

# PESQUISA HIDROGEOLÓGICA EM BACIAS SEDIMENTARES NO NORDESTE BRASILEIRO

Robério Boto de Aguiar<sup>1</sup>; Liano Silva Veríssimo<sup>1</sup>; Leanize Teixeira Oliveira<sup>2</sup>; Manoel Júlio da T. G. Galvão<sup>3</sup> & Fernando A. C. Feitosa<sup>3</sup>

**Resumo** – O Serviço Geológico do Brasil, cumprindo sua missão de gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrológico básico, desenvolve o projeto Pesquisa Hidrogeológica em Bacias Sedimentares no Nordeste Brasileiro com o objetivo de avaliar a ocorrência, potencialidade, circulação e qualidade das águas subterrâneas destas regiões. As pesquisas se iniciam pelo levantamento do conhecimento existente nas áreas selecionadas, passam pela caracterização geológica e geométrica da bacia e culminam na caracterização hidrogeológica propriamente dita. Espera-se que os resultados produzidos aumentem significativamente o conhecimento hidrogeológico dos aquíferos estudados, subsidiando a implantação, pelos órgãos gestores estaduais, de mecanismos de gestão que permitam disciplinar a exploração da água subterrânea, otimizando e elevando a disponibilidade hídrica para as populações locais.

**Abstract** – The Geological Survey of Brazil, its mission to generate and disseminate knowledge about basic geological and hydrological, develops the project Hydrogeological Research in Sedimentary Basins in Northeast Brazil in order to evaluate the occurrence, potential, movement and quality of groundwater in these regions. Polls begin with a survey of existing knowledge in selected areas, are the geological and geometrical characterization of the basin and result in the hydrogeological characterization itself. It is expected that the results produced significantly increase the hydrogeological knowledge of the aquifers studied, supporting the deployment, the state governing bodies, management mechanisms that allow discipline exploitation of groundwater, optimizing and increasing water availability for local people.

**Palavras – Chave** – Bacias Sedimentares; Hidrogeologia; Nordeste

**Keywords** – Sedimentary Basins; Hydrogeology; Northeast

---

<sup>1</sup>Serviço Geológico do Brasil – Residência de Fortaleza. Av. Antonio Sales, 1418, Cep 60.135-101. boto@fo.cprm.gov.br / liano@fo.cprm.gov.br

<sup>2</sup>Serviço Geológico do Brasil – Superintendência de Salvador. Av. Ulysses Guimarães, 2862, Cep 41.213-000. leanize@sa.cprm.gov.br

<sup>3</sup>Serviço Geológico do Brasil – Superintendência de Recife. Av. Sul, 2291, Cep 50.770-011. mjtgg@re.cprm.gov.br / ffeitosa@fo.cprm.gov.br

## 1 – INTRODUÇÃO

Em muitas regiões da Terra, como o Nordeste Brasileiro, as águas subterrâneas foram, são e continuarão a ser fundamentais para o desenvolvimento sócio-econômico, o que as transformam num bem estratégico a ser racionalmente explorado, de modo a assegurar sua disponibilidade para as populações futuras.

Assim sendo, o uso das águas subterrâneas requer o desenvolvimento de estudos que possibilitem o entendimento do comportamento dinâmico dos sistemas físicos de subsuperfície e o estabelecimento de programas gerenciais de uso e monitoramento desses recursos, tendo como base o acompanhamento e a avaliação constante das ações propostas e dos resultados obtidos com a sua aplicação.

No Nordeste semi-árido do Brasil verifica-se que a utilização dos recursos hídricos subterrâneos vem sendo feita normalmente sem o desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidrogeológicos específicos ou mesmo básicos, o que impossibilita a elaboração de programas gerenciais de natureza conservativa.

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos aumentou vertiginosamente em função da necessidade de uma fonte de água para a região, imposta pelas suas condições climáticas. O reflexo disso é a contribuição da água subterrânea em parcelas significativas, tanto para o abastecimento público como para usos diversos, inclusive irrigação. Contudo, esse aumento do uso, em grande parte, não foi conduzido através de planejamentos calcados no conhecimento, sendo o resultado de consecutivos programas emergenciais de combate aos efeitos da seca e de esforços isolados de companhias de saneamento e da iniciativa privada.

Sendo assim, o Serviço Geológico do Brasil, cumprindo sua missão de gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrológico básico propõe o projeto ***Pesquisa Hidrogeológica em Bacias Sedimentares no Nordeste Brasileiro*** e resgata a importância do conhecimento hidrogeológico como propulsor do desenvolvimento sócio-econômico regional.

## 2 – OBJETIVO

Esta pesquisa tem o objetivo de gerar e disponibilizar informações e conhecimentos sobre a ocorrência, potencialidades e circulação das águas subterrâneas em bacias sedimentares da região nordeste do Brasil, com a finalidade de elevar a disponibilidade hídrica para abastecimento humano e atividades produtivas, de forma a fomentar o desenvolvimento sócio-econômico sustentável da região e melhorar as condições de vida da população local.

### 3 – JUSTIFICATIVA

A região Nordeste do Brasil tem uma área de 1,5 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 1,2 milhões de km<sup>2</sup> correspondem ao denominado Polígono das Secas, instituído pela Lei 1.348 de 10.02.1957. A região que compreende esse polígono engloba totalmente o estado do Ceará e parcialmente os estados do Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, sendo proposta atualmente a inclusão do vale do Jequitinhonha-MG e o norte do Espírito Santo. A população desta região é da ordem de 45 milhões de habitantes, 61% dos quais residentes em áreas urbanas.

O Polígono das Secas é caracterizado por uma escassez dos recursos hídricos de superfície, resultante das baixas precipitações pluviométricas, que além de concentradas em uma única e geralmente curta estação úmida, apresentam irregularidades interanuais, responsáveis por secas periódicas de efeitos muitas vezes catastróficos. Por outro lado, a região também está sujeita a taxas de evapotranspiração potencial muito elevadas, oscilando com maior frequência em torno de 90%.

Da área total do Nordeste, cerca de 720.000km<sup>2</sup> são compreendidos geologicamente por rochas ígneas e metamórficas, genericamente chamadas de cristalinas, que se desenvolvem de norte para sul em uma larga faixa compreendida entre as bacias sedimentares do Paraíba e Sanfranciscana. Interrompendo a continuidade desse embasamento cristalino, ocorrem pequenas bacias sedimentares interiores (Rio do Peixe, Mirandiba, Iguatu etc).

Como a ocorrência de água subterrânea depende das características geológicas e das condições climáticas, bastante variável no Nordeste, a sua distribuição espacial nessa região se faz de maneira extremamente heterogênea. Os domínios de rochas cristalinas, de predominância do clima semi-árido, apresentam sistemas aquíferos do tipo fissural, de baixa produtividade. As melhores condições de armazenamento de água estão reservadas aos aquíferos porosos das bacias sedimentares.

Dessa forma, a água no Nordeste é um recurso estratégico e um fator vital para o seu desenvolvimento sócio-econômico, que ainda está à espera de uma política de decisões mais consistentes e contínuas, que possa aumentar sua oferta, garantir a qualidade e permitir a formação de uma infra-estrutura que ajude o nordestino a conviver com os efeitos danosos das secas.

Portanto, o Serviço Geológico do Brasil apresenta a presente proposta com a finalidade de conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade das águas subterrâneas nas bacias sedimentares, constituindo-se em fator primordial ao estabelecimento de políticas de gestão das águas subterrâneas no Nordeste Brasileiro.

## 4 – BACIAS SEDIMENTARES SELECIONADAS

Dentre as várias bacias sedimentares do nordeste brasileiro (Figura 1), foram selecionadas para os estudos hidrogeológicos as bacias de Mirandiba e Betânia, no estado de Pernambuco, Urucuia, na Bahia e a borda oriental da Bacia do Parnaíba, na divisa do Ceará com Piauí.

As pesquisas nas bacias de Mirandiba e Betânia ficarão sobre a responsabilidade da Superintendência de Recife (Sureg-Re). A Superintendência de Salvador (Sureg-Sa) será responsável pelos estudos na Bacia de Urucuia, sendo que, serão realizados estudos complementares nas sub-bacias hidrográficas dos rios Arrojado e Formoso e novas pesquisas na sub-bacia hidrográfica do rio Correntina.

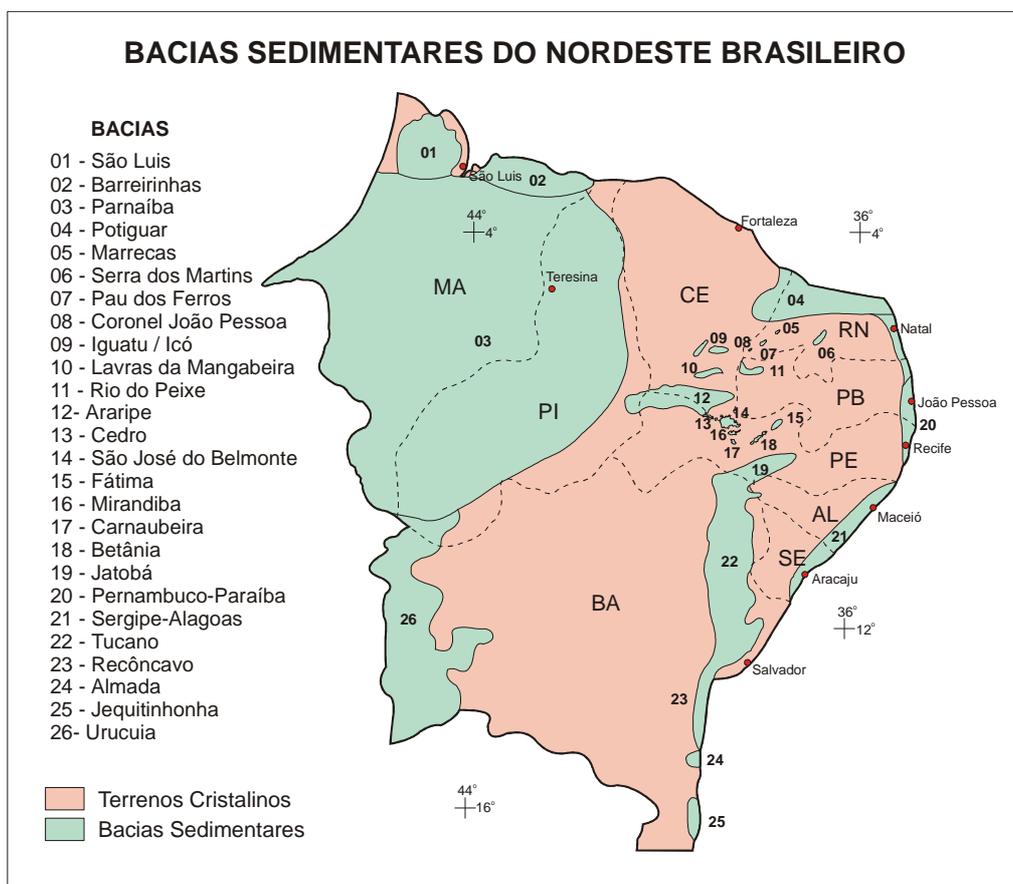


Figura 1. Bacias Sedimentares do Nordeste Brasileiro

### 4.1 – Bacia Sedimentar de Mirandiba

A Bacia de Mirandiba, localizada na porção central do estado de Pernambuco, tem uma área de 143 km<sup>2</sup> e engloba três municípios, dos quais, o município de Mirandiba tem sua sede administrativa nos domínios da bacia. Este município, com uma área territorial de 809 km<sup>2</sup>, possui 13.304 habitantes (IBGE, 2007). Os outros municípios existentes na bacia são Serra Talhada e São Jose do Belmonte.

Essa Bacia é composta basicamente pela Formação Tacaratu (área de afloramento de 66 km<sup>2</sup>), datada do Siluro-Devoniano e pelo Grupo Brotas (área de afloramento de 10 km<sup>2</sup>), datado do Jurássico Superior. Existem ainda sedimentos colúvio-eluviais (área de afloramento de 35 km<sup>2</sup>), datados do Tércio-Quaternário e depósitos aluvionares (área de afloramento de 32 km<sup>2</sup>), datados do Quaternário conforme mostra o mapa geológico (Figura 2). A Formação Tacaratu é constituída, litologicamente, por arenitos esbranquiçados a róseos, médios a grosseiros, heterogêneos, de grãos subangulosos e subarredondados, com níveis caulínicos, diagênese forte. O Grupo Brotas é constituído por arenitos, siltitos, margas, folhelhos, evaporitos, arenitos arcoseanos, níveis de conglomerado (lacustre e flúvio-eólico). As coberturas colúvio-eluviais são constituídas por sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos e os depósitos aluvionares são constituídos por areias, cascalhos e níveis de argila. A configuração geológica da Bacia determina a Formação Tacaratu como principal aquífero da área, apresentando um bom potencial hidrogeológico. Além deste, os depósitos aluvionares apresentam boas possibilidades para armazenamento e captação de água subterrânea.

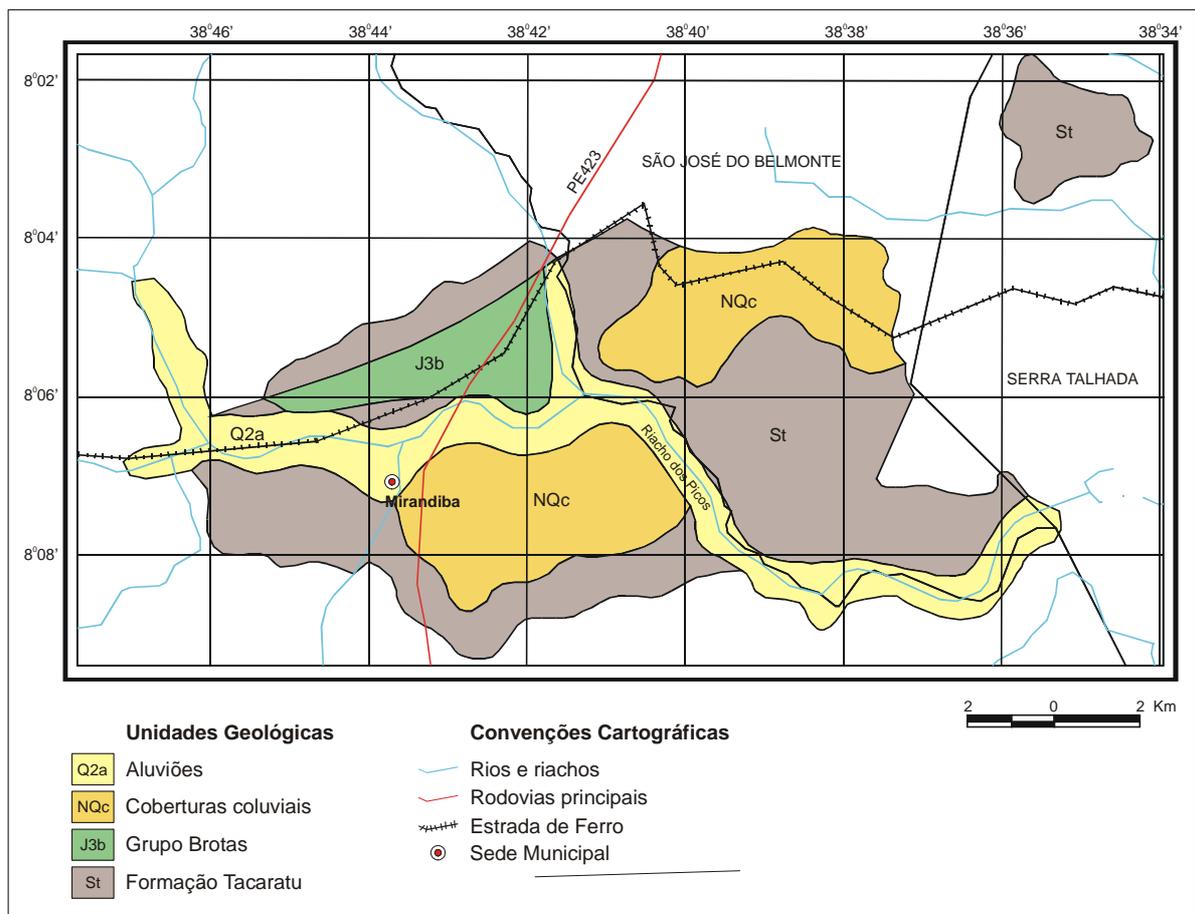


Figura 2. Mapa Geológico simplificado da Bacia de Mirandiba.

## 4.2 – Bacia Sedimentar de Betânia

A Bacia de Betânia, localizada na porção central do estado de Pernambuco, tem uma área de 280 km<sup>2</sup>, e engloba cinco municípios, dos quais, o município de Betânia tem sua sede administrativa nos domínios da bacia. Este município, com uma área territorial de 1.244 km<sup>2</sup>, possui 11.548 habitantes (IBGE, 2007). Os outros quatro municípios da bacia são: Calumi, Flores, Floresta, Serra Talhada.

A Bacia de Betânia é composta pela Formação Tacaratu (área de afloramento de 192 km<sup>2</sup>), de idade Siluro-Devoniano, com coberturas colúvio-aluviais (área de afloramento de 88 km<sup>2</sup>), de idade Tércio-Quaternária (Figura 3). A Formação Tacaratu é constituída, litologicamente, por arenitos esbranquiçados a róseos, médios a grosseiros, heterogêneos, de grãos subangulosos e subarredondados, por vezes pintalgado de caulim e até com níveis caulínicos, diagênese forte, configurando-se num aquífero de boa potencialidade hidrogeológica, apesar de inexistência de estudos e de dados de poços na área. As coberturas colúvio-eluviais são constituídas por sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos, de fraca a média potencialidade hidrogeológica.

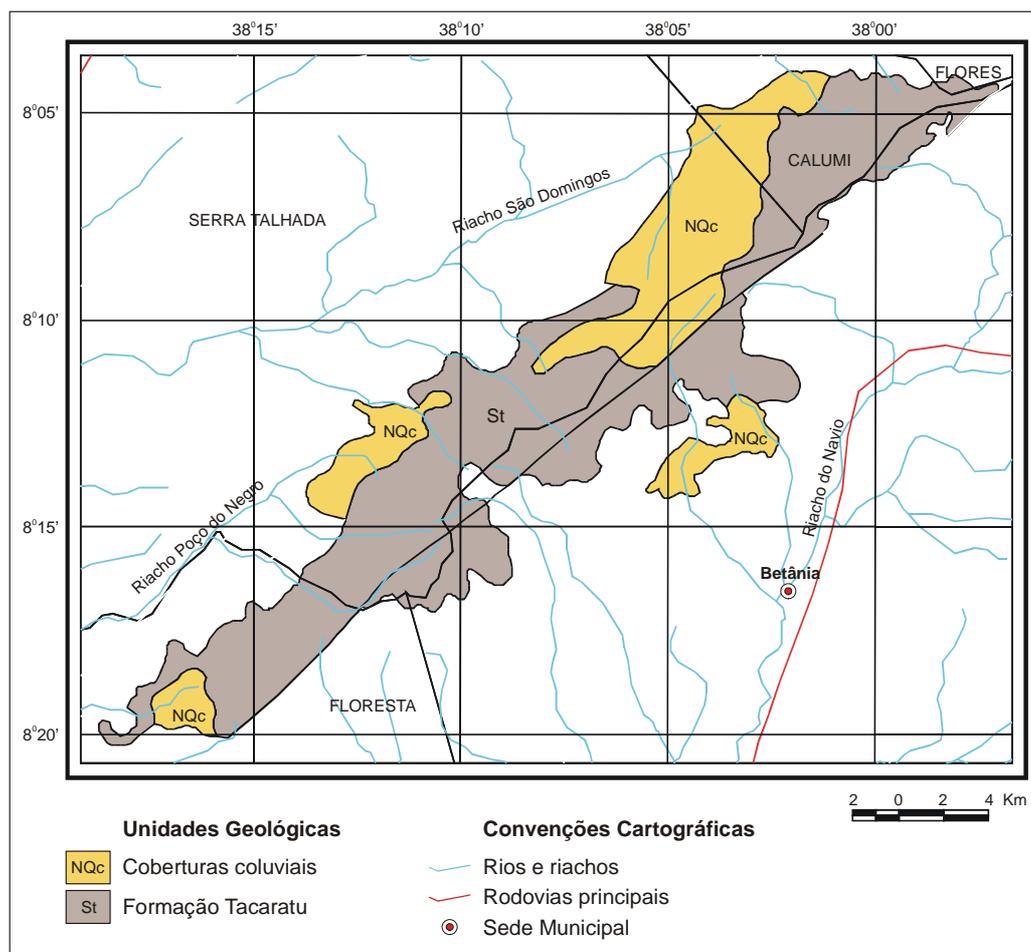


Figura 3. Mapa Geológico simplificado da Bacia de Betânia.

### 4.3 – Bacia Sedimentar do Urucuia - Bacias dos rios Arrojado, Formoso e Correntina

Grupo Urucuia distribui-se por seis estados da federação (Bahia, Tocantins, Minas Gerais, Piauí, Maranhão e Goiás), ocupando uma área estimada em 120.000 km<sup>2</sup>, sendo aproximadamente 90.000 km<sup>2</sup> na região oeste do estado da Bahia.

Toda essa região denominada “Chapadão do Urucuia” vem experimentando, a partir da década de 80, acentuado processo de expansão agroindustrial, o que a torna, em termos econômicos e sociais, uma área de fundamental importância no desenvolvimento do país. As culturas predominantes nos chapadões são: soja, café, algodão, milho (estes três últimos normalmente com irrigação) e fruticultura. Segundo a Embrapa, apenas no município de Barreiras, a soja ocupa hoje 850 mil hectares e produz 2 milhões de toneladas/ano, com um crescimento de aproximadamente 8% ao ano (dados de 2000). A irrigação destas culturas, demanda a utilização de grande quantidade de água, seja ela superficial e/ou subterrânea, o que exige, portanto, no seu aproveitamento, um conhecimento do potencial de cada manancial, afim de que seja mantido o equilíbrio do ecossistema. Além disso, existe uma intensa atividade industrial, principalmente no município de Barreiras, caracterizada pela presença de metalúrgicas, beneficiadoras de arroz, milho e algodão, torrefações de café entre outras indústrias de médio e pequeno porte.

No caso específico da geologia e hidrogeologia, o conhecimento da bacia de Urucuia, ainda pode ser considerado como incipiente. Até pouco tempo atrás, devido ao desconhecimento e falta de estudos, o Urucuia era considerado como uma cobertura de baixo potencial hidrogeológico, servindo mais como transmissor de água para os aquíferos subjacentes. Entretanto, informações recentes, obtidas de usuários do aquífero mostram ser comuns poços com 250 a 300 metros de profundidade produzindo vazões em torno de 400 m<sup>3</sup>/h e com capacidades específicas da ordem de 10 a 12 m<sup>3</sup>/h/m, havendo registro de poço, cadastrado pela SRH em 2002, com vazão específica de 48,69 m<sup>3</sup>/h/m.

O Grupo Urucuia é relacionado ao Cretáceo Superior, sendo considerado como uma unidade indivisa, segundo Campos (1996). Litologicamente, caracteriza-se por uma sucessão de leitos de arenitos finos a grossos, friáveis e caulínicos, com níveis argilosos e conglomeráticos, principalmente na base. Este pacote de rochas sedimentares encontra-se sobreposto em discordância angular erosiva, ora ao Grupo Bambuí, ora às rochas cristalinas do embasamento de idade Arqueana/Proterozóica Inferior (Figura 4). Estas características litológicas indicam um comportamento de aquífero livre com espessuras variáveis devido a uma intensa tectônica que determinou a existência de blocos elevados (“horsts”) e rebaixados (“grabens”). Segundo Bomfim & Gomes (2003), a espessura pode ultrapassar, em alguns locais (“grabens” no interior da bacia), 1.000 metros. Para Amorim Junior (2003), a unidade alcança 400 metros de espessura no seu

extremo ocidental. A partir de testes de bombeamento realizados em três poços, foram determinados valores médios de porosidade efetiva e de permeabilidade, respectivamente 22% e  $3 \times 10^{-5}$  m/s, que podem ser considerados como representativos da bacia em nível de reconhecimento. Estes valores iniciais indicam que o Aquífero Urucuia pode ser considerado como o maior reservatório de água subterrânea do estado da Bahia e um dos maiores do Brasil

Em virtude da grande extensão territorial ocupada pela Bacia do Urucuia, a área selecionada para esse estudo corresponde as sub-bacias dos rios Arrojado, Formoso e Correntina. Nas duas primeiras sub-bacias serão realizados apenas alguns estudos complementares ao projeto “Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro” resultante do convenio CPRM/Finep, no entanto, na sub-bacia do rio Correntina serão realizados todos os estudos propostos nesta pesquisa.

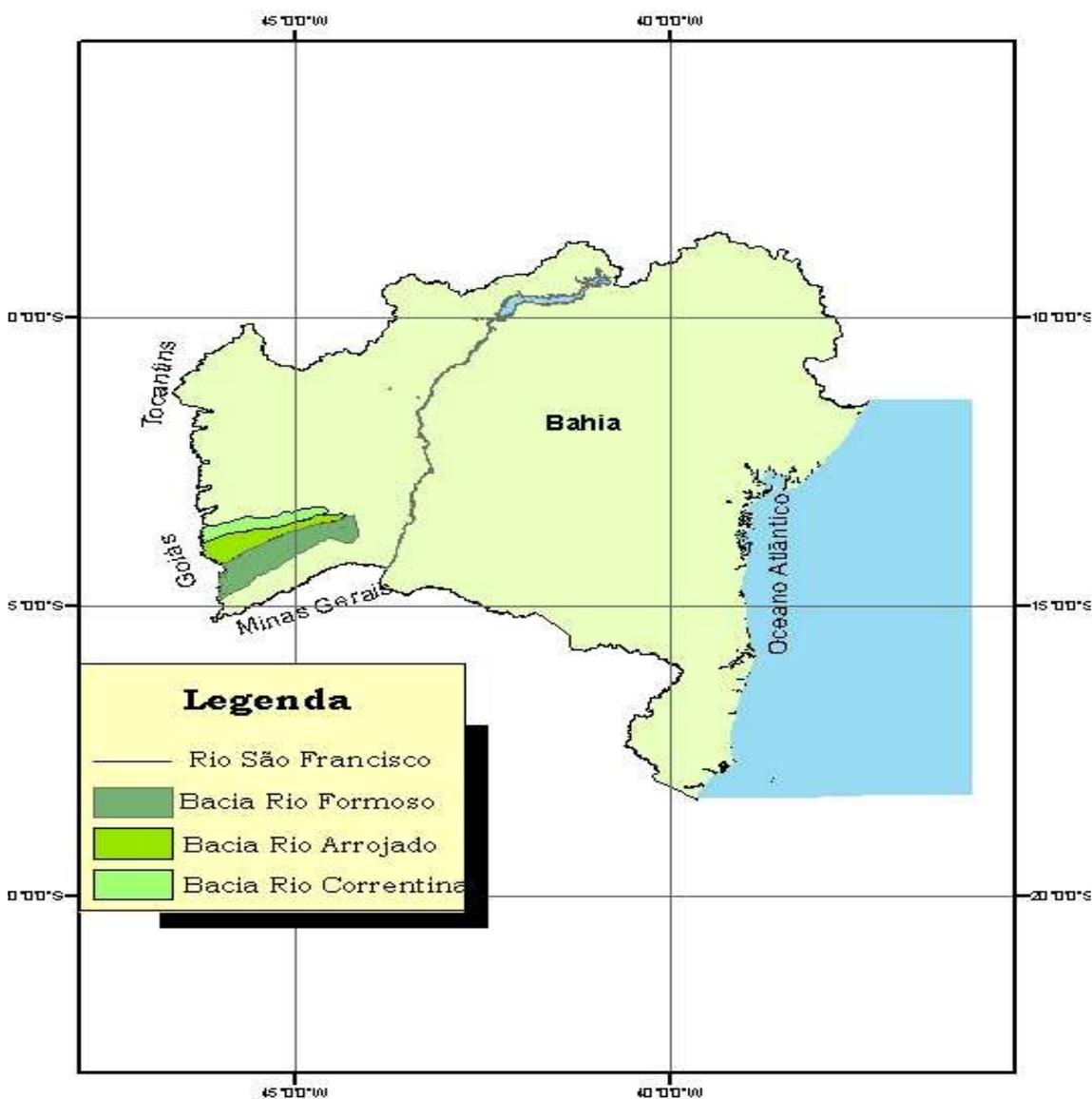


Figura 4. Mapa geológico simplificado do Chapadão do Urucuia



O Quadro 1 mostra o arcabouço estratigráfico da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que é representado por quatro seqüências deposicionais. Entre as unidades sedimentares foi incluída a Formação Sardinha, que embora seja constituída por rochas cristalinas (basaltos, diabásios e gabros) representantes da fase de magmatismo na Bacia, impõe forte interferência no jazimento, fluxo e qualidade das águas subterrâneas.

Quadro 1. Arcabouço estratigráfico da Bacia do Parnaíba.

PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÕES
Cretáceo		Urucuia, Areado, Itapecuru, Codó, Grajaú e Sardinha
Jurássico	Grupo Mearim	Corda e Pastos Bons
Triássico	Grupo Balsas	Sambaíba, Mutuca, Pedra de Fogo e Piauí
Devoniano Carbonífero	Grupo Canindé	Poti, Longa, Cabeças, Pimenteiras e Itaim
Siluriano	Grupo Serra Grande	Jaicós, Tianguá e Ipu
Ordoviciano Neoproterozóico		Mirador e Formação Riachão

Fonte: Modificado de Petersohn, E. (2007)

Para melhor entendimento da geometria das seqüências estratigráficas da Bacia Sedimentar do Parnaíba, é apresentada na Figura 6, de forma esquemática, a seção transversal WNW-ESE, onde são evidenciados os grupos de formações geológicas sedimentares, denominados Balsas, Canindé e Serra Grande, de interesse hidrogeológico, apoiados essencialmente sobre rochas do embasamento cristalino.

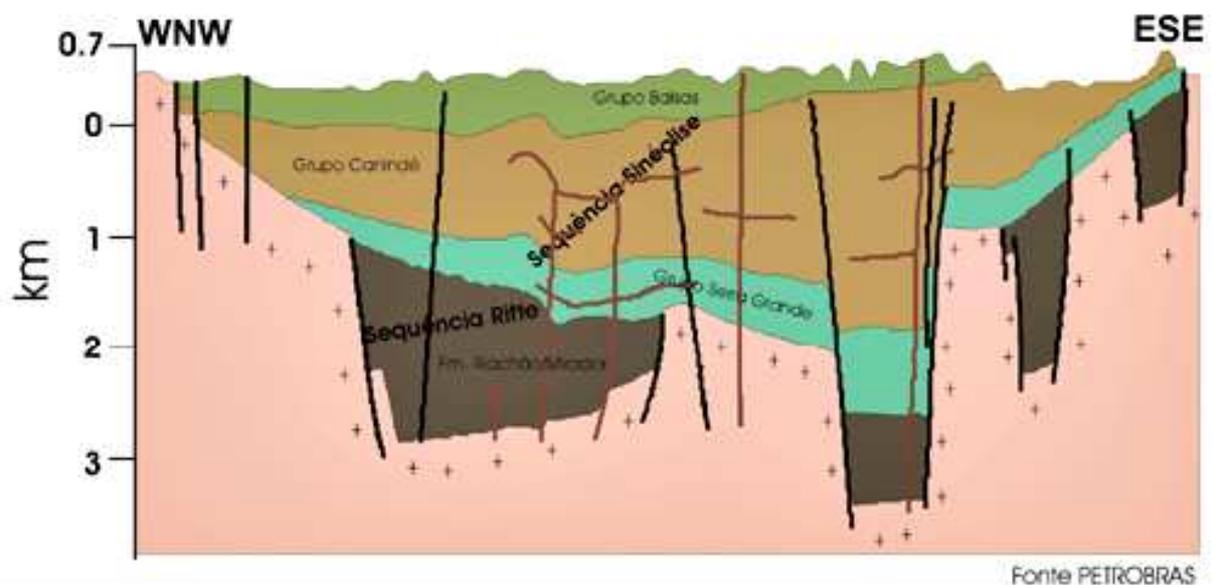


Figura 6. Seção geológica esquemática de direção WNW – ESE, da Bacia Sedimentar Parnaíba.

Pode-se observar na seção, que de leste para oeste, ocorrem afloramentos dos sedimentos do Grupo Serra Grande, que recobertos por sedimentos do Grupo Canindé, que também apresentam partes aflorantes, mas para o interior da Bacia, se tornam recobertos pelos sedimentos do Grupo Balsas. Essa disposição estratigráfica permite o confinamento de alguns aquíferos da Bacia, pela sobreposição de camadas de sedimentos de reduzida condutividade hidráulica.

Os principais aquíferos que se desenvolvem regionalmente, por ordem de importância, são o Serra Grande, Cabeças, Poti, Piauí, Motuca, Sambaíba, Corda, e Itapecuru. Há também os aquíferos aluviais, que embora de extensão restrita, representam importante fonte para abastecimento de água na região semi-árida. Os aquíferos Serra Grande, Cabeças e Poti se destacam por apresentar grandes áreas de exposição (aflorantes), portanto melhores condições de exploração.

A área de estudo desse projeto será a borda oriental da Bacia do Parnaíba, onde afloram os sedimentos do Grupo Serra Grande. Em virtude dessa zona de recarga do aquífero Serra Grande possuir uma extensa área de ocorrência, optou-se por dividi-la em dois setores, o Setor I a norte e o Setor II a sul da área, proposta inicialmente pela Residência de Teresina (RETE). O Setor I corresponderá a primeira fase do estudo (2009-2011) e o setor II a 2ª fase (2011-2013), que poderá ser executado conjuntamente pelas Residências de Teresina e Fortaleza (Figura 7).

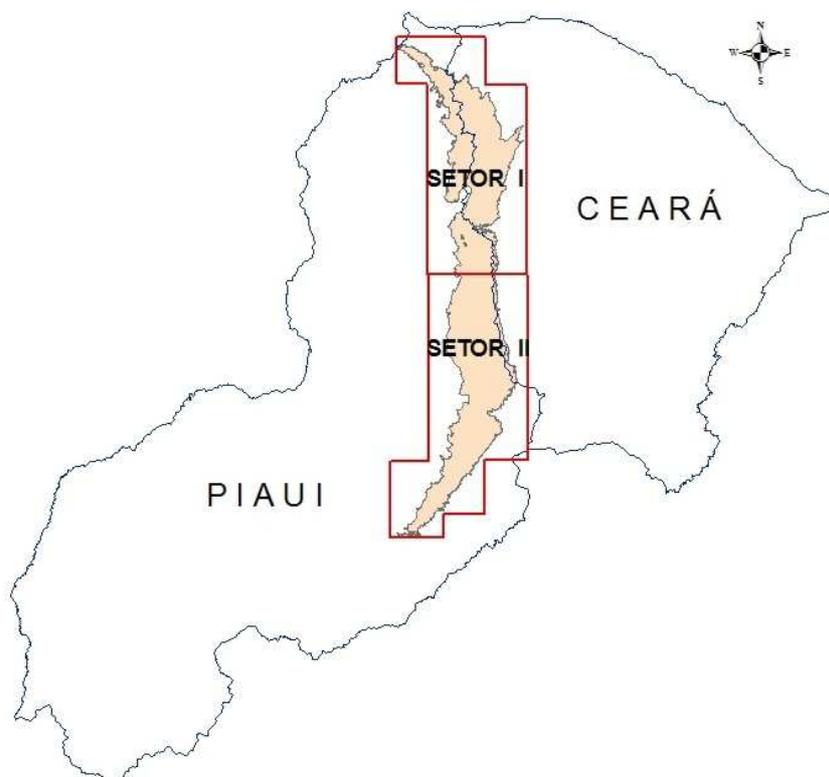


Figura 7. Localização das áreas de trabalho na Bacia Sedimentar do Parnaíba

## 5 – DESCRIÇÃO METODOLÓGICA DAS ATIVIDADES PREVISTAS

No Quadro 2, estão relacionadas as atividades básicas previstas para serem realizadas nos estudos que serão desenvolvidos nas bacias. Estas atividades iniciam pelo levantamento do conhecimento existente, passam pela caracterização geológica e geométrica do reservatório e culminam na caracterização hidrogeológica propriamente dita. Os estudos a serem realizados poderão contemplar toda a seqüência exposta abaixo ou apenas itens específicos a depender do nível de conhecimento existente, o qual só será efetivamente conhecido após a conclusão da Atividade A.

Quadro 2. Atividades previstas na execução do Projeto.

METAS	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	BACIAS		
		1	2	3
<b>A</b>	<b>Diagnóstico Estado da Arte</b>	X	X	X
<b>B</b>	<b>Caracterização Geológica e Geométrica</b>			
<i>B-1</i>	<i>Revisão Geológica</i>	X	X	X
<i>B-2</i>	<i>Levantamento Geofísico</i>	X	X	-
<b>C</b>	<b>Caracterização Hidrogeológica</b>			
<i>C-1</i>	<i>Seleção de rede representativa e monitoramento quantitativo</i>	X	X	X
<i>C-1-1</i>	<i>Nivelamento de Poços</i>	X	X	X
<i>C-2</i>	<i>Balanço Hídrico e Avaliação de Recarga</i>	X	X	X
<i>C-3</i>	<i>Perfuração de Piezômetros (*)</i>	X	X	X
<i>C-4</i>	<i>Execução de Testes de Aquífero</i>	X	X	X
<i>C-5</i>	<i>Modelos Matemáticos de Fluxo (**)</i>	-	-	X
<i>C-6</i>	<i>Avaliação de Reservas e Recursos</i>	X	X	X
<b>D</b>	<b>Caracterização Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade</b>			
<i>D-1</i>	<i>Coleta e análises Físico-Químicas e Isotópicas</i>	X	X	X
<i>D-2</i>	<i>Interpretação dos Resultados</i>	X	X	X
<b>E</b>	<b>Avaliação da Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação</b>			
<i>E-1</i>	<i>Inventário das Fontes Potenciais de Contaminação</i>	X	X	X
<i>E-2</i>	<i>Avaliação da Vulnerabilidade Natural</i>	X	X	X
<i>E-3</i>	<i>Mapeamento dos Riscos de Contaminação</i>	X	X	X
<b>F</b>	<b>Suporte a Gestão</b>	X	X	X
<b>G</b>	<b>Estruturação do banco de dados em SIG</b>	X	X	X

OBS: Bacias: (1) Borda Oriental da Bacia do Parnaíba; (2) Bacias de Betânia e Mirandiba; (3) Bacia de Urucuia – Sub-bacia do rio Correntina. (\*) Atividade Integrada com o Projeto Monitoramento. (\*\*) Bacias hidrográficas dos rios Arrojado e Formoso: atividade complementar do Projeto da FINEP

A seguir serão descritos os procedimentos metodológicos referentes à execução das atividades acima relacionadas.

## **A) Levantamento do Estado da Arte**

A fase inicial do trabalho será, necessariamente, a execução de um exaustivo levantamento bibliográfico e de dados existentes. Deverão ser resgatados (cópias) todos os trabalhos realizados anteriormente nas bacias selecionadas.

Serão priorizados estudos hidrogeológicos sem, no entanto, descartar as áreas correlatas (Geologia, Geofísica etc). Esses trabalhos serão organizados, analisados e as informações pertinentes serão devidamente registradas, de modo a se gerar, tanto a história bibliográfica como a síntese do conhecimento existente em cada bacia, o que permitirá o planejamento detalhado e facilitará a execução das etapas seguintes previstas no presente estudo. Também serão coletados e sistematizados todos os dados existentes e necessários ao desenvolvimento das ações subseqüentes, como por exemplo: cadastros de pontos d'água, dados hidroclimatológicos, cartografia geológica, pedológica e planialtimétrica, dados geofísicos terrestres e aéreos entre outros.

Com base nas informações levantadas e sintetizadas, será elaborado um relatório onde constará uma síntese do conhecimento existente em cada bacia, o qual servirá de base para a orientação e planejamento de todas as atividades futuras a serem desenvolvidas. A elaboração deste relatório passará necessariamente por novas interpretações com base na correlação de todas as informações julgadas consistentes.

## **B) Caracterização Geológica e Geométrica**

### **B-1) Revisão Geológica**

Deverão ser analisadas cuidadosamente e interpretadas as imagens de satélite e fotos aéreas das áreas referentes às bacias selecionadas, para determinação de toda a rede de drenagem superficial, espelhos d'água, contatos geológicos, geomorfologia, estruturas, ocupação do solo etc. Esta etapa deverá ser amparada pelo conhecimento já existente de cada bacia e, ao final, será confeccionado um mapa-base de todas as informações disponibilizadas, que funcionará como suporte para os trabalhos de campo. Serão realizadas, também, etapas de campo para confirmar as interpretações feitas a partir das imagens e fotos aéreas e dirimir dúvidas quanto a litologia e estratigrafia.

## **B-2) Levantamentos Geofísicos**

A metodologia de levantamento geofísico consiste na aplicação das ciências físicas ao estudo da parte mais superficial da crosta terrestre, utilizando as propriedades físico-químicas das camadas do subsolo, ou as características relacionadas com alguma dessas propriedades.

A aplicação adequada desta metodologia, porém, exige a análise de uma série de fatores que influenciam notavelmente na eleição do método geofísico mais apropriado. Contudo, via de regra, nos estudos geofísicos é costume se empregar dois ou mais métodos que se complementem e tornem a pesquisa mais eficiente. Os dois métodos clássicos utilizados em estudos de água subterrânea são: gravimetria e eletrorresistividade.

O método gravimétrico tem aplicações importantes nos estudos das bacias sedimentares para a compreensão da estrutura da crosta de grandes segmentos litosféricos. A importância da gravimetria na pesquisa de água subterrânea é comparável ao seu uso na prospecção de petróleo. A identificação de falhas verticais e de espessamentos sedimentares é um processo rotineiro e de fácil compreensão na aplicação do método. A identificação de depressões tectônicas em bacias sedimentares tem uma importância fundamental na delimitação de aquíferos porosos, e conseqüentemente, na sua modelagem. A partir de um bom levantamento e interpretação de dados gravimétricos de uma bacia sedimentar, o hidrogeólogo poderá obter uma visualização tridimensional da mesma. Isso inclui a identificação de estruturas e compartimentos não observados na superfície e a possibilidade de poder fazer locações estratégicas e de prever a profundidade dos poços.

O método de eletrorresistividade através da aplicação de sondagens elétricas verticais (prospecção vertical) e de caminhamentos elétricos (prospecção horizontal) é utilizado de forma muito intensa na pesquisa de água subterrânea, desde os primórdios da hidrogeologia no Brasil. Através desta metodologia é possível conseguir informações básicas sobre a separação de formações arenosas de formações argilosas, variações de espessura, descontinuidades laterais, profundidade e feições do embasamento cristalino, entre outras.

Nesse trabalho, por conta da relação custo-benefício, serão realizados levantamentos geofísicos apenas em áreas onde as informações básicas sejam incipientes ou quando seja necessário um esclarecimento de cunho geológico julgado imprescindível para o desenvolvimento das atividades planejadas. Deverão ser utilizados métodos gravimétricos e/ou eletrorresistividade, tendo-se como premissa básica à necessidade do conhecimento da morfologia do embasamento cristalino, da existência de descontinuidades laterais e das variações de espessura das camadas do subsolo. As informações auxiliares obtidas com a geofísica permitirão melhorar interpretações e esclarecer dúvidas permitindo a obtenção de modelos conceituais tridimensionais mais próximos à realidade.

## **C) Caracterização Hidrogeológica**

### **C-1) Seleção da Rede de Pontos D'água**

Para o desenvolvimento dos estudos hidrogeológicos propostos será selecionada uma rede de pontos d'água representativa para cada área, considerando o foco do estudo. A maior parte destes pontos será representada por poços tubulares e na seleção deverá ser considerada a existência de dados construtivos e litológicos dos poços e captação apenas do nível aquífero considerado como foco do estudo. Essa seleção terá por base os poços existentes no sistema SIAGAS, gerenciado pelo Serviço Geológico do Brasil, assim como, em cadastros de órgãos públicos e/ou empresas privadas.

A partir da rede de pontos d'água serão selecionados pontos chaves para a implantação de monitoramento potenciométrico e qualitativo. Serão medidos sistematicamente com periodicidade quadrimestral os níveis d'água dos poços e recolhidas amostras para a realização de análises físico-químicas.

#### **C-1.1) Nivelamento dos Pontos d'água Selecionados**

Tendo por objetivo a elaboração da potencimetria do aquífero em foco, os poços integrantes da rede de pontos d'água serão nivelados altimetricamente. Devido à exatidão necessária para se estabelecer à superfície potenciométrica dos sistemas aquíferos, nesse nivelamento será empregado o sistema geodésico de posicionamento global, utilizando-se a ferramenta denominada de GPS Geodésico, capaz de fornecer dados consistentes com precisão centimétrica. No momento da medida da cota do poço também será medido o nível d'água.

Serão elaborados mapas potenciométricos referentes aos aquíferos estudados, através dos quais será possível visualizar as direções preferenciais do fluxo subterrâneo, divisores de fluxo, zonas submetidas a superexploração, exutórios etc. Será feito um acompanhamento quadrimestral da potencimetria, que permitirá verificar possíveis respostas a recarga no período chuvoso e ao aumento da exploração que ocorre geralmente no período de estiagem.

### **C-2) Balanço Hídrico**

Nos estudos de sistemas hidrológicos e hidrogeológicos de uma determinada área é fundamental o conhecimento do ciclo hidrológico e a elaboração do balanço hídrico da região, sendo os processos de infiltração e escoamento superficial os fatores que devem ser analisados mais criteriosamente.

### **C-3) Construção de Piezômetros**

Serão perfurados piezômetros, próximos a poços produtores pré-selecionados para a realização de testes de aquíferos, os quais servirão como base para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos. A construção desses piezômetros está vinculada ao Projeto da Rede Básica Nacional de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS, a ser implantada pelo Serviço Geológico do Brasil. A priori, considera-se, em função da escala de trabalho, que os aquíferos estudados tenham um comportamento homogêneo e isotrópico, sendo previsto a construção de apenas um piezômetro para cada poço produtor.

### **C-4) Execução de Testes de Aquífero**

Considerando que é objetivo desse estudo a quantificação das reservas e, eventualmente, a elaboração de modelo computacional de fluxo do aquífero estudado em cada bacia, está programada a execução de testes de aquífero para subsidiar a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos, sem os quais não se poderia executar as atividades mencionadas. Os testes deverão ter duração de 48 horas de bombeamento, onde será feito o acompanhamento no tempo da evolução do nível dinâmico, e 24 horas de registro da recuperação (retorno do nível à condição de equilíbrio original).

### **C-5) Modelos Matemáticos de Fluxo**

Essa atividade será executada apenas na Bacia Sanfranciscana – Aquífero Urucuia, como complemento aos estudos realizados no âmbito do Projeto CT-Hidro Bacias. Com o auxílio de *softwares* específicos e com base nos modelos conceituais será desenvolvido modelo computacional, o qual será calibrado e validado, utilizando-se a potenciometria determinada inicialmente e suas variações no tempo, e feitas simulações de exploração para diversos cenários e usos.

### **C-6) Avaliação de Reservas e Recursos**

A partir de todos os dados levantados e utilizando os modelos desenvolvidos, serão avaliadas as reservas e recursos dos sistemas aquíferos. O Serviço Geológico do Brasil deverá adotar os conceitos propostos no livro “*Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*” (Feitosa, F.A.C et al., Coord, 3<sup>a</sup> Ed.), que teve, na concepção do texto referente a este tema, a participação de profissionais considerados referência na hidrogeologia brasileira.

## **D) Caracterização Hidrogeoquímica**

Serão realizados estudos hidrogeoquímicos e de qualidade da água, verificando-se além de sua classificação para os diversos usos, a sua interação e modificações sofridas ao longo do fluxo desde a zona de recarga até o ponto da captação e zonas de exutórios naturais. Alguns parâmetros deverão ser analisados *in loco* como o *pH*, a condutividade elétrica e a temperatura, através de equipamentos portáteis.

### **D-1) Coleta e análises físico-químicas e resíduos de agrotóxicos**

Serão feitas coletas quadrimestrais de água para análise, em pontos representativos da rede selecionada. As amostras serão coletadas, armazenadas e transportadas segundo os procedimentos padrões aplicados para cada tipo de análise. Nas fontes naturais e poços tubulares em operação serão feitas coletas na saída do poço ou na zona de surgência.

As amostras coletadas serão enviadas aos laboratórios pré-selecionados para a realização das análises. A quantidade e os elementos detectados nas análises serão definidos previamente, para cada área e amostra, em função do tipo de resposta e do foco desejado.

### **D-2) Interpretação dos Resultados**

Os resultados das análises, após aprovação de qualidade por parte da equipe técnica envolvida, serão interpretados, de preferência com o apoio das universidades, e emitidos relatórios comparativos entre cada campanha.

## **E) Avaliação da Vulnerabilidade e Risco de Contaminação**

### **E-1) Inventário das Fontes Potenciais de Contaminação**

Esta atividade será realizada paralelamente ao desenvolvimento das outras etapas do projeto. Durante as viagens de campo são levantadas, cadastradas e fotografadas todas as potenciais fontes de contaminação dos recursos hídricos em cada bacia, tais como zonas agricultáveis, pontos de lançamento de efluentes industriais e esgotos, lixões, aterros sanitários etc.

## **E-2) Avaliação da Vulnerabilidade Natural**

Na avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos será utilizado o método empírico proposto por Foster & Hirata (1993) que engloba sucessivamente três fatores a serem determinados em fases distintas que são: a) identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea; b) especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero; c) estimativa da profundidade do nível da água. O produto destes três parâmetros é o índice de vulnerabilidade, expresso numa escala de 0 a 1, em termos relativos. Os resultados são expressos em termos qualitativos, em índices de vulnerabilidade extremo, alto, médio, baixo e nulo. O cruzamento das três informações será colocado em um mapa, definindo as zonas de índices Baixo, Médio e Alto, relativos de vulnerabilidade natural dos aquíferos.

## **E-3) Mapeamento dos Riscos de Contaminação**

Objetivando a representação cartográfica de áreas potencialmente críticas, susceptíveis à poluição de aquíferos, serão cruzados os resultados dos estudos de avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos com as cargas potenciais poluidoras.

## **F) Suporte a Gestão dos Recursos Hídricos**

A gestão das águas, no sentido amplo, é definida como o conjunto de procedimentos organizados com vistas a solucionar os problemas referentes ao uso e ao controle dos recursos hídricos. O objetivo da gestão é atender, dentro de princípios de justiça social e com base nas limitações econômicas e ambientais, às necessidades de água da sociedade a partir de uma disponibilidade e regulamentação.

Nesse trabalho pretende-se elaborar um plano de suporte a gestão dos recursos hídricos em estreita harmonia com as demandas dos órgãos gestores estaduais e usuários de água subterrânea das áreas estudadas. A intenção é que este plano possa ser um elo de ligação entre o estudo realizado (que tem um caráter técnico-científico) com a sociedade usuária das águas subterrâneas, tornando palpável e aplicável de forma direta e imediata os resultados alcançados. Além disso, é nítida a necessidade do desenvolvimento da atividade de fomento do uso adequado dos recursos disponíveis, a partir de parcerias, que representaria uma agregação de valor ao projeto.

## **G) Estruturação do Banco de Dados em SIG**

Este estudo também contempla a estruturação de um Sistema de Informações Geográficas – SIG, para cada área estudada. As equipes envolvidas no projeto deverão dominar as ferramentas de visualização e consultas por atributos e localização disponíveis no SIG. Uma vez que os dados estejam organizados no ambiente SIG as operações envolvendo modelos probabilísticos processam-se rapidamente, o que permite várias simulações e aperfeiçoamentos contínuos.

## **6. PRODUTOS PREVISTOS**

Os produtos previstos para serem elaborados durante o desenvolvimento do projeto serão relatórios para cada atividade concluída. Salienta-se, entretanto, que outros produtos poderão ser elaborados, em função de adaptações ou inclusões de ações na metodologia proposta.

Os resultados finais do projeto serão divulgados em meio digital, em forma de impressos e pela Internet. Espera-se que os resultados produzidos com o projeto aumentem significativamente o conhecimento hidrogeológico dos aquíferos e/ou bacias estudadas, subsidiando a implantação, pelos órgãos gestores estaduais, de efetivos mecanismos de gestão que permitam disciplinar a exploração da água subterrânea, otimizando e elevando a disponibilidade hídrica para as populações locais.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMORIM, Jr. V. 2003. Avaliação Hidrogeológica do Aquífero Urucuia na Bacia do Rio das Fêmeas usando IP-Resistividade. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 82 p.

BOMFIM, L.F.C. & GOMES, R.A.D. 2004. Aquífero Urucuia – geometria e espessura: idéias para discussão. In: Cong. Brás. de Águas Subterrâneas, Cuiabá, *Anais*. 9p.

CAMPOS, J. E.G. 1996. Estratigrafia, sedimentação, evolução tectônica e geologia do diamante da porção Centro-Norte da Bacia Sanfranciscana. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 204p.

FEITOSA, F.A.C. et al. 2008. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. - Rio de Janeiro: CPRM: LABHID,2008. 812p.

FOSTER, S. & HIRATA, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. (Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Akie Iritani). Boletim do Instituto Geológico, n. 10, 92 p.

IBGE Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE. 2000.

PETERSOHN, E. 2007. <<http://www.anp.gov.br/brnd/round9/round9/palestras/Parnaiba.pdf>> Acessado em 24 de fevereiro de 2010.