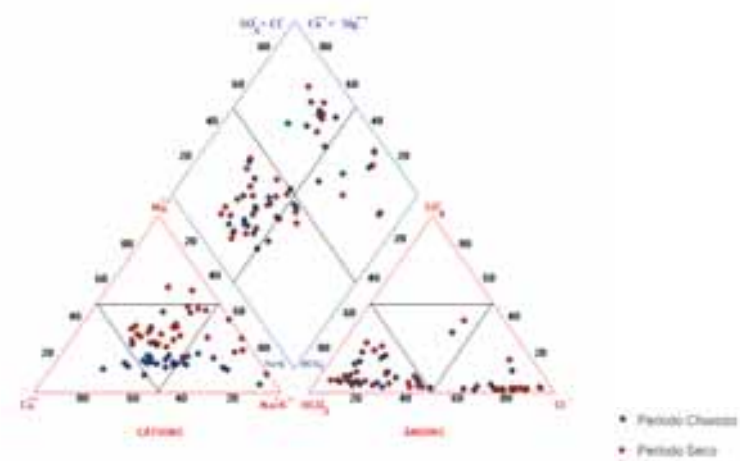


Figura 5.46 Diagrama de Piper - Juazeiro do Norte.

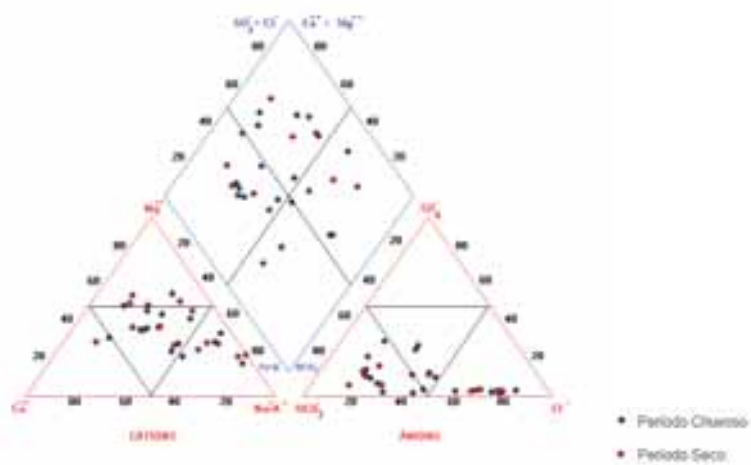


Figura 5.45 Diagrama de Piper - Crato.

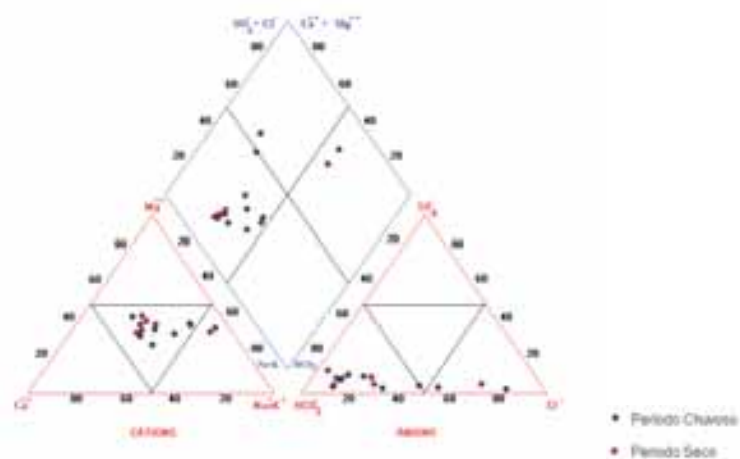


Figura 5.47 Diagrama de Piper - Missão Velha.

## Compostos Nitrogenados

Os compostos de nitrogênio provêm de matéria orgânica e sua presença indica poluição recente ou remota. Quanto mais oxidados são os compostos de nitrogênio, tanto mais remota é a poluição (BRASIL, 2006).

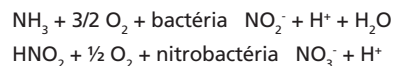
É possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações relativas e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água:

- 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 poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio. Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre.

Os nitratos são muito solúveis, por isso, dificilmente precipitam; eles tendem à 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 (SANTOS, 2008). 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 ( $NO_3^-$ ) 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; em 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 methemoglobinemia, condição mórbida associada à descoloração da pele, em consequência de alterações no sangue (ZUBLENA, 2001 *apud* RESENDE, 2002).

Crianças com menos de três meses de idade possuem, em seu aparelho digestivo, bactérias que reduzem o nitrato a nitrito que se liga muito fortemente a moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportarem oxigênio para as células do organismo. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração (falta de ar) e, em casos mais sérios, à morte por asfixia. Aos seis meses de idade, a concentração de ácido hidroclórico aumenta no estômago, matando as bactérias reductoras de nitrato.

De acordo com a Resolução N° 396 do CONAMA (2008), as restrições quanto às concentrações de nitrito e nitrato são estabelecidas através dos valores de VMP indicados no Quadro 5.4. A Portaria N° 518 (2004) menciona 1,5 mg  $NH_3$ /L como VMP de amônia para consumo humano.

Quadro 5.4	Restrições quanto às concentrações de nitrito e nitrato (CONAMA, 2008)	
Uso	mg N- $NO_2^-$ /L	mg N- $NO_3^-$ /L
Consumo Humano	1	10
Dessecação de animais	10	90
Irrigação	1	-
Recreação	1	10

No período seco e chuvoso, as águas dos poços de Barbalha apresentaram concentrações de amônia, nitrito e nitrato em concentrações similares (Figura 5.41), porém os poços BAR/03 e BAR/06, no período seco, resultaram em concentrações de amônia maior que 1,5 mg  $NH_3$ /L (VMP para consumo humano).

As águas dos poços monitorados no Crato (Figura 5.42) estavam contaminadas com amônia, nitrito e nitrato nos dois períodos das coletas, algumas amostras apresentaram concentrações de amônia, nitrito e nitrato acima dos VMP nas legislações.

Nas águas do município de Juazeiro do Norte (Figura 5.43), também foi constatada a contaminação das águas pelos compostos de nitrogênio analisados; 23,3% das amostras de águas apresentaram concentração de nitrato acima do VMP para consumo humano. A maior concentração verificada foi no poço JN/17 (35,9 mg N-NO<sub>3</sub>-/L).

Em Missão Velha, nos dois períodos, foi quantificado amônia, nitrito e nitrato nas águas dos poços analisados, porém no período seco todas estavam com amônia entre 2,4 a 3,0 mg N-NH<sub>3</sub>/L, ou seja, concentração acima VMP.

A maioria dos poços monitorados está em áreas urbanas onde a cobertura de esgotamento sanitária ainda é baixa, considerando o desenvolvimento da região. Embora, o saneamento esteja avançando, poucas ligações foram efetivadas, fazendo com que fossas sépticas sejam continuamente utilizadas e ocorra lançamento de esgoto nos corpos hídricos. Aliado a essas questões o aspecto construtivo dos poços deve ser considerado, pois se trata de uma obra de engenharia e deve seguir as normas técnicas, todos esses parâmetros tornam o Aquífero mais vulnerável.

O índice de cobertura de esgotamento sanitário, em 2007, nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, foi respectivamente de 50,68%, 25,15%, 40,32% e 7,49% (IPECE, 2009 *apud* CAGECE, SEINFRA, 2007).

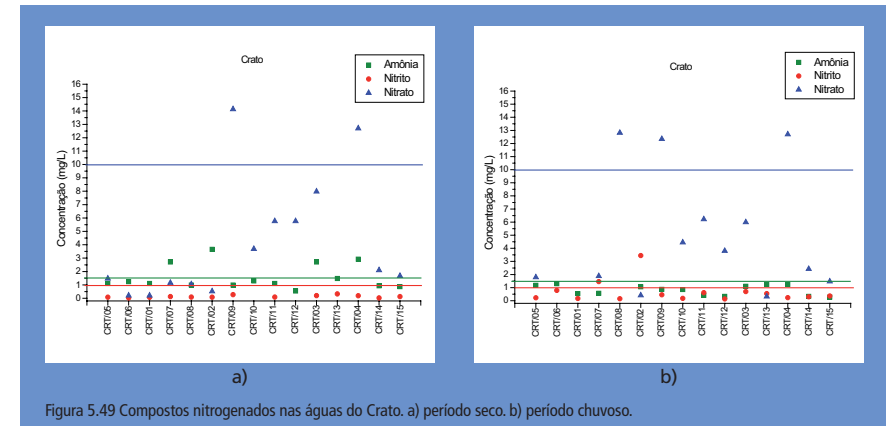


Figura 5.49 Compostos nitrogenados nas águas do Crato. a) período seco. b) período chuvoso.

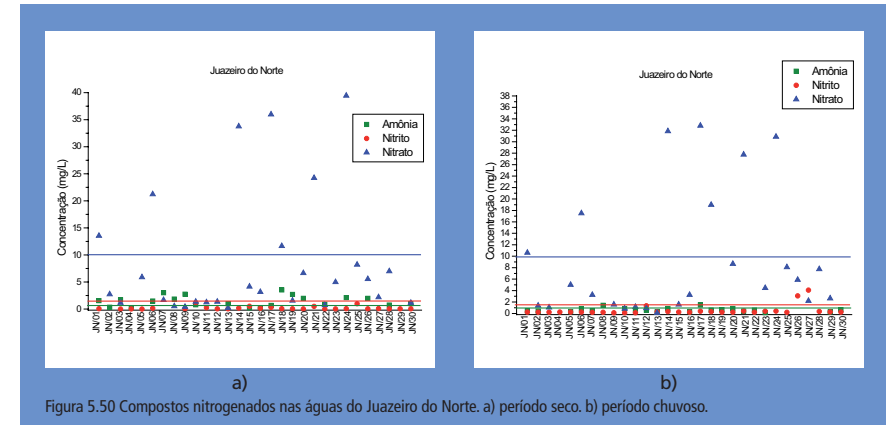


Figura 5.50 Compostos nitrogenados nas águas do Juazeiro do Norte. a) período seco. b) período chuvoso.

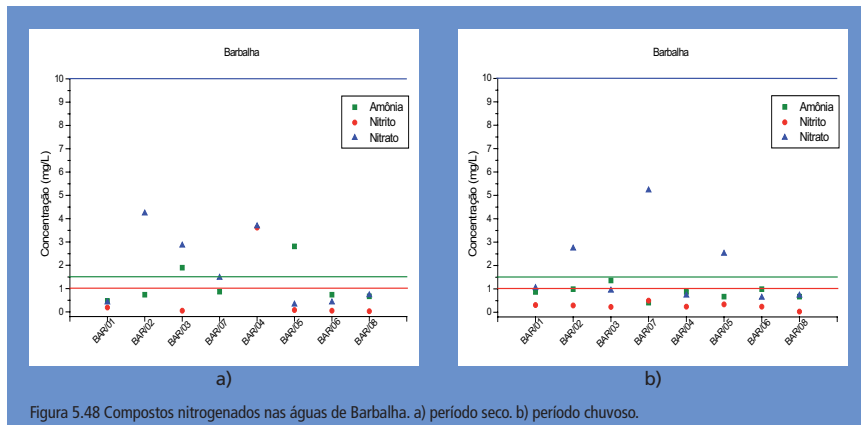


Figura 5.48 Compostos nitrogenados nas águas de Barbalha. a) período seco. b) período chuvoso.

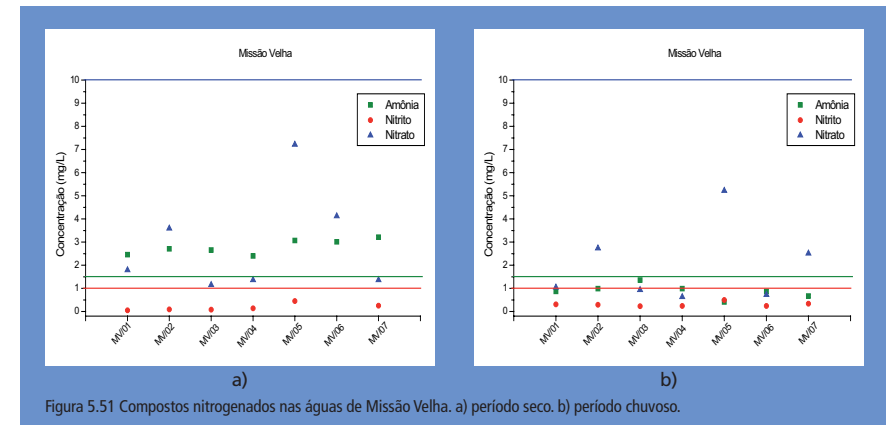


Figura 5.51 Compostos nitrogenados nas águas de Missão Velha. a) período seco. b) período chuvoso.

## Classificação das Águas

O enquadramento das águas subterrâneas foi feito com base na Resolução Nº 396 do CONAMA, de 03/04/2008, que utiliza, para classificar as águas, os conceitos de valor de Referência de Qualidade (VRQ) e Valor Máximo Permitido (VMP).

VRQ é um parâmetro que se refere à qualidade natural da água subterrânea, determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas e químicas de amostras de água subterrânea de diversos Aquíferos da área. Este parâmetro deve ser usado como referência na interpretação de análises para identificar poluição e no controle de áreas contaminadas (CETESB, 2005).

As águas subterrâneas no estado do Ceará são armazenadas no cristalino, em sedimento e em calcário e apresentam diferentes graus de mineralização, o que produzirá valores de VRQs diferentes para cada um destes armazenamentos. Valores de VRQ ainda não foram determinados para as águas subterrâneas do Ceará; por isso, a classificação aqui feita se baseia somente no VMP, para parâmetros físico-químicos, químicos e bacteriológicos estipulados na referida Resolução do CONAMA (2008).

Os Quadros 5.5 a 5.8 apresentam uma classificação das águas por município e por coleta a partir dos parâmetros analisados na presente pesquisa; entre parênteses estão os parâmetros com valores acima do VMP para águas potáveis. Foram consideradas águas da Classe 1 as que têm todos os parâmetros com valores abaixo do VMP; da Classe 2, com um parâmetro acima do VMP; da Classe 3, com dois ou três parâmetros acima do VMP e da Classe 4, com mais de três parâmetros acima do VMP.

Quadro 5.5			
Separação das águas por classe em Barbalha.			
Ps: período seco, Pc: período chuvoso			
Ps	Pc	Ps	Pc
CLASSE 1		CLASSE 2	
BAR/02	BAR/02	BAR/01 (CF)	BAR/03 (CF)
BAR/04	BAR/04	BAR/03 (CF)	BAR/07 (CF)
BAR/06	BAR/05	BAR/05 (NO <sub>2</sub> )	
BAR/07	BAR/06	CLASSE 3	
BAR/08	BAR/08		BAR/01 (Fe, CF)

Quadro 5.6			
Separação das águas por classe no Crato.			
Ps: período seco, Pc: período chuvoso			
Ps	Pc	Ps	Pc
CLASSE 1		CLASSE 2	
CRT/01	CRT/01	CRT/02 (CF)	CRT/04 (NO <sub>2</sub> )
CRT/03	CRT/02	CRT/05 (CF)	CRT/06 (NO <sub>2</sub> )
CRT/04	CRT/03	CRT/07 (NO <sub>3</sub> )	CRT/07 (NO <sub>3</sub> )
CRT/06	CRT/08	CRT/10 (Ba)	CRT/13 (NO <sub>3</sub> )
CRT/08	CRT/09	CRT/13 (NO <sub>3</sub> )	CRT/15 (CF)
CRT/09	CRT/11		
CRT/11	CRT/12		
CRT/12	CRT/14	CLASSE 3	
CRT/14			CRT/05 (NO <sub>3</sub> , Ba)
CRT/15			CRT/10 (Fe, Ba)

Quadro 5.7			
Separação das águas por classe no Juazeiro do Norte.			
Ps: período seco, Pc: período chuvoso			
Ps	Pc	Ps	Pc
CLASSE 1		CLASSE 2	
JN/02	JN/02	JN/01 (NO <sub>3</sub> )	JN/04 (CF)
JN/03	JN/03	JN/05 (CF)	JN/05 (CF)
JN/04	JN/07		JN/12 (NO <sub>2</sub> )
JN/07	JN/09	JN/08 (CF)	JN/14 (NO <sub>3</sub> )
JN/09	JN/10	JN/10 (NO <sub>2</sub> )	JN/16 (CF)
JN/11	JN/11	JN/14 (NO <sub>3</sub> )	JN/18 (NO <sub>3</sub> )
JN/12	JN/13	JN/16 (CF)	JN/22 (CF)
JN/13	JN/15	JN/22 (CF)	JN/25 (Ba)
JN/15	JN/19		JN/27 (NO <sub>2</sub> )
JN/19	JN/20		
JN/20	JN/23		
JN/23	JN/28		
JN/25	JN/29		
JN/26		CLASSE 3	
JN/27		JN/06 (NO <sub>2</sub> , CF)	JN/01 (NO <sub>2</sub> , CF)
JN/28		JN/18 (NO <sub>3</sub> , Fe)	JN/06 (NO <sub>3</sub> , CF)
		JN/24 (NO <sub>3</sub> , Ba)	JN/08 (CF, Ba)
		JN/21 (NO <sub>3</sub> , Ba)	JN/17 (NO <sub>3</sub> , CF, Ba)
		JN/29 (Fe, CF)	JN/21 (NO <sub>3</sub> , Fe, Ba)
			JN/24 (NO <sub>3</sub> , Ba)
			JN/26 (NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> )
		CLASSE 4	
		JN/17 (NO <sub>3</sub> , Fe, CF, Ba)	JN/30 (STD, Na, Cl, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )
		JN/30 (STD, Na, Cl, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	

Quadro 5.8			
Separação das águas por classe em Missão Velha. Ps: período seco, Pc: período chuvoso			
Ps	Pc	Ps	Pc
CLASSE 1		CLASSE 2	
MV/01	MV/01	MV/07 (Fe)	MV/07 (Fe)
MV/02	MV/02	MV/06 (NO <sub>2</sub> )	
MV/03	MV/03		
MV/04	MV/04		
MV/05	MV/05		
	MV/06		

Como mostram os resultados predominam águas das classes 1 e 2 no período chuvoso (53,3% e 28,3%, respectivamente) e no período seco (60% e 28,3%, respectivamente) ou seja, mais de 80% das águas se enquadram nestas duas classes. Nas águas da Classe 2, em geral são elevados os valores de compostos nitrogenados indicando ação antrópica. Algumas amostras nesta classe apresentam valores de concentração acima do VMP que tem origem no sistema Aquífero.

### Uso das águas na Agricultura

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos desenvolveu um gráfico para classificar as águas quanto ao uso na irrigação considerando a Condutividade Elétrica como parâmetro de salinidade e a Razão de Adsorção de Sódio como parâmetro de risco de sódio. Esta Razão compara a concentração de sódio com as concentrações dos cátions Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, sendo definida como está mostrado nos gráficos.

As Figuras 5.52 a 5.55 mostram diagramas com as amostras dos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, respectivamente. A Tabela 5.18 apresenta as classes de risco, adequabilidade da água ao uso na irrigação e o número de amostras das duas em cada classe.

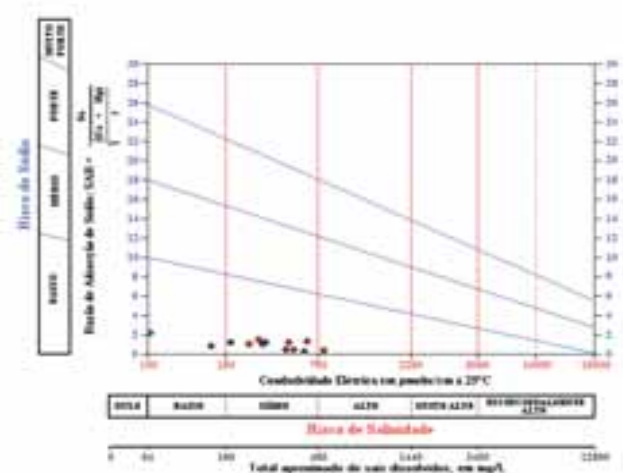


Figura 5.52 Razão de Adsorção de Sódio vs. Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas de Barbalha.

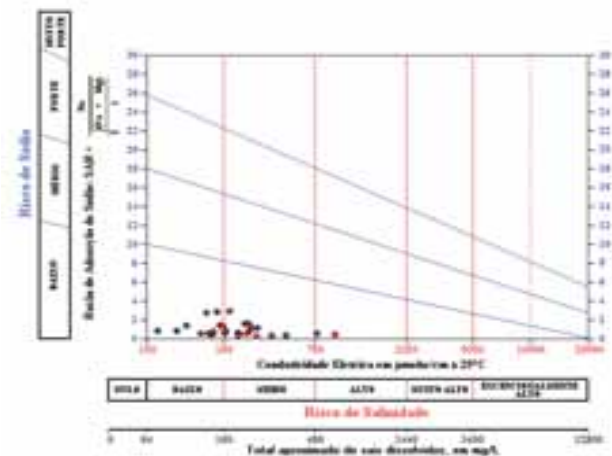


Figura 5.53 Razão de Adsorção de Sódio vs. Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas de Crato.

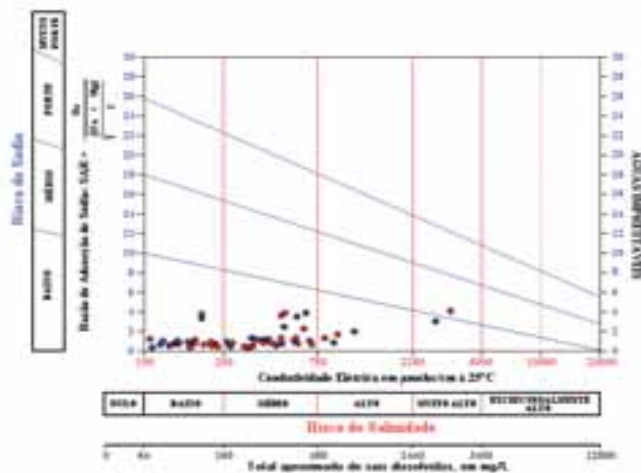


Figura 5.54 Razão de Adsorção de Sódio vs. Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas do Juazeiro do Norte.

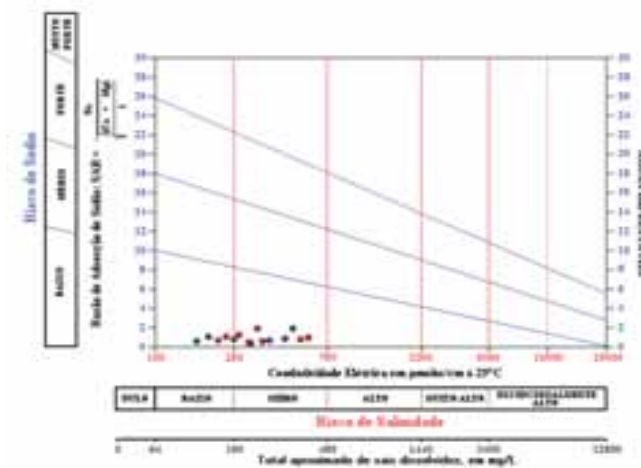


Figura 5.55 Razão de Adsorção de Sódio vs. Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas de Missão Velha.

A Tabela 5.18 mostra que 92% são águas apropriadas até para solos moderadamente drenados e para qualquer cultura, 3% podem ser utilizadas sem restrição e 5% só devem ser utilizadas para irrigação em casos excepcionais.

Tabela 5.18		Classificação das águas de irrigação
Classe de Risco	Adequabilidade da água ao uso na agricultura	Total
Nulo	Sem restrição	03
C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub> (Salinidade: baixo) (Sódio: baixo)	Restrição somente para solos de permeabilidade extremamente fraca.	42
C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> (Sódio: baixo) (Salinidade: médio)	Em solos com moderada lixiviação.	66
C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub> (Sódio: baixo) (Salinidade: alto)	Em solos bem drenados	07
C <sub>1</sub> -S <sub>4</sub> (Sódio: baixo) (Salinidade: muito alto)	Excepcionalmente servem em solos permeáveis e abundantemente irrigados.	01
C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub> (Sódio: médio) (Salinidade: muito alto)	Excepcionalmente servem em solos permeáveis e abundantemente irrigados, com textura grossa ou ricos em matéria orgânica.	01

## Coliformes

A qualidade bacteriológica de uma água é realizada normalmente através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os coliformes totais e *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes (SANTOS, 2008). A presença de coliformes indica a possibilidade de contaminação da água por esgotos domésticos, porém nem toda água com coliformes representa risco para a saúde, mas é indicativo que microrganismos patogênicos poderão estar presentes e gerar doenças de veiculação hídricas.

As Figuras 5.56 a 5.59 apresentam os resultados de coliformes totais e termotolerantes nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha nos períodos (a) seco e (b) chuvoso.

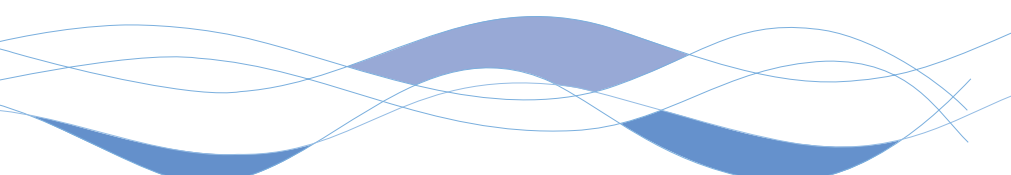
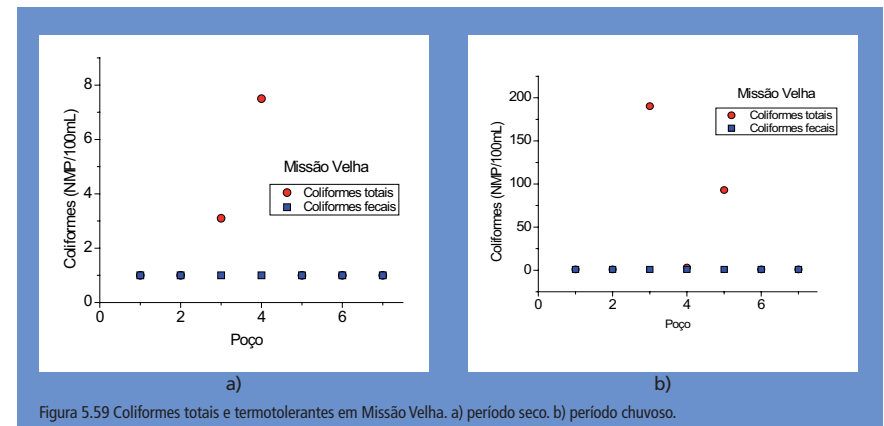
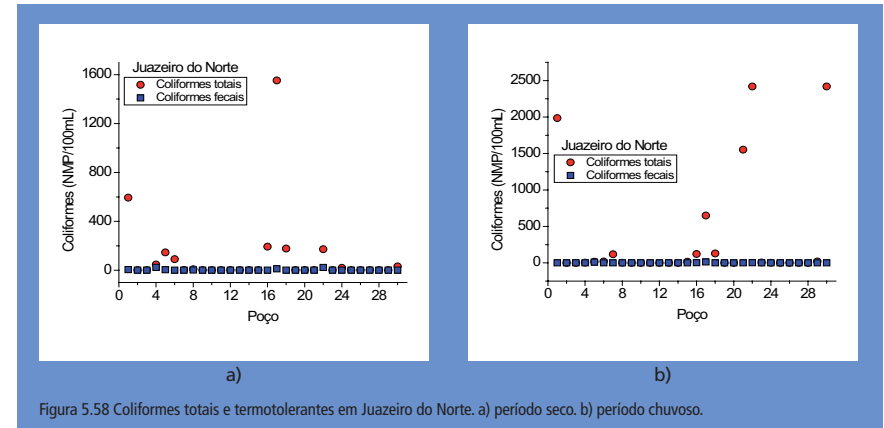
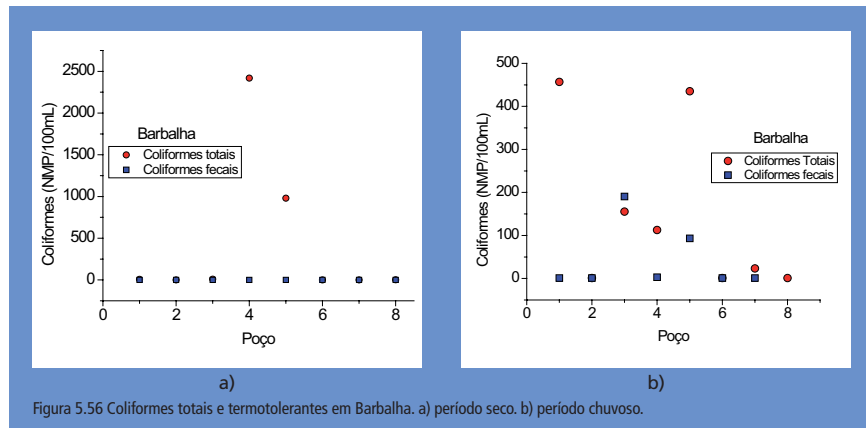
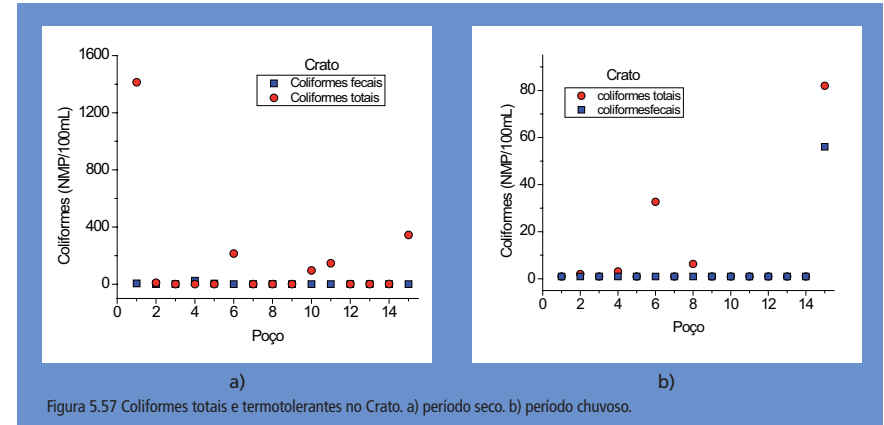
Das oito amostras de águas analisadas no município de Barbalha, seis apresentaram contaminação por coliformes totais no período seco e cinco no período chuvoso, apresentando no segundo período maior contaminação por coliformes termotolerantes.

As águas do Crato e Juazeiro do Norte indicaram a maior contaminação por coliformes no período seco, resultando 53,3% e 56,7% respectivamente para coliformes totais. No mesmo período, uma amostra (CRT/05) de água do Crato tinha 46,3 NMP/100 ml de coliformes termotolerantes, já no Juazeiro do Norte, 23,3% estavam contaminadas pelas bactérias mencionadas.

No município de Missão Velha, não foi constatada a contaminação por coliformes termotolerantes; a presença de coliformes totais no período seco foi mínima em quatro poços, e, no segundo período, das três amostras dos poços contaminadas por tais grupos de bactérias, a maior contaminação foi no poço MV/03 com 190,4 NMP/100ml.

O abastecimento público dos municípios da área de estudo é feito em sua totalidade por águas subterrâneas, captadas de um dos principais Sistemas Aquífero do estado do Ceará, atraindo atenção para sua conservação com relação à qualidade do manancial.

Destaca-se que as águas para consumo humano não devem conter coliformes, sabe-se também que as águas analisadas devem passar por tratamento para que as mesmas atinjam o padrão de potabilidade.



## Metais Pesados

Os resultados das análises de metais pesados das 15 amostras estão apresentados nas Tabelas 5.19 com os resultados de cromo, cobre e cádmio e a Tabela 5.20 com os resultados de chumbo, zinco e bário. As concentrações que apresentam o sinal < (menor que) são aquelas em que o metal não foi detectado a partir do Limite de Quantificação do método do laboratório que realizou as análises. O Quadro 5.9 mostra o Limite de Quantificação Praticável (LQP) segundo a Resolução N° 396 do CONAMA (2008). Este limite é a menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão, pelo método utilizado.

Como os metais pesados são constituintes tóxicos e carcinógenos que podem induzir doenças se houver ingestão continuada de água com excesso destas substâncias (SANTOS, 2008), o CONAMA (2008) definiu valor máximo permitido em água para os metais analisados mostrados também no Quadro 5.9.

Metal Total	Valor máximo permitido (VMP) de metais em águas e LQP segundo Resolução No 396				
	Consumo humano	Dessedentação de Animais	Irrigação	Recreação	LQP
Bário (mg/L)	0,7	-	-	1	0,02
Cádmio (mg/L)	0,005	0,05	0,01	0,005	0,005
Chumbo (mg/L)	0,01	0,1	5	0,05	0,01
Cobre (mg/L)	2	0,5	0,2	1	0,05
Cromo (mg/L)	0,05	1	0,1	0,05	0,01
Zinco (mg/L)	5	24	2	5	0,1

Nota: LQP = menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão, pelo método utilizado.

Os resultados mostram que cromo, cobre, cádmio e chumbo não foram detectados nas amostras de águas pelos métodos utilizados; como o LQ dos métodos é maior do que os VMPs pela Resolução N° 396, não se pode afirmar que as amostras analisadas não tinham estes metais. O zinco apareceu em todas as amostras da primeira coleta e segunda coleta, mas abaixo do limite de potabilidade. O bário foi quantificado em quase todas as amostras de água, porém no período seco quatro amostras apresentaram valores acima do permitido para consumo humano, já no período

chuvoso, sete amostras apresentaram concentrações de bário acima de 0,7 mg/L, e uma com valor próximo ao mencionado. A maior concentração de bário quantificada (poço JN/17) foi 6,4 vezes maior que o valor permitido, indicando a necessidade de um tratamento de água eficiente para retenção do metal.

No trabalho desenvolvido em 2003 e 2004, a CPRM (2006) também identificou bário nas águas do Ceará, quantificando 0,574 mg/L, 0,114 mg/L e 5,121 mg/L de bário nas águas de poços localizados nos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha respectivamente. Citam ainda que a concentração de bário encontradas pode ser de uma proveniência geológica, a partir da alteração de minerais instáveis ou pouco estáveis como anfibólios e biotitas e que podem ser acessórios em rochas arenosas de ambiente fluvial/torrencial.

Poço	Concentração de cromo (Cr), cobre (Cu) e cádmio (Cd) nas amostras de águas					
	Cr (mg/L)		Cu (mg/L)		Cd (mg/L)	
	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
BAR/05	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
CRT/05	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
CRT/10	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/05	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/07	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/08	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/09	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/17	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/20	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/21	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/24	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/25	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/26	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/27	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017
JN/28	< 0,223	< 0,223	< 0,040	< 0,040	< 0,017	< 0,017

Poço	Pb (mg/L)		Zn (mg/L)		Ba (mg/L)	
	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
BAR/05	< 0,199	< 0,199	0,648	< 0,019	0,222	0,290
CRT/05	< 0,199	< 0,199	< 0,019	0,081	< 0,167	1,031
CRT/10	< 0,199	< 0,199	0,041	< 0,019	0,958	1,155
JN/05	< 0,199	< 0,199	0,046	0,107	0,269	0,326
JN/07	< 0,199	< 0,199	0,030	< 0,019	0,309	0,376
JN/08	< 0,199	< 0,199	0,032	< 0,019	< 0,167	1,155
JN/09	< 0,199	< 0,199	0,037	< 0,019	< 0,167	< 0,167
JN/17	< 0,199	< 0,199	0,053	< 0,019	2,996	4,455
JN/20	< 0,199	< 0,199	0,064	0,103	0,187	0,418
JN/21	< 0,199	< 0,199	< 0,019	< 0,019	0,954	1,136
JN/24	< 0,199	< 0,199	0,254	0,176	2,700	3,874
JN/25	< 0,199	< 0,199	0,077	0,077	0,569	0,803
JN/26	< 0,199	< 0,199	0,062	1,619	0,580	0,672
JN/27	< 0,199	< 0,199	0,035	0,097	0,329	0,396
JN/28	< 0,199	< 0,199	0,082	0,103	0,442	0,576

As fontes de bário são a barita, o sulfato de bário ( $BaSO_4$ ) que é um dos compostos do metal mais utilizados no contraste em radiologia, na fabricação de lamapas para perfuração de poços e na indústria de tintas devido à sua branquura. Outros compostos de bário também são empregados como titanato ( $BaTiO_3$ ) usado na fabricação de capacitores cerâmicos; o nitrato de bário ( $Ba(NO_3)_2$ ) em fogos de artifício para produzir coloração verde; bário metálico em Getter para remoção de gases dentro de tubos de vácuo e cinescópios (ALVES, 2008). O fluorsilicato de bário ( $BaSiF_6$ ) é usado como inseticida (SANTOS, 2008).

Os sintomas por intoxicação por bário são náuseas, vômito, diarreia, dor abdominal, astenia, lipotímia, sudorese, sialorréia, tremores, convulsão, arritmia cardíaca, fibrilação ventricular, fibrilação muscular, hipertensão, diminuição importante de potássio, paralisia muscular, dispnéia, insuficiência respiratória, hemorragias internas e coma, podendo o paciente ir a óbito (EDUARDO, 2004).

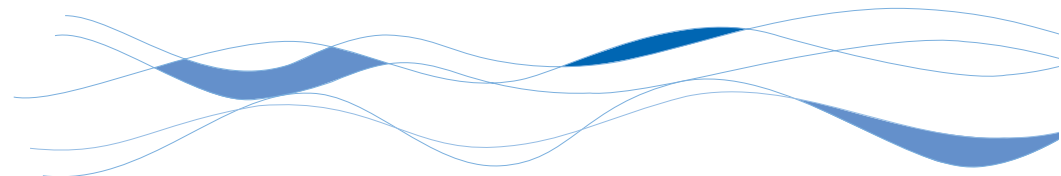
A Tabela 5.24 apresenta o LQ dos três laboratórios contratados para a realização das análises em duas amostras de águas. Percebe-se que o LQ do laboratório Bioagri é menor que os demais laboratórios, justificado pelo método adotado que apresenta maior sensibilidade. Dessa forma, pode-se concluir, em partes, que os metais Cd, Pb, Cu, Cr e Zn não foram encontrados

nas amostras de águas em concentrações acima do permitido. Percebe-se, por exemplo, na amostra JN/17 que Pb foi quantificado por dois laboratórios, porém o laboratório Bioagri, que apresenta menor LQ, cita valor de 1,1 vezes a menos que o permitido na legislação. No entanto, a contaminação com Ba foi confirmada pelos laboratórios, resultando na amostra JN/17 um valor médio de 3,15 mg/L, ou seja, 4,5 vezes superior a 0,7 mg/L, valor mencionado na Resolução em vigor.

Metal	VMP	Laboratório		
		TASQA	BIOAGRI	LAQA
Ba	0,7	0,005	0,0005	0,167
Cd	0,005	0,003	0,0001	0,017
Pb	0,01	0,002	0,0005	0,254
Cu	2	0,003	0,0001	0,040
Cr	0,05	0,002	0,0001	0,223
Zn	5	0,006	0,0001	0,019

Nota: \*VMP de metais em águas para consumo humano conforme Resolução nº 396 (COMAMA, 2008).

Metal	JN/17			JN/07		
	TASQA	BIOAGRI	LAQA	TASQA	BIOAGRI	LAQA
Ba (mg/L)	3,26	3,13	3,077	0,39	0,4219	0,364
Cd (mg/L)	< 0,003	< 0,0001	< 0,017	< 0,003	< 0,0001	< 0,017
Pb (mg/L)	0,03	0,0090	< 0,254	< 0,003	< 0,0005	< 0,254
Cu (mg/L)	< 0,003	0,0147	< 0,040	0,02	< 0,0001	< 0,040
Cr (mg/L)	< 0,003	< 0,0001	< 0,223	0,005	< 0,0001	< 0,223
Zn (mg/L)	0,05	0,0326	< 0,019	0,02	0,0084	< 0,019



## Agrotóxicos

Agrotóxicos ou pesticidas são, de um modo geral, substâncias orgânicas sintéticas, extremamente tóxicas, usadas para destruir, repelir ou controlar insetos e ervas daninhas indesejáveis à economia agrícola (RICHTER e AZEVEDO NETO, 2002). Podem ser classificados em inseticidas, algicidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas dentre outros.

Os agrotóxicos analisados nas dez amostras de águas foram triclorfon, paration metil, fenitrotion, malation e paration etil. Destaca-se que a Resolução N° 396 do CONAMA estabelece 0,19 mg/L de malation como VMP em águas para o consumo humano e não faz referência para os demais agrotóxicos analisados.

A tabela 5.26 mostra que nenhum agrotóxico foi quantificado nas amostras de águas, pois o sinal < (menor que) indica que os valores abaixo dos apresentados na Tabela não podem ser quantificados com precisão e exatidão, já que se referem aos valores de LQ dos métodos do laboratório contratado.

Tabela 5.23 Resultados dos agrotóxicos. Amostras coletadas em agosto/2008.					
Poços	Concentração (mg/L)				
	Triclorfon	Paration Metil	Fenitrotion	Malation	Paration Etil
BAR/01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
BAR/03	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
BAR/07	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
CRT/05	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
CRT/09	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
JN/17	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
MV/02	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
MV/03	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
MV/04	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03
MV/06	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,03

O Quadro 5.10 apresenta algumas informações dos agrotóxicos encontrados nas águas, sendo DL50 a dose letal (única dose da substância teste, que quando administrada por via oral, pode causar a morte de 50% dos animais testados); CL50 corresponde a concentração letal (aquela que leva à morte em cerca de 50% dos organismos expostos por imersão, por um período predeterminado) e TD50 referente ao tempo para declinar 50% do produto aplicado.

Os agrotóxicos pesquisados nas águas apresentam baixa a alta solubilidade e degradação em água de lenta à rápida. Grisolia (2005) cita que os inseticidas organofosforados são rapidamente biotransformados e excretados, não ocorrendo acumulação corpórea.

Quadro 5.10	Informações sobre os agrotóxicos analisados.				
In ingrediente ativo	Triclorfon	Paration Metil	Fenitrotion	Malation	Paration Etil
Tipo do pesticida	Inseticida	Inseticida	Inseticida	Inseticida, acaricida	Inseticida, acaricida
Grupo Químico	Organofosforado	Organofosforado	Organofosforado	Organofosforado	Organofosforado
Fórmula Química	C <sub>1</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> P	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> NO <sub>3</sub> PS	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> NO <sub>5</sub> PS	C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> O <sub>6</sub> PS <sub>2</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> NO <sub>3</sub> PS
Solubilidade em água a 20°C (mg/L)	120.000 (alta)	55 (moderado)	19 (baixa)	148 (moderada)	12,4 (baixa)
Temperatura de degradação (°C)	100	-	210	174	-
Pressão de vapor (mPa)	0,2 (volátil)	0,2 (volátil)	0,676 (volátil)	3,1 (volátil)	0,89 (volátil)
Degradação em solo (TD50) (dias)	18 (não persistente)	12 (não persistente)	2,7 (não persistente)	1358 (muito persistente)	49 (moderadamente persistente)
Degradação em água (TD50) (dias)	1,2 (moderadamente rápida)	15 (lenta)	1,1 (moderadamente rápida)	0,4 (rápido)	3,5 (moderadamente rápida)
Potencial de lixiviação	3,77 (alto)	1,75 (baixo)	0,64 (baixo)	-1,28 (baixa)	0,20 (baixa)
Coefficiente de adsorção à matéria orgânica (ml/g)	10 (muito móvel)	240 (mobilidade moderada)	322 (mobilidade moderada)	217 (mobilidade moderada)	7660 (não móvel)
DL50 oral (mg/Kg)	212 (moderado)	3 (alto)	330 (moderado)	1178 (moderado)	2 (alto)
DL50 dermal (mg/Kg)	> 5000	45	890	> 2000	71
CL50 inalação (mg/L)	> 0,53	0,17	2,2	> 5,0	0,03
Classe toxicológica (ANVISA)	II (altamente tóxico)	I (extremamente tóxico)	II (altamente tóxico)	III (medianamente tóxico)	I (extremamente tóxico)
Dose diária admissível (mg/Kg por dia)	0,045	0,003	-	0,03	0,004

Fonte: ANVISA, 2010 e <http://item.herts.ac.uk/aeru/iupac/>

## Isótopos Ambientais

O hidrogênio e o oxigênio fazem parte da molécula da água e apresentam, cada um deles, três formas 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  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $\text{HD}^{16}\text{O}$ . As abundâncias relativas médias destas três moléculas da água são, respectivamente, 99%, 73% e 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 no seu armazenamento superficial. Assim, estas moléculas marcam a água e são utilizadas como traçadores para pesquisar a história da água.

Os resultados são dados em termos de ‰, definido por  

$$\text{‰} = [(R_a - R_p)/R_p] \times 10^3$$

Onde,  $R_a$  é a razão isotópica  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ou D/H, respectivamente, para o oxigênio e para o hidrogênio na amostra e  $R_p$  seu valor para uma água padrão "VSMOW" (Vienna Standard Mean Ocean Water da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA, em Viena/Áustria). O padrão SMOW originalmente era água do oceano escolhido por Craig (1961a).

O valor de  $\delta$  mede, portanto, o enriquecimento (ou 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 comportamento como uma concentração em misturas de águas de valores de diferentes (i.e. segue uma reta de mistura) (Craig, 1961b). Uma revisão do uso de  $^{18}\text{O}$  e D no estudo de águas do nordeste do Brasil pode ser visto em Santiago (2008).

As medidas isotópicas estão utilizadas aqui, principalmente, para indicar a possível retirada de paleoáguas, que são águas de recarga de milhares de anos atrás ou idade e que aconteceu em condições climáticas mais favoráveis que as atuais, quando chovia mais do que atualmente e a temperatura média ambiente

era mais baixa (por aproximadamente  $5^\circ\text{C}$ ), conforme já identificado através de trabalhos anteriores (SANTIAGO *et al.*, 1981, GEYH *et al.*, 1991). As paleoáguas são águas estratégicas que só devem ser utilizadas em épocas críticas de carência de água uma vez que as condições climáticas atuais não favorecem a sua reposição.

Medidas isotópicas em águas subterrâneas do Cariri permitiram (SANTIAGO *et al.*, 1992) identificar a dinâmica de recarga dos sistemas Aquíferos pela Chapada do Araripe e, através de correlação de medidas isotópicas e de condutividade elétrica, foi possível identificar a água armazenada em cada Aquífero do sistema médio e inferior (SANTIAGO *et al.*, 1997). A conexão hidráulica dos Aquíferos Rio da Batateira e Missão Velha também foi identificada através de medidas isotópicas (MENDONÇA *et al.*, 1997). Estas medidas também permitiram distinguir águas das aluviões de águas dos Aquíferos mais profundos em trabalho feito na região (SANTIAGO *et al.*, 1997).

Nas Tabelas 5.24 a 5.27 estão os resultados das medidas de oxigênio-18 e deutério em amostras dos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha; nas Figuras 5.60 e 5.63 estão histogramas com as medidas de  $\delta^{18}\text{O}$ .

Tabela 5.24 Oxigênio-18 e deutério em amostras do município de Barbalha				
Poço	$\delta^{18}\text{O}$ ‰		$\delta\text{D}$ ‰	
	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
BAR/01	-5,63	-4,58	-24,1	-22,9
BAR/02	-4,74	-3,90	-18,3	-16,8
BAR/03	-4,79	-3,49	-17,7	-14,1
BAR/04	-3,68	-2,96	-11,9	-9,3
BAR/05	-4,56	-3,80	-14,9	-13,0
BAR/06	-4,39	-3,60	-14,6	-11,6
BAR/07	-	-2,80	-	-11,5
BAR/08	-4,67	-3,66	-16,5	-14,4

Tabela 5.25 Oxigênio-18 e deutério em amostras do município de Crato				
Poço	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$		$\delta\text{D} \text{‰}$	
	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
	CRT/05	-3,93	-3,24	-14,4
CRT/06	-3,73	-4,66	-15,1	-21,4
CRT/01	-3,83	-3,55	-15,9	-15,2
CRT/07	-3,48	-2,94	-15,5	-12,6
CRT/08	-3,91	-3,53	-17,6	-16,7
CRT/02	-3,89	-3,54	-16,4	-15,0
CRT/09	-3,60	-3,02	-16,1	-13,9
CRT/10	-3,21	-3,15	-14,7	-14,7
CRT/11	-3,48	-3,00	-15,6	-11,6
CRT/12	-3,25	-2,71	-15,1	-11,4
CRT/03	-3,62	-2,99	-16,5	-13,6
CRT/13	-3,47	-2,88	-16,1	-12,6
CRT/04	-4,46	-3,17	-16,5	-12,7
CRT/14	-4,80	-3,31	-17,3	-14,3
CRT/15	-5,05	-3,64	-18,1	-18,2

Tabela 5.26 Oxigênio-18 e deutério em amostras do município Juazeiro do Norte.				
Poço	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$		$\delta\text{D} \text{‰}$	
	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
	JN/01	-4,55	-3,53	-16,7
JN/02	-4,40	-3,29	-17,5	-15,6
JN/03	-4,43	-3,50	-17,0	-15,1
JN/04	-4,49	-3,52	-16,9	-16,0
JN/05	-4,78	-3,64	-18,4	-16,3
JN/06	-4,67	-3,76	-18,2	-16,2
JN/07	-4,63	-3,77	-16,0	-15,7
JN/08	-5,43	-4,09	-21,6	-20,7
JN/09	-4,77	-4,01	-16,9	-18,6
JN/10	-4,87	-3,63	-17,2	-15,8
JN/11	-5,01	-4,01	-17,5	-18,7
JN/12	-5,03	-3,98	-18,6	-19,5
JN/13	-4,82	-3,39	-16,4	-15,0
JN/14	-4,57	-3,34	-16,9	-15,2
JN/15	-4,53	-3,32	-16,6	-15,5
JN/16	-4,68	-3,35	-18,4	-16,3
JN/17	-4,34	-2,93	-15,6	-14,6
JN/18	-4,45	-3,05	-16,0	-16,5
JN/19	-4,78	-3,88	-18,4	-20,0
JN/20	-4,33	-3,46	-16,7	-17,5
JN/21	-4,48	-3,51	-17,5	-18,3
JN/22	-4,66	-3,51	-17,0	-15,7
JN/23	-4,78	-3,78	-17,9	-17,5
JN/24	-4,67	-3,06	-16,5	-12,8
JN/25	-4,73	-3,59	-17,2	-16,0
JN/26	-4,81	-3,73	-17,0	-15,5
JN/27	-5,24	-4,21	-19,3	18,9
JN/28	-4,87	-3,86	-18,6	17,0
JN/29	-5,18	-4,57	-24,0	23,8
JN/30	-5,13	-4,26	-24,1	-21,0

Tabela 5.27 Oxigênio-18 e deutério em amostras do município Missão Velha				
Poço	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$		$\delta\text{D} \text{‰}$	
	12/2007	08/2008	12/2007	08/2008
	MV/01	-5,12	-3,59	-18,8
MV/02	-5,81	-4,22	-24,9	-23,5
MV/03	-2,72	-2,95	-13,1	-13,2
MV/04	-3,44	-3,22	-16,6	-16,1
MV/05	-3,07	-3,02	-15,7	-14,5
MV/06	-3,25	-3,32	-14,7	-15,5
MV/07	-4,11	-3,46	-17,4	-15,6

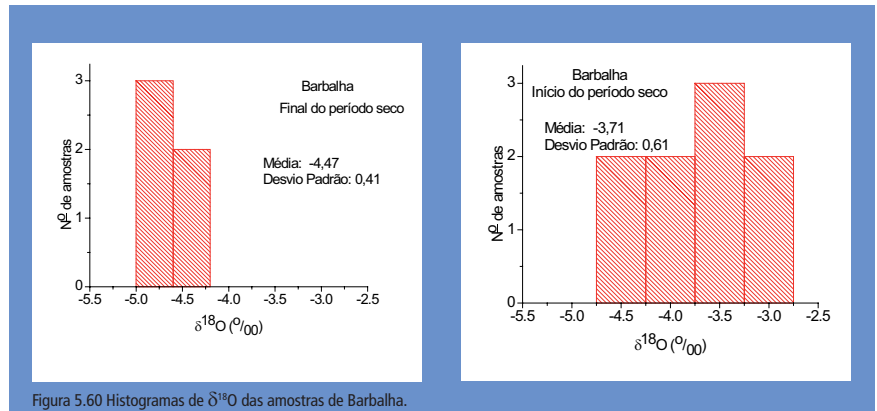


Figura 5.60 Histogramas de  $\delta^{18}\text{O}$  das amostras de Barbalha.

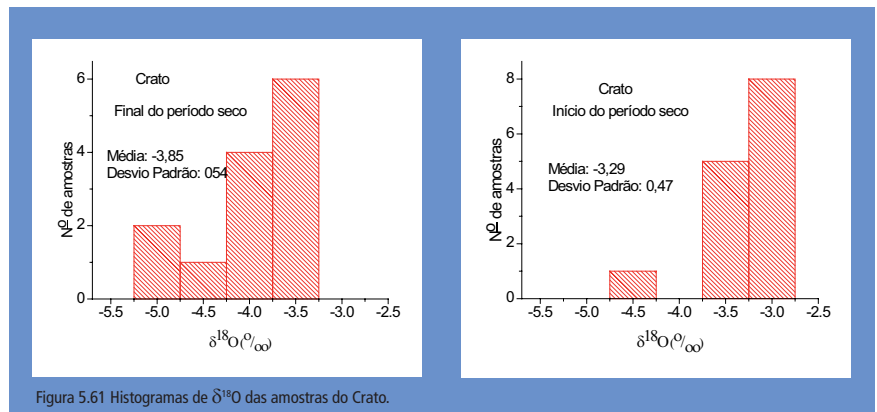
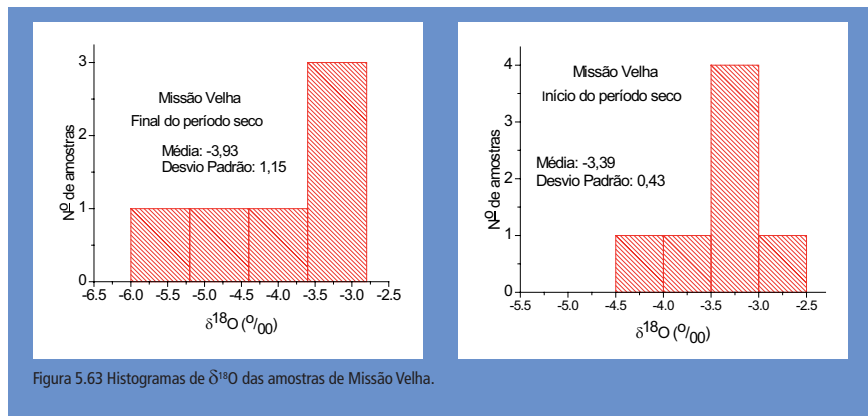
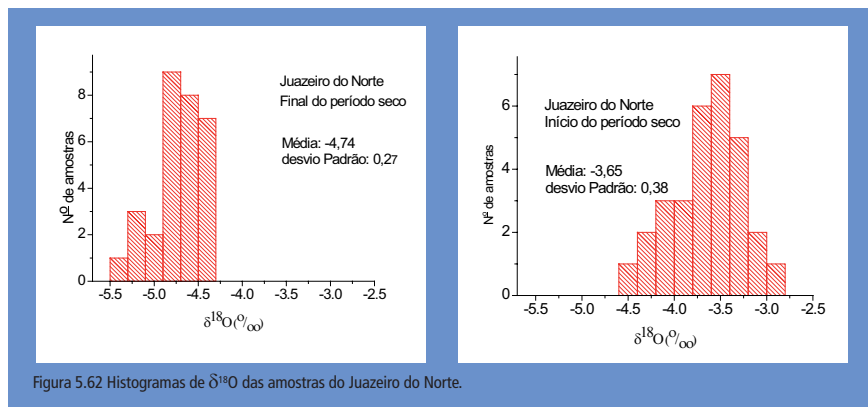


Figura 5.61 Histogramas de  $\delta^{18}\text{O}$  das amostras do Crato.



## Origem das águas

As Figuras 5.64 e 5.67 mostram a relação entre a condutividade elétrica (CE) e  $\delta^{18}\text{O}$  com amostras dos quatro municípios. Os gráficos destas figuras mostram que o valor mais elevado da condutividade elétrica no município de Barbalha é  $\approx 800 \mu\text{S}/\text{cm}$ , em Crato é  $\approx 660 \mu\text{S}/\text{cm}$  (com exceção de uma amostra), em Juazeiro do Norte  $\approx 1100 \mu\text{S}/\text{cm}$ , e em Missão Velha  $\approx 600 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Em todos eles, observa-se que, logo após o período chuvoso as águas em todas as faixas de CE, estão com  $\delta^{18}\text{O}$  em torno de  $-3,2\%$ , o valor das chuvas atuais, o que indica recarga atual.

A Figura 5.68 apresenta  $\delta\text{D}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  com amostras dos quatro municípios e a reta RMM – Reta Meteorológica Mundial:  $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ . Em todos os municípios, os valores se aproximam da RMM logo após o período chuvoso (no início do período seco).

Em parte dos poços durante o período seco, estão sendo retiradas paleoáguas, com valores de  $\delta^{18}\text{O}$  menores do que  $-5\%$  em todos os municípios.

As retas com os valores medidos mostram que as zonas aquíferas exploradas pelos poços nos municípios de Barbalha e Juazeiro do Norte não são exatamente as mesmas das exploradas pelos poços de Crato e Missão Velha.

Os resultados mostram valores mais elevados no início do período chuvoso do que período seco, indicando recarga atual dos Aquíferos. Como as chuvas atuais na área tem  $\delta^{18}\text{O}$  média entre  $-3$  e  $-4\%$ , os valores mostram misturas de águas de recargas com paleoáguas.

Especificamente, a amostra do local BB/01 com  $\delta^{18}\text{O} = -5\%$  e forte variação sazonal mostra esta relação. Frisamos que  $^{18}\text{O}$  e D são relacionados, em escala global, através de

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

Então, observando o mesmo efeito em  $\delta\text{D}$  exclui a possibilidade de um erro de medida. Desta maneira, na ausência de rochas carbonatadas, todas as medidas na casa dos  $-4$  e  $-5$  no  $\delta^{18}\text{O}$  indicam misturas com paleoáguas de idade maior que 10.000 anos.

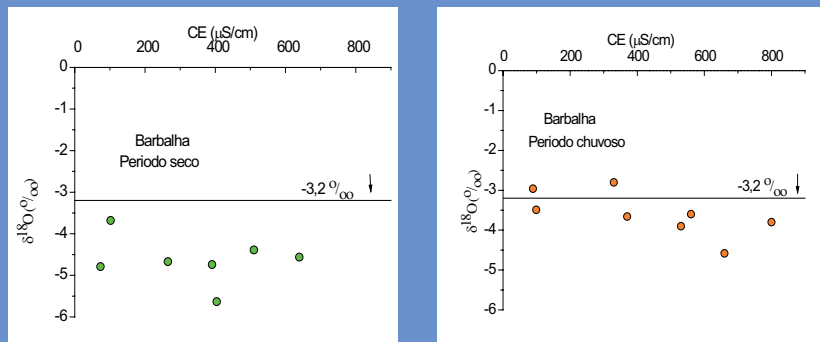


Figura 5.64  $\delta^{18}\text{O}$  versus Condutividade Elétrica de amostras de Barbalha.

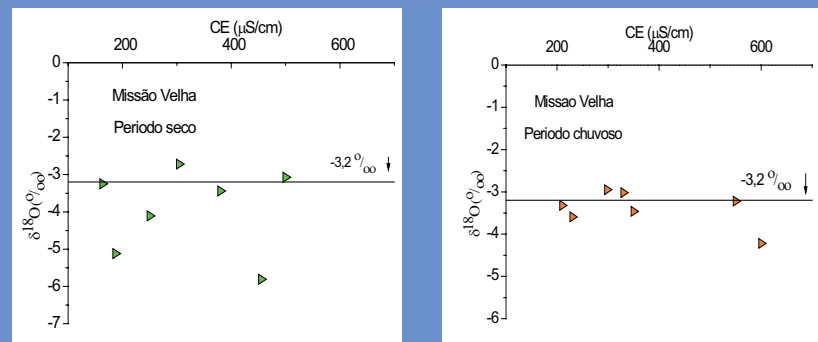


Figura 5.67  $\delta^{18}\text{O}$  versus Condutividade Elétrica de amostras de Missão Velha.

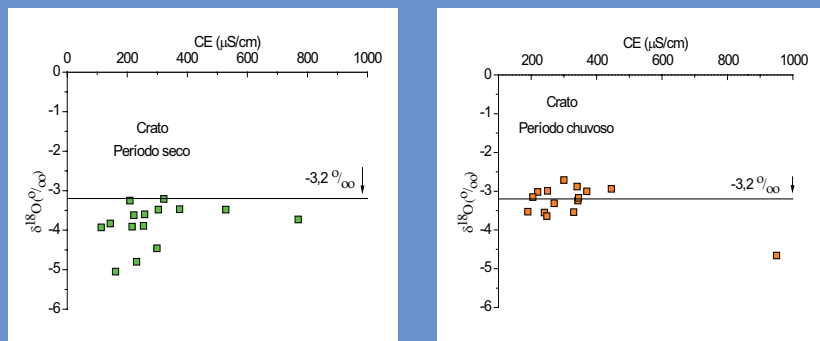


Figura 5.65  $\delta^{18}\text{O}$  versus Condutividade Elétrica de amostras do Crato.

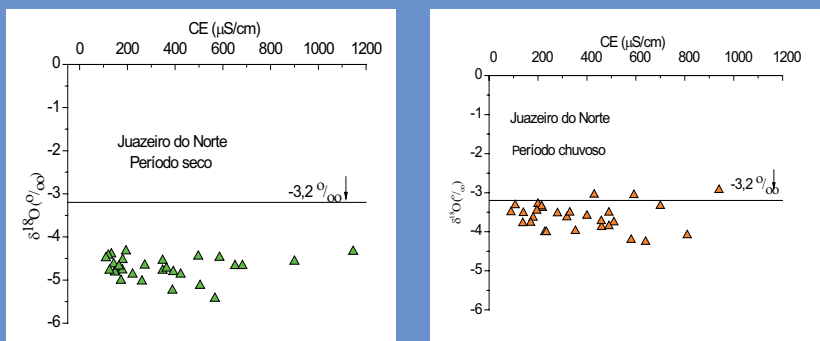


Figura 5.66  $\delta^{18}\text{O}$  versus Condutividade Elétrica de amostras do Juazeiro do Norte.

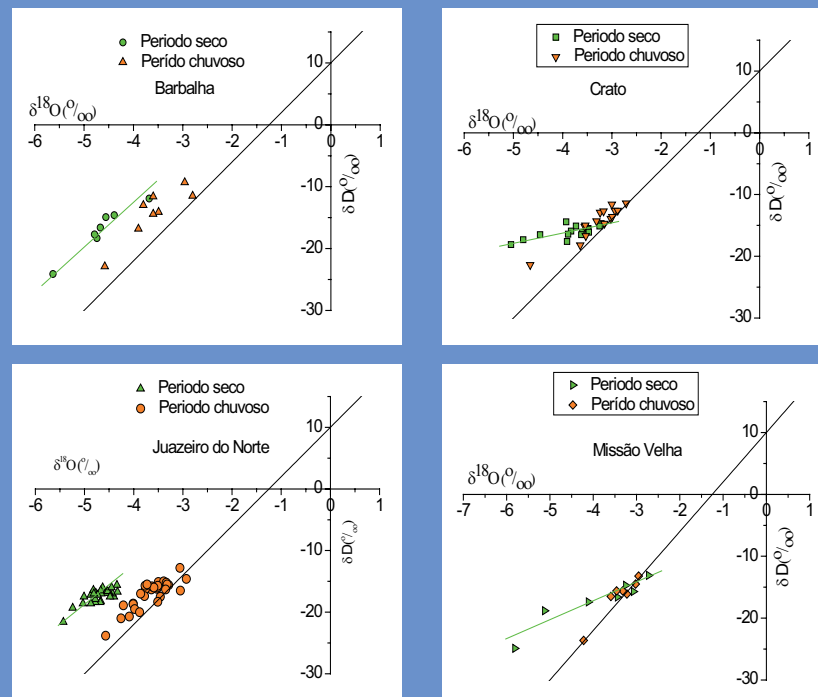


Figura 5.68  $\delta\text{D}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  de amostras de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha.

# A Gestão das Águas Subterrâneas na Bacia do Salgado

*MSc Claire Anne Viana de Sousa*

A gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Salgado caminha para contemplar as águas superficiais e subterrâneas como indissociáveis, pois nesta bacia a oferta hídrica é 2.510m<sup>3</sup>/s de águas superficiais e 2.953m<sup>3</sup>/s de águas subterrâneas PERH (2000). Portanto, é imprescindível fazer uma gestão integrada destas águas. Em especial porque estamos posicionados numa região semiárida que exige cuidados nos diversos usos deste precioso recurso natural.

Dada a diversidade hídrica do semiárido e a extensão da Bacia Sedimentar do Araripe (11.000Km<sup>2</sup>), que inclui as bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe e do Salgado, foi necessário a escolha de um projeto piloto na área específica do Salgado, incluindo os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Milagres, Abaiara, Mauriti, Brejo Santo, Porteiras e Jardim, de forma a potencializar os recursos aplicados e esclarecer melhor sobre o Sistema de Aquífero Médio desta bacia sedimentar.

O Projeto de Gestão do Sistema de Aquífero Médio da Bacia Sedimentar do Araripe veio para fortalecer a gestão integrada de águas subterrânea e superficial no Salgado, no sentido de dotar os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais de conhecimento hidrogeológico, técnico-gerencial e de capacitação específica em águas subterrâneas, de forma que possam desempenhar adequadamente a gestão sistêmica e integrada dos recursos hídricos, aprimorando ainda um banco de informações sobre exploração de águas subterrâneas do Cariri.

Vários núcleos urbanos do Cariri cearense se abastecem de água subterrânea de forma exclusiva ou complementar, constituindo o recurso mais importante destas cidades e distritos. Indústrias, propriedades rurais, escolas, hospitais e outros estabelecimentos utilizam, com frequência, água de poços profundos. O maior volume explotado de água ainda é, todavia, destinado ao abastecimento público. Importantes cidades do Cariri dependem integral ou parcialmente da água subterrânea para abastecimento humano. O número de poços tubulares em operação na Bacia do Salgado está estimado em cerca de 1.800, com um número anual de perfurações de aproximadamente 60.

A exploração da água subterrânea no Brasil cresceu muito devido a diversos fatores, como a urbanização crescente, o aumento de áreas irrigadas, a implantação de parques industriais, favorecida também pelo avanço tecnológico na área de perfuração de poços. Por outro lado o crescimento se deu de forma desordenada, por falta de planejamento, por falta de legislação adequada na época (as leis de água subterrânea são muito recentes) e pelo fato de na cultura brasileira as pessoas acharem que sendo proprietárias do terreno têm o direito de perfurar um poço e extrair toda a água que quiserem.

As águas subterrâneas a partir da nova Constituição do Brasil, de Outubro/ 88, passaram a ser propriedade do Estado e não mais do proprietário do terreno abaixo do qual ela se encontra (art.26, II da Constituição Federal do Brasil).

A gestão da água é de interesse de todo o mundo, tanto aos consumidores na sua vida privada e pessoal, quanto aos produtores para o desenvolvimento de suas atividades, como agricultores, pecuaristas, artesãos, industriais, comerciantes, administradores de serviços públicos ou liberais, tais como hospitais, lavanderias, etc.

O Comitê de Bacia Hidrográfica é um colegiado multiinstitucional, que aglutina entidades e pessoas – do segmento empresarial, de segmentos sociais em geral, do setor público – responsável por promover debates, sistematizar informações e capacitar seus membros. É consultivo através das Câmaras Técnicas – as quais devem obedecer a uma composição básica (membros e respectivas entidades), acompanhar o desenvolvimento dos trabalhos das comissões e os resultados das ações empreendidas pela COGERH nos açudes e vales perenizados. E contribui com sua participação na realização de seminários, articulado com as prefeituras e órgãos estaduais para resolver problemas relacionados com conflitos de interesses no uso dos recursos hídricos.

A sociedade e as lideranças políticas da região do Cariri têm sido envolvidas através do Comitê de Bacia do Salgado e também de outros conselhos que atuam na região, no sentido de debater sobre os recursos hídricos e hidrogeológicos da região e opinarem respeitando as bases técnicas e legais. Esse despertar forçou o Comitê a solicitar apoio técnico – científico, assim diversas instituições foram convidadas a participar da Câmara Técnica de Água Subterrânea, com resposta positiva de boas representações institucionais, as quais colocaram em prática o exercício de discussão sobre as águas subterrâneas, oportunizando que todos participem e se responsabilizem.

O Comitê de Bacia do Salgado trabalha para promover a capacitação da sociedade civil para a sua participação efetiva nos processos decisórios relativos aos recursos hídricos, tornando compreensível e acessível a todos as questões relevantes da gestão da água, em especial quanto à sua valoração econômica, através de um processo transparente, de fácil entendimento e em caráter permanente. Espera-se, desta forma, constituir um canal de interação governo-sociedade para introduzir a gestão de aquíferos dentro da área de planejamento da bacia hidrográfica.

Com base neste pressuposto, o Comitê articulou com os demais órgãos do poder público estadual e federal, responsável pela gestão dos recursos hídricos, e em parceria com a UFC conquistou um curso de especialização no Cariri, que resultou em 29 técnicos capacitados dentre os órgãos que compõem o colegiado. Com esta metodologia estamos caminhando para implementação dos instrumentos de gestão de acordo com a política Nacional e a Política Estadual de Recursos Hídricos, de forma descentralizada, integrada, harmônica e participativa, em conformidade com a Lei Federal 9.433/97 e Lei Estadual 11.996/92.

No momento atual se faz necessário compatibilizar os usos sustentáveis dos recursos hídricos com o desenvolvimento econômico e incorporar duas ideias-chave: a de um planejamento de longo prazo, periodicamente revisado, e a de um processo de decisão e execução de forma integrada, descentralizada e participativa.

A Gestão Participativa requer “mais responsabilidade e controle local, mais conhecimento, mais participação, maior capacidade por parte dos usuários, mais uso da tecnologia da informação e dos instrumentos financeiros e mais reforço na educação e fornecimento de valores corretos para o gerenciamento das águas” (GRIGG, 1998). Apesar de prevista na Constituição de 1988, a participação da sociedade nos processos de decisão dos comitês de bacia hidrográfica constitui uma conquista dos movimentos populares.

A racionalidade científica e tecnológica de alguns setores tem contribuído para excluir a participação das instâncias representativas da sociedade e impedi-las de ter acesso à informação, acentuando o desequilíbrio de poder social. Destaca-se que a participação ideal da sociedade não deve ser de forma acessória no processo de viabilizar o uso múltiplo integrado dos recursos hídricos e sim uma forma de representar concretamente os interesses sociais, a fim de equilibrar os poderes.

Isso significa que os grandes desafios dos recursos hídricos são de caráter institucional e não apenas tecnológico, isto é, passam pelo desenvolvimento e a aplicação de medidas não-estruturais: a constituição de estrutura para o planejamento, o estabelecimento “de instituições políticas viáveis, de arranjos financeiros eficazes, de sistemas locais de auto-governo e de auto-suporte, entre outros” (GRIGG, 1998).

# Conclusão

A área do trabalho corresponde ao vale do Cariri, Sistema Aquífero Médio e Inferior, onde foram identificados 1.596 poços. O foco do estudo foi o Sistema Aquífero Médio, que é o mais explorado da região, onde estão localizadas as maiores cidades, Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, somente nesses municípios foram levantados 1.505 poços resultando numa alta concentração de poços.

Os municípios com maior número de poços são Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha com valores totais de 763, 436 e 306, respectivamente. Do total analisado, 79,43% dos poços tem profundidade superior a 50,00m, estando o poço mais profundo localizado no município de Juazeiro do Norte com 350,00m. Considerando as características dinâmicas das obras de captação, no que se refere aos aspectos hidrodinâmicos dos poços tubulares, tem-se que 51,78% dos 842 poços com informações de vazão são iguais ou superiores a 10,00m<sup>3</sup>/h, sendo que 11,24% apresentaram vazão acima de 50,00m<sup>3</sup>/h. Quanto ao nível estático na região analisada do vale do Cariri foram identificadas variações de 0,30 a 143,00m, com nível dinâmico variando de 4,50 a 135,00m.

O levantamento planialtimétrico permitiu a elaboração de mapas do potencial hidráulico, onde se verifica que no Aquífero Médio, o fluxo em geral é de S-SW para N-NE. Embora haja separação estrutural dos blocos, as linhas de fluxo indicam conectividade hidráulica, enquanto que no Sistema Aquífero Inferior o fluxo tem sentido preferencial NE – SW, ocorrendo pequenas variações de sentido dentro do contexto geral da área de estudo.

Dos 40 poços monitorados quantitativamente, 31 estão localizados no grabén Crato-Juazeiro. Com o monitoramento observou-se que a recarga é lenta e varia de um ponto; a média da carga hidráulica ficou em 1,00m para o ano de 2008 e 0,89m em 2009.

Dos 13 poços monitorados em Barbalha, nove estão com o nível estático acima de 20m e três entre 20 e 50m, somente um poço apresentou nível estático acima de 65m. Nos poços do município de Crato, os níveis estáticos variam de 1,00m a aproximadamente 80m e, em Juazeiro do Norte a variação ficou entre 0,36m a no máximo 70,94m. Em Missão Velha os níveis dos dois poços monitorados foram 6,34m no Pt38 e 43,23m no Pt39.

As variações dos níveis no monitoramento através de *data logger* permitem dizer que os níveis d'água na região do Cariri não apresentam grandes rebaixamentos.

As áreas irrigadas foram identificadas por imagens CBERS 2B CCD disponíveis no catálogo de imagens do INPE. Em campo, algumas áreas foram visitadas para checagem do local. Neste levantamento foram identificados 2.405,71 ha de áreas irrigadas exclusivamente com água subterrânea, os municípios com maior concentração são Brejo Santo, Missão Velha e Mauriti.

As reservas foram calculadas com os valores de infiltração efetiva obtidos pelo balanço hídrico, considerando a variabilidade espacial, ou seja, usando a malha de interpolação, foi calculado o volume da disponibilidade anual de água de precipitação para recarga subterrânea para toda área limite da malha (2.632km<sup>2</sup>), que corresponde ao limite da bacia sedimentar onde afloram os aquíferos e para somente a soma das áreas dos polígonos que representam cada uma das áreas aflorantes dos sistemas aquíferos (731,6 km<sup>2</sup>), neste cálculo utilizou-se o valor médio da malha de interpolação para a infiltração efetiva. Estes volumes são valores estimados utilizando uma série histórica de dados de precipitação e temperaturas calculadas por regressão linear múltipla. Dessa forma, para 2.632km<sup>2</sup> o volume anual foi 356 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> e para 731,6km<sup>2</sup> o volume resultou em 95 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>. A recarga subterrânea obtida a partir do monitoramento do nível potenciométrico para o aquífero Médio,

considerando 216,4km<sup>2</sup>, porosidade efetiva de 12,8% e variação da carga hidráulica de 1,5m, resultou em um volume de 41,5 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> para o ano de 2008. Enquanto que para o ano de 2009, com variação da carga hidráulica de 0,5m, o volume foi de 13,8 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>.

Obteve-se para o Aquífero Inferior, área de 515,2km<sup>2</sup>, porosidade efetiva de 9,7%, variação da carga hidráulica de 1,5m em 2008 e 0,5m em 2009, os volumes foram respectivamente 75,0 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> e 25,0 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>. Vale salientar que os valores mais altos de porosidade efetiva estão registrados no Aquífero Médio na porção sul e noroeste

Os valores totais estimados para as reservas permanentes considerando o Aquífero Médio e Inferior foram respectivamente, 21.024 x 10<sup>9</sup>m<sup>3</sup> (Aquífero livre, área 216,4km<sup>2</sup>; aquífero semi confinado 382,4km<sup>2</sup>) e 18.596 x 10<sup>9</sup>m<sup>3</sup> (Aquífero livre, área 515,2km<sup>2</sup>; aquífero confinado 598,8km<sup>2</sup>).

As análises hidroquímicas, bacteriológicas e de isótopos ambientais em 120 amostras de água subterrânea coletadas em duas campanhas, no final do período seco de 2007 e no final do período chuvoso de 2008, análises de agrotóxicos em: 10 amostras e de metais pesados em 15 amostras resultaram em, a condutividade elétrica indica que os valores mais elevados estão nas águas do município de Juazeiro do Norte sendo indício de águas com maior tempo de residência e/ou de mistura de águas modernas com paleoáguas; a parte norte de Juazeiro mostra CE muito elevada devido ao poço ser no cristalino; o pH no período chuvoso foi mais elevado do que no período seco nas amostras dos quatro municípios, Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, enquanto que, as concentrações de ferro nas amostras de Crato eram mais baixas no período seco do que no período chuvoso; nas amostras dos outros municípios se manteve na mesma ordem de grandeza. Das 120 amostras, somente 05 não são potáveis quanto ao Fe.

Os Compostos nitrogenados foram detectados com concentrações acima dos VMPs em vários poços: no município de Missão Velha somente um teve NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, > VMP no final do período seco. O maior número de amostras com valores acima do VMP foram as do município de Juazeiro do Norte: 13 com NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, oito com NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e cinco com NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Em Crato as amostras acima do VMP foram nove com NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; oito com NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e três com NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

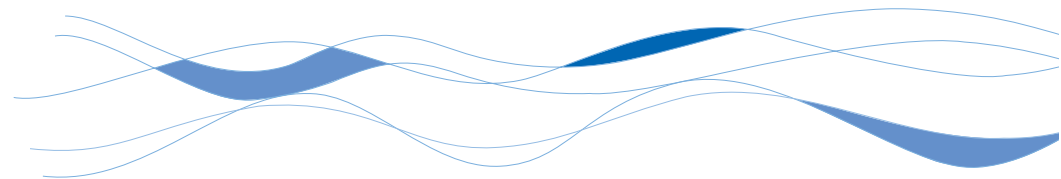
Somente um amostra de Missão Velha teve NO<sub>2</sub><sup>-</sup> > VMP. Coliformes totais estiveram presentes em 55 das 120 amostras coletadas nos dois períodos: em 10 de Barbalha, em 12 de Crato, em 28 de Juazeiro do Norte e em cinco de Missão Velha.

As análises de metais pesados detectaram a presença de bário acima do valor máximo permitido em 4 poços no período seco e em 7 poços no período chuvoso. Em um poço aparece chumbo, identificado pela análise interlaboratorial.

As águas dos quatro municípios são predominantemente águas bicarbonatadas mistas. Águas cloretadas sódicas aparecem em menor número de amostras em cada município. Estas classificações são as mesmas para as amostras das duas coletas.

Quanto ao uso na agricultura, 92% das águas são apropriadas até para solos moderadamente drenados e para qualquer cultura, 3% podem ser utilizadas sem restrição e 5% só devem ser utilizadas para irrigação em casos excepcionais.

As medidas dos isótopos ambientais indicam recarga recente com águas com valores das chuvas atuais, mas mostram que estão sendo também retiradas paleoáguas. Os resultados mostram que as zonas aquíferas explotadas pelos poços nos municípios de Barbalha e Juazeiro do Norte não são as mesmas das explotadas pelos poços de Crato e Missão Velha.



## Referências bibliográficas.

AGUIAR, R. B. de; VERÍSSIMO, L. S.; VASCONCELOS, S. M. S., 2008. Avaliação da recarga subterrânea no vale do Cariri, Ceará, Brasil. IX Congresso Latinoamericano de Hidrologia Subterrânea, Quito-Ecuador, julho de 2008.

ALVAREZ, R. H.; NIEDZIELSKI, H. **Estimación de la recarga en la subcuenca Rio de las Avenidas Pachuca Hidalgo México**. In: Congresso Latino-americano de Hid. Sub., 3, México, 1996. Anais do 3º Congresso Latino-americano de Hid. Sub., México: ALHSUD, 1996. p. 35-46.

ALVES, N. P. **Guia dos elementos químicos: uma fascinante viagem pela descoberta dos blocos que constituem nosso universo**. 1. ed. São Paulo: Quimlab produtos de química fina, 2008, 140 p.

ANVISA. [www.anvisa.com.br](http://www.anvisa.com.br). Acesso em 25/06/09.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. AWWA –WPCP, 1992.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. AWWA –WPCP, 1998.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. AWWA –WPCP, 2005.

ASSINE, M.L., 1990. Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Rio Claro, São Paulo. UNESP. 124p.

ASSINE, M. L., 1992. Análise Estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 289-300.

ASSINE, M. L., 1994. Paleocorrentes e Paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste de Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 24, n. 4, p. 223-232.

BARROS, S. D. S., 1996 – Mapeamento geológico da região centro-norte da bacia do Araripe e embasamento adjacente - (Área 02). Relatório de Graduação. DEGEO/UFC. 128p.

BERALDO, P. & SOARES, S. M., 1995 – GPS: Introdução e aplicações práticas. Criciúma: Editora e Livraria Luana. 150p.

BRAGA, A.C.O., 2001 - Métodos Geométricos Aplicados. Módulo: Hidrogeologia. UNESP. Campus de Rio Claro. 39p.

BRASIL. Fundação nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. Brasília: Funasa, 2006. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng\\_saneam.pdf](http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng_saneam.pdf)>. Acesso em: 7 mar. 2010.

BRITO NEVES, B. B. De, 1990. A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. 1º Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. DNPM – PICG/PROJ. Crato-Ceará.

CASTANY, G. **Prospección y explotación de las aguas subterráneas**. Barcelona: Ediciones Omega, 1975. p. 738.

CETESB. Decisão de diretoria N° 195-2005. **Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterráneas no estado de São Paulo**, 2005. 4p.

CPRM. **Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará**. Fortaleza, CE, 1999. CD-ROM.

CONAMA. **Resolução n.º 357 de 17/03/2005**. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005. 23 p.

CONAMA. **Resolução 396 de 03/04/2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterráneas e dá outras providências. 2008. 11 p.

COSTA, W.D. 1997. Uso e gestão de água subterrânea. In: Feitosa, F.A.C. & Manuel Filho, J. (1997) – Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. Cap. 14. p. 341 – 365.

CRAIG, H. **Isotopic variations in meteoric waters**. Science Magazine. v. 133, n.º 3465, p. 1702 - 1703, 1961.

CRAIG, H. **Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural Waters**. Science Magazine. v. 133, n.º 3467, p. 1633 - 1834, 1961.

EDUARDO, M. B. de P. Surto de Diarréia e Manifestações Neurológicas por Alimento Contaminado com Carbonato de Bário - Itaquaquecetuba, São Paulo, 2003. Boletim Epidemiológico Paulista. Agência Paulista de Controle de Doenças, Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo, São Paulo, ano 1, n. 1, jan. 2004. Disponível em: <[ftp://ftp.cve.saude.sp.gov.br/doc\\_tec/outros/bol\\_bepa104.pdf](ftp://ftp.cve.saude.sp.gov.br/doc_tec/outros/bol_bepa104.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2010.

FEITOSA, F. A. C. & FILHO, J. M. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações. CPRM e LABHID/UFPE. Fortaleza, 2ª Edição, 2000. 391 p.

FEITOSA, F. A. C. Teste de Bombeamento em Poços Tubulares. ABAS (CE-PI-MA). Fortaleza-Ceará. 2007. 155 p.

FERNANDES, M. A. B. Estudo da Qualidade da Água Subterrânea na Fazenda Frutacor, Chapada do Apodi. Fortaleza, Ceará. Dissertação de Mestrado. UFC. 2003. 84 p.

FNS. **Manual técnico de análise de água para consumo humano**. Brasília, 1999. 211 p.

FUNCEME. Médias mensais de precipitação pluviométrica em Nova Olinda-Ce. Histórico da Funceme. 2008.

GEYH, M. A.; STUTE, M.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F. Contribuição para a história climática do Nordeste do Brasil. In: **Bases para o futuro: 20 anos de Cooperação Científica e Tecnológica**, Ed. KFA, Julich, Alemanha, p. 159 - 165, 1991.

GOLDER/PIVOT. Implantação do Sistema de Monitoramento/Gestão de Uma Área Piloto do Aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri, no Estado do Ceará. Relatório Final do Projeto. IX volumes. 2005.

GOMES, M. C. R., 2006 – Qualidade das águas subterrâneas e superficiais no Campus Universitário do Pici, Fortaleza, Ceará. Relatório de Graduação em Geologia. 122 p. il.

GRIGG, N. S. *A new paradigm for water management*. Paper apresentado no Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos, Gramado, 5-8 de outubro de 1998.

GRISOLIA, C. K. Agrotóxicos - mutações, câncer & reprodução. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2005. 392 p.

IBGE. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 24 abr. 2008.

IPECE. **Perfil Básico Municipal do Crato**. Fortaleza: IPECE, 2009. 17 p. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/perfil-basico-municipal-2009](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2009)>. Acesso em: 7 mar. 2010.

IPECE. **Perfil Básico Municipal de Barbalha**. Fortaleza: IPECE, 2009. 17 p. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/perfil-basico-municipal-2009](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2009)>. Acesso em: 7 mar. 2010.

IPECE. **Perfil Básico Municipal de Juazeiro do Norte**. Fortaleza: IPECE, 2009. 17 p. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/perfil-basico-municipal-2009](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2009)>. Acesso em: 7 mar. 2010.

IPECE. **Perfil Básico Municipal de Nova Olinda**. Fortaleza: IPECE, 2009. 17 p. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/perfil-basico-municipal-2009](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2009)>. Acesso em: 7 mar. 2010.

IPLANÇE. **Anuário estatístico do Estado do Ceará**. SEPLAN - Secretaria do Planejamento e Coordenação. Fortaleza, CE, 1997. CD-ROM.

IPLANÇE. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Atlas do Ceará. Mapa colorido, escala 1:500.000. Fortaleza-Ceará. 1997. 65p.

LERNER, D. N.; ISSAR, A. S.; SIMMERS, I. **Groundwater recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge**. Hannover, Germany: Heire (International Contributions to Hydrogeology, v. 8), 1990. 326 p.

LOPES, C. R. M. Qualidade das águas subterrâneas no vale do Cariri - Área em Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha - Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado em Geologia. Área de concentração em Hidrogeologia. DEGEO/UFC. Fortaleza. 2004. 123p.

MACHADO, C. J. F.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. Hidroquímica como indicador de interconexão entre Aquíferos na chapada do Araripe utilizando o aplicativo PHREEQC. Revista Águas Subterrâneas. n. 18. 2004. p. 79-87.

MARTINEZ, M. V. & LOPEZ, A. I., 1984 – Pozos y Acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España – IGME. 426p.

MENDONÇA, L. A. R. Recursos Hídricos da Chapada do Araripe. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Engenharia Hidráulica. UFC. 2001.

MENDONÇA, L. A.; FRISCHKORN, H. PITOMBEIRA, S.P. e SANTIAGO, M.F. 1997. Detecção de conexão hidráulica entre Aquíferos utilizando modflow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XII, **Anais...Vitória/ ES, 16 – 20/11/97.**,. 93 –101.

MENDONÇA, L. A. R. Comportamento dos Aquíferos do Cariri. Juazeiro do Norte, Ceará. Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia. 2006. 33 p.

MENDONÇA, L. A. R., SANTIAGO, M. O., FRISCHKORN, H. & SASAKI, J. M. Problemas de obstrução nas tubulações de abastecimento de água da cidade de Nova Olinda - CE. Relatório Técnico-Científico. Juazeiro do Norte, Ceará. 2007. 13 p.

MÖBUS, G., 2003 – Qualigraf: *Software* para interpretação de análises físico-químicas. Versão Beta. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza. Download do programa a partir da página: [www.funceme.br](http://www.funceme.br). Acesso em 04/04/2008.

MONT'ALVERNE, A.A.F. (Coord). Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Departamento Nacional de Produção Mineral (MONT'ALVERNE), Distritos Regionais Pernambuco e Ceará. Recife, 1996.101 p. il.

MORAIS NETO, J.M.; HEGARTY, K. A.; KARNER, G. D., 2006 – Abordagem preliminar sobre paleotemperatura e evolução do relevo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, a partir da análise de traços de fissão em apatita. In: B. Geociências. Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 113-119.

OMS. *Guias para a Calidad Del Água Potable*. v.3, Organización Mundial de la Salud, 1998. 255p.

PARENTE, R. C., 2001 – Qualidade das águas subterrâneas dos municípios de Iguatu e Quixelô – Ceará; Brasil. Dissertação de Mestrado em Geologia. DEGEO/ UFC 107 p. il.

PAZDRO, Z. *Hydrogeologia Ogólna*, W.G. Warszawa, 1983. p. 575.

PONTE, F.C. & APPI, C.J. 1990 Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, Natal-RN, SBG, V1: 211-226.

PONTE, F. C., 1991 – Sistemas Depositionais na Bacia do Araripe, In PONTE, F. C.; HASITIMOTO, A. I. & DINO, R., 1991 – Geologia das Bacias Sedimentares Mesozóicas do Interior do Nordeste do Brasil. PETROBRÁS/CENPES/DIVEX/SEBIPE (Rel. Interno). Rio de Janeiro.

PONTE, F. C.; PONTE FILHO, F. C., 1996 – Evolução tectônica e classificação da bacia do Araripe. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 4, UNESP. Boletim..., Rio Claro, p. 123-133.

PORTARIA Nº 518, de 25 de março de 2004. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde – SVS. Coordenação – Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde 2005, 13p. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br> . Acesso em 27/09/2006.

RIBEIRO, J. A. P., 2001 – Características hidrogeológicas e hidroquímicas da faixa costeira leste da região metropolitana de Fortaleza – Ceará. Dissertação de Mestrado em Geologia. Área de concentração em Hidrogeologia. DEGEO/UFC. Fortaleza, Ceará. 122p.

REZENDE, A. V. Qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Brasília: Embrapa, 2002. 29 p.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. Características das águas. In: \_\_\_\_\_. Tratamento de água. São Paulo: ABDR, 2002. cap. 3, p. 24-40.

RUSHTON, K. R. Numerical and conceptual models for recharge estimation in arid and semi-arid zones. In: Simmers, I., **Estimation of Natural Groundwater Recharge**, Dordrecht: D. Reidel, 1988. p. 223-238.

SÁ, F. T. de, 2004 – As águas subterrâneas no município de Barbalha, Ceará, Brasil. Dissertação de Mestrado em Geologia. Área de concentração em Hidrogeologia. DEGEO/UFC. Fortaleza, Ceará. 120p.

SANTIAGO, M. F.; RÄDE, H.; TORQUATO, J. R. e GARRETT, L. Idade e movimento das águas subterrâneas na região de Picos - Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução hidroquímica. In: *Estudos Hidrológicos do Nordeste*. **BNB. Série Monografias**, v.3, 1981. p. 73-100.

SANTIAGO, M.M.F.; H. FRISCHKORN, A.N. SEREJO, J. MENDES FILHO and R. BRASIL. 1992. Isotope composition of Cariri groundwater as indicator for the dynamics of aquifer recharge. In: CONGRESO HIDROGEOLOGICO LATINOAMERICANO, I, *Anais...* ALHSUD. Compendio de Ponencias. Merida, Venezuela, 19 - 23/8/1992, 115-118.

SANTIAGO, M.F.; SILVA, C. M. S.; MENDES FILHO, J. and FRISCHKORN, H. 1997. Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará/Brazil) by environmental isotopes and electric conductivity. **Radiocarbon**, 39(1): 49-60.

SANTOS, A. C., 2000 – Noções de Hidroquímica. Cap. 05. In: Feitosa, C. A. F. & Filho, J. M. Hidrogeologia. Conceitos e Aplicação. CPRM e LABHID/UFPE. Fortaleza. 2ª edição, 28p.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Coord.). Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 2008. cap. 5.1, p. 325-357.

SITEM. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/>. Acesso em 25/06/09.

SMALL H. L. Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará. Recife, Inspetoria de Obras Contra Secas, 1913. 80p. (Publicação 25).

SOUZA, M. J. N., 1988 – Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. Revista de Geologia, v.1, n.1, p. 73-91.

SOUZA, A. K. P. de, 2002 – Qualidade das águas subterrâneas na região circunvizinha ao lixão do Jangurussu, Fortaleza, Ceará. Dissertação de Mestrado em Geologia. Área de concentração em Hidrogeologia. DEGEO/ UFC. Fortaleza. 106 p.

SOUZA, M. J. N., 1997 – Geomorfologia. In.: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação - SEPLAN. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará - IPLANCE. Atlas do Ceará. Fortaleza. CD-ROM.

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 julho de 2007.

VASCONCELOS, S.M.S., 1996. Estimativa da Recarga Subterrânea a partir do Balanço Hídrico - Exemplo de Fortaleza, (CE). **Revista de Geologia**, Fortaleza: UFC/DEGEO, v. 7, p. 27-34.

VERÍSSIMO, L. S. A importância das Águas Subterrâneas para o Desenvolvimento Socioeconômico do Eixo CRAJUBAR, Cariri Ocidental - Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará - UFC. 1999. 140p.

VIANA, N. de O. Vulnerabilidade e risco à poluição do Sistema Aquífero Médio – entre Crato e Missão Velha, Bacia do Araripe, Ceará. Fortaleza, Ceará. Dissertação de Mestrado. UFC, 2007. 117 p.

