



**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**  
**Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal**

**Hidrogeologia do Estado da Bahia:  
qualidade, potencialidade, disponibilidade,  
vulnerabilidade e grau de poluição**

**Francisco Inácio Negrão**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal

## TESE DE DOUTORADO

# **Hidrogeologia do Estado da Bahia: qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição**

Apresentada por:

*Francisco Inácio Negrão*

Orientadores:

*Antonio Paz González*

*Eva Vidal Vázquez*

*Iara Brandão de Oliveira*

---

JULHO 2007



D. **Antonio PAZ GONZÁLEZ**, Catedrático de Edafología y Química Agrícola de la Universidade da Coruña, Dña. **Eva VIDAL VÁZQUEZ**, Investigadora Parga Pondal de la Universidade da Coruña y Dña. **Iara BRANDÃO DE OLIVEIRA**, Profesora Titular en la Escuela Politécnica de la Universidade Federal da Bahia

**CERTIFICAN:**

Que la presente memoria titulada "**Hidrogeologia do Estado da Bahia: qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição**" que para optar al grado de Doctor por la Universidade da Coruña presenta el Licenciado en Geología D. **Francisco Inácio NEGRÃO**, ha sido realizada en la Escuela Politécnica de la Universidade Federal da Bahia (UFBA) y en la Facultad de Ciencias de la Universidade da Coruña (UDC).

Considerando que constituye trabajo de *Tesis Doctoral*, autorizamos su presentación en el Instituto Universitario de Xeoloxía de la Universidade da Coruña.

Y para que así conste, expedimos el presente certificado en La Coruña, a 19 de julio de 2007.

Fdo.: Antonio Paz González

Fdo.: Eva Vidal Vázquez

Fdo: Iara Brandão de Oliveira

## Prólogo

### **DO RIGOR NA CIÊNCIA**

...Naquele Império, a Arte da Cartografia alcançou tal Perfeição que o mapa de uma única Província ocupava toda uma Cidade, e o mapa do Império, toda uma Província. Com o tempo, esses Mapas Desmesurados não satisfizeram e os Colégios de Cartógrafos levantaram um Mapa do Império que tinha o tamanho do Império e coincidia ponto por ponto com ele. Menos afeitas ao Estudo da Cartografia, as gerações seguintes entenderam que esse dilatado mapa era inútil e não sem Impiedade o entregaram às inclemências do sol e dos invernos. Nos desertos do Oeste subsistem despedaçadas ruínas do mapa, habitadas por animais e por mendigos; em todo o País não há outra relíquia das Disciplinas Geográficas.

(Suárez Miranda: *Viajes de Varones Prudentes*,  
livro quarto, cap. XLV, Lérida, 1658.)

J.L.B.



## AGRADECIMENTOS

Aproveito esta oportunidade para expressar os meus mais sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e entidades que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Sei, com certeza, que a minha memória não será suficiente para registrar aqui todos os que me ajudaram, portanto, de antemão, peço-lhes perdão.

Em primeiro lugar, ao professor, e orientador deste trabalho, Dr. *Antonio Paz González*, que colocou todo o seu interesse e conhecimento em prol da sua realização. Bem como à Dra. *Eva Vidal Vázquez*, coorientadora desta tese por seu apoio.

Em segundo lugar quero expressar o meu especial carinho à minha amiga, professora Dra. *Iara Brandão de Oliveira*, orientadora desta tese no Brasil, que sem os seus conselhos e grandes discussões esta tese não seria possível. Igual sentimento dedico ao professor Dr. *Ari Medeiros Guerra*, mestre e companheiro de todas as horas na construção da Hidrogeologia da Bahia.

Em terceiro lugar à professora Dra. *Magda Beretta*, coordenadora do NUPEA (núcleo de Pesquisas em Engenharia Ambiental) e do Laboratório de Análises Químicas da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, minha incentivadora e apoiadora de projetos.

Reconhecimento e amor especial dedico, à minha mulher *Evanildes Bastos dos Reis* que tanto me incentivou para chegar ao fim desta Tese.

Menção especial, atenção e amor paternal dedico às minhas filhas *Iansã Pacheco Negrão* e *Inara Pacheco Negrão* (as Irmãs Negrão da Quimera) pela realização do trabalho de diagramação das figuras desta tese e por ter me dado sempre o seu amor e carinho sem os quais este trabalho, ou qualquer outro, seria possível. À minha ex-mulher, *Maria Célia Pacheco Negrão*, mãe de minhas filhas haverá sempre o seu lugar no meu consciente.

Especialmente dedico um grande abraço ao meu amigo *Adalberto de Figueiredo Ribeiro* por suas pesquisas e publicações sobre a Geologia da Bahia, que consultei para a realização deste trabalho assim como por tudo que temos compartilhado ao longo de nossa frutífera amizade. E, não menos especialmente, também aos nossos irmãos geólogos: *Antonio José Pinheiro Rivas*; *Maria da Glória Silva*; *Manoel Barreto* e *Reinaldo Santana Correia de Brito*.

Destaque especial merece ser dado ao Doutor *José García Vivas Miranda* por suas dicas referentes aos trabalhos com os programas de computadores e sua preciosa ajuda na compreensão das metodologias em Geoestatística.

Além disso, quero demonstrar aqui o meu apreço aos meus colegas de trabalho da CERB:

*Nelson Roberto Pinheiro Lima, Marcos Antonio da Silva e João Batista Matos de Andrade. E também aos amigos de todas as horas que sempre me tem apoiado como: Paulo Roberto Penalva dos Santos, Asher Kiperstok First e muitos outros.*

Não posso deixar de fazer referencia a que o nosso trabalho vem se desenvolvendo com o apoio dos seguintes projetos de investigação científica:

Projeto IQNAS (Índices de Qualidade das Águas Subterrâneas). Apoiado pela FAPESB - Fundação de Auxílio a Pesquisa do Estado da Bahia;

Projeto AQUAINDEX (Índices de Qualidade das Águas). Apoiado pelo CNPQ- Conselho Nacional de Pesquisa);

Projeto DESSAL (Estudos de Processos de Dessalinização de Águas do Nordeste da Bahia). Apoiado e desenvolvido pela CERB – Companhia de Engenharia Rural da Bahia.

É imprescindível por fim mencionar as seguintes entidades que apoiaram institucionalmente este trabalho:

***CERB - Companhia de Engenharia Rural da Bahia;***

***ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Núcleo Bahia e Sergipe;***

***UFBA - através da Escola Politécnica e o Departamento de Engenharia Ambiental. E, principalmente à***

***UDC - Universidade da Coruña, e o Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal, através do qual este trabalho se realizou e veio a público.***

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1	Justificativa .....	5
1.2	Objetivo geral .....	5
1.3	Objetivos Específicos .....	5
1.4	Estrutura do Trabalho .....	6
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
2.1	Clima .....	8
2.2	Pluviometria .....	10
2.3	Hidrografia .....	12
2.4	Geologia e Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia .....	17
2.5	Geomorfologia e Relevô .....	34
2.6	Solos .....	42
2.7	Ecoregiões .....	47
2.8	Uso do solo .....	58
2.9	Aquíferos do Estado da Bahia .....	65
2.10	Reservas, Potencialidades e Disponibilidades dos Aquíferos do Estado da Bahia .....	93
2.11	Aspectos Ambientais e de Uso dos Aquíferos Estado da Bahia .....	96
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>102</b>
3.1	Banco de Dados .....	103
3.2	Metodologia de Construção do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia – IQNAS .....	105
3.3	Metodologia de Construção dos Mapas de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	109
3.4	Metodologia de Construção do Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	110
3.5	Metodologia de Construção do Mapa de Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia – NITRATOS .....	114

3.6	Metodologia de Construção do Mapa de Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	116
3.7	Metodologia de Construção do Mapa da Potencialidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	117
3.8	Metodologia de Análise Geoestatística da Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	119
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>125</b>
4.1	Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	126
4.2	Potencialidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	134
4.3	Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	136
4.4	Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	138
4.5	Grau de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia .....	141
4.6	Análise Geoestatística da Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia ....	143
4.6.1	Cloreto .....	143
4.6.2	Nitrato .....	146
4.6.3	Sólidos Totais Dissolvidos .....	148
4.6.4	Dureza .....	150
<b>5</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>152</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>160</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>163</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>174</b>



Antecedentes

## 1. ANTECEDENTES

A Bahia é o estado do Nordeste do Brasil com maior superfície, 566.237 km<sup>2</sup> apresentando condições climáticas variadas e precipitações médias variando entre 300 e 2.700 mm anuais. No Estado a região de clima semi-árido ocupa 310.321 km<sup>2</sup> (55%), com precipitações abaixo de 800 milímetros por ano. Segundo dados da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais (SEI) a população total do Estado, em 2005, era de 13.825.883 habitantes sendo, sendo deste total, 66,5% urbana e 33,5% rural. A taxa média de crescimento anual da população, entre 1.991 e 2.000, foi de 2,5% para a população urbana e de -1,3% para a população rural.

Os recursos naturais e econômicos do Estado da Bahia apresentam grande variabilidade estando distribuídos em cinco grandes *regiões naturais*: Semi-Árido; Cerrados; Chapadas e Serras; e Mata Atlântica que inclui o Litoral; e treze *bacias hidrográficas*: São Francisco, Vaza-Barris, Real, Itapicuru, Inhambupe, Recôncavo Norte, Paraguaçu, Recôncavo Sul, Contas, Leste, Pardo, Jequitinhonha e Extremo Sul. Quanto aos aspectos políticos e administrativos, seus 417 municípios, estão agrupados em quinze *regiões econômicas*: Metropolitana de Salvador, Litoral Norte, Recôncavo Sul, Litoral Sul, Extremo Sul, Nordeste, Paraguaçu, Sudoeste, Baixo Médio São Francisco, Piemonte da Diamantina, Irecê, Chapada da Diamantina, Serra Geral, Médio São Francisco e Oeste, conforme pode ser visualizado na Figura 1. Quanto à *geologia* o Estado da Bahia é caracterizado por terrenos sedimentares, metassedimentares, cársticos e embasamento cristalino. As características litológicas desses terrenos, e a pluviosidade do local de ocorrência, resultam em cinco *domínios hidrogeológicos* ou regiões aquíferas homólogas denominadas Domínios Aquíferos do Estado da Bahia que são: Coberturas Detríticas, Bacias Sedimentares, Calcários, Metassedimentos e Cristalino Fissural (Guerra e Negrão, 1996).

O Conhecido *fenômeno das secas do Nordeste do Brasil* levou o Governo Federal tomar a iniciativa de estudar as águas subterrâneas na Bahia, através da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), na década de sessenta. Essa foi uma época de efervescência política e grande atividade científica na região semi-árida, proporcionada por intercâmbio de conhecimento entre técnicos brasileiros e europeus, através de convênios com Universidades da França e Alemanha.

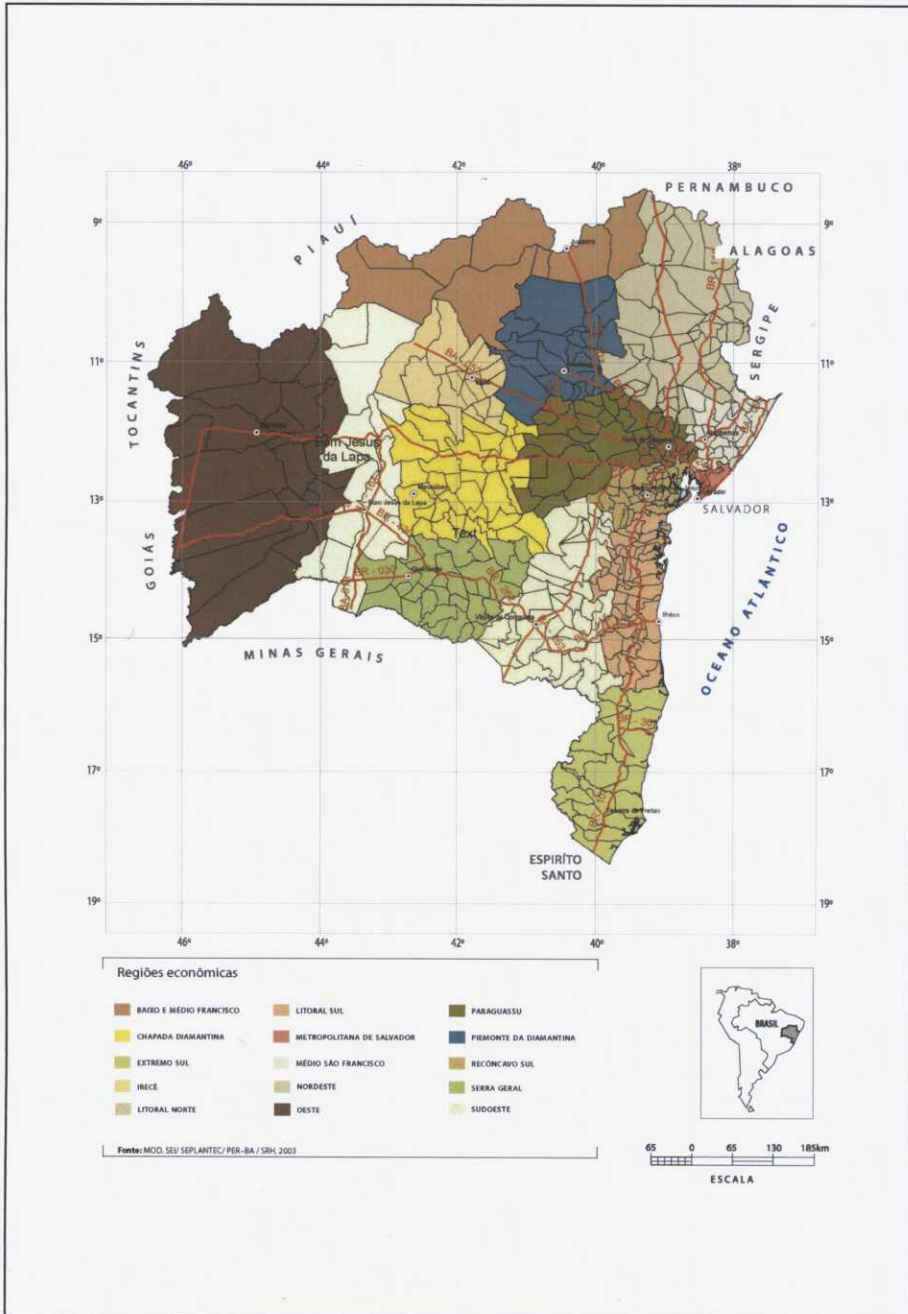


Figura 1. Regiões econômicas e divisão municipal do Estado da Bahia.

Nessa época o Nordeste foi estudado através dos chamados Programas de Levantamentos Hidrogeológicos Básicos, (Rebouças e Gaspary, 1966; Anjos, 1968, Sudene, 1972, 1978, 1980; Keysing e outros, 1973). Com base nesses levantamentos de campo foram mapeados os principais aquíferos do Estado e estabelecidos os programas de combate às secas com a construção de grandes açudes e barragens, e um extenso programa de perfuração de poços em todo o Nordeste semi-árido. Com a decadência da Sudene e ascensão da ditadura militar de 1964, os Estados do Nordeste começaram a criar os seus próprios órgãos de combate à seca e os estudos hidrogeológicos passaram a ser elaborados pelas agências estaduais.

Na Bahia, a primeira empresa estatal de perfuração de poços foi a Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), fundada na década de 70 para atender à grande demanda por água potável principalmente das pequenas comunidades rurais em épocas emergenciais de seca.

Durante os últimos 37 anos, a CERB vem ampliando o conhecimento sobre a hidrogeologia do Estado, através do cadastramento de poços, análise da qualidade das águas, construção de sistemas de abastecimento bem como com a participação em congressos e simpósios em todo o Brasil, transformando-se na principal empresa de prospecção e perfuração de poços do Estado da Bahia.

A CERB também tem entre suas responsabilidades, administrar o acervo hidrogeológico do Estado, legado por outras companhias como a Sudene, Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (Codevasf) e empresas particulares. Em 1996, com o esforço da comunidade científica, e de seus técnicos, a CERB apoiou a interpretação e sistematização do seu cadastro de cerca de 14.000 poços, culminando com a elaboração do Mapa de Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, na escala ao milionésimo (Guerra e Negrão, 1996).

Atualmente, pode-se afirmar que a comunidade técnica da área de hidrogeologia do Estado está madura e sente a premência, cada vez maior, de integração e repasse dos conhecimentos hidrogeológicos, legados pela Sudene e outros. Tais conhecimentos estão sendo ampliados principalmente através dos programas de perfuração de poços e construção de sistemas de abastecimento de água de comunidades rurais, em sua maioria, sistemas simplificados, empreendidos pelos diversos programas governamentais de combate às secas, e de abastecimento e saneamento rural.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (Bahia, 2003) preconizou para o Estado melhor estruturação e integração dos seus vários órgãos de gerenciamento dos recursos



hídricos. Assim sendo, muito mais informações serão geradas com a execução das políticas públicas e programas de abastecimento e saneamento rural para a população usuária de águas subterrâneas do Estado da Bahia.

### **1.1. Justificativa**

A idéia de elaborar este documento sobre a Hidrogeologia do Estado da Bahia veio da necessidade de reunir, em um único compêndio, a maior quantidade possível de informações atuais sobre as águas subterrâneas do Estado, no que se refere à sua qualidade e potencialidade, dentro de um enfoque didático. Entre as fontes de consulta e coletas de dados estão os estudos, projetos e trabalhos realizados desde a década de sessenta publicados por vários autores. Mais recentemente destaca-se o Plano Estadual de Recursos Hídricos (Bahia, 2003), elaborado, no que se refere às águas subterrâneas, com a participação decisiva do Prof. Dr. Ari Medeiros Guerra, parceiro do autor deste trabalho no estudo das águas subterrâneas.

Atualmente este autor vem desenvolvendo projetos de pesquisa na área de Hidrogeologia, juntamente com a Profa. Dra. Iara Brandão de Oliveira, em parceria com a equipe do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Tais Projetos são financiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) com total apoio da CERB e, seus resultados, contribuirão para a elaboração deste documento sobre a Hidrogeologia do Estado da Bahia.

### **1.2. Objetivo Geral**

uma síntese atual da Hidrogeologia do Estado da Bahia com ênfase na qualidade de suas águas, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e risco de poluição.

### **1.3. Objetivos Específicos**

- ✓ da qualidade natural das águas subterrâneas do Estado da Bahia.
- ✓ da potencialidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia.
- ✓ da disponibilidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia.
- ✓ da vulnerabilidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia.
- ✓ do grau de risco de poluição das águas subterrâneas do Estado da Bahia.
- ✓ Análise geoestatística dos dados de qualidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia.

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

O Capítulo 2, Introdução, apresenta uma visão geral das características fisiográficas e hidrogeológicas do Estado da Bahia, abordando-se o Clima, a Pluviometria, a Hidrografia a Geomorfologia, onde se pode ler sobre a compartimentação regional do relevo e unidades geomorfológicas, solos, geologia, e ecoregiões. A partir desse ponto o leitor encontrará uma descrição detalhada dos Aquíferos do Estado da Bahia, com destaque para as reservas, potencialidades, disponibilidades e finalmente aspectos ambientais de exploração e uso das águas subterrâneas.

No Capítulo 3, Materiais e Métodos, são apresentados os procedimentos para levantamentos de dados de poços, a metodologia de análise de água em laboratório, metodologia para a construção de indicadores da qualidade química das águas subterrâneas, indicadores de vulnerabilidade e risco de poluição e, finalmente, uma análise geoestatística desses dados.

O capítulo 4, Resultados e Discussão, apresenta as análises e discussões dos resultados do trabalho, com base nos seguintes mapas elaborados pelo autor: mapa de índices de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS, mapa de potencialidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia, mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia, mapa de disponibilidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia, mapa de risco de poluição das águas subterrâneas do Estado da Bahia e a análise geoestatística dos dados de qualidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia.

No capítulo 5 o leitor poderá obter as conclusões deste trabalho. No capítulo 6 a Bibliografia. No capítulo 7, Anexos, o leitor encontrará a tabela de fórmulas utilizadas na cubagem dos aquíferos e modelos de planilhas Excel utilizadas no tratamento estatístico dos dados; e, finalmente segue também em anexo, um CD com o trabalho completo em arquivo PDF.

## Introdução

## 2. INTRODUÇÃO

### 2.1. Clima

O Estado da Bahia está situado na faixa de clima tropical, com média anual de 2.337 horas de insolação; umidade relativa média de 71,7% e nebulosidade média de 5,8 (escala de 0 a 10). A amplitude térmica anual é pequena, menor que 3°C e as temperaturas médias são elevadas, situando-se em entorno dos 24°C, variando entre 20°C e 26°C, ocorrendo temperaturas mais amenas no litoral e nas regiões mais altas da Chapada Diamantina (Bahia, 2003).

Existem no Estado da Bahia cinco tipos de climas básicos, classificados segundo Thornthwhite: Úmido, Úmido a Sub-úmido, Sub-úmido a Seco, Semi-árido e Árido, conforme indicado na Figura 2, o clima é *úmido a sub-úmido* predominantemente no litoral e extremo oeste; clima *sub-úmido a seco* na região central e centro-sul; clima *semi-árido* na maior parte do território estadual; clima *árido* predominantemente na região norte do Estado.

A maioria dos problemas relacionados à escassez de recursos hídricos ocorre nas regiões onde predominam os climas semi-árido e árido.

O clima semi-árido ocorre em praticamente 70% do Estado e é característico dos vales dos Rios São Francisco, Vaza-Barris, Itapicuru, Paraguaçu e Contas que, de maneira geral, apresentam déficits hídricos, altas temperaturas, médias mínimas acima de 25 °C e precipitações inferiores a 800 mm anuais.

Nas regiões de clima árido que ocorre ao longo do submédio São Francisco, nos dois terços inferiores do lago de Sobradinho, na bacia do alto rio Salitre e em algumas manchas isoladas registram-se as maiores temperaturas e as menores precipitações (entre 500 e 300 mm/ano) concentradas em apenas três meses, não existindo excedente hídrico.

O clima árido de caatinga, com precipitação anual inferior a 400 mm/ano é o mais rigoroso do Estado, concentrando-se no extremo norte, na região de Curaçá, a qual se encontra em processo de desertificação (Aouad, 1991), após o rio Vaza-Barris, no baixo e médio rio Salitre e no baixo Rio São Francisco.



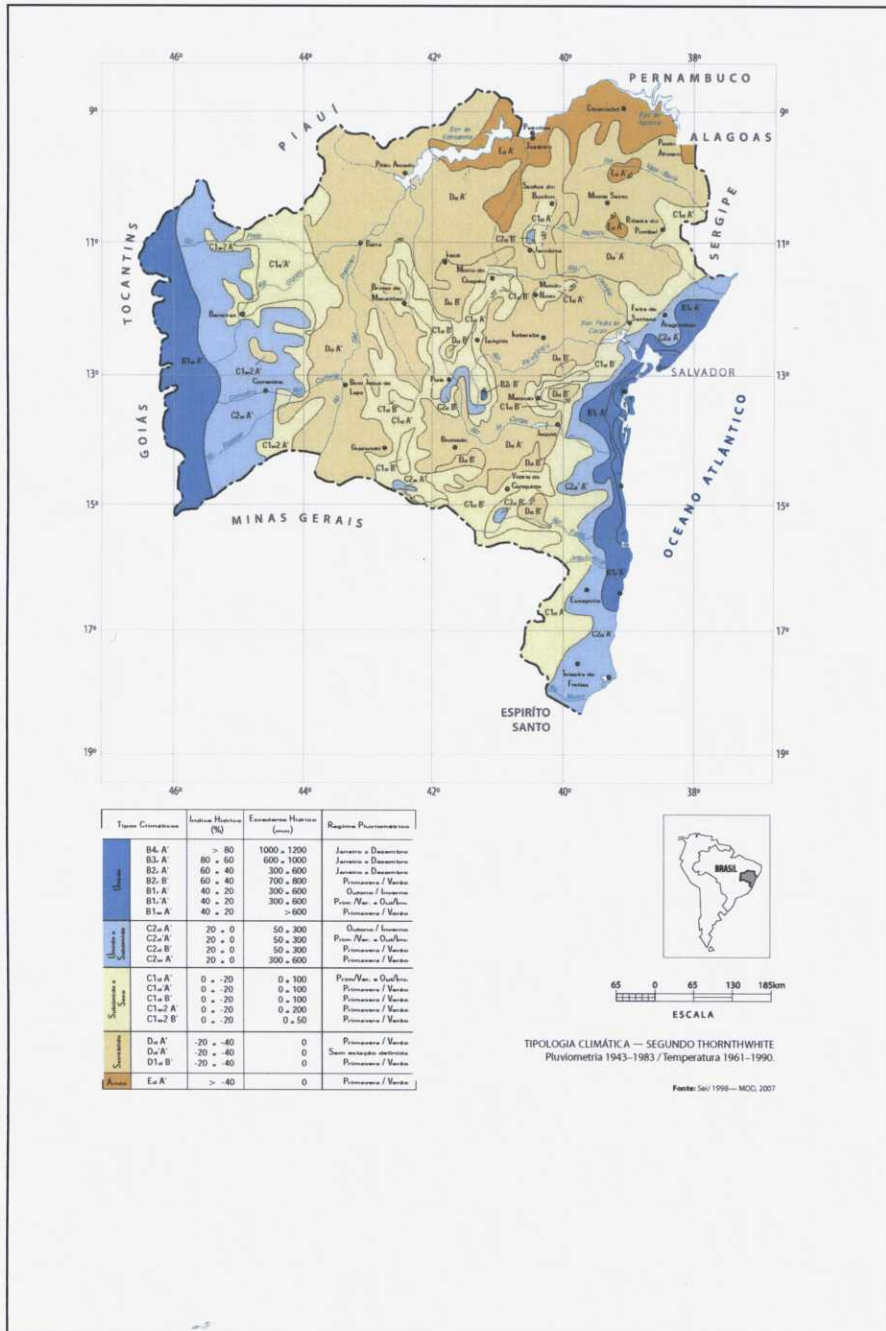


Figura 2. Mapa dos Tipos de Climas do Estado da Bahia.

## 2.2. Pluviometria

O Sistema de Informações Hidrológicas do Estado da Bahia – SIH, (Bahia, 2003), conta com 1.182 estações. Foram selecionados para o Plano Estadual de Recursos Hídricos de 2003, 437 postos pluviométricos, em função da disponibilidade de dados, para avaliações regionais do regime de chuvas no Estado. A partir desse estudo foi montado um Projeto de Rede Hidrométrica do Estado da Bahia, que prevê a operação de 512 estações na rede pluviométrica, sendo 119 equipadas com pluviômetros, 377 com pluviógrafos e 16 estações evaporimétricas com tanques classe A e pluviógrafos.

O mapa da pluviosidade do Estado da Bahia, Figura, 3, mostra a seguinte distribuição das chuvas no Estado: um grande volume de precipitação a partir da faixa litorânea, com máximo de 2.697 mm/ano, em Valença; seguindo-se em direção ao Oeste, para a região do planalto da Chapada Diamantina, que chove até 1.362 mm/ano em Lençóis, por influência da altitude. Na borda oeste da Chapada Diamantina, margem direita do Rio São Francisco e região do Platô de Irecê; chove no máximo 653 mm em Irecê. Após o Rio São Francisco, encontra-se a região do Chapadão do Oeste ou região de Barreiras, onde o volume de chuva começa a crescer em direção ao oeste, de 661 mm, na cidade de Barra às margens do Rio São Francisco, passando para 1122 mm na cidade de Barreiras, até atingir 1600 mm na divisa com os Estados de Goiás e Tocantins.

Ao Norte, na região onde o Rio São Francisco desvia o seu curso para o Leste, em direção ao Oceano Atlântico, a chuva decresce abaixo de 400 mm/ano nos municípios de Curaçá e Chorrochó, os quais se encontram em processo de desertificação (Aouad, 1991). Na faixa do Clima Úmido encontrado no limite oeste do Estado, com largura variando entre 20 e 80 km, as chuvas médias anuais variam de 1.300 a 1.600 mm. Também na maior parte do litoral, em uma faixa com largura de 18 a 65 km, as chuvas variam de 1.400 a 2.600 mm anuais bem como em uma pequena mancha localizada na vertente sul da Chapada Diamantina, no trecho alto da bacia do Rio Paraguaçu.

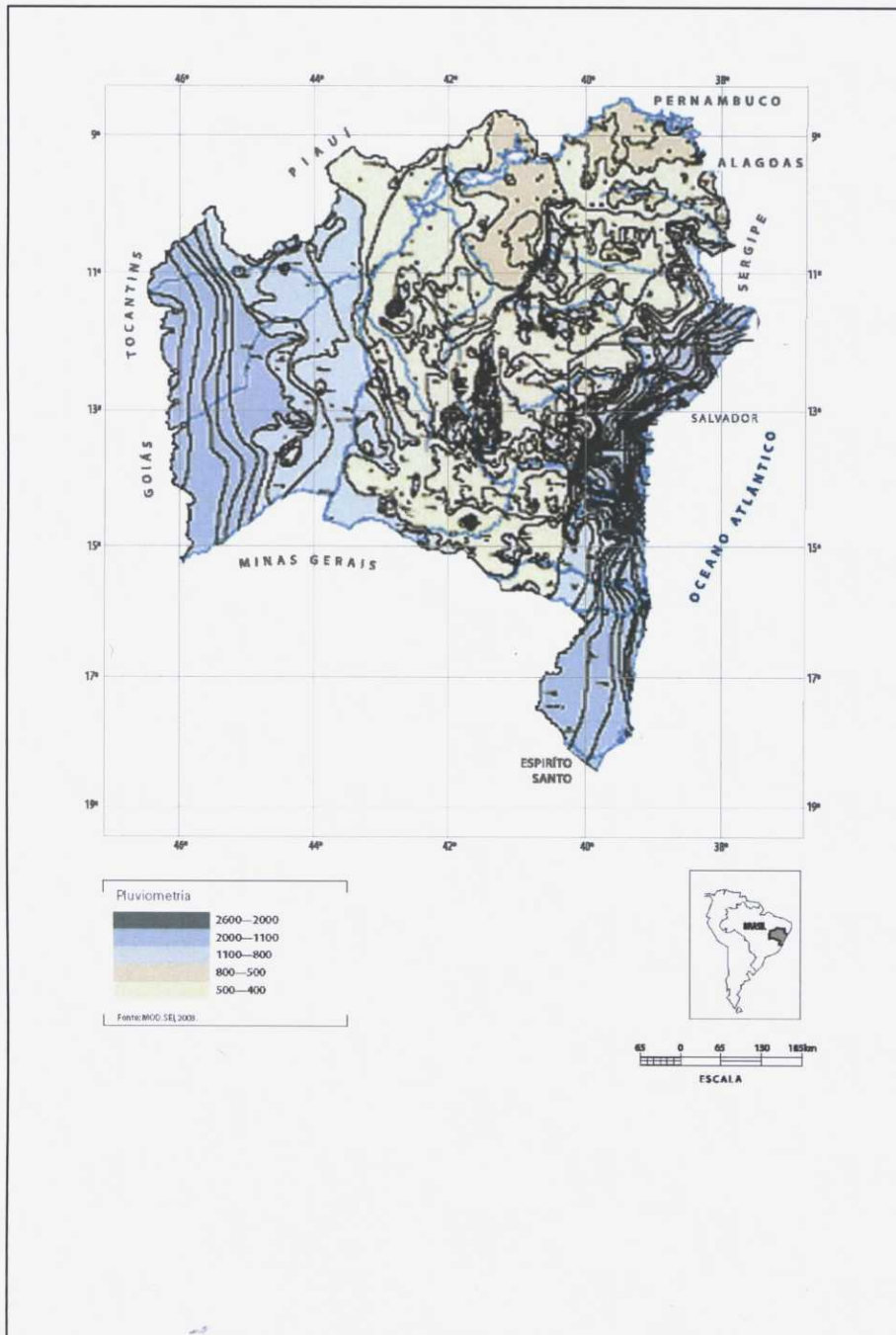


Figura 3. Mapa da pluviometria no Estado da Bahia.

Em faixas de clima Úmido a Sub-úmido contíguas às do Clima Úmido, o índice pluviométrico varia entre 1.000 mm a 1.400 mm, com ocorrência, principalmente, na vertente sul da Chapada Diamantina e ao longo da faixa litorânea. Nos dois tipos climáticos (Úmido e Úmido a Sub-úmido) as temperaturas médias variam entre 22 °C e 24°C e o índice hídrico é sempre positivo. Na faixa do clima Sub-úmido a Seco paralela à faixa atlântica, contornando a Chapada Diamantina e nas bordas dos Chapadões Ocidentais, ocorre um déficit moderado. A precipitação média anual varia de 800 a 1.200 mm, decrescendo na direção do centro do Estado, e as temperaturas médias variam entre 24°C e 25°C. Na faixa do clima Semi-Árido que ocorre em praticamente 70% do Estado, nos vales dos rios São Francisco, Vaza-Barris, Itapicuru, Paraguaçu e Contas, precipitações inferiores a 800 mm anuais, com altas temperaturas, e médias mínimas acima de 25°C. Na faixa do clima Árido, encontrado no extremo norte do Estado, especificamente ao longo do submédio vale do rio São Francisco até a divisa com Sergipe; nos dois terços inferiores do Lago de Sobradinho; na bacia do rio Salitre e em algumas manchas isoladas, as precipitações oscilam entre 500 e 300 mm, concentradas em apenas três meses, não existindo excedente hídrico. Nestas áreas ocorrem as maiores temperaturas.

### **2.3. Hidrografia**

A rede hidrográfica do Estado apresenta as seguintes características: na região central e norte é constituída na sua maior parte, principalmente nas regiões central e norte, por cursos de água temporários enquanto nas regiões úmidas do oeste, litoral e extremo sul, situam-se a maioria dos rios de regime permanente. A Figura 4 apresenta as treze bacias hidrográficas do Estado. A principal delas é a do Rio São Francisco que, juntamente com as outras doze, formam o conjunto das bacias atlânticas, porque deságua no Oceano Atlântico.

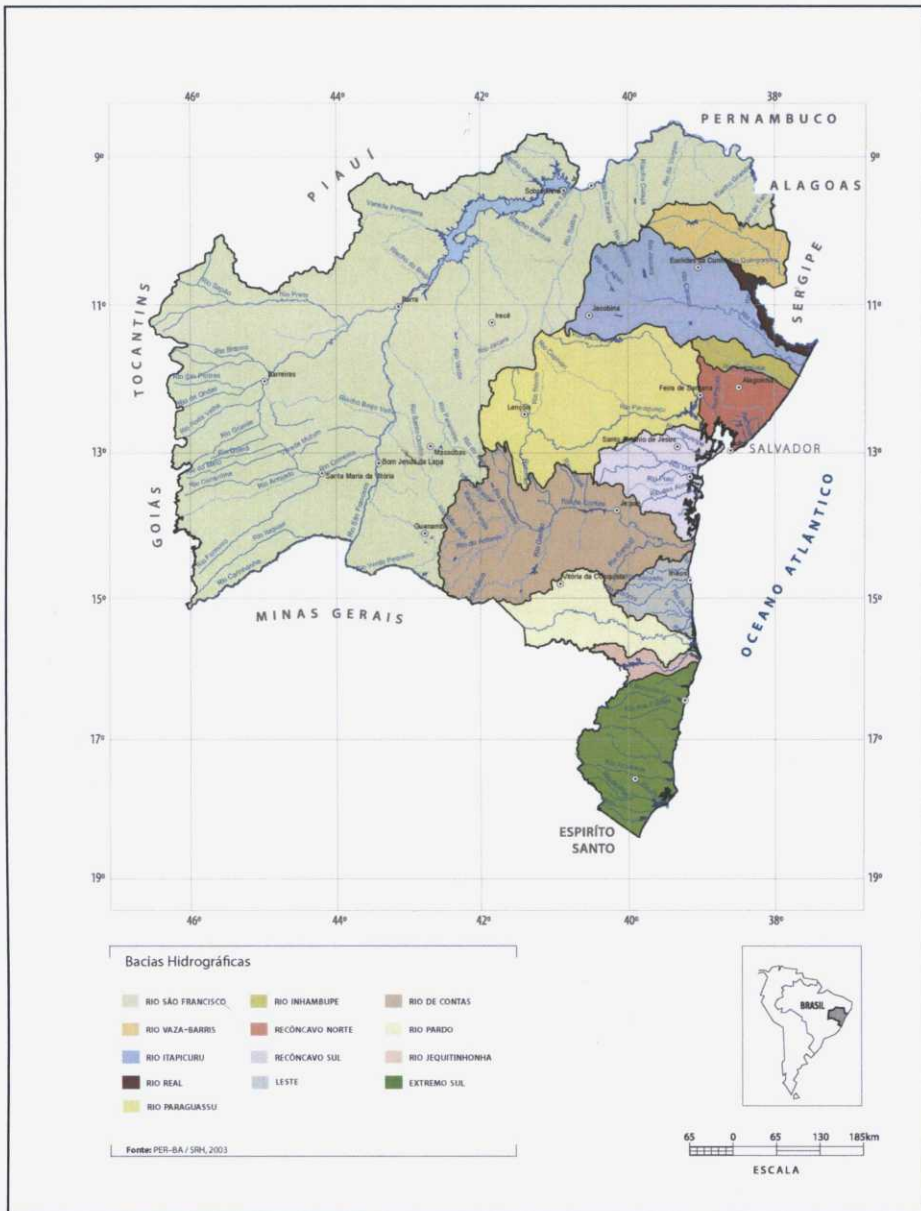


Figura 4. Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado da Bahia.

A observação do regime fluviométrico dessas bacias vem sendo realizada a partir de 727 estações fluviométricas integrantes do Sistema de Informações Hidrológicas - SIH, da Agência Nacional de Energia elétrica - ANEEL.

A Tabela 1, PERH (Bahia, 2003), apresenta as principais características hidrológicas das bacias e sub-bacias do Estado da Bahia. Onde se observa que as bacias contribuintes para o Rio São Francisco as vazões médias vão de 1,02 m<sup>3</sup>/s a 300,3 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 1. Características das principais bacias e sub-bacias do Estado da Bahia.

Principais bacias ou sub-bacias	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Área do Estado (%)	Vazão específica (l/s km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s) *	Descarga de base (m <sup>3</sup> /s)
<b>a) Principais sub-bacias do Rio S. Francisco</b>					
Rio Carinhonha	9.877	1,7%	7,03	118,14	57,45
Rio Corrente	34.875	6,2%	6,71	233,86	171,56
Rio Grande	76.630	13,5%	3,92	300,3	211,21
Rios Carnaíba de Dentro e Sto Onofre	13.560	2,4%	1,14	15,4	0,02
Rio Paramirim	16.874	3,0%	0,53	8,93	0,00
Rios Jacaré e Verde	28.951	5,1%	0,56	16,13	0,01
Rio Salitre	14.136	2,5%	0,07	1,02	0,01
<b>b) Principais bacias do Atlântico Leste</b>					
Rio Vaza-Barris	14.340	2,5%	0,77	11,05	0,70
Rio Itapicuru	37.345	6,6%	0,74	27,66	3,96
Rio Real	2.612	0,5%	3,21	8,39	0,15
Rio Inhambupe	5.684	1,0%	2,24	12,75	1,16
Bacias do Recôncavo Norte	12.331	2,2%	6,58	81,17	1,99
Rio Paraguaçu	54.877	9,7%	2,11	115,78	16,40
Bacias do Recôncavo Sul	17.833	3,1%	7,60	135,5	18,05
Rio de Contas	55.483	9,8%	2,03	112,7	2,00
Bacias Leste	9.507	1,7%	7,40	70,34	2,80
Rio Pardo	19.920	3,5%	2,67	80,98	17,70
Rio Jequitinhonha	4.095	0,7%	6,20	440,15	131,80
Bacias do Extremo Sul	27.201	4,8%	5,84	241,9	92,50

(\*)Vazão no exutório da bacia, considerando inclusive as áreas externas à Bahia.

O Rio Salitre que apresenta a menor vazão do conjunto, corre sobre ambiente cárstico, apresentando diversos pontos de engunamento, onde o rio se transforma em fluxo subterrâneo. Por outro lado o Rio Grande, que apresenta a maior vazão de contribuição para o Rio São Francisco no Estado da Bahia possui a característica particular de ser alimentado pelo aquífero Uruçuaia e vice-versa, ocorrendo em região de alta

pluviosidade no oeste do estado. Em ambos os casos a conexão hidráulica entre o rio e o aquífero é altamente significativa. Das bacias contribuintes para o Oceano Atlântico a menor ( $8,36 \text{ m}^3/\text{h}$ ) é do Rio Real, situado na região norte do estado, onde se encontram os menores índices de precipitação, e a bacia de maior contribuição é a do Rio Jequitinhonha, proveniente do Estado de Minas Gerais e situado ao sul da Bahia onde ocorrem as maiores precipitações.

### **Barramentos e Usinas Hidrelétricas do Estado da Bahia**

No mapa da Figura 5 foram plotados os resultados de 147 barramentos existentes no Estado, incluindo-se aí represas e açudes de médio porte e 14 usinas hidrelétricas. Das 147 barragens, 47 estão localizadas na Bacia do Rio São Francisco e apenas 10 são utilizadas para geração de energia. As outras 100 barragens restantes estão distribuídas nas bacias que deságuam no Oceano Atlântico, sendo 32 no rio de Contas, 28 no rio Itapicuru, 19 no rio Paraguaçu, 11 na bacia do Recôncavo Norte e outras 10 nas demais bacias. Destaca-se que a região metropolitana da cidade de Salvador, capital do Estado, está localizada em sua maior parte na Bacia do Recôncavo Norte. Observe-se ainda que o número de usinas hidrelétricas corresponde a menos de 10% dos barramentos demonstrando carência de políticas públicas para implementar o uso múltiplo, abastecimento e geração de energia hidrelétrica nos pequenos barramentos.

Estudos de campo, mais atualizados, realizados pelo PERH (Bahia, 2003), identificaram cerca de 400 reservatórios com capacidade maior que  $10.000 \text{ m}^3$  dos quais, 215 apresentam capacidade superior a  $100.000 \text{ m}^3$  e 24 reservatórios (incluindo Sobradinho e Itaparica) têm capacidade maior que 25 milhões de  $\text{m}^3$ . Além destes, foram identificados outros 12 reservatórios programados pelo Governo do Estado para implantação até 2020. Apesar dos grandes volumes já armazenados e projetados, estes, são insuficientes para atender as demandas projetadas até o ano de 2020. Para cobrir os déficits já quantificados estão sendo estudados projetos de construção de outros reservatórios e o aumento da exploração das águas subterrâneas.

]

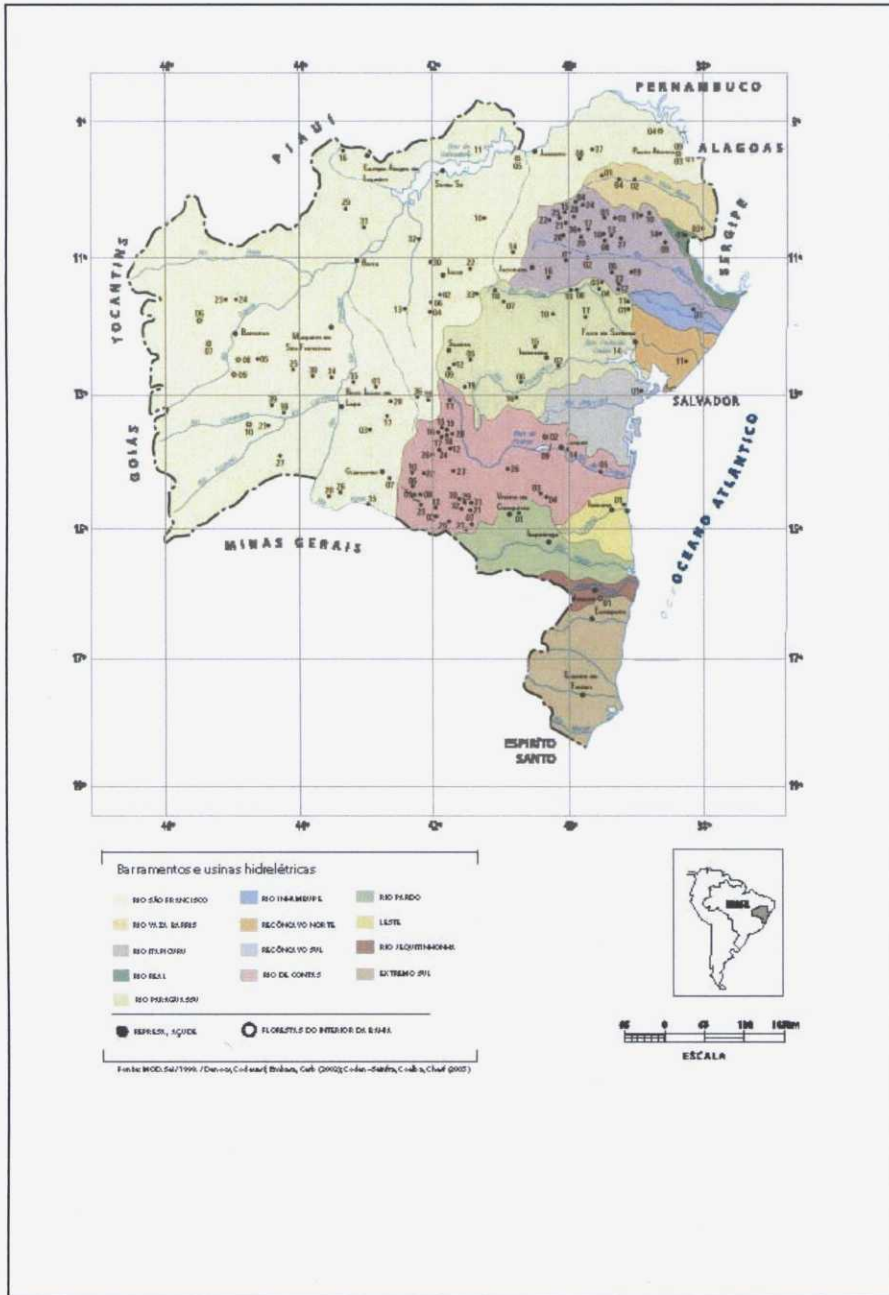


Figura 5. Mapa dos barramentos e usinas hidrelétricas do Estado da Bahia.



## 2.4. Geologia e Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia

O território do Estado da Bahia é caracterizado por sua grande diversidade geológica, onde estão distribuídos conjuntos litológicos aflorantes, de idades desde o Arqueano até o Cenozóico (Barbosa & Dominguez, 1996).

A síntese da geologia do Estado da Bahia, aqui apresentada, tem como objetivo associar os conjuntos geológicos com os reservatórios aquíferos. Para tanto se estabelece como critério principal o comportamento hidrogeológico homólogo dos vários litotipos que compõem o território do Estado, independentemente das suas características litoestratigráficas e composições mineralógicas intrínsecas. Este critério de sistematização levou ao estabelecimento dos *Domínios Aquíferos* definidos por Guerra & Negrão (1996) como porções extensas do território do Estado que, não obstante a diversidade das suas características geológicas apresenta comportamento hidrogeológico homólogo. As grandes extensões de terrenos geológicos semelhantes, que serviram de base para a associação com os cinco domínios aquíferos a eles relacionados estão listadas a seguir:

- ✓ *Coberturas Detríticas Tércio-Quaternárias ou Domínio Aquífero das Coberturas;*
- ✓ *Bacias Sedimentares do Fanerozóico ou Domínio Aquífero dos Sedimentos;*
- ✓ *Super Grupo São Francisco ou Domínio Aquífero dos Calcários;*
- ✓ *Supergrupo Espinhaço e Complexos Vulcano-Sedimentares ou Domínio Aquífero dos Metassedimentos;*
- ✓ *Terrenos Granulíticos, Migmatíticos e Granitóides Intrusivos ou Domínio Aquífero do Cristalino.*

A Figura 6 mostra um cartograma sintetizado do Mapa Geológico do Estado da Bahia, onde podem ser visualizados os extensos terrenos geológicos que recobrem o Estado e suas associações com os domínios hidrogeológicos ou domínios aquíferos definidos por Guerra & Negrão (1996).

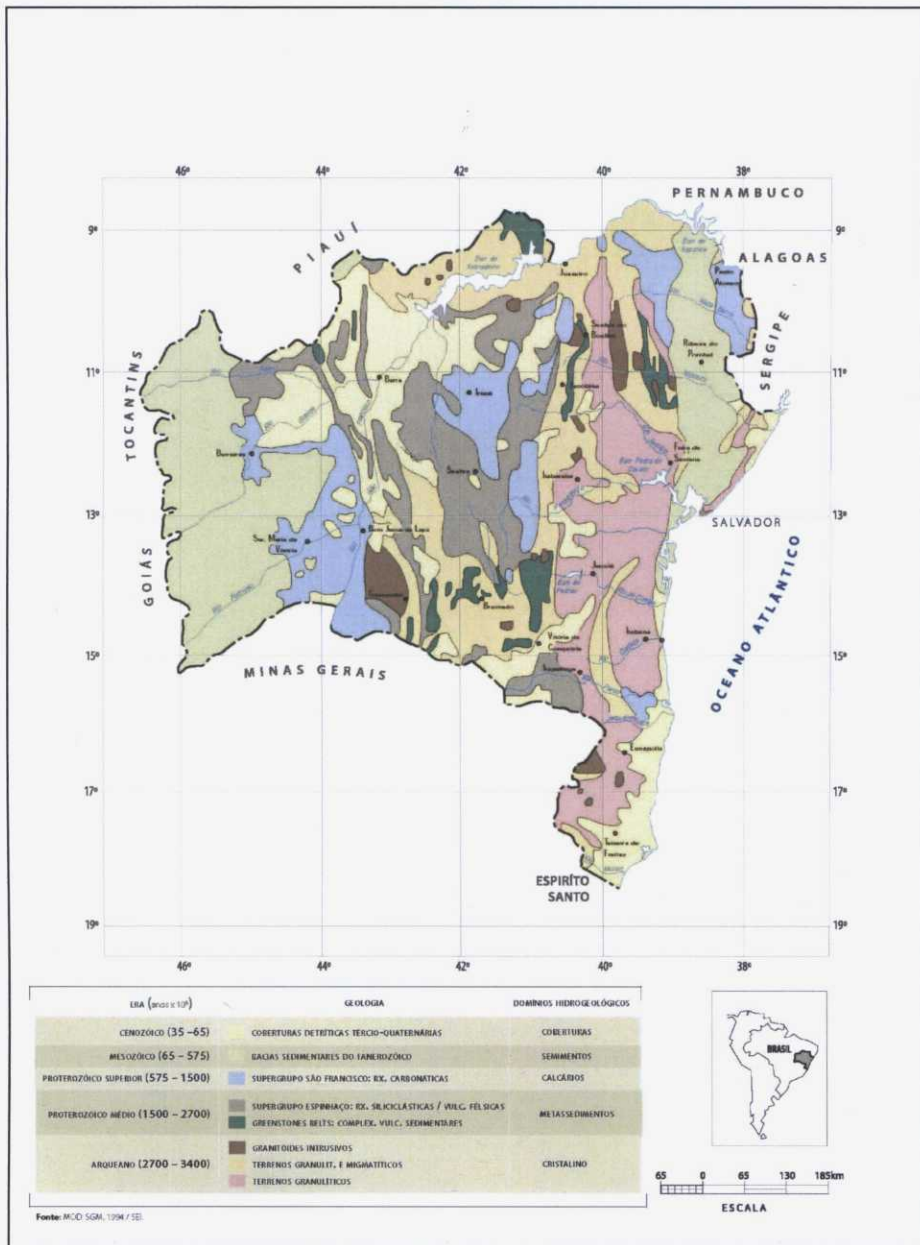


Figura 6. Mapa Geológico e Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia.

### **Coberturas Detríticas Tércio-Quaternárias ou Domínio das Coberturas**

O Domínio das Coberturas refere-se a um conjunto litológico que engloba unidades do topo da coluna estratigráfica considerada como pertencentes ao Cenozóico, envolvendo os períodos Terciário e Quaternário, de idade entre 65 milhões de anos atrás até o recente (Eicher, 1969).

Na Figura 6, as rochas deste domínio estão representadas pela coloração amarela, englobando: unidades líticas de depósitos marinhos e continentais costeiros; depósitos aluvionares; depósitos colúvio-eluvionares; paleodunas continentais; formação Caatinga; depósitos detrítico-laterítico; coberturas detrítico-lateríticas com concreções ferruginosas e Grupo Barreiras; depósitos eólicos litorâneos, pântanos e mangues.

Pode-se observar, no Mapa da Figura 6, que a distribuição geográfica das unidades litológicas do Domínio das Coberturas vai desde o litoral até os vastos sertões interioranos. As Coberturas posicionadas na faixa litorânea estão alocadas em duas porções principais: na região nordeste, em direção ao estado de Sergipe, e na região sudeste, ao sul de Ilhéus indo até os limites com o Estado do Espírito Santo. São constituídas por litologias sedimentares, de baixa coesão, sendo neste trecho, vinculadas predominantemente ao Grupo Barreiras. Trata-se de sedimentos do período Terciário que, comumente apresentam colorações amareladas, esbranquiçadas ou ferruginosas, cujas camadas podem ser individualizadas como estratos argilosos, arenosos, muitas vezes com níveis conglomeráticos na base. A estratificação é irregular podendo ser, freqüentemente indistinta.

Entre as litologias do Grupo Barreiras e a linha de costa, ocorre uma estreita faixa constituída por sedimentos associados ao período Quaternário. Esta unidade de forma indivisa é composta por: arenitos de praia, cordões de dunas ativas e inativas, depósitos marinhos e lagunares e ainda, os recifes coralinos.

Saindo-se da faixa litorânea em direção ao interior do Estado, o Domínio das Coberturas é constituído por sedimentos arenosos associados indistintamente aos períodos Terciário e Quaternário sendo, identificados pela cartografia geológica da Bahia pela sigla TQ. Essa unidade é descrita como de pouca espessura, 3 a 5 metros, recobrimdo áreas aplainadas ou pediplanizadas. Apresentam uma composição litológica predominantemente arenosa podendo, incluir níveis argilosos. Exibe-se ainda de forma não consolidada ou friável embora possam, localmente, ter os seus constituintes minerais cimentados por óxido de ferro. Na porção basal, podem ocorrer níveis de conglomerados. Deve-se

mencionar como área de expressiva incidência do Domínio das Coberturas associado aos períodos Terciário e Quaternário a região norte a noroeste do Estado, onde os sedimentos arenosos superficiais margeiam o Rio Grande, Rio Preto e formam o campo de dunas continentais existentes entre Pilão Arcado e Barra.

Fazem parte também, do Domínio das Coberturas, os depósitos de sedimentos fluviais dispostos paralelamente aos eixos das principais redes de drenagem do Estado, como aqueles do Rio São Francisco, os mais espessos, ou dos rios Paraguaçu e de Contas, por exemplo. Esses sedimentos são predominantemente arenosos com lentes ou níveis argilosos, siltosos e de conglomerados. Nas planícies de inundação adjacentes aos eixos fluviais observa-se uma presença mais marcante das frações finas a argilosas. De maneira geral, o grau de coesão das partículas minerais constituintes é praticamente ausente. Na região oeste do Estado, ao longo do curso do Rio São Francisco, observa-se a presença de um importante pacote aluvial com até 20 km de largura e espessura superior aos 10 metros. A constituição dessa faixa aluvial do Rio São Francisco, também denominada de Formação Vazante é similar à descrição geral, isto é, formada pelo predomínio da fração areia de granulação média a fina com lentes subordinadas de silte, argila e frações mais grosseiras na parte basal.

Destacam-se ainda no interior do Estado os extensos lençóis arenosos do norte-noroeste e centro-norte que podem ser individualizados como aquíferos tais como os sedimentos que recobrem a região do médio Rio São Francisco; a faixa aluvial que acompanha de sul a norte este mesmo rio; os depósitos litorâneos posicionados no extremo sul e nordeste; e, ainda as áreas peneplanizadas que constituem os planaltos das regiões de Vitória da Conquista e de Maracás; além de outras de menor extensão como aquelas que circundam os municípios de Santo Estevão, Capim Grosso, Orolândia, Tapiramutá, Crisópolis, Sátiro Dias, Jandaíra e Esplanada.

Ainda no Domínio das Coberturas se devem referir aos depósitos carbonáticos superficiais localizados na parte centro norte do Estado às margens do Rio Salitre, e mais restritamente no Rios Jacaré e o Rio Verde, todos afluentes do Rio São Francisco. Esses sedimentos podem apresentar um aspecto variável em termos de consolidação indo desde uma rocha marmórea muito compacta, comercializada como rocha ornamental, até um material esbranquiçado e pulverulento. Geologicamente, estabeleceu-se a denominação de Formação Caatinga para esta cobertura de calcários recentes, cuja origem está relacionada as rochas carbonáticas que constituem o Domínio dos Calcários a ser tratado mais adiante. Admite-se que a Formação Caatinga foi formada em ambiente continental mediante a

dissolução, e a re-precipitação do carbonato de cálcio das rochas subjacentes, em condições climáticas favoráveis. Esse fenômeno físico-químico natural deu origem a esta feição específica do Domínio das Coberturas constituída por rochas de coloração creme a branca, contendo além da massa de carbonato de cálcio, concreções silicosas, núcleos centimétricos de cristais de calcita e outros argilosos.

### **Bacias Sedimentares do Fanerozóico ou Domínio dos Sedimentos**

As Bacias Sedimentares do Fanerozóico situam-se em duas regiões bem distintas do Estado, como pode ser visto na Figura 6. A primeira corresponde a uma faixa longitudinal, com largura variável, entre 15 km ao sul, até pouco mais de 100 km, ao norte. Esta faixa se inicia ao sul, desde o litoral de Ilhéus-Camamu, adentra a Baía de Todos os Santos e segue para o norte, atravessando o vale do rio São Francisco com a denominação ao sul de Bacias Sedimentar de Camamu-Almada e ao norte, Recôncavo-Tucano.

A segunda região situa-se no oeste do Estado, no conhecido Chapadão do São Francisco, com uma área aproximada de 80.000 km<sup>2</sup> sobre a qual vem se implantando a moderna agroindústria irrigada da Bahia.

A bacia de Camamu-Almada, bordeja a faixa litorânea, tendo como limite oeste, as rochas do Domínio do Cristalino, por falhamento de direção meridiana, aproximadamente paralela à rodovia BA-001, enquanto a leste, ocorre a submersão das respectivas camadas sedimentares nas águas do oceano Atlântico. Os sedimentos dessa bacia são considerados da Era Mesozóica a Cenozóica por ser composta por uma sucessão de formações sedimentares associadas aos períodos Triássico, Jurássico, Cretáceo, Terciário e Quaternário.

A constituição litológica dessas bacias é configurada, na parte oeste, pela exposição das formações sedimentares pertencentes ao Grupo Brotas, constituído por camadas de folhelhos vermelhos, arenitos finos a grosseiros, de coloração esbranquiçada a amarelada com lentes de conglomerado finos e siltitos distribuídos erraticamente (Ghignone, 1979; Inda & Barbosa, 1978). Em direção ao mar, observa-se a presença de sedimentos arenosos com intercalações de níveis de gipsita, calcário, e baritina vinculados à Formação Taipu-Mirim. Adjacente ao lado oriental dos litotipos da Formação Taipu-Mirim encontra-se, em Maraú, “camadas de calcário dolomítico, cinza a creme, betuminoso, fossilíferos” vinculados à Formação Algodões.

Segundo, Barbosa & Dominguez (1996) as bacias de Camamu e Almada tem sido diferenciadas entre si a partir da exploração petrolífera. Em decorrência das disposições estruturais da bacia, o pacote de sedimentos é mais espesso na bacia de Almada do que na bacia de Camamu, tornando o horizonte sedimentar na primeira bacia, de maior interesse exploratório, mesmo estando a profundidades de difícil acesso, superiores a cinco mil metros.

As Bacias Recôncavo-Tucano podem ser consideradas como o prolongamento ao norte das Bacias Camamu-Almada sendo constituídas por uma calha crustal originada de processos tectônicos em escala global que evoluíram no Período Cretáceo inferior.

Do ponto de vista tectono-estrutural, a calha da Bacia do Recôncavo-Tucano constitui um "rift" com 46 mil quilômetros quadrados. A geometria de "rift" que mostra descontinuidades transversais e longidutinais, que permitiram a formação de bacias e sub-bacias (Barbosa & Dominguez, 1996). As bacias apresentam subdivisões decorrentes das suas peculiaridades geológicas sendo referidas de sul para norte como: Recôncavo; Tucano Sul; Central e Norte; Jatobá. Um espesso pacote de sedimentos empilhado na calha crustal guarda, nos seus diversos níveis, as características dos processos de sua implantação que vão desde estágios iniciais do pré-rifteamento até os subseqüentes. Na fase de pré-rifteamento das bacias do Recôncavo-Tucano, foram delimitadas camadas de rochas sedimentares das Formações Aliança e Sergi, pertencentes ao Grupo Brotas e das Formações Itaparica e Candeias do Grupo Santo Amaro.

A Formação Aliança na bacia sedimentar do Recôncavo é constituída na base (Membro Afligidos), por espessas camadas de argilas vermelhas a amarronzadas, sobrepostas por um horizonte de arenito vermelho com manchas brancas que pode atingir até 200 metros de espessura no Recôncavo (Membro Boipeba) que, por sua vez, é recoberto pelas argilas do Membro Capianga. No entanto, nas bacias Tucano Sul e Central a Formação Aliança reduz sua espessura, não possuindo o membro Afligidos. Enquanto na bacia de Tucano Norte, os arenitos do Membro Boipeba têm natureza similar, mas a sua espessura alcança apenas poucos metros e acrescenta um conglomerado polimítico, na base (Ghignone, 1979; In da & Barbosa, 1978).

A Formação Sergi, na bacia do Recôncavo tem as seguintes características: constitui-se de arenitos finos a grosseiros, de coloração entre branca e amarela e, às vezes, vermelha podendo apresentar intercalações lenticulares e esparsas de conglomerados e siltitos. A espessura da Formação aumenta de norte para o sul, onde alcança até 530

metros, enquanto, na bacia de Tucano Norte, pouco ultrapassa uma centena de metros (Ghignone, 1979).

A Formação Itaparica, do Grupo Santo Amaro, é constituída por camadas de folhelhos de cor cinza esverdeado a marrom, com intercalações de níveis de arenitos com até cinco metros. O topo desta formação é assinalado pela presença do Membro Água Grande que designa uma série de quartzo-arenitos e sub-arcósios. Quanto à Formação Candeias, desse mesmo Grupo, é caracterizada por folhelhos cerosos, cinza-escuros, denominados de Tauá, indicadores de um ambiente lacustre, os quais são associados a outros níveis de siltitos, folhelhos, calcários e arenitos.

O início da fase do rifteamento das Bacias do Recôncavo-Tucano, em torno de 177 Ma, é marcado pelo aparecimento de espessas cunhas de conglomerados, sempre posicionados a partir das margens sobrepondo os litotipos da Formação Candeias descritas anteriormente, podendo alcançar mais de três mil metros de espessura. A seqüência deposicional desta fase “*sin-rift*” é formada por uma alternância de camadas de arenitos, siltitos, folhelhos e finos níveis de carbonatos, denominados de Grupo Ilhas e composto pelas Formações Marfim e Pojuca. A Formação Marfim reúne arenitos finos e argilosos de ocorrência aleatória, denominadas horizontes Caruaçu e, outros níveis de arenitos denominados Membro Catu. A Formação Pojuca tem uma composição de níveis arenosos, finamente intercamadados com níveis argilosos.

Na fase “*pós-rift*”, a evolução da Bacia Recôncavo-Tucano é caracterizada marcadamente pela deposição de espesso pacote de sedimentos arenosos, de origem fluvial, identificados como pertencentes à Formação São Sebastião do Grupo Massacará. O sentido da progradação destes sedimentos arenosos é da Bacia do Tucano Sul para a Bacia do Recôncavo podendo alcançar localmente até quatro mil metros de espessura. Finalmente, encerrando o processo evolucionar das Bacias do Recôncavo-Tucano, os sedimentos destas bacias foram encimados pelos sedimentos da Formação Marizal, cujo espalhamento deposicional é muito amplo, alcançando 75% da área das Bacias. Sua espessura pode alcançar localmente até 300 metros e da base para o topo é constituído por horizontes de conglomerados, sucedidos por arenitos e folhelhos.

Segundo a síntese das estruturas e tectônica do “*rift*”, das bacias do Recôncavo-Tucano-Jatobá a estrutura “*rifteada*” foi implantada em meio a rochas do Domínio do Cristalino relacionadas do Arqueano, Proterozóico inferior e, restritamente, sobre rochas paleozóicas na extremidade norte da Bacia. Por conseguinte, uma parte da configuração estrutural da bacia do Recôncavo-Tucano é condicionada pelos traços estruturais das

rochas do Domínio do Cristalino, como se pode inferir pelo paralelismo entre as estruturas do Cristalino e aquelas estruturas do rift. Como, por exemplo, muitos dos falhamentos de borda da bacia podem ser classificados a partir das suas relações com as estruturas das rochas cristalinas encaixantes. Em resumo a geometria fundamental do “rift” é representada por um semi-gráben com assimetria é provocada por falha de borda principal, sendo a borda oposta limitada por falhas de pequeno rejeito ou discordantemente sobreposta ao embasamento cristalino (Barbosa & Dominguez, 1996).

A estrutura interna da bacia do Recôncavo-Tucano é constituída por uma seqüência de blocos falhados com movimentos relativos descendentes ou ascendentes entre si. Esses blocos têm uma orientação preferencial, NE – SW e N – S, podendo ser “agrupados em compartimentos estruturalmente coerentes” separados por zonas planares de “acomodação ou de transferência” as quais, podem deslocar as falhas de borda e alternar a sua polaridade.

A segunda região de sedimentos fanerozóicos do Estado da Bahia ocorre na parte Oeste do Estado, conhecido por Chapadão do São Francisco. Este domínio corresponde a um extenso pacote sedimentar denominado de Formação Urucuia, constituído essencialmente por areias depositadas no período Cretáceo, por um sistema fluvial e contribuições eólicas localizadas. Segundo Barbosa (1990), a seção geral deste pacote de sedimentos expostas em outras regiões do Brasil, indica uma sucessão de seis níveis de arenitos da base para o topo a espessura estimada em até 400 m. Todavia, a sua seção na Bahia aparenta ser mais delgada, devido a ausência de alguns níveis estratigráficos; na região de Barreiras estão presentes apenas dois níveis mais próximos do topo, 5 e 6 podendo aí alcançar 120 metros. Na região de Barreiras o nível 5 foi descrito como arenito rosa e branco, argiloso, friável, granulação média, grãos subarredondados e subangulares, bem classificados. Petrograficamente se observou uma textura com grãos de alto arredondamento e esfericidade com cimentação restrita. Enquanto o nível 6, mostra-se intensamente silicificado, formando um arenito muito duro que sustenta o topo do chapadão, protegendo, localmente, da erosão os arenitos friáveis subjacentes. O litotipo do nível 6 foi caracterizado como um arenito creme, granulação média, grãos arredondados e subarredondados. A composição mineralógica assinala a presença dominante de grãos de quartzo em percentuais da ordem de 80%.

Correlacionando os arenitos da Formação Urucuia com a Formação Marizal, Inda & Barbosa (1978) descrevem esses arenitos como bem classificados e indicam a presença de um nível conglomerático na base, o qual é sucedido por arenitos de granulação variada



de finos a grosseiros, mal ou bem selecionados, maciços, exibindo, às vezes, estratificações cruzadas. Comumente apresentam uma matriz argilosa e níveis cimentados por limonita e outros intensamente silicificados podem ser registrados. Intercalações de siltitos e folhelhos róseos, amarelados ou avermelhados também foram mencionadas.

Do ponto de vista estrutural, esses arenitos se mostram como camadas horizontais a sub-horizontais que delineiam uma típica morfologia de chapadas ou chapadões. Além desta feição geral, nota-se a presença de retilíneos planos de falhamentos, orientados principalmente segundo NE – SW e, secundariamente NW – SE, os quais cortam essas camadas de arenitos permitindo o encaixe dos cursos d'água e revelando um condicionamento estrutural relacionado com a deformação das rochas subjacentes.

### **Super Grupo São Francisco ou Domínio dos Calcários**

As rochas do Domínio dos Calcários estão distribuídas, principalmente, na parte central do Estado; e na margem ocidental do rio São Francisco, secundariamente, com extensões mais restritas, na porção nordeste e no médio extremo sul, no vale do Rio Pardo.

A rochas sedimentares deste domínio, genericamente denominadas por calcários, são identificadas em detalhe como: metacalcário, metamarga com intercalações de metassiltito; rochas carbonáticas e sedimentos siliciclásticos; calcários e siltitos; calcário, dolomito, filito e metachert; calcarenito, calcilito, carbonato oolítico. Também estratos de diamictitos com níveis de grauavaca; ardósias, folhelhos e calcários; - metagrauavaca, metarcóseo e metarenito feldspático.

No Mapa Geológico da Figura 6, esses sedimentos carbonatados são todos considerados como pertencentes ao Supergrupo São Francisco, do Proterozóico Superior, divididos nos seguintes Grupos e Formações: Grupo Uma, localizado na parte central do Estado e Grupo Bambuí na região oeste. Grupos Vasa Barris e Miaba nas faixas carbonatadas situadas da região norte-nordeste. Formações Santa Maria Eterna e Serra do Paraíso na região sul, ambas enquadradas no Grupo Rio Pardo.

Na parte central do Estado as camadas de calcários e litologias associadas encimam três “bacias” referidas como Bacia de Irecê, Bacia de Utinga – Iramaia e Bacia do Salitre. A Bacia de Irecê tem merecido exaustivos estudos geológicos em face da sua potencialidade metalogenética para metais base (Pb e Zn) e para fosfato. Além disso, as três bacias indistintamente têm chamado a atenção pelo elevado patrimônio em cavernas o que tem permitido atrair o interesse de espeleólogos e ecoturistas.

Do ponto de vista litológico, os sedimentos que preenchem essas bacias estão agrupados na Formação Bebedouro e na Formação Salitre. A primeira, posicionada na base, é constituída por diamictitos de origem glacial enquanto que, a segunda é constituída por várias litofácies carbonáticas as quais foram depositadas em ambiente do tipo marinho raso e planície de maré. Na região Oeste do Estado, as rochas carbonáticas, e associadas, pertencentes ao Grupo Bambuí foram subdivididas em quatro Formações: Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, sobrepostas aos diamictitos e outros sedimentos glaciogênicos pertencentes ao Grupo Macaúbas. Admite-se que, localizadamente, o Grupo Bambuí chega a alcançar mais de mil metros de espessura. As faixas carbonatadas da região nordeste estão associadas ao Grupo Vasa-Barris e ao Grupo Miaba vinculados geologicamente às faixas Sergipana e Serrinha, respectivamente. Barbosa & Dominguez (1996) descrevem os carbonatos do Grupo Vaza-Barris, como pertencentes à Formação Olhos d'Água tendo uma espessura variável de 200 a 1300 metros, sendo representado por ritmitos, calcários oolíticos e dolomitos. Quanto ao Grupo Miaba, seus carbonatos pertencem a Formação Jacoca composta, da base para o topo, por metadolomitos, sucedidos por calcários, calcarenitos e filitos carbonosos escuros.

Complementando este quadro geral do Domínio dos Calcários, cabe ainda comentar sobre os estratos localizados no extremo sul da Bahia associados ao Grupo Rio Pardo. Neste caso, os horizontes carbonatados estão posicionados nas Formações Santa Maria Eterna e Serra do Paraíso. Na Formação Santa Maria Eterna, os níveis carbonáticos são caracterizados como mármore dolomíticos de coloração bege e cinza-claro com intercalações de metadolomito cinza-claro e escuro interestratificados com quartzitos. Na Formação Serra do Paraíso, os metassedimentos carbonáticos foram classificados como dolomitos, calcários micáceos, quartzitos puros.

No que diz respeito ao aspecto deformacional do Domínio dos Calcários os estudos de Barbosa & Dominguez (1996) indicam que as bacias carbonáticas de Irecê, Utinga e Salitre constituem amplas dobras sinclinais edificadas a partir de esforços compressivos orientados segundo E-W. Planos de falhas, cisalhamento e mesodobramentos descritos em escala de afloramento delineiam o quadro deformacional interno destas bacias.

Quanto as litologias do Grupo Bambuí na região oeste, atribuem-se poucas deformações tectônicas, predominando camadas horizontalizadas ou levemente inclinadas, com direção E-W. Os dobramentos são suaves e tem o eixo predominantemente orientado para a direção ENE.

Ao contrário do baixo índice deformacional das bacias acima referidas, os horizontes carbonatados situados na região do norte-nordeste da Bahia mostram-se fortemente deformados. O Grupo Vasa-Barris encontra-se deformado juntamente com a Faixa de Dobramentos Sergipana, cuja orientação geral é NW-SE. Diversos autores que investigaram o comportamento estrutural dessa Faixa Sergipana concluem pela existência de três episódios que resultaram em dobramentos e outras evidências deformacionais (Barbosa & Dominguez, 1996).

Também as Formações carbonatadas e as demais associadas pertencentes ao Grupo Rio Pardo, situado no Sul da Bahia, foram sujeitas a três fases de deformação. Estas fases deformacionais resultaram em dobramentos e falhamentos representáveis em diversas escalas. Sendo mais proeminentes os efeitos resultantes da segunda fase. A última fase de deformação é delineada por uma compressão do pacote de metassedimentos para o leste associados aos falhamentos inversos (Pedreira, 1996).

### **Supergrupo Espinhaço e Complexos Vulcano-Sedimentares ou Domínio dos Metassedimentos**

O Domínio dos Metassedimentos está associado a um conjunto litológico cujas características geológicas são muito variadas, em face dos respectivos posicionamentos temporais e tectônicos das suas unidades constituintes. As litologias envolvidas pelo Domínio dos Metassedimentos são definidas como: arenito, arenito arcoseano, conglomerado, pelito ou argilito; filito carbonoso, metatufo, metaultrabásica, calcissilicática; anfíbolito, ardósia, metariolito, siltito, quartzito; calcarenito, pelito e arenito; grauvaca, paragnaisse e metavulcânica; filito, metaconglomerado; diamictito, tilito; quartzo micaxisto.

Também foram incluídas no Domínio dos Metassedimentos, as associações ou seqüências vulcano-sedimentares, com comportamento similar aos metassedimentos do ponto de vista hidrogeológico, constituídos por rochas metavulcânicas básicas, intermediárias e ácidas, formação ferrífera bandada, metatufo e sedimentos associados comumente disponíveis nessas seqüências ou complexos, tais como Contendas-Mirante, Rio Salitre, Itapicuru e Umburanas, dentre outros. As idades dessas litologias vão do Proterozóico inferior até o Proterozóico superior e Paleozóico. Geograficamente, o Domínio ocupa principalmente parcelas da parte central do Estado (Chapada Diamantina), e manchas irregulares e alongadas na direção norte-sul. Além disso, observa-se ainda a presença secundária desses conjuntos litológicos nas extremidades das regiões nordeste,

norooeste, nas vizinhanças da região sudoeste e sudeste, como pode ser visto no mapa da Figura 6. A extensa distribuição do Domínio dos Metassedimentos na parte central da Bahia, é representado pelo conjunto lítico das regiões do Espinhaço Setentrional e da Chapada Diamantina onde se localizam os grupos denominados de Borda Leste e Serra Geral, os grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina.

O Grupo Borda Leste, é formado da base para o topo por rochas vulcânicas ácidas sucedidas por quartzitos de origem eólica que, por sua vez são sobrepostos por quartzitos e filitos interestratificados depositados em ambiente marinho de plataforma. Na medida em que avança para o norte as rochas vulcânicas vão gradativamente desaparecendo e os quartzitos foram depositados diretamente sobre o embasamento (Barbosa & Dominguez, 1996).

O Grupo Serra Geral, sobreposto ao Grupo Borda Leste, inicia-se com sedimentos arenosos de origem fluvial-eólica com seixos da formação sotoposta que evoluem para quartzitos eólicos que passam para filitos granadíferos e localmente grafitosos em direção ao topo.

O Grupo Paraguaçu inicia-se, na parte sul, pela deposição de quartzitos feldspáticos sobre rochas efusivas ácidas (riolitos, dacitos e tufos) correlatos aos episódios de vulcanismo observados no Grupo Borda Leste, seguidos por siltitos, folhelhos. Na parte mais ao norte, nota-se a ausência da assinatura vulcânica ora referida e, por isso, a deposição dos sedimentos deste Grupo inicia por um horizonte de metaconglomerado e metarenitos grossos de origem fluvial que estão depositados diretamente sobre as rochas do embasamento cristalino. Esses níveis basais gradam lateral e verticalmente para ritmitos e quartzitos de origem eólica.

O Grupo Chapada Diamantina é constituído pelas seqüências deposicionais denominadas como Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu. A seqüência Tombador é constituída por depósitos de metarenitos de granulação variável de finos a muito grossos, com intercalações de níveis conglomeráticos e estruturas sedimentares indicativas de ambientes eólicos, fluviais. A Formação Caboclo é formada essencialmente por metapelitos e arenitos finos interestratificados depositados em ambiente marinho raso. Corpos alongados e lenticulares de arenitos podem ser encontrados inclusos nesta Formação. A seqüência seguinte, Formação Morro do Chapéu, é composta por conglomerados e arenitos conglomeráticos na base que gradam no sentido do topo para arenitos bem selecionados e metapelitos.

A estrutura geológica do Domínio dos Metassedimentos, apresenta-se, na região do Leste ou Espinhaço Setentrional, mostrando uma feição geral dominada pela linearidade dos traços deformacionais. Essa cordilheira representa uma faixa metassedimentar estreita, contendo no seu interior dobras muito apertadas e interpenetradas por falhas longitudinais. Observam-se ainda, zonas de cisalhamentos transposições e deslocamentos relativos dos blocos falhados. Na região central, onde domina a Chapada Diamantina, observam-se os seguintes aspectos estruturais. Na porção leste, os dobramentos são amplos formando anticlinais e sinclinais de grande amplitude, os planos axiais dessas dobras são verticalizados e às vezes coincide com falhamentos longitudinais e transcorrentes. Na porção oeste as dobras são apertadas e as zonas de cisalhamento e milonitização são conspícuas (Barbosa & Dominguez, 1996).

O Domínio dos Metassedimentos em uma faixa próxima ao flanco oriental e na extremidade sul da região da Chapada Diamantina, inclui ainda, as litologias pertencentes ao Grupo Itapicuru, Complexos Mundo Novo e Contendas-Mirante, a seqüência vulcanossedimentar Rio Salitre e os “*Greenstone Belts*” Rio Itapicuru e Umburana.

O Grupo Itapicuru é constituído pelas Formações Serra do Córrego e Rio do Ouro. A primeira Formação é constituída por quartzitos e conglomerados e a segunda, é formada por quartzitos com intercalações de conglomerados e xistos aluminosos. Essas formações estão intercalando níveis de rocha ultramáficas consideradas atualmente como pertencentes ao Complexo Mundo Novo.

O Complexo de Mundo Novo resulta de uma reinterpretação do conhecimento geológico disponível que faz a incorporação dos litotipos do flanco leste da serra de Jacobina associado aos basaltos, rochas calcissilicáticas, cherts e grafitaxistos da região de Rui Barbosa e as rochas vulcânicas ácidas-intermediárias da região de Pirituba e ainda, fatias de rochas ultramáficas intercaladas nos quartzitos do Grupo Itapicuru (Barbosa & Dominguez, 1996).

O Complexo Contendas-Mirante, posicionado próximo à extremidade sul da região da Chapada Diamantina é constituído por uma Unidade Inferior formada por rochas metabasálticas e outras metavulcânicas intermediárias a ácidas além de metassedimentos vulcanoquímicos e uma Unidade Superior essencialmente metassedimentar com intercalações de vulcânicas félsicas e vulcanoquímicos. Todo este conjunto foi intrudido por corpos granitóides e corpos máficos e ultramáficos.

A seqüência Rio Salitre, baliza o rio homônimo, inicia-se a partir da borda norte da Chapada Diamantina prolonga-se até o rio São Francisco. Trata-se de um conjunto

litológico constituído por um pacote basal de metabasaltos com intercalações restritas de níveis vulcânicos félsicos e um pacote superior formado de metapelitos esverdeados, associado com níveis de metachert e tremolita-quartzitos (Ribeiro, 1998).

O *Greenstone Belt* do Rio Itapicuru, ocupa uma área de cerca de 7.500 km<sup>2</sup>, sendo uma seqüência litológica constituída por uma unidade basáltica, seguida de uma unidade vulcânica ácida a intermediária associada a uma unidade metassedimentar com pelitos, arcósios, e cherts.

Por último tem-se o *Greenstone belt* de Umburana, posicionado na vizinhança sudoeste da Chapada Diamantina e as seqüências do Colomi e Barreiro, as quais bordejam essa mesma chapada, ao norte. Também, vale mencionar, as faixas alongadas de rochas cálcio-silicáticas e anfibolitos da região de Gavião e Riachão do Jacuípe consideradas de comportamento hidrogeológico compatível com o dos metassedimentos.

A estrutura geológica dessas unidades têm comportamento deformacional evidenciado pela marcante foliação orientada de forma predominante na direção N-S com mergulhos sub-vertical. Encontram-se assinalados com relevância zonas de cisalhamentos, dobramentos apertados, isoclinais e falhamentos longitudinais bem como intrusões de corpos ígneos, fraturamentos e falhas orientadas diagonalmente às direções longitudinais são, igualmente, referenciadas.

Compondo, ainda o quadro do Domínio dos Metassedimentos, se devem assinalar a presença das associações litológicas relacionadas aos metassedimentos das faixas de dobramentos que contornam a parte central do território do Estado. Na extremidade noroeste-norte da Bahia, localiza-se a faixa de dobramento denominada de Formosa do Rio Preto - Riacho do Pontal. Neste ambiente geotectônico estão alojados, na primeira destas faixas, os metassedimentos pertencentes aos Grupos Rio Preto e Bambuí, constituídos por camadas orientadas segundo NE-SW. O primeiro grupo é constituído por: quartzitos micáceos, sericitaxistos, cianitaxistos, filitos hematíticos e grafitaxistos e ainda anfibolitos. O segundo grupo é formado por uma seqüência litológica que inclui metacarbonatos, metarenitos, metasiltitos e diamictitos.

Na segunda faixa Riacho do Pontal, os metassedimentos ocupam uma área nas vizinhanças da cidade de Nova Casa Nova. Essa associação metassedimentar identificada como Complexo Casa Nova incluem litologias denominadas por calcários e mármore, clorita-muscovita-xistos, metagrauvas e xistos feldspáticos, granada-muscovita-biotitaxistos, quartzoxistos e quartzitos. Ao lado desse último conjunto lítico foi delineado o Complexo Lagoa do Alegre, cuja natureza vulcanossedimentar é indicada por

metabasaltos e metaultramáficas, associadas a cherts, formação ferrífera, micaxistos, calcissilicáticas e paragnaisses. Estruturalmente, os litotipos desta faixa mostram dobramentos apertados isoclinalmente com eixos em torno de N-S e planos axiais verticalizados. A foliação é o elemento planar de maior penetratividade.

Na extremidade nordeste da Bahia, localizam-se os metassedimentos vinculados a Faixa de Dobramento Sergipana. Essa faixa é composta por um conjunto lítico subdividido em quatro grupos formados por: grauvacas, conglomerados, filitos e dolomitos e metacarbonatos, metassiltitos, xistos. Além disso, compõem a Faixa Sergipana ainda, os Complexos vulcanossedimentar de Marancó e o Complexo sedimentar-magmático de Canindé. Estruturalmente, a Faixa Sergipana se dispõe em três sub-faixas orientadas segundo a direção NW-SE separadas entre si por falhamentos de mesma orientação que mostram deslocamentos transcorrentes sinistrais.

Inclui-se ainda no Domínio dos Metassedimentos, a Faixa Araçuaí-Piripá e o Grupo Rio Pardo localizados na parte sudoeste e sul da Bahia, descritos por Pedreira (1996).

A Faixa Araçuaí-Piripá é constituída de metassedimentos do tipo arcoseanos, cianitaxistos, silimanitaxistos e xistos conglomeráticos. As deformações destes metassedimentos são consideradas de média intensidade com dobras abertas de eixos orientados segundo NNW, todavia podem tornar-se apertadas, isoclinais, com eixos em torno de NW-SE. Os estratos que têm direção dominante para E-W com mergulhos para sul, podem apresentar-se com direção NW-SE quando as dobras tornam-se apertadas. Zonas de cisalhamentos semiparalelas aos eixos com movimentos transcorrentes oblíquos foram assinaladas.

O Grupo Rio Pardo, situado próximo ao litoral sul do Estado, é constituído, da base para o topo por: Formação Panelinha, Subgrupo Itaimbé e Formação Salobro. A Formação Panelinha é composta da base para o topo por metabrecha, metaconglomerados, metagrauvacas e metarcóseos. O Sub-grupo Itaimbé envolve metadolomitos, metarenitos, metagrauvacas, metassiltitos, metacalcários e ardósias todas essas litologias enquadradas na Formação Camacã e ainda outros metassedimentos carbonáticos, e psamíticos vinculados às formações: Água Preta, Serra do Paraíso e Santa Maria Eterna. Sobreposto a esse subgrupo delinea-se ainda a Formação Salobro, constituída da base para o topo por: calcarenitos com lentes de metaconglomerados, metagrauvacas e ardósias, metagrauvacas feldspáticas, metarenitos.

O conjunto lítico representado pelo Grupo Rio Pardo foi poli-deformado sendo associado à primeira fase de deformação “as dobras de amplitude quilométrica” posicionadas a nordeste do rio homônimo e falhamentos como aquele do Rio Pardo-Água Preta. A segunda fase, considerada a mais importante, incidiu sobre a anterior sendo bem desenvolvida a sul do Rio Pardo sendo a “deformação causada pelas falhas inversas do embasamento”. A última fase de deformação “evidencia-se pela compressão do grupo rio Pardo para leste associado às falhas inversas das regiões das serras da Água Branca e do Paraíso”.

### **Terrenos Granulíticos, Migmatíticos e Granitóides Intrusivos ou Domínio do Cristalino**

O Domínio do Cristalino descrito por Barbosa & Dominguez (1996) se constitui no substrato dos domínios anteriormente referidos e está correlacionado aos terrenos granulíticos, migmatíticos e granitóides intrusivos, extensivamente representados na porção centro-oriental do Estado, atravessando-o de sul a norte, como pode ser visto no mapa da Figura 6.

As litologias que compõem o Domínio do Cristalino são relacionadas ao Proterozoico Inferior e ao Arqueano, incluindo núcleos rochosos mais antigos da crosta sul-americana com datações geocronológica da ordem de três bilhões de anos. É representado por uma associação litológica que inclui rochas como: granitóides, migmatito, ortognaisses; gnaisses; granito, granodiorito, tonalito; anortosito, gabro; anatexito; gnaise granulito, ortognaise; kinzigito, metachert, quartzito e calciosilicáticas; anfíbolito, formação ferrífera bandada, metabasalto: gabronorito, norito e piroxenito; monzogranito; charoquito e enderbitos; paragnaisse; peridotito, serpentinito; granulito, ortogranulito; sienito, diorito.

O Domínio do Cristalino está subdividido em grandes blocos geotectônicos assim denominados: blocos do Gavião, do Paramirim e Guanambi-Correntina situados nas regiões sul-sudoeste do Estado; Bloco Jequié, na região centro-leste; Cinturão de Itabuna, posicionado na faixa litorânea sul; Blocos de Mairi, de Serrinha e Cinturão Salvador-Curaçá que ocupa a parte centro-norte; Cinturão Salvador-Esplanada que bordeja o litoral norte; e, os Domínios do Sobradinho e Macururé.

Cada um destes blocos ou cinturões tem as seguintes características gerais:

Os blocos do Gavião, do Paramirim e Guanambi-Correntina são constituídos por rochas graníticas (tonalitos-granodiorito-granito) migmatizadas e gnaissificadas; batólitos



graníticos individualizados e intrusivos, tais como o de Guanambi, o Complexo Granito-Albitítico de Lagoa Real e corpos sieníticos.

O bloco de Jequié é constituído por rochas ortoderivadas com intercalações de supracrustais. Entre as primeiras se menciona os *granulitos básicos* derivados de basaltos e gabros de fundo oceânico e *granulitos ácidos* de composição granito-granodiorítica. Como supracrustais são mencionadas as rochas kinzigíticas, formações ferríferas e quartzitos. Corpos plutônicos de charnoquitos e enderbitos, considerados intrusivos nos granulitos, foram identificados também entre as rochas deste bloco.

O Cinturão de Itabuna é predominantemente constituído por rochas granulíticas de orientação geral N10°E. Atualmente a classificação destes granulitos considera a sua afiliação magmática. Assim sendo, os granulitos básicos com granadas são classificados como da série toleítica, possivelmente derivados de gabros e/ou basaltos enquanto que, os granulitos intermediários foram derivados de tonalitos/dacitos e trondhjemitos/riolitos (série calcialcalina) e monzonitos e mangeritos (série shoshonítica). Intercalados nesse cinturão granulítico foram assinalados níveis de: kinzigitos, formações ferríferas e manganésíferas, baritinas e ainda, corpos intrusivos de rochas máficas – ultramáficas e diques basálticos. No extremo sul da Bahia, nota-se a presença de leucogranitos e granitóides associados aos kinzigitos regionais.

Nos blocos de Mairi e de Serrinha verifica-se a predominância das rochas tonalítica, granodiorítica e granítica com intercalações de finos níveis de anfibolitos e corpos de rochas máficos-ultramáficas e cálcio-silicáticas. Essas rochas são consideradas embasamento das seqüências vulcanossedimentar e *greenstone belt* mencionados no Domínio Metassedimentar. No Cinturão Salvador-Curaçá, posicionado entre os dois blocos, ora referidos, tem os seus constituintes litológicos associados, de norte para sul, aos Complexos Caraíba e São José: No Caraíba, ortognaisses intermediários a félsicos, migmatitos, rochas supracrustais do tipo calcissilicáticas, diopsiditos, mármore, formação ferrífera bandadas e grafititos além de corpos máficos e ultramáficos associados, localmente, a mineralizações de cobre. No São José, gabronoritos com inclusões de corpos de peridotitos e piroxenitos e outros corpos máficos associados, localmente, a mineralizações de cromo

O Cinturão de Salvador-Esplanada ocupa uma faixa litorânea orientada na direção de N45°E sendo assinalada a presença de granulitos, granodioritos, granitos, diorito e anfibolitos. Enquanto os Domínios de Sobradinho e Macururé são compostos

principalmente por ortognaisses, às vezes migmatizados e com níveis de anfibolitos e corpos plutônicos de tonalitos e granodioritos.

Os episódios deformacionais do Domínio do Cristalino têm uma evolução muito complexa sendo resultante dos processos de modificação e transformação da crosta desde o Arqueano, cuja compreensão e discussão requer mais detalhamento. No entanto os principais traços estruturais desse domínio, fundamentais para o seu aproveitamento como aquífero, são expressos, em geral, pela presença dos seguintes eventos tectônicos: foliações e lineamentos orientados predominantemente em torno da direção meridiana; planos de falhamentos normais, reversos e transcorrentes orientados segundo N-S e em diagonal a esta direção principal; zonas ou faixas de cisalhamentos; dobramentos isoclinais com planos axiais sub-verticalizados; dobramentos amplos com aspecto de domos e bacias delineados por supracrustais, principalmente e fraturamentos direcionados diagonalmente segundo NW-SE e NE-SW.

## **2.5. Geomorfologia e Relevo**

A geomorfologia e o relevo do Estado da Bahia estão descritos neste trabalho a partir dos Compartimentos regionais do relevo, apresentados no Mapa Geomorfológico do Estado da Bahia, Figura 7, e suas características como unidades geomorfológicas preconizadas pelo projeto RADAM (Radambrasil, 1983).

O relevo do Estado da Bahia se caracteriza a partir do nível do mar à Leste, por dominância de modelados de planície e planalto na região litorânea; passando por esparsos terrenos de planalto e mesas na Bacia Sedimentar do Recôncavo. Em direção ao Sudoeste encontra-se o Planalto Sul Baiano, e na direção Oeste a Chapada Diamantina e a região serrana do Espinhaço e Serra Geral; e o Platô de Irecê até a margem direita do rio São Francisco. Daí em diante segue-se uma extensa região de planície denominada Chapadão Ocidental do São Francisco até a divisa com os Estados de Goiás e Tocantins.

Quanto à altitude destes compartimentos regionais do relevo, tem-se: o Planalto Pré-Litorâneo, as mesas da Bacia do Recôncavo o Planalto Costeiro e a Planície Litorânea encontram-se entre o nível do mar até a altitude de 400 metros; o Planalto Sul-Baiano e as Depressões Periféricas encontram-se entre altitudes de 400 a 800 metros; as regiões da Chapada Diamantina; Serra Geral do Espinhaço e Chapadão Ocidental do São Francisco encontram-se entre altitudes de 800 a 1200 metros. Enquanto na região central do Estado encontra-se o pico dos Barbados a uma altitude de 2.033,3 metros.

Nesses compartimentos de relevo estão caracterizadas dezoito unidades geomorfológicas que por sua vez estão associadas a tipos de modelado controlados por feições estruturais, zonas de denudação, planícies de acumulação de sedimentos e áreas de dissolução de rochas carbonáticas.

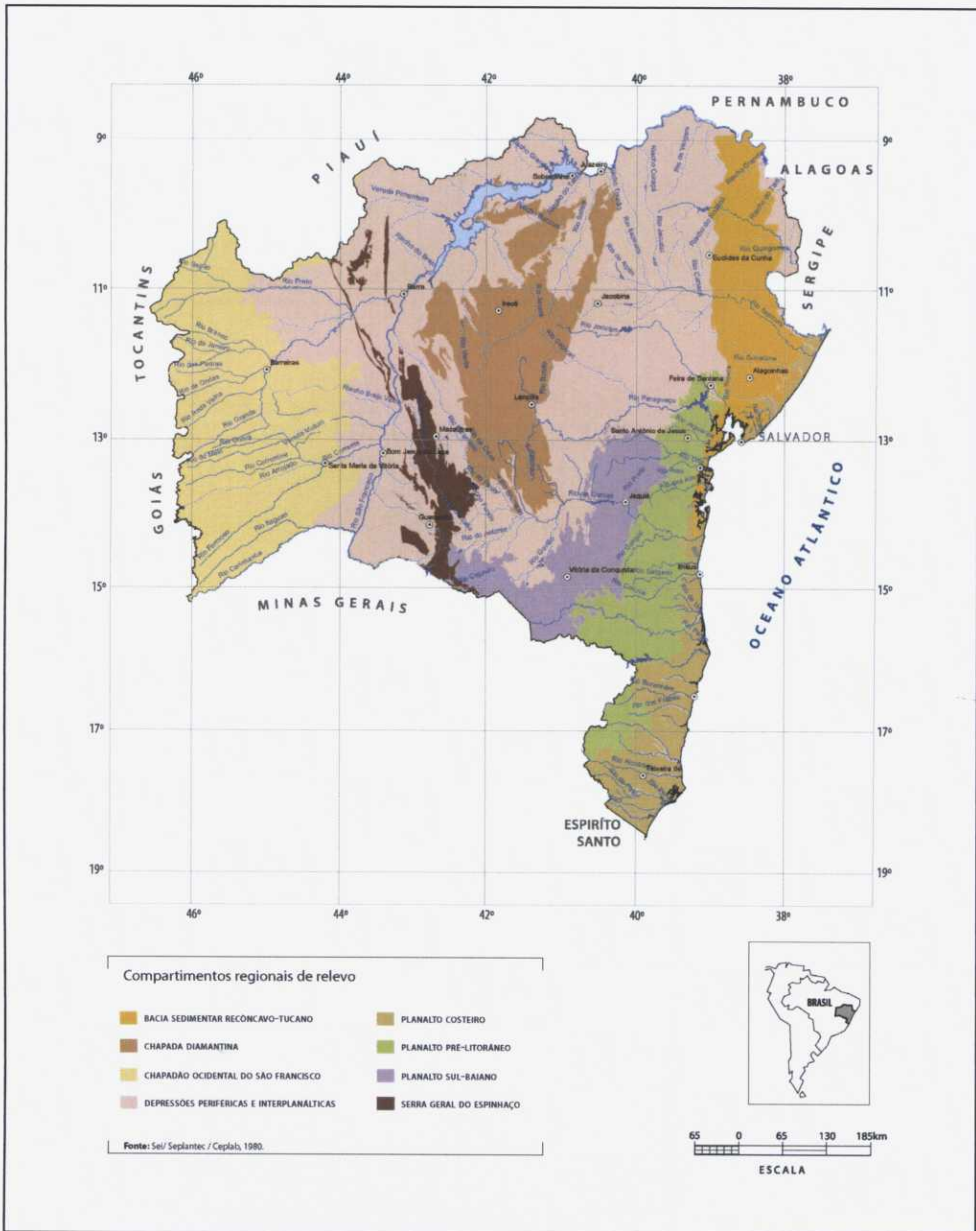


Figura 7. Mapa Geomorfológico do Estado da Bahia.

### **Planalto Costeiro**

O Planalto Costeiro está localizado a partir do terço médio do Estado até o extremo sul, estendendo-se desde o Município de Camamu até Mucuri. A topografia apresenta relevos de topos tabulares, capeados por sedimentos da Formação Barreiras que localmente recobrem rochas cratonizadas do Escudo Oriental lateritizados em superfície e entalhados por drenagem dendrítica ou paralelo-ramificada.

As unidades geomorfológicas características do Planalto Costeiro são: tabuleiros Costeiros e baixos platôs que ocorrem em sua maior extensão no extremo sul na bacia do rio Mucuri, Itanhém e Jucuruçu. São relevos de topos planos, contendo modelados de acumulação em diversos níveis topográficos. Mares de morro, ocorrem margeando a costa norte, do Estado, desde o Município de Conde até o extremo sul onde tem a sua maior expressão areal. Estes são modelados de desnudação tais como: colinas, formas de meia laranja, monoclinais, mesetas e feições convexas ou tabulares separadas por vales chatos ou agudos formando drenagem dendrítica com desníveis da ordem de 20 a 50 metros.

### **Bacia Sedimentar Recôncavo-Tucano-Almada**

A Bacia Sedimentar do Recôncavo-Tucano-Almada, estende-se de norte a sul do Estado. A Bacia do Recôncavo Tucano, propriamente dita, está localizada na parte norte, em uma faixa de cerca de 100 km de largura, desde o Rio São Francisco, no extremo norte até a região metropolitana da cidade de Salvador. A bacia de Camamú-Almada que é um prolongamento da Bacia do Recôncavo, para sul, margeando o litoral. A topografia apresenta relevos de topos aplanados, bordas desniveladas, com degraus e planos embutidos às encostas de formas predominantemente convexas, dissecadas em rochas sedimentares arenosas e argilosas. Os efeitos da tectônica e da litologia se refletem na compartimentação do relevo.

As unidades geomorfológicas características da Bacia Sedimentar Recôncavo-Tucano são: tabuleiros, que ocorrem em quase toda a extensão da bacia e são em geral terrenos aplanados correspondentes às formações geológicas, Marizal e São Sebastião; formas de dissecação e aplanamentos embutidos que ocorrem nas bacia de Almada Recôncavo e Tucano, correspondendo, em geral, aos topos e mesas elevadas, trabalhadas pela erosão diferencial, onde afloram, em geral, rochas sedimentares da Formação Barreiras.

### **Planalto Pré-litorâneo**

O Planalto Pré-litorâneo está localizado desde Santonópolis, a nordeste, até Itanhém no extremo sul. Apresenta-se como um conjunto de terrenos elevados com relevos de topos planos e encostas predominantemente convexas e convexo-côncavas, serras e maciços montanhosos, refletindo os alinhamentos estruturais do substrato rochoso, intensamente metamorfizado, cortado por gargantas do tipo apalacheano.

As unidades geomorfológicas características do Planalto Pré-Litorâneo são: os *tabuleiros interioranos* que correspondem às coberturas sedimentares aplainadas do terció-quaternário, localizadas nas regiões de Feira de Santana, Santo Estevão e Cruz das Almas, correspondendo a depósitos de planície de acumulação de sedimentos detríticos, resultantes das ações fluviais, contendo aluviões e terraços; as *serras, alvéolos e depressões intramontanas* localizadas em uma extensa faixa de Itanhém, no extremo sul do Estado, até Ânguera, na região do Planalto de Feira de Santana, correspondendo a modelados de desnudação dos tipos: colina, forma de meia laranja, monoclinal, meseta, feições convexas ou tabulares separados por vales chatos ou agudos formando drenagem dendrítica com desníveis da ordem de 20 a 50 metros; feições do tipo lombada, morro, monte, geralmente convexas ou convexo-côncavas, separadas por vales chatos ou agudos formando uma drenagem dendrítica ou ramificada com desníveis da ordem de 50 a 100 metros; as feições do tipo serra, montanha, elevações alinhadas ou grupadas em maciços, encostas convexas, convexo-côncavas e às vezes retilíneas são separadas por vales agudos e raramente chatos.

### **Depressões Periféricas e Interplanálticas**

As Depressões Periféricas e Interplanálticas são as superfícies de erosão do sertão encontradas principalmente nas bacias dos rios de Contas, São Francisco, Paraguaçu, Vaza-Barris e Itapicuru, elaboradas durante várias fases de denudação sobre variados tipos de rochas intensamente metamorfizadas. Aí, ocorrem relevos planos tais como: pedimentos, glaciais e rampas, conservadas localmente e adjacentes a relevos residuais isolados ou grupados.

As unidades geomorfológicas características das Depressões Periféricas e Interplanálticas estão descritas a seguir: o *pediplano sertanejo* são superfícies de erosão localizadas preferencialmente nas bordas leste e oeste do planalto Central da Chapada Diamantina, caracterizadas por formas de aplanamento retocadas, apresentando formações

superficiais que indicam remanejamentos sucessivos do material. Estas formas, apresentam-se rampeadas e dissecadas francamente, com feições de lombas de inclinação inferior a 5° (Radambrasil, 1983). Os *pedimentos funcionais ou retocados por drenagem incipiente*, são vastas áreas de modelados de denudação ocorrentes em regiões de rochas cristalinas predominante no quadrante norte do Estado, entre as cidades de Milagres e Curaçá, associadas aos relevos planos e clima semi-árido com índices pluviométricos abaixo de 600 mm/ano. As *serras e maciços residuais* são relevos serranos, restritos em extensão areal, dispersos sobre o quadrante norte do Pediplano Sertanejo e borda nordeste da Chapada Diamantina, resultantes da erosão diferencial (incelbegs) sobre conjuntos de rochas quartzosas do Embasamento Cristalino e de Complexos Metassedimentares. Suas maiores expressões no Estado são as serras das Figueiras, Saúde e Itiúba.

### **Planalto Sul-Baiano**

O Planalto Sul Baiano corresponde, geograficamente, a regiões topograficamente elevadas, com relevos de topos aplanados, recobertos por materiais detríticos, com patamares limitados por serras na vertente oriental e em torno da bacia do rio de Contas. Está subdividido em dois compartimentos: planalto Maracás-Jaguaquara e o planalto de Vitória da Conquista.

São várias as unidades geomorfológicas características do Planalto Sul Baiano. O *pediplano cimeiro* são regiões aplainadas localizadas no topo do planalto de Vitória da Conquista, Maracás, Jaguaquara, Planaltino e Nova Itarana. Segundo Radambrasil, (1983) o pediplano cimeiro, desenvolveu-se após o Cretáceo, como uma superfície de erosão que reelaborou topografias anteriores, transformando-se em um plano regional cujos restos são identificados sobre as chapadas sedimentares, nos centros das anticlinais escavadas no planalto da Diamantina, nos topos da serra de Jacobina e do planalto Sul-Baiano. Sobre esta superfície são encontradas formações superficiais lateritizadas e localmente cimentadas por sílica e óxidos de ferro e alumínio. Estes materiais são relacionados com as oscilações climáticas que se superpuseram à superfície de erosão, transformando-a em um plano poligenético. A topografia aplanada, parcialmente conservada, se encontrada a altitudes de cerca de 1.000 m.

Os patamares e serras do Rio de Contas são áreas ao sudeste do Estado onde predominam relevos serranos ocorrentes no entorno da bacia do médio Rio de Contas, estendendo-se de sul desde Caatiba até Brejões.

As serras marginais são relevos de desnudação do tipo colina, meia laranja, monoclinal ou meseta, feições convexas ou tabulares separados por vales chatos ou agudos formando drenagem dendrítica com desníveis da ordem de 20-50 metros. Ocorrem no sul do Estado, margeando todo o planalto de Vitória da Conquista, desde Encruzilhada, ao sul, passando por Boa Nova ao norte até Condeúba e Licínio de Almeida a oeste.

### **Chapada Diamantina**

A Chapada Diamantina corresponde a um conjunto complexo de formas aplanadas e de formas estruturais realçadas pela dissecação que põe em evidência dobras e falhas dos metassedimentos do Pré-cambriano; inclui formas aplanadas sobre rochas do grupo Bambuí (domínio dos aquíferos cársticos) onde se notam os efeitos da dissolução dos calcários.

As unidades geomorfológicas características da Chapada Diamantina são: o pediplano cimeiro que são regiões altas, aplainadas, localizadas no topo do planalto da Chapada Diamantina, onde se destacam os municípios de Morro do Chapéu, Seabra, Boninal e Piatã.

As feições geomorfológicas denominadas: anticlinais aplanados e esvaziados, sinclinais suspensos e blocos deslocados por falhas são regiões de topos côncavos e convexos, suavemente dobradas, abauladas ou irregulares, apresentando feições estruturais nítidas que ocorrem na região centro-sul e noroeste da Chapada Diamantina, envolvendo os municípios de Rio de Contas, Paramirim, Água Quente, Abaíra e Ibitiara ao sul e Gentio do Ouro ao norte.

Os planaltos cársticos são extensas áreas de planaltos rebaixados, localizados no centro-norte do Estado, onde se destaca o município de Irecê. São modelados de dissolução em um conjunto de formas cársticas, geralmente cobertas de materiais argilosos e resíduos silicosos das rochas calcárias sobre planaltos ou em depressões; as formas de detalhe mais freqüentes encontradas na superfície são: dolinas, cavernas, vales cegos, e raros pináculos, torres e patamares retalhados por sulcos (lápiez).

### **Serra Geral do Espinhaço**

A Serra Geral do Espinhaço é um conjunto de elevações alinhadas na direção N-S, com topos aplanados, sobre metassedimentos do Pré-cambriano. Localmente observam-se



restos de topos aplanados, recobertos por materiais detríticos e patamares rochosos marginais sulcados em rochas intensamente metamorfizadas.

As unidades geomorfológicas características da Serra Geral do Espinhaço são:

O *pediplano cimeiro*: localizado no topo da Serra do Espinhaço, no entorno dos Municípios de Caetité, Brejinho das Ametistas, Palmas de Monte Alto e Sebastião Laranjeiras.

Os *patamares marginais*: são extensas faixas de relevo serrano, localizadas no extremo sul do Estado desde a sede do Município de Urandi, na fronteira com o Estado de Minas Gerais até Oliveira dos Brejinhos, ao centro-norte. São modelados característicos de desnudação do tipo serra, montanha, elevações alinhadas ou grupadas em maciços, encostas convexas, convexo-côncavas e às vezes retilíneas, separadas por vales agudos e raramente chatos.

As *serras setentrionais*: são relevos estreitos e alongados, posicionados no quadrante noroeste do Estado, cujas maiores expressões estão representadas pelas serras do Estreito e Boqueirão. São modelados característicos do tipo estrutural, compostos de blocos rochosos; topos planos, abaulados ou irregulares, apresentando feições estruturais nítidas.

### **Chapadão Ocidental do São Francisco**

O Chapadão Ocidental do São Francisco se caracteriza por apresentar formas de relevos aplanados, sustentados por arenitos cretáceos da formação Urucuaia e do grupo São Francisco, capeado por materiais detríticos, solos lateríticos e patamares marginais em sedimentos calcíferos do grupo Bambuí.

As unidades geomorfológicas características do Chapadão Ocidental do São Francisco são:

O *plano sub-estrutural dos gerais*: são relevos planos, localizados em toda a faixa extremo-oeste do Estado, limitados pela Serra Geral de Goiás e Chapadão Ocidental da Bahia.

Os *patamares estruturais* que são relevos de patamares marginais rebaixados, ocorrentes desde a região de Cocos e Coribe, ao sudoeste do Rio São Francisco, passando por Correntina e Barreiras, até Riachão das Neves. Ocorrem sobre sedimentos calcíferos do Grupo Bambuí, horizontalizados, apresentando níveis de carstificação pouco intensos.

## 2.6. Solos

Os solos das várias regiões do Estado da Bahia guardam uma forte correlação com a diversidade litológica e com os tipos de clima. De uma maneira geral, nas regiões das Bacias Sedimentares Litorâneas ocorrem os Argissolos; na borda oriental da Chapada Diamantina predominam Planossolos; nas regiões dos Planaltos predominam os Neossolos quartzarênios; na região do Platô de Irecê e Santa Maria da Vitória ocorrem os melhores solos do Estado, os Cambissolos; na região da Bacia Sedimentar do Oeste (Urucuia) ocorre a maior extensão de Latossolos e na região semi-árida ocorrem os Vertissolos. Os levantamentos de solos mais recentes (SEI, 2001, Bahia, 2003), descrevem 10 classes de solos no Estado da Bahia descritos a seguir e apresentados no mapa da Figura 8:

*Argissolos:* são solos profundos, bem drenados, de textura arenosa a média no horizonte superficial e textura média a argilosa no horizonte subsuperficial, com baixa fertilidade natural, topografia plana a suavemente ondulada. Algumas unidades apresentam baixa capacidade de retenção de umidade, devido sua característica arenosa.

*Cambissolos:* são solos cuja profundidade varia de pouco profundo a profundo, de fertilidade natural alta, textura argilosa e relevo suave ondulado a ondulado. Ocorrem em estrita associação com Latossolos, Argissolos e Vertissolos. As principais limitações que apresentam são com relação ao relevo e drenagem, com baixa permeabilidade, devido à textura argilosa.

*Chernossolos:* são solos minerais, não hidromórficos, caracterizados por apresentar horizonte A chernozêmico, argila de atividade alta (Ta), saturação de bases superior a 50% (valor V) e valores altos para soma de bases trocáveis (S). Ocorrem em áreas de relevo que varia de suave ondulado a ondulado, com classes de textura média e argilosa e apresentando textura cascalhenta em alguns solos. Apresentam-se, de modo geral, associados a solos com caracteres litólico e vértico, sendo o caráter litólico o de maior ocorrência.

*Espodossolos:* são solos minerais com horizonte B espódico, profundos, com horizontes bem diferenciados, de baixa fertilidade natural. Apresentam reação ácida, saturação com alumínio trocável elevada e normalmente textura arenosa. Possuem seqüência de horizontes bem diferenciada A, E, Bhs ou Bs e C, de baixa fertilidade natural, moderada a fortemente ácidos, elevada saturação com alumínio e com espessuras que variam de solos rasos até muito profundos.

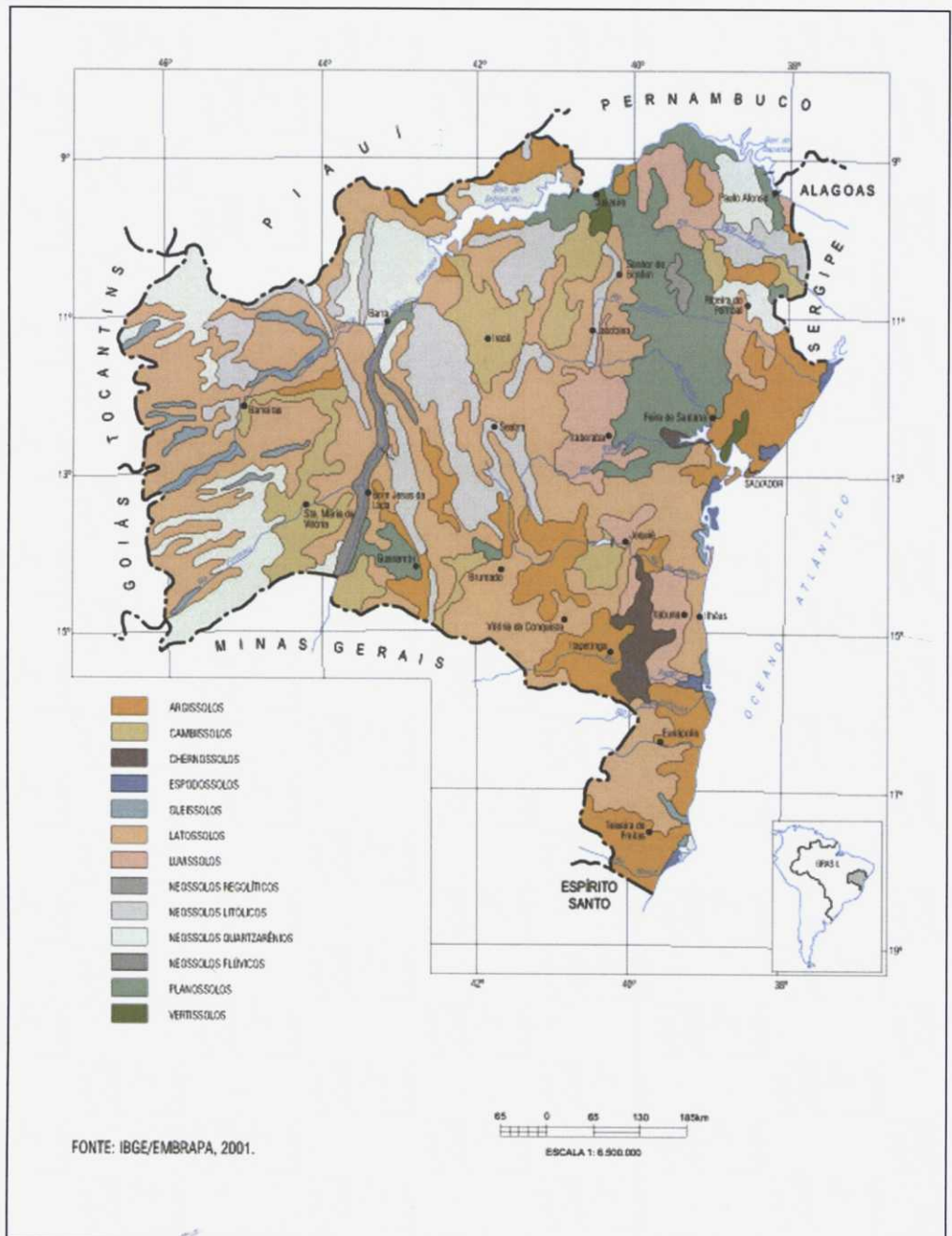


Figura 8. Mapa de Solos do Estado da Bahia.

*Gleissolos*: são solos minerais, pouco evoluídos, hidromórficos, que apresentam horizonte glei nos primeiros 50 cm a partir da superfície, ou a profundidades de 50 a 125 cm, desde que imediatamente abaixo do horizonte A. A textura é argilosa ou muito argilosa, estrutura em blocos angulares e subangulares, muito mal a mal drenados, álicos ou distróficos com argila de atividade alta ou baixa. Ocorrem em relevo plano associados, principalmente, a Cambissolos de origem aluvionar e a Organossolos. Os solos desta classe são, permanente ou periodicamente, saturados por água, salvo se artificialmente drenados.

*Latosolos*: são solos profundos, medianamente drenados, de textura argilosa, com baixa fertilidade natural, topografia plana a ondulada. As principais limitações que apresentam são com relação ao relevo ondulado, drenagem limitada, textura argilosa, e baixa fertilidade natural.

*Luvissolos*: compreendem solos minerais com horizonte B textural, não hidromórficos, com argila de atividade alta e com saturação e soma de bases alta. São solos rasos a pouco profundos, com seqüência de horizontes A, Bt e C, moderadamente ácidos a praticamente neutros, moderadamente a imperfeitamente drenados e bastante suscetíveis a erosão. Ocorrem em áreas de relevo suave ondulado a ondulado.

*Neossolos*: são solos que ocorrem em estreita associação com Latossolos, são profundos, excessivamente drenadas e de baixa fertilidade natural. Contudo, se houver disponibilidade de recursos hídricos, estes solos podem ser aproveitados com irrigação localizada e de alta eficiência. Quando ocorrem normalmente nas margens dos rios (Neossolos Flúvicos), apresentam-se com variadas texturas e com caráter eutrófico ou distrófico. O fato de ocorrerem em associação com Planossolos Hápicos ou Nátricos reduz o seu potencial de aproveitamento.

*Planossolos*: apresentam seqüência de horizontes A, B e C, com profundidade variando de rasos a medianamente profundos, mostrando características nos horizontes subsuperficiais, B e/ou C, associadas com umidade (cores de redução e/ou mosqueados), decorrentes de uma drenagem imperfeita. Normalmente, esses solos ocorrem associados a áreas de relevo plano a suave ondulado, com horizonte A fraco e moderado, de textura arenosa a média e com horizonte B de textura média a argilosa. Possuem estrutura moderada ou forte prismática (às vezes sob forma colunar) composta de blocos angulares e subangulares no horizonte B em grande parte dos solos encontrados. O caráter vértico também foi constatado. Frequentemente, apresentam uma grande quantidade de materiais facilmente decomponíveis no horizonte B.

*Vertissolos*: são solos profundos, calcários, argilosos a muito argilosos, com boa capacidade de retenção de água e nutrientes, muito planos. Apresentam como fatores limitantes principais alguma pedregosidade, e a baixa drenagem subterrânea exigindo um adequado manejo da água. Possuem teores elevados de argilas do tipo 2:1 expansivas (grupo da montmorilonita) nos horizontes sub-superficiais, ficando sujeitos aos movimentos de expansão e contração, quando há variação no teor de umidade. Possuem alta capacidade de troca de cátions, alta saturação de bases (principalmente Ca e Mg). Embora sejam encontrados em zonas de relevo plano, seu manejo é prejudicado devido ao alto teor de argilas expansivas que apresentam.

### Potencial de Terras Irrigáveis

O potencial de terras para a agricultura irrigada do Estado da Bahia foi avaliado através dos seguintes índices de caracterização do solo: textura, profundidade, água disponível, capacidade de troca de cátions, saturação de bases, salinidade (condutividade elétrica), sodicidade, topografia, declividade, drenagem superficial e drenagem interna (Bahia, 2003). Combinando-se os índices de avaliação com as características dos solos mapeados no Estado, deu-se origem a uma classificação dos solos segundo seu potencial para aproveitamento em cultivo sob irrigação apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de solos para agricultura irrigada no Estado da Bahia.

Classes de solos	Área total (1000 ha)	Áreas por classe (1000 ha)		
		Alto	Médio	Restrito a Baixo
Afloramentos Rochosos	54,45	-	-	54,45
Argissolos	10.354,19	403,71	4.946,95	5.003,53
Cambissolos	3.688,89	1.214,02	760,92	1.713,95
Chernossolos	648,26	-	-	648,26
Espodossolos	272,52	-	40,11	232,41
Gleissolos	502,94	-	-	502,94
Latossolos	21.599,38	2.789,17	16.680,30	2.129,91
Luvissolos	577,89	-	-	577,89
Neossolos	12.902,78	-	2.114,43	10.788,35
Organossolos	7,80	-	-	7,80
Planossolos	4.667,08	-	-	4.667,08
Tipos de Terreno	117,06	-	-	117,06
Vertissolos	404,00	33,13	270,00	100,87
<b>Total Geral</b>	<b>55.797,24</b>	<b>4.440,03</b>	<b>24.812,71</b>	<b>26.544,50</b>
<b>Potencial de Terras Irrigáveis</b>	<b>100 %</b>	<b>8 %</b>	<b>44,5 %</b>	<b>47,50 %</b>

Fonte: Mod. de (Bahia, 2003).

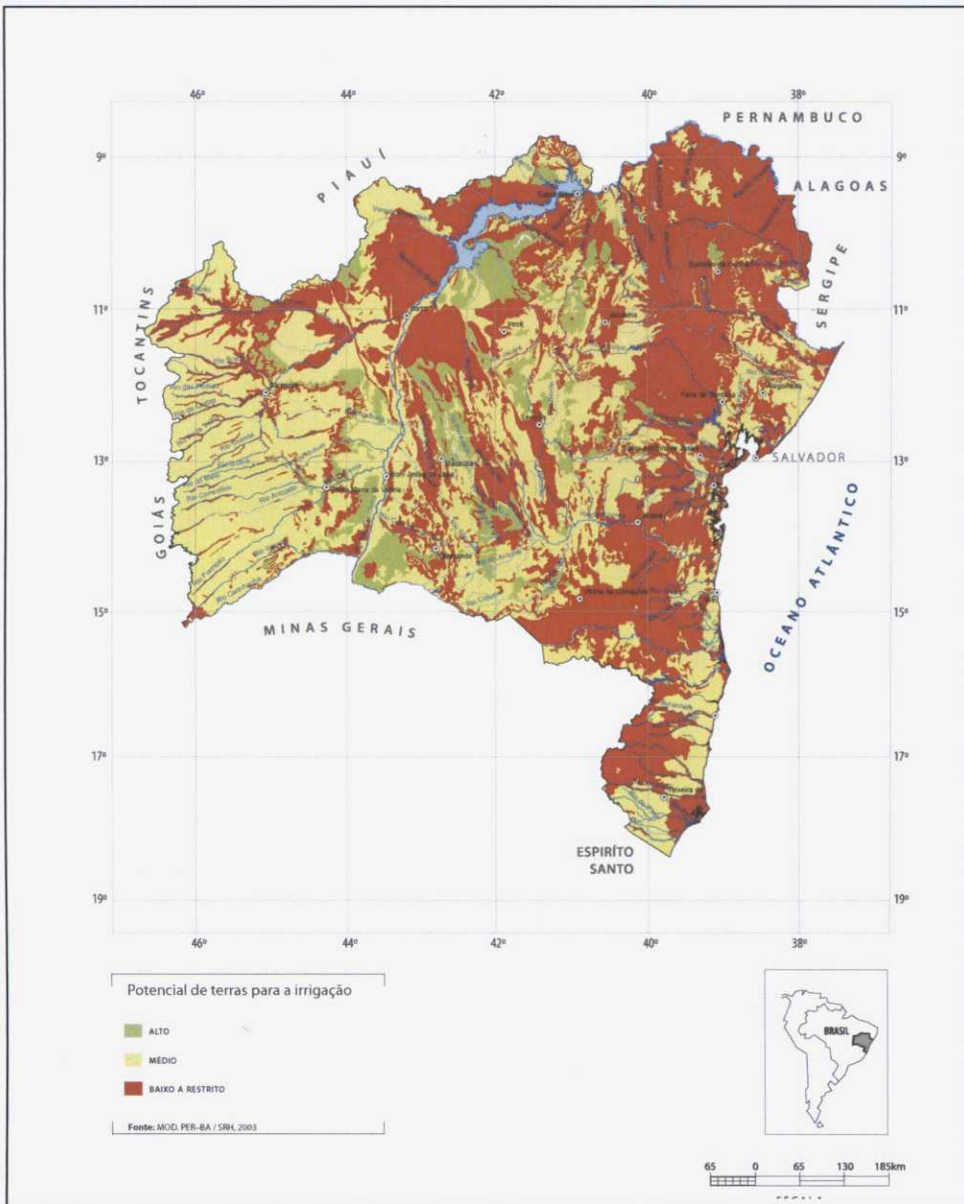


Figura 9. Mapa do potencial de terras para irrigação do Estado da Bahia.

A partir das informações contidas no Mapa de Solos e Potencial de Terras para Irrigação (Figura 9), observa-se que a maior parte das terras com alto potencial para irrigação (8% da superfície do Estado) encontra-se distribuída na região semi-árida, principalmente nas sub-bacias da margem direita do Rio São Francisco e nas sub-bacias da margem esquerda do mesmo rio, ao longo do riacho Pitubas, bem como nos municípios de Brejolândia, Serra Dourada, Wanderley, Muquém do São Francisco, Santana e Santa Maria da Vitória. Estas regiões, embora apresentem excelentes condições de temperatura e insolação, têm problemas de escassez de água.

Em menor escala ocorrem manchas de solo com alto potencial de irrigação, dispersas na região norte do município de Euclides da Cunha e nos municípios de Irará e Entre Rios.

As terras de médio potencial para irrigação ocupam 44,5 % da superfície do Estado e estão localizadas basicamente no Oeste, onde os recursos hídricos são mais abundantes. Grandes manchas de terras com médio potencial ocorrem ao longo da faixa central do Estado no sentido Norte-Sul, desde as proximidades de Juazeiro até a divisa com o Estado de Minas Gerais. Também ocorrem áreas significativas no Recôncavo (Norte e Sul), nos trechos médio e baixo das bacias dos rios Inhambupe e Itapicuru e, praticamente, em toda a faixa litorânea do Extremo Sul.

As terras com potencial restrito para irrigação ocupam 47,5% da superfície do Estado e estão concentradas principalmente em três regiões: na região do médio São Francisco e margem esquerda do reservatório de Sobradinho; na região Nordeste, incluindo algumas áreas localizadas na margem direita do baixo Rio Paraguaçu; e na região Sul, a partir de Jequié, ocupando o Planalto de Conquista e prosseguindo para o Extremo Sul do Estado.

## **2.7. Ecoregiões**

A descrição das ecoregiões do Estado, apresentadas neste trabalho foram baseadas principalmente no, Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado da Bahia (Bahia, 2003). Entende-se por ecoregião o conjunto de comunidades naturais, geograficamente distintas, mas que compartilham a maioria de suas espécies, de suas dinâmicas e de seus processos ecológicos; produzindo condições ambientais similares que são fatores críticos para a manutenção de sua viabilidade à longo prazo. Cada ecoregião possui uma vegetação típica que permite o seu enquadramento dentro do estudo de componentes da flora e,

posterior contribuição no diagnóstico da bacia hidrográfica. Valendo-se deste conceito, para o estudo dos recursos hídricos do Estado, o qual permite uma visão espacial dos ambientes físicos e bióticos que compõem as bacias hidrográficas. Foi feita a estratificação dos territórios das bacias hidrográficas em regiões homogêneas, associando aspectos bióticos (flora e fauna), características de relevo, geologia, tipos de solos, atividades econômicas e também, impactos ambientais existentes resultantes de atividades antrópicas, permitiu o estudo das características de cada área de uma forma mais integrada.

A Figura 10 mostra o mapa das ecoregiões do Estado da Bahia, cuja visão espacial possibilita uma melhor compreensão do território no que se refere aos aspectos da vegetação e de impactos sobre este componente biótico. Conforme se vê nesta figura, o Estado da Bahia foi dividido em seis ecoregiões para os estudos relativos às vegetações, quais sejam: Florestas Costeiras da Bahia, Florestas do Interior da Bahia, Florestas Secas do Nordeste, Caatinga, Cerrado e Chapada Diamantina. Esta última ecoregião, por possuir peculiaridades ambientais e de vegetação, é representativa de diferentes ambientes (caatinga, cerrado, floresta estacional, campos de altitude e floresta atlântica).

Existe uma estreita correlação entre as ecoregiões apresentadas e a classificação de vegetação oficial brasileira (IBGE, 1992), permitindo uma adequada identidade entre elas, como mostrado na Tabela 3 seguinte.

Tabela 3. Relação entre Ecoregiões e Tipos de Vegetação Existentes no Estado da Bahia.

<b>Ecoregião</b> (Bahia, 2003)	<b>Tipologia Vegetal Dominante</b> (IBGE, 1992)
1. Florestas Costeiras da Bahia	Floresta Ombrófila Densa
2. Florestas do Interior da Bahia	Floresta Estacional Semi-Decidual
3. Florestas Secas do Nordeste	Floresta Estacional Decidual
4. Caatinga	Savana Estépica
5. Cerrado	Savana
6. Chapada Diamantina	Campos Rupestres

Fonte: (IBGE, 1992); Modificado de Bahia, 2003.



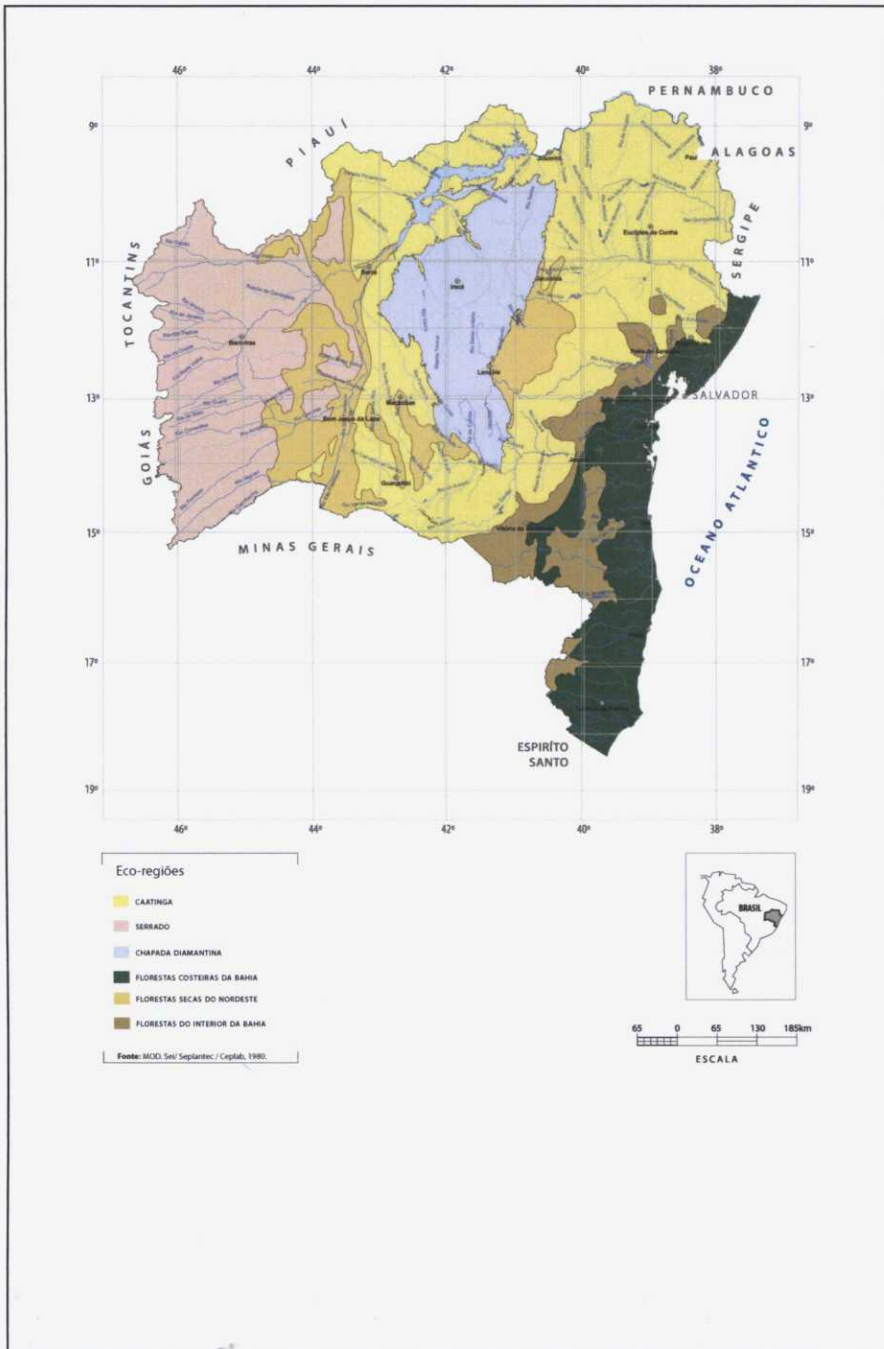


Figura 10. Mapa das Eco-regiões do Estado da Bahia.

### Florestas Costeiras da Bahia

A ecoregião, Florestas Costeiras da Bahia ou Mata Atlântica, de denominação Floresta Ombrófila Densa, IBGE (1992) tem o aspecto mostrado na Figura 11.



Figura 11. Ecoregião Florestas Costeiras da Bahia ou Floresta Ombrófila Densa.

A tipologia vegetal, Floresta Ombrófila Densa, (Elleberg & Mueller, 1965, 1966; IBGE, 1992), caracteriza uma vegetação determinada por fatores climáticos tropicais de elevada temperatura (médias de 25°C), precipitação pluviométrica alta e bem distribuída durante o ano (0 a 60 dias secos), ou seja um ambiente bioecológico praticamente sem período seco (IBGE, 1992). Dominam no ambiente desta floresta, os latossolos e argissolos (podzólicos) com características distróficas e raramente eutróficas. Esta vegetação ocorre em, praticamente, toda região litorânea do Estado da Bahia, inserida em um dos biomas mais ricos do planeta. A Mata Atlântica no sul da Bahia, já foi denominada de “Hiléia Baiana” por sua expressiva biodiversidade, mesclando espécies amazônicas com espécies da mata atlântica, mantendo em sua forma primária uma altura de dossel superior a 35 metros, justificando sua classificação como ecorregião. Nesta ecorregião estão enquadradas, praticamente, todas as bacias hidrográficas do extremo sul da Bahia, assim como os trechos finais (litorâneos) de

grandes bacias do Estado, como por exemplo os rios Jequitinhonha, Pardo, Contas, Paraguaçu e Itapicuru.

Dentro desta ecorregião, identificam-se as seguintes formações florísticas, (IBGE, 1992; Bahia, 2003):

*Floresta Ombrófila Densa Aluvial* - Trata-se de formação ribeirinha ou “floresta ciliar” que ocorre ao longo dos cursos de água, ocupando terraços antigos de planícies quaternárias, está associada a solos com alta umidade.

*Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas* - É uma formação que ocupa, em geral, as planícies costeiras, capeadas por tabuleiros pliopleistocênicos do Grupo Barreiras e que ocorre, praticamente, em toda a costa da Bahia na região das planícies costeiras. Ocorre desde a Amazônia, estendendo-se através de todo o Nordeste.

*Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana* - É uma formação florestal que ocupa o dissecamento do relevo montanhoso e dos planaltos, com solos medianamente profundos, apresentando os fanerófitos com alturas aproximadamente uniformes. O sub-bosque apresenta boa regeneração natural com presença de palmeiras de pequeno porte e muitas lianas (cipós). É uma formação de alto porte, traduzido pela qualidade do sítio. Na Bahia, principalmente na região sul e baixo sul do estado, grande parte das áreas antes ocupadas por esta formação é hoje ocupada pelo plantio de cacau dentro da floresta atlântica raleada/desbastada, chamadas áreas de cabruca, ocorrentes em solos eutróficos.

*Floresta Ombrófila Densa Montana* - O alto dos planaltos e das serras situados entre 600 e 2.000 m de altitude é ocupado por esta formação florestal. Dentre os ecossistemas associados aos recursos hídricos desta ecorregião, citam-se, como de grande importância, as mussunungas, associadas às nascentes de cursos d’água; brejos; florestas aluviais, alagadas em grande parte do ano; além de mangues, associados à foz dos rios e restingas, associadas às terras arenosas próximas ao mar.

### Florestas do Interior da Bahia

A ecorregião Florestas do Interior da Bahia corresponde à vegetação denominada Floresta Estacional Semi-Decidual e Floresta Estacional Decidual (Figura 12) segundo Manual da Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992)



Figura 12. Ecorregião Florestas do Interior da Bahia ou Floresta Estacional Semi-decidual (Bahia, 2003).

Esta ecorregião também se enquadra no domínio da Floresta Atlântica. O tipo de vegetação que a caracteriza está condicionado à dupla estacionalidade climática: uma tropical, com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada; e outra, subtropical, sem período seco, mas com seca fisiológica, provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C.

No Estado da Bahia, essa ecorregião ocorre em uma faixa paralela ao litoral, logo após a área de domínio da ecorregião Florestas Costeiras da Bahia, quando a precipitação cai para índices menores de 900 mm/ano e começa a existir um déficit hídrico considerável. Nela foram identificadas quatro formações florestais: *aluvial*, *terras baixas*, *submontana* e *montana*, conforme suas localizações geográficas e posição em relação ao relevo (Bahia, 2003). A formação aluvial está sempre presente nos terraços mais antigos de calhas dos rios. A formação das terras baixas ocorre na faixa de 5 a 100 metros de altitude entre os 4° e 16° de latitude sul, na faixa de 5 a 50 metros quando localizada entre os 16° a 24° de latitude sul e na faixa de 5 a 30 metros quando

localizada entre os 24° e 32° de latitude sul. A formação sub-montana situa-se em uma faixa altimétrica que varia de 100 a 600 metros entre os paralelos 4° e 16° de latitude sul, na faixa de 50 a 500 metros entre os paralelos 16° a 24° de latitude sul e na faixa de 30 a 400 metros abaixo dos 24° de latitude sul. A formação montana situa-se na faixa altimétrica que varia de 600 a 2.000 metros de altitude entre os paralelos 4° e 16° de latitude sul, de 500 a 1.500 metros entre os paralelos 16° e 24° de latitude sul e de 400 a 1.000 metros entre os paralelos 24° e 32° de latitude sul.

### **Florestas Secas do Nordeste**

A Ecoregião Florestas Secas do Nordeste é caracterizada por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa, de curta duração, e outra com longo período seco. Este regime climático influencia a sua cobertura vegetal, que se apresenta na forma de disjunções florestais com o estrato dominante macro ou mesofanerófito predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem no período desfavorável (Bahia, 2003).

No território baiano podem ser consideradas 3 (três) formações florestais distintas para esta ecorregião:

- Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas. Esta formação é encontrada em áreas descontínuas e relativamente pequenas. Ocorre com maior expressividade na bacia do rio Pardo, no sul do Estado da Bahia. Uma expressiva área desta formação aparece também no vale do rio São Francisco, na região dos municípios de Luiú, Malhada, Sebastião Laranjeiras. Nesta região, os indivíduos desta formação estão em intenso processo de extração, para produção de carvão vegetal, quase sempre de forma irregular, como mostrado na Figura 13.

- Floresta Estacional Decidual Sub-montana. Ocupando uma expressiva área do território baiano na divisa com o Estado de Minas Gerais, localizada nos vales dos rios Verde Grande e São Francisco. Esta formação apresenta uma fisionomia ecológica com mais de 50% de seus ecotipos sem folhagem na época desfavorável.





Figura 13. Ecoregião Florestas Secas do Nordeste ou Floresta Estacional Decidual. Na foto, fornos para produção de Carvão vegetal.

– Floresta Estacional Decidual Montana - Uma grande faixa desta formação encontra-se revestindo o planalto de Vitória da Conquista e é representada por uma vegetação florestal de porte médio com uma fisionomia ecológica tipicamente caducifólia, dominada por leguminosas arbóreas.

### **Caatinga**

A ecoregião denominada Caatinga está mostrada na Figuras 14 e 15, para o período chuvoso e período seco, respectivamente.

A caatinga é um dos principais biomas do nordeste brasileiro, cobrindo uma área de 570.000 km<sup>2</sup>. Este ecossistema corresponde a 37% da região Nordeste e a 6,7% do território nacional. Abrange praticamente toda a área dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, sudeste do Piauí e a maior parte dos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, além do interior da Bahia (regiões nordeste, norte e centro-oeste). O Estado da Bahia tem cerca de 45% do seu território incluído no semi-árido, representando 347.147 km<sup>2</sup>, abrangendo 248 municípios e mais de 6 milhões de habitantes (Queiroz, 1999; Bahia, 2003).

Esses números mostram a importância do conhecimento desta ecoregião visando seu correto manejo e conservação. Este ecossistema está fortemente associado ao clima, principalmente à estação seca, cujo período excede a cinco meses.



Figura 14. Ecoregião Caatinga ou Savana Estépica. Foto, Município de Ibipeba, Bahia. (Período Chuvoso).



Figura 15. Ecoregião Caatinga ou Savana Estépica. Foto, Município de Ibipeba, Bahia. (Período Seco).

### Cerrado

O Cerrado ocupa uma área de 1,3 milhões de km<sup>2</sup> do território brasileiro. É definido como uma ecoregião de vegetação xeromorfa, preferencialmente de clima estacional, com cerca de 5 meses secos (de abril a setembro), e grande estresse hídrico; não obstante, pode ser também encontrado em clima ombrófilo. Essa vegetação reveste solos lixiviados aluminizados, ocorrentes em toda a Zona Neotropical (Bahia, 2003). A Figura 16 apresenta uma foto desta região.



Figura 16. Ecoregião Cerrado ou Savana.

Na Bahia o Cerrado ocupa toda a região oeste do Estado e constantes desmatamentos e queimadas vem degradando fortemente este ecossistema.

O aparecimento desta formação está condicionado principalmente ao tipo e à profundidade do solo onde predominam as formações savânicas, ocorrendo, também, formações florestais. O gradiente de formas fisionômicas depende de três aspectos do substrato: a fertilidade e o teor de alumínio disponível, a profundidade dos solos e o grau e duração da saturação na camada superficial e subsuperficial (UNESCO, 2000; Bahia, 2003). Nessa ecoregião, em geral, ocorrem três ecossistemas associados:



- *Veredas* - Representam um ecossistema de grande relevância dentro da ecorregião Cerrado, por serem responsáveis pela manutenção e multiplicação da fauna terrestre e aquática, além de contribuírem para a perenidade e regularidade dos rios da região (EPAMIG, 1991). Em depressões e em alguns vales presentes na bacia do Rio São Francisco ocorrem enclaves deste ecossistema, que apresenta fisionomia sempre verde, constituída por um estrato arbóreo-arbustivo envolvido por área graminosa.
- *Matas ciliares ou de galerias* - Trata-se da formação florestal estacional semidecidual relativamente estreita que ocorre ao longo dos cursos d'água e sobre terrenos acidentados, raramente ultrapassando 100 metros de largura, e com o estrato arbóreo variando de 20 a 25 metros de altura, com poucos indivíduos emergentes (UNESCO, 2.000; Bahia, 2003).
- *Cerradão* - É uma formação florestal com aspectos xeromórficos apresentando espécies que ocorrem no Cerrado e também por espécies típicas de matas. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, com ocorrência de estratos arbustivos e herbáceos (UNESCO, 2.000; Bahia, 2003).

### **Chapada Diamantina**

A ecorregião da Chapada mostrada na Figura 17 está localizada na região central do Estado e coincidente com a área da Chapada Diamantina, foi delimitada devido às suas peculiaridades climáticas e de recursos hídricos. Compreende um mosaico de vegetação e ecossistemas. Este mosaico se deve à diversidade de ambientes existentes onde são encontradas as seguintes formações:

- *Caatinga*: desde as raras e densas, arbustivas e arbóreas, com ou sem cactáceas e palmeiras.
- *Cerrado*: desde os campestres, cobrindo os chapadões e encostas suaves, até os cerrados arbóreos e os cerradões, com árvores pequenas, medianas ou grandes.
- *Floresta estacional semidecidual*: ocupando as encostas úmidas, principalmente associadas aos vales dos rios, constituindo as matas ciliares.
- *Campos rupestres*: encontrados nas encostas secas e nas cumeadas das serras, associados à ocorrência de solos rasos sobre rochas, formando refúgios ecológicos, onde a vegetação é exuberante e variadíssima.



Figura 17. Ecoregião: Chapada Diamantina.

- *Florestas estacionais*: encontradas nos chapadões.
- *Matas de encostas e matas de neblina*: encontradas nos sopés das serras e ricas em espécies nobres.
- *Floresta atlântica*: por sua composição florística se enquadra como parte das formações florestais componentes da Mata Atlântica.

## 2.8. Uso do Solo

### **Evolução do Modelado e sua Relação com as Ecoregiões do Estado**

A morfogênese do modelado do Estado da Bahia pode ser analisada a partir dos eventos geomorfológicos, que permitem estabelecer as condições pretéritas segundo as quais o relevo se elaborou (Radambrasil, 1983). Quanto às condições morfogenéticas atuais, são estabelecidas através de observações de campo e do reconhecimento, através de fotos aéreas e imagens de satélite, das unidades geomorfológicas.

Os processos morfogenéticos variam em função do clima e da cobertura vegetal. No estado da Bahia são as condições climáticas atuais, com faixas decrescentes de umidade do litoral para o interior, que influenciando no recobrimento vegetal, favorecem a

diversificação dos processos morfogenéticos atuantes no modelado. Assim, distinguem-se as áreas dominadas por clima semi-árido correspondendo à ecoregião da Caatinga ou sertão, onde predominam modelados decorrentes de processos morfogenéticos mecânicos, em oposição às áreas úmidas do litoral, ecoregião das Florestas Costeiras, onde os processos morfogenéticos químicos se sobrepõem.

Por seu turno as rochas se alteram diversificadamente e, algumas delas, guardam marcas de processos anteriores que não estão mais em funcionamento. Entretanto, são poucas as indicações para se fazer uma diferenciação da morfogênese anterior e a atual. Portanto é na descrição das unidades geomorfológicas que se apresentam as evidências da existência de formas de relevos herdadas de sistemas morfogenéticos diferente dos atuais. Além disso, a essas condições naturais acrescentam-se as influências antrópicas que, degradando o meio ambiente, acentuam a atuação dos processos e consequentemente perturbam a estabilidade dos ecossistemas.

A ecoregião da Caatinga, com suas extensas planuras sertanejas, apresentam hoje condições morfogenéticas semelhantes àquelas em que foram geradas. Em quase toda a sua extensão estão sob o domínio de climas semi-áridos, com médias anuais pluviométricas que variam entre 400 e 750 mm.

Os processos morfogenéticos atuantes nessa ecoregião não dependem apenas do rigor da semi-aridez, mas também do papel desempenhado pelo recobrimento da vegetação de Caatinga. Neles, é comum a ocorrência de pavimentos detríticos, sob uma vegetação rala, que recobrem os planos fracamente inclinados sobre os quais são deixadas as marcas de um escoamento superficial difuso propiciando o carreamento de materiais finos e a concentração de grosseiros o que contribui para o empobrecimento dos solos. Nas áreas mais críticas a desnudação é visível. As rochas afloram em caos de blocos e lajedos, entremeadas a um solo pedregoso onde o escoamento superficial se diversifica quando encontra os afloramentos, arrastando detritos para as partes mais baixas, tornando-se difuso, a exemplo do que ocorre nas proximidades da cidade de Macururé. Sob a Caatinga, depredada pelo criatório extensivo de caprinos, aparecem sulcos que localmente se transformam em pequenos riachos arenosos e pedregosos. Nas partes abaciadas concentram-se areias e siltes localmente formando solos. Nos sopés dos residuais são encontrados, sobre os planos inclinados, espraiamentos de quartzo limpos, refletindo processos mecânicos de uma fase mais agressiva sub-atual e atual que formou o pavimento sob a Caatinga.

Nas áreas situadas entre a Serra de Jacobina e o Planalto da Bacia Tucano, associadas às ecoregiões das Florestas do Interior da Bahia e Florestas Secas do Nordeste, respectivamente, os planos tornam-se cada vez mais dissecados em forma de lombas alongadas, os cursos de água tornam-se permanentes, a exemplo dos rios Itapicuru, Vaza-Barris e Jacuípe, as rochas são mais alteradas e os solos são mais espessos. Estes fatos conduzem à suposição de que as formações vegetais dessa área persistiram ali permitindo que os processos de dissecação se instalassem favorecendo uma diferenciação dos materiais de cobertura.

Na transição desses planos para os planaltos são encontradas áreas onde a dissecação se reveste de maior importância, tanto pela maior umidade como pela ocorrência de alterações mais espessas, pois a infiltração das águas das chuvas é quase que total. A erosão atua através do escoamento concentrado elementar provocando o aparecimento de sulcos e ravinas nas encostas mais íngremes, onde também são observadas cicatrizes de deslizamento de massa propiciando a instabilidade dessas áreas.

Os planaltos estão associados à ecoregião da Chapada Diamantina e funcionam como verdadeiros núcleos de precipitação cujos índices pluviométricos atingem 1.000 mm, favorecendo o aparecimento de faixas de climas úmidos e sub-úmidos que propiciam a ocorrência de solos mais espessos sobre os quais se desenvolveu desde o Cerrado até a Caatinga Arbórea. A preservação do modelado nessas áreas, principalmente na Chapada Diamantina, deve-se à estrutura e composição geológica, cujos fatores ofereceram maior resistência aos climas úmidos reinantes. As rochas silicosas, particularmente os quartzitos, opuseram maior resistência aos processos de decomposição química e se degradaram lentamente. O entalhe da atual rede de drenagem, nessas áreas, depende da malha de falhas e fraturas que orientam a dissecação diferencial, enquanto que, a espessura, disposição e inclinação das camadas, em face da desagregação mecânica facultam, maior ou menor desenvolvimento de formações detríticas.

Destacam-se também no Estado da Bahia, as áreas de depósitos quaternários onde predominam os processos de acumulação que ocorrem nos vales mais importantes e ao longo do litoral. O conjunto das formas que estão em contato direto com as influências marinhas apresenta características ligadas à morfogênese litorânea. A existência de mangues, em certos trechos, reflete o constante trabalho de colmatagem. A amplitude das marés, aliada à topografia plana e aos contornos do litoral, favorecem a deposição de sedimentos argilosos que ao entrarem em contato com o ambiente marinho transformam-se em depósitos vazosos e colmatam as áreas de mangues. Os sedimentos arenosos

chegam à plataforma através do fluxo e refluxo das vagas e, sendo depositados em áreas onde as correntes marinhas se anulam, formam as praias e cordões arenosos, os quais, submetidos às ações dos ventos, contribuem para a ocorrência de formações dunares. Em contato com o mar as escarpas dos Tabuleiros Costeiros constituem falésias vivas, em cujos sopés, geralmente são encontradas grutas de ressaca que contribuem para o solapamento dessas escarpas.

Ao longo do Rio São Francisco, a principal rede de drenagem do Estado, ocorrem acumulações aluviais que formam terraços e várzeas. Os processos atuantes, em virtude de um período mais úmido que o sub-atual, favorecem ao entalhe desse rio, nas próprias aluviões. Este fato contribui para a erosão das margens que ao serem solapadas alimentam a formação de bancos de areias. Estes bancos migram durante as grandes enchentes, cujos efeitos podem ser verificados sobre os terraços e várzeas através de uma capa argilo-sílica, (muito utilizada pelos agricultores ribeirinhos para a plantação de grãos e hortaliças) depositada nas formações durante estes períodos.

Verifica-se então que nesse período Quaternário têm ocorrido sucessivas retomadas de erosão, relacionadas às variações climáticas e do nível de base geral que tem promovido as condições para a instalação de processos capazes de imprimir, através das ações fluviais, dissecação no litoral e pedimentos no interior com diferentes graus de inclinação. A dissecação fluvial se fez sentir intensamente no litoral, dando origem a vales profundos, escavados durante uma fase regressiva do mar, cujos baixos cursos foram afogados formando rias durante fase transgressiva.

Os efeitos da neotectônica, no litoral, geraram falhamentos que orientaram o escavamento de *canyons* nos baixos cursos, que foram posteriormente afogados, e o aparecimento de encostas retilíneas com alinhamentos estruturais que limitam a Planície Litorânea, principalmente no delta do rio São Francisco, e na foz do rio Itapicuru.

Os sedimentos resultantes das diversas fases regressivas e transgressivas são representados por terraços, restingas, mangues, dunas e recifes encontrados nas planícies fluviais, deltaicas, estuarinas e praias.

Em virtude do clima atual, da cobertura vegetal e da atuação do homem, os processos morfogenéticos atuantes no relevo se diversificam, originando ou conservando formas que são decorrentes de processos mecânicos nas áreas do interior, em oposição às áreas úmidas do litoral onde os processos químicos são preponderantes.

Os estudos desenvolvidos pelo projeto Radambrasil desde a década de 80, (Radambrasil, 1983), para avaliação da morfodinâmica em áreas do Nordeste semi-árido,

visaram detectar a intensidade desses processos como fator essencial de manutenção da estabilidade dos ecossistemas. Segundo Silva (1978), a importância dos processos morfogênicos e sua relação com os demais processos ambientais considerados nas unidades geomorfológicas, são a base conceitual e operacional para o estabelecimento de unidades de manejo ambiental. Partindo dessa premissa, pode-se chegar à identificação de áreas problemáticas e mensurar os problemas levantados e selecionados de acordo com a sua especificidade, para uma análise de causa e efeito, tais como os que são descritos abaixo.

### **Ações antrópicas**

No Estado da Bahia, as atividades agrícolas e pastoris vêm sendo intensamente estimuladas e desenvolvidas em função do incentivo à expansão econômica do Nordeste. Iniciadas nos séculos passados com as culturas da cana de açúcar, café e grandes pastagens, nos tempos atuais, generalizaram-se a implantação de projetos de desenvolvimento agrícola voltados para a cultura da soja, fruticultura e outros. Tais projetos, de agricultura extensiva e o incremento da pecuária extensiva, trouxeram como efeito colateral os problemas relacionados com o desmatamento: erosão, perda de solos férteis, arenização e princípio de desertificação, incluindo-se o carvoejamento da vegetação, o uso de defensivos para a expansão da agricultura, o aumento do nitrato no solo e nas águas subterrâneas com a perda da qualidade natural dos ecossistemas.

Na grande extensão territorial abrangida pelo Estado da Bahia, com a existência de ecossistemas bastante diversificados as ações antrópicas possuem efeitos diferenciados sobre os solos e o relevo.

Os desmatamentos que vêm se processando nas últimas décadas, têm proporcionando com maior intensidade o desenvolvimento dos processos erosivos. Agrava esta ação antrópica fatores de ordem natural, a exemplo dos solos de constituição arenosa, passíveis de serem erodidos, principalmente se combinados com relevos vulneráveis. Outro fator agravante resulta das condições climáticas, bastante diversificadas, uma vez que são encontrados no Estado climas onde predomina a estação seca por cerca de 9 meses, e um curto período chuvoso em que ocorrem fortes aguaceiros. Estes condicionantes, associados às práticas agrícolas pouco conservacionistas, favorecem e intensificam os processos erosivos, provocam a diminuição da matéria orgânica e dos teores de nutrientes do solo resultando em queda de produtividade.

Outros exemplos de ação antrópica que pela sua própria natureza alteram as propriedades do relevo são a implantação de estradas, a construção de barragens, a expansão urbana, a construção de aterros sanitários e outras. Além disso, tais intervenções, têm, freqüentemente, falhado na prevenção de processos erosivos, que normalmente se desenvolvem em forma de ravinas e voçorocas, bem como alterações no regime hidrológico. É comum verificar-se ao longo de estradas ou de barragens no Estado da Bahia o desenvolvimento destes processos.

### **Risco de Desertificação**

Em algumas regiões do Estado da Bahia, as condições climáticas locais, combinadas com outras variáveis ambientais e características herdadas de sistemas morfogênicos e ecológicos pretéritos, provocam uma tendência à desertificação. Destaca-se aqui a bacia do Rio Macururé, afluente da margem direita do Rio São Francisco, englobado na ecoregião da Caatinga e Pediplano Sertanejo, que constitui uma dessas áreas onde se verifica a acentuação dessa tendência. As enxurradas do período chuvoso, devido às irregularidades das precipitações, atuam sobre o material arenoso pouco espesso, carreando-o e mantendo no local os seixos e matacões. A deficiência de cobertura vegetal é um fator de intensificação dos processos de erosão superficial, carreamento das partículas arenosas, concentração dos elementos grosseiros e uma crescente carência de água no solo, propiciando a intensificação dos processos que podem culminar com a desertificação.

Uma das grandes extensões territoriais do nordeste do Estado da Bahia considerada como uma área ainda instável, predisposta a mudança de condições que podem levá-la à desertificação é o Raso da Catarina (RadamBrasil, 1983). Embora este problema ainda não tenha sido constatado, as probabilidades do seu aparecimento são reais, a depender da continuação de práticas não conservacionistas que possam alterar a cobertura vegetal primitiva. Nesta área, o material arenoso de cobertura é espesso e permeável, porém o regime pluviométrico é bastante irregular e a evaporação muito significativa. Até aqui a vegetação local tem sido mantida graças às águas freáticas. No entanto alterações produzidas por excesso de bombeamento do aquífero pode conduzir ao desequilíbrio do ecossistema.

### **Dissecação Anômala**

Segundo estudos do Radambrasil (1983), os processos erosivos que controlam as feições de detalhe do relevo também determinam áreas instáveis na ecoregião da Caatinga do Estado da Bahia. Tais áreas situam-se nas Bacias do Recôncavo e Tucano, e na média bacia dos rios Vaza-Barris e Itapicuru, principalmente na área cortada pelo riacho Maçacara, afluente da margem esquerda do rio Itapicuru. As lineações estruturais, como locais de fraqueza das rochas, são os pontos de partida para a incisão da rede de drenagem. Este fato, associado à friabilidade dos sedimentos e ao aumento do gradiente dos rios, facilita a ação das enxurradas, provocando fenômenos de ravinamentos e voçorocamentos. Como nessas regiões as chuvas ocorrem concentradas em alguns meses do ano, após um longo período de seca, nessas ocasiões os processos erosivos são acelerados, removendo as coberturas do solo, produzindo cicatrizes que caracterizam a atuação desses processos, recuando as escarpas, principalmente nas bordas dos tabuleiros ou mesmo nas áreas de cabeceiras de drenagem. À medida que se ampliar a ocupação pelo homem, as ravinas e voçorocas tenderão a aumentar. Tais ações erosivas, anômalas e naturais desencadeiam o rompimento do equilíbrio ambiental será tanto mais nocivo quanto maior for a ação antrópica no ambiente.

Observações de campo do Radambrasil (1983) mostraram que nas proximidades da cidade de Cícero Dantas as laterais das estradas são predispostas ao desenvolvimento das voçorocas. O risco de destruição dessas estradas é enorme, tendo em vista a aceleração dos processos erosivos por ocasião das chuvas. Em outros casos, é a própria consistência dos materiais alterados que predispõe o relevo a fluir gerando problemas de solifluxão dos leitos das estradas, dificultando sua manutenção. Isto ocorre nitidamente ao longo da BR-116 que liga Tucano a Euclides da Cunha, no contato entre formações da Bacia do Recôncavo- Tucano, conforme observado por Radambrasil (1983).

### **Assoreamento de Represas**

A principal rede de drenagem do Estado da Bahia está relacionada com a bacia do Rio São Francisco, bem como com as bacias dos rios Itapicuru, Vaza-Barris, Paraguaçu, Contas e outros. O Rio São Francisco carrega considerável quantidade de material em suspensão além do que recebe de um número elevado de afluentes provenientes de ambas as margens que também contribuem para aumentar a sua carga sólida. Por exemplo, na área que corresponde à represa de Sobradinho, o Rio São Francisco recebe afluentes, pela



margem esquerda, que banham os Patamares Periféricos, ecoregião das Florestas Secas do Nordeste e, pela margem direita, afluentes provenientes dos blocos Planálticos Setentrionais, e ecoregião da Chapada Diamantina. Como são áreas elevadas, estas são provedoras de material sólido que é transportado pelos rios e depositado nas águas calmas das represas. O transporte se faz temporariamente, pois a maioria dos rios tem cursos intermitentes e, somente por ocasião das chuvas torrenciais, aumenta a contribuição do material. Portanto, é um problema que apresenta conexão com a dinâmica atual das áreas submetidas à semi-aridez e que apresentam vegetação rarefeita. O avanço do assoreamento nesses grandes reservatórios de água é ainda mais agravado pela remoção das matas ciliares nas cabeceiras fluviais e principalmente no reservatório ficando desprovido do revestimento florestal adequado que serve de obstáculo. Esse efeito se verifica na maioria dos cursos d'água do Estado.

### **Expansão de Centros Urbanos**

A expansão de centros urbanos frequentemente busca no relevo características de desnível em relação ao nível do mar ou rio, com a finalidade de facilitar a construção de obras de infra-estrutura urbana, tais como redes de esgotos e galerias pluviais, sem exigir grandes obras de terraplenagem. Entretanto, como verificado por Radambrasil (1983), nem sempre é assim, e o problema topográfico existe em quase todas as cidades do Estado da Bahia. O sítio urbano da cidade de Salvador, por exemplo, vem utilizando áreas desfavoráveis para a sua expansão, principalmente nas encostas, aonde sérios problemas de estabilidade dos taludes vêm ocorrendo em épocas de intensa pluviosidade. O excesso de umidade do terreno diminui a coesão do solo levando a escorregamentos constantes.

### **2.9. Aquíferos do Estado da Bahia**

Um estudo de natureza abrangente, conduzido para desenvolver e sistematizar os conhecimentos hidrogeológicos no Nordeste Brasileiro foi realizado pela extinta Sudene, nas décadas de 1960 a 1970. Este estudo, "Levantamento Hidrogeológico Básico do Nordeste", fez o mapeamento hidrogeológico em escala regionalizada de 1:500.000. Conquanto o esforço para o mapeamento dos mananciais subterrâneos, tenha sido importante, salvo iniciativas isoladas, o mesmo remonta a mais de 30 anos atrás. Desta iniciativa da Sudene, aos dias atuais, o conhecimento hidrogeológico no Estado da Bahia evoluiu lentamente, sem planejamento, atendendo basicamente às demandas dos anos de estiagem. Iniciativas de estudos localizados foram promovidas pela UFBA, e diagnósticos

de bacias hidrográficas, foram patrocinados por órgãos públicos incluindo-se estudos hidrogeológicos. Tais estudos de bacias, cujo recorte é inadequado para estudos hidrogeológicos foram, além disso, embasados em dados secundários gerados por empresas de perfuração de poços tubulares principalmente a CERB e pelo acervo produzido pela pesquisa petrolífera, especialmente nas bacias do Recôncavo e Tucano.

A Companhia de Engenharia Rural da Bahia, CERB, empresa estatal fundada em 1971, é o principal órgão de fomento à perfuração e distribuição de água dos mananciais subterrâneos. Possui um enorme acervo de dados sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos do Estado da Bahia, bem como de pessoal técnico qualificado em estudos, projetos e construção de poços tubulares profundos.

A exploração das águas subterrâneas do Estado da Bahia vem sendo feita por cerca de 16.000 poços tubulares em sua grande maioria perfurados para abastecimento rural, para implantação de sistemas simplificados de abastecimento de água potável para as pequenas comunidades rurais principalmente no nordeste semi-árido. Tais sistemas de abastecimento de água, geralmente de pequeno a médio porte vêm sendo construídos em grande quantidade e financiados pelo Poder Público, através de recursos do Governo Estadual e Federal.

Uma grande quantidade de programas governamentais de combate às secas, muitos de caráter emergencial, tem sido responsável pela ampliação das captações de águas subterrâneas, ampliando, conseqüentemente, o conhecimento sobre os recursos hídricos subterrâneos: no entanto, esta exploração é ainda carente de ordenamento jurídico e planejamento ambiental adequado.

Importante contribuição ao conhecimento da hidrogeologia do Estado da Bahia vem sendo oferecida por pesquisadores da Universidade Federal da Bahia através do Centro de Pesquisa em Geologia e Geofísica (CPGG/UFBA) do Instituto de Física e Instituto de Geociências; em trabalhos de cunho científico publicados em Anais de Congressos, Revistas Especializadas e Teses de Mestrado e Doutorado. Alguns destes trabalhos na área de geofísica e hidrogeologia serão sumarizados abaixo:

Na *Bacia do Tucano*, especificamente na Formação Sergi, foram determinadas as propriedades hidrodinâmicas e realizados estudos geofísicos numa área experimental na região de Cocorobó-Bahia, visando o armazenamento subterrâneo de água por Lima & Dias (1979, 1980), enquanto Cerqueira Neto & Lima (1989) estabeleceram um referencial sistêmico para entender a hidrodinâmica da injeção de água neste mesmo reservatório subterrâneo.

Para avançar no entendimento da questão da salinização de água subterrânea de aquíferos das bacias do Recôncavo e Tucano, trabalhos de Lima (1983, 1993), Oliveira & Lima, (1986) e Gomes & Lima, (2003), utilizaram-se métodos geofísicos elétricos em sondagens elétricas verticais bem como resultados de sondagens geofísicas em poços profundos da Petrobrás. Uma possível explicação para a salinização das águas, distintas diferenciadamente por blocos estruturais, reside na aplicação de conceitos de filtração de membrana.

A questão da contaminação dos aquíferos da *Bacia Sedimentar do Recôncavo* (Marizal-São Sebastião), na área de captação do Centro Industrial de Aratu-CIA e Pólo Petroquímico de Camaçari, foi estudada por Lima & Ribeiro (1982) e Lima & Miranda, (1988) que também realizaram a caracterização hidrogeológica desses aquíferos; enquanto Lima & Porsani (1994) realizaram o monitoramento geofísico da contaminação aquífera no Pólo. A revisão desse estudos resultou que, em 1999, Lima apresentou tese sobre a caracterização hidráulica e padrões de poluição no aquífero Recôncavo na Região de Camaçari - Dias D'Ávila. Já em 2003, Palma & Lima realizaram a avaliação geofísica detalhada da pluma de contaminação no aquífero da região da Carafba Metais, na área do Pólo. Aspectos relativos à datação e circulação da água no aquífero São Sebastião foram abordados por Leão & Azevedo, 2003; Azevedo & Leão, 2000; Azevedo *et al.*, 1991.

Os aquíferos da Bacia do *Extremo Sul* têm sido pouco estudados devido, certamente, à abundância de águas superficiais daquela região. No entanto existe o trabalho de Lima & Macedo (1983) estudaram problemas relativos à penetração de água salgada nos aquíferos costeiros da região de Caravelas-Alcobaça através de prospecção elétrica. Dos poucos estudos existentes na região do *Aquífero Urucuia*, importante trabalho foi realizado por Azevedo *et al.* (2003) abordando a análise de isótopos ambientais em águas superficiais e subterrâneas na sub-bacia do rio das Fêmeas. E, em trabalho realizado por Nascimento & Lima (2003) foi testada a validade de um modelo geoeletrico na mesma bacia do rio das Fêmeas, onde foram realizados estudos para a construção de hidrelétricas. Recentemente uma grande quantidade de trabalhos tem sido realizada no Instituto de Geociências, com o objetivo de estudar os importantes *Aquíferos Cársticos* existentes no Estado da Bahia. Vários trabalhos se referem à região do platô de Irecê, onde se encontra o aquífero cárstico mais importante do Estado. Entre outros encontram-se os trabalhos de Araújo *et al.* (2004); Luz *et al.* (2004a, 2004b, 2006) e Leal *et al.* (2006). Recentemente, Ramos *et al.* (2007) publicou um trabalho sobre a variação

temporal do nível freático do aquífero cárstico da região de Irecê, como uma contribuição para uso e gestão das águas subterrâneas no semi-árido.

O segundo aquífero cárstico mais importante da região semi-árida do Estado é o aquífero da região do Rio Salitre sobre o qual foram publicados vários trabalhos de caracterização geológica e geofísica por Ribeiro & Leal, (2004) e Lima *et al.* (2005); além de trabalhos de caracterização hidroquímica e ambiental realizados por Leal *et al.* (2004) e Luciano & Leal (2005). Lima (2003) apresenta uma revisão das características dos geosistemas aquíferos do Estado da Bahia e dos seus recursos hídricos.

Quanto à contaminação do aquífero nos sedimentos de *Cobertura Profunda da Formação Barreiras*, importantes trabalhos têm sido realizados sobre a poluição de aquíferos no âmbito do Instituto de Geociências Cavalcanti *et al.* (2001) e a aplicação métodos geofísicos elétricos no estudo da hidrologia subterrânea do Aterro Metropolitano de Salvador, Bahia.

Trabalhos como os de Nascimento e Guerra (1999) realizaram o diagnóstico do grau de comprometimento da água do aquífero freático que recobre o *Embasamento Cristalino* do Município de Salvador, causado por vazamentos em postos de gasolina. Medeiros & Lima, (1990) realizaram a investigação geofísica das águas subterrâneas dos terrenos cristalinos da região central do Estado da Bahia.

Estudos sobre a poluição de aquíferos sedimentares e fissurais têm sido realizados abordando a infiltração de chorume, proveniente de aterros metropolitanos, onde são determinadas as características hidroquímicas das águas dos aterros e o grau de contaminação dos aquíferos subjacentes Santos *et al.* (2003), bem como a caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana (Leal *et al.*, 2004). A caracterização da contaminação por chorume do aquífero fissural na área do aterro municipal da cidade de Feira de Santana foi realizada por Santos *et al.* (2005) Leal & Santos (2007).

Estudos de Fontes Naturais: Na área de caracterização e estudos de fontes naturais de água subterrânea no Estado aparecem os trabalhos recentes de Lima *et al.* (2002, 2003) onde são feitos estudos, caracterização hidrogeológica e ambiental das fontes naturais da cidade de Salvador, Bahia.

Estudos Geofísicos e Isotópicos: Os principais trabalhos de datação isotópica de águas pluviais e subterrâneas têm sido realizados no âmbito do Instituto de Física da UFBA. Esses trabalhos estão sendo desenvolvidos, principalmente sob a liderança do Prof.

Antonio Expedito G. Azevedo, tais como: a caracterização isotópica das precipitações e de águas subterrâneas da *Bacia de Tucano* e estudos do Radônio-222 e Rádío-226 em águas subterrâneas do Estado da Bahia.

### **O Mapa Hidrogeológico do Estado da Bahia**

O primeiro esboço do atual *Mapa Hidrogeológico do Estado da Bahia* elaborado por Cunha *et al.* (1986), teve como base o acervo técnico, o banco de dados de poços tubulares da CERB e o trabalho, denominado Províncias Hidrogeológicas da Bahia (Neves & Filho, 1972). A seguir, Guerra & Negrão (1996) publicaram um trabalho de síntese sobre as águas subterrâneas no Estado denominado: “Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia”. Neste trabalho foi analisada a influência da geologia, do fator climático e precipitação pluviométrica, no comportamento dos reservatórios aquíferos e suas características dominantes utilizando-se 2.156 poços tubulares, provenientes do Banco de Dados Hidrogeológicos da CERB. A partir daí foi possível a caracterização de cada domínio, analisando-se os parâmetros profundidade, vazão, cloretos e sólidos totais dissolvidos (STD). Com base nesses estudos foram definidos quatro grandes domínios hidrogeológicos no Estado da Bahia: o Embasamento Cristalino, os Metassedimentos, os Cárstes e as Bacias Sedimentares, com vistas à composição do Mapa Hidrogeológico do Estado. Foram definidos para cada domínio, os valores médios dos parâmetros e suas amplitudes de variação e distribuição por classes. Esse trabalho foi concluído com a composição do Mapa dos Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia.

Baseado no trabalho de Guerra & Negrão (1996), a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, através do Plano estadual de Recursos Hídricos – PERH - BA, publicou o Mapa Hidrogeológico do Estado da Bahia, georeferenciado, com recursos do Programa ARCGIS (Bahia, 2003).

O mapa hidrogeológico, publicado em 2003 tem base nas mesmas premissas do mapa de 1996, porem com outras subdivisões e acréscimos de novas zonas aquíferas, tais como, os aquíferos de coberturas rasas e coberturas profundas sendo este último, acrescido da Formação Vazantes que margeia o rio São Francisco. E, no extremo sul do Estado, estão também representados os prolongamento da bacia sedimentar do Recôncavo entre os municípios de Prado e Teixeira de Freitas, denominados Bacia sedimentar Extremo Sul.

Na figura 18 está apresentada a descrição dos aquíferos do Estado da Bahia segundo Guerra & Negrão (1996), conforme consta no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (Bahia, 2003).

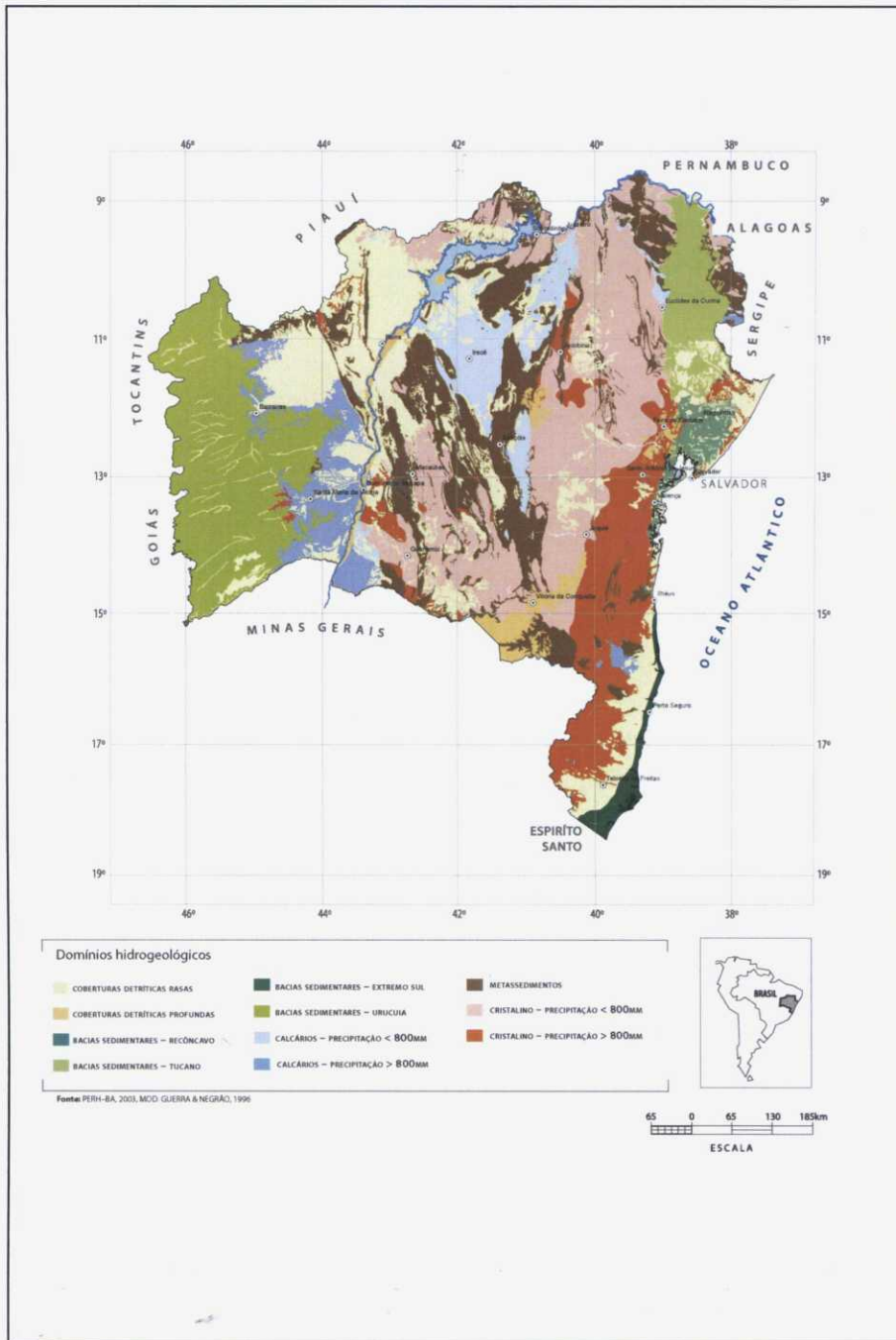


Figura 18. Mapa Hidrogeológico do Estado da Bahia.

### **Aqüíferos Sedimentares**

Os aquíferos sedimentares são reservatórios de águas subterrâneas de porosidade granular ou intersticial, estando englobadas nesta categoria as areias de dunas litorâneas as coberturas sedimentares, os depósitos terció-quadernários das Formações Barreiras e Vazantes, e as bacias sedimentares do Recôncavo-Tucano, Extremo Sul e Urucuia.

O domínio das bacias sedimentares ocupa uma área de aproximadamente 115.081 km<sup>2</sup>, correspondendo a 20% da área do Estado onde ocorrem formações geológicas de grande porte e condições de permo-porosidade adequadas para armazenarem grandes reservas de águas subterrâneas. É representado pelas bacias sedimentares do Recôncavo, Tucano, Extremo Sul e Urucuia, as quais se situam predominantemente em faixas de isoietas acima de 800 mm/ano excetuando-se a bacia de Tucano que tem sua maior parte inserida na faixa de isoietas abaixo de 800 mm/ano.

É importante destacar que o nível de conhecimento hidrogeológico nestes domínios é ainda insatisfatório, por falta de investimentos em levantamentos básicos, no entanto, as informações, mesmo limitadas apontam para a existência de grandes reservas de água subterrânea nas bacias sedimentares, com capacidade para viabilizar grandes projetos de abastecimento humano, industrial ou mesmo de irrigação.

As várias coberturas sedimentares e bacias, que compõem os aquíferos, serão abordadas de maneira individualizada, em decorrência do posicionamento geográfico e estratigráfico, especificidades geológicas e condições climáticas.

### **Aquífero das Coberturas Rasas**

Cerca de 73.556 km<sup>2</sup> da área do Estado da Bahia acha-se coberta por depósitos detríticos vários como areias de dunas, aluviões, depósitos Barreiras e outros. São aquíferos que, em situações favoráveis, podem armazenar boa quantidade de água. Em geral são de espessuras reduzidas e, neste caso, se prestam às captações do tipo artesanais como cacimbas, poços amazonas, poços ponteiras, poços com drenos radiais, trincheiras filtrantes, barragens subterrâneas, e outras. São reservatórios normalmente recarregados por águas pluviais ou indiretamente pela descarga dos riachos. São de grande utilização em regiões semi-áridas, pobres em recursos hídricos superficiais ou mesmo subterrâneo. São aquíferos de vulnerabilidade alta a média justamente por se encontrarem próximos à superfície. Das estruturas de captação indicadas para este tipo de aquífero, a barragem

subterrânea é sem dúvida a mais interessante por reter as perdas de água por circulação efluente, entretanto requer estudos de locação e implantação e trabalhadores orientados por técnicos da área de hidrogeologia. A utilização deste tipo de estrutura não tem sido comum no Estado da Bahia, por falta de planejamento estratégico.

#### **Aquífero das Coberturas Profundas e Formação Vazantes**

As chamadas Coberturas Profundas recobrem 14.717 km<sup>2</sup> do Estado e se acham disseminadas por várias regiões. A Formação Vazantes é representada por uma espessa camada detrítica depositada nas margens do São Francisco na qual se verifica o armazenamento de consideráveis quantidades de água subterrânea. As coberturas profundas, do ponto de vista geológico, não fazem parte das bacias sedimentares, mas se comportam hidrogeologicamente como aquíferos sedimentares, permitindo a captação através de poços tubulares convencionais. Suas áreas foram localizadas e computadas de maneira aproximada, de acordo com as informações dos mapas geológicos disponíveis e das informações de poços tubulares perfurados nestas litologias. Diferenciam-se das coberturas rasas pelo tipo de captação possível através de poços tubulares profundos, que podem atingir mais de 50 metros, com vazões de até 90 m<sup>3</sup>/h.

Dados de 95 poços cadastrados nesta unidade serviram de base para a construção da Tabela 4, onde são apresentados alguns parâmetros hidráulicos e seu comportamento com a profundidade.

Tabela 4. Características do poços do Aquífero Coberturas Profundas-Vazantes.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	30,0	38,27	87,2
NE (m)	0,98	9,94	43,0
ND (m)	1,76	24,08	65,1
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	0,11	11,45	90,0
Cloretos (mg/L)	8,00	73,84	676,00
Dureza Total (mg/L)	6,00	52,01	545,00
Nitratos (mg/L)	0,00	2,01	18,73
Sólidos Tot. (mg/L)	30,00	285,51	1490,00

De uma maneira geral as águas desses reservatórios são de boa qualidade química, embora devido à sua elevada porosidade e por serem aquíferos livres estejam em posição de vulnerabilidade média a alta.



### **Aqüíferos da Bacia do Recôncavo**

A Bacia do Recôncavo com cerca de 10.500 km<sup>2</sup> de área, tem em sua base, como aquífero significativo os arenitos da Formação Sergi e o sistema aquífero superior, representado pela seqüência das formações São Sebastião e Marizal. As demais formações da seqüência sedimentar, formações Aliança, Candeias e Grupo Ilhas, são essencialmente argilosas e desfavoráveis ao armazenamento e produção de água subterrânea. No entanto a formação Aliança, em seu membro arenoso denominado arenito Boipeba, quando próximo às suas áreas de exposição produz alguma água subterrânea.

A Formação Sergi, constituída essencialmente de arenitos possui espessura média de 200 m, e aflora em uma estreita faixa, na borda Oeste da bacia do Recôncavo, orientada aproximadamente no sentido Norte/Sul, com mergulho para Leste, interior da bacia. Esses arenitos podem produzir próximo às suas áreas aflorantes, água subterrânea de boa qualidade. Entretanto, sua estreita faixa aflorante, aliada ao seu posicionamento estratigráfico, entre formações essencialmente argilosas, limitam a sua recarga às áreas aflorantes, sem grandes possibilidades de recarga pelas formações encaixantes. Nessa formação, poços perfurados pela CERB visando o abastecimento de algumas comunidades urbanas situadas ao longo de suas áreas de exposição, revelaram vazões variáveis e relativamente baixas para aquíferos sedimentares. Conquanto suas águas fossem consideradas de boa qualidade química, informações reveladas através de perfis geofísicos de poços perfurados pela Petrobrás, mostraram uma tendência de aumento da salinização em profundidade, o que limita ainda mais as possibilidades desta formação como aquífero. Os únicos parâmetros hidrogeológicos conhecidos nesta formação foram obtidos através de ensaios de vazão realizados pela CERB, na Ilha de Matarandiba, revelando os quais são: transmissividade,  $T = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  e coeficiente de armazenamento,  $S = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

### **Aquífero São Sebastião-Marizal**

No topo da seqüência sedimentar do Recôncavo ocorre a Formação São Sebastião recoberta em grande parte por sedimentos arenosos da Formação Marizal. Este pacote sedimentar, aqui denominado, *Aquífero São Sebastião-Marizal*, aflora em mais de 50% da área da bacia, aproximadamente 5.572 km<sup>2</sup>. Na Bacia do Recôncavo as reservas de água subterrânea estão concentradas no sistema aquífero superior, representado pelas Formações São Sebastião-Marizal. A Formação São Sebastião é constituída por uma

seqüência de arenitos e folhelhos intercalados que em conjunto com os sedimentos da Formação Marizal forma um sistema aquífero de grande porte com excepcionais condições de armazenamento e recarga, e espessura variável ao longo da bacia. A partir das áreas aflorantes, apresenta-se saturado com água doce (informações obtidas através de perfis de poços da Petrobrás, de água doce até a profundidade de 1.525 m, na área do Pólo Petroquímico de Camaçari, (Poço 1-FM – A), e 1.468 m no Baixo de Alagoinhas, (Poço NAR-1). Entretanto, mais para o centro da bacia em áreas mais próximas do contato com o Grupo Ilhas subjacente, a transição água doce água salgada ocorre a menor profundidade. Através da análise dos perfis de 169 poços da Petrobrás, distribuídos pela área de exposição do Sistema Aquífero, São Sebastião-Marizal foi possível estimar uma espessura média da zona portadora de água doce de 698,0 m a partir da superfície do terreno. Desta espessura, abatendo-se o NE médio da área, 10,27 m e a argilosidade média, representada pelas intercalações de camadas de folhelhos e argilas, ( $\pm 30\%$ ), teríamos uma espessura útil média saturada de aproximadamente 478 m. Próximos à área de Camaçari, município da região metropolitana de Salvador, capital do Estado da Bahia, os parâmetros hidrogeológicos, transmissividade, condutividade e coeficiente de armazenamento, indicaram os seguintes valores médios: transmissividade,  $T = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ; permeabilidade,  $K = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  e coeficiente de armazenamento,  $S = 2,0 \cdot 10^{-4}$ .

O modelo conceitual do sistema São Sebastião-Marizal é de um aquífero superficialmente livre, passando gradativamente em profundidade a semi-confinado e a confinado, com suas águas fluindo regionalmente para Leste, no sentido do mergulho das camadas, contra o plano da Falha de Salvador. Esta configuração é responsável por uma extensa faixa de exudação ao longo da borda Leste da bacia, zona do plano de falha, com suas águas contribuindo para a descarga de base da rede de drenagem e participando de uma intensa evapotranspiração.

O sistema aquífero, por possuir águas de excelente qualidade química e pela grande capacidade de produção de seus poços, vem sendo largamente explorado para o abastecimento dos centros urbanos mais próximos: pelas indústrias engarrafadoras de água mineral, pelas indústrias localizadas no pólo industrial de Camacari e por termoelétricas em fase de instalação. Historicamente, a captação através de poços tubulares tem evoluído ao longo do tempo, visando acompanhar a crescente demanda. Assim, até o início da década de 70, os poços raramente ultrapassavam 100 m de profundidade. Atualmente, entretanto, acompanhando a evolução das demandas e dos equipamentos de perfuração, já

se constroem poços com até 420 m de profundidade, com vazões superiores a 350 m<sup>3</sup>/h. As tabelas 5, 6 e 7, mostram os valores médios dos principais parâmetros hidrogeológicos desse sistema aquífero.

Tabela 5. Características do poços de profundidade entre 0 e 100 m.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	9,0	62,57	100,0
NE (m)	0,55	10,27	52,70
ND (m)	1,64	28,87	77,77
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	0,61	18,48	158,0
Cloretos (mg/L)	7,0	84,44	2.050
Dureza Total (mg/L)	1,0	85,70	1.250
Nitratos (mg/L)	0,0	0,19	4,55
Sólidos Tot. (mg/L)	36,0	285,16	3.838

Tabela 6. Características do poços de profundidade entre 100 e 250m.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	101,0	162,36	250,0
NE (m)	0,0	13,51	82,68
ND (m)	9,8	47,84	134,44
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	0,80	51,09	198,0
Cloretos (mg/L)	6,0	51,20	1.490,0
Dureza Total (mg/L)	4,0	42,59	623,0
Nitratos (mg/L)	0,0	0,02	0,43
Sólidos Tot. (mg/L)	28,0	180,64	2.872,0

Tabela 7. Características do poços de profundidade acima de 250m.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	252,0	315,7	420,0
NE (m)	0,0	21,50	69,99
ND (m)	15,0	61,64	144,11
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	19,29	144,61	317,91
Cloretos (mg/L)	9,0	50,94	184,0
Dureza Total (mg/L)	8,0	64,18	174,0
Nitratos (mg/L)	0,0	0,07	0,56
Sólidos Tot. (mg/L)	40,0	237,0	762,0

Na Bacia do Recôncavo o Sistema aquífero São Sebastião-Marizal pelo grande volume de água explotada na região do Pólo Petroquímico de Camaçari é, sem dúvida, o mais explorado no Estado da Bahia. Dados levantados junto à Central de Efluentes Líquidos do Pólo Petroquímico de Camaçari, indicam que existem atualmente na área do

Pólo, cerca de 125 poços em operação, extraindo do aquífero um volume de água de aproximadamente 6.670.382 m<sup>3</sup>/mensais (2,5 m<sup>3</sup>/s). Destes, 1.457.235 m<sup>3</sup>/mês (0,5 m<sup>3</sup>/s) se destinam ao abastecimento público através dos sistemas de abastecimento operados pela EMBASA (Empresa Baiana de Águas e Saneamento Básico). O maior percentual, 5.184.730 m<sup>3</sup>/mês (2,0 m<sup>3</sup>/s), é utilizado pelas indústrias do Pólo Petroquímico e adjacências, incluindo-se aí o consumo das indústrias de águas minerais.

Uma das características do Sistema S. Sebastião-Marizal na bacia do Recôncavo é sua extensa área de recarga que aflora em superfície recoberta por solos de constituição arenosa a areno-argilosa, bastante permeável e conseqüentemente de elevada vulnerabilidade para os níveis aquíferos mais rasos, de comportamento livre. Esta vulnerabilidade diminui à medida que se atingem os níveis mais profundos de comportamento semi-confinado a confinado. A presença de fontes potencialmente poluidoras, localizadas sobre o Sistema S. Sebastião-Marizal na bacia do Recôncavo, tornam elevados os riscos de contaminação do aquífero, tendo-se como principais fontes potenciais de contaminação: o complexo de indústrias representado pelo Pólo Petroquímico de Camaçari e sua Central de Tratamento de Efluentes-Cetrel, indústrias outras isoladas, as atividades petrolíferas, os lixões e aterros sanitários dos centros urbanos, os sistemas de esgotamento das cidades, os postos de combustíveis e outras fontes menores. Atualmente, já se verifica a ocorrência de plumas de contaminação do aquífero freático por efluentes industriais (Lima & Miranda, 1988) e indícios de contaminação pontual em poços de Empresas engarrafadoras de águas minerais (Araújo, 2007).

Quanto à gestão dos recursos hídricos na área do Pólo Petroquímico se pode observar que ocorre certo contra-senso. As águas subterrâneas de qualidade superior e custos de produção inferior às águas superficiais que deveriam ter um destino mais nobre e prioritário, qual seja, o abastecimento humano, são prioritariamente fornecidas ao pólo Industrial.

A escolha locacional do Pólo Industrial de Camaçari, sobre um aquífero de alta qualidade e produtividade e sua implantação em 1975 baseadas em fatores estratégicos e econômicos, certamente resultou de erros de avaliação dos administradores do passado, ou mesmo falta de preocupação ambiental. Permitindo a implantação do Pólo Petroquímico de Camaçari, exatamente em cima das áreas vulneráveis do aquífero Marizal/São Sebastião. A partir de então, grandes cargas poluidoras foram lançadas sobre a superfície do terreno atingindo rapidamente os níveis freáticos do aquífero.

Esta destinação é equívoca, especialmente quando existem mananciais superficiais em condições de suprir a demanda da área industrial, como é o caso da Região Metropolitana de Salvador, onde se inclui o Pólo Petroquímico e existem várias barragens, utilizadas pela Embasa, para abastecimento público.

Por delegação do Conselho Estadual de Proteção do Meio Ambiente (Resolução CEPRAM-620, de 21/07/92), a CETREL, empresa mantida pelas indústrias do Pólo Petroquímico, ficou responsável pela gestão ambiental e gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos na região. Assim, a partir de 1992, uma série de ações, exigidas pela CRA (Coordenação de Recursos Ambientais do Estado da Bahia), com vistas à prevenção, remediação e melhoria dos conhecimentos específicos do aquífero foram adotadas, como por exemplo: ações junto às indústrias visando à eliminação e controle de fontes primárias e secundárias de emissão de poluentes; implantação e operação de uma rede de poços de monitoramento; execução do mapa de isopiezas e fluxo com ajustes periódicos; estabelecimento de normas e medidas disciplinadoras como a proibição de construção de novos poços dentro do perímetro do Pólo; limitação de rebaixamento dos níveis hidrostáticos nos limites do Pólo, com rebaixamentos máximos de 80 metros; implantação e operação de uma barreira hidráulica visando à contensão e captura da pluma de contaminação oriunda da área industrial; implantação de um modelo matemático de gestão do aquífero.

Nos dias atuais, em decorrência de uma melhor conscientização por parte dos industriais, pela presença das entidades ambientalistas, pela influência dos certificados ambientais e instrumentos de creditação de qualidade como as ISO 14000 e por pressões externas, tem-se avançado nas práticas conservacionistas, tecnologias mais limpas e melhorias de processos e ações corretivas para minimizar os danos já causados. Dentre tais ações, pode-se destacar a barreira hidráulica que é operada pela CETREL. A obra é composta por 18 poços tubulares, com profundidade média de 50 m, localizados à jusante das principais linhas de fluxo que passa pela área mais contaminada do Pólo, de forma a interceptar e conter a pluma de contaminação originada a partir da infiltração de contaminantes. Assim, além de tentar impedir a propagação dos contaminantes para áreas mais distantes do aquífero, a água bombeada carregada de contaminantes retirados do meio aquífero é levada à estação de tratamento da CETREL. Através de projetos de cooperação científica entre as empresas do Pólo e a Universidade Federal da Bahia estudase a reutilização dessa água, em processos industriais, cuja exigência de qualidade

da água seja menor e compatível com a qualidade da água verificada (Kiperstok *et al.*, 2003).

### **Aqüíferos da Bacia de Tucano**

A Bacia Sedimentar de Tucano tem cerca de 30.000 km<sup>2</sup> de área, subdividida em 3 sub-bacias distintas: Tucano Sul, Tucano Central e Tucano Norte, totalmente inserida na Região Nordeste do estado da Bahia, sob regime climático semi-árido e pobre em recursos hídricos superficiais. Os principais reservatórios de águas subterrâneas desta bacia são os seguintes pacotes sedimentares: Formação Marizal e Grupo Massacará; Grupo Ilhas; Formação Sergi e Formação Aliança. Estes aquíferos ou sistemas aquíferos possuem a seguinte ordem de importância: Aquífero Marizal-Massacará; Aquífero Ilhas e Aquífero Sergi-Aliança.

Um dos trabalhos importantes, de cunho hidrogeológico, abrangendo toda área da Bacia de Tucano, foi realizado pela Sudene na década de 1970. Trata-se do Levantamento Hidrogeológico Básico do Nordeste, mapeamento hidrogeológico regionalizado na escala de 1:500.000. Neste já se encontrava informações qualitativas dos vários aquíferos da Bacia, uma piezometria com indicações de fluxo regional, zoneamento de áreas de artezianismo e de níveis profundos. Além deste, outros estudos localizados, com diferentes objetivos, foram realizados. Dentre eles, o Estudo Hidrogeológico para Abastecimento de Serrinha, realizado pela Sudene (Anjos, 1968). Neste, foi realizada uma investigação hidrogeológica, com perfuração de poços e realização de ensaios de vazão para determinação de parâmetros hidrogeológicos, no Grupo Ilhas da região de Biritingas – Tucano Sul. Outro trabalho a ser destacado foi o Levantamento Hidrogeológico básico do Vale do Itapicuru (CERB-DNOCS, 1977). Neste trabalho foi proposto um estudo hidrogeológico no âmbito do Vale do Rio Itapicuru, com finalidade de aproveitamento de águas subterrâneas para fins de irrigação. Este trabalho foi interrompido com a conclusão da primeira fase, tendo como produto mais importante um mapa de piezometria do aquífero livre da área e a perfuração de um poço de estudo com 406 m de profundidade. Recentemente, vem sendo realizado através da CERB, outro estudo de cunho localizado, destinado a oferecer suporte técnico para implantação de poços de grande vazão, no Grupo Ilhas, para suprir a demanda do sistema de abastecimento integrado denominado Projeto Tucano, localizado na região de Euclides da Cunha - Bacia de Tucano Central. Já foi perfurado o primeiro poço destinado à investigação do aquífero na área com a determinação de parâmetros hidrodinâmicos.

A Bacia de Tucano apresenta aspectos litológicos e estruturais de maior ou menor favorabilidade hidrogeológica da quando comparada com a Bacia do Recôncavo: maior teor de areia das Formações ou maior espessura da Formação Marizal sobre o Grupo Massacará. No entanto há registros de surgência de água salinizada em superfície, através de planos de falhas ou de poços mal construídos (poços da localidade de Buri no Município de Cipó); e a presença de níveis hidrostáticos profundos em extensas áreas nos tabuleiros com bolsões de águas salinizadas dentro da Formação Marizal. Esses aspectos, embora conhecidos, não tem sido muito estudados. Sendo assim, o nível de conhecimento hidrogeológico atual da Bacia do Tucano, como um todo pode ser considerado insatisfatório. Por exemplo, ainda não se dispõe de um modelo conceitual global de funcionamento dos vários níveis aquíferos e suas interligações na bacia. As informações originadas quando dos poços para água e produzidas pela pesquisa petrolífera, (mapas geológicos, perfis geofísicos, etc.), de propriedade da Petrobrás, nem sempre são disponibilizados para os pesquisadores de águas subterrâneas.

De maneira diferente do que ocorre na bacia do Recôncavo, na bacia de Tucano, todas as Formações se apresentam com potencial para produzir água subterrânea de boa qualidade, com exceção da Formação Candeias. Além disso, nas formações aquíferas mais importantes, representadas pelos grupos Ilhas e Massacará tem-se uma relação arenito/folhelhos sensivelmente maior do que na Bacia do Recôncavo. Este fato é relacionado ao modelo deposicional, com o predomínio de ambientes de águas mais rasas e maior proximidade das fontes de suprimento de sedimentos na Bacia de Tucano. Temos, por conseguinte, levando-se em consideração as condições favoráveis de armazenamento e a grande extensão territorial da Bacia, certamente uma das maiores reservas de água subterrânea do Estado da Bahia. Contrapondo-se a este fato, a bacia tem um modelo estrutural bastante complexo, entrecortado de falhamentos em blocos, conectando diferentes camadas aquíferas, com níveis de salinização e pressões variáveis. Como se comprova através de perfilagens geofísicas de poços petrolíferos e de estudos desenvolvidos pelo CPPG (Centro de Pesquisa em Geologia e Geofísica da UFBA), é comum os aquíferos na Bacia apresentarem águas salinizadas a partir de certa profundidade. Estas águas chegam a aflorar naturalmente em determinadas áreas, através de planos de falha. Cita-se como exemplo as fontes termais de Cipó, em que águas termais sulfurosas afloram no leito do Rio Itapicuru.

O uso atual das águas subterrâneas da Bacia de Tucano se restringe basicamente, ao abastecimento humano das pequenas comunidades e sedes municipais inseridas no contexto da bacia e das estações hidrominerais de Caldas do Jorro, Jorinho e Cipó, que aproveitam como atrativo turístico as águas termais sulfurosas. A possibilidade de utilização extensiva do grande volume de água armazenado na bacia, através de grandes projetos, exigirá que mais informações sejam acrescentadas aos conhecimentos atuais demandando necessariamente, investimentos na área de estudos e pesquisas de cunho hidrogeológico. Ressalta-se que o modelo hidrogeológico existente no complexo arcabouço estrutural da bacia, com a presença de águas altamente salinizadas em diferentes níveis e profundidades (Andrade & Negrão 1990; Lima, 1993) preconizam que: os aquíferos da Bacia de Tucano são vulneráveis, com elevado risco de contaminação natural entre os níveis de águas doces e águas salinizadas, por vazamento de águas salinizadas dos níveis inferiores através de planos de falha e/ou por filtração induzida por bombeamento de poços perfurados próximos a zonas de falha.

#### **Aquífero Sergi-aliança.**

A formação Sergi e os arenitos do membro Boipeba da Formação Aliança recobrem cerca de 2.080 km<sup>2</sup> da área do Estado da Bahia, restritos à borda Oeste na Sub-bacia de Tucano Sul e Central; e na borda Leste na Sub-bacia de Tucano Norte, onde produzem água subterrânea de boa qualidade e com melhor potencialidade na Bacia de Tucano do que no Recôncavo. Suas reservas, entretanto, são consideradas bastante pequenas se comparadas ao Sistema Marizal-Massacará.

O arenito Sergi pode alcançar na área, espessuras de até 300m com boas características de porosidade e permeabilidade. Os arenitos do membro Boipeba da Formação Aliança têm comportamento similar ao da Formação Sergi, cuja importância se restringe às proximidades de suas áreas aflorantes.

Entretanto, perfis de poços da Petrobras a exemplo do 1-MDS-1, localizado próximo à margem do Rio Itapicuru, na Sub-bacia de Tucano Central, indicou os arenitos Sergi com água doce à 2.578 m de profundidade, o mesmo ocorrendo com o arenito Boipeba da Formação Aliança situado a 2.771 m de profundidade.

Por outro lado, de um modo geral, em decorrência de seu posicionamento estratigráfico entre formações argilosas e de sua estreita faixa de exposição dificultando



sobremaneira suas recargas, constata-se um rápido incremento da salinidade de suas águas com a profundidade no sentido de jusante de seus mergulhos, (Camejo 1965; Muricy, 2001) conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8. Incremento da Salinidade no Aquífero Sergi-Boipeba.

POÇO	Distância dos Afloramentos	NaCl (ppm)
1-NI - 1	4,5 km	562
1-NI - 2	5,5 km	26.680
1-NI - 3	6,5 km	80.400

Os dados da Tabela 9, resumidos a partir do cadastro de 81 poços perfurados neste sistema aquífero, mostram o comportamento das vazões e da qualidade química com a profundidade de suas águas.

Tabela 9. Características dos poços do Aquífero Sergi-Alliança.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	38,00	105,87	208,00
NE (m)	0,00	21,33	91,48
ND (m)	16,26	55,33	130,96
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,57	16,50	198,00
Cloretos (mg/L)	8,00	251,87	3022,00
Dureza Total (mg/L)	8,00	206,31	2137,00
Nitratos (mg/L)	0,00	0,55	8,05
Sólidos Tot. (mg/L)	74,00	725,79	5864,00

A avaliação da reserva do Sistema Aquífero Sergi-Alliança, apesar de ser considerada modesta, mas importante para as águas subterrâneas do Estado, não foi ainda efetuada em decorrência da necessidade de maiores informações.

### Aquífero Ilhas

Os sedimentos do Grupo Ilhas, com uma área de exposição de 2.205 km<sup>2</sup>, têm como característica a alternância de arenitos e folhelhos com expressivas áreas aflorantes. Os arenitos são predominantemente finos a médios sendo sensivelmente mais arenosos quando comparados com a mesma formação na bacia do Recôncavo. Sua espessura pode chegar à casa dos 900 m se constituindo no segundo melhor aquífero da bacia.

O aquífero Ilhas apresenta-se com água salinizada a grande profundidade, como acontece com os demais aquíferos da bacia. Poços com excelentes vazões têm sido

perfurados nesta unidade, especialmente quando perfurados sobre suas áreas aflorantes ou próximo a elas. Poços surgentes com águas termais sulfurosas propiciaram o aparecimento da Estância Hidromineral de Caldas do Jorro/Jorrinho, a exemplo do poço 1-MC-Ba perfurado pelo Conselho Nacional de Petróleo em 1949 e completado para água nos intervalos de 302-462 m e 562-665 m o qual produziu vazão de surgência de 91,5 m<sup>3</sup>/h, com água termal à temperatura de 48°C. Na localidade hoje denominada de Jorrinho, situada a 6 km da cidade de Jorro, outro poço perfurado pelo MME em 1966, com 260m de profundidade, produz até hoje uma vazão de surgência de 30 m<sup>3</sup>/h com água termal sulfurosa com 38°C.

Na região de Biritinga, 9 poços suprem o sistema integrado Serrinha/Coité a uma taxa de 13.457 m<sup>3</sup>/dia. Na região de Euclides da Cunha o primeiro poço perfurado para o sistema integrado do Projeto Tucano, com 420 m de profundidade revelou uma capacidade de produção de mais de 300 m<sup>3</sup>/h com água de excepcional qualidade.

Os parâmetros hidrogeológicos determinados em ensaios realizados em Biritinga (Tucano Sul) e na região de Euclides da Cunha, (Tucano Central), através dos ensaios realizados pelo Projeto Tucano, foram obtidos os seguintes valores médios:

Parâmetros Hidrogeológicos	Transmissividade	Permeabilidade	Coef. Armazenamento
Biritinga (Tucano Sul)	4,8. 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s	1,6. 10 <sup>-5</sup> m/s	1,6. 10 <sup>-2</sup>
E. da Cunha (T. Central),	,71. 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s	2,85. 10 <sup>-5</sup> m/s	1,01. 10 <sup>-5</sup>

A Tabela 10, construída a partir do cadastro de 84 poços mostra o comportamento dos principais parâmetros do aquífero.

Tabela 10. Características dos poços do Aquífero Ilhas.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	30,00	150,47	404,00
NE (m)	0,00	30,54	189,00
ND (m)	6,24	55,00	191,20
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,00	40,05	198,00
Cloretos (mg/L)	15,00	185,97	1985,00
Dureza Total (mg/L)	14,00	151,00	1334,00
Nitratos (mg/L N)	0,00	0,58	18,91
Sólidos Tot. (mg/L)	84,00	581,72	4148,00

#### Aquífero Marizal-Massacará

Os Sedimentos da Formação Marizal recobrem aproximadamente 2/3 da Bacia de Tucano, a maior parte sobre o Grupo Massacará, formando, juntamente com este, um

espesso pacote arenoso que aflora em uma área de aproximadamente 19.815 km<sup>2</sup>, e constitui no Sistema aquífero de maior potencialidade da Bacia. No estabelecimento da espessura útil saturada, para efeito de avaliação, englobou-se no Sistema Marizal-Massarará, o Ilhas Superior. Em verdade esta seqüência, de características litológicas similares ao Massarará, vem sendo cogitada para anexação ao Grupo Massacara como formação individualizada (Muricy, 2001).

O Marizal pode atingir espessuras de 400 m, enquanto o Massarará, nos baixos regionais poderá ultrapassar a casa dos 4.000 m. Este sistema aquífero se apresenta sob a forma de aquífero livre, semiconfinado a francamente confinado devido a intercalações de folhelhos, algumas de expressão regional. Em decorrência ocorrem grandes áreas de artesianismo nos baixos topográficos, como é o caso do vale do rio Itapicuru. Nas áreas de relevo mais acentuado correspondente à ocorrência dos tabuleiros da formação Marizal, as águas possuem níveis hidrostáticos profundos, com profundidades superiores à 200m. Como nos demais aquíferos da bacia, após certa profundidade, as águas costumam apresentar elevada salinidade. Entretanto, esta profundidade, pode ser variável inclusive, por exemplo, pode estar próxima à superfície através de planos de falhas.

Alguns perfis de poços profundos disponíveis, como o 1-MDS-1, situado entre Cipó e Tucano, no Vale do Rio Itapicuru, indicaram água salobra na parte superior da Formação Marizal, (até 190 m), seguindo-se de uma seqüência arenosa, Marizal-Massarará até o início da Formação Ilhas Inferior, com água doce até a profundidade de 2.000 m. O poço 1BH-1-Ba, perfurado pela Petrobrás na localidade de Boa Hora – município de Ribeira do Pombal, iniciado sobre o Marizal, revelou um pacote essencialmente arenoso com água doce até a profundidade 1.600 m.

Os tabuleiros da formação Marizal apesar dos níveis hidrostáticos profundos desempenham uma excelente função de recarga do sistema aquífero propiciada pelos solos arenosos de elevada permeabilidade. As águas deste sistema são consideradas de excepcional qualidade, entretanto, níveis com águas salinizadas podem ocorrer dentro do Marizal, quase sempre associados a ocorrências de evaporitos, comuns nesta formação.

Com base no cadastro de 366 poços, foram confeccionadas as Tabelas 11, 12 e 13, nas quais é mostrada as principais características dos poços perfurados neste Sistema Aquífero e a evolução das vazões com a profundidade.

Tabela 11. Características dos poços com profundidade de 0 a 100 m: Aquífero Marizal/Massacará.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	30,0	76,1	100,0
NE (m)	+3,5	20,1	73,5
ND (m)	2,5	34,5	80,0
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	1,47	17,1	180,0
Cloretos (mg/L)	1,0	141,2	568,0
Dureza Total (mg/L)	6,0	257,2	596,0
Nitratos (mg/L N)	0,0	0,5	6,5
Sólidos Tot. (mg/L)	2,0	513,0	1.900,0

Tabela 12. Características dos poços com profundidade de 100 a 250 m: Aquífero Marizal/Massacará.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	101,0	159,7	250,0
NE (m)	0,0	59,7	170,0
ND (m)	1,5	75,1	196,0
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,99	21,1	131,9
Cloretos (mg/L)	21,0	116,5	498,0
Dureza Total (mg/L)	10,0	148,8	713,0
Nitratos (mg/L N)	0,0	0,94	53,0
Sólidos Tot. (mg/L)	84,0	432,4	2.438,0

Tabela 13. Características dos poços com profundidade acima de 250m: Aquífero Marizal/Massacará.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	251,0	314,3	400,0
NE (m)	4,96	143,8	231,1
ND (m)	31,69	159,6	237,2
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	5,4	34,78	439,9
Cloretos (mg/L)	14,0	70,5	256,0
Dureza Total (mg/L)	0,0	88,8	484,0
Nitratos (mg/L N)	0,0	0,3	2,87
Sólidos Tot. (mg/L)	88,0	284,6	932,0

### Aquífero Urucuia

A Bacia Sedimentar do Urucuia ocorre da divisa dos Estados da Bahia, Goiás e Tocantins e forma, com seus 80.000 km<sup>2</sup> de área, um grande Chapadão suavemente inclinado em direção ao Rio São Francisco. A linha divisória estadual coincide com o divisor de águas superficiais, ficando o divisor das águas subterrâneas deslocado um pouco mais para o Leste. É constituído essencialmente por arenitos finos a médios de coloração avermelhada, com intercalação de siltitos e folhelhos, de idade Cretácea, que

repousam sobre rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí e eventualmente sobre rochas do Embasamento cristalino. Toda região do Chapadão está submetida a um regime climático tropical quente e úmido com taxas pluviométricas variando entre as isoietas de 800 a 1.700 mm/ano, mantendo uma intensa rede de drenagem de padrão retilíneo que corre em direção ao Rio São Francisco, perenizada através da restituição subterrânea. Segundo estudos realizados por técnicos da SRH, na bacia do Rio das Fêmeas a contribuição do fluxo de base para o fluxo total do rio é em média 91,33%, o que representa uma taxa de recarga da ordem de 20% da precipitação média (Pimentel et al., 2002).

Do ponto de vista geológico o aquífero Urucuia ainda é muito pouco estudado, o que por sua vez dificulta o avanço nos conhecimentos de cunho hidrogeológico, como por exemplo, da espessura de sedimentos ainda é desconhecida com precisão e fala-se em espessuras de 400 m ou superiores em determinadas áreas da bacia. Recentemente a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado da Bahia vem desenvolvendo pesquisas nas bacias do Rio dos Cachorros e no Rio das Fêmeas. Onde executou de ensaios de vazão para determinação de parâmetros hidrodinâmicos, aplicação de método geofísico de eletro-resistividade para investigação de subsuperfície e o estabelecimento de mapa de isopiezas e fluxo na bacia do Rio dos Cachorros.

Com os dados do cadastro de 147 poços perfurados na área, em sua maioria nas bacias dos rios dos Cachorros e das Fêmeas foi construída a Tabela 14, que permite visualizar o comportamento dos parâmetros hidráulicos e hidroquímicos dos poços.

Tabela 14. Características dos poços do Aquífero Urucuia.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	10,0	110,7	355,0
NE (m)	0,0	46,7	200,0
ND (m)	6,49	46,21	187,8
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	1,0	43,5	520,0
Cloretos (mg/L)	1,0	37,44	250,0
Dureza Total (mg/L)	1,0	85,0	403
Nitratos (mg/L – N)	0,0	0,52	1,9
Sólidos Tot. (mg/L)	10,0	163,9	1.000,0

O sistema hídrico Urucuia, por sua qualidade e volume de águas subterrâneas armazenadas possui alto grau de importância ecológica, social e econômica, para a região Oeste da Bahia.

### Aqüífero Extremo Sul

A Bacia Sedimentar do Extremo Sul, aqui denominada, Aqüífero Extremo Sul, possui de área de 5.206 km<sup>2</sup> no Estado da Bahia, recoberta superficialmente por extensos terrenos Tercio-quaternários da Formação Barreiras e depósitos costeiros estando submetida a regime climático úmido, com precipitações acima de 1.000 mm/ano. Forma uma estreita faixa litorânea desde Ilhéus até o município de Prado quando se alarga gradativamente até a divisa com o Estado do Espírito Santo.

Sob o ponto de vista hidrogeológico é um aqüífero ainda pouco conhecido. As poucas informações disponíveis são oriundas basicamente dos dados de 58 poços tubulares registrados no cadastro de poços da CERB todos captando água das coberturas Quaternárias e do grupo Barreiras. O poço mais profundo, com 217 m, em São José de Alcobaça, de acordo com da descrição litológica apresentada na ficha de poço da CERB não ultrapassou a cobertura do Grupo Barreiras. Nestas circunstâncias, não se tem conhecimento, até o momento, da realização de ensaio de vazão com vistas ao estabelecimento dos parâmetros hidrodinâmicos desse aqüífero.

A partir do cadastro de 58 poços perfurados na Bacia do Extremo Sul, foi construída a Tabela 15, cujos dados mostram as principais características dos poços.

Tabela 15. Características dos poços do Aqüífero Extremo Sul.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	22,50	93,50	217,30
NE (m)	0,00	11,23	56,60
ND (m)	1,51	33,01	99,61
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	1,11	27,13	198,00
Cloretos (mg/L)	10,00	31,94	222,00
Dureza Total (mg/L)	7,00	58,78	181,00
Nitratos (mg/L N)	0,00	0,15	3,37
Sólidos Tot. (mg/L)	30,00	181,85	480,00

### Aqüíferos Cársticos

Recobrimdo aproximadamente 77.574,5 Km<sup>2</sup>, 13,7 % da área do Estado da Bahia, os aqüíferos cársticos ou cárstico/fissurais são representados no Estado pelas rochas carbonatadas do Grupo Bambuí, que ocorrem predominantemente na bacia do São Francisco, nas regiões da Chapada de Irecê, vale do rio Salitre, vale do Iuíú e Oeste do São Francisco.

Os aquíferos cársticos se diferenciam basicamente dos aquíferos fissurais em decorrência da solubilidade dos calcários que possibilita a formação de formas subterrâneas de espaços vazios típicos como os canais e cavernas, bem como, em muitos casos, a ampliação da rede fissural. Assim tem-se neste tipo litológico a possibilidade de maior permo-porosidade, interferindo diretamente nas condições de recarga e armazenamento. O aquífero resultante é de natureza cárstico-fissural, de elevada heterogeneidade e anisotropia, e profundidade limitada. No caso específico do Estado da Bahia, os aquíferos cársticos têm reservas suficientes para atender as necessidades de abastecimento de pequenas cidades, comunidades rurais, rebanhos e pequenos projetos de irrigação.

As áreas de ocorrência dos carstes, no Estado encontram-se submetidas a regime pluviométrico com precipitações abaixo de 800 mm/ano, na Chapada de Irecê e Vale do Salitre; e acima de 800 mm/ano no Oeste do São Francisco e outras áreas menores. O carste da Chapada de Irecê é sem dúvida o mais bem estudado do Estado da Bahia, porque aí se encontra a maior densidade de poços tubulares do Estado. Assim, levando-se em consideração a influência do regime pluviométrico no desempenho do aquífero, optou-se por dividir o Domínio dos aquíferos cársticos em dois subdomínios, tomando-se como base a isoietas de 800 mm/ano: um sub-domínio com precipitações abaixo de 800 mm/ano e o outro com precipitações acima de 800 mm/ano.

Com referência a salinidade de suas águas, os calcários por serem rochas solúveis imprimem uma forte salinização às águas subterrâneas, com o teor de STD variando em função do índice pluviométrico e refletindo sempre a composição mineralógica da rocha. Essas águas também possuem elevado teor de dureza, predominando, como principal componente, os bicarbonatos de cálcio e magnésio, obedecendo sempre a relação iônica dominante; para o grupo dos ânions,  $r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$  e para o grupo dos cátions  $r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{Na}$  (Guerra, 1986).

#### **Aquífero Cárstico: Precipitações < 800 mm/ano**

Este subsistema é representado no Estado da Bahia, pelas ocorrências do Grupo Bambuí da Chapada de Irecê e Vale do rio Salitre. Possui uma área aproximada de 23.391 km<sup>2</sup>, que abrange 30 % da área do Domínio Calcário e representa 4 % da área do Estado.

Uma das características das regiões cársticas é a deficiência de mananciais superficiais. A rede de drenagem torna-se extremamente rarefeita sendo substituída por

uma drenagem tipicamente subterrânea, daí a grande importância dos mananciais subterrâneos para estas regiões.

A tabela 16 foi construída com dados de 2.111 poços tubulares cadastrados nesse subsistema. Verifica-se nela uma grande amplitude de variação nos valores máximos e mínimos de profundidade, vazões e salinidade das águas dos poços, revelando a baixa uniformidade deste subsistema aquífero.

Tabela 16. Características dos poços do Subsistema Cárstico das Precipitações < 800 mm/ano.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	13,00	93,17	204,00
NE (m)	0,00	19,50	169,20
ND (m)	1,57	42,71	170,00
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,00	9,04	203,00
Cloretos (mg/L)	3,00	324,36	7.950,00
Dureza Total (mg/L)	30,00	792,41	8.900,00
Nitratos (mg/L N)	0,00	10,73	96,74
Sólidos Tot. (mg/L)	86,00	1.324,14	18.586,00

#### **Aquífero Cárstico das Precipitações > 800 mm/ano**

Este Subsistema é representado, no Estado da Bahia, pela ocorrência do Grupo Bambuí do Oeste do São Francisco e por algumas ocorrências cársticas menores, situadas na Chapada Diamantina, perfazendo um total de 54.532 km<sup>2</sup>, ou seja, 69,9 % da área do Domínio Calcário. A diferença básica para o subsistema anterior decorre justamente da maior precipitação pluviométrica sobre a sua área aflorante, resultando em melhor qualidade hidroquímica de suas águas e maior produção dos poços tubulares aí perfurados. Na região Oeste do rio São Francisco, diferentemente das demais ocorrências do Bambuí no Estado da Bahia, o calcário acha-se parcialmente recoberto por sedimentos do arenito do aquífero Urucuia. Esta condição geológica favorece a recarga desse aquífero pela transferência de água dos arenitos para os calcários subjacentes ou através da rede de drenagem que é alimentada diretamente pelos arenitos do aquífero Urucuia cujo fluxo tem direção para a área exposta do Calcário e para o Rio São Francisco.

A Tabela 17 foi construída com base na análise dos 1.168 poços tubulares cadastrados neste Subdomínio, chegando-se aos seguintes resultados:



Tabela 17. Características dos poços do Subsistema Cárstico das Precipitações &gt; 800 mm/ano.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	11,00	96,98	218,00
NE (m)	0,00	23,31	175,30
ND (m)	0,92	44,53	193,30
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,00	9,93	79,20
Cloretos (mg/L)	1,00	86,73	1.498,00
Dureza Total (mg/L)	9,00	369,66	2.121,00
Nitratos (mg/L N)	0,00	2,50	97,47
Sólidos Tot. (mg/L)	42,00	660,92	4.474,00

Comparado-se estes dados com os da Tabela 16, referente ao Subsistema das Precipitações Menores do que 800 mm/ano, vê-se que as vazões médias do subsistema <800 mm/ano é um pouco menor (9,04 m<sup>3</sup>/h), do que no subsistema de maior precipitação. Quanto à qualidade química das águas, o valor de STD médio é de 1.324 mg/l enquanto no subsistema de maior precipitação o STD é de 660,9 mg/l, mostrando a influência das chuvas na diluição dos sais presentes na água subterrânea.

#### **Aqüífero Metassedimentar**

O Aqüífero Metassedimentar é representado por rochas do tipo quartzitos metarenitos, metassiltitos, argilitos e xistos, ocupando aproximadamente 84.330 km<sup>2</sup> ou cerca de 14,8 % da área do Estado da Bahia. Tem sua área de maior representatividade situada na Chapada Diamantina onde formam aqüíferos fissurais livres, rasos e de baixa capacidade de armazenamento. Sua constituição litológica reflete-se diretamente em parâmetros tais como a alta densidade de fraturamento, resultando em aumento da permeabilidade, drenagem subterrânea e taxa de recarga e, conseqüentemente, melhor qualidade química de suas águas do que as águas dos aqüíferos do Embasamento Cristalino. A maior parte deste aqüífero se insere em áreas da Chapada Diamantina com precipitações pluviométricas acima de 800 mm/ano, e características litológicas predominantemente quartzíticas, onde as águas em geral são de baixa salinidade. Apesar da melhor condição de armazenamento, recarga e qualidade de água, suas reservas, são consideradas pequenas, mas, com capacidade para atender demandas de pequenas cidades, rebanhos e comunidades rurais dispersas.

A Tabela 18 resulta do tratamento dos dados de 1.422 poços tubulares cadastrados no Domínio metassedimentar onde se verifica uma melhor média de vazão, comparada com os aquíferos fissurais do Embasamento Cristalino.

Tabela 18. Características dos poços do Aquífero Metassedimentar.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	12,00	85,18	216,00
NE (m)	0,00	12,25	151,50
ND (m)	1,52	45,57	174,00
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,00	6,94	46,44
Cloretos (mg/L)	1,00	317,61	13174,00
Dureza Total (mg/L)	3,00	444,62	14214,00
Nitratos (mg/L N)	0,00	2,62	78,88
Sólidos Tot. (mg/L)	16,00	1016,50	30642,00

No que se refere à qualidade das águas no aquífero metassedimentar 78,6 % das amostras analisadas enquadram-se nos padrões normais de potabilidade para consumo humano.

#### **Aquíferos Cristalinos**

O Sistema Aquífero Cristalino ocupa a maior área territorial, 201.688 km<sup>2</sup> dentre todos os outros sistemas aquíferos representando 35,5% da área do Estado da Bahia. A maior parte do semi-árido baiano se insere neste sistema aquífero, representando a área mais crítica do Estado em termos de carências hídricas, com menores precipitações pluviométricas e conseqüentemente maiores índices de aridez. O aquífero cristalino é composto essencialmente, por granitos, gnaisses, migmatitos e granulitos, formando aquífero de natureza fissural, tendo como característica fundamental sua baixa capacidade de armazenamento e o elevado índice de salinização de suas águas, especialmente quando submetidas a condições climáticas de precipitações pluviométricas inferiores a 800 mm/anuais. Formam aquíferos fissurais livres, de baixa permeabilidade, pouco profundos, cujas recargas se fazem preferencialmente e diretamente pelas precipitações pluviométricas que incidem sobre a área aflorante do aquífero. O fluxo subterrâneo ocorre na rede de fraturas, obedecendo regionalmente às direções preferenciais de fendilhamento do corpo rochoso, com as descargas ocorrendo naturalmente através da rede de drenagem e pelas perdas por evapo-transpiração. Este sistema aquífero ocupa uma extensa área do território baiano, em diferentes situações climáticas, variando do clima úmido ao

extremamente seco. Por isso estabeleceu-se para ele, uma subdivisão em dois subsistemas distintos tomando-se como base a isoietas de 800 mm/ano. Assim, tem-se o Subsistema com precipitações <800 mm/ano e o subsistema, com precipitações >800 mm/ano.

#### Aquífero Cristalino das Precipitações < 800 mm/ano

Este subsistema representa a maior área do Aquífero Cristalino, 125.514 km<sup>2</sup>, compreendendo 62,23% da área do sistema, ou 22,12% da área do Estado da Bahia. Localizam-se aí as áreas de maior carência hídrica do Estado e maior índice de aridez, decorrentes tanto da baixa capacidade de armazenamento de suas rochas, quanto do baixo índice pluviométrico e do elevado índice de evaporação, resultando em elevada salinização de suas águas subterrâneas.

A Tabela 19 apresenta o resultado do tratamento dos dados de 2.533 poços cadastrados neste subdomínio.

Tabela 19. Características dos poços do Aquífero Cristalino das Precipitações < 800 mm/ano.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	10,30	68,70	175,00
NE (m)	0,00	7,30	132,00
ND (m)	1,42	43,71	136,00
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,00	3,41	39,60
Cloretos (mg/L)	1,00	1.817,82	21.500,00
Dureza Total (mg/L)	5,00	1.927,12	20.400,00
Nitratos (mg/L N)	0,00	8,36	186,82
Sólidos Tot. (mg/L)	26,00	4.550,10	47.098,00

Como se pode observar na Tabela 19, a capacidade média de produção dos poços deste aquífero aferida pela vazão média é bastante baixa (3,41 m<sup>3</sup>/h). Um percentual de 39,6% do total de poços apresentam vazões abaixo de 1 m<sup>3</sup>/h, considerados insuficientes ou secos; e apenas 7,17% possuem vazões superiores à 10 m<sup>3</sup>/h. O fator de maior restrição para o uso das águas desse aquífero é o elevado índice de salinização. Tomando-se como referência o STD, foi constatado que apenas 27,8% das amostras apresentaram índice de salinização compatível com os padrões de potabilidade para o uso humano. Por esta razão vem sendo bastante difundido no Estado o uso de dessalinizadores por osmose reversa viabilizando o uso dessas águas, sobretudo dos poços de maior vazão. A experiência tem demonstrado que esse processo permite o bombeamento mais intensivo dos poços que, ao longo do tempo possibilita uma melhoria gradual da qualidade química das águas ou seja,

nos reservatórios subterrâneos dos aquíferos fissurais de baixa capacidade de armazenamento, o índice de salinização de suas águas alcançam valores elevados também em decorrência da falta de uso mais intensivo dessas águas. Assim sendo, o bombeamento induzindo dos poços poderá favorecer a renovação da recarga desses aquíferos.

#### **Aquífero Cristalino das Precipitações > 800 mm/ano**

O Aquífero Cristalino das regiões úmidas tem sua maior representatividade na zona litorânea do Sul do Estado, ocupando uma área de aproximadamente 76.174 km<sup>2</sup>, ou 37,76% da área total do sistema fissural cristalino. Neste aquífero tem-se, em consequência da maior pluviosidade, um manto de intemperismo mais espesso, contribuindo decisivamente para as condições de recarga e descarga do aquífero, resultando em uma sensível melhoria na capacidade de produção dos poços e na qualidade química de suas águas.

A Tabela 20 apresenta o resultado do tratamento dos dados de 1.800 poços cadastrados e analisados neste Subdomínio.

Tabela 20. Características dos poços do Aquífero Cristalino das Precipitações > 800 mm/ano.

PARÂMETROS	VALORES		
	Mínimo	Médio	Máximo
Profundidade (m)	8,20	68,99	192,00
NE (m)	0,00	7,05	71,14
ND (m)	1,63	44,31	139,31
Vazão ( m <sup>3</sup> /h)	0,00	3,98	36,00
Cloretos (mg/l)	1,00	931,27	23.467,00
Dureza Total (mg/l)	11,00	1.152,51	19.727,00
Nitratos (mg/l N)	0,0	3,98	135,00
Sólidos Tot. (mg/l)	33,00	2.633,21	67.222,00

Verifica-se na tabela 20 o aumento da vazão e uma sensível melhoria na qualidade química das águas. Neste subdomínio mais de 50% dos poços apresentam-se dentro dos padrões normais de potabilidade para uso humano.

Comparando-se os dados das Tabelas 19 e 20 pode ser verificado que valores de salinidade extremos, excessivamente altos ou excessivamente baixos, podem ocorrer em ambos os subsistemas. Estas ocorrências resultam de situações geológicas ou estruturais locais, que se refletem nas condições de recarga, armazenamento e circulação subterrânea.

Assim, por exemplo, a presença de veios de quartzo, pode resultar em água com salinidade total baixa para os padrões do subsistema das precipitações <800 mm/ano. Ao contrário, condições locais de circulação subterrânea deficiente ou presença localizada de minerais de fácil alteração, dentre outras situações podem resultar em águas com salinidade excessivamente alta para os padrões do Subsistema das precipitações >800 mm/ano.

## **2.10. Reservas, Potencialidades e Disponibilidades dos Aquíferos do Estado da Bahia**

Os primeiros estudos para avaliar as reservas hídricas subterrâneas do Nordeste Brasileiro datam de 1966, realizado pela Sudene, com o título de “As Águas Subterrâneas do Nordeste: Estimativas Preliminares”, de autoria dos geólogos Aldo da Cunha Rebouças e J. Gaspary (1966). Neste, foi avaliado as reservas permanentes e reservas exploráveis dos terrenos cristalinos, aluvionares e das principais bacias sedimentares. Outras iniciativas na mesma linha seguiram-se posteriormente, com os trabalhos desenvolvidos pelo PLIRHINE (SUDENE, 1980) e pelo Projeto Áridas Nordeste (COSTA, 1994), além naturalmente de outros estudos menores em áreas localizadas.

Até os dias atuais verifica-se que a avaliação das reservas subterrâneas, permanentes, reguladoras e a potencialidade e disponibilidade dos aquíferos, é grandemente dificultada pela precariedade de dados e estudos básicos de natureza hidrogeológica, tanto no Estado da Bahia quanto nos outros Estados do Brasil.

Os trabalhos mais recentes de avaliação de reservas dos domínios aquíferos do Estado da Bahia foram realizados por Guerra & Negrão para o Plano Estadual de recursos Hídricos (Bahia, 2003) que aplicou a linha metodológica proposta por Costa (1998). Esta metodologia prevê alternativas de avaliação diferenciadas, de acordo com o nível de conhecimento de cada unidade aquífera e da qualidade dos dados disponíveis. Desta forma, os valores de reserva de águas subterrâneas obtidos serão aproximações de ordem de grandeza, válida para cada unidade e compatível com a qualidade das informações disponíveis.

As definições dos parâmetros utilizados na determinação das reservas, disponibilidades e potencialidades de águas subterrâneas do Estado da Bahia, estão apresentadas no quadro abaixo.

Definição de parâmetros na determinação de reservas aquíferas, segundo Costa (1998):

Parâmetros	Definição	Formulação
Reserva Permanente $R_p$ ( $L^3$ ).	Volume hídrico acumulado no meio aquífero em decorrência da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento, não variável em função da flutuação sazonal da superfície hidrostática da unidade	$R_p = {}^1(A.b.\mu) + {}^2(A.h.S)$ ${}^1 =$ Aquífero Livre ${}^2 =$ Aquífero Confinado A- área de ocorrência b- espessura média saturada $\mu$ - porosidade efetiva média h- carga potenciométrica do aquífero confinado; S- Coeficiente de armazenamento
Reserva Reguladora $R_r$ ( $L^3/T$ )	Volume hídrico acumulado no meio aquífero em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais. É o volume de água da faixa de flutuação sazonal do nível hidrostático do aquífero e que corresponde ao volume das recargas anuais.	${}^1 R_r = A.P.I$ ${}^2 R_r = 0,6 \times R_p$ P- precipitação média I- taxa de recarga
Potencialidade $P_o$ ( $L^3/T$ )	Volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem explotadas, com descargas constantes, durante um determinado espaço de tempo.	${}^1 P_o = R_r \times 1,15$ ${}^2 P_o = R_r \times 0,334$ ${}^3 P_o = R_r + (R_p \times 0,004)$ ${}^4 P_o = R_r + (R_p \times 0,002)$
Disponibilidade Virtual ( $D_v$ )	Parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da Potencialidade, correspondente à vazão anual que pode ser extraída do aquífero ou sistema aquífero, sem que se produza efeito indesejável de qualquer ordem: econômica, hidrogeológica ou de conflito de uso: $D_v \leq P_o$ .	${}^1 D_v = 0,1 \times P_o$ ${}^2 D_v \leq P_o$
Disponibilidade Efetiva Instalada (DEI)	Volume anual passível de exploração através das obras de captação existentes, com base na vazão máxima ou vazão ótima de exploração de cada obra de captação e em regime de bombeamento de 24/24 hs, em todos os dias do ano: $Dei \leq D_v$	$DEI = NQ_m$ N- número de poços $Q_m$ - vazão média
Disponibilidade Efetiva Atual (DEA)	Volume anual realmente explotado atualmente através das obras de captação existentes: $Dea \leq Dei \leq D_v \leq P_o$ .	${}^1 DEA = \sum Q_i$ ${}^2 DEA = 1,1 \times \sum Q_i$ ${}^3 DEA = 0,2 \times P_o$ $Q_i$ - vazão de cada poço

A Tabela 21 mostra um quadro resumo das Reservas e Potencialidades, por Regiões Aquíferas, onde se observa que as maiores reservas se encontram nas *bacias sedimentares*, ocupando cerca do 20% do território do Estado, concentrando 92% das reservas permanentes e 69,1% do potencial explorável ou 995,3 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 21. Resumo das reservas e potencialidades das águas subterrâneas do Estado da Bahia.

REGIÕES AQUÍFERAS	RESERVA PERMANENTE (m <sup>3</sup> )	%	POTENCIALIDADE		%
			m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /s	
Bacias Sedimentares	3,2 10 <sup>12</sup>	92	3,1 10 <sup>10</sup>	995,3	69,1
Coberturas Detríticas	5,9 10 <sup>10</sup>	1,7	8,7 10 <sup>9</sup>	275,9	19,2
Calcários	2,0 10 <sup>11</sup>	5,7	2,9 10 <sup>9</sup>	91,8	6,4
Metassedimentos	8,1 10 <sup>9</sup>	0,23	9,0 10 <sup>8</sup>	29,5	2,1
Embasamento Cristalino	1,3 10 <sup>10</sup>	0,36	1,5 10 <sup>9</sup>	47,0	3,2
<b>Totais</b>	<b>3,5 10<sup>12</sup></b>	<b>100</b>	<b>4,5 10<sup>10</sup></b>	<b>1.439,5</b>	<b>100</b>

A Tabela 22 mostra um resumo expandido das reservas e disponibilidades das águas subterrâneas do Estado da Bahia por aquífero. Nesta tabela se pode observar que os percentuais do potencial explorável ainda são muito pequenos, destacando-se os aquíferos das Coberturas Profundas e Extremo Sul.

Tabela 22. Reservas e Disponibilidades das Água Subterrânea no Estado da Bahia.

AQUÍFEROS	Reserva Permanente m <sup>3</sup>	Reserva Reguladora		Potencialidade		Disponibilidade Efetiva	
		m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /s
Coberturas Profundas	22,07 10 <sup>9</sup>	1,18 10 <sup>9</sup>	37,4	1,35 10 <sup>9</sup>	42,8	13,5. 10 <sup>6</sup>	0,4
Coberturas Rasas	36,77 10 <sup>9</sup>	22,06 10 <sup>9</sup>	699,5	7,35. 10 <sup>9</sup>	233,0	150,0. 10 <sup>6</sup>	4,7
*Marizal / São	213,48 10 <sup>9</sup>	0,8358 10 <sup>9</sup>	26,50	1,68 10 <sup>9</sup>	53,27	98,7 10 <sup>6</sup>	3,1
**Mz / Kma / Kiss	1 000 10 <sup>9</sup>	1,25 10 <sup>9</sup>	39,63	5,26 10 <sup>9</sup>	166,79	85,3 10 <sup>6</sup>	2,7
Urucuia.	1 920 10 <sup>9</sup>	19,20 10 <sup>9</sup>	608,82	23,04 10 <sup>9</sup>	730,59	460,0. 10 <sup>6</sup>	14,6
Extremo Sul	83,20 10 <sup>9</sup>	1,24 10 <sup>9</sup>	39,32	1,41 10 <sup>9</sup>	44,71	13,8 10 <sup>6</sup>	0,4
Cárste < 800 mm/ano	59,88 10 <sup>9</sup>	0,5613 10 <sup>9</sup>	17,79	0,645 10 <sup>9</sup>	20,46	183,910 <sup>6</sup>	5,8
Cárste >800 mm/ano	139,6 10 <sup>9</sup>	1,96 10 <sup>9</sup>	62,15	2,25 10 <sup>9</sup>	71,34	101,610 <sup>6</sup>	3,2
Metassedimentar	8,09 10 <sup>9</sup>	0,8095 10 <sup>9</sup>	25,66	0,931 10 <sup>9</sup>	29,51	86,4 10 <sup>6</sup>	2,7
Cristalino < 800	3,76 10 <sup>9</sup>	0,3765 10 <sup>9</sup>	1,93	0,433 10 <sup>9</sup>	13,72	75,6 10 <sup>6</sup>	2,4
Cristalino. >800	9,14 10 <sup>9</sup>	0,914 10 <sup>9</sup>	28,98	1,05 10 <sup>9</sup>	33,29	62,7 10 <sup>6</sup>	2,0
<b>Totais</b>	<b>3 496 10<sup>9</sup></b>	<b>50,38 10<sup>9</sup></b>	<b>1587,69</b>	<b>45,40<sup>9</sup></b>	<b>1.439,5</b>	<b>1 331,8 10<sup>6</sup></b>	<b>42,0</b>

\*\*Marizal / São Sebastião na Bacia do Recôncavo;

\*\*8Marizal / Massacará / Ilhas Superior na Bacia de Tucano.

\*O formulário de cálculo e a descrição detalhada do processo de avaliação das Reservas de águas subterrâneas do Estado da Bahia estão apresentados no Anexo I.

## **2.11. Aspectos Ambientais e de Uso dos Aquíferos Estado da Bahia**

A eficiência no uso das águas subterrâneas está intimamente associada com o conhecimento hidrogeológico dos aquíferos obtido através de estudos básicos e pesquisas dirigidas por órgãos do governo, setor privado e academia e com a condução de políticas públicas voltadas para a gestão dos recursos hídricos. Associe-se ao conhecimento e políticas de uso as características próprias de cada reservatório que se apresentam como fatores a interagir relacionados ao meio físico tais como: complexidade de funcionamento, grandes profundidades, presença indesejável de águas salinas, condições climáticas adversas, complexidade estrutural, vulnerabilidade elevada, dentre outros, são os de maior importância

Os mananciais de águas subterrâneas do Estado da Bahia foram agrupados em domínios aquíferos como mostrado na Figura 19, para que as características comuns de cada unidade facilitasse o seu entendimento contribuindo assim para o direcionamento de ações de gestão sustentável, otimizando a eficiência do uso desses mananciais.

### **Aquíferos das Coberturas Detríticas**

Os aquíferos das coberturas detríticas representados pelos subsistemas das coberturas rasas e das coberturas profundas com potencialidade de 275,8 m<sup>3</sup>/s, por serem aquíferos rasos, são extremamente vulneráveis e sujeitos a grandes perdas por evapotranspiração. As reservas, das coberturas rasas, têm maior importância nas regiões semi-áridas, sendo as estruturas de captação destes aquíferos do tipo simples, construídas artesanalmente como: cacimbas, poços amazonas, poços ponteiras, poços com drenos radiais, barragens subterrâneas e outros. As reservas das coberturas profundas são exploradas frequentemente por poços tubulares convencionais. Aí podem ser utilizadas as barragens subterrâneas com a vantagem de funcionar como barramento de sub-superfície, evitando as perdas por escoamento subterrâneo, no entanto esta prática ainda é pouco difundida no Estado da Bahia. Nas situações mais favoráveis estas coberturas possuem reservas de água doce suficientes para a dessedentação dos rebanhos, abastecimento de pequenas comunidades; viabilidade de pequenos sistemas de irrigação; ou mesmo para abastecer pequenas sedes municipais. A importância que representa este tipo de manancial para as regiões mais carentes de água do Estado exige orientação e tecnologia adequada de captação e manejo deste tipo de manancial, sempre com vistas ao aproveitamento mais eficiente de suas reservas.



### **Aqüíferos da Bacia do Recôncavo**

A bacia do Recôncavo com potencialidade de 53,27 m<sup>3</sup>/s tem uma vocação natural para o abastecimento humano e industrial. É um dos aquíferos mais estudado do Estado com bom nível de informações hidrogeológicas e também o mais explorado, devido à grande demanda do Pólo Industrial de Camaçari. Comparando-se o consumo de água subterrânea desse aquífero, (2,86 m<sup>3</sup>/s) com a potencialidade da bacia vê-se que apenas 5,84 % do total está sendo explotado. O Pólo Petroquímico é o maior usuário, consumindo, através de poços tubulares profundos para abastecimento industrial, 5.184.730 m<sup>3</sup>/mês, superando em mais de duas vezes o consumo humano, de 2.295.316 m<sup>3</sup>/mês. Atualmente os poços alcançam até 420 m de profundidade com vazões de 350 m<sup>3</sup>/h. Comparando-se vazões desta ordem, com a demanda atual da cidade de Salvador (cerca de 8 m<sup>3</sup>/s), verifica-se que seria possível abastecer a Capital do Estado com uma bateria de 82 poços, com comprometimento da potencialidade do aquífero, passando dos atuais 5,84% para 20,5%. A superioridade desta solução é ainda maior porque o custo de produção da água subterrânea é sempre três vezes menor, em média, ao custo de produção da água superficial (Rebouças *et al.*, 1999), além do fato da qualidade da água subterrânea do sistema aquífero ser, atualmente, bastante superior ao das águas superficiais que abastecem a cidade de Salvador.

O sistema aquífero Marizal/ São Sebastião, tem a maior parte de suas áreas de exposição ao norte de Camaçari, ainda não comprometidas. Entretanto na região do Pólo Petroquímico, sua qualidade vem sendo degradada com os mais variados tipos de produtos químicos lançados no meio ambiente pela atividade industrial. Além de outros vetores disseminados como as atividades petrolíferas, efluentes dos centros urbanos e lixões.

### **Aqüíferos da Bacia de Tucano**

A Bacia de Tucano, com potencialidade de 167,04 m<sup>3</sup>/s, cerca de três vezes a potencialidade do Recôncavo, ainda é muito pouco explorada, conseqüentemente o nível de informações hidrogeológicas sobre a bacia é ainda pequeno. Dentre as demais bacias sedimentares do Estado apresenta modelo de funcionamento complexo, decorrente de suas características estruturais entrecortado de falhamentos, possibilitando a intercomunicação de diferentes níveis aquíferos com água de qualidade também diversa. O potencial da bacia permite a utilização sustentada de suas águas, além do abastecimento público, para a

agricultura irrigada, piscicultura, turismo e lazer, etc. As águas termais, desse aquífero, normalmente com elevado teor de sais dissolvidos vem sendo explorada sem nenhum controle, através de poços, por vezes mal construídos, colocando em contato águas salinizadas dos aquíferos mais profundos com águas doces dos aquíferos mais superficiais. Também é comum a existência de poços jorrando continuamente, a exemplo dos poços da localidade de Buri (Bahia, 2007) subutilizando suas águas, erodindo o solo e facilitando a penetração de contaminantes da superfície para o aquífero. A despeito da grande potencialidade da bacia, grandes áreas com topografia elevada, coincidentes com os platôs da Formação Marizal, possuem níveis hidrostáticos muito profundos, chegando até aos 200 metros. Nestas áreas, a exploração de grandes volumes de água subterrânea, torna-se problemática em decorrência das grandes alturas de recalque.

A complexidade estrutural da bacia de Tucano, com aquíferos de diferentes níveis de pressão e variabilidade na qualidade de suas águas, requer projetos de poços adequados e bem executados. Verifica-se entretanto que esta condição, tão importante para a eficiência de uso e sustentabilidade deste Sistema Aquífero, não vem sendo observada na Bacia, desde o início da sua exploração até os dias atuais.

#### **Aquífero da Bacia do Urucuia**

O aquífero Urucuia, com potencialidade provável de 730,59 m<sup>3</sup>/s, a se confirmar a espessura saturada média estimada de 300 m, cerca de três vezes a potencialidade da Bacia do Recôncavo e Tucano juntas. Assim sendo poderá ser considerado o maior aquífero do Estado da Bahia. O volume de suas reservas e qualidade de suas águas permitem qualquer tipo de uso. E, inclusive como, já vem ocorrendo atualmente, para grandes projetos de irrigação. Entretanto, a Região Oeste do Estado apresenta grande conexão hidráulica entre os aquíferos e a rede de drenagem que se mantém perenizada, com mais de 80% de suas descargas provenientes da restituição subterrânea. Por esta razão pode-se prever que a retirada de grandes percentuais de suas reservas subterrâneas, pode resultar em algum desequilíbrio ambiental relacionado aos recursos hídricos. Quanto à gestão atual dos recursos hídricos subterrâneos desta bacia, tem-se um outro problema no momento para estabelecer-se o quanto da reserva reguladora do aquífero poderá ser disponibilizado para os diversos usos. Porém, devido à falta de um cadastramento atualizado, não se conhece o exato volume explorado do aquífero. Quanto à vulnerabilidade, por ser o Urucuia um aquífero sedimentar livre, a semi-confinado, totalmente exposto em superfície, com áreas de recarga coincidentes com a superfície aflorante sua vulnerabilidade é expressiva aos

principais vetores de degradação, quais sejam a urbanização e a agricultura irrigada de larga escala (soja) que se utiliza de grandes volume de água e agrotóxicos.

#### **Aqüífero da Bacia do Extremo Sul**

O aqüífero Extremo Sul, com potencialidade de 44,71 m<sup>3</sup>/s, tem disponibilidade instalada, baseada no cadastro de poços da CERB de apenas 0,97% da potencialidade, evidenciando a baixa intensidade de utilização do aqüífero, em relação à sua potencialidade. O uso das águas subterrâneas no extremo sul do Estado da Bahia está basicamente restrito ao abastecimento das cidades litorâneas, pequenas comunidades e propriedades rurais. Por esta razão é do ponto de vista hidrogeológico muito pouco estudado.

#### **Aqüíferos dos Terrenos Cársticos**

Os Aqüíferos Cársticos possui potencialidade de 92,0 m<sup>3</sup>/s para os dois subsistemas juntos. No subsistema com precipitações <800 mm/ano se inserem as áreas calcárias do vale do Rio Salitre e chapada de Irecê, com potencialidade de 20,46 m<sup>3</sup>/s e águas de elevada dureza largamente utilizadas no abastecimento de pequenas comunidades rurais dispersas, rebanhos e irrigação, com comprometimento atual de 28,5% de sua potencialidade. Apesar do baixo uso em relação à potencialidade do aqüífero, em áreas localizadas dos municípios de Irecê, João Dourado e Lapão, muitos poços secaram, evidenciando níveis de super-exploração localizados.

Os aqüíferos cársticos de uma maneira geral são extremamente vulneráveis. Na Chapada de Irecê, os principais vetores de degradação decorrem da atividade agrícola irrigada, com seus defensivos e fertilizantes químicos; dos efluentes urbanos; e dos postos de combustível. Nessa região a forma de captação tradicional é o poço tubular com profundidade média de 80 metros. A chapada de Irecê é a área de carste melhor estudada do Estado. Estudos e projetos implementados pela CODEVASF em 1977, objetivando o aproveitamento das águas subterrâneas para irrigação quantificaram as reservas exploráveis e estabeleceram projetos de irrigação de pequeno porte para essas áreas. Como consequência de gestão inadequada os grandes projetos de irrigação implantados, com uso intensivo de pivôs centrais, tem resultado em esgotamento do aqüífero em muitas áreas. Estes fatos evidenciam a insustentabilidade ambiental do uso dos pivôs centrais principalmente para irrigação de grandes áreas nessa região.

O abastecimento humano na região de Irecê, atualmente, está sendo feito com água de melhor qualidade proveniente de mananciais fora da área do Platô Calcário. É o caso da barragem de Mirorós que abastece a maioria dos centros urbanos. Desta forma, na região, as águas subterrâneas estão preferencialmente destinadas ao abastecimento do meio rural disperso rebanhos e a agricultura irrigada.

O Subsistema das precipitações >800 mm/ano, com potencialidade de 71,54 m<sup>3</sup>/s ocorre, em sua maior extensão, no Oeste do rio São Francisco, onde se encontram parcialmente cobertos por sedimentos da formação Urucuia. Por falta de gestão adequada dos recursos hídricos subterrâneos na região, verifica-se a precariedade de dados referentes a utilização de águas subterrâneas nas grandes áreas irrigadas. Especula-se que a taxa de comprometimento da potencialidade neste subdomínio é de aproximadamente 4,5% estimando-se preferencialmente o consumo referente ao abastecimento, por poços tubulares, de centros urbanos, pequenas comunidades rurais e rebanho.

#### **Aqüíferos Metassedimentares**

Os aqüíferos fissurais dos terrenos metassedimentares possuem potencialidade explotável de 29,5 m<sup>3</sup>/s. Entretanto, verifica-se que o comprometimento das reservas neste Sistema Aqüífero ainda é muito pequeno: da ordem de 9,28% da Potencialidade, com destinação prioritária de suas reservas para o abastecimento humano e dos rebanhos.

#### **Aqüíferos Cristalinos**

Os terrenos fissurais cristalinos, com potencialidade de 47 m<sup>3</sup>/s, ocupam 35,5 % da área do Estado da Bahia, quase totalmente inserido no chamado polígono das secas, que apresenta índices extremos de carência hídrica.

No subsistema com precipitações <800 mm/ano, as áreas mais críticas em disponibilidade hídrica subterrânea, as reservas são extremamente pequenas, distribuídas por uma grande área de ocorrência e com elevado grau de salinização. O uso dos dessalinizadores por osmose reversa tem possibilitado, além do fornecimento de água para dessedentação de rebanhos e pequenas comunidades dispersas, abastecer pequenas cidades. Existe, hoje no Estado, cerca de 250 dessalinizadores instalados através de programas de abastecimento e saneamento rural público em sua maioria implantado pela CERB.

Desde 1999, a CERB, vem mantendo uma rede de monitoramento de 35 poços tubulares instalados com dessalinizadores, com o objetivo de acompanhar a evolução da

salinidade dessas águas ao serem submetidas a um bombeamento contínuo, propiciado pela instalação desses equipamentos. O acompanhamento dos resultados do monitoramento desses poços está revelando a melhoria da qualidade das águas desses reservatórios (Negrão *et al.*, 2000).

O nível de comprometimento das reservas, no Domínio Cristalino é de 17,4% e 5,95%, respectivamente para os subdomínios de precipitação >800 mm/ano e <800 mm/ano. A destinação natural destas reservas tem sido sempre o abastecimento rural disperso, rebanhos e pequenos aglomerados urbanos.

Os métodos de prospecção e locação de poços, antes problemáticos, têm evoluído bastante, acompanhando as cartas geológicas de detalhe, as imagens de satélite, posicionamento de poços via satélite (GPS), programas de gerenciamento e banco de dados tipo (GIS) e a popularização de métodos geofísicos como VLF e Eletro-resistividade, como ferramentas, quando à disposição de hidrogeólogos experientes.

Em decorrência das condições hidráulicas adversas como a baixa porosidade e permeabilidade, as práticas de recarga artificial neste tipo de aquífero se tornam mais difíceis. Atualmente já se praticam técnicas de fraturamento hidráulico através da injeção de fluidos de fraturamento ou mesmo com o uso de explosivos. Com estas técnicas buscam-se criar condições favoráveis para a prática de recarga artificial ou mesmo de melhoria da recarga natural.

## Materiais e Métodos

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Banco de Dados

Os dados hidrogeológicos das águas subterrâneas do Estado da Bahia utilizados neste trabalho são, em sua totalidade, oriundos do Cadastro de Poços da Companhia de Engenharia Rural da Bahia, CERB (2002). Este banco de dados possui dados referentes a cerca de 16.300 poços e é gerenciado pela CERB desde a sua fundação em 1977. Os registros eletrônicos em planilha Excel referem-se a poços perfurados pela própria CERB para a construção de sistemas simplificados de abastecimento de água em cidades e pequenas localidades do interior do Estado; dados de poços perfurados por outras companhias de perfuração contratadas pela CERB, para atender programas de abastecimento para combate às secas; e poços perfurados por outras empresas, cadastrados pela CERB, através de serviços especiais de manutenção de poços e sistemas simplificados de abastecimento. No banco de dados constam as seguintes informações: código e número do poço, nome do município onde o poço está localizado, nome da localidade ou comunidade abastecida, coordenadas geográficas do poço, profundidade da perfuração, níveis estático e dinâmico da água, vazão de teste; tipos de rocha perfurada, data da análise química da amostra de água coletada no final da perfuração do poço e os parâmetros físico-químicos analisados em laboratório. O banco de dados da CERB possui ainda uma grande variedade de dados cadastrados, em fichas de locação de poços e visita a sistemas de abastecimento, contendo valiosos registros de campo, relativos aos croquis das concepções dos sistemas simplificados de abastecimento de água; estimativas das populações abastecidas; dados da construção dos poços, tais como, diâmetros de perfuração; entradas de água; testes de bombeamento e muitos outros, de enorme importância para a pesquisa hidrogeológica.

Para o presente trabalho de pesquisa, os registros do banco de dados da CERB foram analisados com relação à consistência da distribuição das coordenadas dos Poços, através de Programa ARCGIS. A análise de consistência resultou em uma nova planilha, com 8.207 poços georeferenciados para todo o Estado da Bahia, constando no Anexo 1. Prosseguindo com a análise de consistência, foram excluídos, além dos poços sem os dados de coordenadas geográficas aqueles com inconsistências de localização, como por exemplo poços registrados como pertencentes a um determinado Município cujas coordenadas o localizavam em outro, resultando numa planilha eletrônica com 7.192 poços cadastrados. A partir daí, iniciou-se uma complementação

dos dados: as análises hidroquímicas anteriores a 1985 foram inseridas no banco a partir de cinco catálogos impressos, da própria CERB.

A seleção e consistência dos parâmetros de interesse para a pesquisa, foram feitas buscando-se as análises completas, no sentido de possuírem todos os dados dos parâmetros necessários para a determinação da qualidade natural dessas águas, tais como: pH, cloreto, nitrato, fluoreto, dureza e resíduos totais.

As análises de água dos poços perfurados pela CERB foram realizadas através de convênio com o Laboratório de Ensaios Químicos e Microbiológicos do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia (LABDEA-UFBA) e seguem a metodologia analítica preconizada pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). A tabela 23 apresenta os métodos utilizados para as análises de interesse para esta pesquisa e os limites de detecção praticados pelo LABDEA para cada um desses parâmetros.

Tabela 23: Limites de detecção para os métodos utilizados nas análises químicas.

Parâmetro	Método	Unidade	LDM do LABDEA
pH	SM 4500 – H B	---	---
Cloreto	SM 4500 – Cl B	mg/L Cl	3,0
Nitrato	SM 4500-NO <sub>3</sub> E	mg/L	0,01
Fluoreto	SM 4500-F D	mg/L F	0,02
Dureza	SM 2340 C	mg/L CaCO <sub>3</sub>	3,0
Resíduos Totais (STD)	SM 2540 C	mg/L	10,0

Os critérios utilizados para checar a consistência das análises do banco de dados da CERB, foram os seguintes:

- ✓ Balanço de ânions-cátions -o somatório dos cátions, em miliequivalente, é igual ao somatório dos ânions, em miliequivalente. Critério pouco utilizado, pois em muitos resultados não foram analisados sódio e potássio.
- ✓ Condutividade medida e a soma dos íons - o somatório de cátions ou ânions, em miliequivalente, é igual a  $\frac{1}{100}$  do valor da condutividade elétrica medida. Se a soma dos ânions não fosse encontrada de acordo com este critério, a análise era rejeitada. Este critério foi muito utilizado para avaliar o somatório de ânions, através da seguinte expressão:



$$100 \times \sum \text{ânion (ou cátion), em meq/L} = (0,9 - 1,1) \text{ CE}$$

onde CE = Condutividade Elétrica.

Os casos de inconsistência confirmados por estes critérios foram descartados. Em seguida, analisando-se os campos relativos a cada tipo de dado na planilha, verificou-se que determinadas informações precisaram ser modificadas, a fim de torná-los passíveis de utilização no cálculo do índice. Por exemplo, alguns campos tinham as inscrições “aus.” (ausente) e “nd” (não-detectável). Nestes casos, optou-se por substituí-las pelo valor zero, já que são informações qualitativas de ausência daquele parâmetro na água. Nas análises feitas pelo CETIND - Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro, Unidade do SENAI da Bahia -, alguns campos apresentavam letras ao lado dos valores numéricos com o seguinte significado:

- ✓ J – indica que o valor está próximo do limite de detecção do método (LDM). Fica entre o LDM e o limite de quantificação. Existe um grau de incerteza nesse valor, mas, para efeito de cálculo, ele é aceitável;
- ✓ (a) – indica uma observação feita no relatório. Geralmente, o valor é calculado, e não medido.

Utilizou-se ainda como critério de seleção dos dados para a pesquisa o descarte de análises de águas oriundas de poços perfurados em zonas limítrofes de domínios aquíferos, tais como o cobertura/cristalino, sedimento/metassedimento, etc. que poderiam influenciar nos resultados de qualidade. Assim, os poços que abrangem mais de um domínio –as coberturas detríticas, por exemplo, que podem conter poços mistos de perfil sedimentar e cristalino– foram descartados, pois suas águas sofrem influência de tipos de rocha distintos, e sua complexidade geológica lhes confere características típicas que não devem ser generalizadas. Dessa forma o banco de dados, específico, para a construção do índice de qualidade natural das águas subterrâneas águas, no final, ficou com 1.899 poços, apresentados em Planilha Excel, no Anexo II.

### **3. 2. Metodologia de Construção do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia – IQNAS**

Os índices de qualidade das águas são criados para facilitar a interpretação de extensas listas de variáveis as quais são resumidas em um único número com possibilidade de analisar a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço, de forma simples e prática (Gastaldini & Souza, 1994).

Portanto, um índice de qualidade das águas subterrâneas que incorpore em sua construção uma série de indicadores possibilita a visualização simplificada da qualidade das águas dos mananciais subterrâneos. São poucas as referências encontradas relativas à indicadores de qualidade das águas subterrâneas. Um dos mais atuais foi criado na França e denominado SEQ - Systeme des Eaux Souterraines, para avaliação das águas subterrâneas. O SEQ propõe um índice baseado em duas noções: alteração da qualidade e uso do recurso e foi desenvolvido pelas agências de água em parceria com o Ministério do Desenvolvimento Regional e Ambiente Francês, para avaliar de maneira rigorosa o conceito de qualidade da água subterrânea.

Fournier (2001) avaliando a proposta do SEQ argumenta que de fato uma das dificuldades para qualificar as águas subterrâneas reside na relatividade do conceito de qualidade, pois esta depende dos usos para os quais se destina. Para Fournier, não existe uma qualidade “a priori”, mas qualidades que podem satisfazer tal e qual uso. Assim a ferramenta SEQ adota vários critérios de qualidade da água, definida em relação aos usos, que se vai dar a este recurso, tais como: água potável para abastecimento público, para indústrias agro-alimentícias, outras indústrias, produção de energia, irrigação e dessedentação de animais.

O Índice Geral de Qualidade SEQ reagrupa os parâmetros por alterações de qualidade, por exemplo: nitratos, pesticidas, hidrocarbonetos etc. A qualidade da água recebe notas variando entre 0 e 100, sendo o valor 0 água de pior qualidade e o valor 100 água da melhor qualidade.

A formulação matemática do SEQ, um produtório das notas dos parâmetros elevado à uma potência (peso), em muito se assemelha ao método de construção do referencial *WQI - Water Quality Index* proposto pela *National Sanitation Foundation (NSF)* indicador muito conhecido para exprimir a qualidade das águas superficiais para os diversos ambientes (rios, lagos, água estuarina, água distribuída). O *WQI* foi adaptado, em 1970, pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, para uso no Brasil, renomeando-o de IQA - Índice de Qualidade de Água, (Porto, 1991). O IQA varia também entre zero e 100, e quanto maior for o valor do IQA, melhor será a qualidade da água.

Segundo Ott (1978) e Leite & Fonseca (1994) existem três tipos básicos de metodologias de elaboração de índices de qualidade de águas: utilizando métodos estatísticos; a partir da opinião de especialistas; e utilizando dados biológicos ou hidroquímicos.

O IQNAS, desenvolvido neste trabalho por Oliveira *et al.* (2004), utilizou dados hidroquímicos das águas subterrâneas do Estado da Bahia, cedidos pela CERB; aplicou métodos estatísticos na formulação do índice; e uma vez concebido o IQNAS de forma preliminar, os resultados foram apresentados aos especialistas da área, hidrogeólogos da CERB, para análise e validação dos resultados, antes de sua publicação em congressos da área, onde mais uma vez os resultados foram colocados em discussão.

Como padrão de controle da qualidade ótima das águas subterrâneas do Estado da Bahia, utilizou-se amostras de água mineral do aquífero São Sebastião, envasadas por três engarrafadoras da região (Fresca, Indaiá e Schincariol). Estas são águas minerais de aquíferos da Bacia Sedimentar do Recôncavo, saturados por água potável de mesa de excelente qualidade. O Anexo 1 apresenta um conjunto das análises químicas constantes no Banco de Dados.

O IQNAS foi concebido preenchendo os critérios gerais normalmente adotados para a construção de índices de qualidade, ou seja: (1) o número de variáveis incorporadas ao índice é limitado, a fim de garantir a praticidade; (2) as variáveis utilizadas (pH, cloreto, resíduos totais, dureza, flúor, e nitrato) são parâmetros químicos mais significativos para se avaliar a qualidade natural das águas subterrâneas dos vários tipos de Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino); (3) as variáveis escolhidas são aquelas, dentro da disponibilidade de dados, que refletem as determinações mais freqüentemente realizadas em análises químicas das águas subterrâneas.

A seguir, foram estabelecidas relações entre a intensidade de cada parâmetro de qualidade (por exemplo, o teor de cloreto na água) e a qualidade da água, representada por uma nota de 0 a 100. Utilizou-se como base, a mesma escala de notas resultante do cálculo do IQA, constante em Porto (1991), ou seja: qualidade ótima (nota de 80 a 100), boa (de 52 a 79), aceitável (de 37 a 51), imprópria (de 0 a 36). As notas foram fixadas com base nos limites de potabilidade estabelecidos na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. A seguir, foram construídos gráficos de qualidade versus a intensidade de cada variável, e os gráficos foram ajustados não linearmente através do pacote estatístico SYSTAT, para gerar as funções matemáticas adequadas para cada parâmetro de qualidade. Os seis gráficos assim construídos estão apresentados na Figura 20.

As equações matemáticas modeladas utilizando o software estatístico SYSTAT, para os seis parâmetros utilizados, cujas curvas estão mostradas na Figura 20, estão dadas na Tabela 24.

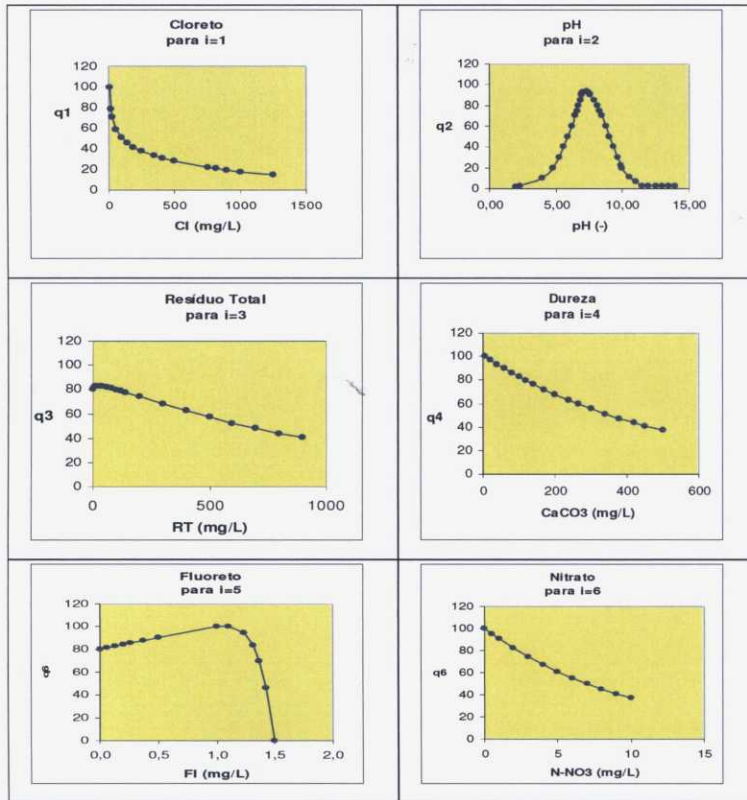


Figura 20. Curvas de qualidade *versus* intensidade do parâmetro físico-químico.

Tabela 24. Equações matemáticas da qualidade *versus* concentração do parâmetro ajustadas para as curvas mostradas na Figura 20.

Parâmetros	Equações matemáticas das Notas	Pesos
pH	$Q_{pH} \% = 1,7354 * pH^2$ <span style="float: right;"><math>[2 \leq pH \leq</math></span>	0,05
	$Q_{pH} \% = 16567 * pH^{-2,5} - 17$ <span style="float: right;"><math>[pH \geq</math></span>	
Cloreto (Cl)	$Q_c \% = 138,9 * (Cl^{0,19561}) - (Cl^{0,42})$	0,26
Resíduos Totais (RT)	$Q_{rt} \% = 96,5 - 0,159 * RT + EXP (RT^{0,218})$	0,22
Dureza (DUR)	$Q_d \% = 101,1 * EXP (-0,00212 * DUR)$	0,16
Flúor (F)	$Q_f \% = 80 + 21 * F - F^{11,6263}$	0,16
Nitrato (NO <sub>3</sub> ≤ N)	$Q_n \% = 100 * EXP (-0,0994 * N)$	0,15
Soma total dos pesos		1,00

A formulação matemática do IQNAS é a mesma proposta para o IQA, ou seja, um produto dos valores de qualidade ( $q_i$ ), para cada variável, elevado ao peso atribuído a cada variável ( $w_i$ ), onde:

$$IQNAS = Produto (q_i^{w_i}) = q_1^{w_1} \times q_2^{w_2} \times q_3^{w_3} \times \dots \times q_n^{w_n};$$

Escolhidos os parâmetros, foi estabelecido um sistema de pesos para ponderar a influência de cada parâmetro, permitindo assim gerar uma nota global para o índice IQNAS, representativo da qualidade da água identificada naquela amostra. Os pesos  $w_i$  que aparecem na equação do IQNAS foram determinados num processo de ajustes sucessivos a partir da análise dos resultados feitos pelos autores do trabalho com o auxílio dos especialistas da área. Os pesos dos parâmetros escolhidos estão dados na Tabela 24.

### 3.3. Metodologia de Construção dos Mapas de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

Os mapas de qualidade dos aquíferos, apresentados neste trabalho, têm por objetivo representar de forma simples e facilmente compreensível pelo público em geral, a qualidade natural das águas subterrâneas do Estado da Bahia. Para isto, utilizouse o software ArcGIS para espacializar os dados em mapas. O pacote estatístico do Programa ArcGIS (ESRI, 2006) envolve o conceito de variáveis regionalizadas, ou seja, propriedades de ocorrência natural cujas características são intermediárias entre determinísticas e aleatórias. Pontos muito afastados entre si sobre uma superfície irregular, são estatisticamente independentes. Entretanto, o grau de continuidade espacial dessas variáveis regionalizadas pode ser representado por um semivariograma, ou seja, uma função da distância e direção separando dois locais. Se as medidas são feitas em pontos amostrais dispersos e se a forma do semivariograma é conhecida, é possível estimar o valor da propriedade sobre a superfície em qualquer local não amostrado. Tal processo de estimação é chamado krigagem: denominação decorrente do autor do método (Krige, 1951). A krigagem é uma interpolação geoestatística que quantifica a auto-correlação espacial entre os pontos medidos e considera a configuração espacial dos pontos amostrados em torno do local onde a propriedade vai ser estimada. O ArcGis define um modelo geoestatístico dos dados espacializados usando o semivariograma, para escolher os pesos no processo de krigagem e determinar a contribuição de cada ponto na predição dos novos valores.

Neste trabalho a metodologia utilizada para a espacialização dos dados foi a associação de curvas de igual valor de índice de qualidade às seguintes faixas de qualidade designadas por cores semaforicas: ótima de 80,01 a 100; boa, de 52,01 a 80; aceitável, de 37,01 a 52 e imprópria, de 0 a 37. Os resultados da espacialização dos dados de IQNAS estão apresentados nos mapas das Figuras 22 a 27.

### **3.4. Metodologia de Construção do Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia – GOD**

#### **Coleta de Dados**

A partir do banco de dados da CERB, já consistido foi feita a seleção dos registros de poços contendo os parâmetros necessários para a construção do mapa de vulnerabilidade, formou-se uma planilha Excel, Anexo 3, com 6.001 poços, uma vez que foram descartados os poços secos, cujos níveis estáticos são tomados como zero no banco de dados básicos e os poços com nível estático menor do que zero assinalados com valores de nível estático negativo. A partir dessa nova planilha Excel foram selecionados os parâmetros necessários à determinação da vulnerabilidade dos aquíferos segundo a metodologia GOD (Foster & Hirata, 1993), quais sejam:

- ✓ Coordenadas do poço;
- ✓ Tipologia do aquífero;
- ✓ Litologia perfurada;
- ✓ Profundidade do nível estático.

#### **Conceituação da Vulnerabilidade de Aquíferos**

Segundo Foster (1987), define-se como vulnerabilidade de aquíferos, o maior ou menor grau de disponibilidade ou exposição que o sistema se encontra em relação à contaminação.

Assim a vulnerabilidade do aquífero seria, por suposto, uma função dos seguintes fatores:

- ✓ Acessibilidade da zona saturada, no sentido hidráulico, à penetração de contaminantes;
- ✓ Capacidade de atenuação dos estratos, acima da zona saturada do aquífero como resultado de sua retenção física e reação química com contaminantes.

Estes dois componentes da vulnerabilidade do aquífero interagem com os seguintes componentes de carga contaminante do subsolo:

- ✓ O modo de disposição do contaminante no subsolo, e em particular, a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;
- ✓ A classe do contaminante em termos de sua mobilidade e persistência.

Como os componentes para avaliação da vulnerabilidade do aquífero definidos acima, não são diretamente mensuráveis, deverão ser parametrizados por combinações de outros fatores, tais como, o grau de confinamento do aquífero, a profundidade do nível d'água, o conteúdo de umidade da zona não saturada, o tipo de contaminante e condutividade vertical hidráulica dos estratos da zona não saturada, etc. Entretanto, na prática, observa-se que muitos destes fatores, também, não estão disponíveis e não se determinam facilmente. Desta maneira, devido às dificuldades relatadas acima, foi criado por Foster (1987) um esquema mais prático de avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero, dado pelo produtório dos seguintes componentes básicos:

- ✓ Ocorrência da água subterrânea;
- ✓ Substrato litológico;
- ✓ Profundidade do nível d'água.

Esta metodologia, cujo esquema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos, é mostrado na Figura 21 recebeu, posteriormente, o nome abreviado de GOD (Foster & Hirata, 1993) em referência as iniciais em inglês dos componentes básicos, determinantes, considerados neste método, cujas iniciais significam: (*G*) *groundwater occurrence*; (*O*) *overall litology of aquifer* e (*D*) *depth of water*.

### **A Metodologia GOD Aplicada aos Sistemas Aquíferos do Estado da Bahia**

O mapeamento da vulnerabilidade natural dos Aquíferos do Estado da Bahia foi realizado através do Método GOD.

O produtório desses parâmetros de entrada forneceu um valor resultante o qual foi relacionado a uma categoria de vulnerabilidade.

Para demonstrar o processo metodológico adotado, foi construída a Figura 21, com um resumo da aplicação do sistema de avaliação da vulnerabilidade segundo o método GOD aos aquíferos do Estado da Bahia.

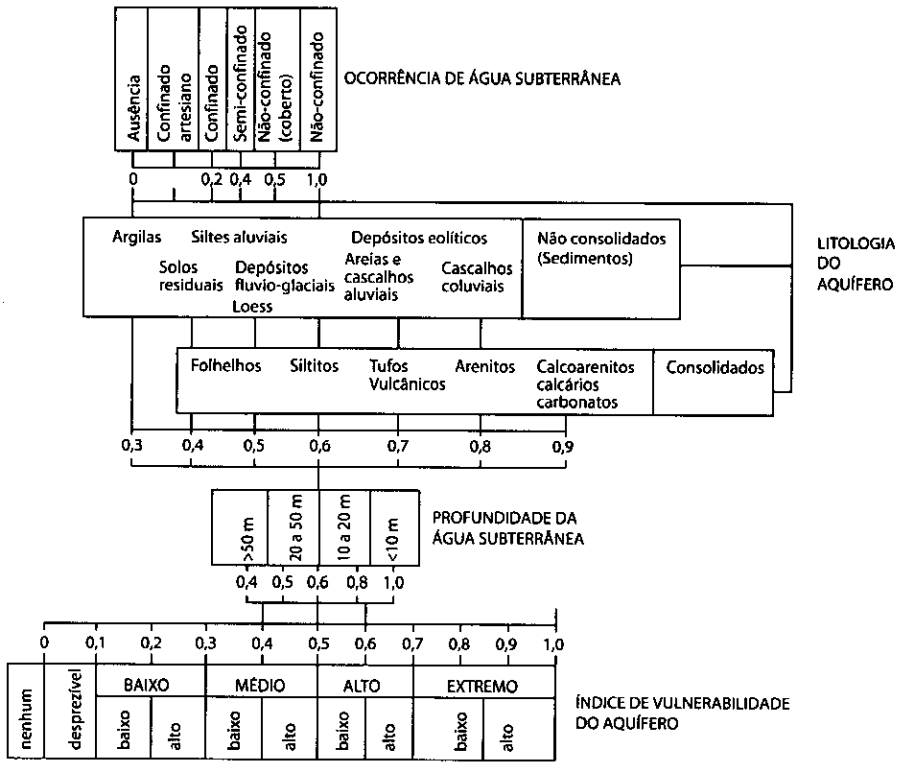


Figura 21. Sistema de Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero adaptado do Método GOD (Foster, 1987 e Foster & Hirata, 1993).

Os resultados obtidos mostrados resumidamente na Tabela 25 estão na íntegra no Anexo 3. Tais resultados foram operacionalizados e posteriormente lançados em mapa através do Programa ARCGIS construindo utilizando-se cores, curvas de iso - distribuição da ocorrência de áreas de igual vulnerabilidade. As cores representam as categorias ou faixas de vulnerabilidade dos sistemas aquíferos do Estado da Bahia, variáveis de baixa em azul, média em amarelo, moderada em marrom e extrema, em vermelho.



Tabela 25. Resumo do sistema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos do Estado da Bahia pelo método GOD.

Município	Localidade	Aquífero	Parâmetros	Litologião do Meio	Parâmetro	Ne	Parâmetro	Grau	Vulnerabilidade
Poços		<b>G</b>	de entrada	<b>O</b>	de entrada	<b>D</b>	de entrada	<b>GOD</b>	
Banzaê	Sede	Sediment	0,4	Arenito, Congl, Folh,	0,75	75,26	0,4	0,12	Baixo-baixo
C Dantas	Sede	Sediment	0,4	Arenito, Congl, Folh,	0,75	128,30	0,4	0,12	Baixo-baixo
Antas	Sede	Sediment	0,4	Arenito, Congl, Folh,	0,75	134,65	0,4	0,12	Baixo-baixo
F. Santana	L.Grande	Cobertur	0,4	Arenito, Aren. congl, t	0,65	14,00	0,8	0,208	Baixo-alto
F. Santana	L.Grande	Cobertur	0,4	Arenito, Aren. congl, t	0,65	15,80	0,8	0,208	Baixo-alto
F. Santana	L.Grande	Cobertur	0,4	Arenito, Aren. congl,	0,65	15,82	0,8	0,208	Baixo-alto
F. Santana	L.Grande	Cobertur	0,4	Arenito, Aren. congl,	0,65	16,70	0,8	0,208	Baixo-alto
F. Santana	Limoeiro	Cobertur	0,4	Arenito, Aren. congl,	0,65	16,00	0,8	0,208	Baixo-alto
Camaçari	C.Metais	Sedimen	0,4	Arenito, Folhelho, Sil	0,75	4,29	1	0,3	Méd-Baixo
Camaçari	C.Metais	Sedimen	0,4	Arenito, Folhelho, Sil	0,75	4,46	1	0,3	Méd-Baixo
Camaçari	C.Metais	Sedimen	0,4	Arenito, Folhelho, Sil	0,75	5,40	1	0,3	Méd-Baixo
Camaçari	C.Metais	Sedimen	0,4	Arenito, Folhelho, Sil	0,75	5,44	1	0,3	Méd-Baixo
Camaçari	C.Metais	Sedimen	0,4	Arenito, Folhelho, Sil	0,75	5,58	1	0,3	Méd-Baixo
Camaçari	C.Metais	Sedimen	0,4	Arenito, Folhelho, Sil	0,75	5,64	1	0,3	Méd-Baixo
Seabra	UAR Cerb	Mtsedimr	1	Arenito, Arenito Arc	0,55	14,06	0,8	0,44	Medio-alto
Seabra	Uniao	Mtsedimr	1	Arenito, Arenito Arc	0,55	12,27	0,8	0,44	Medio-alto
Seabra	Uniao	Mtsedimr	1	Arenito, Arenito Arc	0,55	14,88	0,8	0,44	Medio-alto
M.Calmon	Urubu	Mtsedim	1	Arenito, Calcarenito,	0,55	11,91	0,8	0,44	Medio-alto
S.Brígida	Fz S Viva	Mtsedim	1	Arenito, Carbonato	0,55	3,09	1	0,55	Alto-baixo
Urandi	Fz Urandi	Mtsedim	1	Chert, Form. Fer. Ban	0,55	6,37	1	0,55	Alto-baixo
Boquira	Fzendingha	Mtsedim	1	Conglomerado, Quart Arenito, Conglom, Qz	0,55	4,12	1	0,55	Alto-baixo
M. Chapéu	Fedegoso	Mtsedim	1	Arenito, Conglom, Qz	0,55	0,82	1	0,55	Alto-baixo
S Brígida	P Carteira	Cristalin	1	Granito, Monzodiorito,	0,8	11,98	0,8	0,64	Alto-alto
Ibipitanga	Castanhao	Cristalin	1	Granitoide, Migmatito	0,8	15,05	0,8	0,64	Alto-alto
Jacobina	Catarina	Cristalin	1	Anfibolito, Ortognaisse	0,8	15,75	0,8	0,64	Alto-alto
Itaberaba	Chapada	Cristalin	1	Gnaiss, Paragnaisse,	0,8	16,50	0,8	0,64	Alto-alto
Serrolândia	Combuca	Cristalin	1	Gnaiss granulítico	0,8	11,25	0,8	0,64	Alto-alto
Ipirá	C Maria	Cristalin	1	Gnaiss granulítico	0,8	12,81	0,8	0,64	Alto-alto
Pres. Dutra	Sede	Calcário	1	Calcarenito, Calculutito	0,9	14,14	0,8	0,72	Extr-baixo
Irecê	Sede	Calcário	1	Calcarenito, Calculutito,	0,9	14,62	0,8	0,72	Extr-baixo
V Nova	Sede	Calcário	1	Calcarenito, Calculutito	0,9	15,29	0,8	0,72	Extr-baixo
Aratuípe	Sede	Cristalin	1	Gnaiss	0,85	0,80	1	0,85	Extr-alto
Matina	Sede	Cristalin	1	Monzogranito, Monzont	0,85	1,24	1	0,85	Extr-alto
Mansidão	Sede	Cristalin	1	Granito, Granodiorito,	0,85	1,90	1	0,85	Extr-alto

### 3.5. Metodologia de Construção do Mapa de Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia – NITRATOS

#### O Nitrato como indicador de poluição

De acordo com as normas para água potável o limite de concentração de nitrato é de 45 mg/L ou 10 mg/l expresso em N, para quase todos os países do mundo. Este limite é exigido porque os nitratos quando encontrados em excesso nas águas de abastecimento humano, podem causar metemoglobinemia, também conhecida como a doença do "bebê azul"; e em adultos, a possível formação de nitrosaminas, substância cancerígena que pode causar câncer de estômago, quando se consome água com elevada concentração de nitratos. Os compostos nitrogenados como o amônio ( $\text{NH}_4$ ) e outros, existentes no solo, podem oxidar-se para nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e em seguida para nitrato ( $\text{NO}_3$ ) que é a fase final e estável do nitrogênio, geralmente encontrado com teores elevados (acima de 6 mg/L) em águas subterrâneas poluídas. Portanto a presença de  $\text{NO}_3$  (nitrato) nas águas subterrâneas reveste-se de particular interesse porque é o principal indicador de poluição dessas águas.

O ciclo do nitrogênio no solo e na camada não saturada ilustra a variada gama de processos por que passa este elemento desde a atmosfera até o aquífero. A Figura 22 mostra o ciclo do nitrogênio a partir do  $\text{N}_2$  gasoso da atmosfera e dos diversos compostos em que o nitrogênio pode estar presente em geral a partir da decomposição da matéria orgânica.



Figura 22. O ciclo do nitrogênio no solo e na camada não-saturada.

O amônio, por exemplo, também é um produto de decomposição de proteínas Szikszay (1981). O gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) é facilmente solúvel na água e produz hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) que é parcialmente dissociado fornecendo íons  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{OH}^-$ . O  $\text{NH}_4^+$  é adsorvido nos solos, podendo por processo de nitrificação passar a  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) sendo uma parte consumida pelas plantas e outra sofre processos de denitrificação e volta à atmosfera em forma de  $\text{N}_2$  gasoso. O restante chega ao aquífero por lixiviação.

A presença de nitritos em águas subterrâneas, fase anterior da oxidação do nitrato, demonstra que existe uma poluição recente por matéria orgânica, bem como denuncia a alta vulnerabilidade do aquífero onde os materiais de superfície são carregados para o reservatório com extrema rapidez.

Foi utilizado o banco de dados da CERB consistido com 7.192 poços, uma vez que foram descartados poços que apresentaram erro de localização. Em seguida foram selecionados os parâmetros necessários à composição do mapa de iso-concentração de nitratos na águas subterrâneas quais sejam:

- ✓ Coordenadas do poço;
- ✓ Tipologia do aquífero;
- ✓ Concentração de Nitrato na amostra de água do poço.

O mapa do Grau de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia está associado à ocorrência de teores de nitrato nas águas subterrâneas do Estado da Bahia e foi concebido para ser um indicador associado à vulnerabilidade natural dos aquíferos. Os nitratos são altamente solúveis em água e com grande mobilidade nos solos. Nas águas subterrâneas naturais, os nitratos ocorrem geralmente em teores abaixo de 6 mg/L. Teores acima deste limite na água do poço como resultado da infiltração de água poluída no aquífero, são um indicativo de poluição, originada de atividades humanas (Monteiro *et al.*, 2002).

O mapa foi construído espacializando-se os teores de nitratos utilizando-se o programa ArcGIS. Em seguida são construídas isolinhas de teores utilizando-se as seguintes faixas de teores e cores da tabela abaixo:

FAIXA DE VALORES	CORES
0 mg/L ≤ Nitrato ≤ 6 mg/L	amarelo
6 mg/L ≤ Nitrato ≤ 10 mg/L	azul
10 mg/L ≤ Nitrato < 50 mg/L	vermelho
50 ≤ mg/L Nitrato < 185,82 mg/L	cinza

### 3.6. Metodologia de Construção do Mapa de Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

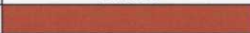




Foi utilizado o banco de dados da CERB consistido com 7.192 poços, (Anexo IV). Em seguida foi feita a seleção dos registros de poços contendo os parâmetros necessários para a construção do Mapa de Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia quais sejam:

- ✓ Coordenadas: Longitude X; Latitude Y;
- ✓ Vazão de Exploração do Poço em (m<sup>3</sup>/h).

Tabela 27. Modelo da Planilha de dados do Mapa de Disponibilidade.

Nº Ordem	Ncerb	Município	Localidade	CoordX	CoordY	Q(m <sup>3</sup> /h)
000001	1-5006	Jacobina	COMPLEXO POLICIAL	40 33 25	11 09 30	0,00
000002	1-5008	L. do Brumado	VARZINHA	42 01 06	13 41 00	11,98
000003	1-5007	Paratinga	PAULISTA DE BAIXO	43 03 51	12 29 03	17,20
000004	1-5022	Paratinga	PEDRAS	43 12 24	12 23 51	2,62
000005	1-5011	Teixeira de Freitas	JARDIM NOVO	39 49 15	17 22 15	0,00
000006	1-5013	Teixeira de Freitas	B. NOVA AMERICA	39 42 49	17 31 31	0,00

O mapa de Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia foi concebido para ser um indicador associado à potencialidade dos aquíferos. A disponibilidade real de água nos aquíferos do Estado está condicionada a diversos fatores tais como: monitoramento dos sistemas de captação; capacidade de armazenamento dos reservatórios; qualidade das águas; tecnologias de locação; construção de poços e obras de captação alternativas dentre outras. E foi construído utilizando-se o programa ArcGIS, espacializando-se os valores de vazão de cada poço cadastrado utilizando-se as seguintes faixas de vazão e cores:

Vazões (m <sup>3</sup> /h)	Cores
0 - 5	
5 - 15	
15 - 50	
50 - 100	
100 - 439,98	

O Mapa da Disponibilidade foi construído com base na Disponibilidade de Exploração Instalada (DEI) nos aquíferos. Esta disponibilidade é avaliada com base na vazão máxima ou vazão ótima de exploração de cada poço em regime de bombeamento de 24/24 h, para todos os dias do ano, ou seja, a vazão do teste de instalação do sistema de bombeamento do poço. Este cálculo difere do cálculo da Disponibilidade de Exploração Atual (DEA) que é o volume anual realmente explorado, em regime de bombeamento médio medido diariamente.

### 3.7. Metodologia de Construção do Mapa da Potencialidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

A determinação da potencialidade das águas subterrâneas resulta do cálculo das reservas dos aquíferos, elaborada a partir de dados básicos, parâmetros hidráulicos e hidrogeológicos dos Domínios Aquíferos do Estado da Bahia, quais sejam:

- ✓ A - área de ocorrência do aquífero ( $L^2/T$ );
- ✓ b - espessura média saturada (L);
- ✓  $\mu$  - porosidade efetiva ou eficaz média (%);
- ✓ P - precipitação média (L/T);
- ✓ I - taxa de recarga em porcentagem (%);
- ✓ T - Transmissividade ( $L^2/T$ );
- ✓ K - Permeabilidade (L/T);
- ✓ S - Coeficiente de Armazenamento (adimensional).

#### Conceituação da Potencialidade de Aquíferos

Segundo Costa (1998) define-se como Potencialidade ( $L^3/T$ ) de aquíferos como o volume hídrico máximo que pode ser utilizado anualmente. A Potencialidade está próxima do conceito de Reserva Reguladora ou Renovável  $R_r$  ( $L^3/T$ ) definida como o volume hídrico acumulado no meio aquífero em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais. Em outras palavras é o volume de água da faixa de flutuação sazonal do nível hidrostático do aquífero e que corresponde ao volume das recargas anuais. Além disso, a Potencialidade pode incluir eventualmente uma parcela da Reserva Permanente  $R_p$  ( $L^3$ ) que, por sua vez, corresponde ao volume hídrico acumulado no meio aquífero em decorrência da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento, não variável em função da flutuação sazonal da superfície hidrostática do aquífero.



O mapa da potencialidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia foi concebido para ser um indicador associado à disponibilidade efetiva de água dos aquíferos. O parâmetro utilizado como potencialidade ( $L3/T$ ) é a parcela máxima do volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem exploradas, com descargas constantes, durante um determinado espaço de tempo.

A potencialidade nos aquíferos do Estado está condicionada, a fatores estruturais e climáticos tais como: área de ocorrência do aquífero; espessura média saturada e precipitação média ou taxa de infiltração. Já a disponibilidade efetiva reflete a vazão de exploração de cada poço por aquífero.

O mapa foi construído utilizando-se o programa ArcGIS, associando-se a área aflorante de cada aquífero ao valor da sua potencialidade calculada, gradando-se as cores do azul mais escuro (maior potencialidade) para o vermelho mais claro (menor potencialidade) como apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28. Potencialidade dos Domínios Aquíferos do Estado da Bahia.

Aquíferos	Potencialidade ( $m^3/s$ )	Aquíferos	Potencialidade ( $m^3/s$ )
Urucuia	730,59	C. Profundas e Vazantes	42,80
Coberturas Rasas	233,00	Embasam. Cristalino>800	32,29
Tucano	166,79	Metassedimentos	29,51
Calcário>800	71,34	Calcário<800	20,46
Recôncavo	53,27	Embasam. Cristalino<800	23,72
Extremo Sul	44,71		

### 3.8. Metodologia de Análise Geoestatística de Dados de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

#### Conceitos geoestatísticos

Os mais de 7.000 poços e seus respectivos dados de qualidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia em cada um dos seus diversos domínios aquíferos, possuem um padrão de comportamento que é função de sua posição no espaço geográfico. Para que este padrão seja determinado é preciso que estes sejam analisados geoestatisticamente.

Conforme apresentado em Vieira *et al.* (1981), em geoestatística é necessário utilizar um marco conceitual consistente associado a um modelo probabilístico, com a finalidade de estimação ou simulação dos valores não medidos de um atributo. Este marco conceitual permite definir uma série de hipóteses básicas necessárias para caracterizar a variabilidade das propriedades estudadas. Portanto, os conceitos teóricos de Geoestatística estão baseados em variáveis e funções aleatórias. Uma *variável aleatória* é uma variável cujos valores se geram aleatoriamente de acordo com algum mecanismo probabilístico. Um exemplo clássico, utilizado é o resultado de lançamento de um dado que pode tomar seis valores diferentes com a mesma probabilidade.

Uma *variável regionalizada* é aquela que apresenta uma estrutura de correlação espacial sendo usada habitualmente para representar fenômenos naturais. Pode-se definir simplesmente como uma função  $Z(x)$  que adota um valor para cada ponto  $x$  no espaço  $R^n$  de  $n$  dimensões. Uma variável regionalizada apresenta geralmente dois aspectos: aleatório, associado com variações erráticas ou imprescindíveis; e estruturado, refletindo as características globais do fenômeno regionalizado.

A teoria da variável regionalizada assume maior importância no estudo probabilístico dos fenômenos naturais, em detrimento das análises determinísticas dos mesmos. Enquanto os estudos determinísticos requerem uma descrição quantitativa dos processos analisados e, como consequência, permite efetuar extrapolações. O enfoque probabilístico dá conta das flutuações erráticas, para o que se requer uma série de hipóteses e um tratamento estatístico mediante a teoria da variável regionalizada.

Uma *função aleatória* é um conjunto de variáveis aleatórias  $Z(x)$  no espaço  $R^n$  de  $n$  dimensões. De outro modo, uma amostra tomada ao acaso da função aleatória  $Z(x)$  é outra função que coincide com o que se tem definido como variável regionalizada. Portanto, a variável regionalizada é uma realização ou observação singular da função aleatória.

Considerando um campo de área S para o qual se tem um conjunto de valores medidos  $\{z(x_i), i=1, \dots, n\}$ , onde  $x_i$  indica uma posição no espaço e no tempo e representa pares de coordenadas  $(r_i, q_i)$ . O ponto de referência para o sistema de coordenadas é arbitrário e fixado pelo interessado. Para uma posição fixa,  $x_k$ , cada valor medido da variável estudada,  $Z(x_k)$ , pode ser considerado uma realização de uma certa variável aleatória  $\{Z(x_k)\}$  que corresponde à variável regionalizada  $Z(x_k)$ , para qualquer  $x_i$  dentro de uma área S. Por sua vez  $Z(x_k)$  pode ser considerada uma realização de um conjunto de variáveis aleatórias  $\{Z(x_k)\}$  para qualquer  $x_i$  dentro de S. O conjunto de variáveis aleatórias é denominado função aleatória sendo simbolizada por  $Z(x_i)$ . Portanto, considerando-se a função aleatória simbolizada por  $Z(x_i)$ , para cada conjunto de k pontos no espaço  $x_1, x_2, \dots, x_k$  há uma série correspondente de k variáveis aleatórias.

$$E\{Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)\} \quad (1)$$

Este conjunto de variáveis aleatórias está caracterizado completamente pela função de distribuição da variável de ordem k.

$$F_{x_1, x_2, \dots, x_k}(z_1, z_2, \dots, z_k) = \text{Prob}\{Z(x_1) < z_1, \dots, Z(x_k) < z_k\} \quad (2)$$

O conjunto de todas estas funções de distribuição, para todos os valores positivos de k e para cada uma das possíveis realizações do ponto  $x_i$ , constitui a Lei Espacial de Probabilidade da Função Aleatória  $Z(x)$ .

Para a maioria dos problemas de estimação/simulação o número de dados experimentais geralmente, é insuficiente para inferir a lei de probabilidade que se aplica aos dados. Isto é, na maioria das aplicações práticas a informação disponível não permite inferir momentos de maior ordem. Assim sendo utiliza-se os conceitos da *geoestatística linear*, onde só se usam os dois primeiros momentos da função aleatória sendo impossível ser feita distinção entre duas funções aleatórias que tenham os mesmos momentos de primeira e segunda ordem.

### O Semivariograma

Até o início dos anos 60, a análise de dados era feita sob a hipótese de independência estatística ou distribuição espacial aleatória, para permitir o uso de métodos estatísticos clássicos como análise de variância e parâmetros como o coeficiente de variação (Harradine, 1949; Ball & Williams, 1968). Entretanto, este tipo de hipótese não pode ser aplicado indistintamente sem que se prove a não existência de correlação de amostras com a distância. Se provada a correlação espacial, a hipótese de independência fracassa. Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo, de amostras vizinhas é através da autocorrelação. Este



método tem suas origens em análise de séries temporais e tem sido usado em Ciência do Solo (Webster, 1973; Webster & Cuanalo, 1975; Vieira *et al.*, 1981) principalmente para medições efetuadas em uma linha reta. A sua análise pode auxiliar na localização de divisas entre dois tipos de solos, ou na análise de periodicidade nos dados, através da análise espectral (Vauclin *et al.*, 1982). Porém, quando as amostras forem coletadas nas duas dimensões do campo e for necessária para interpolação entre locais medidos a construção de mapas de isolinhas, será preciso usar uma ferramenta mais adequada para medir a dependência espacial. Esta ferramenta é o semivariograma (Vieira *et al.*, 1983). Existe um paralelismo claro entre a inferência geoestatística, que se baseia nas características de uma função de dependência espacial, o semivariograma e a inferência estatística, que não é possível a partir de uma só realização e requer conhecer a função de distribuição da variável estudada.

Segundo (Journel & Huijbregts, 1978) a definição matemática do semivariograma é:

$$\gamma(h) = 1/2 E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

E pode ser estimado por meio de

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

onde  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h$ . O gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$ , chamado semivariograma, é uma função do vetor  $h$ , e portanto depende de ambos, magnitude e direção de  $h$ . Quando o gráfico do semivariograma é idêntico para qualquer direção de  $h$  ele é chamado isotrópico e representa uma situação bem mais simples do que quando é anisotrópico. De qualquer maneira, sob isotropia ou não, a equação (4) é a que é usada para o cálculo do semivariograma. Os programas de computador, utilizados para calcular o semivariograma simplesmente calculam aquela equação. Quando os dados forem coletados em o semivariograma é uni-direcional e nada pode ser dito a respeito de anisotropia, mas por outro lado é uma preocupação a menos.

É importante notar que a maioria das variáveis de ciência do solo poderá ter um comportamento anisotrópico, isto é, mudar de maneira diferente para direções diferentes e isto depende muito da propriedade em estudo, das dimensões do campo de estudos, e do tipo de solo envolvido. No caso anisotrópico o semivariograma deve sofrer transformações antes de ser usado existindo algumas maneiras de se transformar um semivariograma anisotrópico em isotrópico (Journel & Huijbregts, 1978; Burgess & Webster, 1980a). Em geral, a precisão da interpolação ou o tipo de hipótese satisfeita, não são afetados se, ao invés de se preocupar com escolha de

método de transformação de anisotropia, apenas limitar a faixa de distância na qual se utiliza o semivariograma. De qualquer maneira é sempre aconselhável examinar semivariogramas para várias direções, antes de tomar decisões. As principais direções que devem ser examinadas são: 0° - na direção do eixo X, 90° - na direção do eixo Y, 45° e - 45° - nas duas diagonais. O método "Jack-knifing" é também de grande utilidade para se determinar a faixa de distância na qual o semivariograma pode ser, na prática, considerado isotrópico.

O ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas e podem ser uma das maiores fontes de ambigüidade e polêmica nestas aplicações.

Dependendo do comportamento de  $\gamma(h)$  para altos valores de  $h$ , os modelos podem ser classificados em: modelos com patamar ("Sill") e modelos sem patamar. Os modelos com patamar são: linear, esférico, exponencial e gaussiano. Os sem patamar, correspondem a fenômenos que tem capacidade finita de dispersão e por isto, não têm variância finita e a covariância não pode ser definida.

O semivariograma da indicatriz é similar ao semivariograma ordinário. A diferença entre eles está no fato do primeiro trabalhar com dados binários (0,1), enquanto o último trabalha com os dados originais. No semivariograma da indicatriz os dados originais são transformados quando forem maiores do que um valor limite. Portanto, uma variável discreta vai se transformar em 0 ou 1 segundo a classificação abaixo:

$$i(x_0, s_k) = \begin{cases} 1 & \text{quando } x_0 = s_k \\ 0 & \text{para os demais casos} \end{cases} \quad (5)$$

$i(x_0, s_k)$  são os valores  $z(x_i)$  observados.

A distribuição espacial desta nova variável indicatriz continua é caracterizada, também com o semivariograma, que se expressa:

$$\gamma_I(h, z_c) = \frac{1}{2} E\{[I(x, z_c) - I(x+h, z_c)]^2\} \quad (6)$$

### Krigagem

Conhecido o semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima. O método de interpolação é chamado de krigagem, em homenagem ao matemático sul-africano Krige nome que foi dado pôr Matheron (1963). Suponha-se, então, que se queira expressar o resultado do trabalho em forma de mapa de

isolinhas ou de superfície tridimensional. A precisão da localização das isolinhas entre dois pontos é extremamente dependente da densidade de pontos por área e, conseqüentemente, da distância entre os pontos. A maneira mais comum de localizar uma isolinha entre dois pontos é através de interpolação linear. Existem programas de computador para ajustar polinômios bidimensionais, chamados superfície de tendência (Davis, 1973). Entretanto, as formas na quais os dados variam de um local para outro no campo não tem, necessariamente, que seguir equações lineares ou polinômiais. Na verdade, é comumente impossível se determinar com exatidão que tipo de equação matemática descreve a variação dos dados no campo. E mesmo que se consiga, na prática, ajustar algum polinômio aos dados, a sua forma e grau podem não ter nenhuma interpretação física para o fenômeno, fato que é revelado no semivariograma, embora não se conheça a equação que descreveria os dados.

#### **A Variância da Estimativa**

O simples fato de que por meio da krigagem ou da co-krigagem pode-se conhecer também a variância da estimativa, diferencia-os de qualquer outro método. Esta é uma propriedade interessantíssima, pois, além de permitir a estimativa de valores sem tendência para os locais onde estes não foram medidos, ainda se pode conhecer a confiança associada a estas estimativas, as quais podem ser chamadas de ótimas.

Uma vez que esta é uma variância, naturalmente pode-se comparar com a variância dos dados medidos. Assim, quanto menor for o efeito pepita do semivariograma, menor será a variância da estimativa. Mais precisamente, quanto menor for a proporção do efeito pepita para o patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa. A própria intuição poderia levar a esperar tal comportamento, pois, se a variável estudada, varia grandemente entre locais medidos, então, não é de se esperar grande confiança na estimativa, como também poderia acontecer se este valor fosse medido, pois a variabilidade é grande. Além disto, a pior variância da estimativa, ainda será menor do que a variância dos dados medidos.

Examinando-se as equações relativas aos cálculos das variâncias da estimativa de krigagem e co-krigagem, respectivamente, nota-se que são apenas indiretamente dependentes dos valores medidos. Isto porque, o semivariograma e semivariogramas cruzados, representam a maneira como a variável regionalizada varia de um local para o outro no campo, e os pesos são conseqüências deste fato. Porém, uma vez que se conhece o semivariograma de uma

propriedade, qualquer tipo de esquema de amostragem pode ser desenhado para variâncias da estimativa pré especificadas. Obviamente, a variância da estimativa sendo uma função da distância ou distribuição espacial das amostras, será máxima nos locais mais distantes de valores medidos. Assim, baseado em semivariogramas de variáveis medidas em caráter de reconhecimento, amostragens definitivas podem ser desenhadas para satisfazer condições pré especificadas. A localização ideal de uma rede de pluviômetros em bacias hidrográficas constitui um exemplo prático deste procedimento. O mesmo pode também ser utilizado através da co-krigagem, ambos, com algumas complicações e vantagens. A principal complicação é que neste caso, depende-se de três correlações espaciais (de cada variável individualmente, e entre elas), o que não é sempre fácil. Entretanto, quando as variáveis são amostradas em espaçamentos diferentes, haverá pontos onde apenas a variável auxiliar foi medida. Para estes pontos, quase sempre a variância da estimativa da co-krigagem é melhor do que a da krigagem. Com esta vantagem em mente, podem-se desenhar esquemas de amostragem que envolva ambas as variáveis, em densidades de amostragem bem diferentes, de acordo com o grau de dependência espacial encontrado e a dificuldade de medição.

Qualquer que seja o método, krigagem ou co-krigagem, a variância da estimativa é extremamente sensível à forma do semivariograma ou semivariograma cruzado. Baseado na discussão acima, o mapa de isolinhas ou tridimensional de uma variável usando valores estimados através de um dos métodos geoestatísticos deve ser sempre acompanhado pelo mapa correspondente da variância da estimativa, para que se possam visualizar os locais onde a confiança na estimativa é limitada ou é suficiente. Entretanto, uma vez que a variância da estimativa é uma função indireta da distância dos vizinhos ao redor do local da estimativa. Então em amostragens tomadas em distâncias regulares no reticulado quadrado, o mapa da variância da estimativa será, simplesmente, uma coleção de círculos, com maiores valores onde o ponto estimado é mais distante. Nesses casos, o mapa da variância tem pouca utilidade e o exame de células compostas de vizinhos fechando o primeiro polígono em volta do valor estimado, mostrando a variância da estimativa, ilustra este ponto suficientemente bem.

Uma excelente discussão sobre o efeito do número de amostras disponíveis na variância da estimativa em co-krigagem pode ser visto em Vauclin *et al.* (1983).

## Resultados e Discussão

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Qualidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia – IQNAS

Os valores do índice de qualidade (IQNAS), das águas dos aquíferos do Estado da Bahia, encontrados para os 1.899 poços distribuídos nos diversos domínios hidrogeológicos mostraram-se bastante satisfatórios, retratando com fidelidade a qualidade dessas águas e a metodologia utilizada. Conforme mostra Mapa da Figura 23 e a Tabela 29, ocorreu o esperado: o domínio das bacias sedimentares e coberturas obtiveram as melhores notas, seguidas pelo metassedimentar, cárstico e, por fim, pelo cristalino semi-árido.

Tabela 29. Percentual de poços em cada classe de IQNAS, por Domínio Hidrogeológico.

Domínio Hidrogeológico	Nº de Poços	Pluviosidade (mm/ano)	Percentual de Poços por Classe de IQNAS			
			Ótima	Boa	Aceitável	Imprópria
Sedimentar	476	>1.200	34%	59%	4%	3%
Metassedimentar	247	1000 – 1.200	37%	42%	17%	4%
Cárstico	335	800 – 1.000	5%	40%	20%	35%
Cristalino	798	400 - 800	6%	19%	42%	33%

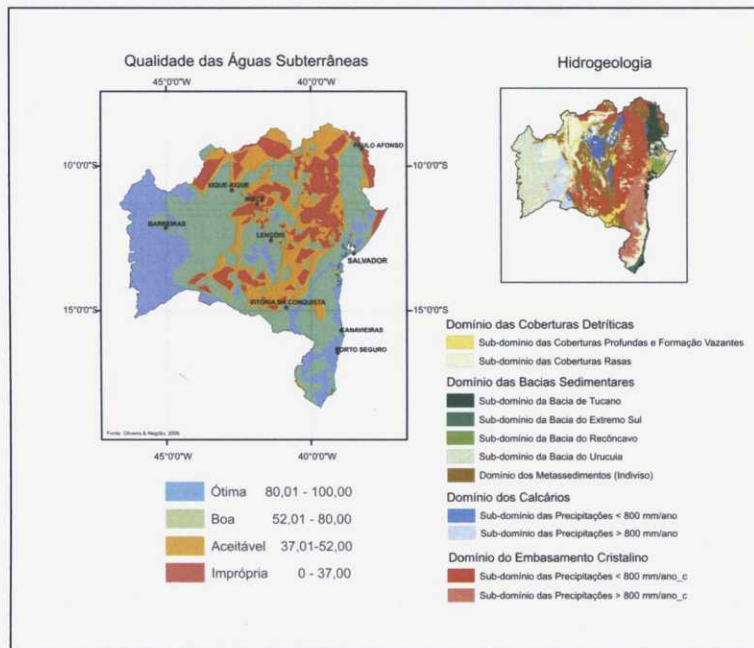


Figura 23. Mapa Semafórico do IQNAS para o Estado da Bahia.

A interpretação dos resultados apresentados no mapa da Tabela 29 e Figura 23 com valores do IQNAS para os Domínios Hidrogeológicos do Estado, está intimamente associada à pluviosidade e ao tipo de rocha predominante em cada um desses domínios.

Os Domínios Sedimentares do Estado da Bahia predominantemente arenosos ocorrentes em regiões de alta pluviosidade, acumulam grande quantidade de água. Essas características tornam os aquíferos do domínio sedimentar os maiores em termos de volume armazenado e os melhores quanto à qualidade de suas águas, predominantemente de qualidade boa à ótima.

O Domínio Metassedimentar possui características semelhantes às rochas do Domínio Cristalino (fissural), porém, no Estado da Bahia, devido à sua composição mineralógica predominantemente quartzítica e posição geográfica em zonas de maior pluviosidade, (Chapada Diamantina) apresentam qualidade semelhante ao Domínio Sedimentar, ainda com predominância de águas de qualidade boa à ótima.

O Domínio Cárstico reserva água em cavernas subterrâneas e fraturas, formadas pela dissolução dos seus sais componentes. Sendo esses sais altamente solúveis produzem águas carregadas de carbonato de cálcio e magnésio. Tendo-se como resultado um IQNAS com menos de 50% de notas na qualidade boa à ótima.

O Domínio do Embasamento Cristalino acumula água nas fendas ou fissuras resultantes do fraturamento, e, devido a fatores ligados ao clima e variedade de composição das rochas constituintes, são os que possuem as notas mais baixas de IQNAS. Em regiões semi-áridas, as características litológicas, típicas dos aquíferos cristalinos e as baixas recargas desses aquíferos, aliadas as altas taxas de evaporação, vão concentrando sais nas suas águas subterrâneas. Por estas razões somente 25% de suas águas apresentam notas na qualidade boa à ótima.

Entretanto este comportamento pode ter menor influência quando os aquíferos ocorrem em regiões de maior índice pluviométrico, onde a recarga mais freqüente se encarrega de renovar, com rapidez, a água presente nas fendas, melhorando sua qualidade. A interferência da pluviosidade nos valores do IQNAS e, conseqüentemente, na qualidade das águas analisadas foi constatada neste trabalho. Para exemplificar essa interferência, foram divididas duas regiões do Domínio do Embasamento Cristalino com comportamentos distintos: uma com precipitações acima de 800 milímetros ao ano e outra com precipitações abaixo deste valor. Os poços localizados nas regiões de índice pluviométrico mais elevado possuem águas de melhor qualidade do que aqueles localizados em áreas de menor pluviosidade. A visualização dos dados no mapa do Estado da Bahia também mostrou outro

fato relevante: os poços com águas classificadas como de qualidade “imprópria” pelo IQNAS concentram-se nos domínios hidrogeológicos de calcário e cristalino e nas regiões de pluviosidade menor do que 800 milímetros ao ano, como pode ser observado na Tabela 30.

Tabela 30. Influência das Precipitações na Qualidade das Águas dos Domínios Indicados.

Domínio Hidrogeológico	Precipitação (mm/ano)	Nº de Poços	Percentual de Poços por Classe de IQNAS			
			Ótima	Boa	Aceitável	Imprópria
Calcário	> 800	99	16	68	5	11
	< 800	248	1	34	28	37
Cristalino	> 800	158	18	45	21	16
	< 800	661	3	12	48	37

Conclui-se, pois, que a baixa taxa de recarga dos aquíferos implica diretamente na maior concentração de sais e de outras substâncias dissolvidas na água. Isso contribui para a má qualidade da mesma, tornando-a muitas vezes extremamente salinizada.

Para examinar em detalhe a distribuição dos valores do IQNAS, em cada um dos domínios aquíferos do Estado, foram elaborados os mapas semafóricos das Figuras 24 a 28, para cada aquífero em separado.

O mapa da Figura 24, Domínio das Coberturas Detríticas, está dividido em coberturas rasas e coberturas profundas. As águas de melhor qualidade estão localizadas nas coberturas profundas em regiões de pluviometria elevada.



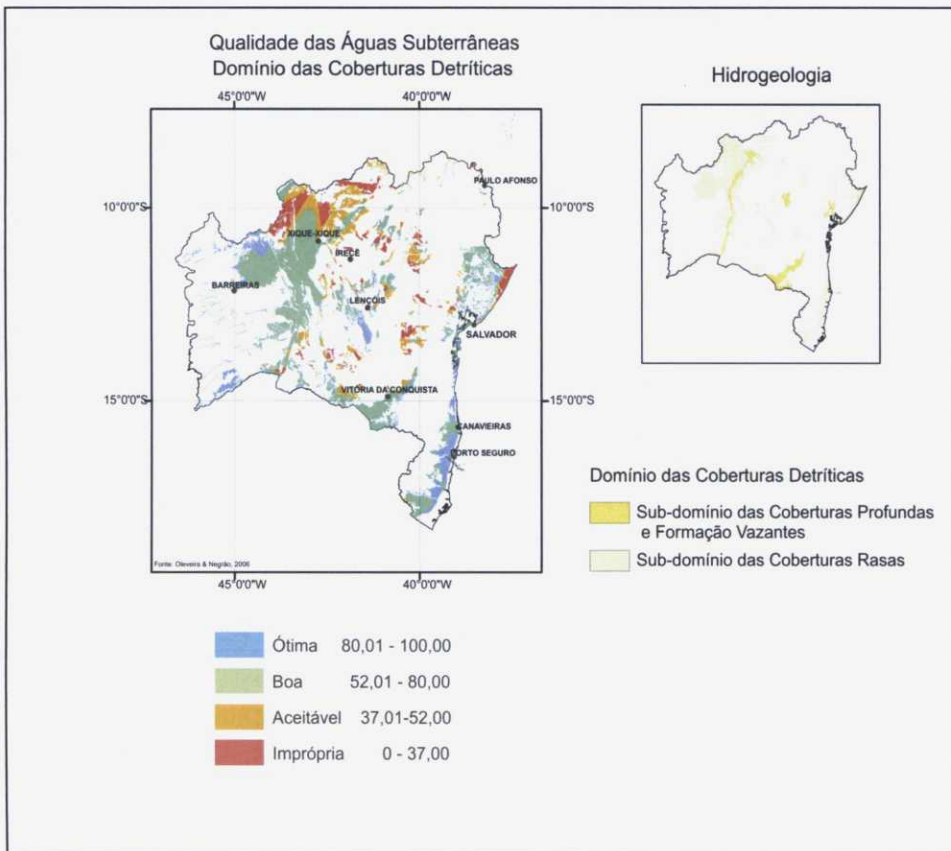


Figura 24. Mapa Semafórico do IQNAS para o Domínio Aquífero das Coberturas Detríticas.

O mapa da Figura 25 corresponde ao Domínio das Bacias Sedimentares que se compõem predominantemente de terrenos arenosos que acumulam grandes quantidades de águas doces. Verifica-se que as águas de melhor qualidade estão localizadas nas regiões de alta pluviosidade.

A qualidade ótima é predominante no aquífero Urucuia e de ótima a boa nos aquíferos da Bacia do Recôncavo, Tucano, Sul e Extremo Sul.

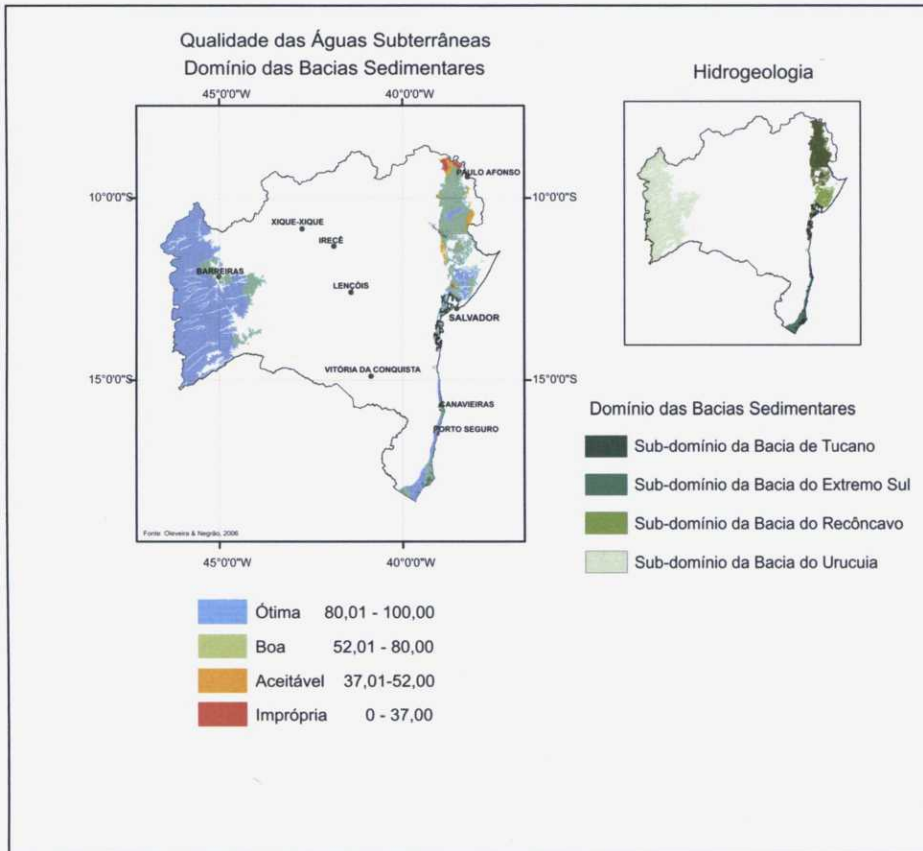


Figura 25. Mapa Semafórico do IQNAS para o Domínio Aquífero das Bacias Sedimentares.

O mapa da Figura 26 corresponde ao Domínio Metassedimentar que possui características semelhantes às rochas do Domínio Cristalino (fissural), porém, no Estado da Bahia, devido à sua composição mineralógica predominantemente quartzítica, e posição geográfica em zonas de maior pluviosidade, (Chapada Diamantina) apresentam qualidade

semelhante ao Domínio Sedimentar, ainda com predominância de águas de qualidade boa à ótima.

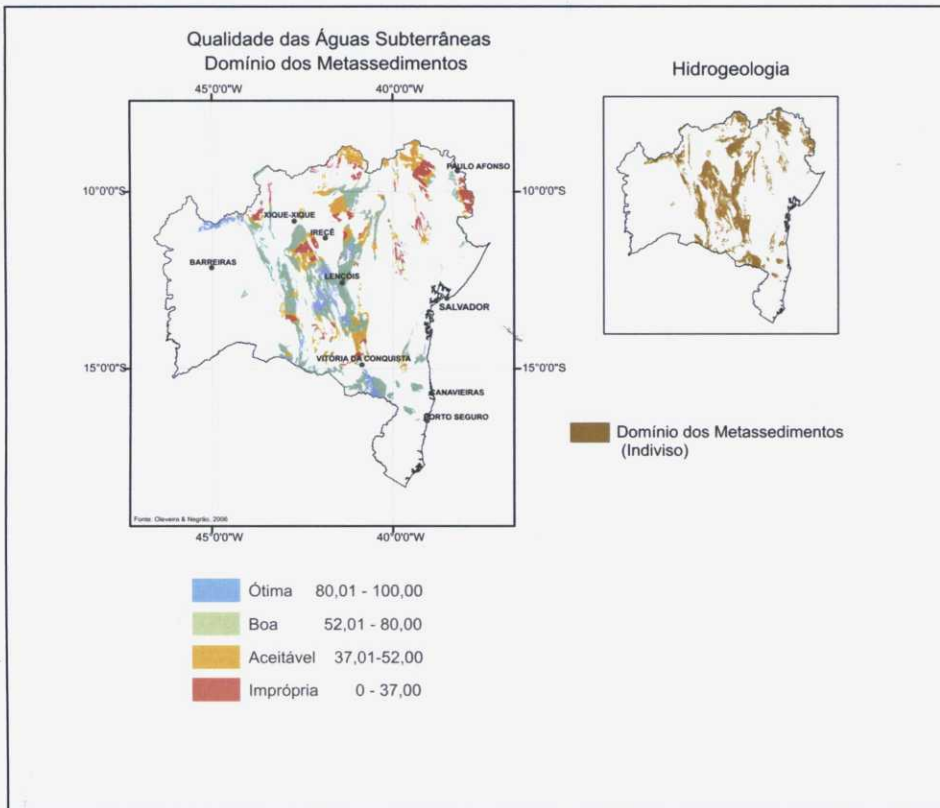


Figura 26. Mapa Semafórico do IQNAS para o Domínio Aquífero Metassedimentar.

O mapa da Figura 27 corresponde ao Domínio Calcário, formado pela dissolução dos sais componentes de rochas carbonáticas e margas. Sendo esses sais altamente solúveis produzem águas carregadas de carbonato de cálcio e magnésio, tendo-se como resultado águas com predominância de qualidade aceitável a imprópria. A visualização do mapa também mostra que os poços com águas classificadas como de qualidade imprópria pelo IQNAS concentra-se nas regiões de pluviosidade menor do que 800 milímetros ao ano.

No estado da Bahia, o Domínio Cárstico na região de Irecê, vem tendo sua água

subterrânea explorada para irrigação de culturas de ciclo curto, assim sendo, uma grande quantidade de fertilizantes nitrogenados e defensivos agrícolas tem sido sistematicamente usada na região. Além disso, com o crescimento populacional, o volume dos efluentes domésticos sem saneamento básico vem causando o aumento de nitratos nas águas dos poços de abastecimento das pequenas comunidades, fenômeno este que se verifica já a algumas décadas (Negrão, 1987).

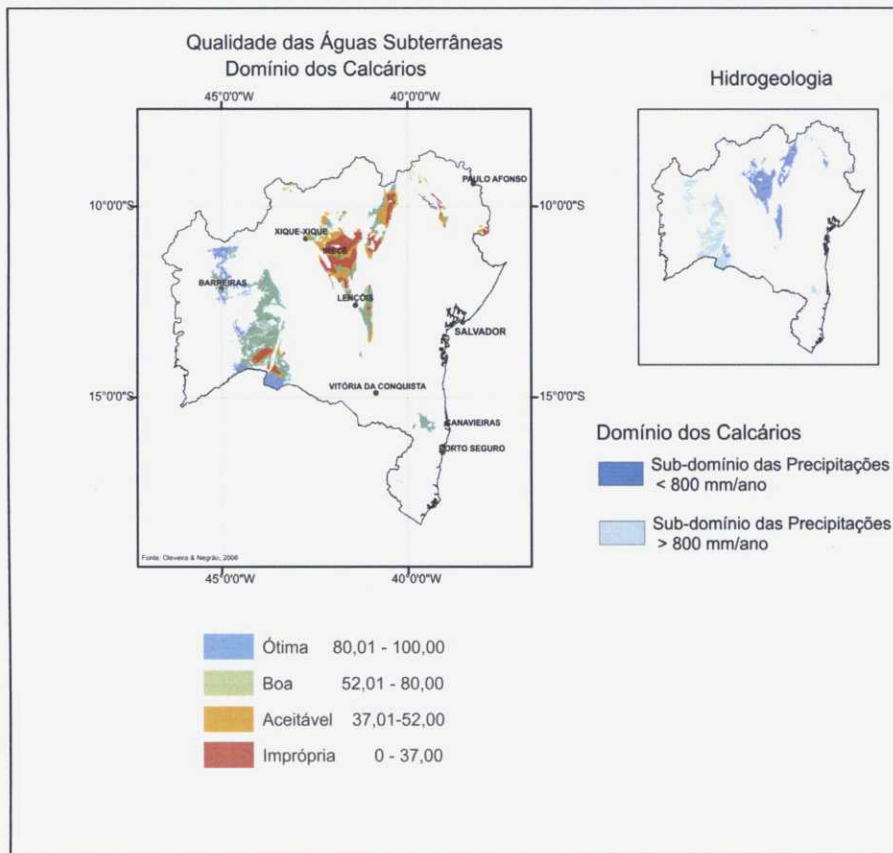


Figura 27. Mapa Semafórico do IQNAS para o Domínio Aquífero Calcário.

O mapa da Figura 28 corresponde ao Domínio do Embasamento Cristalino, o qual acumula água nas fendas ou fissuras resultantes do fraturamento e, devido a fatores ligados ao clima e variedade de composição das rochas constituintes, são os que possuem as notas de qualidade mais baixas.

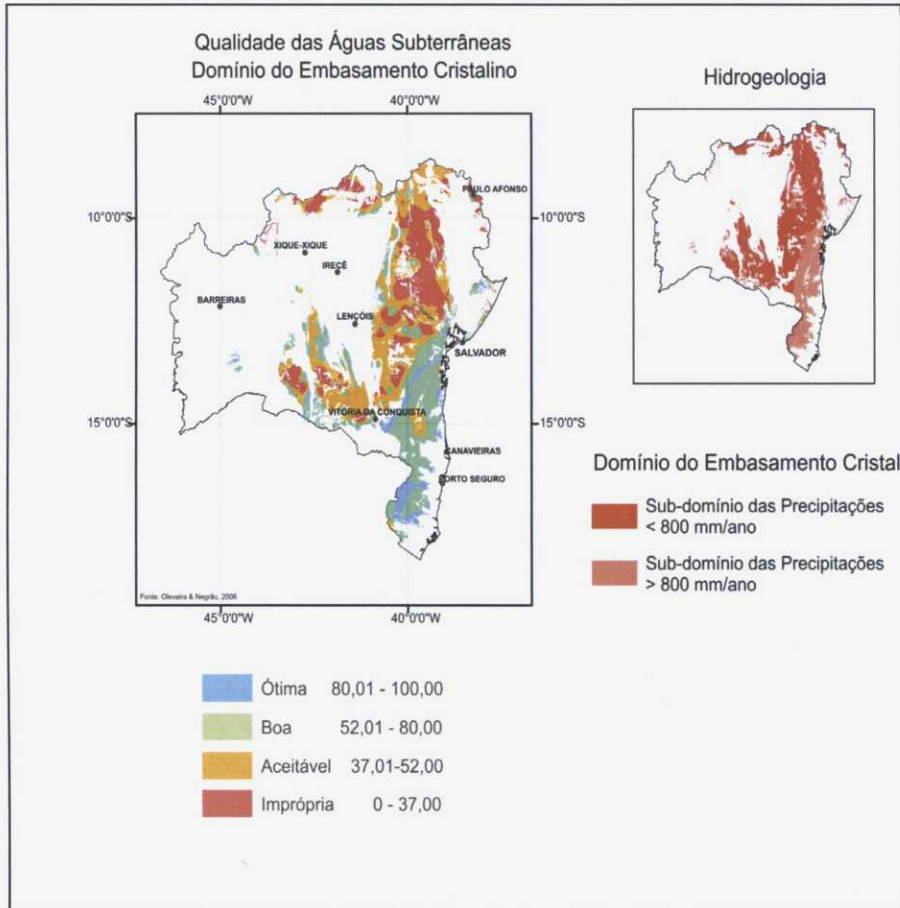


Figura 28. Mapa Semafórico do IQNAS para o Domínio Aqüífero Embasamento Cristalino.

Nos aqüíferos cristalinos das regiões semi-áridas, a composição química das rochas, ricas em minerais ferromagnesianos, as baixas recargas e as altas taxas de evaporação, vai concentrando sais na água subterrânea. Por estas razões menos de um quarto de suas águas apresentam notas na qualidade boa à ótima.

Entretanto este comportamento pode ter menor influência quando os aquíferos ocorrem em regiões de maior índice pluviométrico, onde a recarga mais freqüente se encarrega de renovar a água presente nas fendas, melhorando sua qualidade. A interferência da pluviosidade nos valores do IQNAS e, conseqüentemente, na qualidade das águas analisadas foi constatada neste trabalho. O mapa da Figura 27 mostra as duas regiões do Domínio do Embasamento Cristalino com comportamentos distintos: uma com precipitações acima de 800 milímetros ao ano e outra com precipitações abaixo deste valor. Os poços localizados nas regiões de índice pluviométrico mais elevado possuem águas de melhor qualidade do que aqueles localizados em áreas de menor pluviosidade. Conseqüentemente, a baixa taxa de recarga dos aquíferos implica diretamente na maior concentração de sais na água, contribuindo para a má qualidade da mesma, tornando-a muitas vezes extremamente salinizada.

#### **4.2. Potencialidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia**

O mapa da potencialidade (Figura 29) dos diversos domínios hidrogeológicos mostraram que os aquíferos Urucuia, Recôncavo e Tucano, possuem as maiores reservas e sendo os melhores em qualidade de água subterrânea do Estado da Bahia. Os aquíferos, de coberturas, cársticos, metassedimentares e cristalinos, conquanto possuam grandes reservas e são largamente utilizados, nas regiões semi-áridas são de qualidade inferior. O domínio aquífero Urucuia é o maior do Estado em potencialidade, com cerca de  $730 \text{ m}^3/\text{s}$ , possuindo água de qualidade ótima e reserva suficiente para abastecer, cerca de 100 cidades do tamanho de Salvador, capital do Estado. Em segundo lugar, por ordem de importância e qualidade, têm-se os aquíferos da Bacia do Recôncavo-Tucano, Extremo Sul, Coberturas profundas e Formações Vazantes, com potencialidade da ordem de  $305 \text{ m}^3/\text{s}$  e água de qualidade boa à ótima. Em terceiro, vem o aquífero cárstico com potencialidade de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  e água de qualidade aceitável a imprópria. Em quarto têm-se os aquíferos das Coberturas rasas e metassedimentares com potencialidade da ordem de  $262 \text{ m}^3/\text{s}$  e água de qualidade boa a ótima. Por último, o aquífero cristalino, com potencialidade da ordem de  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  e água de qualidade variável, boa a ótima, aceitável a imprópria, principalmente em terrenos localizados na região semi-árida.



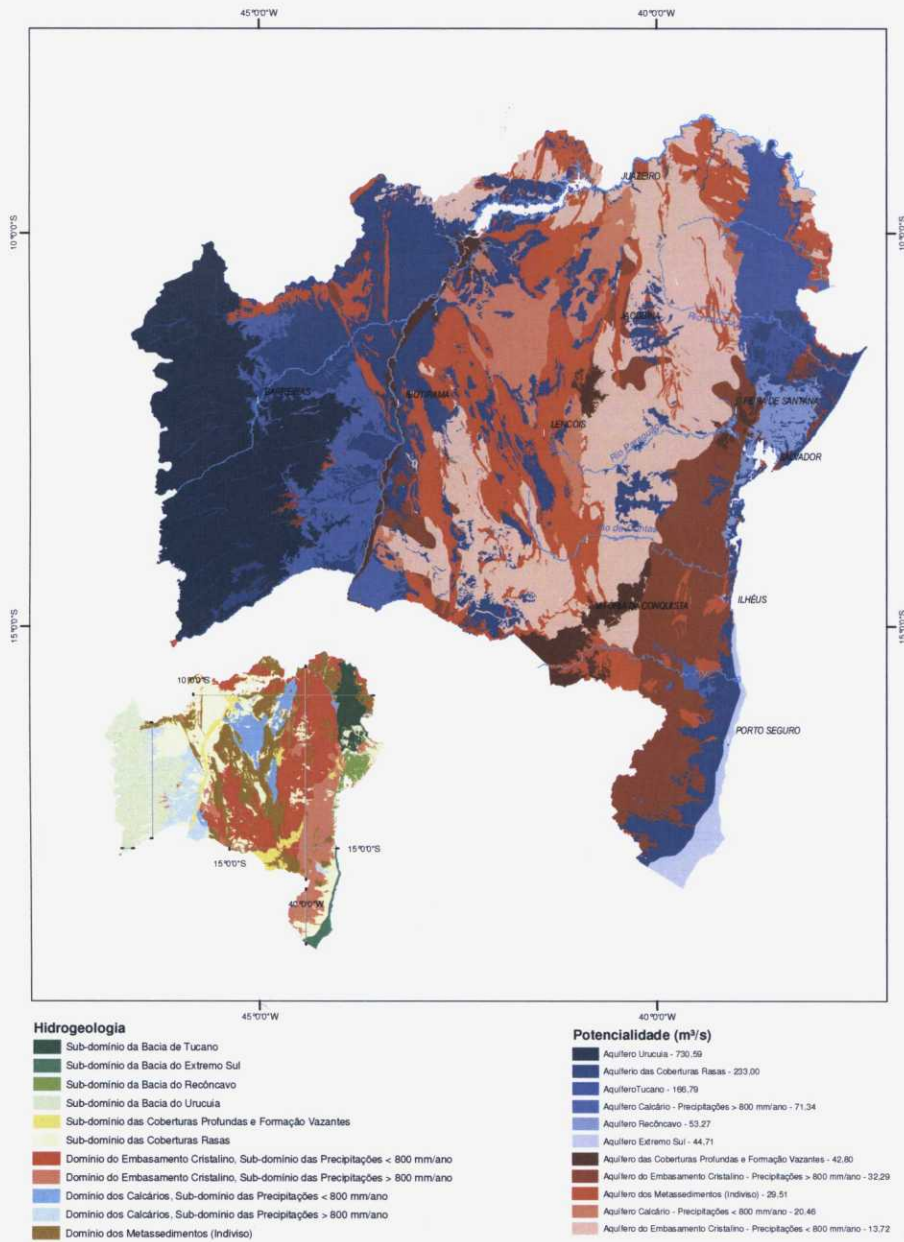


Figura 29. Mapa da Potencialidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia.

#### 4.3. Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

O Mapa da Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia (Figura 30) mostra que as vazões mais altas, entre 50 e 430 m<sup>3</sup>/h, e as vazões médias, entre 15 e 50 m<sup>3</sup>/h, estão concentradas nos aquíferos sedimentares e cársticos, tais como: Recôncavo-Tucano, Extremo Sul e Cárste da região do Oeste e Irecê. As vazões baixas entre 5 e 15 m<sup>3</sup>/h são mais frequentes no aquífero cristalino das regiões úmidas do Sul do Estado e nos aquíferos metassedimentares. As vazões, extremamente baixas ou insuficientes, entre 0 e 5 m<sup>3</sup>/h, são mais frequentes no aquífero cristalino das regiões secas do Nordeste semi-árido do Estado da Bahia.

Tendo em vista que o Mapa da Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia foi construído com os valores da Disponibilidade de Exploração Instalada (DEI) e não com a Disponibilidade de Exploração Atual (DEA), faz-se necessário esclarecer que para se saber efetivamente a quantidade de água disponível em um aquífero hoje, no Estado da Bahia, seria necessário que se tivesse o monitorando o bombeamento diário de cada poço instalado. Evidentemente que um monitoramento como esse só será possível quando o Estado tiver o cadastro de todos os sistemas de captação e criar redes de monitoramento dos sistemas de abastecimento. Para tanto o Estado precisará ampliar a utilização dos instrumentos legais de gerenciamento de recursos hídricos tais como os Comitês de Aquíferos, Enquadramento de Corpos D'água e Outorga de Uso de Poços.

O Mapa da Disponibilidade (Figura 30) mostra que os aquíferos com maiores vazões são os menos explorados do Estado, com exceção para o aquífero Urucuia que apresentou baixas vazões por falta de dados.



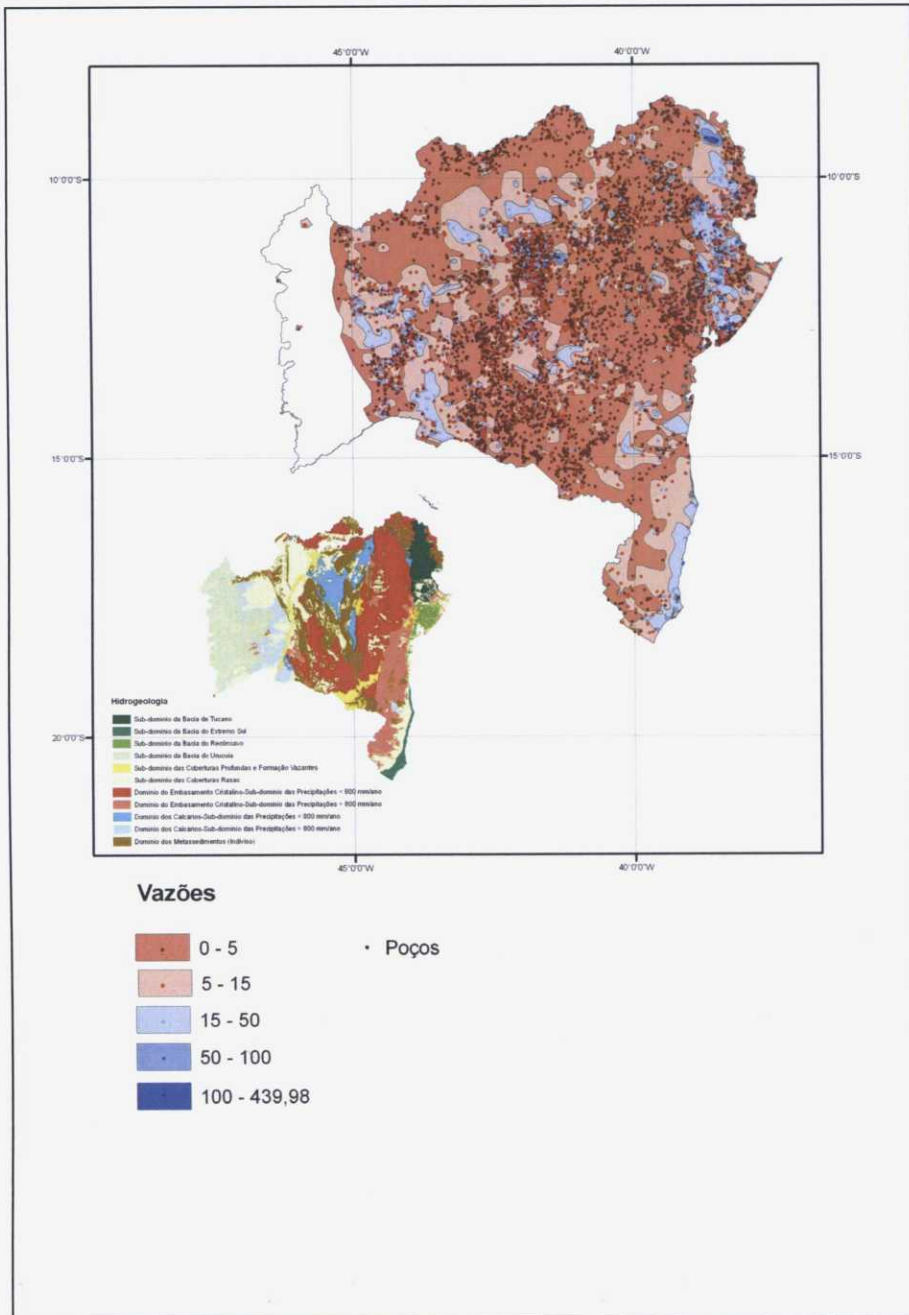


Figura 30. Mapa da Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia.

#### 4.4. Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

Um resumo do resultado do cálculo da vulnerabilidade dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando-se a metodologia GOD com os parâmetros hidrogeológicos de 7.192 poços do banco de dados da CERB está apresentado na tabela 31. O cálculo completo, com todos os resultados, está no Anexo V.

Tabela 31. Resumo do resultado da avaliação da vulnerabilidade dos Domínios Aquíferos do Estado da Bahia pelo método GOD.

Hidrogeologia	Ocorrência da água subterrânea		Grau de consolidação do meio poroso		Distância à água		VULNERABILIDADE DO AQUIFERO		
	Domínio Aquífero	Tipo de aquífero	Parâmetro de Entrada	Litologia	Parâmetro de Entrada	Ne (m)	Parâmetro de Entrada	Grau de Vulnerabilidade	P
Coberturas Detríticas	Semi-confinado	0,4	Arenitos e argilitos	0,65	55	0,4	Alto-alto	182	3,03
							Baixo-alto	216	3,60
							Baixo-baixo	29	0,48
							Extrem-baixo	419	6,98
							Medio-baixo	195	3,25
Bacias Sedimentares	Semi-confinado	0,4	Arenitos,	0,75	65	0,4	Médio-Baixo	40	0,67
							Baixo-alto	122	2,03
							Baixo-baixo	336	5,60
Metassedimentos	Não-confinado	1	Quartzitos	0,55	6	1	Médio-Baixo	272	4,53
							Alto-baixo	563	9,38
							Baixo-alto	110	1,83
Embasamento Cristalino	Não-confinado	1	Granulitos e Gnaisses	0,80	8	1	Medio-alto	151	2,52
							Alto-alto	241	4,02
							Extremo-alto	1.407	23,45
							Medio-alto	105	1,75
Calcários	Não-confinado	1	Calcários	0,90	10	0,8	Médio-Baixo	9	0,15
							Extremo-alto	569	9,48
							Extremo-baixo	527	8,78
							Medio-alto	396	6,60
							Medio-baixo	112	1,87

P = Número de poços.

A Tabela 31 mostra o resultado da avaliação do grau de vulnerabilidade das águas subterrâneas do Estado a partir dos tipos de ocorrência dos aquíferos tais como:

- ✓ Nos aquíferos das Coberturas Detríticas, observa-se que 15% do total de poços, têm vulnerabilidade de grau baixo e 3%, alto.
- ✓ Nos aquíferos das Bacias Sedimentares, observa-se que 10% do total de poços, têm vulnerabilidade de grau baixo e 2%, baixo a alto.
- ✓ Nos aquíferos dos Metassedimentos, observa-se que 14% do total de poços, têm vulnerabilidade de grau baixo a alto.
- ✓ Nos aquíferos do Embasamento Cristalino, observa-se que 27,5% do total de poços têm vulnerabilidade média/alta e 0,5% extrema/baixa.

- ✓ Nos aquíferos Calcários, observa-se que 16% do total de poços têm vulnerabilidade média/alta e 11% extrema/baixa.

Analisando-se o Mapa de Vulnerabilidade, Figura 31, observa-se que:

Nas regiões das Coberturas detríticas profundas, onde ocorrem depósitos arenosos, porém com predominância de material silto-arenoso, a vulnerabilidade do aquífero subjacente mostra-se de *grau baixo*, apesar da litologia arenosa. Este resultado, está associado tanto às altas profundidades do nível hidrostático dos aquíferos de coberturas profundas (média de 50 m), principalmente na Formação Vazantes, quanto à influencia do material silto-arenoso. A vulnerabilidade de grau alto está representada pelas coberturas rasas onde a média de profundidade das águas subterrâneas é baixa.

Nas regiões das bacias sedimentares, onde ocorrem depósitos predominantemente arenosos, a vulnerabilidade do aquífero subjacente mostra-se de *grau baixo tendendo para baixo*, apesar da litologia arenosa. Este resultado está associado às grandes profundidades do nível hidrostático dos aquíferos sedimentares, (média de 65 m), principalmente na bacia do Recôncavo-Tucano.

Nas regiões dos metassedimentos, onde os aquíferos são de natureza fissural, a vulnerabilidade mostra-se de grau baixo, mas, tendendo para alto. Esta tendência para alta mostra a influência das baixas profundidades do nível estático (média de 5 m) e da natureza fissural os aquíferos metassedimentares e quando baixa sofre a influencia da baixa permeabilidade dos siltitos folhelhos e margas da sua composição.

Nas regiões do aquífero cristalino, devido à sua natureza fissural, proximidade do nível das águas subterrâneas do solo e alta permeabilidade, o grau de vulnerabilidade tende de extremo alto a médio alto.

Finalmente em duas áreas Estado, na região central da Chapada de Irecê e Oeste do Rio São Francisco, restritas às litologias do tipo carbonáticas, devido à permeabilidade cársica, a vulnerabilidade mapeada mostra-se de extremo alta a média baixa.

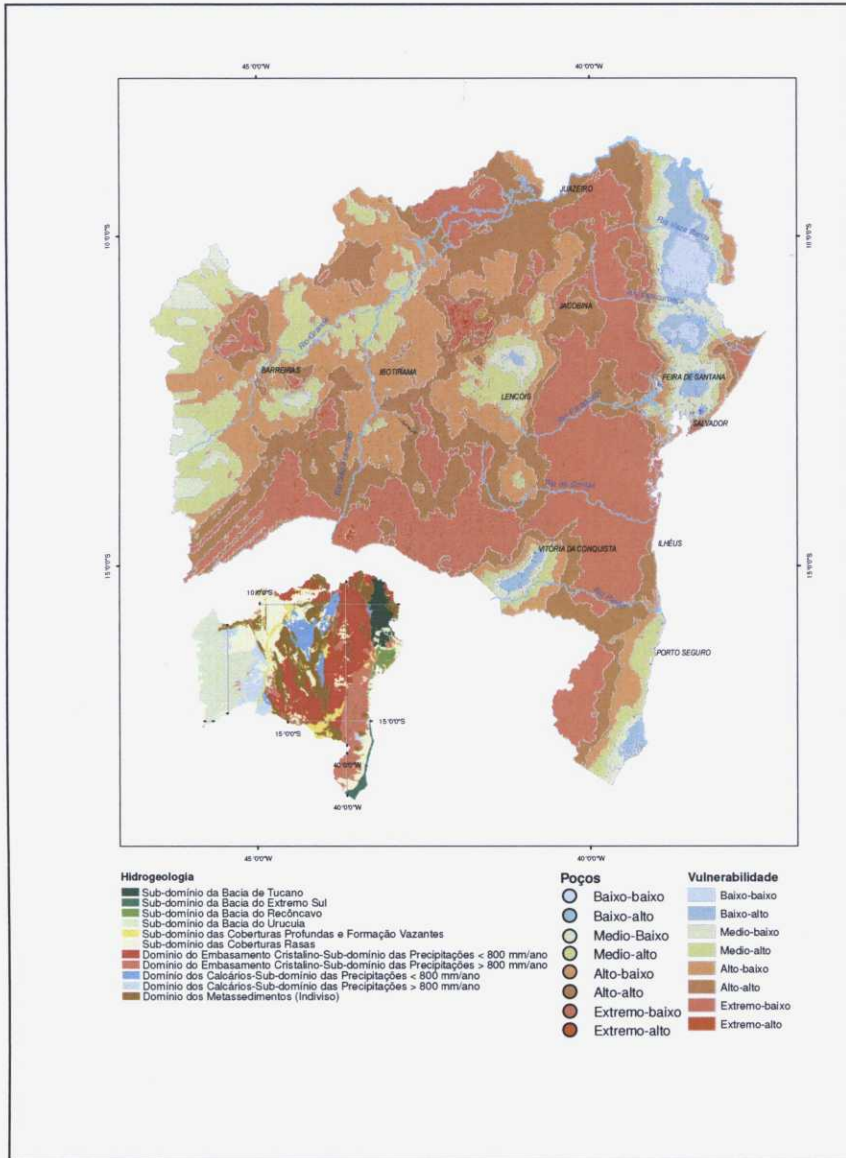


Figura 31. Mapa da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia.

#### **4.5. Grau de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia**

O mapa da ocorrência de teores de nitrato nas águas subterrâneas do Estado da Bahia (Figura 32) foi construído para ser um indicador associado ao grau de poluição presente nos aquíferos. Quando comparado com o mapa de vulnerabilidade revela a amplitude da penetração do poluente segundo a tipologia do aquífero. Conforme pode ser visto, os maiores teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas são encontrados nos domínios hidrogeológicos dos terrenos cristalinos e calcários, onde a vulnerabilidade é de grau alto devido à permeabilidade de fraturas e cárstica, respectivamente, além da proximidade das águas subterrâneas do solo.

Nos terrenos sedimentares, onde a vulnerabilidade do aquífero é baixa devido à baixa permeabilidade dos aquíferos porosos além do nível estático mais profundo, observam-se os menores índices de poluição devida a nitratos. Entretanto este fato não implica em que não exista semelhante quantidade de vetores de poluição por nitratos tais como esgotos e lixões, na superfície dos terrenos de aquíferos sedimentares: apenas o tempo de transito do poluente para o aquífero é maior.

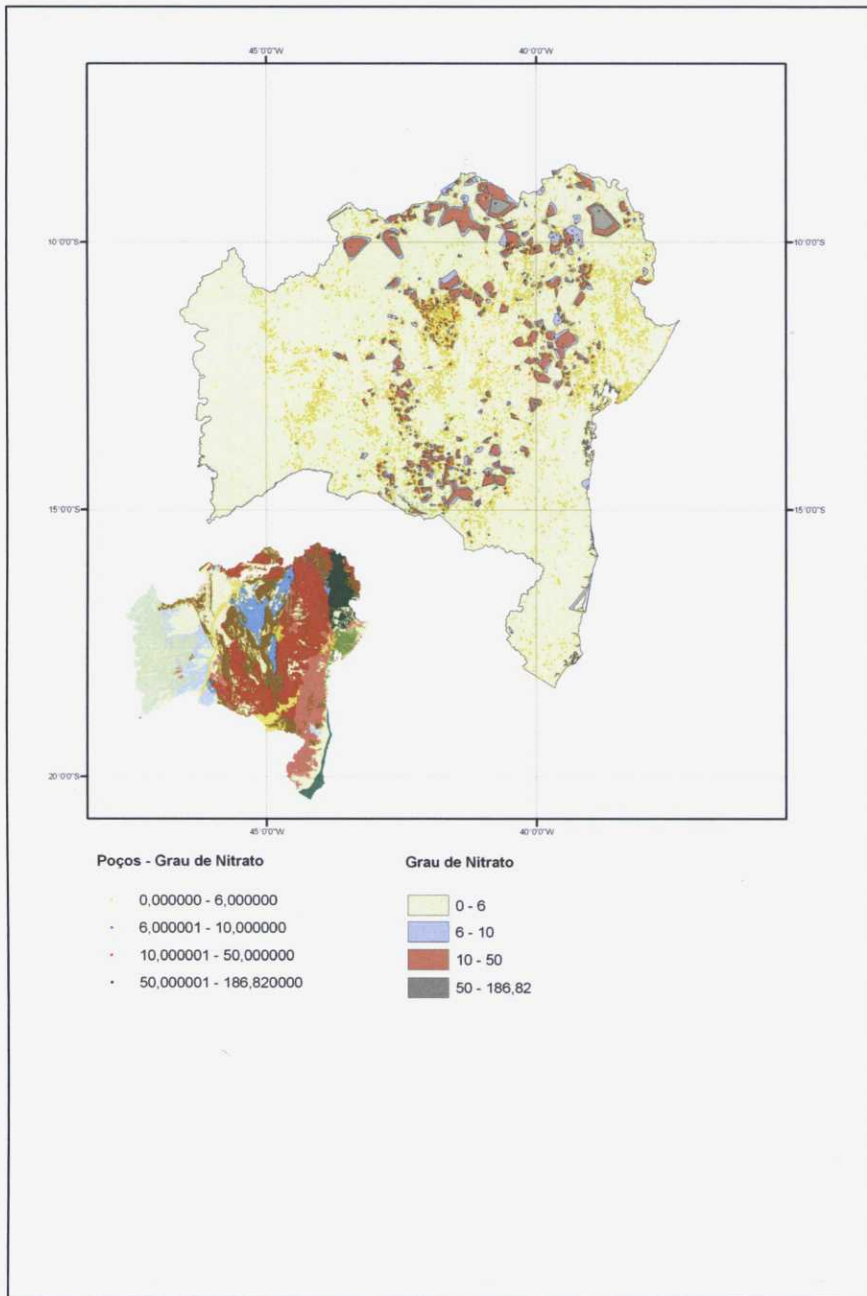


Figura 32. Mapa de Grau de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia.

#### 4.6. Análise Geoestatística de Dados de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

A seguir são apresentadas uma série de gráficos de semivariogramas e tabelas de resultados para os principais parâmetros de qualidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia, quais sejam: cloreto, nitrato, sólidos totais dissolvidos e dureza. Foram utilizados três modelos de semivariogramas tais como: o modelo esférico, o modelo exponencial e o logarítmico.

##### 4.6.1. Cloreto

A análise geoestatística do cloreto, Tabela 32, utilizou dados de 4.999 poços e teores de cloreto de 1 a 2.347 mg/L para as águas subterrâneas do Estado da Bahia.

Dos três modelos de ajuste para os semivariogramas do cloreto o exponencial (log Cl) foi o que apresentou o melhor coeficiente de correlação ( $r^2 = 0,954$ ). E, para este caso o valor de  $a = 204,3$  km corresponde à distância para a qual os valores de cloreto não mais se correlacionam.

Tabela 32. Resultado da análise estatística do cloreto. Mod. = modelo, Esf.= esférico, Exp.= exponencial.

Nome	Num.	Media	Variância	C.V.	Min	Max	Asim.	Curtose	Mod.	$C_0$	$C_1$	a (km)	$r^2$
Cloreto mg/L	4999	710.5	2699000	231.2	1	23470	4.832	33.25	Esf.	530000	2900000	220.0	0.349
Cloreto Indicatriz mg/L	4999	0.3781	0.2352	128.3	0	1	0.503	-1.748	Exp.	0.1177	0.1180	100.0	0.786
Log(Cloreto) mg/L	4999	2.157	0.652	37.44	0	4.37	0.159	-0.560	Exp.	0.1488	0.5001	204.3	0.954

O semivariograma da indicatriz em relação à média apresentou também um elevado coeficiente de correlação ( $r^2 = 0.786$ ). Para este caso o valor do alcance,  $a$ , foi menor e limitado a 100.0 km.

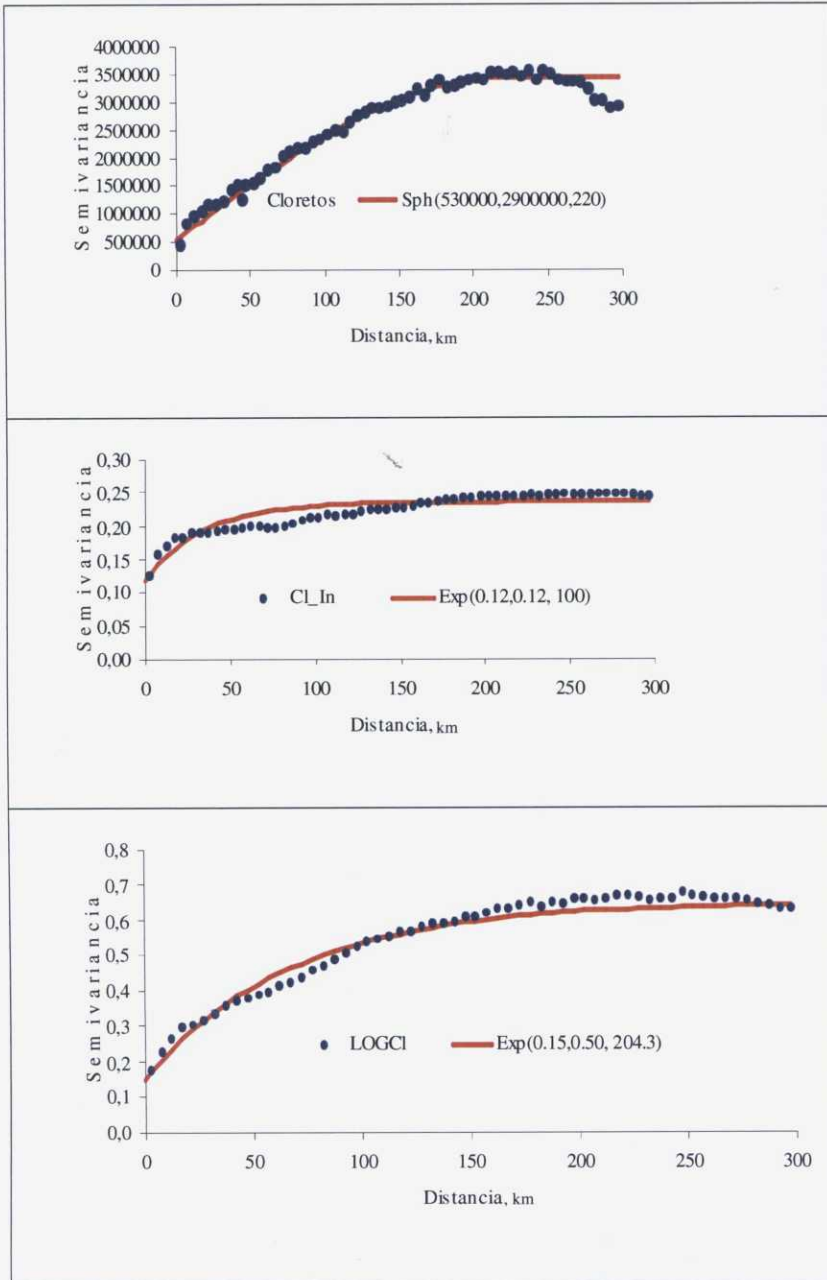


Figura 33. Semivariogramas de Cloreto.



A Figura 34 mostra o resultado da espacialização dos valores de cloreto das águas subterrâneas do Estado da Bahia.

Observa-se que os maiores valores de cloretos estão sobre os aquíferos cristalinos e os menores sobre os aquíferos sedimentares. O resultado obtido está perfeitamente compatível com o que acontece na realidade hidroquímica da qualidade das águas subterrâneas do Estado da Bahia. O aquífero cristalino encontra-se na região de clima semi-árido com regime pluviométrico abaixo de 800 mm/ano e recoberto por solos muitas vezes salinizados, o que propicia a lixiviação de sais do solo para a camada saturada. Já os aquíferos sedimentares encontram-se nas regiões de clima úmido do Estado, com chuvas acima de 800 mm/ano e litologias onde predominam rochas ricas em quartzo.

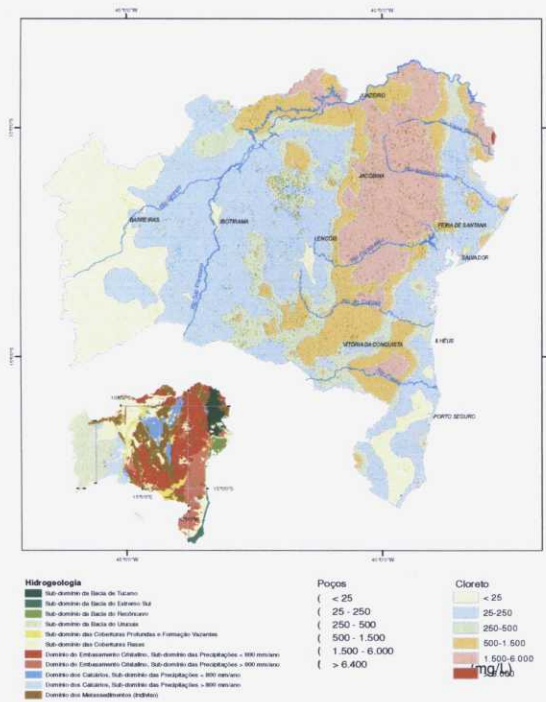


Figura 34. Mapa da espacialização por krigagem dos valores de cloreto para as águas subterrâneas do Estado da Bahia.

**4.6.2. Nitrato**

A análise geoestatística do nitrato, Tabela 33 utilizou dados de 3.242 poços e teores variando de 0,001 a 186,8 mg/L para as águas subterrâneas do Estado da Bahia. No gráfico dos semivariogramas de nitrato, abaixo, observa-se que as amostras estão dispostas em linha paralela ao eixo horizontal, denominada de “efeito pepita” na metodologia de krigagem. Quando ocorre o efeito pepita significa que não há dependência espacial entre as amostras, ou seja, os valores medidos representam um conjunto puramente aleatório. Por isto é que o ajuste exponencial, para o semivariograma da indicatriz, é melhor do que o semivariograma ordinario, que apresenta efeito pepita puro.

Tabela 32. Resultado da análise estatística do nitrato.

Nome	Unid.	Num.	Med	Variancia	C.V.	Min	Max	Asim.	Curtose	Mod.	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a (km)	r <sup>2</sup>
Nitratos	mg/L	3242	188.2	13.72	193.7	0.001	186.8	4.63	35.29	Efeito pepita puro				
Nitratos Indicatriz	mg/L	3242	0.1629	0.4036	197.1	0	1	1.464	0.1422	Exp.	0.08495	0.08563	4.9524	0.530

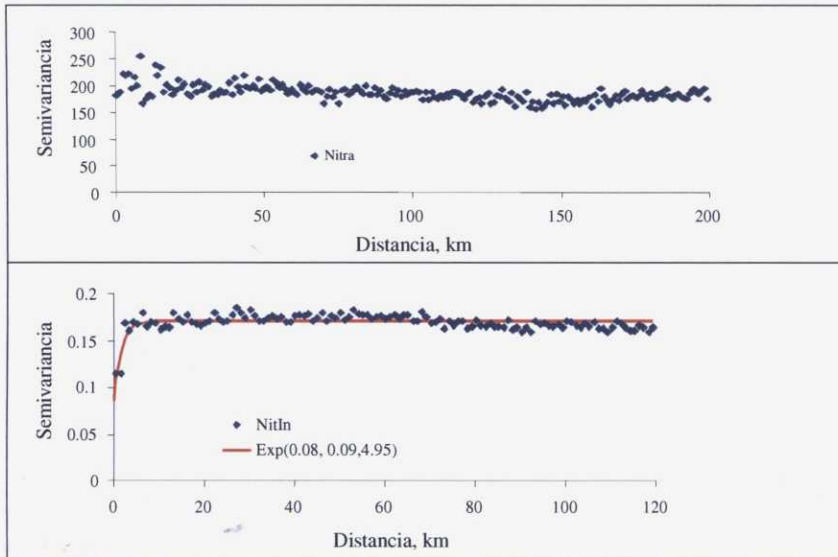


Figura 35. Semivariogramas de nitrato.

A Figura 36 mostra o resultado da espacialização dos valores de nitrato das águas subterrâneas do Estado da Bahia. Onde se observa que as maiores concentrações de nitrato estão nos aquíferos mais vulneráveis, tais como, o aquífero cárstico da região de Irecê e os aquíferos cristalinos. Este fato se deve a três fatores principais: os baixos níveis da água subterrânea em relação ao nível da superfície, o tipo de aquífero cárstico ou fraturado que permite a percolação rápida de líquidos e a proximidade dos principais vetores de poluição dos aquíferos, tais como, os efluentes domésticos e a agricultura irrigada.

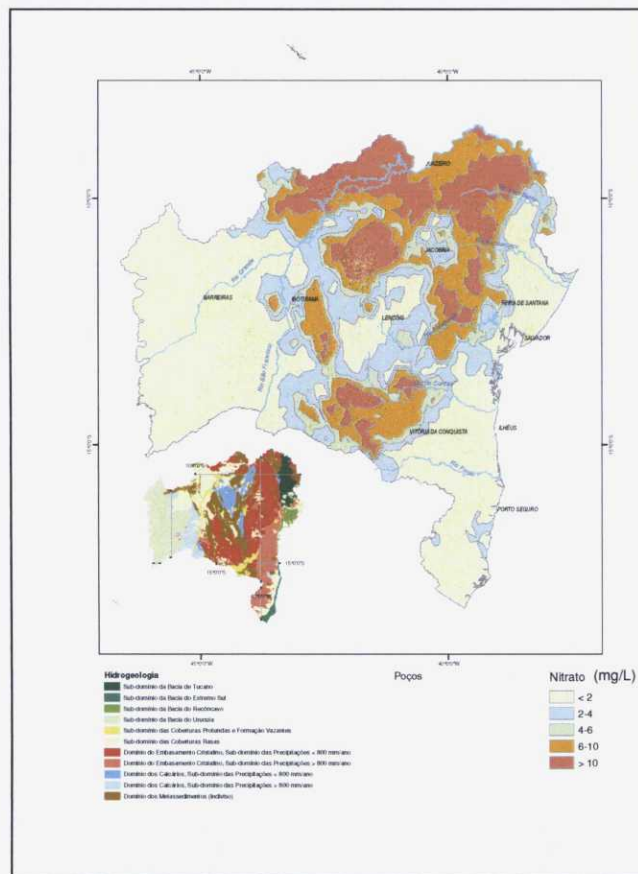


Figura 36. Mapa da espacialização por Krigagem dos valores de nitrato para as águas subterrâneas do Estado da Bahia.

#### 4.6.3. Sólidos Totais Dissolvidos

A análise geoestatística dos Sólidos Totais Dissolvidos para as águas subterrâneas do Estado da Bahia, Tabela 34, utilizou dados de 5.000 poços e teores de STD variando de 2 a 17.370 mg/L.

Dos três modelos de ajuste para os semivariogramas do STD o exponencial (log STD) foi o que apresentou o melhor coeficiente de correlação ( $r^2 = 0,990$ ), e, para este caso o valor de  $a = 170,68$  km corresponde à distância a partir da qual os valores de cloreto não mais se correlacionam.

Tabela 34 Resultados da análise estatística de STD.

Nome	Unid.	Num.	Media	Variância	C.V.	Min	Max	Asim.	Curtose	Mod.	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a	r <sup>2</sup>
STD	mg/L	5000	1712	7065000	155.2	2	17370	3.038	10.16	Esf.	2000000	16000000	186.2103	0.971
STDln	mg/L	5000	0.400	0.2401	122.4	0	1	0.4067	-1.835	Exp.	0.07	0.154498	25	0.652
Log St	dml	5000	2.89	0.3033	19.08	0.3	4.24	0.1107	-0.131	Esf.	0.09408	0.26003	170.6863	0.990

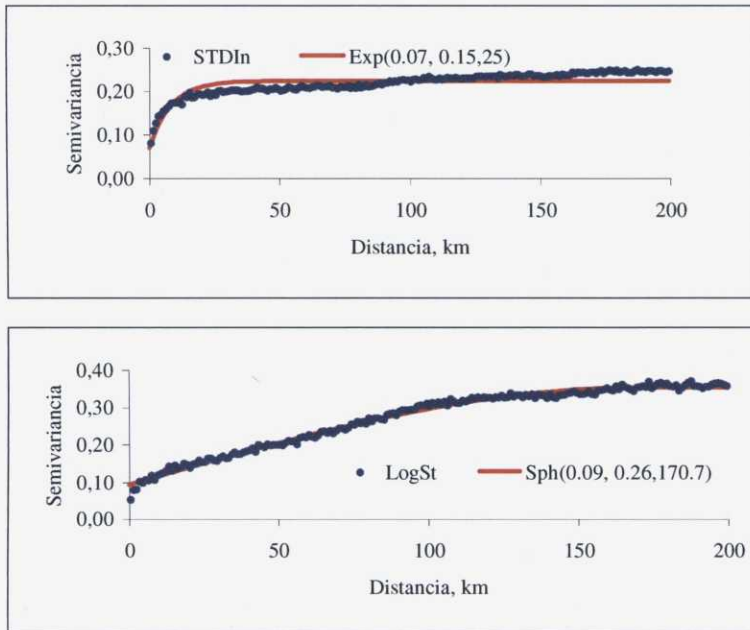


Figura 37. Semivariograma dos sólidos totais dissolvidos.

#### 4.6.3. Sólidos Totais Dissolvidos

A análise geoestatística dos Sólidos Totais Dissolvidos para as águas subterrâneas do Estado da Bahia, Tabela 34, utilizou dados de 5.000 poços e teores de STD variando de 2 a 17.370 mg/L.

Dos três modelos de ajuste para os semivariogramas do STD o exponencial (log STD) foi o que apresentou o melhor coeficiente de correlação ( $r^2 = 0,990$ ), e, para este caso o valor de  $a = 170,68$  km corresponde à distância a partir da qual os valores de cloreto não mais se correlacionam.

Tabela 34 Resultados da análise estatística de STD.

Nome	Unid.	Num.	Media	Variância	C.V.	Min	Max	Asim.	Curtose	Mod.	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a	r <sup>2</sup>
STD	mg/L	5000	1712	7065000	155.2	2	17370	3.038	10.16	Esf.	2000000	16000000	186.2103	0.971
STDln	mg/L	5000	0.400	0.2401	122.4	0	1	0.4067	-1.835	Exp.	0.07	0.154498	25	0.652
Log St	dml	5000	2.89	0.3033	19.08	0.3	4.24	0.1107	-0.131	Esf.	0.09408	0.26003	170.6863	0.990

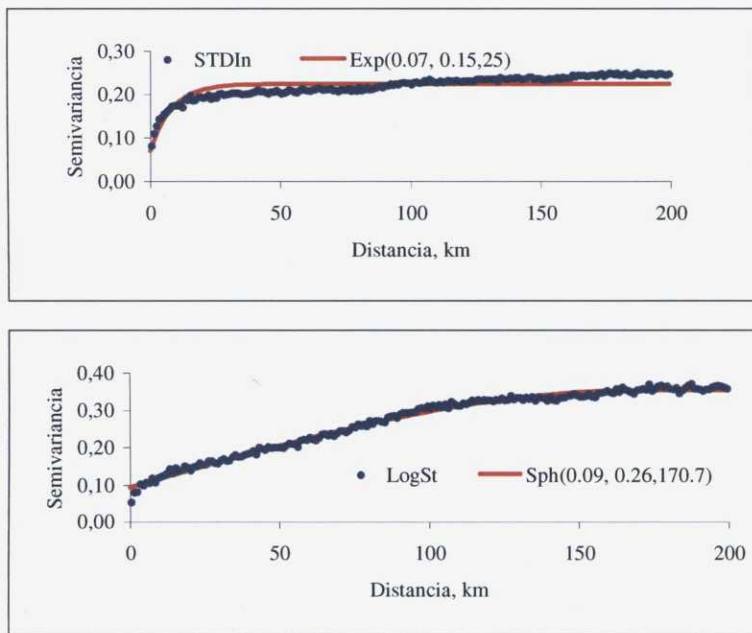


Figura 37. Semivariograma dos sólidos totais dissolvidos.



#### 4.6.4. Dureza

A análise geoestatística da dureza, Tabela 35, utilizou dados de 4.842 poços e valores de dureza variando de 1 a 19.730 mg/L, para as águas subterrâneas do Estado da Bahia. Dos três modelos de ajuste para os semivariogramas da Dureza o exponencial Log (Dureza) foi o que apresentou o melhor coeficiente de correlação ( $r^2 = 0,987$ ). E, para este caso o valor do alcance = 236,9 Km corresponde à distância a partir da qual os valores de Dureza não mais se correlacionam.

Tabela 34. Análise geoestatística dos dados de Dureza.

Nome	Unid.	Num.	Media	Variancia	C.V.	Min	Max	Asim.	Curtose	Mod.	$C_0$	$C_1$	a	$r^2$
Dureza	mg/L	4842	880.9	2593000	182.8	1	19730	4.384	26.47	Esf.	500000	2800000	200	0.964
Dureza Indicatriz	mg/L	4842	0.398	0.2396	123	0	1	0.417	-1.827	Exp.	0.1177	0.134688	189.69	0.958
Log. Dureza	dml	4842	2.5	0.441	26.57	0	4.295	0.2479	-0.057	Exp.	0.127	0.377272	236.9	0.987

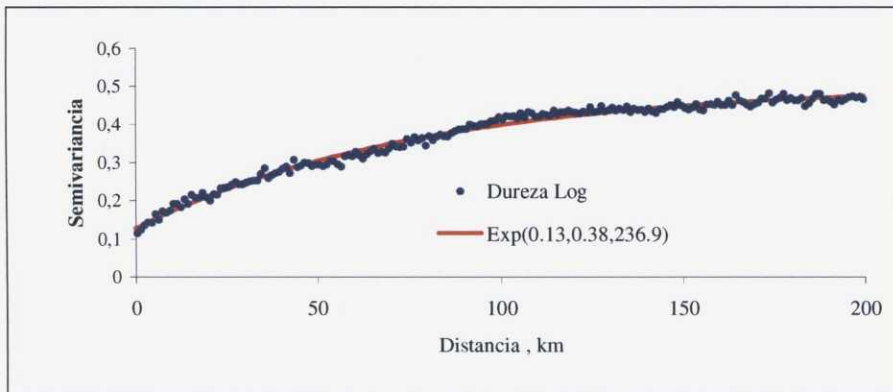


Figura 39. Semivariograma de dureza.

#### 4.6.4. Dureza

A análise geoestatística da dureza, Tabela 35, utilizou dados de 4.842 poços e valores de dureza variando de 1 a 19.730 mg/L para as águas subterrâneas do Estado da Bahia. Dos três modelos de ajuste para os semivariogramas da Dureza o exponencial Log (Dureza) foi o que apresentou o melhor coeficiente de correlação ( $r^2 = 0,987$ ). E, para este caso o valor do alcance = 236,9 Km corresponde à distância a partir da qual os valores de Dureza não mais se correlacionam.

Tabela 34. Análise geoestatística dos dados de Dureza.

Nome	Unid.	Num.	Media	Variância	C.V.	Min	Max	Asim.	Curtose	Mod.	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a	r <sup>2</sup>
Dureza	mg/L	4842	880.9	2593000	182.8	1	19730	4.384	26.47	Esf.	500000	2800000	200	0.964
Dureza Indicatriz	mg/L	4842	0.398	0.2396	123	0	1	0.417	-1.827	Exp.	0.1177	0.134688	189.69	0.958
Log. Dureza	dml	4842	2.5	0.441	26.57	0	4.295	0.2479	-0.057	Exp.	0.127	0.377272	236.9	0.987

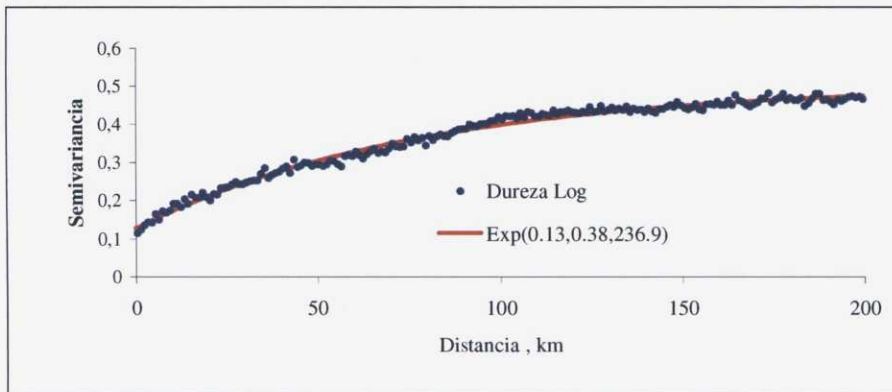


Figura 39. Semivariograma de dureza.

## Recomendações



## 5. RECOMENDAÇÕES

A partir da análise dos resultados deste trabalho são feitas as seguintes recomendações com vistas à sustentabilidade ambiental decorrente da utilização racional e preservação da qualidade dos aquíferos do Estado da Bahia para as gerações futuras:

No sentido de preservar a saúde das populações dos abastecidos. Com relação à preservação da qualidade da água subterrânea para o abastecimento dos Municípios é do interior do Estado é necessário e imprescindível, um programa de saneamento básico e educação ambiental.

Nas regiões onde os poços utilizados para comercialização de água potável por meio de caminhões pipa, para abastecimento de condomínios residenciais, indústrias e hospitais, é importante que o órgão ambiental promova o monitoramento freqüente do teor de nitratos da água dos poços.

Monitorar a potabilidade da água dos poços de abastecimento público, segundo a legislação do Ministério da Saúde, nos Domínios Aquíferos de todo o Estado e da área de cada aquífero em particular, através da ação do órgão gestor, órgão ambiental e vigilância sanitária.

Utilizar métodos mais eficientes, em substituição aos métodos tradicionais, para a agricultura irrigada, atividade esta, que compromete o maior percentual dos mananciais.

Substituir os métodos tradicionais como a irrigação por inundação, aspersão convencional e pivô central por outros mais eficientes como a micro-aspersão e o gotejamento, além da adaptação das culturas às condições locais de clima, solos e disponibilidades hídricas.

Com relação ao aspecto da quantidade das águas subterrâneas buscar soluções para as perdas nos sistemas de adução e distribuição que se verifica na prática das empresas de abastecimento.

Difundir a prática de recarga artificial principalmente na região semi-árida, para evitar grandes perdas por evaporação e escoamento dos excedentes de águas superficiais, especialmente durante as épocas de maior pluviosidade.

Reutilizar as águas servidas (efluentes domésticos e industriais), devidamente tratadas. Esta prática tem o mérito de ampliar as disponibilidades de água em uma região para além do preconizado no balanço hídrico natural.

Dar destinação prioritária, sempre que possível, dos mananciais subterrâneos para o abastecimento doméstico pelo menor valor de produção de suas águas e menor vulnerabilidade destes mananciais em relação aos superficiais.

Estabelecer como usuário prioritário das águas subterrâneas o abastecimento humano, ficando as demais atividades usuárias utilizando preferencialmente através dos mananciais superficiais e a reutilização das águas servidas.

Admitir como prática futura o tratamento e reutilização das águas provenientes dos efluentes domésticos e industriais, incluindo-se aí a possibilidade de recarga artificial utilizando os excedentes hídricos.

Com relação às águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Recôncavo tendo em vista a qualidade superior, baixo custo de produção e a vulnerabilidade relativamente baixa de seus reservatórios, devem ser destinadas, prioritariamente, para o abastecimento humano.

A instalação de indústrias que acarretem vetores de poluição sobre as áreas de recarga do desse aquífero devem ser coibidas e controladas com o rigor das leis ambientais.

Com relação à Bacia Sedimentar do Tucano é importante ressaltar que em maio de 1997, o governo do Estado da Bahia através da CERB, promoveu o seminário denominado "Alternativas de Uso Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia Sedimentar de Tucano". Deste seminário participaram ativamente técnicos e renomados conferencistas nacionais e internacionais, resultando na elaboração de um documento contendo sob a forma de linhas mestras gerais seguintes recomendações de intervenção na bacia.

Criação de um programa, contando com a participação e esforços das entidades públicas e privadas visando o levantamento, cadastramento e análise interpretativa de todos os dados existentes, com relação às águas subterrâneas da Bacia, tornando-os disponíveis aos usuários.

Promover ações, visando aprimorar o nível de conhecimento geológico da bacia, tendo em vista a complexidade da bacia e a necessidade de compreensão do modelo de funcionamento do sistema aquífero.

Promover o avanço nos conhecimentos hidrogeológicos da bacia através de um programa de estudos coordenado e com a participação das entidades estaduais, federais e municipais interessadas.

Promover esforços visando conter a ação indiscriminada e predatória na bacia, representada pela perfuração de poços mal construídos ou sem projetos adequados, promovidos por entidades federais estaduais municipais e particulares.

Promover a implantação de modelo de gestão integrada dos recursos hídricos de maneira a que se assegure de forma coordenada e racional o uso desses recursos através das várias atividades econômicas na área (abastecimento humano e animal, irrigação, agroindústria, lazer e turismo e outras) de maneira sustentável.

Buscar a participação da sociedade no desenvolvimento dos programas específicos na área, incentivando-se a criação de associações de usuários da água.

Dentre estas ações recomendadas encontra-se em fase final de elaboração de projeto, um sistema integrado de abastecimento denominado Projeto Tucano, com financiamento do Banco Mundial e Governo do Estado. Através deste, será implantada uma adutora com mais de 100 km de extensão, levando água captada no aquífero Ilhas, nas proximidades de Euclides da Cunha, para uma vasta região, além dos domínios da Bacia.

E, finalmente, visualizando-se a possibilidade do uso agrícola das águas subterrâneas da Bacia de Tucano, atividade de alta demanda de água, recomenda-se a efetiva fiscalização, por parte dos órgãos de fomento à agricultura irrigada, recomendando a utilização e prática de métodos cada vez mais eficientes e culturas adaptadas às condições regionais. Neste sentido, a possibilidade do uso de recarga artificial para aproveitamento dos excedentes de águas superficiais ou mesmo para a reutilização de águas servidas deve ser levada em conta, já que os aquíferos da bacia possibilitam esta prática.

Quanto aos Aquíferos da Região da Bacia do Urucuia, tendo em vista ser, o aquífero Urucuia, um sistema altamente sensível e vulnerável recomenda-se:

Implementar estudos básicos de natureza geológica e hidrológica para ampliar o conhecimento deste sistema, devido à íntima correlação, já comprovada, entre águas superficiais e subterrâneas necessários, para a implantação de um adequado modelo de gerenciamento de recursos hídricos.

Ampliar exigências para a outorga e gerenciamento dessas águas, pelos órgãos de fomento e preservação dos recursos hídricos do Estado.

Efetuar a mensuração da espessura do aquífero, através de métodos geofísicos e/ou diretamente através da construção de poços profundos e a determinação acurada das reservas totais, reservas reguladoras e potencialidades do aquífero Urucuia que, por princípio, são as bases para o estabelecimento do modelo de funcionamento do aquífero: suas possíveis interações entre as várias unidades subterrâneas e entre estas e as águas superficiais.

Realizar o cadastramento completo de todas as obras de captação subterrânea (cadastro de poços), coletando todas as informações possíveis e necessárias, execução de sondagens exploratórias com a finalidade específica de geração de novos dados e conhecimentos de sub-superfície das possíveis unidades envolvidas.

Estabelecer de uma rede de poços de monitoramento e observação para a realização de ensaios de vazão e determinação de parâmetros hidrogeológicos do aquífero e observações do comportamento hidráulico das unidades envolvidas e suas possíveis interações. Execução de perfilagens geofísicas, amostragens litológicas detalhadas, amostragens de água para determinação do comportamento hidroquímico nas possíveis unidades e outras.

Desenvolvimento de ação governamental de planejamento e gerenciamento dos recursos desta Bacia de forma integrada com a exploração das águas superficiais.

Escolha de métodos de irrigação mais eficientes do que os tradicionais pivô-central, no caso de utilização do aquífero Urucuia, tanto em seus domínios sedimentares quanto cársticos, para a agricultura irrigada; bem como a escolha de culturas que melhor se adaptem às características físicas do solo e regionais.

Estudar a possibilidade da prática de recarga artificial para utilização dos excedentes de água e reutilização de águas servidas a serem consideradas nos estudos de implantação de empreendimentos agrícolas na região.

Finalmente recomenda-se que, devido à extrema sensibilidade do equilíbrio ecológico na região do aquífero Urucuia, pelo menos, a Legislação Ambiental do Estado seja cumprida com rigor.

Quanto às regiões do *aquífero Extremo Sul*:

Recomenda-se, principalmente, aos órgãos de gerenciamento de recursos hídricos do Estado empreender programas de estudos básicos nessa região aquífera que é bastante promissora. Desenvolvendo o gerenciamento dos recursos hídricos desse aquífero para uma exploração mais efetiva do manancial, prioritariamente para o abastecimento humano de cidades, comunidades e vilas costeiras.

*Com relação às Regiões dos Domínios Aquíferos Cársticos:*

Recomenda-se que o planejamento de uso das águas subterrâneas nesse aquífero tenha como base a sua reserva reguladora e que os órgãos de proteção ambiental e cultural como, CRA, IBAMA e IPHAM, executem com maior eficácia as leis de proteção do patrimônio espeleológico, paleontológico, arqueológico e cultural da União, do Estado e dos municípios cidadãos.

Recomendam-se, aos órgãos responsáveis pelo gerenciamento, controle e fomento de recursos hídricos, recursos naturais e culturais do Estado tais como SRH, CERB, CAR, CBPM e CRA, da união: CPRM, DNPM e IBAMA bem como às Universidades Federais e Regionais que empreendam, com urgência, programas de estudos hidrogeológicos básicos e ações de sustentabilidade ambiental nessa região aquífera.

Também se recomenda a adoção de práticas consagradas, visando ampliar a disponibilidade de água, tais como: recarga artificial utilizando os excedentes hídricos e a reutilização das águas servidas. Conforme observado nos países mais desenvolvidos do mundo, os aquíferos cársticos se prestam, com grande eficiência, à prática de recarga artificial. Por serem aquíferos extremamente vulneráveis recomendam-se ações especiais voltadas para o tratamento e controle da disposição dos efluentes urbanos, postos de combustíveis e práticas agrícolas inadequadas. Observar as particularidades inerentes aos processos de carstificação ou dissolução da rocha carbonática para garantir a eficiência no uso das águas subterrâneas em terrenos cársticos.

Conforme mostrado neste trabalho as reservas dos cárstes são modestas, e não fazem face às demandas potenciais, principalmente da região de Irecê, onde estão sendo largamente usadas para irrigação. Nessa região, em particular, já existe histórico de

sobre-exploração do aquífero e zonas de extrema poluição por nitratos colocados em evidência nesta Tese.

*Quanto às Regiões dos aquíferos Metassedimentares:*

Recomenda-se que também nos terrenos metassedimentares, as reservas de águas subterrâneas tenham destinação prioritária para o abastecimento humano e dos rebanhos.

*Quanto às Regiões dos Aquíferos Cristalinos:*

Recomendam-se programar e colocar à disposição dos hidrogeólogos para a prospecção e exploração de aquíferos nesses terrenos:

O desenvolvimento de métodos de locação de poços que, antes problemáticos, têm evoluído rapidamente, acompanhando as cartas geológicas de detalhe, as imagens de satélite, posicionamento de poços via satélite (GPS), programas de gerenciamento e banco de dados tipo (ArcGIS) e a popularização de métodos geofísicos como VLF e eletro-resistividade;

A reativação e ampliação da rede de monitoramento de poços equipados com dessalinizadores por osmose reversa, na região do semi-árido do Estado, para acompanhar a evolução do custo-benefício desse tipo de tratamento de águas subterrâneas;

A utilização de outros métodos, além osmose reversa, para a dessalinização de água de poço no nordeste semi-árido;

A utilização de energias alternativas para o bombeamento de poços, tais como: energia solar, eólica e de combustíveis não-fósseis como o álcool e o biodiesel;

O desenvolvimento de alternativas de captação de águas subterrâneas, através de fontes e barragens subterrâneas;

Utilização dessas reservas de águas subterrâneas prioritariamente para o abastecimento humano e dos rebanhos.

*Outras Recomendações:*

Durante o longo período de gestação desta Tese de Doutorado o autor tem observado que persiste certo interesse pelo tratamento dos dados de poços existentes no Banco de Dados da CERB. Também se verifica enorme carência de migração de dados entre o Banco de Dados da CERB, e outros Bancos e cadastros dos demais órgãos

gestores de águas subterrâneas, e empresas de perfuração de poços. Com um banco de dados georeferenciado a CERB poderá oferecer, ao Estado, às prefeituras e aos cidadãos, usuários dos seus serviços; informações localizadas e precisas, sobre o funcionamento dos seus sistemas de abastecimento de pequenas comunidades, tais como: poços, locados ou perfurados e ainda não instalados evitando, muitas vezes, onerosos deslocamentos de técnicos para planejar, fazer a concepção, operacionalizar e solucionar problemas; monitoramento da qualidade das águas dos poços, principalmente com relação aos teores de nitrato e flúor, contribuindo para a efetivação das políticas públicas de saneamento. Por isto recomenda-se que a CERB empreenda a *implantação de unidade de geoprocessamento* para tratamento e espacialização da enorme quantidade de informações que acumulou nesses 30 anos de existência.

Finalmente a Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), poderá abrir o seu acervo em convênio com a Fundação de Apoio à Pesquisa e Universidades públicas e privadas. Para facilitar que mais trabalhos científicos e teses voltadas para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos frutifiquem no Estado da Bahia.

Conclusões



## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisados os dados de 7.192 poços profundos perfurados em todo o Estado da Bahia, até o ano de 2007, registrados no Banco de dados da CERB (Companhia de Engenharia Rural da Bahia) mediante formulações matemáticas e técnicas estatísticas, que resultaram nas seguintes conclusões:

1. *Quanto à qualidade química natural das águas subterrâneas:* os valores do índice de qualidade (IQNAS) encontrados qualificaram adequadamente as águas subterrâneas dos principais Domínios Hidrogeológicos ou Aquíferos do Estado da Bahia, confirmando positivamente a metodologia adotada. Quanto à qualidade das águas subterrâneas para humano, qualidade classificada de ótima a boa 93% está nos aquíferos sedimentares, 79% estão nos aquíferos metassedimentares, 45% estão nos aquíferos cársticos, e ressalta-se que, apenas 25% das águas de qualidade ótima a boa, para o consumo humano estão nos aquíferos cristalinos da região semi-árida. A praticidade do método IQNAS, juntamente com a facilidade de compreensão dos resultados fornecidos pelo mesmo, habilita o índice criado a ser adotado por outros pesquisadores, no sentido de desenvolverem possíveis melhorias e agregarem mais conhecimento na geração de indicadores de qualidade das águas subterrâneas.

2. *Quanto à potencialidade das águas subterrâneas:* os resultados mostraram que os aquíferos sedimentares possuem o maior potencial, cerca de 1.260 m<sup>3</sup>/s; em seguida os aquíferos cársticos com potencial em torno de 90 m<sup>3</sup>/s; os aquíferos cristalinos com 35 m<sup>3</sup>/s e finalmente os aquíferos metassedimentares com cerca de 30 m<sup>3</sup>/s.

3. *Quanto ao volume de água subterrânea (disponibilidade instalada), disponível para consumo:* os resultados mostraram que os aquíferos sedimentares são os que fornecem as maiores vazões, entre 50 e 440 m<sup>3</sup>/h, em seguida os aquíferos cársticos, com vazões de exploração entre 15 e 50 m<sup>3</sup>/h, os aquíferos metassedimentares, com vazões de exploração entre 5 e 15 m<sup>3</sup>/h, e, finalmente, os

aquíferos cristalinos que fornecem as menores vazões de exploração entre 0 e 5 m<sup>3</sup>/h.

4. *Quanto à vulnerabilidade das águas subterrâneas:* a vulnerabilidade extrema está concentrada nos aquíferos calcários; a vulnerabilidade alta está nucleada nos aquíferos cristalinos e metassedimentares; a vulnerabilidade moderada ocorre de uma forma geral nos aquíferos de coberturas detríticas; e finalmente a vulnerabilidade baixa nos aquíferos sedimentares, certamente correlacionadas à grande profundidade do nível estático dos poços nesse tipo de aquífero.

5. *Quanto ao grau de poluição das águas subterrâneas:* a poluição extrema está concentrada nas zonas mais cárstificadas dos aquíferos calcários; a muito alta localizada, de uma forma geral, nos aquíferos cristalinos e metassedimentares; a poluição alta ocorre de forma localizada nos aquíferos de coberturas detríticas. E finalmente a poluição baixa ou mais baixa ocorre indiscriminadamente em todos os aquíferos, mostrando que a poluição por nitratos ainda é baixa no Estado da Bahia como um todo, porém, encontra-se em concentrações alarmantes nos poços do cárste da região de Irecê.

## Bibliografia

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Andrade, J.B.M. & Negrão, F.I. 1990. Hidrogeologia dos Poços Surgentes da Região de Caldas de Cipó-Ba. Em: VI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Porto Alegre. Anais do VI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. v. 1. pp. 21-29.
- Anjos, N.R.F. 1968. *Estudo Hidrogeológico para Abastecimento de Serrinha–BA–Sudene–Recife*.
- Aouad, Marilene dos Santos. 1991. Riscos de Seca e Graus de Severidade do Semi-árido no Estado da Bahia. Salvador. Centro de Estatística e Informações – CEI.
- Araújo, H.A.; Ramos, S.O.; Guerra, A.M. & Leal, L.R.B. 2004. *Aspectos climatológicos regionais e variação dos níveis estáticos do aquífero cárstico da micro-região de Irecê, Bahia*. Em: I Encontro Brasileiro de Estudo do Carste, 2004. v. 1. p. 59.
- Araújo, A.R.S. 2007. *Estudo da Qualidade das Águas Minerais Envasadas na Região de Dias D Ávila e Adjacências*. NEHMA–Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente. Instituto de Geociências – UFBA. Salvador, BA.
- Azevedo, A.E.G. & Leão, M.R.C. 2000. Aspectos da Dinâmica da Água do Aquífero São Sebastião. En: 7th International Congress of Geophysics.
- Azevedo, A.E.G.; Cabral, F.C.F. & Ferreira, C. 1991. *Caracterização Isotópica das Precipitações do Estado da Bahia e de Águas Subterrâneas da Bacia de Tucano*. In: II Congr. Intern. da Soc. Bras. de Geofísica. pp. 1023-1027.
- Azevedo, A.E.G.; Nascimento, K.R.F.; Costa, A.B.; Zucchi, M.R.; Matos, C.R.A. & Pedreira, C.B. 2003. *Análise de Isótopos Ambientais em Águas Superficiais e Subterrâneas na Sub-Bacia do Rio das Fêmeas Aquífero Urucua - Ba*. Em: 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society. Sociedade Brasileira de Geofísica, pp. 1-5.
- Bahia. 2003. Secretaria de Infra Estrutura / Superintendência de Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Consórcio Magna/Brli, Salvador-Ba. CD-Room, Tomo 1 e 2.
- Bahia. 2007. Companhia de Engenharia Rural da Bahia – banco de dados – Salvador.
- Ball, D.F. & Williams, W.M. 1968. Variability of soil chemical properties in two uncultivated brown earths. *J. Soil Sci.*, 19:379-391.

- Barbosa, J.S.F. & Dominguez, J.M.L. 1996. *Texto Explicativo do Mapa Geológico da Bahia, ao milionésimo*. Salvador: SICM / SGM, 400 pp. il.
- Barbosa, J.S.F. 1990. *O Manganês do Oeste da Bahia*. Em: Textos Básicos da Sup. de Geol e Rec.Minerais (SGM). Salvador: SME / SGM, v.8. 179 pp. il.
- Borges, J.L. 1999. *Obras completas Jorge Luis Borges*, volume 3 / Jorge Luis Borges. São Paulo: Globo, Editora.
- Burgess, T.M. & Webster, R. 1980. Optimal interpolation and asaritmic mapping of soil properties. I. The semivariograma and punctual kriking. *J. Soil. Sci.*, 31:315-331. 1980.
- Cavalcanti, S.S.; Lima, O.A.L. de & Sato, H.K. 2001. Geofísica elétrica no estudo da hidrologia subterrânea do Aterro Metropolitano Centro-Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 19, n. 3, pp. 155-168.
- Cerqueira Neto, J.X.; Dias, C.A. & Lima, O.A.L. de. 1989. Referencial sistêmico "in natura" no arenito Sergi no semi-árido da Bahia, para estudo geofísico da hidrodinâmica da injeção de água. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 7, pp. 29-40.
- CERB – Cia. de Engenharia Rural da Bahia, 2007. - Banco de Dados Hidrogeológicos do Estado da Bahia. – Salvador.
- CERB /DNOCS. 1977. *Levantamento Hidrogeológico Básico da Bacia de Tucano – Vale do Itapicuru – Bahia – 1ª Fase, Diagnóstico – 1 vol. – Salvador*.
- CODEVASF. 1977. - Estudo Hidrogeológico para Desenvolvimento da Região de Irecê, Jafba, Paratinga, Baixo São Francisco, Brasilândia – Relatório Técnico – Brasília.
- Costa, W.D. 1998. *Avaliação de Reservas, Potencialidade e Disponibilidade de Aquíferos*. Em: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Anais – São Paulo.
- COSTA, W.D. 1994. Projeto Áridas Nordeste – GT II – Recursos Hídricos – II 6 – Água Subterrânea e o Desenvolvimento Sustentável do Semi-árido Nordestino.
- Cunha J.E.M.; Negrão F.I. & Santos P.R.P. 1986. *Panorama Atual das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia*. Em: Anais do IV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Vol. I, p. 80.
- Davis, J.C. 1973. *Statistics and data analysis in Geology*. New York, John Wiley, 1973. 550 pp.
- Eicher, D.L. 1969. *Tempo Geológico*. São Paulo: Ed. E. Blucher Ltda, Farjallat, J.E.S. Trad. 172 p. il. Instituto Geológico, P. II., Tabs. 23 Cm (Boletim, 10).
- ENCO/CODEVASF. 1983. Aproveitamento de Recursos de Água Subterrânea da Região do Plato de Irecê – Bahia – Plano Diretor, 4 vol. Brasília.
- ESRI. 2006. Using ArcGIS 9. 380. *New York Street – Redlands, CA*.

- Foster, S.S.D. 1987. *Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability Pollution Risk and Protection Strategy*. Em: Conference on vulnerability of soil an groundwater to pollutants, The Netherlands. Proceedings. Haya: IAH. Noordwijk – Holanda. Pp. 174-79.
- Foster, S.S.D & Hirata, R.C.A. 1993. *Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: Um Método Baseado em dados Existentes*. São Paulo.
- Fournier, I.L. 2001. SEQ - *Eaux Souterraines - Système d'évaluation de la qualité*. *Revue de L'Agence de l'eau*; n.81, p.19.
- Gastaldini, M.C.C.& Souza, M.D.S. 1994. *Diagnóstico do Reservatório do Vacacat-Mirim Através de Índices de Qualidade de Água*. Anais do I Seminário Sobre Qualidade de Águas Continentais no Mercosul, Porto Alegre. RS.
- Ghignone, J.I. 1979. Geologia dos Sedimentos Fanerozóicos do Estado da Bahia.- En *Geologia e Recursos Minerais da Bahia – Textos Básicos*. Salvador: SME / Comin, V. 1; 217 P. II.
- Gomes, P.J.P. & Lima, O.A.L. 2003. *Prospecção de água subterrânea na bacia sedimentar de Tucano Sul, Bahia, Brasil, utilizando métodos elétricos*. 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.
- Guerra, A.M. 1986. *Processos de Carstificação E Hidrogeologia do Grupo Bambuí na Região de Irecê – Bahia*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo. SP.
- Guerra, A.M. & Negrão F.I. 1996. *Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia*. Anais do IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, Bahia.
- Harradine, F.F. 1949. The variability of soil properties in relation to stage of profile development. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14:302-31.
- IBGE. 1992. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. Inventário Florestal Nacional. Florestas Nativas RS. Brasília.
- Inda, H.V. & Barbosa, J.S.F. 1978. *Texto Explicativo Para o Mapa Geológico do Estado da Bahia, Escala 1:1.000.000*. Salvador: SME / CPM,. 122 pp.
- Journel, A.G. & Huijbregts, Ch.J. 1978. *Mining geoestistics*. London, Academic Press, 600 pp.
- Keyring, K; Lenz, R. & Ribeiro, G.F. 1973. *Salinização de Águas Subterrâneas no Centro do Polígono das Secas do Nordeste Brasileiro – Sudene/ Missão Geológica Alemã*. Recife. PE.

- Kiperstok, A.; Silva, M.; Kalid, R.A.; Sales, E.A.; P. F., Andrade, J. G.; Galvão, C.P.L. & Fontana, D. 2003. *Minimização do uso da água na indústria através da parceria entre universidade e empresas: o Projeto Braskem-Água. Bahia - Análise & Dados*, Salvador / Bahia, v. 13, pp. 557-565.
- Krige, D.G. 1951. A Statistical Approach to Some Basic Mine Evaluation Problems on the Witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afri.*, Johannesburg, 52: 119-139.
- Leal, L.R.B.; Luz, J.A.G. & Barbosa, J.S.F. 2006. *Hydrogeology and hydrochemistry of a Precambrian karst aquifer in semi-arid region from Bahia, Brazil*. Em: Geological Society of America Annual Meeting and Exposition, Philadelphia., v. 1.
- Leal, L.R.B.; Luz, J.A.G.; Santos, C.B. & Mello, J.C. 2004. *Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana - Ba*. Em: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS, v. 1. pp. 1-17.
- Leal, L.R.B.; Luz, J.A.G.; Silva, H.M. & Lima, O.A.L. 2005. *Hidrogeologia dos aquíferos cársticos do Cráton do São Francisco no estado da Bahia: implicações para a gestão das águas subterâneas*. Em: III Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, 2005, Salvador. Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1. pp. 45-47.
- Leal, L.R.B.; Lima, O.A.L.; Luz, J.A.G.; Ribeiro, S.H.S. & Silva, A.B. 2004. *Caracterização hidrogeológica da bacia do rio Salitre, região centro-norte do estado da Bahia*. Em: Encontro Brasileiro de Estudo do Carste, Belo Horizonte. v. 1. p. 60.
- Leal, L.R.B.; Lima, R.F.G. & Nascimento, S.A.M. 2004. *Estudo Hidrogeológico das Fontes de Águas Naturais da Cidade de Salvador, Bahia*. Em: XXIII Seminário Estudantil de Pesquisa, Salvador. V. 1.
- Leal, L.R.B. & Santos, C.B. 2007. *Contaminação das Águas Subterrâneas da Área do Aterro Sanitário da Cidade de Feira de Santana, Bahia*. Águas Subterrâneas (São Paulo).
- Leão, M.R.C. & Azevedo, A.E.G. 2003. *Aspectos da Circulação da Água no Aquífero São Sebastião*. Em: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Geofísica, pp. 1-6.
- Leite, F.E. & Fonseca. 1994. *Aplicação de Índices de Qualidade das Águas da Lagoa Caconde, Osório, RS*. Anais do Seminário de Qualidade das Águas Continentais no Mercosul, Organizador: David M. Marques – ABRH.

- Lima, O.A.L. de. 2003. *Geosistemas e recursos hídricos: água subterrânea no Estado da Bahia*. Bahia análise & dados, Salvador, v. 13, pp. 391-402.
- Lima, O.A.L. de & Porsani, M.J. 1994. Monitoramento geo-elétrico da contaminação aquífera no Polo Petroquímico de Camaçari, Bahia. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 12, n. 2, pp. 147-161.
- Lima, O.A.L. de. 1993. Geophysical evaluation of sandstone aquifers in the Recôncavo-Tucano basin, Bahia - Brazil. *Geophysics*, v. 58, pp. 1689-1702.
- Lima, O.A.L. de & Miranda, T.A.D. 1988. Condições hidrogeológicas dos aquíferos artesianos na região do Complexo Petroquímico de Camaçari, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, pp. 83-97.
- Lima, O.A.L. de & Macedo, J.W.P. 1983. Estudo da distribuição de água salgada nos aquíferos costeiros da região de Caravelas-Alcobaça por prospecção elétrica. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 13, n. 3, pp. 159-164.
- Lima, O.A.L.; Leal, L.R.B. & Luz, J.A.G. 2005. *Caracterização geológica e geofísica dos aquíferos na bacia hidrográfica do rio Salitre, Bahia*. Em: III Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, Salvador. Sociedade Brasileira de Geociências, 2005. v. 1. pp. 23-25.
- Lima, O.A.L. de. 1983. Filtração de membrana e a salinização de água subterrânea: Aplicação à aquíferos das bacias do Recôncavo e Tucano. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 13, n. 1, pp. 23-26.
- Lima, O.A.L. de & Ribeiro, A.C. 1982. Caracterização hidrogeológica do aquífero São Sebastião na área de captação do CIA-Bahia, usando perfilagens elétricas de poços. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 1, n. 1, pp. 11-22.
- Lima, O.A.L. de & Dias, C.A. 1980. Estudos geofísicos de uma área experimental na região semi-árida do Nordeste para armazenamento subterrâneo de água. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 10, n. 2, pp. 141-154.
- Lima, O.A.L. de & Dias, C.A. 1979. Estudo da propriedades hidrodinâmicas da Formação Sergi numa área experimental na região de Cocorobó-Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 9, n. 2, pp. 140-150.
- Lima, O.A.L. de. 1999. *Caracterização Hidráulica e Padrões de Poluição no Aquífero Recôncavo na Região de Camaçari - Dias D'Ávila*. (Tese de Concurso Professor Titular da UFBA). Salvador, v. 1. 123 pp.
- Lima, R.F.G.; Leal, L.R.B. & Nascimento, S.A.M. 2003. *Geologia, hidrogeologia e aspectos ambientais das fontes de água natural da cidade de Salvador, Bahia*.



- Em: XX Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza. Sociedade Brasileira de Geologia.
- Lima, R.F.G.; Almeida, A.B.; Leal, L.R.B. & Oliveira, J.M. 2002. *Caracterização Hidrogeológica e Ambiental das Fontes Naturais da Cidade de Salvador, Bahia*. Em: III Seminário de Pesquisa e Pós-Graduação da Ufba, Salvador : Universidade Federal da Bahia, V. 1. p. 76.
- Luciano, R.L. & Leal, L.R.B. 2005. *Caracterização hidroquímica e ambiental da bacia do rio Salitre - Região semi-árida do Estado da Bahia*. Em: VI Seminário de Pesquisa e Pós-graduação. Salvador : Universidade Federal da Bahia, v. 1. pp. 25-26.
- Luz, J.A.G.; Leal, L.R.B. & Barreto, F.S. 2004. *Aspectos quali-quantitativos do aquífero Bambuí na região de Irecê*. Em: I Encontro Brasileiro de Estudos do Carste, V. 1. p. 61.
- Luz, J.A, Leal, L.R.B. & Barreto, F.S. 2006. Aspectos quali-quantitativos do aquífero cárstico da região do platô de Irecê - Bahia (submetido). *Revista Brasileira de Geociências*.
- Luz, J.A.G.; Leal, L.R.B.; & Barreto, F.S. 2004. *Tratamento estatístico dos dados dos poços da região do Platô de Irecê - Bahia*. Em: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. v. 1. pp. 1-18.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. *Econ. Geol.*, 58:1246-1266, 1963.
- Medeiros, W.E.; Lima, O.A.L. de. 1990. A geoelectrical investigation for ground water in crystalline terrains of Central Bahia, Brazil. *Ground Water*, v. 28, pp. 518-523.
- Monteiro, Adson B., Costa, W.D., Lima Filho, M.E & Barbosa, D.L. 2002. *Hidrogeologia e Gestão do Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão - Recife - Pernambuco*. Em: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS, Florianópolis.
- Muricy, A.F.F. 2001. *Projeto Síntese da Geologia da Bacia de Tucano Sul - CPRM - Ba*.
- Nascimento, K.R.F.; Costa, A.B.; Zucchi, M.R.; Matos, C.R.A.; Azevedo, A.E.G. & Pedreira, C.B. 2003. *Oxygen Isotopic Composition of Surface and Ground-Waters from Rio das Fêmeas Sub-Basin Urucuia Aquifer Ba, Brazil*. Em: Simpósio Sul Americano de Geologia Isotópica, V. II. pp. 457-460.

- Nascimento, S.A.M. & Guerra, A.M. 1999. *Diagnóstico do grau de Comprometimento da Água do Aquífero Freático de Salvador, causado por Vazamentos em Postos de Gasolina*. Em: V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e VII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Porto Seguro – Bahia. V. Único. pp. 95-98.
- Nascimento, K.R.F. & Lima, O.A.L. 2003. *Aquífero Urucuia: validade do modelo geoeétrico na bacia do rio das Fêmeas confirmada por novas perfurações*. Em: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.
- Negrão F.I. et. al. 2000 *Monitoramento em Rede de Poços Equipados com Dessalinizadores no Semi-árido do Estado da Bahia*. Em: I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. Fortaleza - Ceará.
- Negrão F.I. 1987. *Caracterização Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade do Sistema Hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê-Ba*. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP. SP.
- Neves, B.B. Brito & Filho, J.M. 1972. *Geologia e Províncias Hidrogeológicas da Bahia*, Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Vol. I, p. 195.
- Oliveira, I.B. & Lima, O.A.L. de. 1986. Estudo das condições geohidrológicas e hidroquímicas dos aquíferos da região de Biritinga/Pataíba-BA, utilizando métodos geofísicos elétricos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, pp. 176-186.
- Oliveira, I.B.; Negrão, F.I. & Rocha, T.S. 2004. *Determinação do Índice de Qualidade da Água Subterrânea – IQAS, com Base nos dados de Poços Tubulares do Estado da Bahia*. (Área Piloto: Recôncavo). Em: Anais do III Congresso Nacional de Meio Ambiente. Salvador – Ba.
- Palma, C.M. & Lima, O.A.L. 2003. *Avaliação geoeétrica detalhada da pluma de contaminação no bloco aquífero Caraíba usando eletrodos enterrados*. Em: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.
- Pedreira, A.J. 1996. *Geologia e Recursos Minerais da Bacia Metassedimentar do Rio Pardo, Bahia*. (Série Arquivos Abertos – Vol.11).Salvador: Cbpm, 18p. II. Mapa.
- Pimentel, AL.; Aquino, R.F.; Silva, R.C.A. & Vieira, C.M.B. 2002. *Estimativa de Recarga do Aquífero Urucuia na Sub-Bacia do Rio das Fêmeas – Oeste da Bahia – Utilizando Separação de Hidrogramas – I Cong. Sobre Aproveitamento e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português. – ABES*.

- Porto, R.L.L. 1991. Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição. En: Porto, R.L.L.; Brando, S.M.; Cleary, R.W. et al. Hidrologia Ambiental. São Paulo, Associação brasileira de Recursos Hídricos, ABRH.
- Ramos, S.O.; Araújo, H.A.; Leal, L.R.B.; Luz, J.A.G. & Dutton, A.R. 2007. Variação Temporal do Nível Freático do Aquífero Cárstico de Irecê Bahia: Contribuição para Uso e Gestão das Águas Subterrâneas do Semi-Árido. *Revista Brasileira de Geociências*.
- Ramdambrasil – MME. 1983. *Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Uso Potencial da Terra*. Folhas SC. 24/25. Aracaju/Recife; Rio de Janeiro.RJ.
- Rebouças, A. da C.; Braga, B. & Tundisi, J.G. 1999. *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras Editora.
- Rebouças, AC. & Gaspar, J. 1966. *As Águas Subterrâneas Do Nordeste. Estimativas Preliminares – Sudene – Recife*.
- Rebouças, AC. 1985. *Plano Diretor Para O Desenvolvimento do Vale do São Francisco - Diagnóstico Hidrogeológico – Codevasf – Brasília Df*.
- Ribeiro, A. de F. 1998. *O Terreno Granito-Greenstone do Rio Salitre (Bahia) e a Mineralização de Sulfeto Maciço Associada. Petrologia, Litogeoquímica e Potencialidade Metalogenética*. Dissertação de Mestrado. Salvador: CPGG/IGEO/UFBA. P. 148; Ils.; Mapas.
- Ribeiro, S.H.S. & Leal, L.R.B. 2004. *Características Geológicas e Hidrogeológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre, Região Centro-Norte do Estado da Bahia*. Em: XXIII Seminário Estudantil de Pesquisa, Salvador. Editora da Universidade Federal da Bahia.
- Santos, C.B; Ladeira, S.E.B.; Beraldo, V.J. & Leal, L.R.B. 2003. *O monitoramento ambiental dos recursos hídricos no Aterro Metropolitano Centro, Salvador - Bahia*. Em: IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2003, Belém. Sociedade Brasileira de Geoquímica.
- Santos, C.B.; Leal, L.R.B. & Luz, J.A.G. 2005. *Caracterização da contaminação por chorume do aquífero fissural na área do aterro municipal da cidade de Feira de Santana*. Em: VIII Congresso de geoquímica dos países de língua portuguesa, Aveiro. VIII v. 1. pp. 123-125.
- Silva, J.C.; Costa Filho, W.D. & Neves, J.A. 2002. *Projeto de Fraturamento Hidráulico em Rochas Cristalinas para Estimulação de Poços e Recarga Artificial na Área*

- Piloto de Samambaia – Custódia – Pe – Em: XII Congress. Brasileiro de Águas Subterrâneas – Florianópolis. SC.*
- Silva, J.X. 1978. *Unidade de manejo Ambiental; a contribuição geomorfológica.* En: III Encontro Nacional de Geógrafos, Fortaleza-Comunicações: Associação dos Geógrafos Brasileiros, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. CE.
- SUDENE / DNPM. 1980. Levantamento Hidrogeológico Básico do Nordeste – Folha 32 – Sudene – Recife.
- SUDENE. 1972. Levantamento Hidrogeológico Básico Do Nordeste - Folha 24 – Sudene - Recife.
- SUDENE. 1978. Levantamento Hidrogeológico Básico Do Nordeste - Folha 28 – Sudene - Recife.
- SUDENE. 1980. Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil - PLIRHINE, 15 v, Recife.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater .1998. Washington, DC: American Public Health Association, 20th Edition.
- Szikszay, M. 1981. *Hidrogeoquímica das Fontes de Água da Prata, Estado de São Paulo.* Vol. I. Tese de Livre Docência apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – São Paulo – Brasil.
- Vauclin, M.;Vieira , S.R.; Bernard. R. & Hatfield, J.L. 1982. Spatial variability of two transects of a bare soil. *Water Res. Res.*, 18:1677-1986, 1982.
- Vieira, S.R.; Hatfield, T.L.; Nielsen, D.R. & Biggar, J.W. 1983. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51:1-75.
- Vieira, S.R.; Nielsen, D.R. & Biggar, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:1040-1048.
- Webster, R. 1973. Automatic soil boundary location for transect data. *Mathem. Geol.*, 5: 27-37,.
- Webster, R. & Cuanalo de la Cerda, H.E. 1975. Soil transect correlograms of north Oxfordshire and their interpretation. *J. Soil Sci.*, 26:176-194, 1975.

**REFERÊNCIAS WEB**

[www.ibge.gov.br/](http://www.ibge.gov.br/) IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil. 2004.

[www.sandre.eaufrance.fr/](http://www.sandre.eaufrance.fr/) SEQ\_Fournier, I. L. SEQ-Eaux Souterraines - Système d'évaluation de la qualité. Revue de L'Agence de l'eau; n.81, p.19.

[www.nsf.org/](http://www.nsf.org/) National Sanitation Foundation –NSF– Water Quality Index.

[www.who.int/](http://www.who.int/) OMS - Organización Mundial de la Salud – Índices de Calidad de Água e Salud.

[www.sei.ba.gov.br/](http://www.sei.ba.gov.br/) SEI, Superintendência de Estatística e Informações. 1994, 1980, 1999. *Informações Geoambientais; cartogramas e mapas*. Seplantec - Secretaria de Planejamento e Tecnologia.

Anexos

## 8. ANEXOS

### **Anexo I. Procedimentos de Cálculo das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades dos Aquíferos do Estado da Bahia**

Para determinar as reservas de águas subterrâneas e contornar parcialmente as dificuldades decorrentes da insuficiência de dados e de estudos de natureza hidrogeológica; foi aplicada a metodológica proposta por Costa (1998). Esta metodologia prevê alternativas de avaliação diferenciadas, de acordo com o nível de conhecimento de cada unidade aquífera e da qualidade dos dados disponíveis. Desta forma, os valores de reserva de águas subterrâneas obtidos serão sempre aproximações de ordem de grandeza, válida para cada unidade e compatível com a qualidade das informações disponíveis.

As tabelas I.1 e I.2, apresentadas no final deste anexo, contém as equações e os dados necessários para o cálculo das reservas potencialidades e disponibilidades das águas subterrâneas do Estado da Bahia. A seguir serão descritas as condições e limitações do procedimento.

Para alguns aquíferos, os cálculos deixaram de ser efetuados em decorrência da falta de dados.

#### **Aquífero das Coberturas Profundas e Formação Vazantes.**

Para avaliação das reservas adotou-se os dados de espessura média saturada obtida através de informações dos 125 poços tubulares cadastrados neste Domínio. Os valores de porosidade efetiva variam num intervalo, tendo-se adotado o menor valor para o cálculo. O valor da Disponibilidade Virtual (Dv) não foi calculado por insuficiência de dados, tendo-se inferido um valor da ordem de 1% da Potencialidade.

#### **Aquífero das Coberturas Rasas**

As reservas foram inferidas com base em dados médios de campo. Para o cálculo da Reserva Reguladora (Rr) adotou-se 60% das Reservas Permanentes. Para o cálculo da Potencialidade (Po) considerou-se apenas uma parcela da Reserva Reguladora, levando-se em conta as altas taxas de evapo-transpiração. Adotou-se a recomendação do Planvasf, 1985, de 1/3 da reserva reguladora. Para a Disponibilidade

Virtual (Dv), por falta de informações, também inferiu-se o valor de 1% da Potencialidade.

### **Aqüíferos das Bacias Sedimentares**

#### **Aqüífero Marizal-São Sebastião**

A Potencialidade (Po) deste aquífero sedimentar de grande porte, é representada pela reserva reguladora (Rr), acrescida de um percentual da reserva permanente (Rp), convencionalmente 10 a 30%, distribuídos em 50 anos, ou seja de 0,2 a 0,6% ao ano. A Disponibilidade Instalada (Dei), não pôde ser estimada em função da não existência de um cadastro de poços atualizado para fornecer os dados necessários. Para a Disponibilidade Efetiva Atual (Dea) foi feita uma estimativa através do levantamento dos volumes explotados pelos grandes usuários: Abastecimento Industrial (5.184.730 m<sup>3</sup>/mês); abastecimento público (2.295.316 m<sup>3</sup>/mês); com o acréscimo de pelo menos 10% para os usuários menores disseminados sobre o aquífero.

#### **Aqüíferos da Bacia de Tucano**

A avaliação das reservas, potencialidades e disponibilidades na Bacia de Tucano é grandemente dificultada pela deficiência de informações. Dentre estas se destacam: falta de controle do contato água doce / água salgada em todos os aquíferos, a não existência de um cadastro de poços atualizado, a indefinição de parâmetros hidrodinâmicos, a dificuldade de acesso a dados e informações geológicas e geofísicas de propriedade da Petrobrás e conseqüentemente a indefinição do arcabouço estrutural no detalhe adequado ao interesse hidrogeológico. Para efeito de avaliação das reservas, foi estabelecida uma espessura média, inferida, tomando-se como base os perfis de alguns poços da Petrobrás. Tendo-se em conta as dificuldades em se estabelecer uma média da espessura útil saturada dos vários níveis aquíferos.

#### **Aqüífero Marizal-Massacará-Ilhas Superior**

Para o cálculo da Disponibilidade Atual (Dea) utilizou-se o somatório dos volumes explotados atualmente, acrescido de 10% para as captações não cadastradas.



### **Aquífero Urucuia**

A determinação da Reserva Permanente (Rp) desse aquífero foi dificultada pela indefinição de certos parâmetros tais como: geometria do sistema aquífero e sua espessura média saturada, além do coeficiente de armazenamento e da porosidade efetiva. Os valores das reservas estimadas, representam uma ordem de grandeza da reserva permanente contida em 300 m do aquífero, com uma porosidade efetiva de 8%, não levando em conta o efeito do semi-confinamento que, em verdade, concorre para elevar apenas um pouco mais os volumes das reservas. O valor de 8% para a porosidade efetiva é o mesmo adotado pelo Planvasf (1985). Para o cálculo da Reserva Reguladora (Rr) foi adotado o valor de 15% para a Infiltração (I), ou seja, a menor taxa, com base nos valores médios estabelecidos para o Aquífero Urucuia. A análise das curvas de recessão dos rios estabelece 15 a 26,5% (Planvasf, 1985); e técnicos da SRH estabelecem o valor de 20% para a Bacia do Rio das Fêmeas. Quanto à Potencialidade (Po) é representada pela reserva reguladora acrescida de um percentual da reserva permanente, convencionalmente 10 a 30%, distribuídos em 50 anos, ou, 0,2 a 0,6% ao ano.

A Disponibilidade virtual (Dv) é definida como a parcela máxima da potencialidade de um aquífero que pode ser aproveitada anualmente sem efeitos indesejáveis, podendo no máximo igualar-se à Potencialidade (Costa, 1998). Como o sistema Urucuia é responsável por manter perenizada a extensa rede de drenagem da região através da restituição do aquífero, muito provavelmente, nem mesmo sua reserva reguladora poderá ser totalmente disponibilizada. Quanto à Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei) e Atual (Dea), face à insuficiência de dados, não poderá ser avaliada com relativa precisão. Estas deficiências somente serão superadas através do cadastramento atualizado dos poços. No banco de dados da CERB constam apenas 147 poços, com dados não atualizados, do qual se inferiu uma taxa de 2% da Potencialidade para a Disponibilidade Efetiva Atual (Dea).

### **Aquífero Extremo Sul.**

Para o cálculo da Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei), os dados disponíveis na Bacia são incompletos e se referem ao registro de apenas 58 poços existentes no cadastro de poços da CERB. A disponibilidade atual (Dea), não foi estimada por insuficiência de dados.

**Aqüífero Cárstico das Precipitações < 800 mm/ano**

Para efeito de avaliação das reservas deste aquífero, adotaram-se dados gerados em pesquisas anteriores realizadas nessa área. Para a Disponibilidade Efetiva Atual (Dea) utilizaram-se os volumes explorados assim distribuídos: Irrigação ( $7,922 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano); Embasa ( $4,5 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/ano); outros ( $1,593 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano). Estes números são aproximados uma vez que não se dispõe de um cadastro atualizado para avaliar a demanda difusa das pequenas comunidades e comunidades rurais dispersas. A mesma observação é válida para a Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei).

**Aqüífero Cárstico das Precipitações > 800 mm/ano**

Para a avaliação de suas reservas utilizaram-se os mesmos valores de porosidade efetiva, taxa de recarga e espessura saturada utilizada na Chapada de Irecê, restringindo-se a avaliação às áreas expostas do calcário. No cálculo da Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei) o valor refere-se ao número de poços registrados no banco de dados da CERB. O valor da Disponibilidade efetiva Atual (Dea) não foi calculado por insuficiência de dados.

**Aqüífero Metassedimentar**

O valor da Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei) deve ser considerado pouco preciso, pois se refere ao número de poços registrados no cadastro de poços da CERB, não atualizado. A Disponibilidade Atual não pode ser estimada em virtude de não se conhecer o volume real explorado neste Domínio.

**Aqüíferos Cristalinos**

Para efeito de cálculos das reservas, são levados em consideração a grande heterogeneidade na distribuição das fraturas no meio rochoso, com porosidade efetiva média extremamente baixa, considerada para o Nordeste não superior a 1%, variação sazonal média do nível hidrostático de 5 metros, espessura média da zona saturada de 50 m e taxas de infiltração variando de 0,12 a 1%. O trabalho realizado pela Missão Geológica Alemã estabeleceu para o município de Petrolina em Pernambuco, a taxa de recarga de 1% (Kreysing, 1973).

**Aqüífero Cristalino das < 800 mm/ano**

Para o cálculo da Reserva Permanente (Rp) utilizou a fórmula,  $R_p = (A \cdot b \cdot \mu) / 2$ , Rebouças (1985), admitindo que o reservatório tem uma geometria prismática de base triangular, em que, b representa a espessura saturada e  $\mu$  a porosidade eficaz. Esta fórmula tende a encontrar valores maiores do que a adotada. Para o cálculo da Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei), os valores foram estimados com o número de poços registrados no cadastro de poços da CERB (Bahia, 2007). Como o referido cadastro não é atualizado, o valor obtido para a Disponibilidade instalada serve apenas como referencial. Da mesma forma, a Disponibilidade Atual (Dea), não pode ser calculada com segurança por falta de informações referentes aos volumes explorados neste aquífero. Problema este, a ser resolvido quando da atualização cadastral dos poços.

**Subsistema Aquífero Cristalino das > 800 mm/ano**

Os resultados da Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei) para esses aquíferos aqui ser tomado como um referencial de ordem de grandeza do consumo anual de água através de poços. Isto porque esse dado, se refere ao número de poços registrados no cadastro de poços da CERB (Bahia, 2007), que relaciona a vazão de instalação do poço e aonde esta, não vem sendo devidamente atualizada ao longo do tempo através de uma rede de monitoramento como era de se esperar. Também a Disponibilidade Efetiva Atual não pode ser estimada em virtude da falta de informações referentes ao volume de água explorado atualmente nos aquíferos do Estado.

Tabela I.1. Cálculo das Reservas Hídricas, Potencialidade e Disponibilidade dos Aquíferos Sedimentares.

Aquífero	Tipo de Aquífero	Área Recoberta A (Km <sup>2</sup> )	Nº Poços Cadas- trados (877)	Espessura Média Saturada b(m)	Porosida- de Efetiva μ(%)	Carga Potenci- métrica do Aquífero Confinado h(m)	Taxa de Infiltração (%)	Coefici- ente de Armazena- mento S(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Precipita- ção Média P (mm/ano)	Reserva Permanente Rp(m <sup>3</sup> )	Reserva Regula- dora Rr(m <sup>3</sup> /s)	Potencia- lidade Po(m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade (m <sup>3</sup> /ano)		Efetiva Atual DEA (m <sup>3</sup> /ano)
													Virtual D <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /ano)	Efetiva Instalada DEI (m <sup>3</sup> /ano)	
Coberturas Profundas e Formação Vazante	Livre	14.717	95	30	5 - 10 <sup>00</sup>	-	10 - 15 <sup>00</sup>	-	800	$R_p = (A.b.\mu) + (A.h.S)$	$R_r = A.P.I - R_e = 0,6 \times R_p$	$P_o = R_r \times 1,15$ ${}^2P_o = R_r \times 0,334$ ${}^3P_o = R_r + (R_p \times 0,004)$ ${}^4P_o = R_r + (R_p \times 0,002)$ $\Sigma = 42,8$	$D_v = 0,1 \times P_o$ ${}^2D_v < P_o$	DEI=NO <sub>m</sub>	${}^1DEA = \Sigma Q_i$ ${}^2DEA = 1,1 \times \Sigma Q_i$ ${}^3DEA = 0,2 \times P_o$
Coberturas Rasas	Livre	73.556	-	5	10	-	-	-	-	$\Sigma = 22,1 \times 10^9$	$\Sigma = 22,1 \times 10^9$	$\Sigma = 233,0$	$\Sigma = 7,4 \times 10^7$	-	-
Marizal/Sã o Sebastião	Livre/Con finado	5.572	125	478	8	100	10	$2 \times 10^{-4}$	1.500	$\Sigma = 2,1 \times 10^{11}$	$\Sigma = 8,4 \times 10^8$	$\Sigma = 53,3$	-	-	$\Sigma = 9,9 \times 10^7$
Marizal/M assacará - Ilhas Superior	Livre/Con finado	20.900	452	600	8	100	10	$2 \times 10^{-4}$	600	$\Sigma = 1,0 \times 10^{12}$	$\Sigma = 1,2 \times 10^9$	$\Sigma = 166,8$	-	$\Sigma = 8,5 \times 10^7$ $Q_m = 21,6$ (m <sup>3</sup> /h)	$\Sigma = 1,5 \times 10^9$
Unicuaia	Livre	80.000	147	300	8	-	15	-	1.600	$\Sigma = 1,9 \times 10^{12}$	$\Sigma = 1,9 \times 10^{10}$	$\Sigma = 730,6$	-	-	$\Sigma = 4,6 \times 10^8$
Extremo Sul	Livre	5.206	58	200	8	-	15	-	1.600	$\Sigma = 8,3 \times 10^{10}$	$\Sigma = 1,2 \times 10^9$	$\Sigma = 44,7$	-	$\Sigma = 1,4 \times 10^9$ $Q_m = 27,13$ (m <sup>3</sup> /h)	-

Referências: (a) Planvasf, Rebouças, 1985

Tabla I.2. Cálculo das Reservas Hídricas. Potencialidade e Disponibilidade dos Aquíferos Metassedimentares, Cársticos e Cristalinos.

Aquífero	Tipo de Aquífero	Área Recoberta A(Km <sup>2</sup> )	Nº Poços Cadastrados N(-)	Vazão Média Q <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Espessura Média Saturada b(m)	Porosidade Efetiva μ(%)	Taxa de Infiltração I(%)	Precipitação Média P(mm/Ano)	Reserva Permanente Rp(m <sup>3</sup> )	Reserva Reguladora Rr(m <sup>3</sup> /s)	Potencialidade Pp(m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade Virtual D <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /ano)	Disponibilidade Efetiva Instalada DEI(m <sup>3</sup> /ano)	Efetiva DEA(m <sup>3</sup> /ano)
Cársticos <800 mm/ano	Livre	23.391	2.324	9,0	80	3,2 <sup>60</sup>	4,0 <sup>60</sup>	600	R <sub>p</sub> =A.b.μ R <sub>r</sub> =10 x A.P.I	R <sub>r</sub> =A.P.I	P <sub>p</sub> =R <sub>r</sub> x 1,15	D <sub>v</sub> ≤ P <sub>p</sub>	DEI=NO <sub>60</sub>	DEA=ΣQ <sub>60</sub>
Cársticos >800 mm/ano	Livre	54.532	1.168	9,9	80	3,2 <sup>60</sup>	4,0 <sup>60</sup>	900	L <sub>1</sub> =6,0x10 <sup>10</sup>	17,8	20,5	20,5	5,8	=3,0
Metassedim entar	Livre/	84.330	1422	6,9	-	-	1,2	800	L <sub>1</sub> =1,4x10 <sup>11</sup>	62,2	71,3	71,5	3,2	-
Cristalino <800 mm/ano	Livre	125.514	2.533	3,4	-	-	0,5	600	L <sub>2</sub> =8,1x10 <sup>9</sup>	25,7	29,5	29,5	2,7	-
Cristalino >800 mm/ano	Livre	76.174	1.800	4,0	-	-	1,0	1200	L <sub>2</sub> =3,7x10 <sup>9</sup>	1,9	13,7	13,7	2,4	-
									L <sub>2</sub> =9,1x10 <sup>9</sup>	29,0	33,3	33,3	2,0	-

Referências: (a) Guerra, 1986

## Anexo II. Planilha de Dados Georeferenciados: Cadastro de Poços do Estado da Bahia.\*

Nº Ord.	N cerb	Município	Localidade	CoordX	CoordY	Prof (m)	NE (m)	Q (m³/h)	Recha	Resultado	Cl (mg/L)	Dur (mg/L)	Nitro (mg/L)	STD (mg/L)
001	1-5006	Jacobina	PLICIAL	40 33 25	11 09 30	26,00	0,00	0,00	CRISTALINO	AGUA SAL.	0,00	0,00	0,00	0,00
002	1-5008	Livramento	VARZINHA	42 01 06	13 41 00	70,00	0,00	11,98	CRISTALINO	APROVEIT.	89,00	198,00	0,00	440,00
003	1-5007	Paratinga	P. DE BAIXO	43 03 51	12 29 03	72,00	11,12	17,20	QUARTZITO	APROVEIT.	93,00	241,00	3,72	510,00
004	1-5022	Paratinga	PEDRAS	43 12 24	12 23 51	150,00	11,80	2,62	QUARTZITO	APROVEIT.	28,00	87,00	0,00	298,00
005	1-5011	Teixeira de F.	JARDIM NOVO	39 49 15	17 22 15	70,00	0,00	0,00	CRISTALINO	APROVEIT.	0,00	0,00	0,00	0,00
0006	1-5013	Teixeira de F.	B. N. AMERIC.	39 42 49	17 31 31	26,00	0,00	0,00	SEDIMENTAR	APROVEIT.	0,00	0,00	0,00	0,00
007	1-5021	Teixeira de F.	LOT. NOVO	39 45 26	17 31 57	69,00	0,00	0,00	SEDIMENTAR	APROVEIT.	0,00	0,00	0,00	0,00
008	1-5020	Teixeira de F.	B. T. NEVES	39 46 19	17 33 30	41,00	0,00	0,00	SEDIMENTAR	VAZ. INSUF.	0,00	0,00	0,00	0,00
009	1-5012	Andaraí	FITAGUASSU	41 10 39	12 33 18	200,00	0,00	0,00	CALCARIO	ABANDON.	0,00	0,00	0,00	0,00
0010	1-5018	Barreiras	POSTO FISCAL	46 18 40	11 48 54	220,00	0,00	0,00	SEDIMENTAR	SECO	0,00	0,00	0,00	0,00
0011	1-5017	Boquira	MAMONA	42 42 45	12 45 27	80,00	0,00	0,00	CRISTALINO	SECO	0,00	0,00	0,00	0,00
0012	1-5015	Brumado	UMBURANAS	41 27 46	14 08 26	70,00	0,00	0,00	XISTO	VAZ. INSUF.	0,00	0,00	0,00	0,00
0013	1-5016	Brumado	UMBURANAS	41 30 40	14 08 40	50,00	19,68	3,38	XISTO	APROVEIT.	277,00	746,00	40,62	1344,00
0014	1-5019	Jussipe	CACHOEIRA	41 32 20	13 32 50	72,00	0,75	0,28	CRISTALINO	VAZ. INSUF.	0,00	0,00	0,00	0,00
0015	1-5023	Teixeira de F.	B. T. NEVES	39 46 13	17 33 01	73,80	0,00	0,00	SEDIMENTAR	APROVEIT.	0,00	0,00	0,00	0,00
0016	1-5026	Antas	Sede	38 21 16	10 20 24	367,10	134,65	36,00	SEDIMENTAR	APROVEIT.	23,00	13,00	0,14	88,00
0017	1-5025	Paratinga	CANAFISTULA	43 11 21	12 30 32	137,00	9,25	3,96	QUARTZITO	APROVEIT.	110,00	90,00	0,00	518,00
0018	1-5027	Mucuge	FRUOS	41 36 23	12 43 50	62,00	0,00	5,65	METASSEDIM.	APROVEIT.	22,00	114,00	0,07	186,00

\*A Planilha original com 8.207 linhas está apresentada em CD, Anexo.

**Anexo III. Planilha de Dados Georeferenciados: Análises Químicas e Qualidade Natural da água de Poços do Estado da Bahia. IQNAS.\***

N. ORD.	N. CERRB.	MUNICÍPIO	Y	X	CORD	CORD	DATA	ANÁLISE	ROCHA	PH	CLQ	NITR	FLUÍO	DUR	RES	OL	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	IQ	QUALI
											RETO	ATO	RETO	EZA	TOT	CL	PH	R_T	CAC03	F	NAS		DADE
1	34	ACAJUTIBA	-11,67	-38,02	8/3/1973	SEDIMENTAR	6,15	22,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	114	71,85	65,64	78,93	89,29	80,00	100,00	82,21	ÓTIMA
2	48	ACAJUTIBA	-11,65	-38,01	26/4/1973	SEDIMENTAR	6,70	21,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,50	112	72,59	77,90	79,04	98,20	80,00	100,00	83,02	ÓTIMA
3	7455	ADUSTINA	-10,50	-37,98	21/3/2003	CALCÁRIO	8,04	1902,00	7,01	0,85	1858,00	4692	15,00	37,39	37,00	73,39	37,00	37,00	37,00	97,70	49,82	36,98	IMPRÓPRIA
4	111	ÁGUA FRIA	-11,85	-38,74	26/11/1973	SEDIMENTAR	6,50	56,50	0,02	0,10	27,00	164	57,65	73,32	76,07	95,76	73,32	76,07	95,76	82,00	99,80	77,27	BOA
5	161	ÁGUA FRIA	-11,73	-38,70	10/3/1975	SEDIMENTAR	7,20	590,00	4,10	0,20	40,00	1495	25,29	89,96	37,00	93,29	89,96	37,00	93,29	80,00	66,53	50,19	ACEITÁVEL
6	6919	ÁGUA FRIA	-11,80	-38,83	20/4/2004	SEDIMENTAR	8,35	74,70	0,04	0,22	130,00	334	53,62	65,23	66,16	77,85	65,23	66,16	77,85	84,62	99,60	71,06	BOA
7	7136	ÁGUA FRIA	-11,76	-38,76	4/6/2001	SEDIMENTAR	8,60	161,00	0,10	0,57	109,00	632	42,96	59,38	50,81	81,21	89,71	89,71	97,43	91,97	99,01	64,22	BOA
8	7459	ALAGOINHAS	-12,03	-38,33	16/4/2003	SEDIMENTAR	7,19	22,00	0,18	0,80	18,40	47	72,21	89,71	82,22	97,43	89,71	82,22	97,43	80,00	98,23	83,89	ÓTIMA
9	805	ALCOBAÇA	-17,42	-39,48	21/2/1979	SEDIMENTAR	6,95	19,00	0,00	0,36	22,00	114	74,64	83,82	78,93	96,73	83,82	78,93	96,73	87,56	100,00	84,92	ÓTIMA
10	6893	ALCOBAÇA	-17,41	-39,59	29/6/2000	SEDIMENTAR	7,58	17,08	0,14	0,05	23,82	138	76,44	87,73	77,57	96,37	87,73	77,57	96,37	81,05	98,60	84,04	ÓTIMA
11	7726	ALCOBAÇA	-17,52	-39,53	17/6/2004	SEDIMENTAR	6,12	22,50	0,90	0,00	11,90	26	71,85	65,00	82,83	98,71	65,00	82,83	98,71	80,00	91,44	81,86	ÓTIMA
12	1079	RODRIGUES	-12,40	-38,76	6/10/1980	SEDIMENTAR	5,70	48,00	2,00	0,17	28,00	114	60,06	56,38	78,93	95,57	56,38	78,93	95,57	83,57	81,97	75,65	BOA
13	7398	ARBRIGUES	-12,45	-38,71	8/10/2002	SEDIMENTAR	8,69	16,20	0,61	0,28	42,40	238	77,34	57,42	71,72	92,84	57,42	71,72	92,84	85,58	94,12	80,81	ÓTIMA
14	3606	ADOURADA	-11,50	-41,68	27/8/1986	CALCÁRIO	7,00	588,48	21,24	1,06	119,77	1800	25,33	85,03	37,00	37,00	85,03	37,00	37,00	100,29	12,11	34,67	IMPRÓPRIA
15	3605	ADOURADA	-11,37	-41,51	22/8/1986	CALCÁRIO	6,90	158,89	27,45	1,21	649,57	900	43,14	82,62	40,16	37,00	82,62	40,16	37,00	96,24	6,53	36,66	IMPRÓPRIA
16	807	ADOURADA	-11,44	-41,44	5/2/1979	CALCÁRIO	7,85	300,00	5,20	0,72	810,00	1480	34,54	78,96	37,00	37,00	78,96	37,00	37,00	95,10	59,64	47,16	ACEITÁVEL
17	1057	ADOURADA	-11,52	-41,66	3/10/1980	CALCÁRIO	7,25	240,00	80,00	0,49	156,00	1334	37,55	91,22	37,00	73,89	91,22	37,00	37,00	90,29	0,04	17,63	IMPRÓPRIA
18	7157	ADOURADA	-11,45	-41,63	20/7/2001	CALCÁRIO	8,24	286,00	43,80	0,90	811,00	1272	35,19	68,00	37,00	37,00	68,00	37,00	37,00	98,61	1,29	26,61	IMPRÓPRIA
19	7160	ADOURADA	-11,45	-41,63	20/7/2001	CALCÁRIO	8,39	108,00	6,22	1,09	684,00	1012	48,44	64,25	37,00	37,00	64,25	37,00	37,00	100,17	53,89	50,62	ACEITÁVEL
20	5499	ADOURADA	-11,47	-41,55	1/10/2003	CALCÁRIO	8,03	33,10	16,80	0,93	394,00	574	65,70	73,67	53,53	45,79	73,67	53,53	45,79	99,10	18,83	52,79	BOA
21	2253	ADOURADA	-11,48	-41,53	19/12/2003	CALCÁRIO	7,10	137,00	44,00	1,12	634,00	850	45,16	87,48	41,90	37,00	87,48	41,90	37,00	99,79	1,26	29,52	IMPRÓPRIA
22	2252	ADOURADA	-11,30	-41,52	19/12/2003	CALCÁRIO	7,10	289,00	43,03	0,88	767,00	1080	35,04	87,48	37,00	37,00	87,48	37,00	37,00	98,25	1,39	27,22	IMPRÓPRIA
23	316	ANAGÉ	-14,61	-41,13	22/8/1975	CRISTALINO	8,20	424,00	0,03	0,20	684,00	1478	29,85	89,96	37,00	37,00	89,96	37,00	37,00	84,20	99,72	48,41	ACEITÁVEL
24	1849	ANAGÉ	-14,55	-40,72	22/6/1999	CRISTALINO	8,38	150,12	0,09	0,52	353,36	876	43,91	59,83	40,98	49,69	59,83	40,98	49,69	90,92	99,14	56,87	BOA
25	7598	ANAGÉ	-14,69	-41,23	19/12/2003	CRISTALINO	7,90	681,00	5,64	0,62	1045,00	2048	23,29	75,59	37,00	45,25	75,59	37,00	37,00	93,02	57,09	42,10	ACEITÁVEL
26	7610	ANAGÉ	-14,56	-41,02	27/11/2003	QUARTZITO	6,60	420,00	5,05	1,22	400,00	1259	29,98	75,59	37,00	45,25	75,59	37,00	37,00	95,53	60,53	46,98	ACEITÁVEL
27	7610	ANAGÉ	-14,47	-40,84	1/10/2003	QUARTZITO	7,31	841,00	9,82	0,29	1345,00	2430	20,28	92,73	37,00	37,00	92,73	37,00	37,00	86,09	37,68	38,03	ACEITÁVEL
28	7629	ANAGÉ	-14,63	-41,01	27/11/2003	CRISTALINO	7,20	536,00	0,19	4,80	248,00	1925	26,63	89,96	37,00	61,41	89,96	37,00	37,00	81,05	98,13	0,00	IMPRÓPRIA
29	424	ANDARAÍ	-12,71	-41,18	7/6/1976	CALCÁRIO	6,80	20,00	0,00	0,16	250,00	296	75,79	80,24	68,34	61,17	80,24	68,34	61,17	83,36	100,00	75,46	BOA
30	451	ANDARAÍ	-12,72	-41,20	13/8/1976	CALCÁRIO	7,25	21,00	0,00	0,00	231,50	294	72,98	91,22	68,45	63,48	91,22	68,45	63,48	80,00	99,98	75,71	BOA

\* A planilha original com 1.899 linhas está apresentada em CD, Anexo.

**Anexo IV. Planilha de Dados Georeferenciados: Potencialidade (Vazão) de Poços do  
Estado da Bahia. IQNAS.\***

Nº Ordem	N cerb	Município	Localidade	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)	Vazão (m³/h)
000001	1-5006	Jacobina	COMPLEXO POLICIAL	40 33 25	11 09 30	0,00
000002	1-5008	Livramento do Brumado	VARZINHA	42 01 06	13 41 00	11,98
000003	1-5007	Paratinga	PAULISTA DE BAIXO	43 03 51	12 29 03	17,20
000004	1-5022	Paratinga	PEDRAS	43 12 24	12 23 51	2,62
000005	1-5011	Teixeira de Freitas	JARDIM NOVO	39 49 15	17 22 15	0,00
000006	1-5013	Teixeira de Freitas	BAIRRO NOVA AMERICA	39 42 49	17 31 31	0,00
000007	1-5021	Teixeira de Freitas	LOTEAMENTO NOVO	39 45 26	17 31 57	0,00
000008	1-5020	Teixeira de Freitas	BAIRRO TANCREDO NEVES	39 46 19	17 33 30	0,00
000009	1-5012	Andaraí	FAZ ITAGUASSU SETE POSTO FISCAL DIVISA	41 10 39	12 33 18	0,00
000010	1-5018	Barreiras	BARREIRAS/DIANOPOLIS	46 18 40	11 48 54	0,00
000011	1-5017	Boquira	MAMONA	42 42 45	12 45 27	0,00
000012	1-5015	Brumado	UMBURANAS	41 27 46	14 08 26	0,00
000013	1-5016	Brumado	UMBURANAS	41 30 40	14 08 40	3,38
000014	1-5019	Jussiapé	CACHOEIRA	41 32 20	13 32 50	0,28
000015	1-5023	Teixeira de Freitas	BAIRRO TANCREDO NEVES	39 46 13	17 33 01	0,00
000016	1-5026	Antas	Sede	38 21 16	10 20 24	36,00
000017	1-5025	Paratinga	CANAFISTULA	43 11 21	12 30 32	3,96
000018	1-5027	Mucugê	FRIOS	41 36 23	12 43 50	5,65
000019	1-5035	Salvador	NOSSA TERRA VEICULOS *	38 27 10	12 59 13	2,31
000020	1-5028	Andaraí	FAZ ITAGUASSU SETE	41 09 04	12 35 28	0,00
000021	1-5029	Mucugê	SANTO ANTONIO	41 33 10	12 48 28	0,00
000022	1-5031	Piatã	CANTINHO	41 51 02	12 49 30	14,40
000023	1-5032	Piatã	TAQUARA	41 50 19	12 53 21	1,18
000024	1-5038	Macaúbas	LAGOA CLARA	42 40 43	13 24 36	4,64
000025	1-5033	Rio de Contas	BAIXAO	41 38 03	13 35 14	0,00
000026	1-5037	Rio de Contas	CARRAPICHO	41 46 26	13 30 49	16,12
000027	1-5036	Ibotirama	SANTA CLARA	43 17 10	11 44 58	4,24
000028	1-5030	Paratinga	MACAMBIRA	43 08 49	12 32 53	7,81
000029	1-5034	Paratinga	TEIU	43 09 26	12 34 41	3,16
000030	1-5040	Jussiapé	CRUZ	41 40 43	13 22 00	2,30
000031	1-5039	Nova Viçosa	POSTO FISCAL ALBERTO SANTANA	40 02 16	17 56 18	0,00
000032	1-5051	Una	CONJUNTO HABITACIONAL URBIS	39 04 19	15 17 51	2,30
000033	1-5053	Paramirim	TABUA DE CIMA	42 15 00	13 22 10	2,34
000034	1-5054	Rio do Pires	PLACA	42 13 56	13 03 19	2,88
000035	1-5045	Caculé	TAMBORIL	42 15 59	14 31 30	0,79

A Planilha original com 8.207 linhas está apresentada em CD, Anexo.



## Anexo V. Planilha de Dados Georeferenciados: Vulnerabilidade dos Domínios Aquíferos do Estado da Bahia. Método GOD.\*

Nº Ordem	Código do Poço	Município	Localidade	Coordenadas		Hidrogeologia	Ocorrência da água subterrânea		Grau de consolidação do meio poroso		Distância a água		Grau de Vulnerabilidade	
				X (decimal)	Y (decimal)		Domínio Aquifero	Parâmetro de Entrada	Litologia	Parâmetro de Entrada	Ne (m)	Parâmetro de Entrada	Parâmetros de Saída	
1	010867	Irará	SACO VELHO	-38,77	-12,07	Domínio das Coberturas Destríticas	Semiconfinado	0,2	Arenito, Conglomerado, Argilito	0,7	50,13	0,6	0,084	Desprezível
2	002671	Camaçari	COPENE	-38,33	-12,66	Domínio das Bacias Sedimentares	Semiconfinado	0,2	Arenito, Folhelho, Siltilito	0,7	50,18	0,6	0,084	Desprezível
3	004770	Heliópolis	TANQUE NOVO	-38,23	-10,76	Domínio das Bacias Sedimentares	Semiconfinado	0,2	Arenito, Folhelho, Siltilito	0,7	50,40	0,6	0,084	Desprezível
4	011465	Oitindina	ENTRONCAMENTO DE CRISÓPOLIS	-38,30	-11,42	Domínio das Bacias Sedimentares	Semiconfinado	0,2	Arenito, Conglomerado, Folhelho, Siltilito	0,7	50,50	0,6	0,084	Desprezível
5	014303	Rodelas	LAMBDOURO	-38,80	-8,92	Domínio das Bacias Sedimentares	Semiconfinado	0,2	Arenito, Conglomerado, Folhelho, Siltilito	0,7	50,82	0,6	0,084	Desprezível
6	010127	S. Sebastião do Passé	TAQUIPE	-38,51	-12,44	Domínio das Bacias Sedimentares	Semiconfinado	0,2	Arenito, Folhelho, Siltilito	0,7	50,85	0,6	0,084	Desprezível
7	009161	Sátiro Dias	BAIXA PRETO DO SENA	-38,47	-11,63	Domínio das Bacias Sedimentares	Semiconfinado	0,2	Arenito, Conglomerado, Folhelho, Siltilito	0,7	50,90	0,6	0,084	Desprezível
8	004809	Heliópolis	CAMBOATA	-38,34	-10,70	Domínio das Bacias Sedimentares	Semiconfinado	0,2	Arenito, Conglomerado, Folhelho, Siltilito	0,7	51,00	0,6	0,084	Desprezível

\* A Planilha original com 6.951 linhas está apresentada em CD, Anexo.

**Anexo VI. Planilha de Dados Georeferenciados: Grau de Poluição dos Domínios  
Aquíferos do Estado da Bahia. (Nitratos).\***

Nº Ordem	Ncerb	Município	Localidade	Coord X	Coord Y	NO3 <sup>-</sup> (mg/L)
000001	1-5006	Jacobina	COMPLEXO POLICIAL	40 33 25	11 09 30	0,00
000002	1-5008	Livramento do Brumado	VARZINHA	42 01 06	13 41 00	0,00
000003	1-5007	Paratinga	PAULISTA DE BAIXO	43 03 51	12 29 03	3,72
000004	1-5022	Paratinga	PEDRAS	43 12 24	12 23 51	0,00
000005	1-5011	Teixeira de Freitas	JARDIM NOVO	39 49 15	17 22 15	0,00
000006	1-5013	Teixeira de Freitas	BAIRRO NOVA AMERICA	39 42 49	17 31 31	0,00
000007	1-5021	Teixeira de Freitas	LOTEAMENTO NOVO	39 45 26	17 31 57	0,00
000008	1-5020	Teixeira de Freitas	BAIRRO TANCREDO NEVES	39 46 19	17 33 30	0,00
000009	1-5012	Andaraí	FAZ ITAGUASSU SETE POSTO FISCAL DIVISA	41 10 39	12 33 18	0,00
000010	1-5018	Barreiras	BARREIRAS/DIANOPOLIS	46 18 40	11 48 54	0,00
000011	1-5017	Boquira	MAMONA	42 42 45	12 45 27	0,00
000012	1-5015	Brumado	UMBURANAS	41 27 46	14 08 26	0,00
000013	1-5016	Brumado	UMBURANAS	41 30 40	14 08 40	40,62
000014	1-5019	Jussiape	CACHOEIRA	41 32 20	13 32 50	0,00
000015	1-5023	Teixeira de Freitas	BAIRRO TANCREDO NEVES	39 46 13	17 33 01	0,00
000016	1-5026	Antas	Sede	38 21 16	10 20 24	0,14
000017	1-5025	Paratinga	CANAFISTULA	43 11 21	12 30 32	0,00
000018	1-5027	Mucugê	FRIOS	41 36 23	12 43 50	0,07
000019	1-5035	Salvador	NOSSA TERRA VEICULOS *	38 27 10	12 59 13	0,00
000020	1-5028	Andaraí	FAZ ITAGUASSU SETE	41 09 04	12 35 28	0,00
000021	1-5029	Mucugê	SANTO ANTONIO	41 33 10	12 48 28	0,00
000022	1-5031	Piatã	CANTINHO	41 51 02	12 49 30	0,81
000023	1-5032	Piatã	TAQUARA	41 50 19	12 53 21	0,05
000024	1-5038	Macaúbas	LAGOA CLARA	42 40 43	13 24 36	0,06
000025	1-5033	Rio de Contas	BAIXAO	41 38 03	13 35 14	0,00
000026	1-5037	Rio de Contas	CARRAPICHO	41 46 26	13 30 49	0,50
000027	1-5036	Ibotirama	SANTA CLARA	43 17 10	11 44 58	0,04
000028	1-5030	Paratinga	MACAMBIRA	43 08 49	12 32 53	0,01
000029	1-5034	Paratinga	TEIU	43 09 26	12 34 41	0,14
000030	1-5040	Jussiape	CRUZ	41 40 43	13 22 00	0,09
000031	1-5039	Nova Viçosa	POSTO FISCAL ALBERTO SANTANA	40 02 16	17 56 18	0,00
000032	1-5051	Una	CONJUNTO HABITACIONAL URBIS	39 04 19	15 17 51	0,60
000033	1-5053	Paramirim	TABUA DE CIMA	42 15 00	13 22 10	0,00
000034	1-5054	Rio do Pires	PLACA	42 13 56	13 03 19	1,75
000035	1-5045	Caculé	TAMBORIL	42 15 59	14 31 30	4,58
000036	1-5042	Dom Basílio	FAZENDINHA	41 44 11	13 47 39	0,11
000037	1-5044	Lagoa Real	MONSENHOR BASTOS	42 11 13	14 05 22	0,00
000038	1-5043	Livramento do Brumado	MONTE OLIVEIRA	41 56 25	13 41 41	0,04
000039	1-5048	Palmas de Monte Alto	RANCHO DAS MAES	43 03 33	14 16 53	3,05
000040	1-5041	Rio de Contas	PILOES	41 48 29	13 34 51	1,18
000041	1-5046	Iaçu	FAZ SANTA CLARA *	40 09 03	12 49 26	0,00
000042	1-5058	Iaçu	FAZ MONTE FLORES *	39 55 10	12 45 51	0,00
000043	1-5055	Jussiape	CRUZ	41 41 00	13 21 49	0,00
000044	1-5056	Una	CONJUNTO HABITACIONAL URBIS	39 04 19	15 17 52	1,92
000045	1-5057	Una	CONJUNTO HABITACIONAL URBIS	39 04 19	15 17 52	0,40

\*A Planilha com 8.207 linhas está apresentada, em CD, Anexo.

UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
Servicio de Bibliotecas



1700787840