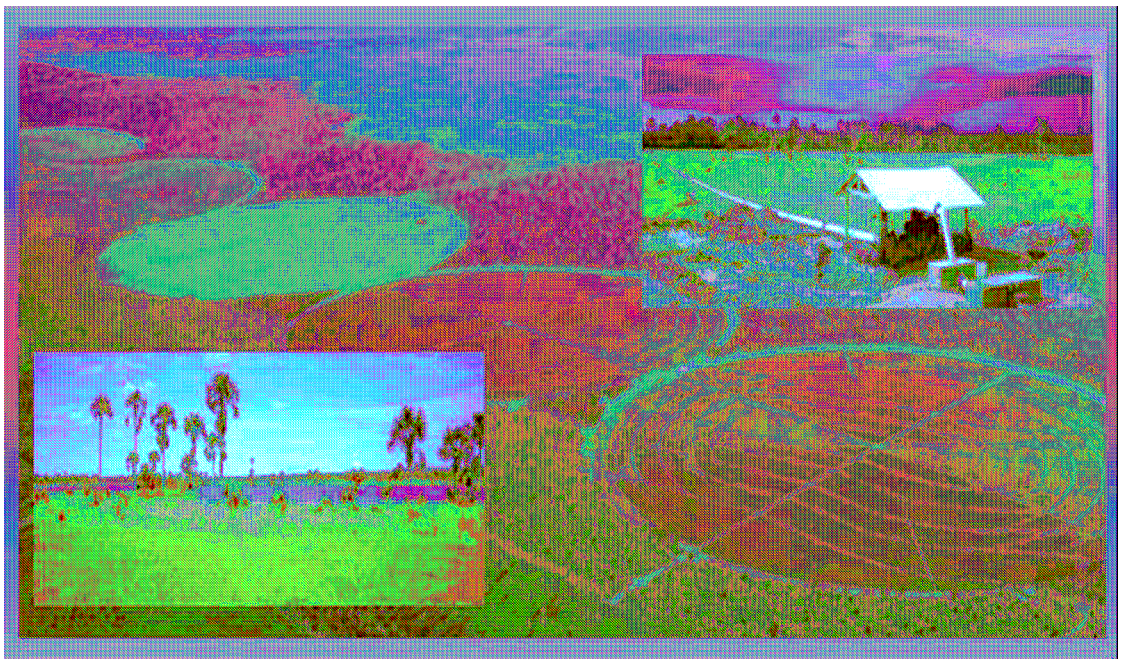
PRODUTO 4

RELATÓRIO FINAL

AVALIAÇÃO SOBRE AS CONDIÇÕES ATUAIS DE EXPLOTAÇÃO DOS POÇOS E DINÂMICA DE FLUXO DO AQUÍFERO URUCUIA



CONTRATO N° 108471

Consultor – Joana Angélica Guimarães da Luz

CONTRATO N° 108472

Consultor – Adivane Terezinha Costa

CONTRATO N° 108473

Consultor – José Cláudio Viégas Campos

Junho/2009

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **8**

1. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO 11

1.1. Climatologia *11*

1.2. Solos *12*

1.3. Vegetação *14*

1.4. Geomorfologia *15*

1.5. Hidrologia *17*

1.6. Aspectos Sócio Econômicos *19*

2. O CONTEXTO GEOLÓGICO 21

2.1. Geologia Regional *21*

2.2. Caracterização Litológica e Estratigráfica *26*

3. O CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO 30

3.1. Caracterização Regional *31*

3.2. Aspectos Hidrogeoquímicos, Isotópicos e Qualidade das Águas *38*

3.3. Análise dos poços tubulares *41*

4. TESTES DE BOMBEAMENTO 46

4.1. Condições de realização do teste (Poço1) *48*

4.2. Condições de realização do teste (Poço2) *48*

4.3. Métodos de Análise *49*

4.4. Análise dos Dados *53*

5. MODELAGEM 57

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 63

6.1. Definição das distâncias mínimas entre poços tubulares e entre esses e mananciais superficiais para a conservação do aqüífero *66*

6.2. Considerações sobre o volume do aqüífero 74

6.3. Considerações sobre a dinâmica de fluxo. 76

6.4. Avaliação da capacidade específica dos poços e do aquífero a partir da região onde serão realizados os testes de bombeamento. 78

6.5. Indicação da vazão média e máxima sem comprometimento do aqüífero..... 79

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 81

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 83

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 *- Gráficos representativos do percentual de referências bibliográficas..... 10*

Figura 2 *– Localização dos poços no aqüífero Urucuia que apresentaram valores dos parâmetros hidrodinâmicos. 1- Fazenda Espírito Santo; 2– Fazenda Edílio Poleto; 3– Fazenda Marechal Rondon; 4– Fazenda Hirata; 5– CERB – LEM; 6– Fazenda Campinas; 7– Fazenda Santo Antônio; 8– Roda Velha de Baixo; 9– Fazenda Campo Aberto; 10– Fazenda Buritis; 11- Fazenda São Miguel..... 11*

Figura 3 *- Localização dos principais projetos de hidrogeologia desenvolvidos pelo INGÁ..... 32*

Figura 4 *- Topografia da base do aqüífero inferida a partir da interpretação dos dados das sondagens geoelétricas. (os símbolos vermelhos representam centros de sondagens e as linhas em azul a hidrografia). 36*

Figura 5 - *Seção geológica e geoelétrica transversal SSW-NNE apresentado três camadas distintas: a zona não saturada, o aqüífero Urucuia e o Grupo Bambuí. 36*

Figura 6 *- Modelo geológico perfil sul-norte desenvolvido por Tschiedel (2004) 37*

Figura 7 - *Modelo geológico perfil leste-oeste desenvolvido por Tschiedel (2004)..... 37*

Figura 8 - *Gráficos com valores encontrados para D e O^{18} para as águas da bacia do rio das Fêmeas. Linha global de águas meteóricas em vermelho. 40*

Figura 9 *- Gráficos com valores encontrados para D e O^{18} para as águas da bacias dos rios Formoso e Arrojado..... 40*

Figura 10 *- Mapa de localização dos poços cadastrados pelo INGÁ 41*

Figura 11 - *Comparação entre os dados de nível estático (NE) para as cinco campanhas de monitoramento..... 43*

Figura 12 *- Distribuição espacial dos níveis estáticos para a campanha de amostragem de Novembro/05 43*

Figura 13 *– Distribuição dos níveis estáticos para a campanha de..... 44*

Figura 14 *- Mapa potenciométrico para as bacias dos rios Formoso e 45*

Figura 15 *- Mapa potenciométrico para as bacias dos rios Formoso 45*

Figura 16 *- Localização do poço da Fazenda Bombarda em relação aos sistemas aqüíferos proposto por Gaspar (2006)..... 47*

Figura 17 *- Localização da Fazenda Bombarda em relação ao estudo desenvolvido por Amorim Jr. (2003) no oeste da Bahia.* *47*

Figura 18 *– Esquema de localização dos poços de bombeamento e observação* *49*

Figura 19 *- Curva Tipo de Neuman.* *52*

Figura 20 *- Dados do teste de bombeamento para o poço 1 Fazenda Bombarda* *53*

Figura 21 *- Teste de bombeamento para o poço 2 Fazenda Bombarda.* *54*

Figura 22 *– Mapa de localização das áreas onde foram realizadas modelagens.* *62*

Figura 23 *- Gráfico rebaixamento (m) x tempo (min) de bombeamento* *65*

Figura 24 *- Gráfico rebaixamento (m) x tempo (min) de bombeamento* *65*

Figura 25 *- Geometria dos poços testados na Fazenda Buriti no aquifero livre Urucuia.* *69*

Figura 26 *- Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo A no teste da Fazenda Buriti.* *70*

Figura 27 *- Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo B no teste da Fazenda Buriti* *70*

Figura 28 *– Relação da distância de rebaixamento para diferentes taxas de bombeamento* *73*

Figura 29 *– Mapa Potenciométrico para as Bacias dos rios Formoso e Arrojado* *77*

Figura 30 *– Mapa Potenciométrico para as Bacias dos rios Formoso e Arrojado* *78*

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 *- Coluna Estratigráfica representativa da bacia do Rio Grande* *30*

Tabela 1 *- Propriedades do Aquífero para os poços 1 e 2 na Fazenda Bombarda*..... *54*

Tabela 2 *- Parâmetros do aquifero - Método de Neuman* *54*

Tabela 3 *- Valores médios para Transmissividade e percentual de diferença* *55*

Tabela 4 *- Valores médios para Armazenamento e porosidade efetiva (Neuman)* *55*

Tabela 5 *- Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Urucuia* *56*

Tabela 6 *- Valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos para o aqüífero Urucuia* *57*

Tabela 7 *– Localização dos poços usados no teste da Fazenda BURITI*..... *68*

Tabela 8 *- Valores médios adotados para a Fazenda BURITI* *71*

Tabela 9 *– Distância de rebaixamento por taxa de bombeamento*..... *73*

Lista de Simbolos

T = Transmissividade do aquíifero (m^2/d)

S = Coeficiente de armazenamento

Sγ = Porosidade efetiva

r = Distância do poço ao piezômetro (m)

D = Espessura saturada (m)

Kv = Condutividade hidráulica vertical (m/d)

Kh = Condutividade hidraulica horizontal (m/d)

s = Rebaixamento (m)

s' = Rebaixamento residual (m)

t = Tempo a partir do início do bombeamento (min)

t' = Tempo de recuperação ou tempo desde que cessou o bombeamento (min)

b1 = Distância entre o topo do nível freático ao fundo do poço de bombeamento (m)

b2 = Distância entre o topo do nível freático ao fundo do poço de observação (m)

Q = Razão de recarga;descarga (m^3/d)

s' = Início do rebaixamento (m) [s' = s * early shift]

s" = Fim do rebaixamento (m) [s" = s * late shift]

INTRODUÇÃO

Este relatório elaborado por Pesqusiadores vinculados ao ICADS-UFBA, como consultores do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e representa a fase final do trabalho correspondendo ao produto 4 – Relatório Final de avaliação sobre as condições atuais de explotação dos poços e dinâmica de fluxo do Aquífero Urucuia - de acordo com o Plano de Trabalho apresentado. Compreende a síntese dos dados levantados durante o período compreendido entre 10 de novembro de 2008 e 25 de abril de 2009.

Os trabalhos voltados à caracterização hidrogeológica do aqüífero Urucuia são escassos e relativamente recentes, sendo realizados principalmente pelo Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ) concentrando-se nas sub-bacias do rio das Fêmeas, rio do Cachorro e rio de Janeiro, bacia do rio Grande, afluente da margem esquerda do rio São Francisco, noroeste da Bahia.

O aqüífero apresenta-se como tipicamente livre, com drenagem retardada, conforme modelo proposto por Stretsolva–Neumann, entretanto no teste desenvolvido na Fazenda Campinas, observa-se em um dos piezômetros com 250 metros de profundidade, o comportamento de aqüífero semi-confinado. Através de análise por balanço hídrico, estimou-se uma contribuição de pelo menos 90% da água subterrânea no fluxo total dos rios da bacia para o ano de 2002. Dessa forma, a recarga do Urucuia se dá em toda sua extensão areal, sendo, entretanto, mais significativa na sua porção mais a oeste que recebe maior incidência pluviométrica.

O presente estudo tem o objetivo de analisar a questão da interferência entre dos poços existentes na região, entre si e em relação aos mananciais superficiais devido a determinadas taxas de bombeamentos, a fim de estabelecer um regime de exploração racional e conservativo para suas águas. Para tanto foram realizados alguns testes de bombeamento, além de se utilizar as informações de testes de bombeamento realizados em outros estudos.

Os testes de aqüífero, que visam a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos (permeabilidade e coeficiente de armazenamento), são extremamente escassos nos poucos estudos já desenvolvidos para o Aqüífero Urucuia. Vale ressaltar que a prática usual como teste de bombeamento é a observação do rebaixamento no próprio poço bombeado. Tal prática impossibilita a determinação do coeficiente de armazenamento, determinando somente a permeabilidade.

A análise de testes de bombeamento em aqüíferos não confinados é mais complexa do para aqüíferos confinados, uma vez que o topo do aqüífero corresponde ao nível freático, o qual muda com o bombeamento, ou seja a espessura da zona saturada muda dentro de um raio de influência do poço.

Na fundamentação teórica foram levantados diversos trabalhos técnicos/científicos abordando temas diversos que contribuíssem para o conhecimento regional ou local sobre o Sistema Aqüífero Urucuia e temas correlatos considerados relevantes para o entendimento da dinâmica da água na região (Figura 1). Nota-se que 41% dos trabalhos tratam da geologia e estratigrafia e que a principal categoria de publicações são os anais de encontros científicos, seguido de projetos (estão incluídos nesta categoria relatórios técnicos de diversas instituições). A maior parte das referências relacionadas à hidrogeologia/hidrologia é de publicações do INGÁ (Instituto de Gestão das Águas e do Clima) sobre trabalhos realizados na área de ocorrência do Urucuia, a exemplo de trabalhos realizados nas Bacias do Rio das Fêmeas, Rio dos Cachorros. Além disso mais recentemente foi desenvolvido pela CPRM-UFBA estudo na região das Bacias dos Rios Formoso e Arrojado.

Os trabalhos de campo realizados neste estudo compreendem levantamento dos poços em condições de realização de testes de bombeamento, levantamento de dados referentes à precipitação e vazão dos rios e monitoramento de níveis dos poços. Na Figura 2, são apresentadas as localizações dos poços onde foram realizados testes de bombeamento com determinação de valores de transmissividade e coeficente de armazenamento em estudos anteriores e neste estudo (Fazenda Bombarda). Houve grande dificuldade em encontrar uma fazenda com as condições ideais para realização

dos testes dentro dos parâmetros estabelecidos para definição da transmissividade e coeficiente de armazenamento.

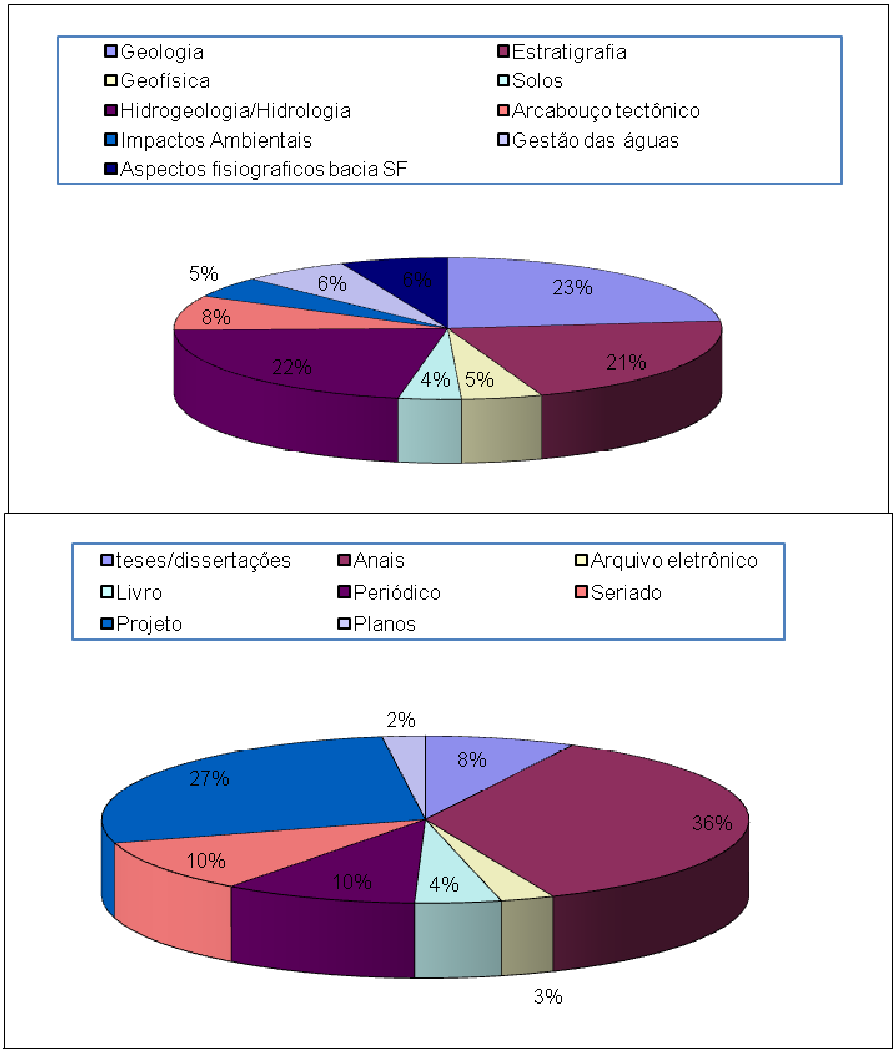


Figura 1 - Gráficos representativos do percentual de referências bibliográficas distribuídas por temas e por categorias.

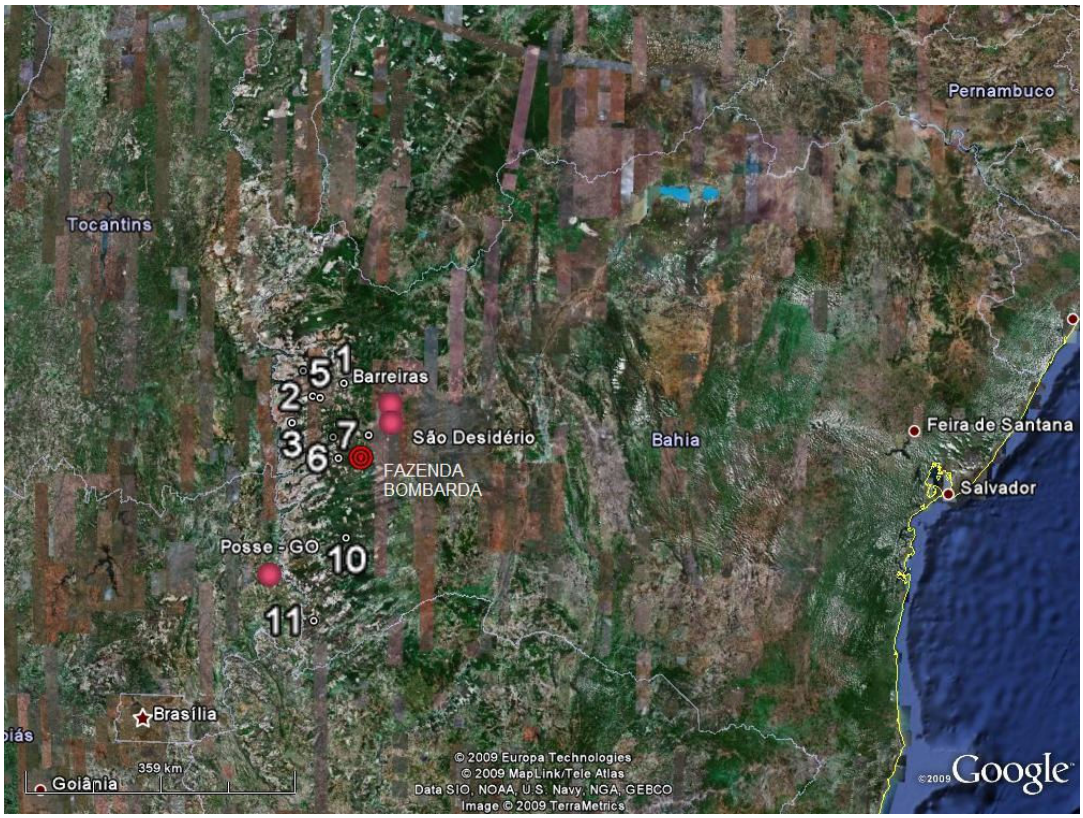


Figura 2 – Localização dos poços no aqüífero Urucuia que apresentaram valores dos parâmetros hidrodinâmicos. 1- Fazenda Espírito Santo; 2– Fazenda Edílio Poleto; 3– Fazenda Marechal Rondon; 4– Fazenda Hirata; 5– CERB – LEM; 6– Fazenda Campinas; 7– Fazenda Santo Antônio; 8– Roda Velha de Baixo; 9– Fazenda Campo Aberto; 10– Fazenda Buritis; 11- Fazenda São Miguel

1. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

1.1. Climatologia

A partir dos dados oferecidos pela Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação do Estado da Bahia, num relatório de 1993, algumas mensurações podem ser citadas como: a temperatura média anual da região, que é de 24°C. Sendo a temperatura média mensal do mês mais quente é de 25,9°C (Setembro e Outubro), enquanto o mês de julho apresenta-se como o mês mais frio com 22°C com uma diferença de apenas 14% para o mês mais quente.

A direção predominante dos ventos em todos os anos é NE (Nordeste). A velocidade é baixa com média anual em torno de 1,7m/s.

Os meses mais úmidos são de novembro a maio sendo março o que apresenta o maior nível médio (79%), enquanto o menos úmido e setembro com 47%. A pressão atmosférica é praticamente constante em toda a área da região de ocorrência do Sistema Aqüífero Urucuia, ficando entre 900 e 960mb.

As chuvas ocorrem no período e outubro a abril e estão associadas às correntes atmosféricas de natureza continental vindas do oeste ou sudeste. Sendo que a precipitação média anual na bacia é de 900 mm a 1500 mm.

Os meses de maio a setembro são predominantemente secos, caracterizando duas estações bem definidas em termos de chuvas na região: uma chuvosa que vai de outubro a abril e outra seca que vai de maio a setembro. Os meses de novembro, dezembro e janeiro são os de maior precipitação quando ocorre as já esperadas trovoadas.

1.2. Solos

Segundo dados levantados dos Planos Diretores de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Grande e da Bacia do Rio Correntes (Bahia, 1993 e 1995), as classes dos solos predominantes na região são representadas por Latossolos Amarelos, Podzólicos Vermelho-amarelo, Cambissolos, Gleissolos, neossolo –quartzênicos, solos aluviais e solos litólicos.

O latossolo amarelo ocupa cerca de 80% da região, é nesse solo onde se implantam os maiores projetos agrícolas. É um solo profundo, não hidromórfico, com cores amareladas, apresenta percentual de argila de 15 a 35%. São solos permeáveis e porosos, o que facilita a drenagem da água. Quimicamente são solos com alta saturação de alumínio, fortemente ácido.

Os latossolos amarelos prestam-se à mecanização plena, contudo é necessário que se adotem práticos conservacionistas quando de sua utilização agrícola. Apresenta limitações quanto à fertilidade. Esse solo apresenta boa aptidão para o desenvolvimento da agricultura irrigada.

Os podzológicos vermelho-amarelo apresentam pouco representatividade, sendo encontrado apenas nos trechos de vale. É um solo não hidromórficos, profundo, poroso, bem drenado e apresenta pouco alumínio. Do ponto de vista agrícola, apresenta limitações devidas ao clima, em maior grau, ao relevo e suscetibilidade à erosão.

Os cambissolos são solos com baixo gradiente textural, podendo apresentar pequenos fragmentos do material de origem e minerais primários de fácil decomposição, ocorrem nos bordos dissecados proveniente do recuo das chapadas. São solos pouco profundos, pedregosos e rochosos, com sérias limitações ao uso agrícola devido à topografia, erosão, impedimentos à mecanização e pequena capacidade de armazenamento de água nos períodos secos.

Os gleissolos ocupam o fundo dos vales em relevos planos e sob vegetação de gramíneas e florestas. Possui a textura arenosa e o ambiente é formado por deposições de natureza colúvio-aluvionar. São áreas de grande vulnerabilidade ambiental, de beleza cênica e associados a mananciais de água cristalina que pode ser facilmente alterado por atividades antrópicas.

Os neossolos quartzênicos são solos não hidromórficos, profundos, em que o teor de argila não exerce 15%. Ocupam áreas planas ligeiramente rebaixadas da chapada, em geral próximas às drenagens, constituídos predominantemente por quartzo. São importantes áreas de recarga dos aqüíferos que vão abastecer rios e veredas.

Os solos aluviais são solos pouco desenvolvidos, constituídos por deposição de sedimentos fluviais recentes não consolidados e de composição granulométrica muito variada e os solos litólicos são pouco desenvolvidos e rasos, frequentemente associados a afloramento rochosos. Ocorrem nos bordos dessecados das chapadas. São áreas de grande instabilidade morfodinâmica e do ponto de vista agrícola inaptas para o cultivo.

1.3. Vegetação

Sobre a vegetação, a região apresenta quatro domínios fitoecológicos: Cerrado, Floresta Galeria, Ecótono Caatinga e a Floresta Submontana. O Cerrado é a maior região fitoecológica da bacia do rio Grande, com precipitação média de 900 a 1500 mm/ano, tendo uma estação seca aproximadamente cinco meses, iniciando-se meados de maio até o mês de outubro. Esse período de seca relaciona-se aos solos de baixa qualidade, sendo em sua maioria profundos.

Existem poucos trechos de Floresta de Galeria, destacando-se as existentes no rio dos Cachorros, no rio Branco, riacho Jatobá, sendo a área mais significativa a localizada á jusante da Cachoeira do Acaba Vida no rio de Janeiro, com árvores atingindo 25 m de altura.

Sobre o Ecótono Caatinga pode-se dizer que ele abrange uma área que vai do município de Barreiras em direção ao município de Riação das Neves. Esse domínio encontra-se bastante alterado em relação ao tipo de cobertura vegetal primitiva, como conseqüência da exploração de madeira para lenha, implantação de projetos de irrigação e formação de pastagens.

Quanto a Floresta Submontana é certo que ela ocorra em uma extensão mais continua a leste da área da bacia, embora apresenta-se alterada em vários pontos do rio Roda, Velha, Ondas e Gado Velho. Ocupa extensões de depressões pediplana formada pelo Vale do São Francisco, sobre rochas carboníferas.

Com base nos dados levantados no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Corrente (Bahia, 1995), nas sub-bacias dos rios Formoso e Arrojado predomina a vegetação típica do Cerrado. O Cerrado é caracterizado por apresentar uma vegetação predominantemente xeromórfica, oligotrófica, onde à fisionomia varia do porte arbóreo denso ao gramíneo-lenhoso, geralmente com a presença de árvores e arbustos semicaducifólios, espaçadas ou em pequenos agrupamentos sobre um tapete graminóide. As plantas desse ecossistema geralmente apresentam-se com os troncos

retorcidos e sinuosos, de casca espessa e cortiçosa, muitas vezes fendilhada, com folhas rígidas, com superfície lisa e cerosa.

As formações Mata de Galeria/Vereda/Campo Úmido, sofrem influência direta ou indireta dos cursos d'água, devido, principalmente, às condições de fertilidade do solo e aos maiores teores de água. Os campos úmidos são áreas inundáveis e brejosas que margeiam as matas de galerias, mantendo-se um estrato graminoíde estacional, encharcado na estação chuvosa e ressecado ou pouco úmido nos períodos secos.

Na região a presença do homem é marcante, devido à expansão das atividades agropecuárias, destacando-se a agricultura de sequeiro, agricultura de ciclo curto irrigado, à pecuária de corte e à implantação de empreendimentos agrícolas, pastagem e reflorestamento.

Este fato tem causado diminuição de áreas de vegetação nativa, pondo em risco várias espécies da flora e fauna locais, diminuindo a fertilidade dos solos e a drenagem das áreas de mata de galeria, veredas e campo úmido devido o intenso desmatamento e queimadas.

1.4. Geomorfologia

A caracterização geomorfológica da área teve como base os dados do relatório de Definição de Unidades Geomorfológicas a Partir de Imagens de Dados Morfométricos na Bacia do Rio Grande (BA), realizado pelo INPE/UNB/EMBRAPA em abril de 2003.

A região encontra-se na parte ocidental do Estado da Bahia, inserido na região do Chapadão Central. Os níveis altimétricos variam entre 450 a 500 m na parte central e de 700 a 100 m na área mais ocidental.

Essa bacia é assimétrica, pois em sua margem esquerda está o maior número de afluentes, além dos mais extensos e como volume de água maior.

A análise das componentes morfológicas associadas às características topográficas, litoestruturais e da drenagem, permitiu a identificação de um conjunto de

feições, as quais levam à compartimentação do relevo os quais foram mapeadas quatro unidades geomorfológicas: Chapadão dos Rios Grande \ Branco, Chapadão dos Rios São Desidério/ Do Oeste, Patamares do Chapadão e Depressão do Rio Grande.

A unidade geomorfológica Chapadão dos Rios Grande/Branco encontra-se sobre os arenitos, caracteriza-se por relevos planos suavemente inclinados para leste, com níveis altimétricos entre 700 e 1000m. A inclinação para o leste é que direciona a drenagem do rio. Essa unidade é caracterizada por vale coberto por veredas, com cobertura de gramíneas e estratos arbustivos e arbóreos. Essa região vem sendo degradada por diversas atividades antrópicas.

O Chapadão dos Rios São Desidério/ Do Oeste caracteriza-se por relevos planos, com altimetrias em torno de 700 m a oeste e 900 m a leste. Os vales desse trecho são conhecidos como morimbus, estágio inicial da formação de veredas, caracterizando-se por alagamentos onde ocorrem lagoas e alagados.

Os patamares do Chapadão funcionam como degrau entre o Chapadão e a superfície ao longo do Rio Grande. Nessa área a dessecação do relevo em feições convexas é aliada a ocorrências de falhamentos. As unidades dos Patamares do Chapadão, são representados geologicamente pelo Grupo Bambuí, onde o padrão de drenagem é subdendrítico e às vezes, angular. Nos Patamares do Chapadão o gradiente dos rios é ampliado pelo desnível existente entre esta unidade, o Chapadão Central e o Vão São Francisco, daí decorrendo o aumento da velocidade de escoamento e maior aprofundamento de seus vales.

Na Depressão do Rio Grande ocorrem planos situados em altitudes em torno de 450 m, corresponde a áreas laterais ao vale do rio Grande e jusante da confluência com o rio das Fêmeas e o baixo curso do rio Branco.

Os rios que constituem a bacia apresentam padrões distintos, um sobre a Formação Urucuia e outro sobre o Grupo Bambuí. A rede de drenagem que cruza o chapadão central apresenta-se com entalhe incipiente e padrão de drenagem paralelo.

Em vista do relevo do chapadão ser plano e com pequena inclinação topográfica, a drenagem da área se faz com rios de pouco gradiente, com fluxo lento de águas.

As precipitações pluviais são, em grande parte, absorvidas pelos arenitos da Formação Urucuia, muito permeáveis, ficando armazenada pela rocha.

1.5. Hidrologia

As bacias hidrográficas da região oeste da Bahia apresenta um rico potencial hídrico, os afluentes que se formam nesta região encontram-se em região tropical contígua ao vale úmido do rio Tocantins, onde as chuvas abundantes garantem os deflúvios perenes o ano todo. Já na parte média e oriental da bacia, reina um clima semi-árido, característico da região do curso médio do São Francisco, onde as chuvas escassas contribuem muito pouco para os deflúvios dos rios. As principais bacias da região são: Rio Grande, Rio Correntes e Rio Carinhaha.

Na Bacia do rio Grande os rios correm na direção sudoeste-nordeste, recebendo seus principais afluentes pela margem esquerda, como os rios das Fêmeas, de Ondas, Branco e Preto, tendo bacias de drenagem com áreas, respectivamente, de 5.930 km², 5.180 km², 7.640 km² e 22.630 km². Todos esses afluentes correm em direção geral oeste-leste, trazendo os deflúvios das cabeceiras ocidentais úmidas. O rio Preto ocupa quase toda a parte setentrional da bacia. Pela margem direita, o rio Grande recebe como afluente mais importante o rio São Desidério, com uma bacia de drenagem de 6.320 km², além dos rios Tamanduá e Boa Sorte, que são de menor porte.

O rio Grande apresenta, em geral, largura uniforme, sendo que na confluência com o rio Preto, verifica-se um brusco estreitamento do curso do rio em extensão reduzida, indicando que o curso d'água cortou sua passagem através da Serra do Boqueirão enquanto se formava. O mesmo acontece em Estreito, cerca de 80 km de Boqueirão, pouco antes da foz do rio Grande no rio São Francisco.

O rio Corrente nasce na serra do Espigão Mestre, fronteira Bahia/Goiás, numa altitude de 861m, indo desembocar no rio São Francisco. O estudo da caracterização dos recursos hídricos compreenderá as sub-bacias hidrográficas rio Formoso e Arrojado. Estes afluentes, situados na porção oeste da bacia próximo à região dos "Gerais", apresentam maior disponibilidade de água do que os afluentes da porção leste da bacia.

São três os motivos: a concentração de chuvas do lado oeste da bacia é maior; a alimentação que os mesmos recebem dos aqüíferos da área, especialmente o arenito Urucuia é que mantêm os rios perenes durante todo o tempo e devido a parte leste da bacia (próxima ao São Francisco) já sofrer a influência de um clima semi-árido, ocasionando o aparecimento de uma série de rios intermitentes.

A parte oeste da região, próxima aos limites com Goiás, é a porção mais carente de postos fluviométricos, com distâncias entre eles superiores a 70 km, reafirmando sua baixa densidade. Os totais anuais médios de chuva variam de forma crescente no sentido leste-oeste. As isoietas dos totais anuais médios atingem valores entre 1.000 e 1.100 mm na faixa sobre Santa Maria da Vitória e Correntina.

A bacia do rio Corrente, até a confluência com o rio Formoso, apresenta uma boa continuidade de vazões com amplitudes relativamente reduzidas na variação das vazões entre os períodos de cheia e os de seca. A perenização dos rios bem como a reduzida amplitude entre vazões extremas, considerada a concentração das chuvas no período de verão, deve-se fortemente à restituição de água do aqüífero Urucuia.

A vazão média anual dos rios Formoso e Arrojado é de 92,9 m^3/s e 59,5 m^3/s respectivamente, e as vazões diárias máximas e mínimas registradas são de aproximadamente 189,0 m^3/s e 74,5 m^3/s para o rio Formoso e 128 m^3/s e 49,8 m^3/s para o rio Arrojado. Observa-se que as vazões mínimas anuais têm o mesmo comportamento das vazões médias e, devido aos valores significativos (> 60% da média), representam a potencialidade da contribuição subterrânea.

1.6. Aspectos Sócio Econômicos

Toda a região conhecida como “Chapadão do Urucuia” vem experimentando a partir da década de 80, acentuado processo de expansão agrícola, 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, algodão, milho, além do café, utilizando inclusive a irrigação, além da fruticultura e a pecuária extensiva.

As lavouras de subsistência são encontradas por toda a região, onde predomina a produção de feijão, milho, arroz, cana-de-açúcar, mandioca, além de algodão e mamona. As técnicas de irrigação, freqüentemente utilizadas nestes casos, envolvem o uso intensivo de água através do método de sulcos, inundação, além de aspersão.

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.

A bacia do rio Grande inclui uma das áreas sob mais intensa transformação quanto ao uso do solo no Estado da Bahia. Esta situação deriva da utilização de terras até vinte anos atrás consideradas como inaproveitáveis para a agricultura e que se tornaram, desde o final da década de setenta, área de expansão da produção de soja e outros produtos.

Nas últimas décadas desenvolve-se na região uma produção agrícola e pecuária melhorada, incentivada por crédito governamental, gerando a implantação da agricultura em extensas áreas, com modernas tecnologias e vastas pastagens cultivadas. A grande alteração de padrão de uso do solo na região da bacia do rio Grande se inicia, entretanto, com a introdução da produção de soja.

Com relação à área física da bacia do rio Grande, pode-se dizer que correspondem a áreas de agricultura tradicional, pastagens, áreas de agricultura tecnificada e áreas de desmatamento sem uso aparente.

As fazendas de gado e os pequenos produtores de subsistência são duas formas tradicionais que vem resistindo a mudar, e enfrentar a competição pela terra por parte de unidades empresariais modernas.

O uso e ocupação do solo na região do rio Grande vêm crescendo com os anos. Sendo que muitas dessas áreas não estão sendo utilizadas, a espera de serem valorizadas. E isso explica muito da presença de áreas desmatadas sem uso aparente.

A outra forma de ocupação tradicional é a dos produtores de subsistência dos vales e dos cerrados. Nos vales, estes estabelecimentos são na maioria própria e se ocupam com a produção de milho, feijão, arroz, mandioca, cana-de-açúcar e algumas culturas permanentemente variadas. Essas propriedades praticam também a pecuária, em parte em pastos cultivados, destinada ao corte e produção de leite. Em todas essas atividades é muito baixo o nível de mecanização e são, no geral, tradicionais as práticas culturais.

No cerrado, os pequenos produtores são geralmente posseiros, que cultivam com práticas rudimentares arroz, milho e feijão. Porém, com a expansão da produção moderna e a reserva de terras para fins especulativos, muitos foram expulsos de suas terras ou concentrados em pequenas áreas.

Já, os médios e grandes proprietários modernos estabelecem nas áreas de cerrado hoje uma agricultura moderna, altamente tecnificada. Praticam beneficiamento de seus produtos, sobretudo de sementes, e dirigem-se cada vez mais ao uso da agricultura irrigada. Consequentemente gera-se uma economia que se tornou cada vez mais critica a questão do uso dos recursos hídricos e controle do meio ambiente (poluição química e orgânica, erosão e assoreamento de rios, ameaça ao meio ambiente natural de veredas).

As áreas irrigadas na bacia estão associadas principalmente a projetos implantados pela CODEVASF e cooperativas de agricultores.

2. O CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. Geologia Regional

A área de estudo está localizada na extremidade noroeste da Sub-Bacia Sedimentar do Urucuia, na região oeste do estado da Bahia. Regionalmente está inserida na Bacia Sanfranciscana (Sgarbi, 1989) mais especificamente na porção centro-norte.

O termo Bacia Sanfranciscana é a denominação comumente empregada na literatura para designar a depressão na qual se acumularam as coberturas Fanerozóicas sobre o Cráton do São Francisco.

Vários autores estudaram os sedimentos do Grupo Urucuia. Derby (1906) mencionou pela primeira vez os arenitos avermelhados, que ocorrem a oeste do rio São Francisco. Posteriormente Lisboa, 1914, utilizou o termo Camadas Itapecuru, para descrever estes sedimentos. Em 1926, Rego denominou-os de “Arenitos das Chapadas”.

O termo “Arenito Urucuia” foi empregado inicialmente por Oliveira & Leonardos, 1943, que já utilizava nesta época a denominação de Formação Urucuia. Posteriormente Campbell, Almeida e Silva, 1949 (Apud Montes, et al. 1986) denominaram estes arenitos de Formação Serra Negra, termo que foi decidido ser abandonado no Congresso de Geologia de 1971.

A unidade foi caracterizada como Grupo Urucuia por Barbosa, 1967, Kattah, 1994 e Campos&Dardene, 1997a, e será assim considerada neste trabalho.

Trabalhos de mapeamentos geológicos regionais realizados na região contribuíram para melhor caracterizar a bacia sanfranciscana. A seguir será feito um breve relato sobre os projetos que envolveram a porção norte-central da bacia.

Um dos trabalhos pioneiros de mapeamento de reconhecimento na escala 1:500.000, foi o reconhecimento geológico, feito pela PETROBRAS, da parte norte da bacia do São Francisco, realizado por B. Moore, 1964. Anterior a esta data, trabalhos de

compilação e reconhecimento geológico foram feitos na porção sul da bacia sanfranciscana, a exemplo de (Kerekes,1957) na região da bacia do rio Urucuia e (M.A.M. Oliveira, 1962) na parte sul da Bacia do São Francisco.

Contudo, o projeto de mapeamento geológico denominado projeto Leste do Tocantins-Oeste do São Francisco (conhecido como Projeto LETOS) realizado na bacia sanfranciscana, porção setentrional, e desenvolvido pela CPRM/PROPESC S/A para o DNPM, entre 1971 e 1976, é considerado o mais completo até hoje.

Os produtos principais do projeto são: Mapa geológico 1:500.000, com localização das principais ocorrências minerais; Mapa de litofácies do Grupo Bambuí, 1:1.000.000, Mapa estrutural 1:2.500.000; Mapa com indicação de áreas para pesquisa mineral 1:1.000.000, além do texto final com as principais características fisiográficas e a proposta estratigráfica para toda a área. A justificativa do órgão contratante para a sua realização foi a escassez de informações e ausência de mapeamento geológico.

Considerando-se o mapeamento no nível regional/detalhe é citado na literatura uma série de mapas de compilação gelógico-geomorfológicos confecionados pela SUVALE, que cobre todo o vale do São Francisco, incluindo entre outras as folhas de Barreiras, Santa Maria da Vitória e Bom Jesus da Lapa, contudo ainda não foram adquiridas para consulta.

Em 1973, iniciou-se o Projeto Radam, cobrindo as regiões norte e nordeste do Brasil, em escala 1:1.000.000, que abrange a área de estudo, sendo disponibilizados os seguintes mapas temáticos: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra (Brasil, 1982).

Dentro do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, na área de afloramento do arenito Urucuia, existem as seguintes folhas mapeadas: Santa Rita de Cássia SC.23–Z-C, Formosa do Rio Preto SC.23–Y-D (Andrade Filho et al, 1994), Curimatá SC.23-Z-A, Corrente SC.23-Y-B e Xique-Xique SC.23-Z-B na escala 1:250.000 (Arcanjo, 1999), além de Coribe. Folha SD.23-X-C-V, na escala 1:100.000 (Morais Filho, 1997).

Ressalta-se ainda o projeto “Hidrogeologia do Aqüífero Urucuia – bacias dos rios Arrojado e Formoso” elaborado pela CPRM (Superintendência Regional de Salvador - SUREG-SA) e pela UFBA em 2005.

Este projeto é parte de um projeto mais abrangente denominado Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro”, sendo parte integrante da linha de pesquisa de Água Subterrânea, implantada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, por intermédio da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP como Secretaria Executiva do FNDCT – Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, que é responsável pela implementação do Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CTHIDRO).

Entre os principais produtos deste projeto destaca-se o levantamento de informações sobre a geologia das bacias dos rios Arrojado e Formoso através da compilação de mapas geológicos existentes, principalmente do Mapa Geológico do Estado da Bahia (Souza *et al*. 2002) e da Folha Brasília SD.23 (Souza *et al*., 2004), além de publicações em periódicos e congressos (Faria *et al*., 1986; Kiang *et al*., 1992; Campos & Dardenne, 1993; Campos & Dardenne, 1997a; Campos & Dardenne, 1997b; Campos & Dardenne, 1999; Sgarbi *et al*., 2001; Spigolon & Alvarenga, 2002 e Bonfim & Gomes, 2004) e trabalhos de campo. A partir dos trabalhos de campo foram coletados dados geológicos permitindo a confecção do mapa digital com o traçado do contato entre as formações Posse e Serra das Araras e os ajustes, onde necessário, do contato entre o Grupo Urucuia e seu embasamento.

Quanto aos levantamentos geofísicos realizados na região pode-se citar o levantamento gravimétrico no estado da Bahia, 1980, o levantamento Gravimétrico na Bacia do São Francisco (Marinho et al., 1991), e o estudo Magnetotelúrico da Bacia do São Francisco realizado PETROBRAS (Porsani e Fontes, 1992). Existe ainda referência na bibliografia consultada (Meister, et al., 1991) que sugere a existência de levantamento sísmico na bacia do São Francisco, também realizado pela PETROBRAS.

Além disso, foram realizados levantamentos geofísicos utilizando-se do método de eletroresistividade (Lima, 2000; Amorim Jr., 2003; Tschiedel, 2004); e eletromagnético (Gaspar, 2006).

A seguir será apresentado o estágio atual de conhecimento sobre a bacia sanfranciscana, mais especificamente sobre a sub-bacia Urucuia, do ponto de vista regional, uma vez que inexistem levantamentos geológicos de detalhe na área.

A Bacia do São Francisco tem duas concepções distintas na literatura: Para alguns autores representa a porção sul do cráton do São Francisco cobertos por sedimentos Proterozóicos e Fanerozócos; e para outros autores o limite da bacia estaria muito além dos limites do cráton, englobando a deposição dos sedimentos Neoproterozóicos (Alkimin & Martins-Neto, 2001).

Neste trabalho considera-se que a bacia estende-se desde o triângulo mineiro até o Maranhão, onde se liga com a bacia do Parnaíba, estando situada entre as faixas dobradas Brasília a oeste, com calha alongada na direção N-S, a faixa Rio Preto ao Norte, o contato entre as rochas do Supergrupo São Francisco e o substrato do Cráton a sul, a faixa Araçuaí a oeste, e a nordeste pelo corredor de deformação do Paramirim, Alkimin & Martins-Neto, 2001).

Trata-se de uma bacia intracratônica, poli-histórica, composta por bacias sucessoras, (Dominguez, 1993), de forma alongada segundo a direção Norte-Sul, com aproximadamente 1100 km de comprimento e largura de afloramento em torno de 200 km.

De acordo com Campos & Dardene (1997), a terminologia bacia do São Francisco é ambígua, sendo o termo mais apropriado para o conjunto dos sedimentos fanerozóicos do cráton, que inclui os sedimentos do grupo Urucuia é consequentemente Bacia Sanfranciscana.

O embasamento da bacia sanfranciscana é de forma geral representado pela região do Cráton, pouco perturbada tectonicamente; pelo Grupo Bambuí, na porção central da Bacia; por Faixas de rochas xistosas, graníticas ou gnáissicas

arqueanas/proterozóicas, na região meio-norte entre Coribe-Correntina; ou ainda pela Bacia do Parnaíba, a norte do paralelo 12°30`.

O preenchimento da bacia teria ocorrido no final do Paleozóico, no sentido de norte para sul, com preenchimento de sedimentos glaciogênicos continentais do Grupo Santa Fé representados por diamictitos, seixos caídos, níveis varvíticos e pavimentos estriados, e que representam ampla distribuição na bacia. Posteriormente houve um período de quiescência tectônica que perdurou até o início do Cretáceo, quando se implantou novo ciclo de sedimentação.

Os depósitos Eocretáceos da porção sul da bacia têm sua gênese relacionada ao soerguimento do arco do alto Paranaíba. Este fato foi determinante para formar, no lado oriental desse alto, a deposição dos sedimentos do Grupo Areado e posteriormente, devido a uma nova reativação tectônica no Cretáceo Superior, do Grupo Mata da Corda (seqüência de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas que não ocorrem na sub-bacia Urucuia).

Devido à inversão de tensões intraplaca, uma nova subsidência afeta a região do Cráton do São Francisco, que recebeu a sedimentação do Grupo Urucuia, a partir do Alto de Paracatu para o norte.

A deposição do Urucuia seria em uma bacia do tipo rift-sag, ou seja, uma ampla bacia intracontinental com pequena subsidência, localmente afetados por incipientes processos tafrogênicos. Borges et al, 1992, relataram a estruturação tectônica da região de Dianópolis (TO), como uma depressão assimétrica do tipo hemi-graben, que teria recebido sedimentação do Urucuia.

2.2. Caracterização Litológica e Estratigráfica

A bacia do rio Grande apresenta duas províncias geológicas bem distintas. Sendo a primeira representada por rochas metassedimentares levemente dobradas, cuja sedimentação se iniciou no Proterozoíco Superior correspondente ao grupo Bambuí.

Enquanto a outra província engloba cerca de 70% da área, e é representada por coberturas sedimentares tabulares do cretáceo correspondente ao grupo Urucuia.

O Grupo Bambuí, que corresponde, provavelmente, à maior parte do embasamento da área de estudo, é caracterizado por encontrar-se disposto horizontalmente ou suavemente ondulado, sendo constituído de três seqüências transgressivo-regressivos, constituídas por argilitos, margas, ritmitos marinhos e calcilutitos na base, que progradam para calcilutitos, calcarenitos, calcarenitos ooliticos, siltitos e arenitos (Dardenne, 1981 e 2000).

De acordo com dados do Projeto Letos (Costa et al., 1971) o substrato da Formação Urucuia, sob a maior parte da porção setentrional da bacia, é constituído pela Formação Três Marias descrita como ardósias, siltitos argilosos e arcóseos de cores verde e cinza-esverdeados, localmente róseos e amarronzados que contém pequenas lentes de margas e de calcários. O Bambuí vem sendo alvo de investigações recentes mais detalhadas em função da ocorrência de exsudações de gás.

De acordo com o mapeamento geológico do Projeto Leste do Tocantins Oeste do Rio São Francisco, CPRM/DNPM, 1976, escala 1:250.000, as rochas desta unidade mostram uma notável variação faciológica de norte para sul, Inicia-se com a sequência (1) constituída por metassedimentos clásticos de fácies grosseira, representados por metarcósios, metagrauvácas e matassiltitos com intercalações de ardósias, com ocorrência em Riachão das Neves para norte.

A seqüência (2) consta de intercalações de ardósias, margas e calcários, as primeiras mais abundantes para norte e os últimos mais abundantes para sul. As seqüências (1) e (2) são constituídas por camadas dobradas. Esta seqüência ocorre na região de Barreiras.

A seqüência (3) é constituída por calcários microcristalinos puros. De acordo com o levantamento geológico efetuado encontra-se também ardósias neste ambiente, sendo comum sua ocorrência na região de São Desidério.

De acordo com os autores do Projeto MAPA GEOLÓGICO DIGITAL DA BAHIA, CBPM, 2000, escala 1:1.000.000, as sequências acima citadas, pertencem, respectivamente, às Formações Riachão das Neves, Serra da Mamona e São Desidério, do Grupo Bambuí, proterozóico superior. Da base para o topo tem-se: Formação São Desidério, constituída por metacalcários, metamargas e metassiltitos; Formação Serra da Mamona, constituída por metassiltitos, ardósias e metarenitos com intercalações de metacalcários; Formação Richão das Neves, constituída por metarcóseos e metagrauvacas.

O Grupo Bambuí constitui a maior parte do substrato sobre o qual se depositaram, em discordância angular erosiva, sedimentos clásticos do Grupo Urucuia. Compreende uma espessa seqüência pelítico-carbonática, de idade Proterozóica (Amorim & Lima, 2007).

O Grupo Urucuia representa a unidade de maior importância regional na área estudada, com o maior volume de rochas e a mais ampla distribuição em área na sub-bacia Urucuia. As rochas do grupo Urucuia afloram a partir do paralelo 17º00" ocupando amplas regiões em direção ao norte até o sudeste do Estado do Piauí, onde se sobrepõe aos sedimentos da bacia do Parnaíba.

Desta forma, o Grupo Urucuia tem grande importância regional por sua distribuição ampla na bacia (contínua na porção setentrional, e de forma irregular mais a sul, sendo comum a sua ocorrência como morros e mesetas) e grande volume de rochas.

O Chapadão Urucuia é uma região de relevo aplainado com altitudes variando de próximo de 1000 m nas fronteiras baianas com os estados de Goiás e Tocantins, até cerca de 550 m no entorno da planície do rio São Francisco. Na borda ocidental desse extenso planalto localiza-se o divisor regional das águas superficiais das bacias dos rios Tocantins e São Francisco

O grupo Urucuia pode ser individualizado em duas formações: Posse e Serra das Araras. Segundo Campos & Dardene (1997a), a Formação Posse corresponde à porção

basal e representa o maior volume, sendo diferenciadas duas fácies. A fácies 1 é constituída por quartzo-arenitos (seqüências do tipo red bed), ou mais raramente arenitos-feldspáticos, de granulometria muito fina a média, com pouca matriz, bem selecionados e maturos do ponto de vista textural e mineralógico, podendo ocorrer em qualquer posição estratigráfica lentes e níveis conglomeráticos de cimentação geralmente silicosa, cuja sedimentação é associada ao sistema eólico de campo de dunas. A Fácies 2, que corresponde a apenas 30% da Formação, é caracterizada por arenitos feldspáticos e quartzo arenitos, brancos, finos, argilosos ou não, bem selecionados e menos maturos, de matriz detrítica, sendo interpretado como sedimentação em um sistema fluvial entrelaçado psamítico.

A Formação Serra das Araras é constituída por arenitos silicificados (vermelhos e com níveis amarelados), de maturidade composicional e imaturidade textural, além de argilitos e conglomerados vermelhos, este último formando níveis de até 50 cm na porção basal.

Zonas silicificadas são comuns ao longo de fraturas e falhas as quais são registradas em poços a diferentes profundidades. (Costa et al., 1976). Embora não se tenha registro de atividades tectônicas expressivas após o Cretáceo, os grandes falhamentos no Grupo Bambuí (alinhados preferencialmente segundo N60-70° E) controlaram marcadamente a evolução estrutural posterior dos depósitos Urucuia. Movimentos de reativação ao longo dessas linhas de fraqueza produziram conjuntos conjugados de falhas e fraturas subverticais, que hoje se expressam na rede de drenagem retilínea em malha retangular, que caracteriza toda essa região. Algumas falhas e fraturas associadas são reconhecidas no campo pela presença de estruturas cataclásticas e intensa silicificação que geraram verdadeiras muralhas nas escarpas de muitos '*canyons*' da região (Amorim & Lima, 2007).

Capeando os planaltos e chapadas da bacia sanfranciscana ocorrem os sedimentos arenosos da Formação Chapadão. De acordo com Campos e Dardenne (1977), a Formação Chapadão se refere às coberturas cenozóicas inconsolidadas dominantemente arenosas da Bacia Sanfranciscana. Essas coberturas inconsolidadas

podem ser classificadas como coberturas aluvionares, coluvionares e eluvionares. As coberturas aluvionares são associadas à planície de inundação das maiores drenagens. São caracterizados por depósitos resultantes do retrabalhamento fluvial recente de materiais detríticos diversos. As coberturas coluvionares são resultantes de pequenos retrabalhamentos das unidades fanerozóicas e da regressão de formas de relevo tabular elevado. São constituídas por areias vermelhas ou esbranquiçadas, com 30% de argila. As coberturas eluvionares correspondem às areias inconsolidadas resultantes do intemperismo atuante sobre as diversas unidades fanerozóicas. São representadas por depósitos *in situ* ou pouco retrabalhados, atingindo espessuras da ordem de 20 a 30 metros. Estas coberturas distribuem-se nas extensas chapadas de cotas superiores a 800 metros. A porcentagem de argila varia de 14 a 23%.

Tabela 1 - Coluna Estratigráfica representativa da bacia do Rio Grande

CENOZÓICO	FORMAÇÃO CHAPADÃO		- Coberturas Aluvionares: areias assoc. à planície de inundação. - Coberturas Coluvionares: areias com 30% de argila. - Coberturas eluvionares: areias com 14 a 23% de argila.
CRETÁCEO SUPERIOR	GRUPO URUCUIA	FORMAÇÃO SERRA DAS ARARAS	Arenitos silicificados (vermelhos e com níveis amarelados), de maturidade composicional e imaturidade textural, além de argilitos e conglomerados vermelhos
		FORMAÇÃO POSSE	Fácies 2: arenitos feldspáticos e quartzo arenitos, brancos, finos, argilosos ou não, bem selecionados e menos maturos, de matriz detrítica Fácies 1: quartzo-arenitos (seqüências do tipo red bed), arenitos-feldspáticos, de granulometria muito fina a média, com pouca matriz, bem selecionados e maturos do ponto de vista textural e mineralógico, lentes e níveis conglomeráticos
PROTEROZÓICO SUPERIOR	GRUPO BAMBUÍ	FORMAÇÃO RIACHÃO DAS NEVES	Metarcóseos e metagrauvacas.
		FORMAÇÃO SERRA DA MAMONA	Metassiltitos, ardósias, metarenitos com intercalações de metacalcários.
		FORMAÇÃO SÃO DESIDÉRIO	Metacalcários, metamargas e metassiltitos.

3. O CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

3.1. Caracterização Regional

A área que faz parte do chamado Chapadão Urucuia, está passando por um acelerado desenvolvimento de agricultura irrigada com uso intensivo, mas não dimensionado, de suas reservas de água subterrânea. Como essas reservas hídricas não estão ainda devidamente avaliadas e dimensionadas, há sérios riscos de se estar promovendo uma super-exploração do mais importante sistema aqüífero do estado.

Nas últimas décadas tem se desenvolvido, em todo chapadão, um processo acelerado de agricultura mecanizada, substituindo o cerrado nativo, através de irrigação permanente e de grande desperdício de água, principalmente em culturas de soja, café, arroz e algodão. Desta forma, um grande número de poços já foi perfurado no aqüífero Urucuia, tanto para abastecimento humano, quanto para extensivas irrigações sem, contudo, ter sido avaliada sua hidrogeologia com propriedade.

Os trabalhos voltados à caracterização hidrogeológica do aqüífero Urucuia são escassos e relativamente recentes, sendo realizados principalmente pelo Instituto de Gestão das Águas (INGÁ) concentrando-se nas sub-bacias do rio das Fêmeas, rio do Cachorro e rio de Janeiro, bacia do rio Grande, afluente da margem esquerda do rio São Francisco, noroeste da Bahia (Figura 3.1).

Embora haja poucos estudos hidrogeológicos, é sempre enfatizada a importância que tem o aqüífero Urucuia na contribuição para a manutenção do fluxo de base dos afluentes da margem esquerda do rio São Francisco.

Em Santana e Lordêllo (1999), o Instituto de Gestão das Águas desenvolveu estudos na bacia hidrográfica do rio Correntes para a caracterização dos impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas de uso e ocupação do solo e utilização dos recursos hídricos. Em campanha de 10 dias, foram verificadas as condições ambientais em diversas drenagens, tais como: rios Correntes, Arrojado, Santo Antônio, Formoso, do Meio, dentre outros.

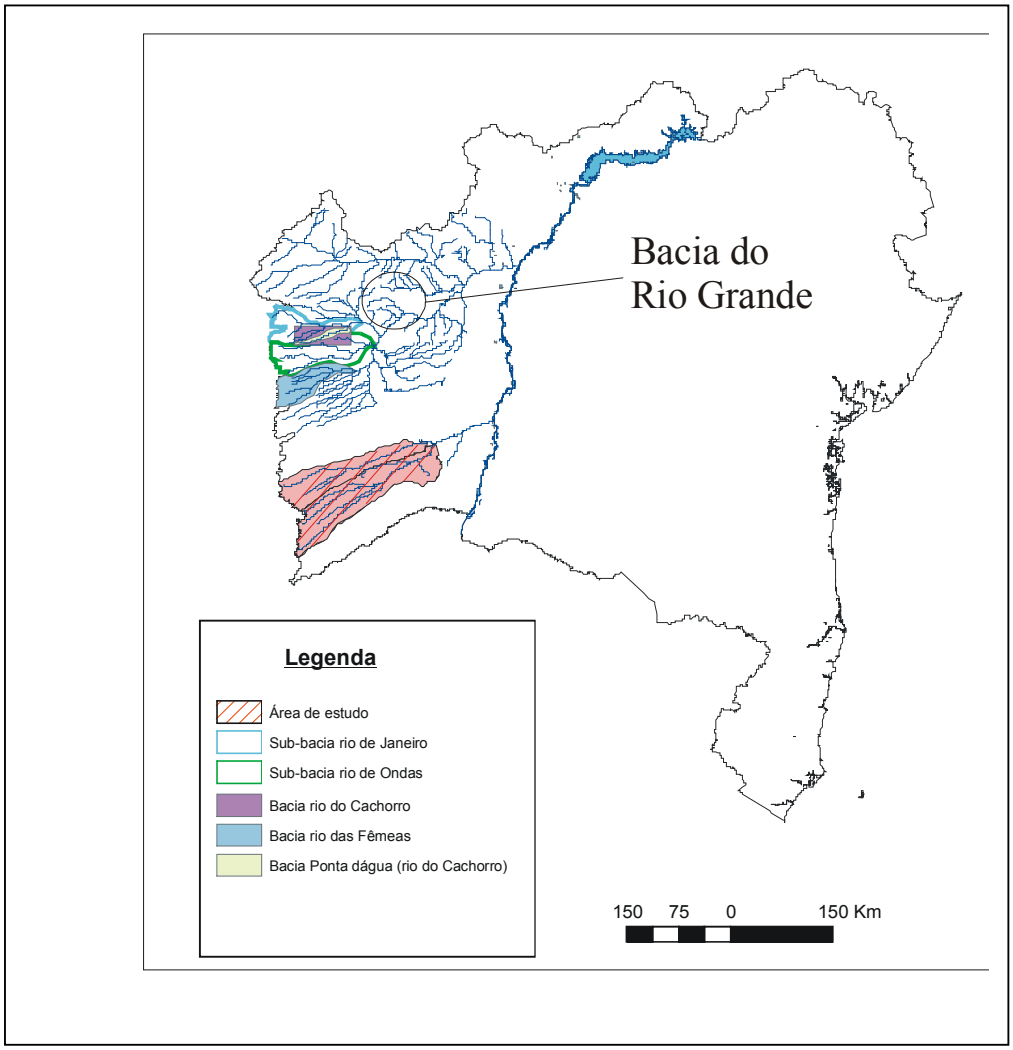


Figura 3 - Localização dos principais projetos de hidrogeologia desenvolvidos pelo INGÁ.

A análise ambiental indicou diversos problemas. A drenagem das veredas para o cultivo é uma prática bastante comum na bacia do rio Correntina. Já na bacia do rio Arrojado, ocorrem plantações nas proximidades do canal de drenagem, com a retirada da mata ciliar, aliada a técnicas inadequadas de irrigação (por superfície e aspersão), há o carreamento de sólidos para o canal, além de defensivos e insumos agrícolas utilizados.

Foram observados também à existência de canais de desvio e barramentos. Na bacia do rio Formoso os processos de devastação já se encontram bastante avançados, sendo prática usual a utilização de canais de desvio para a irrigação. Tal prática é também bastante comum na bacia do rio Santo Antônio, onde se observou, devido ao intenso desmatamento, uma voçoroca com até 50 m de largura e mais de 500 m de extensão.

No rio Cabeceira Grande, afluente do rio do Meio, observa-se a "morte" de suas nascentes. A população necessita escavar cacimbas no leito do rio para obtenção de água. Na área em estudo, o desmatamento para a implantação de agricultura de subsistência é prática comum e devido à fragilidade do solo, os processos erosivos geram grande quantidade de sólidos que assoream as drenagens locais.

A drenagem das zonas alagadiças (veredas) para a implantação de cultura agrícola e pecuária é amplamente utilizada e altamente danosa para a disponibilidade hídrica local.

Um dos primeiros trabalhos hidrogeológicos no Urucuia foi desenvolvido por Lima (2000) na bacia do rio Cachorro, oeste da Bahia, através de levantamentos geofísicos (SEV's e dados de perfilagem geofísica), interpretação de dados de recuperação de testes de bombeamento e análises físico-químicas das águas subterrâneas. A maioria das SEV's (n = 50) possui curvas na forma de sela, sendo que em todas, invariavelmente, indicam um substrato menos resistivo (mais condutivo).

A zona saturada do aqüífero Urucuia varia de 400 a 180 metros de espessura, tendo menores valores na proximidade da confluência com o rio de Janeiro (a leste). Os dados hidrodinâmicos foram obtidos através da análise de três testes de recuperação que indicaram permeabilidades variando de 3,7 a 9,8 E-4 m/s.

Em 2000, Pimentel et al, na sub-bacia do rio das Fêmeas, bacia do rio Grande, através da análise de hidrogramas pelo método do mínimo local (Sloto e Crouse, 1996, apud Pimentel, 2000), observou que o fluxo de base é, em média, de 257,02 mm, o que

representa 91,33% do fluxo total no período analisado (1984-1995), ou seja, uma recarga média para o aqüífero de 20% da precipitação média anual.

Entretanto, segundo ainda o autor, devido à precipitação ser maior nas nascentes do que na foz, a capacidade de recarga vem sendo comprometida devido ao intenso desmatamento que diminui a capacidade de infiltração da água. Na bacia do rio das Fêmeas, a atividade agrícola já causou o esgotamento das vazões outorgáveis no rio das Fêmeas.

Em Bahia (2003b), o INGÁ publicou os resultados dos estudos desenvolvidos na bacia do rio das Fêmeas. Frente à demanda crescente de água para as atividades agrícolas, que acarretara o alcance do limite máximo outorgável de algumas drenagens locais, a INGÁ desenvolveu estudos no período de março de 2001 a outubro de 2002, de modo a gerar subsídios para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Neste projeto desenvolvido pelo INGÁ, foram cadastrados 139 poços, mas somente 3 eram outorgados, sendo que o restante apresenta vazões para uso doméstico, com volumes não outorgáveis. Em termos hidrogeológicos, os parâmetros hidrodinâmicos foram avaliados mediante testes de aqüífero definindo-se valores médios de T (transmissividade) de 1,68 E-2 m^2/s, Sy (porosidade eficaz) de 1,34 E-2 e S_S (coeficiente de armazenamento) = 1,95 E-4.

O aqüífero apresenta-se como tipicamente livre, com drenagem retardada, conforme modelo proposto por Stretsolva–Neumann, entretanto no teste desenvolvido na Fazenda Campinas, observa-se em um dos piezômetros com 250 metros de profundidade, o comportamento de aqüífero semi-confinado. Através de análise por balanço hídrico, estimou-se uma contribuição de pelo menos 90% da água subterrânea no fluxo total dos rios da bacia para o ano de 2002. Dessa forma, a recarga do Urucuia se dá em toda sua extensão areal, sendo, entretanto, mais significativa na sua porção mais a oeste que recebe maior incidência pluviométrica.

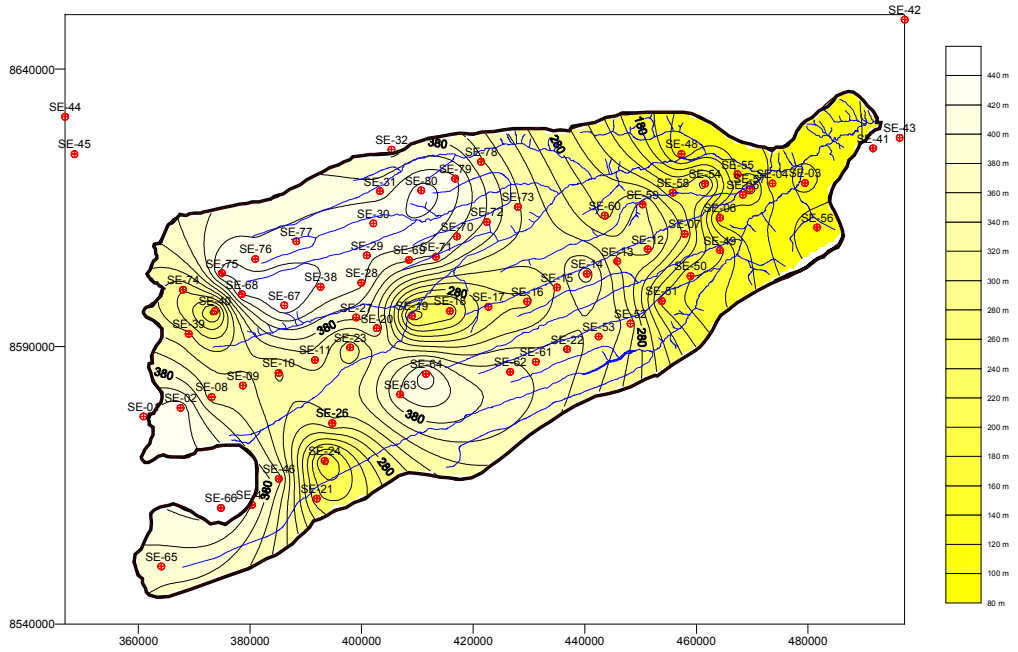
Observa-se que a porção superior do aqüífero é constituída por arenitos finos fortemente silicificados, com espessura que varia de 15 a 120 metros aproximadamente, e logo abaixo, arenitos finos, homogêneos, avermelhados e notadamente friáveis.

Supõe-se que o arenito na parte superior, até os 100 – 150 metros de profundidade, apresente porosidade por fratura e, a partir daí, até a base da seqüência (250 – 400 metros de profundidade), predominam os arenitos finos, homogêneos, avermelhados e friáveis, com porosidade primária tipicamente intergranular.

Em relação aos estudos geofísicos, foram realizadas 80 sondagens elétricas e polarização induzida (IP), sendo que em todas apresentam terminais descendentes, indicando a presença de um substrato regional bem mais condutivo sob os pacotes arenosos. Uma outra evidência é o adelgamento do aqüífero de oeste (400 metros) para leste (100 metros).

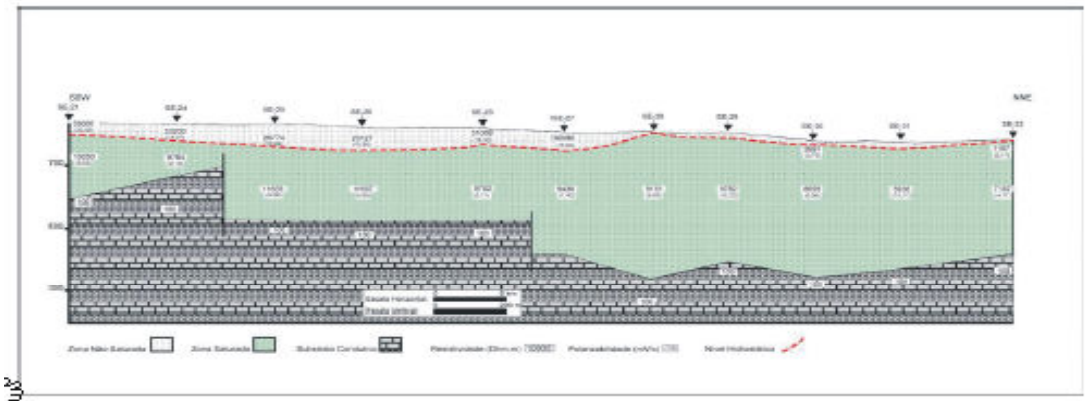
Em 2004, Tschiedel desenvolveu estudos na porção central da sub-bacia Urucuia, no oeste da Bahia, que objetivaram, principalmente, a determinação da espessura do aqüífero Urucuia.

Em levantamento utilizando a eletromagnetometria no domínio do tempo na forma de perfis geofísicos de sondagem N-S e E-W, o autor calculou a espessura do aqüífero Urucuia no perfil N-S variando, aproximadamente, de 300 a 720 metros com a indicação de falhas normais com rejeitos na faixa de 100 a 135 metros que estariam controlando estruturalmente algumas drenagens regionais. Enquanto no perfil E-W a variação de espessura se restringiria de 300 a 380 metros.



Fonte: Bahia (2003b)

Figura 4 - Topografia da base do aqüífero inferida a partir da interpretação dos dados das sondagens geoelétricas. (os símbolos vermelhos representam centros de sondagens e as linhas em azul a hidrografia).



Fonte: Amorim Jr. (2003)

Figura 5 - Seção geológica e geoelétrica transversal SSW-NNE apresentado três camadas distintas: a zona não saturada, o aqüífero Urucuia e o Grupo Bambuí.

Somente 20% das sondagens foram passíveis de interpretação, entretanto, como nos trabalhos de Lima (2000) e Bahia (2003b), observou-se que o substrato do Grupo Urucuia possui resistividades mais baixas, variando de 15 a 700 Ω.m, compatíveis com as rochas do Grupo Bambuí.

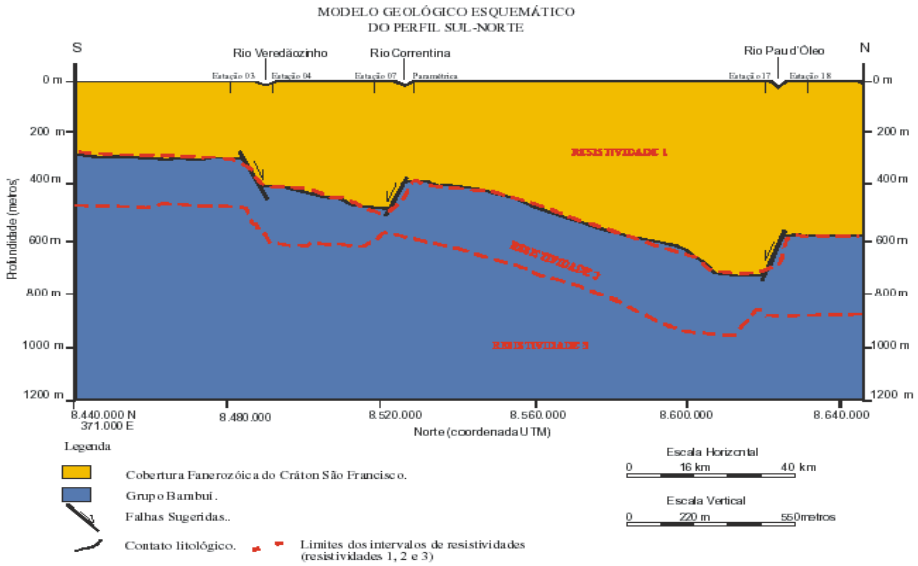


Figura 6 - Modelo geológico perfil sul-norte desenvolvido por Tschiedel (2004)

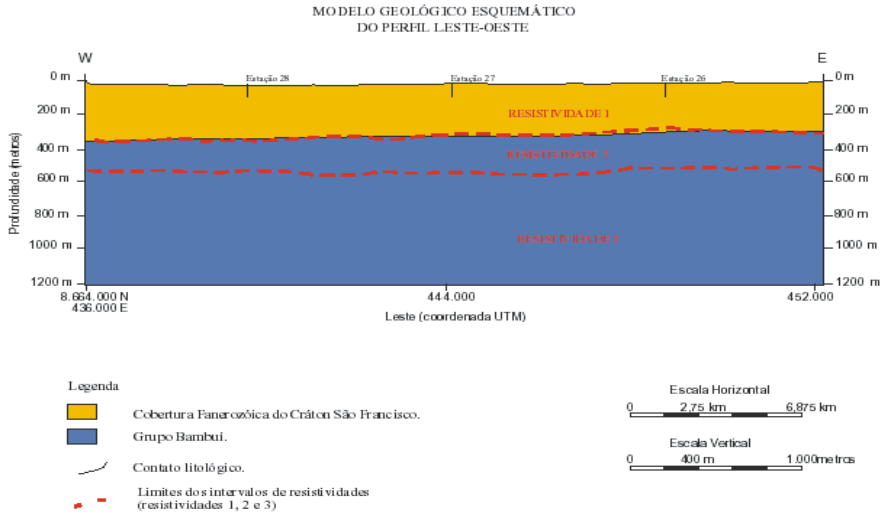


Figura 7 - Modelo geológico perfil leste-oeste desenvolvido por Tschiedel (2004)

Schuster, em 2003, fez estudos de modelagem numérica baseado em testes de aqüífero em poços na fazenda Campo Aberto, sub-bacia do rio de Janeiro, bacia do rio Grande. O autor considerou o aqüífero Urucuia composto por duas unidades distintas. A camada superior (Formação Serra das Araras) possuiria parâmetros hidrogeológicos diferentes da espessa camada inferior (Formação Posse), onde os poços produtores normalmente são instalados.

Os valores encontrados de transmissividade foram de 1,61 a 2,03 E-2 m^2/s e o coeficiente de armazenamento de 2,74 a 5,39 E-4 em testes de bombeamento com poço de observação com 24 horas de bombeamento, mais 24 horas de recuperação, utilizando-se uma vazão constante de 580 m^3/h.

O aqüífero Urucuia é apresentado normalmente como tipicamente livre, com drenagem retardada, conforme modelo proposto por Stretsolva–Neumann (Bahia, 2003b), entretanto na análise das curvas de teste de bombeamento, o autor classifica o aqüífero como semi-confinado.

De acordo com a modelagem determinou-se para um poço de observação P_1, para um rebaixamento de 0,05 e 0,01 m, um raio de influência de 2250 e 3400 m, respectivamente. Para o poço de observação P_4, para um rebaixamento de 0,05 e 0,01 m, obtem-se um raio de influência de 1450 e 2850 m, respectivamente.

Em 2004, no estudo desenvolvido por Bomfim e Gomes, utilizando dados gravimétricos da sub-bacia do Urucuia, (Gomes e Mota, 1980) foi lançada a hipótese de que o aqüífero Urucuia possuiria uma espessura de até 1500 metros na região de Barreiras, Bahia, aumentando sobremaneira o potencial hidrogeológico deste aqüífero.

3.2. Aspectos Hidrogeoquímicos, Isotópicos e Qualidade das Águas

Existem poucos estudos sobre a química das águas subterrâneas do aqüífero Urucuia. Nos estudos desenvolvidos por Lima (2000), uma avaliação preliminar indicou que as águas subterrâneas na bacia do rio do Cachorro são muito pouco mineralizadas,

neutras a levemente ácidas (pH de 5,2 e 6,6), com ordenamento de cátions, em meq/L, de Na> Ca> Mg, enquanto os ânions têm ordenamento irregular.

Em Bahia (2003b) são apresentados dados sobre a qualidade química das águas subterrâneas na bacia do rio das Fêmeas. Foram coletadas 90 amostras de água subterrânea e 8 de água superficial no período de maio e setembro de 2001 e junho de 2002. De modo geral as águas têm como principais cátions, em valores médios em meq/L, Fe > Na > Ca > Mg > K e para os ânions, em média, HCO_3^- > NO_3^- > SO_4^{2-} >Cl. O pH variou de 4,01 a 7,68, com média de 5,48.

As concentrações médias de sólidos totais dissolvidos (STD) foram de 48,39 mg/L e 28,60 mg/L para as campanhas de 2001 e 2002, respectivamente. Quimicamente há dificuldades de distinção entre as águas superficiais e subterrâneas, assim como observado em Lima (2000). Embora a bacia tenha aptidão fortemente agrícola, as análises não detectaram a presença de pesticidas (organoclorados e organofosforados).

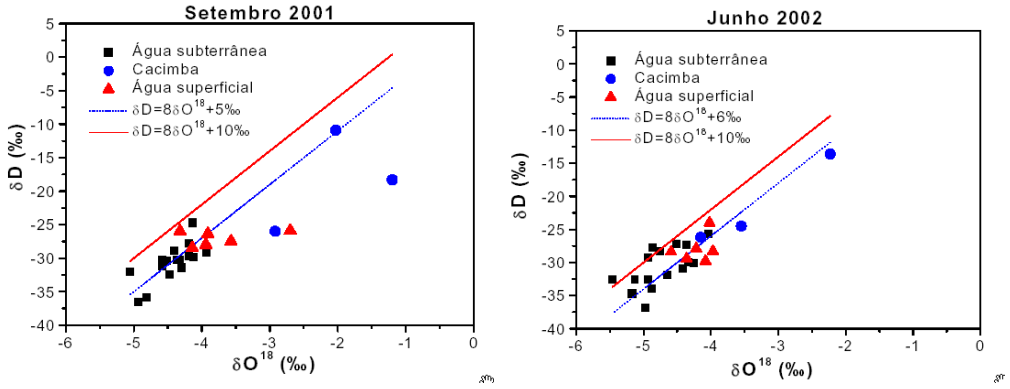
Ainda na bacia do rio das Fêmeas, Aquino (2003) selecionou 27 amostras entre 2001 e 2002 de água subterrânea e superficial para caracterização química e isotópica. De modo geral, a água subterrânea apresenta baixa salinidade com valores médios de condutividade elétrica de 19,01 µS/cm para setembro de 2001 e 12,04 µS/cm para junho de 2002. Os cátions principais, em valores médios, são o Fe total e Ca e os ânions principais são HCO_3 e Cl.

As águas subterrâneas tiveram uma média isotópica para o O^{18} de -4,4‰, desconsiderando os dados das águas das cacimbas, que por estarem sujeitas a maior evaporação são mais enriquecidas. Para as águas superficiais foi encontrado um valor médio de -3,8‰. Na estação seca (junho de 2002), o valor médio para as águas subterrâneas foi de -4,7‰ e para as águas superficiais de 4,2‰ (Figura 3.6).

Os valores de deutério variaram de -10,9‰ a 35,9‰ em setembro de 2001 e de -13,6‰ a 36,9‰ em junho de 2002 (Figura 3.6). As águas superficiais tiveram valores próximos aos das águas subterrâneas nos dois períodos sendo que no mês setembro de 2001 (final do período seco) algumas amostras mostraram-se enriquecidas em D e O^{18},

indicando efeito de evaporação. Na estação seca os valores apresentam-se agrupados, indicando uma clara conexão entre elas na região.

O mesmo comportamento pode ser observado no estudo realizado pela CPRN/UFBA entre 2005 e 2007, como pode ser visto na Figura 9, onde, no período seco o comportamento isotópico das águas superficiais é o mesmo que das águas subterrêneas.



Fonte: Aquino (2003)

Figura 8 - Gráficos com valores encontrados para D e O^{18} para as águas da bacia do rio das Fêmeas. Linha global de águas meteóricas em vermelho.

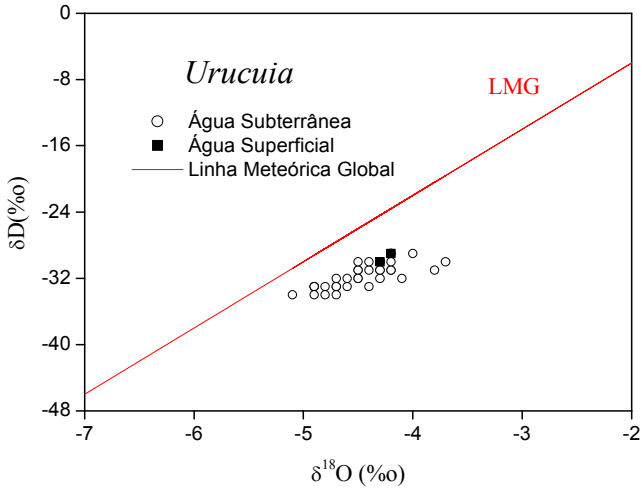


Figura 9 - Gráficos com valores encontrados para D e O^{18} para as águas da bacias dos rios Formoso e Arrojado

3.3. Análise dos poços tubulares

O processo acelerado de agricultura mecanizada, substituindo o cerrado nativo, através de irrigação permanente, principalmente em culturas de soja, café, arroz e algodão, tem demandado a perfuração de um grande número de poços no aqüífero Urucuia, tanto para abastecimento humano, quanto para extensivas irrigações sem, contudo, ter sido avaliada sua hidrogeologia com o nível de detalhe apropriado, havendo necessidade de se estabelecer uma rede de monitoramento para que se possa ter condições de avaliar a evolução das condições do aqüífero, tanto do ponto de vista da quantidade quanto da qualidade da água.

Segundo o inventário de poços feito pelo INGÁ em 2005, foram cadastrados 217 poços (Figura 10) na região oeste, esses dados referem-se às solicitações de outorga, esse número, certamente já teve um aumento significativo até o presente. Esses poços apresentam uma vazão média de 207 m^3/h.

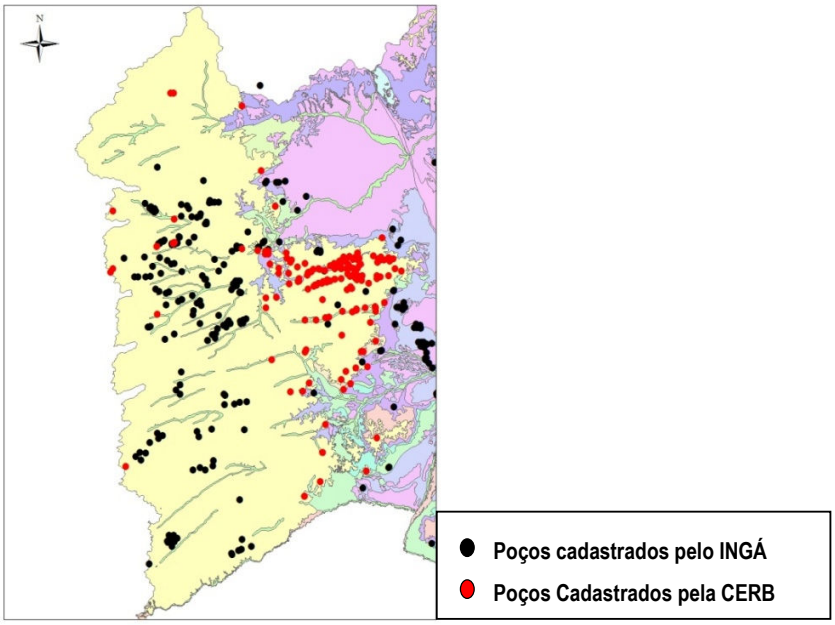


Figura 10 - Mapa de localização dos poços cadastrados pelo INGÁ

No trabalho mais recente, realizado pela CPRM-UFBA, entre 2005 e 2007, nas sub-bacias dos rios Formoso e Arrojado na bacia do rio Correntes, foi realizado monitoramento de níveis estáticos durante os dois anos do projeto.

O monitoramento dos poços na área de estudo consistiu no levantamento de dados piezométrico (nível estático – NE) em aproximadamente dois anos e meio, com um intervalo de aproximadamente 3 meses entre uma campanha de medição e outra. No total, foram monitorados 30 poços em toda bacia. A Figura 11 mostra um comparativo entre todos poços para as cinco campanhas de monitoramento, pode-se observar que a distribuição dos dados de NE não apresenta variabilidade nos níveis máximos, entretanto para os níveis mínimos observa-se que os mesmos sofrem uma influência do período seco, é importante observar que o período chuvoso vai de outubro a março, ficando o mês de julho no meio desse período. Os poços com níveis estáticos mais profundos não mostraram qualquer variação durante o período de monitoramento (Nov/05 a Mar/07).

Com a finalidade de se observar o comportamento espacial dos níveis estáticos foi efetuado uma interpolação, através do método de krigagem, entre os dados dos poços monitorados, para os meses de novembro de 2005 e julho de 2006, uma vez que para os demais períodos não há muita diferença, esses resultados são apresentados nas figuras 11 e 12 respectivamente.

Com relação aos níveis potenciomátricos, as Figuras 13 e 14 mostra a variação temporal dos níveis potenciométricos do aqüífero durante o período de estudo, observa-se que praticamente não há variação durante o período estudado. Torna-se necessário uma avaliação por um período de tempo mais longo, uma vez que os níveis estáticos encontram-se a profundidades relativamente grandes, fazendo com que a resposta do aqüífero aos eventos de precipitação, bem como o impacto da explotação de água, ocorra, possivelmente, num período de tempo maior que o analisado.

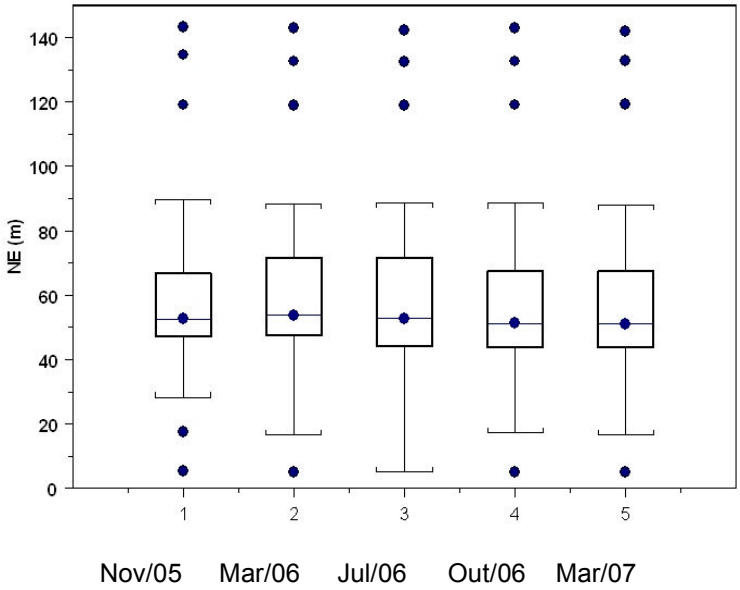


Figura 11 - Comparação entre os dados de nível estático (NE) para as cinco campanhas de monitoramento

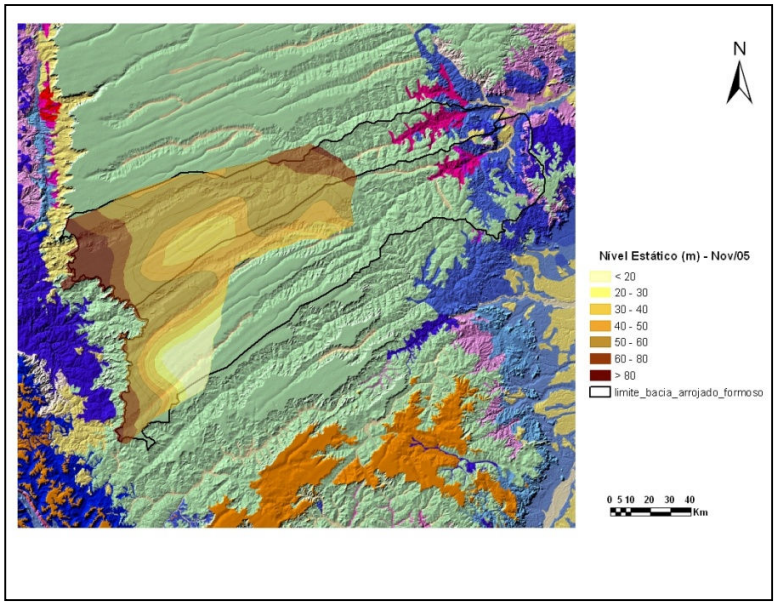


Figura 12 - Distribuição espacial dos níveis estáticos para a campanha de amostragem de Novembro/05

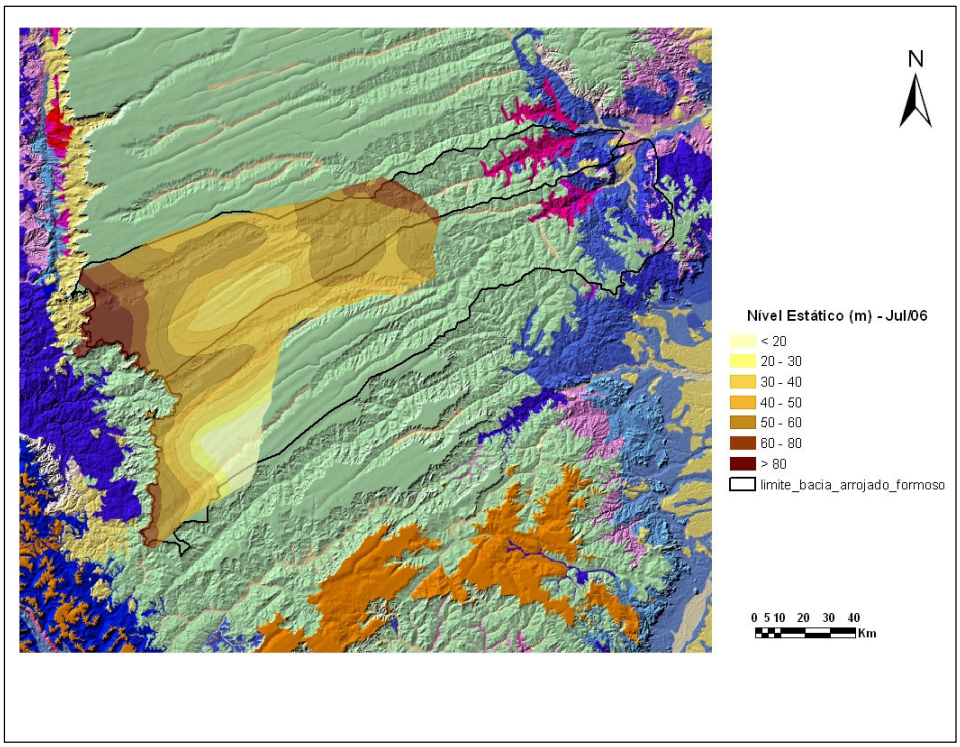


Figura 13 – Distribuição dos níveis estáticos para a campanha de amostragem de Julho/06

A partir dos níveis potenciométricos em uma série de pontos se pode traçar as curvas isopotenciométricas, essas curvas servem para definir a superfície potenciométrica, com base nas quais podem-se traças as linhas de fluxo que devem ser normais às curvas isopotenciométricas.

Para a elaboração dos mapas de superfície potenciométrica foram utilizados os valores de nível estático e a cota de cada poço referida a um datum. Os mapas foram gerados a partir de interpolação utilizando-se análise geoestatistica, com análise variográfica e krigagem

Através da análise dessas superfícies, pode-se notar que a direção predominante de fluxo se dá de SW para NE. As variações observadas são muito pequenas refletidas nas superfícies de cada período.

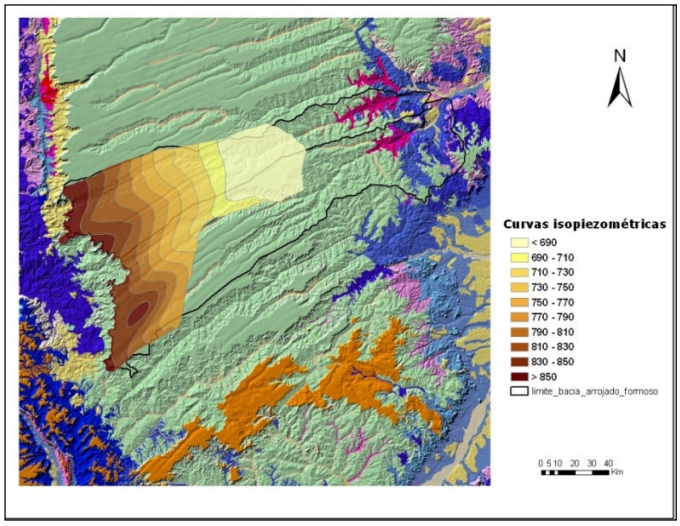


Figura 14 - Mapa potenciométrico para as bacias dos rios Formoso e Arrojado Novembro/05

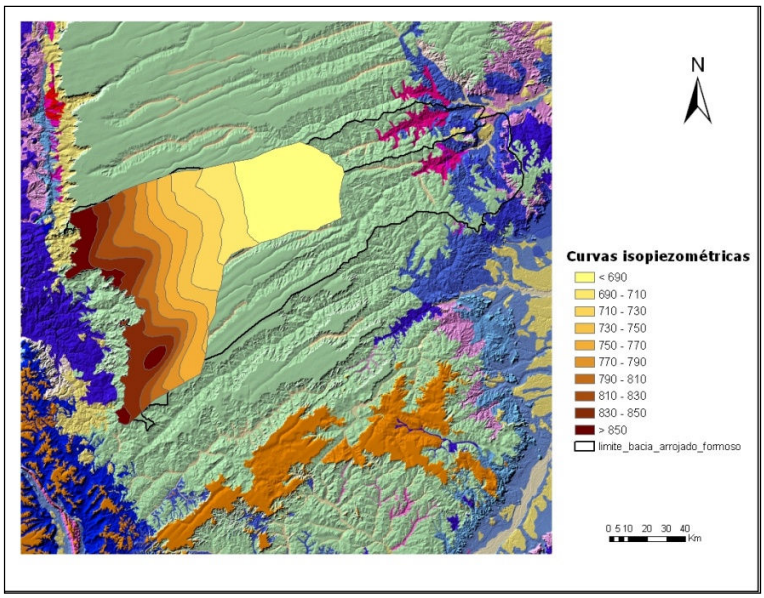


Figura 15 - Mapa potenciométrico para as bacias dos rios Formoso e Arrojado - Julho/06

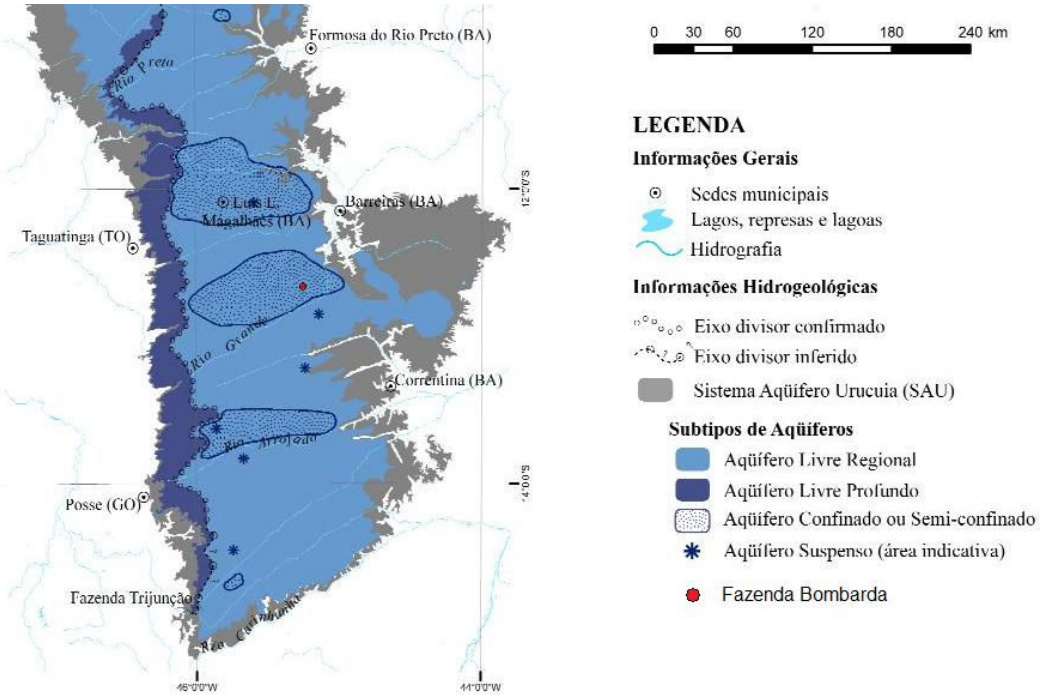
As linhas equipotenciais hidráulicas indicam haver, na área estudada, um forte relacionamento entre os fluxos superficial e subterrâneo. Todavia, se destaca a presença de uma zona de divergência, orientada praticamente de norte para sul dividindo o fluxo subterrâneo nas sub-bacia em duas partes: (i) uma, de maior extensão, na qual o fluxo ocorre de sudoeste para nordeste, em concordância com a drenagem superficial; (ii) outra, na qual o fluxo se processa em direção a Serra Geral dirigindo as águas subterrâneas para o estado de Goiás, este de forma bastante localizada, comportamento este também observado nos estudos realizados no na bacia do rio das Fêmeas.

4. TESTES DE BOMBEAMENTO

No trabalho desenvolvido por Gaspar (2006), é proposta uma compartimentação do sistema aqüífero Urucuia em aqüíferos confinado ou semi-confinado, livre regional e profundo, além da existência de aqüíferos suspensos. A realização dos testes de bombeamento neste trabalho, situa-se em uma das áreas consideradas pelo autor acima como uma área de ocorrência de aqüífero confinado ou semi-confinado

A Fazenda Bombarda (coord.UTM 0464404/8589722) está localizada no município de São Desidério e dista 98 km da cidade de Barreiras. Foram testados os poços 1 e 2, tendo ambos poços de observação com 100 metros de profundidade e distando 30 metros do poço de bombeamento (figura 16).

Sabendo-se que os poços bombeados possuem profundidade de 279 metros, e com base nos estudos geofísicos desenvolvidos por Amorim (2003), realizado próximo a área onde se localizam os poços, estima-se uma espessura de sedimentos do Urucuia na faixa de 300 metros, dessa forma considera-se que os poços testados são totalmente penetrantes (Figura 16).



Fonte: Gaspar (2006) modificado

Figura 16 - Localização do poço da Fazenda Bombarda em relação aos sistemas aqüíferos proposto por Gaspar (2006).

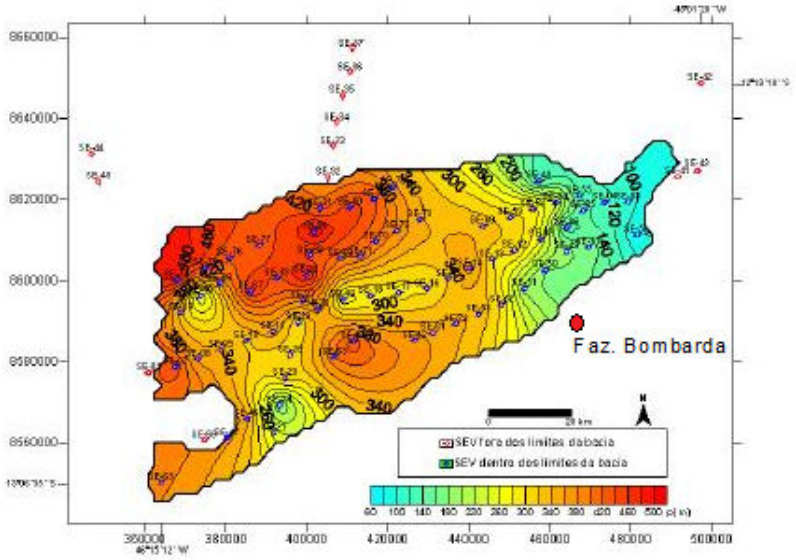


Figura 17 - Localização da Fazenda Bombarda em relação ao estudo desenvolvido por Amorim Jr. (2003) no oeste da Bahia.

4.1. Condições de realização do teste (Poço1)

O teste no poço 1 foi preparado para ter uma duração de 48 horas, entretanto, devido a sucessivas quedas de energia, o teste teve uma duração efetiva de 26 horas. O teste iniciou as 21:20 h do dia 27 de março. Houve interrupções de energia as 23:13 h (28/03), o poço foi religado as 7:23 h (29/03), houve outra queda de energia as 16:07 h (29/03), sendo que o sensor foi retirado 15:24 h no dia 02/04. Devido a essas interrupções de energia, durante a fase de teste, somente o trecho antes da primeira parada de energia foi analisado. O nível estático determinado foi de 24,55 metros.

Uma das preocupações durante o teste foi de que a água retirada do poço não fosse jogada próxima de modo a não retornar ao aquifero. Dessa forma, optou-se por utilizar o método de ultra-som para medição da vazão, jogando a água para o pivô com leitura automática a cada minuto. O equipamento é um Dynasonics série FTX. Durante o teste de bombeamento a vazão oscilou muito pouco, de 492 a 507 m3/h, com uma vazão de bombeamento média como de 497 m3/h.

O poço de observação dista 30 metros de distância do poço bombeado, possui uma profundidade de 100 metros e diâmetro de 2 polegadas.

4.2. Condições de realização do teste (Poço2)

O teste realizado no poço 2 iniciou no dia 25/04/2009 as 13:37 h com a previsão de 48 horas de bombeamento, entretanto, devido a constantes interrupções por quedas de energia, somente os primeiros 505 minutos foram utilizados para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos. Houve interrupções as 22:03 h do dia 25, além de outras sucessivas interrupções até o final do teste, as 12:26 h do dia 27/05. Antes de se iniciar o teste foi determinado o nível estático de 28,90 metros.

Neste poço não foi utilizado o método de ultra-som para determinação da vazão de teste. Na Fazenda Bombarda é prática comum a determinação da vazão com base na medição do volume de água por medida de tempo que sai no pivô. Como se observa que a

vazão dos poços ao longo do teste tendem a ter uma vazão constante, considerou-se a vazão determinada pelo pivô como característica do poço 2. A vazão de 520 m3/h foi utilizada na base de cálculos para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos. O poço de observação dista 30 metros do poço bombeado, possui uma profundidade de 100 metros e diâmetro de 4 polegadas.

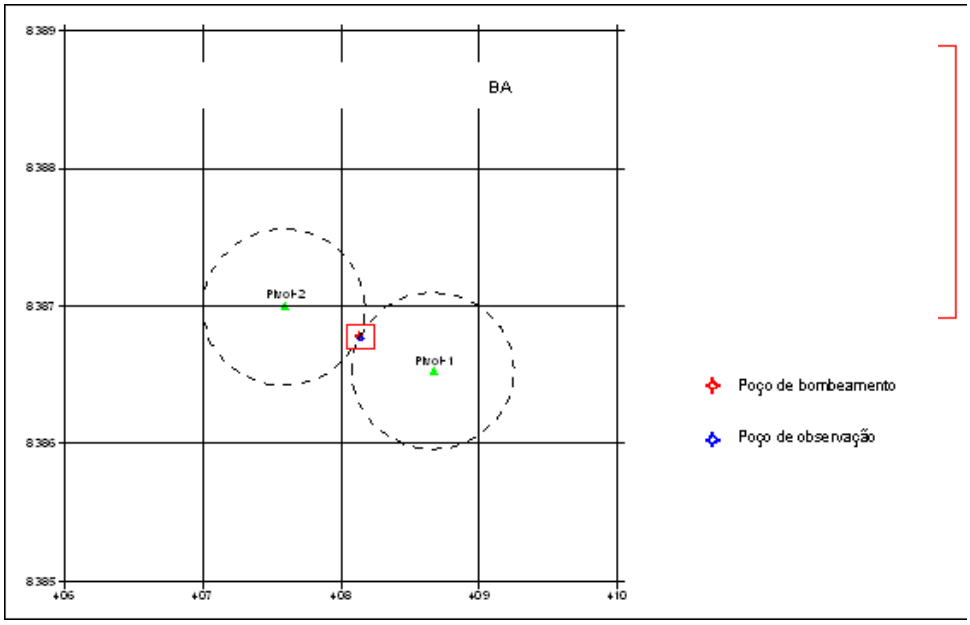


Figura 18 – Esquema de localização dos poços de bombeamento e observação

4.3. Métodos de Análise

O método mais utilizado para analisar aqüíferos não confinados é o método da curva de ajuste de Neuman, o qual determina não apenas o valor de transmissividade paar o aqüífero, como também as condutividades horizontal e vertical, o coeficiente de armazenamento e a prosidade efetiva (Kruseman, 1994)

De acordo com Kruseman, os pressupostos abaixo devem ser considerados quando se analisa esse tipo de aqüífero:

1. O aquífero é não confinado;

2. O aquífero tem extensão continua;
3. O aquífero é homogêneo, com espessura uniforme em toda a área de influência do teste;
4. Antes do teste de bombeamento nível freático é horizontal em toda a área a ser influenciada pelo teste;
5. O aqüífero é bombeado a uma taxa de descarga constante;
6. O poço é totalmente penetrante.
7. O aquífero é isotrópico (Kv = Kh) ou anisotrópico (Kv << Kh);
8. A influência da zona não saturada no rebaixamento pode ser considerada nula;
9. Sγ/S > 10;
10. O poço de observação deve penetrar toda a espessura do aquífero;

Os diâmetros dos poços de observação e de bombeamento devem ser pequenos de forma que o armazenamento pode ser negligenciado.

Condições Iniciais:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} * W(u_a, \eta)$$

$$S = \frac{4Tu_a}{r^2}$$

Condições Finais:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} * W(u_b, \eta)$$

$$S_y = \frac{4Tu_b}{r^2}$$

Equações Remanescentes:

$$\eta = \left(\frac{K_v}{K_h}\right) * \left(\frac{r}{D}\right)^2$$

$$K_h = \frac{Average\ (T)}{D}$$

$$K_v = \eta * K_h * \left(\frac{D}{r}\right)^2$$

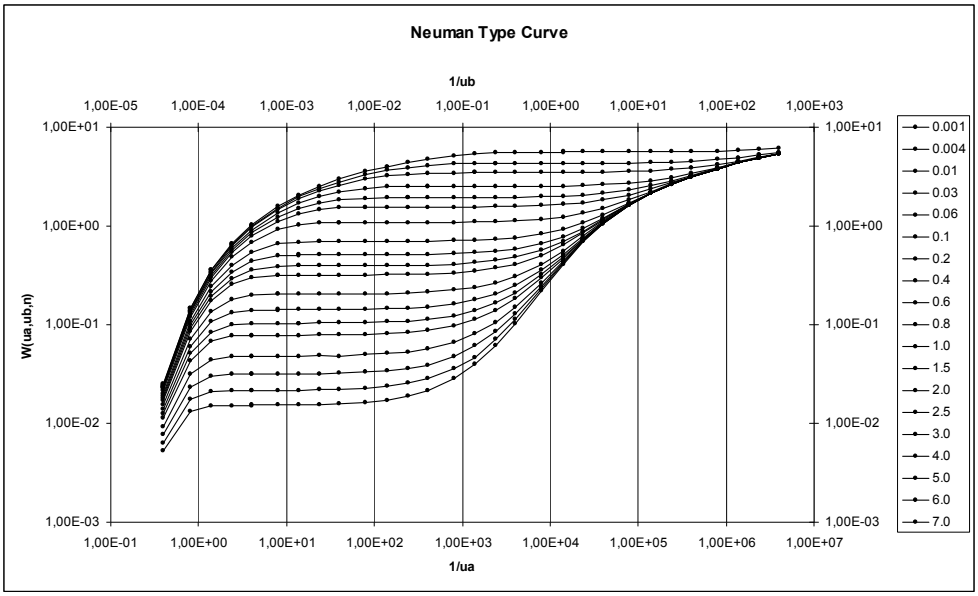


Figura 19 - Curva Tipo de Neuman

Para poços parcialmente penetrantes, o pressuposto que "o poço recebe água a partir de fluxo horizontal" não é valido. A penetração parcial faz com que a velocidade de fluxo na vizinhança imediata do poço seja maior do que seria no caso de poço totalmente penetrante. Este efeito diminui com o aumento da distância do poço.

De acordo com Kruseman (1994), este efeito é negligenciável se:

- For medido a uma distância 1,5 a 2 vezes maior do que a espessura saturada do aquifero.
- O aquifero tem uma anisotropia, então o efeito é negligenciável a distâncias:

. Caso contrário o método padrão de análise deve incluir permissão para penetração parcial.

Para testes de bombeamento de longa duração ( ), o efeito da penetração parcial alcança seu valor máximo para uma configuração particular de poço ou piezômetro e então permanece constante.

4.4. Análise dos Dados

Quando comparados o rebaixamento-tempo versus para diferentes fazendas, fica claro que a maioria dos testes de bombeamento não foram longos o suficiente para preencher inteiramente a porção tardia da curva. Como resultado, torna-se difícil ajustar um tipo de curva apropriada para o ajuste dos pontos tardios.

Seria recomendável que outros testes de bombeamento fosse realizados para tentar capturar a porção tardia da curva de rebaixamento na área de estudo, para comparar com os testes já realizados, Um dos grandes problemas a ser solucionado é a questão da queda de energia, que é bastante freqüente nas fazendas. O ideal seria a utilização de o gerador para evitar as constantes interrupções de energia durante os testes.

Dois métodos foram utilizados para analisar os testes de bombeamento, a método de ajuste de curva de Neuman que assume penetração total dos poços e o método de ajuste da curva de Streltsova que assume penetração parcial dos poços. Ambos os procedimentos foram realizados manualmente através do Excel e também através do programa Aquifer Test versão 4.0.

A exata espessura da zona saturada do aquífero não é conhecida na Fazenda Bombarda. De acordo com outros estudos, pode-se assumir uma espessura saturada de 200 a 300 metros na área onde se localiza a fazenda.

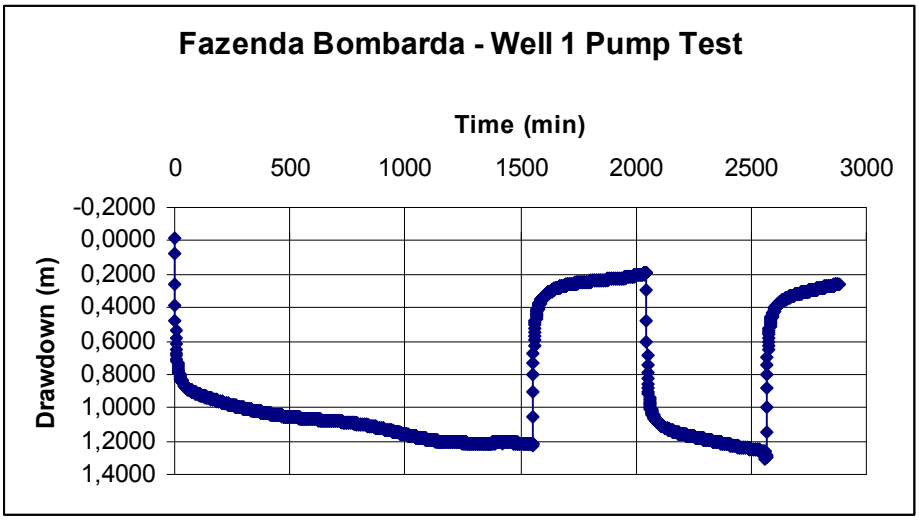


Figura 20 - Dados do teste de bombeamento para o poço 1 Fazenda Bombarda

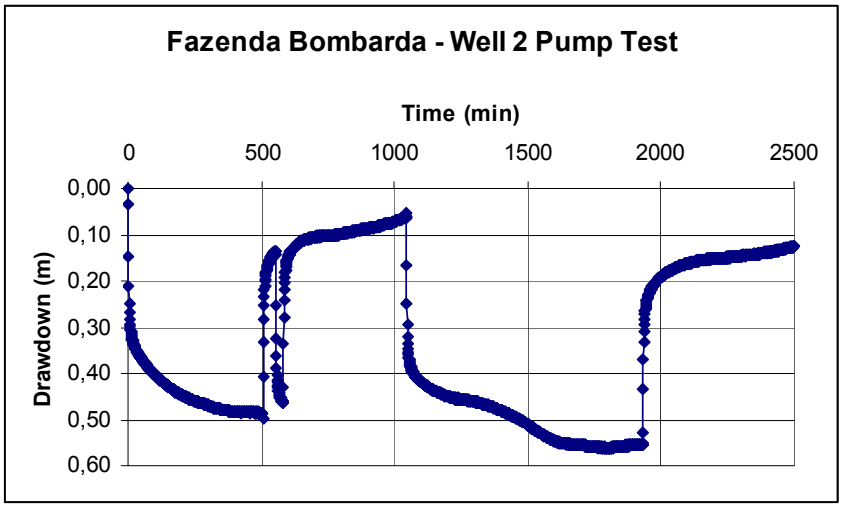


Figura 21 - Teste de bombeamento para o poço 2 Fazenda Bombarda**.**

Tabela 2 - Propriedades do Aquífero para os poços 1 e 2 na Fazenda Bombarda

	Q (m3/h)	r (m)	b1 (m)	b2 (m)	D (m)
Poço 1	497	30	279	100	270
Poço 2	520	30	279	100	270

Tabela 3 - Parâmetros do aquifero - Método de Neuman

Poço	η	T inicial (m2/d)	T final (m2/d)	S	Sγ	Kv (m/d)
1	0,1	$1,720 \times 10^{3}$	$1,619 \times 10^{3}$	$4,645 \times 10^{-3}$	$4,053 \times 10^{-1}$	50,08
1	0,2	$1,228 \times 10^{3}$	$1,165 \times 10^{3}$	$4,424 \times 10^{-3}$	$4,959 \times 10^{-1}$	71,82
2	0,2	$3,225 \times 10^{3}$	$9,896 \times 10^{2}$	$7,465 \times 10^{-3}$	$1,649 \times 10^{-1}$	173,26
2	0,4	$2,036 \times 10^{3}$	$2,032 \times 10^{3}$	$8,800 \times 10^{-3}$	$4,660 \times 10^{-1}$	334,55
2	0,6	$1,560 \times 10^{3}$	$1,401 \times 10^{3}$	$6,418 \times 10^{-3}$	$6,967 \times 10^{-1}$	365,14

Tabela 4 - Valores médios para Transmissividade e percentual de diferença

	T inicial (m2/d)	T final (m2/d)	% Diferença	T médio (m2/d)
Poço 1	$1,474 \times 10^3$	$1,392 \times 10^3$	5,9%	$1,433 \times 10^3$
Poço 2	$2,274 \times 10^3$	$1,474 \times 10^3$	54,2%	$1,874 \times 10^3$
% Diferença entre os poços	54,2%	5,9%	-	25,7%
Média para os dois poços	$1,954 \times 10^3$	$1,441 \times 10^3$	35,5%	$1,698 \times 10^3$

Tabela 5 - Valores médios para Armazenamento e porosidade efetiva (Neuman)

	S	S_Y
Poço 1	$4,534 \times 10^{-3}$	$4,506 \times 10^{-1}$
Poçol 2	$7,561 \times 10^{-3}$	$4,425 \times 10^{-1}$
% Diferença entre os poços	66,8%	1,8%
Média para os dois poços	$6,350 \times 10^{-3}$	$4,458 \times 10^{-1}$

A partir da análise dos resultados obtidos observa-se que os valores encontrados, principalmente no poço 1, o qual teve as condições de bombeamento mais adequadas, com um maior tempo, aproximam-se daqueles obtidos em testes anteriores.

As tabelas 1 e 2 abaixo mostram uma síntese dos valores individuais e médios respectivamente, encontrados para os parâmetros de transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S), em estudos anteriores realizados no Aquífero Urucuia, além de apresentar os resultados obtidos nestes estudo.

Os resultados das análises a partir das curvas de rebaixamento tempo dos testes de bombeamentos, mostram que os valores obtidos de transmissividade refletem uma boa permeabilidade hidráulica para o sistema aqüífero Urucuia, o

qual é um aqüífero de rocha consolidada. O valor da sua transmissividade está dentro da faixa dos aqüíferos de material não-consolidado. Em relação a qualidade do armazenamento, pode-se dizer que os valores dos coeficientes determinados pelos testes são típicos para um aqüífero confinado ou semiconfinado, entretanto são muito pequenos para ser característicos de um aqüífero freático, contrariamente à forma como sempre foi classificado o aqüífero Urucuia.

Tabela 6 - Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Urucuia

Número	Poço	T (m²/dia)	S	Sy
1	Fazenda Espirito Santo	259	1,48 x10-4	
2	Edílio Poleto P4B-P3O	1411	1,5 x 10-4	-
3	Fazenda Marechal Rondon	279	1,48x10-4	
4	Fazenda Hirata	223	1,01x10-4	
5	Poço sede 2/LEM	405	1,87x10-4	
6	Faz. Campinas P250 O	1321	7,5 x10-5	
6	Faz. CampinasP90 O	1467	3x10-4	1,25x10-2
7	Faz. Sto Antônio	1506	5,9x10-4	1,43x10-2
8	Pov. Roda Velha de Baixo	394,8	9,1x10-4	4,7xx10-2
9	Fazenda Campo Aberto	1427,3	2,8x10-4	
10	Fazenda São Miguel	3542,4	8,6x10-3	1,4x10-2
11	Fazenda Buriti	1382,4	8,6x10-3	1,68x10-2
12	Fazenda Bobarda-Poço 1	1433	4,534x10-3	4,51x10-2
13	Fazenda Bobarda-Poço 2	1874	7,561x10-3	4,43x10-2

Tabela 7 - Valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos para o aqüífero Urucuia

	T (m²/dia)	S	Bacia
Schuster et al (2002)	1391	2,6 x 10-4	Rio dos Cachorros
	1408	1,5 x 10-4	Rio dos Cachorros
Nascimento (2003)	1313	7,5 x 10-4	Rio das Fêmeas
	1460	3,0 x 10-4	Rio das Fêmeas
Schuster (2003)	1391	2,74 x 10-4	Rio de Janeiro
	1753	5,39 x 10-4	Rio de Janeiro

O aqüífero é subdividido em dois fácies geológicos. O pacote superior do sistema, denominado de Formação Serra das Araras, com a espessura menor de cerca de 50 metros, é um aqüífero de tipo fissurado e fraturado de porosidade secundária, enquanto que o pacote inferior de arenito, denominado Formação Posse com uma espessura entre 150 e 250 metros, correspondendo a um aqüífero de porosidade primária. O sistema aqüífero Urucuia tem sido definido como um só aqüífero do tipo freático, levando em consideração a sua não-homogenidade na extensão vertical, considerando a transmissividade do pacote superior menor que aquela do pacote inferior. Entretanto, é possível, que esse sistema aqüífero seja constituído por duas unidades hidrogeológicas diferentes, sendo o pacote superior um aqüífero que confine parcialmente o pacote inferior, formando assim um sistema aqüífero semi-confinado.

5. MODELAGEM

A água subterrânea move-se de áreas de mais alto potencial para as de baixo potencial. Apesar do conceito de potencial envolva pressão, gravidade e energia cinética, o que se mede na prática é a altura do nível d água acima de um datum de referência nos poços.

A lei de Darcy descreve o fluxo laminar da água em um cilindro do comprimento L e área de seção A preenchido com meio poroso de condutividade

hidraulica K. A vazao da saída Q é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico ao longo do seu percurso, $\Delta h/\Delta L$ e o fator de proporcionalidade e a condutividade hidraulica, K, expressa em comprimento por tempo [L/T]:

$$Q = A \cdot K \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad [L^3/T] \qquad ($$

Sabendo-se que $q = Q/A$ é a descarga específica, substitui-se na equação acima o termos Q e A

$$q = -K \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad [L/T] \qquad \textbf{(2)}$$

O principio básico de fluxo e a lei de continuidade ou lei de conservação da massa, que é expressa através das vazões de entrada e saída em um volume representativo.

$$Q_{saida} - Q_{entrada} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \qquad \textbf{(3)}$$

sendo Q_{saida} a vazao que sai do sistema, $Q_{entrada}$ a vazão que entra no sistema, ΔV corresponde ao volume de água retirado ou adicionado e Δt o intervalo de tempo. A vazão define-se como:

$$Q = qA = \frac{\Delta V}{\Delta t} = KAi = K \frac{\partial h}{\partial l} \qquad \textbf{(4)}$$

onde q é a vazão especifica, i e o gradiente hidráulico e A a área da seção. Inserido na equação de continuidade (3) as vazões especificas qx, qy, qz para as três direções x,y,z chega-se:

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\Delta V}{\Delta t} \qquad \textbf{(5)}$$

A definição do coeficiente de armazenamento especifico é:

$$S_s = -\frac{\Delta V}{\Delta h \Delta x \Delta y \Delta z} \Bigg| \qquad \textbf{(6)}$$

onde Δx, Δy e Δz = três dimensões do volume representativo, Δh = variação da carga hidráulica e S representa o coeficiente de armazenamento especifico.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = -S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z \Bigg| \qquad \textbf{(7)}$$

. .

A equação de continuidade pode então ser escrita como:

$$\begin{aligned} q_x &= -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ q_y &= -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \\ q_z &= -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned} \qquad \textbf{(9)}$$

onde *Kx, Ky e Kz* são os componentes principais do tensor simétrico da condutividade hidraulica, nas direções *x, y, z* e *∂h/dx, ∂h/dy, ∂h/dz* gradientes hidráulicos nas direções *x, y, z,* respectivamente. Finalmente, obtém-se a equação geral para o fluxo subterrâneo em meio poroso anisotrópico e não-homogêneo:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \pm W \qquad \textbf{(10)}$$

1. $h = h_1$ - **Condição de Dirichlet**, carga hidráulica especificada no contorno do domínio
2. $-T.\ \nabla h.n = q_1$ **Condição de Neumann**, fluxo especificado no contorno do domínio
3. $-T.\ \nabla h.n = \tau(h' - h)$ **Condição de Cauchy** fluxo dependente da carga hidráulica

sendo T = transmissividade, h_1 = carga hidráulica no aquífero e h' = carga hidráulica num aquífero superior e/ou inferior, q_1 = fluxo especificado, τ = condutância e $\vec{n}$ = vetor unitário ortogonal ao contorno.

A partir das condições acima especificadas estabelece-se a modelagem e simulação do sistema aqüífero, constituindo-se em ferramentas importantes no estudo das águas subterrâneas, na gestão e no planejamento da utilização desses recursos numa bacia hidrográfica. Além disso, o uso de modelos matemáticos ajuda a sistematizar as informações de campo e identificar áreas onde necessitam de mais informações. Eles permitem fazer previsões de longo prazo sobre o comportamento hidrodinâmico do aqüífero em estudo, caso tenha sido calibrado satisfatoriamente o modelo estabelecido.

Para a elaboração de uma modelagem deve-se definir claramente os objetivos para então proceder a elaboração do modelo conceitual como forma esquemática de representação do sistema aqüífero, identificação das unidades hidrogeológicas, identificação das fronteiras físicas e hidráulicas do modelo, identificação das condições de contorno, levantamento dos parâmetros hidrodinâmicos e levantamento das entradas e saídas hídricas (recargas e bombeamentos).

A elaboração do modelo conceitual necessita das informações estruturais e hidrodinâmicas abaixo, as quais foram obtidas a partir dos diversos mapas topográficos, geológicos, aerofotos e imagens satélites, além dos trabalhos de campo na área de estudo, assim foram obtidas as seguintes informações:

- Geometria: cota da base e topo do aqüífero, localização dos limites e fronteiras;
- cota dos poços e suas vazões e os níveis d'água (cargas hidráulicas) para confecção dos mapas potenciométricos e de fluxo durante vários períodos de tempo;
- Identificação das áreas de recarga e descarga, taxas de recarga;
- Interconexões hidráulicas entre os mananciais superficiais e o sistema aqüífero;

- valores de transmissividade e do coeficiente de armazenamento a partir dos testes de bombeamento.

O modelo numérico inicial foi feito a partir dos seguintes passos, através dos quais é possível obter as informações básicas necessárias:

- Inserção do mapa digitalizado e georeferenciado no programa MODFLOW;
- Avaliação dos dados geológicos e geomorfológicos;
- Determinação das cotas da superfície e do embasamento do sistema aqüífero a partir do levantamento geofísico e topográfico;
- Incorporação dos dados dos poços cadastrados no modelo com suas localizações e vazões;
- Estimativa da largura, profundidade e declividade dos rios perenes na bacia em estudo;
- Atribuição do valor de transmissividade e armazenamento a partir de testes de bombeamento executados na bacia em estudo;

O sistema aqüífero foi considerado como uma unidade hidrogeológica do tipo confinado/não-confinado com transmissividade variável, baseado nas observações de campo e dados hidrodinâmicos. Nos primeiros cálculos foi utilizada uma distribuição homogênea da condutividade hidráulica (K = 5,5 m/dia) baseado no resultado dos testes de bombeamento realizados na bacia.

A distribuição da recarga foi também considerada homogênea inicialmente (R=6,5·10-4 m/dia, a qual é equivalente uma taxa de recarga média de 264 mm/ano). A taxa de recarga foi estimada a partir da análise dos hidrogramas registrados nas bacias do rio das Fêmeas e bacias dos rios Formoso e Arrojado.

Para a condutividade hidráulica, foi atribuído um valor estimado da literatura de K=1m/dia da camada de colmatação do leito de rio. Assim foi calculada a respectiva condutância de cada rio, conhecendo aproximadamente a sua largura e profundidade em vários trechos ao longo do seu percurso.

Com estes parâmetros hidrodinâmicos foi calculado um modelo inicial e obtido o mapa potenciométrico calculado, o qual foi utilizado na comparação com os mapas potenciométricos confeccionados com base nos níveis d' água medidos em

nos poços localizados na área de estudo. A Figura 22 abaixo mostra as áreas onde já foram realizados testes de bombeamento e modelagem, neste estudo a modelagem foi realizada na sub-bacia do Alto Rio Grande, que fica entre as bacias do Rio das Fêmeas, modelagem realizada por Schuster, 2002 e dos Rios Formoso e Arrojado, modelagem feita por Luz, 2007.

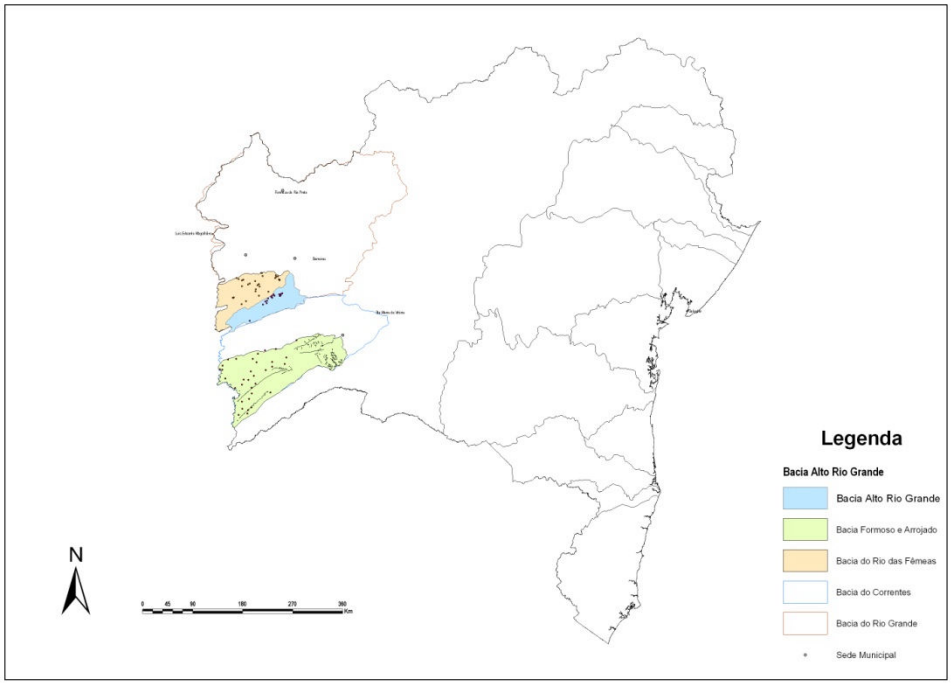


Figura 22 – Mapa de localização das áreas onde foram realizadas modelagens

Para elaboração da modelagem foi utilizado o programa MODFLOW, usando-se o Método de Diferenças Finitas (MDF). O método utilizado subdivide a região de modelamento numa malha formada por retângulos com espaçamentos constantes e/ou variáveis. Assim esquematizada a região, a carga hidráulica é calculada para cada célula da malha. Para um modelamento consistente é necessário definir uma escolha adequada da discretização do sistema aqüífero, seleção do intervalo de tempo de simulação, o estabelecimento das condições de contorno, a introdução dos valores iniciais da carga hidráulica, a seleção inicial dos parâmetros hidrodinâmicos do aqüífero junto com as taxas estimadas de recarga e bombeamento.

Foram realizadas quatro simulações utilizando-se cenários de explotação para as estações seca e chuvosa. A primeira situação para 1 ano de duração na estação seca, considerou-se retiradas diárias durante o período compreendido entre os meses de abril a novembro, correspondendo a 8 meses do ano. Durante esse período foi considerado um volume total anual de 19.440.000 m3 (500 m3/dia/poço), durante 240 dias nos 162 poços cadastrados.

A segunda situação para a estação chuvosa, sem retirada de água, considerando uma recarga de 258 mm mensais, também para o período de 1 ano.

A terceira situação considerada foi uma retirada igual ao primeiro caso, considerando um período de 10 anos.

A quarta situação foi considerada nas mesmas condições que a segunda situação, considerando um período de 10 anos.

consideradas para a simulação transiente e as duas situacoes para o regime estacionário, e a os procedimentos adotados em cada simulação.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo gerado apresentou uma calibração satisfatória, para a distribuição de condutividade hidráulica e distribuição da recarga, fornecendo mapa potenciométrico, um mapa potenciométrico residual, confeccionado a partir da diferença do mapa potenciométrico com poços bombeados e do mapa potenciométrico com poços não bombeados.

Foram calculados, a partir das cargas hidráulicas, o fluxo advectivo visualizado com linhas de corrente em locais selecionados com respectivas marcas de tempo de 50 anos. O valor atribuído da porosidade efetiva foi n_{ef} = 0,1. Todas as linhas de corrente levam aos rios mais próximos mostrando assim o caminho de fluxo subterrâneo da área de recarga para área de descarga.

O mapa potenciométrico residual da simulação de um ano duração (mapa potenciométrico para a estação seca menos mapa para estação de chuva) mostra que a simulação provoca um rebaixamento em todas as partes da bacia, pois o raio de influência de cada poço bombeado depende diretamente do alto valor da

transmissividade e, inversamente, ao baixo valor do coeficiente de armazenamento encontrados na bacia em estudo em função do tempo de bombeamento. Todas as simulações executada mostram que o aqüífero apresenta uma suave declinação e termina em novo estado de equilíbrio hidráulico.

Os testes de aqüífero realizados na Fazenda Bombarda indicaram valores muito próximos aos valores encontrados por outros autores em estudos anteriores (Nascimento (2002), CPRM (2007)). Principalmente, os testes de longa duração indicam um comportamento de aqüífero livre com drenagem retardada, segundo modelo Stretsolva – Neuman. Tal análise é bem demonstrada quando são apresentadas as curvas de bombeamento dos poucos testes já realizados para o aqüífero Urucuia.

Os resultados dos testes de bombeamento refletem a potencialidade do aqüífero. Os parâmetros obtidos nos dois testes realizados na Fazenda Bombarda resultam em valores médios de 1,698 x 10^3 m^2/dia (T - transmissividade), 6,355 x 10^{-3} (S - coeficiente de armazenamento) e 4,458 x 10^{-1} (S_y - porosidade eficaz).

De modo geral, os dados de bombeamento indicam um pequeno rebaixamento nos poços de observação. No teste realizado pela CPRM (2007) na Fazenda São Miguel (COBA) em 1491 minutos de bombeamento, o poço de observação, localizado a 22 metros de distância, rebaixou 38 cm para uma vazão média de 390 m^3/h. Embora o rebaixamento seja pouco significativo, a recuperação do nível estático original é muito lenta. No teste da Fazenda São Miguel, após mais de 26 h de recuperação, 70% do nível rebaixado foi recuperado. Somente com quase 10 horas de recuperação, 50% do nível foi recuperado. No poço da Fazenda Buritis, embora não tenha se avaliado a recuperação do poço de observação, localizado também a 22 metros do poço bombeado, houve um rebaixamento de 18 cm em 21 horas de bombeamento a uma vazão média de 11 m^3/h.

No teste realizado na Fazenda Bombarda, no poço de observação distante 30 metros do poço bombeado 1, após quase 26 horas de bombeamento a uma taxa média de 497 m^3/h, houve um rebaixamento de 1,22 metro (figura 1). Logo após houve uma queda de energia com duração de pouco mais de 8 horas e observou-se uma recuperação 84% do nível d'água. Em 7 minutos houve a recuperação de 50% do nível.

No poço 2 da Fazenda Bombarda, após mais de 8 horas de bombeamento com uma vazão de 520 m^3 /h, o poço de observação distante 30 metros do poço bombeado, este rebaixou somente 49 cm (figura 2). Houve interrupção do bombeamento por quase 8 horas devido a uma queda de energia o que resultou na recuperação de 90% do nível. Em 6 minutos houve recuperação de 50% do nível.

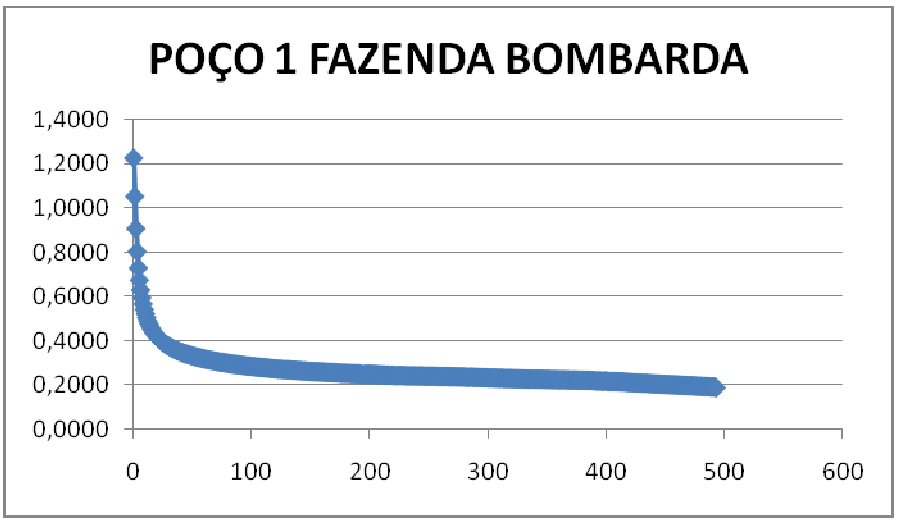


Figura 23 - Gráfico rebaixamento (m) x tempo (min) de bombeamento

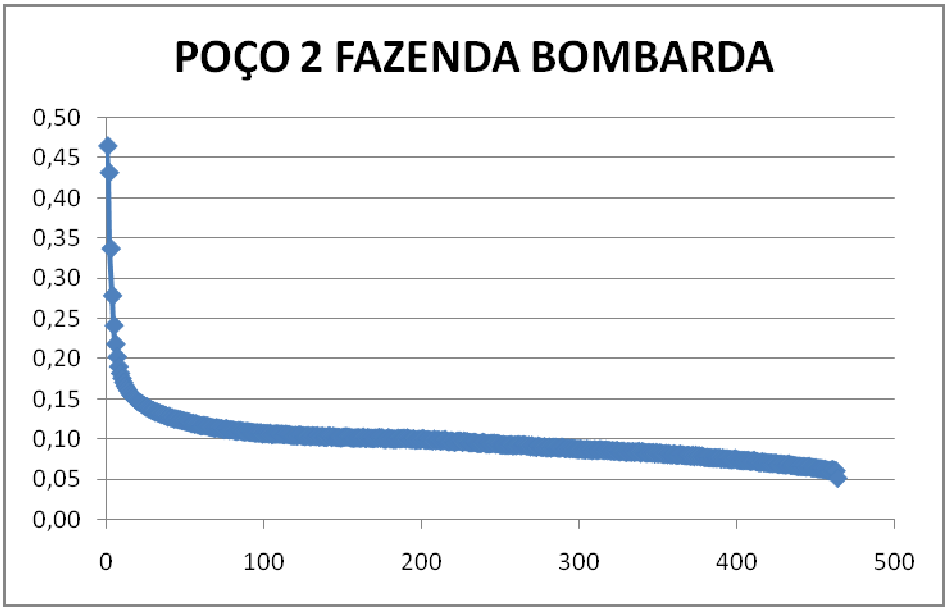


Figura 24 - Gráfico rebaixamento (m) x tempo (min) de bombeamento

6.1. Definição das distâncias mínimas entre poços tubulares e entre esses mananciais superficiais para a conservação do aqüífero

O primeiro condicionamento de interesse é o do raio de influência de um poço. Em geral em aqüíferos livres extensos, o fluxo hidráulico para poços em bombeamento é sempre transiente. Todavia, esse fluxo tende a um regime quasi-estacionário por que os rebaixamentos na superfície freática em torno do poço diminuem gradativamente tanto com a distância quanto com o tempo. Uma estabilidade aproximada neste fluxo é alcançada após um certo período de bombeamento que é dependente das propriedades hidráulicas do meio. Nessa área de estabilidade o poço pode ser tratado como estando em equilíbrio dinâmico com um corpo hipotético de água definido por um raio de influência do poço r_i.

Esse corpo de água supre exatamente a vazão do poço e mantém inalterada a profundidade original do fluxo. O raio de influência de um poço que penetra totalmente um aqüífero livre sem recarga, pode ser estimado pela seguinte expressão (Hantush, 1964).

$$R = 1{,}5 \cdot \sqrt{T \cdot \frac{t}{S}}$$

na qual T é a Transmissividade, S é o Coeficiente de Armazenamento e t o tempo de bombeamento. A noção de raio de influência é útil tanto na definição de um espaçamento ótimo entre poços numa bateria de extração, quanto na fixação de uma zona de proteção em torno do poço.

Tomando como exemplo ilustrativo pode-se calcular o raio de influência do poço utilizado neste estudo na Fazenda Bombarda, Para uma espessura saturada de 250m, um rebaixamento máximo induzido no poço de 20m (conforme dados de um ensaio de 48 horas de duração) a uma vazão constante de 497m^3/h, resulta um raio de influência do poço cerca de 1000m

Em 2000, Lima calculou o raio de influencia de 1500 metros para o bombeamento contínuo durante um ano tendo como base o poço NH2 da Fazenda Novo Horizonte na bacia do rio do Cachorro.

Em 2002, Schuster concebeu estudos também na bacia do rio do Cachorro e com base nos parâmetros hidrodinâmicos (T=1296 m^2/dia e S=2,54 x 10^{-4}) determinados em teste de aqüífero em poço da Fazenda Poleto, definiu um raio de influência, depois de 10 horas de bombeamento, de aproximadamente 2280 m. Com base nesses cálculos, ele considerou que os poços deveriam manter uma distancia em torno de 5000 m, para que não haja interferência no regime de bombeamento de 10 horas de duração. Os valores encontrados neste estudo são próximos dos valores encontrados por Schuster (2002)

Nos últimos anos, tais resultados têm servido como parâmetro para o Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGA), órgão estadual que regulamenta as outorgas de recursos hídricos na Bahia, na concessão de outorga de águas subterrâneas. Em estudos realizados por Pimentel (1999), constatou-se que a vazão do rio das Fêmeas tem uma contribuição em 90% do seu fluxo de água subterrânea. Outros estudos CPRM (2007) e Gaspar (2006) demonstram uma forte dependência das drenagens superficiais ao aporte de águas subterrâneas do aqüífero Urucuia. Ou seja, poder-se-ia estender facilmente os resultados de Pimentel (op. cit.) às outras bacias hidrográficas do oeste da Bahia frente a homogeneidade do arcabouço geológico.

Um outro importante condicionamento diz respeito à resposta do meio quando o poço de extração se situa próximo ao canal de um rio hidraulicamente conectado ao aqüífero e que irá funcionar como uma fonte de recarga (condição prevalescente na parte baixa do curso do rio do Cachorro). Sabe-se que, inicialmente, a água produzida é extraída do armazenamento do aqüífero através da expansão do cone de bombeamento do poço.

Eventualmente, quando este cone alcança o rio, os níveis estáticos próximo ao vale irão ser rebaixados e a água do rio começará a penetrar o aqüífero como infiltração lateral. A progressão do cone continua a crescer até que a extensão de fluxo de recarga pelo rio equilibre a taxa de bombeamento do poço. Pode-se recomendar como uma condição ótima de operação, que o bombeamento do poço seja feito a uma vazão tal que nenhuma água do rio entre no aqüífero por infiltração induzida pelo bombeamento. Isto significa que a exploração do aqüífero não irá alterar, na prática, a drenagem superficial. Tal condicionamento

pode ser facilmente dimensionado, dadas as condições hidrológicas especificadas para o aqüífero Urucuia (Strack, 1989).

Os estudos relacionados a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos no aqüífero Urucuia consiste em testes de aqüífero principalmente em poços de grande vazão. Entretanto, em estudos desenvolvidos pela CPRM (2007) foi realizado um teste de aqüífero em um poço de baixa vazão na Fazenda Buriti, município de Jaborandi, com acompanhamento do rebaixamento do nível d'água em poço de observação situado a 22 metros de distância. A tabela 1 indica as coordenadas UTM dos referidos poços.

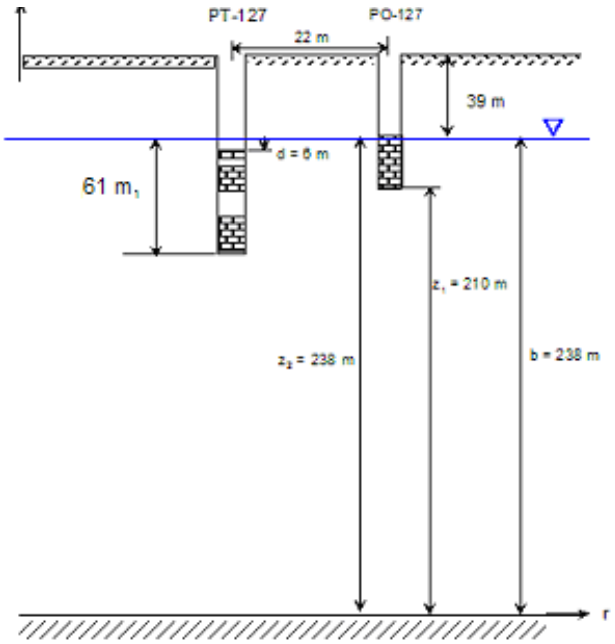
Tabela 8 – Localização dos poços usados no teste da Fazenda BURITI

Poço	X -kmE	Y-kmN	Z(m)	r (m)	NE	Boca(m)
Poço bombeado	447,523	8491,722	795	0,076	39,6	1,70
Poço de observação	447,542	8491,708	795	22,0	38,6	0,60

O poço bombeado apresenta uma profundidade de 100 metros enquanto o poço de observação 70 metros. O teste teve duração de bombeamento de 21 horas. A vazão bombeada, medida na boca do poço pelo método volumétrico, foi de aproximadamente 11 m³/h e se manteve constante durante todo o teste, graças à grande produtividade do aquifero. Os níveis dinâmicos medidos com sonda elétrica no poço bombeado praticamente estabilizaram depois dos primeiros 30 minutos de bombeamento, com um rebaixamento de 3,56 m.

A profundidade do poço, bem como o posicionamento dos filtros, indicam que a zona de captação de água subterrânea é a Formação Serra das Araras, porção superior do aqüífero Urucuia. Ou seja, a caracterização do aqüífero Urucuia neste teste se refere as características hidrodinâmicas do da Formação Serra das Araras na região onde se localiza o poço.

A geometria dos poços testados é ilustrada na figura 1. Nota-se que tanto o poço bombeado quanto o observado apresentam pequena penetração no sistema aquifero.



Fonte: CPRM (2007)

Figura 25 - Geometria dos poços testados na Fazenda Buriti no aquifero livre Urucuia.

A avaliação do teste de aqüífero se deu através das curvas padrão tipo A e tipo B de Neuman (1972) geradas com os dados da geometria dos poços.

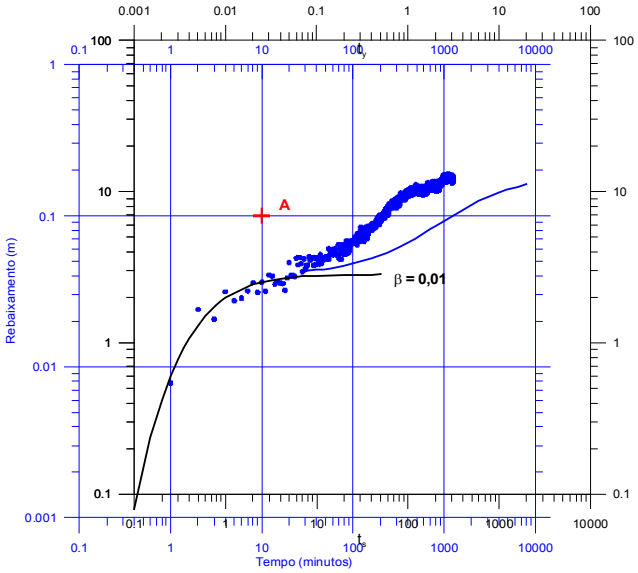


Figura 26 - Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo A no teste da Fazenda *Buriti.*

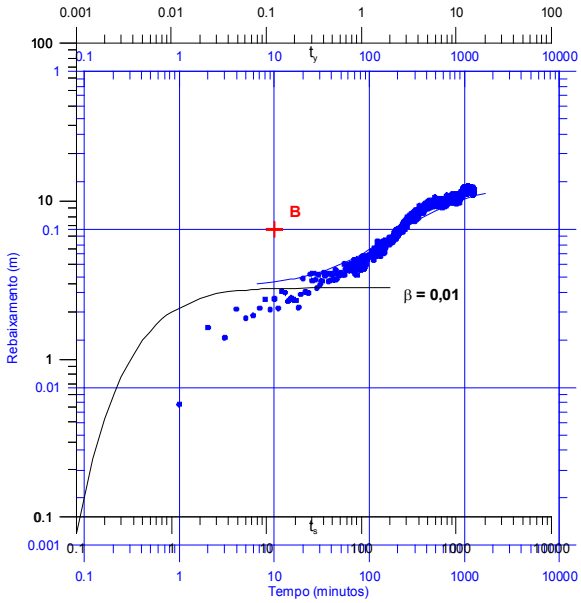


Figura 27 - Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo B no teste da Fazenda Buriti

Tabela 9 - Valores médios adotados para a Fazenda BURITI

Transmissividade	T m2/s	1,6E-02
Coeficiente de armazenamento	S	4,7E-03
Porosidade efetiva	Sy	1,7E-01
Fator de drenagem retardada	□=r/D	0,01
Espessura saturada	b (m)	238
Condutividade hidráulica horizontal	K_h (m/s)	6,9E-05
Razão de anisotropia	KD = K_z / K_r	1,17
Condutividade hidráulica vertical	K_z m/s	8,1E-05
Razão de armazenamento	S/Sy	5,1E-02
Difusividade	T/(S+Sy)	9,5E-02

Os parâmetros determinados neste teste de aqüífero são muito próximos aos valores encontrados no teste realizado na fazenda São Miguel em poço de quase 300 metros de profundidade e com alta vazão, que normalmente tendem a caracterizar a Formação Posse, porção inferior do aqüífero Urucuia.

Em Feitosa e Manoel Filho (1997) define-se a capacidade de armazenamento do aquifero (S_{ef}) pela expressão:

$$\mathbf{S_{ef} = Sy + S}$$

Onde Sy representa a porosidade efetiva e S o coeficiente de armazenamento, dessa forma, para o teste proposto, temos para o aquifero analisado um valor de S_{ef} de 0,0207.

Considerando-se o rebaixamento do nível d'água no poço bombeado pouco significativo em relação a espessura do aqüífero, pode-se utilizar a formulação de Theis para determinar o rebaixamento a determinadas distâncias.

Um exemplo pode ser utilizado com um poço com taxa de bombeamento de 10 m^3/h para abastecimento da sede de uma fazenda que possui um reservatório de 15 m^3. Caso bombeie por 2 horas para encher o reservatório diariamente, o rebaixamento do nível d'água a 100 metros de distância seria de aproximadamente 4 centímetros, ou seja, muito pouco significativo.

O método desenvolvido por Cooper-Jacob (1946), o qual define uma plotagem para várias distâncias radiais a partir do poço de bombeamento e um tempo “t”, a partir da construção do gráfico de rebaixamento em escala aritimética versus a distância em escala logarítimica, uma linha reta será ajustada se o aqüífero for homogêneo e anisotrópico. A intersecção dessa linha com o zero do rebaixamento define a faixa do raio de influência. O raio de influência pode ser estimado usando-se apenas um poço de observação, entretanto se vário testes forem feitos em diferentes poços um melhor entendimento será obtido.

A taxa de bombeamento não é utilizada na avaliação do raio de influência, uma vez que o mesmo depende da transmissividade, coeficiente de armazenamento e tempo. Uma vez que a taxa de bombeamento não afeta o raio de influência, o que é observado é como essa taxa afeta a inclinação da linha de rebaixamento obtida no gráfico de distância-rebaixamento. A partir desses conceitos foi feita uma análise utilizando-se diferentes taxas de bombeamento em m^3/h (30, 100, 200,300 e 500), um tempo de 10 horas de bombeamento, transmissividade T=1433 e coeficiente de armazenamento S=0,00453 (valores médios dos testes de bombeamento). A tabela 10 mostra os valores obtidos para as taxas de bombeamento referidas e a figura 28 mostra a plotagem dos dados obtidos.

Observa-se que para uma taxa de bombeamento de $30m^3/h$ a reta cruza o zero do rebaixamento a cerca de 190 m, indicando que o alcance do raio de influência pode chegar a esse valor, para o tempo de 10 horas de bombeamento contínuo. Para o caso das grandes vazões esse valor aumenta bastante, no caso de um bombeamento contínuo por 10 horas de com uma taxa de $500m^3/h$ o cruzamento da reta com o eixo de rebaixamento ocorre a uma distância de cerca de 2000m, esse valores estão muito próximos daqueles calculados nos vários testes de bombeamento realizados na bacia através da relação entre transmissividade, coeficiente de armazenamento e tempo de bombeamento.

Tabela 10 – Distância de rebaixamento por taxa de bombeamento

Distância (m)	*Q=30m3/h*	*Q=100m3/h*	*Q=200m3/h*	*Q=300m3/h*	*Q=500m3/h*
	h-ho	*h-ho*	*h-ho*	*h-ho*	*h-ho*
1	0,224	0,747	1,495	2,242	3,737
30	0,111	0,372	0,743	1,115	1,858
60	0,087	0,290	0,581	0,871	1,452
90	0,076	0,252	0,504	0,756	1,261
100	0,071	0,237	0,473	0,710	1,183
130	0,067	0,224	0,449	0,673	1,122
160	0,056	0,186	0,372	0,558	0,930
190	0,049	0,164	0,329	0,493	0,822
1000	0,005	0,017	0,035	0,052	0,086
2000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,008
3000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

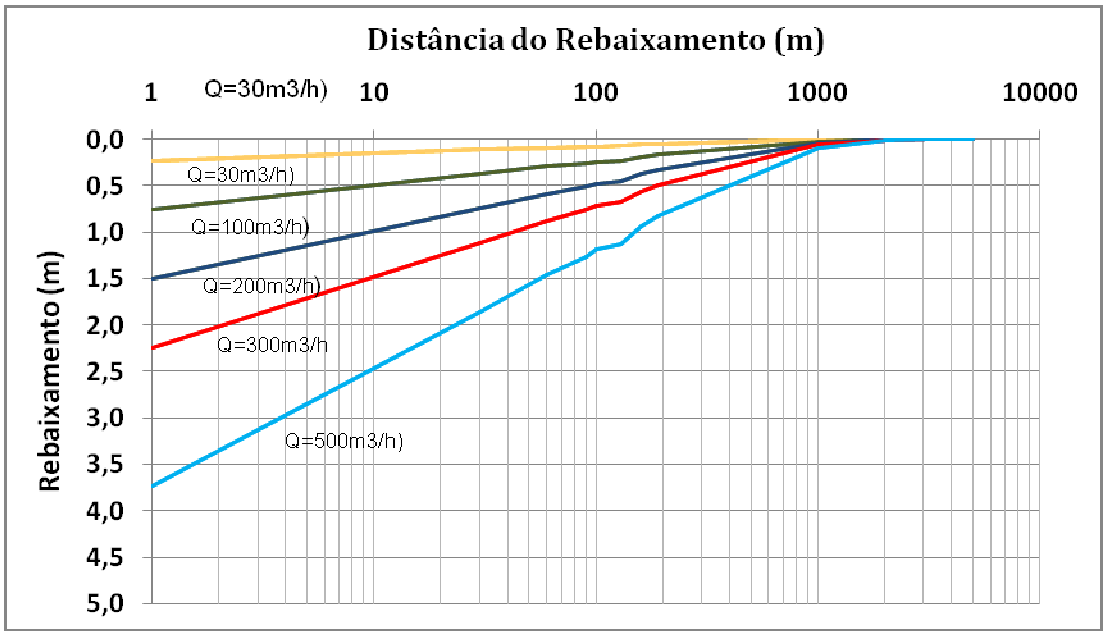


Figura 28 – Relação da distância de rebaixamento para diferentes taxas de bombeamento

6.2. Considerações sobre o volume do aqüífero

Gaspar (2006) fez uma estimativa preliminar para as reservas hídricas do Aqüífero Urucuia, com vistas a avaliar a potencialidade desse sistema e auxiliar em seu processo de gestão. Foram definidos parâmetros como área do sistema (A), área de confinamento (Ac), oscilação anual do nível estático (Δh), porosidade efetiva (ηe), espessura saturada do aqüífero (b), carga hidráulica média (h) e coeficiente de armazenamento (S).

Para efeito dos cálculos das reservas hídricas foram considerados os seguintes critérios: exclusão de áreas descontínuas de afloramento do Grupo Urucuia, na forma de morros isolados que ocorrem ao longo de toda a borda oeste e leste do chapadão central; exclusão das áreas de ocorrência do Grupo Urucuia ao sul do rio Carinhanha e na região das sedes dos municípios de São Desidério e Baianópolis, uma vez que a espessura dessa unidade nessas regiões é restrita, com predomínio do aqüífero cárstico representado pelas rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

A espessura saturada considerada foi obtida pelo cálculo do valor médio de todas as informações geofísicas obtidas além de informações dos estudos geofísicos de Amorin Jr (2003) e Amorin Jr & Lima (2003), que obtiveram espessuras das rochas do Grupo Urucuia e profundidade dos níveis estáticos na bacia do rio das Fêmeas. A essas informações acrescentou-se aquelas referentes aos poços cadastrados na região, carga hidráulica média, coeficiente de armazenamento médio, obtido da interpretação de ensaios de bombeamento. A porosidade efetiva média de 15% foi adotada por analogia com sedimentos eólicos similares (Araujo et al. 1995).

As reservas permanentes de água (Rp) representam o volume armazenado abaixo do nível mínimo de água, medido no período de estiagem e depende, portanto, do tipo de aqüífero analisado. Considerou-se para efeito de cálculo da reserva permanente total do Aquífero Urucuia (RP) a soma das reservas dos subtipos aqüífero livre profundo e livre regional (RPL), somado ao subtipo aqüífero confinado ou semiconfinado (RPC).

Os cálculos das reservas permanentes do aqüífero livre profundo (Rlivre profundo), livre regional (Rlivre regional) e subtipo aqüífero confinado (RP confinado) obtidos pela supra citada autora, estão apresentados a seguir:

$$R_{PL} = R_{livre\ profundo} + R_{livre\ regional}$$

$$R_{PL} = A_{prof} \cdot b_{prof} \cdot \eta_e + A_{reg} \cdot b_{reg} \cdot \eta_e$$

$$R_{PL} = 8{,}60 \cdot 10^9 m^2 \cdot 260m \cdot 0{,}15 + 67{,}34 \cdot 10^9 m^2 \cdot 340m \cdot 0{,}15$$

$$R_{PL} = 3,769 \cdot 10^{12} m^3$$

$$R_{P\ confinado} = A_C \cdot h \cdot S$$

$$R_{Pconfinado} = A_C \cdot h \cdot S$$

$$R_{Pconfinado} = 11{,}3 \cdot 10^9 m^2 \cdot 7m \cdot 10^{-4}$$

$$R_{Pconfinado} = 7,93 \cdot 10^6 m^3$$

No cálculo do volume armazenado do aqüífero livre regional (Rlivre regional) incluiu-se também a área referente à parcela confinada do sistema. A reserva permanente do Aquífero Urucuia totalizou mais de três trilhões de metros cúbicos.

No cálculo das reservas reguladoras (Rr) do Aquífero Urucuia, por sua vez, utilizou-se a área efetiva total do sistema (A), a porosidade efetiva (ηe) de 15% e uma oscilação média (Δh) de 2,7 metros, obtidas de um monitoramento anual em 2003 do INGÁ em alguns poços da região.

$$Rr = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h \Rightarrow Rr = 76 \cdot 10^9\ m^2 \cdot 0,15 \cdot 2,7\ m$$

Rr = 30,78.10^9

As reservas de explotação ou explotáveis (Rexp), por sua vez, constituem a quantidade máxima de água que poderia ser explotada de um aqüífero, sem riscos de prejuízos ao manancial, e são constituídas pelas reservas reguladoras e uma parcela da reserva permanente (Costa 2000). Representa, portanto, o volume total de água que pode ser explotado do aqüífero, considerando a garantia da sustentabilidade do sistema. A escola americana denomina de safe yield.

Entretanto, no cálculo desse montante concorrem vários fatores que dependem do conhecimento técnico do aqüífero, e por isso há uma grande discussão no meio técnico referente ao valor do porcentual da reserva permanente que deve ser considerado nesse cálculo ou até mesmo se a reserva reguladora poderia ser considerada integralmente na composição nesse cálculo, o que pode ser considerada uma discussão em andamento e um conceito ainda subjetivo no

meio científico. Costa (2000) apontou que um dos aspectos mais controvertidos da hidrogeologia é o da conceituação e avaliação das reservas explotáveis; também apontado por Fetter (1994) como um conceito paradoxo.

Dentre os fatores que devem ser considerados para o estabelecimento do porcentual devem ser considerados: conhecimento dos atributos do aqüífero e conhecimento do modelo conceitual do aqüífero, principalmente no que se refere ao regime de recarga, importância do aqüífero na regularização dos rios e condições gerais de circulação hídrica. Kendy (2003) apontou ainda que a gestão hídrica sustentável depende da acurácia dos dados de consumo de água, da perda de água por evaporação e transpiração ou por outro lado do volume que não retornou de alguma forma ao sistema.

A reserva hídrica permanente do Aqüífero Urucuia soma um volume de mais de três quatrilhões de metros cúbicos ($3{,}77 \cdot 10^{12}$ m³); a reserva reguladora totaliza 30,78 x 10^9 m³/ano, enquanto que a reserva explotável seria de $4{,}077.10^{11}$ (quatrocentos e sete bilhões setecentos e oitenta milhões de m^3), considerando a soma da reserva reguladora e 10% do volume da reserva permanente. Esses valores mostram ser o Urucuia um reservatório promissor, comparável com outros sistemas regionais no Brasil.

6.3. Considerações sobre a dinâmica de fluxo.

Em estudos realizados nas bacias dos rios Formoso e Arrojado (CPRM/UFBA, 2007), verifica-se que com as estimativas de vazões de base pelo método HYSEP, a contribuição do aquífero para a vazão no rio Formoso representa quase que totalmente o seu fluxo. Também, o fluxo de base estimado acompanha o fluviograma total de tal forma que indica serem as respostas desse fluxo à ocorrência de chuvas quase que imediata. Dados similares foram obtidos neste estudo.

As ascensões dos hidrogramas do fluxo de base indicam aumento na contribuição do aquífero à calha fluvial. Tal aumento da contribuição basal é possibilitada pelas condições hidráulicas do escoamento subsuperficial combinado com as condições

do escoamento de superfície na calha fluvial. Isto é, essa combinação define as condições de carga hidráulica que possibilita a ressurgência da água, o fluxo de base à calha. Assim, as estimativas de recarga baseadas na separação de escoamento são realizadas computando em cada intervalo de tempo (mês) o aumento da vazão de base. Esse aumento resulta de uma recarga experimentada pelo aquífero. Quando o fluviograma mostra uma redução das vazões de base, implica não ter havido qualquer recarga ao aquífero no período, pelo menos que tenha chegado ao lençol freático.

A disposição espacial da superfície freática do aqüífero para as bacias do rio das Fêmeas e Formoso e Arrojado são mostradas na figuras 28 e 29 respectivamente. Ele foi construído com base em dados de poços, das sondagens elétricas verticais e dos padrões de afloramento da mesma nas drenagens.

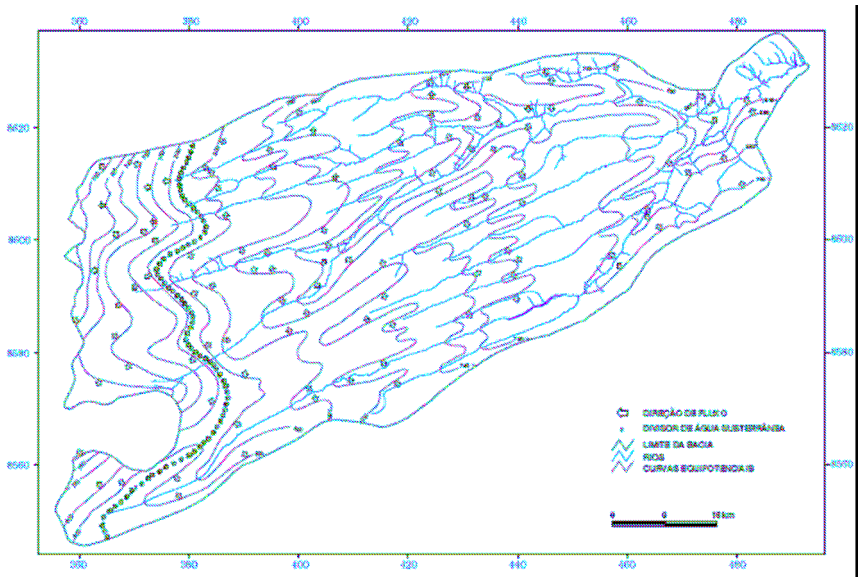


Figura 29 – Mapa Potenciométrico para as Bacias dos rios Formoso e Arrojado

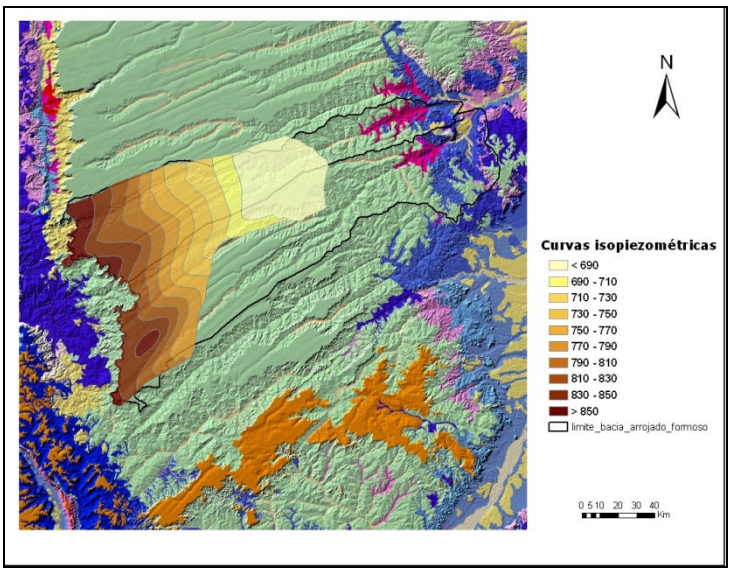


Figura 30 – Mapa Potenciométrico para as Bacias dos rios Formoso e Arrojado

As linhas equipotenciais hidráulicas indicam haver, na área estudada, um forte relacionamento entre os fluxos superficial e subterrâneo. Todavia, se destaca a presença de uma zona de divergência, orientada praticamente de norte para sul dividindo o fluxo subterrâneo nas sub-bacia em duas partes: (i) uma, de maior extensão, na qual o fluxo ocorre de oeste para leste, em concordância com a drenagem superficial; (ii) outra, na qual o fluxo se processa em direção a Serra Geral dirigindo as águas subterrâneas para o estado de Goiás.

6.4. Avaliação da capacidade específica dos poços e do aquífero a partir da região onde serão realizados os testes de bombeamento.

Em estudos desenvolvidos por Gaspar (2006), observou-se que a vazão específica dos poços utilizados na irrigação varia de aproximadamente 9 a 17 m³/h por metro de rebaixamento, com uma média de 12 m³/h/m.

Nos testes desenvolvidos na Fazenda Bombarda, neste estudo não foi possível determinar a as vazões específicas uma vez que só foram realizadas medições nos poços de observação, entretanto, podem ser utilizados como referência os dados obtidos na época da construção dos mesmos. Para o poço 1 e 2 foi obtido

uma vazão específica de 13 e 12,7 m³/h por metro rebaixado respectivamente. Ou seja, bem próximo à média obtida nos trabalhos de Gaspar (op. cit).

A vazão específica elevada dos poços só tende a reforçar o potencial do aqüífero Urucuia, entretanto, a mesma pode estar sendo sub-dimensionada uma vez que para uma avaliação mais fidedigna do aqüífero deve-se ter um bom controle no processo construtivo** do poço bombeado. Pois quando o mesmo não segue as recomendações técnicas na construção, há uma forte influência nas avaliações do nível dinâmico ao longo dos testes de bombeamento.

6.5. Indicação da vazão média e máxima sem comprometimento do aqüífero.

A gestão de recursos hídricos subterrâneos em diversos países se baseia na avaliação das reservas e recargas do sistema aqüífero. Na região oeste da Bahia onde os recursos hídricos superficiais têm uma forte dependência do aqüífero local este enfoque se torna necessário para uma melhor gestão dos recursos.

Segundo ainda Pimentel (1999), a recarga média para o período de 1984 a 1995 do aqüífero Urucuia na área da bacia do Rio das Fêmeas é 258,5 mm/ano (20% da pluviosidade média) o que geraria um volume de água de 1.628.550.000 m3 (um bilhão, seiscentos e vinte oito milhões e quinhentos e cinqüenta mil) para a bacia do rio das Fêmeas.

Considerando a orientação do INGA em não perfurar poços com menos de 5 km um do outro, na bacia do rio das Fêmeas, com uma área aproximada de 6.300 km^2, poder-se-ia perfurar somente 80 poços. Se cada um desses poços bombeasse 600 m^3/h por 10 horas por dia ao longo de 8 meses no ano (estação seca) seriam retirados da bacia 1.440.000 m^3 (um milhão, quatrocentos e quarenta mil), o que representa menos de 0,15% da recarga média anual. Rebouças et. al (1994) realizaram estudos na região metropolitana de São Paulo onde definiram uma reserva explotável de 25% da recarga média anual. Para a bacia do rio das Fêmeas isto representaria 407.137.500 m^3 (quatrocentos e sete milhões, cento e trinta e sete mil e quinhentos).

Na bacia do rio Arrojado (5.278 km^2) e Formoso (6.867 km^2), estudos desenvolvidos pela CPRM (2007) indicam recargas na faixa de 136 e 160 mm

respectivamente, que de acordo com as áreas das bacias geraria um volume de água de 717.808.000 m^3 (setecentos e dezessete milhões, oitocentos e oito mil) e 1.098.720.000 m^3 (um bilhão, noventa e oito milhões, setecentos e vinte mil), respectivamente, para recarregar o aquífero Urucuia. Caso se adotasse a reserva explotável como de 25% da recarga média anual, teríamos 179.452.000 e 274.680.000 m^3, para as bacias do Arrojado e Formoso, respectivamente.

Em Gaspar (2006), há a determinação da reserva explotável utilizando a fórmula:

$$\mathbf{R}exp = Rr + \% \times Rp$$

Onde *Rr* é a reserva reguladora e % *Rp* é um percentual da reserva reguladora. Neste trabalho, Gaspar (op. cit) considera como reserva explotável toda água da reserva reguladora mais 10% da reserva permanente.

A determinação das reservas de explotação é um tema bastante complexo. Em um sistema aqüífero há um equilíbrio dinâmico ao longo de vários anos entre a recarga (infiltração) e a descarga (nascentes e descargas nos rios). Este equilíbrio é quebrado no aumento da descarga através da perfuração de poços. Diversos autores (Sophocleous (2000, 1997), Alley & Leacke (2004), Bredehoeft (1997)), dentre outros, abordaram o conceito de safe yield (vazão segura), procurando enfocar que não existe um número fixo que possa definir a taxa segura de extração de água com base única e exclusivamente na recarga. Em Bredehoeft (1997) há uma citação de Theis, em artigo publicado em 1940, de que “um novo estado de equilíbrio dinâmico é alcançado somente com um aumento na recarga (recarga induzida), uma diminuição na descarga, ou uma combinação de ambos”. Segundo Sophocleous (2000), uma vazão sustentável para retirada da água subterrânea deve ser menor que a recarga do aquífero, entretanto, tal valor não pode ser fixo devido exatamente à dinamicidade do sistema. A parametrização é muito bem sucedida com a utilização de modelos numéricos.

Há necessidade de monitoramento constante dos parâmetros do balanço hídrico de modo a realizar ajustes no modelo numérico, fazendo com que as taxas de extração de recurso hídricos em uma bacia hidrográfica seja uma variável de acordo com as novas demandas.

Embora o raio de influência encontrado nos estudos realizados por Schuster e neste estudo sejam similares, esse não deve ser o parâmetro principal para definição de outorga, deve-se observar sim o balanço entre a recarga e descarga do aqüífero. Isso deve ser feito, através de um zoneamento do aqüífero, mapeando-se as áreas de recarga de forma detalhada. Nesse sentido sugere-se que o critério a ser adotado para outorga seja baseado no volume a ser retirado do aqüífero, de acordo com as reservas explotáveis.

A alta dependência do fluxo de base para manutenção das vazões dos rios é um outro aspecto a ser considerado. A análise de isótopos mostrou que as águas superficias tem a mesma assinatura isotópica que as águas subterrâneas, mostrando que o fluxo subterrâneo alcança os rios de forma relativamente rápida.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo geral deste trabalho, de acordo com o Termo de Referência foi a definição do distanciamento seguro dos poços tubulares para que o uso das águas no aqüífero Urucuia se dê de forma racional e sustentável, promovendo a sua conservação.

A intensa utilização das águas do aqüífero Urucuia na região oeste da Bahia para fins de atividades agrícolas, e ocasionalmente atividades industriais, requer definição de parâmetros específicos para a utilização racional e conservação do aqüífero, condição a ser considerada na análise de um pedido de outorga.

Nos últimos anos, vários produtores rurais têm procurado utilizar os mananciais de águas subterrâneas através da perfuração de poços profundos. Este aqüífero é responsável pela perenidade dos rios durante o período de estiagem (abril a outubro) e estima-se que a utilização em larga escala das águas subterrâneas interfira diretamente no volume de água que escoa superficialmente.

Com base no exposto, faz-se necessário a realização de estudos para definição desses parâmetros. Nesse sentido o presente trabalho apresenta como conclusão algumas indicações que deverão auxiliar no plano de ação para a utilização racional das águas do aqüífero Urucuia, as quais são relacionadas a seguir:

1. A gestão do aqüífero deve ser feito a partir da avaliação da reserva explotável definida como 25% da recarga anual do aqüífero, um outro critério seria a reserva explotável definida como a reserva reguladora e 10% da reserva permanente. Tomando-se como exemplo as bacias dos rios Formoso e Arrojado isso corresponderia a 179.452.000m^3 e 274.680.000m^3 anuais, para as bacias do Arrojado e Formoso, respectivamente.

2. A noção de raio de influência é útil tanto na definição de um espaçamento ótimo entre poços numa bateria de extração, quanto na fixação de uma zona de proteção em torno do poço, servindo também para o gerenciamento de conflitos de usuários. Os valores obtidos nesse estudo definem faixas de distanciamento entre os poços da ordem de 3Km para vazões maiores que 100m^3/h e 1Km para vazões inferiores a 100m^3/h.

3. Deve-se observar que o valor de 3Km para distância entre os poços deve ser gerenciado conjuntamente com o volume a ser extraído do aqüífero, o que significa que a perfuração de poços a uma distância menor que esta será permitida apenas com a função de poço reserva, não devendo os mesmos serem bombeados conjuntamente.

4. Para uma melhor definição do número de poços a serem instalados na região sugere-se que seja feita uma avaliação por sub-bacia na região analisando-se os aspectos relacionados à recarga e volume do aqüífero. A necessidade de se fazer isso por sub-bacia vem em função de se observar as particularidades e as variações geológicas e geométricas do aqüífero.

5. A definição dos parâmetros hidrodinâmicos é de fundamental importância para a gestão do aqüífero. Os poucos testes realizados no aqüífero Urucuia já indicam sua potencialidade, entretanto, há necessidade de uma maior distribuição destes testes de modo a definir valores médios confiáveis que possam ser utilizados na elaboração dos modelos de gestão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alley, W. M.; Leake, S. A. 2004. The Journey from Safe Yield to Sustainability. Ground Water. Vol. 42 No 1. January – February 12-16 p.

ANDRADE FILHO, E. L.; NEVES, J. P.; GUIMARÃES, J. T. (Orgs.) Santa Rita de Cássia SC.23–Z-C, Formosa do Rio Preto SC.23–Y-D. Estados da Bahia e Tocantins. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1994. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

AMORIM JR., V. Avaliação hidrogeológica do aqüífero Urucuia na Bacia do Rio das Fêmeas usando IP-Resistividade. 2003. 82 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

ARCANJO, J. B. A.(Org.) Curimatá. Folha SC.23-Z-A Corrente. Folha SC.23-Y-B (Parcial) e Xique-Xique Folha SC.23-Z-B (Parcial). Estados da Bahia e do Piauí. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

AZEVEDO, J. R. G.; AMORIM, R. S.; SILVA, G. S. Previsões de mudanças climáticas do modelo de circulação atmosférica HadCM2 para a bacia hidrográfica do Rio São Francisco. In: SIMPOSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2002, Maceió. Anais... Maceió: ABRH, 2002.

AQUINO, R. F. et al. Caracterização hidrogeoquímica e isotópica das águas superficiais e subterrâneas do oeste baiano - bacia do Rio das Fêmeas – Bahia. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 15., 2003. Resumos... Curitiba, 2003. p. 19 p.

BAHIA. SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Recentes transformações no rural baiano. Salvador: SEI, 2003a. 70 p. il. (Série estudos e pesquisas, 68).

BAHIA. Superintendência de Recursos Hídricos. Uso Conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do Rio das Fêmeas - Bahia. Relatório Final, Salvador, 2003b. 165 p.

BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos, Plano Diretor Sobre a Bacia do Rio Grande, Junho de 1993.

BAHIA. SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Análise dos atributos climáticos do Estado da Bahia. Salvador: SEI, 1998. 85p.(serie estudos e pesquisas, 38).

BAHIA - LEGISLAÇÃO BÁSICA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA. (Lei No 6.855, de 12 de maio de 1995).

BAHIA. Superintendência de Recursos Hídricos. Relatório do cadastramento dos poços tubulares na bacia do rio do Cachorro nos municípios de Barreiras e Luis Eduardo Magalhães. Salvador: 2001.

BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Grande:* Documento Síntese. Salvador: 1996.

BRASIL. Leis, Decretos. Decreto No 6.295, de 21 de março de 1997. Decreto de Regulamentação da Outorga do Direito de Uso da Água.

BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Corrente:* Documento Síntese. Salvador: 1995.

BAHIA. Superintendência de Recursos Hídricos. Modelagem Matemática do Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-Bacia do Rio das Fêmeas – Bahia. Salvador, 2002.

BRASIL AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Bacia do Rio São Francisco: caracterização geral. Disponível em: <www.ana.gov.br/Bacias/SFrancisco/indexsf.htm>. Acesso em: 20 fev. 2002.

BOMFIM, L. F. C.; GOMES, R A. D. Aqüífero Urucuia – Geometria e Espessura: idéias para discussão. In: CONGRESSO. BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XX., 2004, Cuiabá. Anais. Cuiabá: ABAS, 2004. 1 CD-ROM.

BRANNSTROM, C. Projeto Marca D`água: Relatórios Preliminares 2001. A Bacia do rio Grande, Bahia. 2002.

BRAUN, O. P. G.; MELLO, U.; DELLAPIAZZA, H. Bacias proterozóicas brasileiras com perspectivas exploratórias para hidrocarbonetos. In: Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro: Petrobras, 1990.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Distribuição, Estratigrafia e Sistemas Deposicionais do Grupo Urucuia – Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. Geociências, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 481-499, 1999.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. A carta estratigráfica da Bacia Sanfranciscana. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994. Camboriú. Boletim de Resumos... Camboriú: SBG, 1994. p. 50-51.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Distribuição, estratigrafia e sistemas deposicionais da Formação Urucuia, Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4., 1996, Águas de São Pedro. Boletim de Resumos Expandidos... São Pedro-SP: SBG, 1996. p. 203-207.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Pavimentos estriados do Grupo Santa Fé; Neopaleozóico da Bacia Sanfranciscana. 2000 Disponível em: http://www.unb.br/ig/sigep/sitio097/sitio097.htm.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A.: Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997a.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 283-294, 1997b.

CASCAES, O. S. F.; ANDRADE, J. B. M. Panorama Hidrogeológico do Grupo Bambui no Oeste da Bahia. In: (VER NOTAS) PORTO ALEGRE: ABAS, 1990. p. 50-57.

CHANG , H. K.; BENDER, A. A.; KOWSMANN, R. O. O papel das tensões intraplaca na evolução de bacias sedimentares: exemplo da Formação Urucuia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. Anais... São Paulo: SBG, 1992. v. 1, p. 568-569.

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: 1 - Resumo Executivo. Salvador, 2004. 337 p. Disponível em: http://www.cbhsaofrancisco.org.br/

COSTA, A. B., AZEVEDO, A. E. G. Rn-222 e Ra-226 em águas subterrâneas no Estado da Bahia In: INTERNATIONAL CONGRESS OF GEOPHYSICS, 7., 2001, Salvador. Anais... Salvador: SBGf, 2001.

DÁVILA, C. R.; KUYUMJIAN, R. M. Dados recentes de geocronologia, quimismo e ocorrências auríferas em rochas do Craton do São Francisco nas janelas erosivas de São Domingos (GO) e Correntina (BA). In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa, Anais... João Pessoa: SBG, 2002. p. 212-212.

DOMINGUEZ, J. M. L. As Coberturas do Cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: DOMINGUEZ, J. M. L.; MISI. A. (Eds.) Reunião Preparatória do II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco. Salvador: SBG, 1993. p. 137- 159.

GARRIDO, R. J. S. Planejamento e gestão do uso de uma bacia hidrográfica: o caso do rio das fêmeas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 1., 1992, Recife. Anais... Recife: UFPE ABRH, 1992.

GENZ, F.; CARDOSO, E. Conflito de Uso da Água: Caso do Rio das Fêmeas – Oeste da Bahia. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS., 1998, Gramado/RS. Anais... Gramado: ABRH, 1998.

GOMES, R. A. A. D.; MOTTA, A. C. Projeto Levantamento Gravimétrico no Estado da Bahia: relatório final. Salvador: CPRM, 1980. 5v. Convênio DNPM/CPRM.

GONÇALVES, E. C. Construção Poços Tubulares Profundos: ensaio de bombeamento. Luis Eduardo Magalhães, 2001. 80 p. Relatório Técnico de Mauerberg Poços Artesianos Ltda.

GUIMARÃES, D. M. S.; ALMEIDA, P. S. A função ecológica das matas ciliares para a manutenção das Bacias Hidrográficas: "Zona de Chácaras" no baixo curso do Rio de Ondas, Barreiras, Bahia, Brasil. 2004. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental Municipal) - Universidade do Estado da Bahia, Salvador.

HASUI, Y. & HARALYI, N.L.E. Aspectos litoestruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. Geociências, São Paulo, 10:57-77. 1991

KATTAH, S. S. Análise faciológica e estratigráfica do Jurássico Superior/Cretáceo Inferior na porção Meridional da Bacia do São Francisco, Oeste do Estado de Minas Gerais. 1991. 213 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

KATTAH, S. S. Novas considerações sobre o Aptiano-Albiano da Bacia Sanfranciscana. In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁCICAS BRASILEIRAS, 2., 1992, Rio Claro. Boletim de Resumos expandidos... Rio Claro: UNESP, 1992. p.118-119.

KATTAH, S. S.; KOUTSOUKOS, E. A. M. A ocorrência de radiolários em fácies sedimentares de origem marinha no Mesozóico da Bacia Sanfranciscana. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 45, n. 1/2, p. 214, 1992.

KATTAH, S. da S. Ocorrências de pegadas de dinossauros no Grupo Areado, porção meridional da Bacia Sanfranciscana, oeste de Minas Gerais. 1994. Anais Academia Brasileira de Ciências, 66(2): 181-187.

INPE/UNB/EMBRAPA,Belo Horizonte; Definição de Unidades Geomorfológicas a Partir de Imagens de Dados Morfométricos na Bacia do Rio Grande (BA), Abril de 2003.

LIMA, O. A. L.: *Estudos Geológicos e Geofísicos do Aqüífero Urucuia na Bacia do Rio do Cachorro – Oeste da Bahia*. Relatório Técnico, Salvador - BA, 43 p. - Superintendência de Recursos Hídricos - SRH/ Centro de Pesquisas em Geofísica e Geologia - CPGG/UFBA, Abril 2000.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. S. Avaliação das demandas e ofertas hídricas na bacia do rio São Francisco usando modelo de rede de fluxo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba Livro de Resumos... Curitiba: ABRH, 2003. p. 171.

LORDELLO NETO, A. V.; CARDOSO, E. R.; SILVA, F. F. et al. Gerenciamento das outorgas no Estado da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba Livro de Resumos... Curitiba: ABRH, 2003. p. 196.

MARINHO, F.;OLIVEIRA, W.;QUINTÃO, S. et al. Levantamento gravimétrico na Bacia do São Francisco. Rio de Janeiro: Petrobras, 1991.

MARTINS, E. S.; LOPES-ASSAD, M. L.; CAMPOS, J. E. G. Comportamento de solos desenvolvidos de arenito Urucuia. In: *C*ONGRESSO BRASILEIRO CIÊNCIAS DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. Resumos... Goiânia, 1993. v. 2, p. 351-352.

MARTINS, M.; TEIXEIRA, L. B.; BRAUN, O.P.G. Bacia do São Francisco: uma fronteira exploratória na pesquisa do petróleo do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7., 1993, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: SBG, 1993. p. 55-57. Boletim 12.

MEISTER, E., Oliveira, W.J., Martins, M., Marinho,F.V., Quintão S., Abdalla, E., Abreu, C.E., Rosalba,J.F., Poll, H.& Johann, P.R.,. Proposta de programação sísmica terrestre na bacia do São Francisco. Documento/Proposta Petrobrás. 1991.

MUGGLER, C. C. Características pedológicas de ambientes agrícolas nos chapadões do rio Corrente, sudoeste da Bahia. Pesq. Agropec. Bras., Brasília. v. 31, n. 3, p. 221-232, 1996.

NASCIMENTO, K. R. F.; LIMA, O. A. L. Aqüífero Urucuia: validade do modelo geoelétrico na bacia do rio das Fêmeas confirmada por novas perfurações. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 8., 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGf, 2003. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, J. E. Relatório Temático de Geoquímica – Coribe: Folha SD.23-X-C-V. Salvador. CPRM, 1994. 56 p. Relatório Interno.

OLIVEIRA, M. L. (Org.) Programa rio São Francisco vivo: projeto de conservação e revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco Componente: Educação Ambiental Seminários e Cursos SMRH/CRA. Salvador: SEPLANTEC, 2002. 198 p. Síntese das Discussões

PIMENTEL, A. L.; AQUINO, R. F.; SILVA, R. C. A. et al. Estimativa da recarga do aqüífero urucuia na sub-bacia do rio das fêmeas - oeste da Bahia, utilizando separação de hidrogramas. In: I CONGRESSO SOBRE APROVEITAMENTOS E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM PAÍSES DE IDIOMA PORTUGUÊS, 1., 2000, Rio de Janeiro; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 2000, Rio de Janeiro.

PORSANI, J.; FONTES, S. Estudo magnetotelúrico na bacia do São Francisco. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES, 1992. 21 p. Relatório de Projeto de Pesquisa.

SANTANA, A. G.; LORDÊLLO, A. V. Relatório Técnico de Avaliação das Condições Ambientais e de Atividades Impactantes nos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Correntina e outros. Salvador: INGÁ, 1999. 19 p.

SGARBI, G.N.C. Geologia da Formação Areado: Cretáceo Inferior a Médio da Bacia Sanfranciscana, oeste do Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro. 1989. 324 p. (Dissertação de Mestrado, UFRJ).

USSAMI, N. Estudos geofísicos no Cráton do São Francisco: estágio atual e perspectivas. In: DOMINGUEZ, J. M. L.; MISI. A. (Eds.) Reunião Preparatória do II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco. Salvador: SBG, 1993. p. 35-43.

SGARBI,G.N.C.; SGARBI,P.B.A.; CAMPOS,J.E.G.; DARDENNE,M.A.; PENHA,U.C. Bacia Sanfranciscana: o registro Fanerozóico da bacia do são Francisco. In: Bacia do São Francisco-Geologia e Recursos Naturais, 1a. ed. Belo Horizonte, SBG, 2001.

SCHUSTER, M. D. H. Modelagem de fluxo subterrâneo com vistas a definição de parâmetros para outorga de mananciais subterrâneos da bacia hid. do rio dos Cachorros – oeste da Bahia – relatório parcial nº1 UFPB – Campina Grande – PB. 2002.

SCHUSTER, H.D.M. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com Vistas à Definição do Distanciamento entre Poços e Mananciais no Oeste Baiano. HIDROGEOLOGIA Relatório Final. DMG/UFCG/CCT. 2003.

TSCHIEDEL, M. W. Aplicação de Estudo Geofísico como Contribuição ao Conhecimento da Tectônica da Sub-Bacia Urucuia. 2004. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

SANTANA, A. G., RODRIGUES, Z. R. C.; LORDÊLLO, A. V.: *Recursos Hídricos do Oeste do Estado da Bahia*. Relatório de Diagnóstico das Condições Atuais. Destaque: Bacia do Rio Grande e Sub-Bacia do Rio do Cachorro. Salvador: SRH, 2000. 34 p.

SILVA, F. F.; LODELLO, A. V.; RIBEIRO, C. Relatório Técnico de Avaliação das vazões no Oeste Baiano em condições críticas (Setembro de 2001) com situação das outorgas na sua bacia hidrográfica. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos, 2001.

SILVA, F. F.; NUNES, S. L. T.; CAVALCANTE, Z. R.; SCHUSTER, H. D. M. Relatório da Vistoria das Medições de Vazões realizadas na Calha do Rio do Cachorro e Relatório do Cadastramento dos Poços Tubulares na Bacia do Rio do Cachorro nos Municípios de Barreiras e Luis Eduardo Magalhães. Relatório Técnico do Governo do Estado da Bahia. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos, 2001. 21 p.

SILVA, et al. Levantamento da qualidade da água e das estimativas das profundidades de alguns rios da Região Oeste do Estado da Bahia. Salvador: SRH, 2001.

SILVA, et al. Considerações introdutórias da modelagem da bacia do rio do cachorro - Levantamento de todos os trabalhos desenvolvidos. Salvador: SRH, 2001.

SCHUSTER, H. D. M. Modelagem Matemática do Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-Bacia do Rio das Fêmeas – Bahia (Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Salvador: SRH, 2002b. p. 53

SCHUSTER, H. D. M. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com Vistas à Definição de Parâmetros para Outorga de Mananciais Subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio de Cachorro Oeste do Estado da Bahia. Salvador: SRH, 2002a. p. 125.

SILVA, F. R.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Mudanças na desembocadura do Rio São Francisco nos últimos 45 anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBG, 2002.

SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. Supersuperfície Urucuia: Um limite de sequência que separa o sistema eólico do sistema fluvial-eólico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBG, 2002. p. 691-681.

SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 397 - 405, 2002.

SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 6., 2002, Águas de São Pedro; SIMPOSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMERICA DEL SUR, 2., 2002, Águas de São Pedro. Anais... São Pedro-SP: SBG, 2002. p. 367-373. Boletim, 1.

PEREIRA, S. B., PRUSKIF, F.; DE NOVAES, L. F. et al. Variação do Comportamento Hidrológico na Bacia do São Francisco no Período de 1950 A 1999. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Resumos... Curitiba, 2003. 10 p.

SCHUSTER, H.D.M., DA SILVA, F.F., ARAÚJO, H.D.B. 2003. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com vistas à definição de critérios para outorga de mananciais subterrâneos na região oeste do estado da Bahia. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba-Paraná. Livro de Resumos p. 643.

VIANA, J. A. S. Agronegócio baiano: história recente de uma revolução silenciosa. Bahia Análise & Dados, Salvador, v. 13, n. 4, p. 851-867, 2004.

OLIVEIRA, M. A. M. Contribuição a geologia da parte Sul da Bacia do São Francisco e áreas adjacentes. Rio de Janeiro: Petrobras, 1967.

SILVA, T. C.; MOTTI, P. Evolução geomorfológica da região ocidental da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. Resumo das Comunicações... Belém: SBG, 1972. p. 225-227. Boletim 1.

SUGUIO, K.; BARCELOS, J. H. Paleoclimatic evidence from the Areado Formation, Cretaceous, of the São Francisco Basin, state of Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 232-236, 1983.

SILVA, A. B. E.; MENDONÇA JÚNIOR, T.; OLIVEIRA, T. et al. Geologia da Região de São Domingos – GO. Brasília: Instituto de Geociências/UNB, 1983. Trabalho Final de Graduação.

VERDÉSIO, J. J. Os cerrados do Oeste da Bahia: descrição física e potencial de uso agrícola. Salvador: SEPLANTEC/CAR, 1986. 78 p.

TOMAZZOLI, E. R. Evolução Geológica do Brasil Central. Revista Sociedade e Natureza, Uberlândia, v. 2, n. 3, p. 1, 1990.

SGARBI, P.B.A. Geologia, Petrologia e Geoquímica da Formação Mata da Corda. 1991. 214 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

YOCITERU, H.; IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S. et al. Faciologia e Tectônica da Formação Urucuia na Região de Dianópolis, Sudeste do Estado de Tocantins. Geociências, v. 11, n. 1, p. 7-18, 1992.

USSAMI, N.; SÁ, N. C. Digital (10' X 10') gravity maps of the São Francisco Cráton and marginal fold/thrust belts. In: SIMPÓSIO DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Salvador. Anais ... Salvador: SBG, 1993. p. 137-139.

CHIAVEGATTO, J. R. S. Sedimentologia e estratigrafia do Grupo Bambuí, nas regiões norte de Minas Gerais, leste de Goiás e sudoeste da Bahia. 1997. 66 p. Exame de Qualificação (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

SGARBI, G. N. C. Aspectos Paleogeográficos e Sedimentológicos do Mesozóico no Oeste do Estado de Minas Gerais. 1997. 224 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

SANTANA, A. G., RIBEIRO, C. A. Relatório Técnico de Avaliação das vazões no Rio de Ondas em condições críticas (Setembro de 1999) e situação das outorgas na sua bacia hidrográfica. Salvador: SRH, 1999.

SANTANA, A. G.; SILVA, F. F.; RIBEIRO, C. et al. Relatório Técnico de Avaliação das vazões no Rio Branco e Rio de Janeiro em condições críticas (Outubro de 2000) com situação das outorgas na sub-bacia hidrográfica. Salvador: SRH, 2000

SANTANA, A. G., CARDOSO, E. R., SILVA, F. F. et al. Estimativa da vazão de referência, com carência de dados, para outorga na Bahia. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5., 2000, Natal. Anais... Natal: ABRH, 2000.

SGARBI, G. N. C. The Cretaceous Sanfranciscan Basin, eastern plateau of Brazil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 450-452, 2000.

POMPEO, J.; RODRIGUES, Z. R.: Estudo Hidrogeológico da Bacia do Rio das Fêmeas. In: SIMPÓSIO DE ÁGUA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO OESTE BAIANO, 2002, Barreiras – BA.

SILVA, M. S.; SANTANA, A. V. A.; LIMA, O. A. L. Integração de dados geofísicos e geológicos numa avaliação de susceptibilidades hidrogeológicas. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE GEOPHYSICAL SOCIETY, 8., 2003, Rio de Janeiro. Abstracts... Rio de Janeiro: SBGf, 2003.

Bredehoeft, J. 1997. Safe Yield and The Water Budget Myth. Ground Water. Vol. 35 No 6. November – December 929 p.

Sophocleous, M. 1997. Managing Water Resources Systems: Why “Safe Yield” is not Sustainable. Vol 35 Nº 4, Ground Water . July-August pag 561.

Sophocleous, M. 2000. From safe yield to sustainable development of water resources— the Kansas experience. Journal of Hydrology 235 27–43 p.