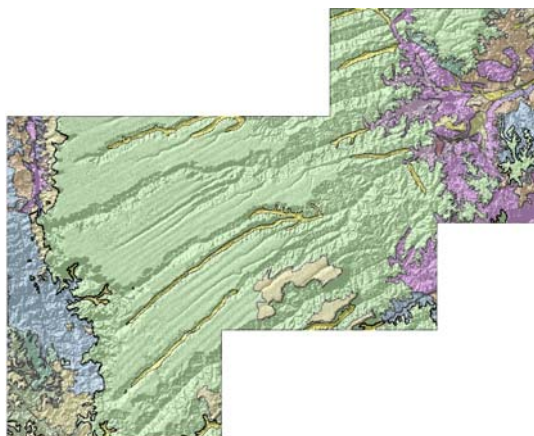




Rede Cooperativa de Pesquisa

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



“HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO URUCUIA: BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS ARROJADO E FORMOSO”

Meta C

Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos

Outubro / 2007

Ministério de
Minas e Energia

Ministério da
Ciência e Tecnologia



Rede Cooperativa de Pesquisa

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

***“HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO
URUCUIA: BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS
ARROJADO E FORMOSO”***

Meta C

Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos

Execução:

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Universidade Federal da Bahia - UFBA

Outubro / 2007

REDE COOPERATIVA DE PESQUISA

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

Coordenação

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

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

Instituições Participantes

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Coordenação: MSc *Fernando Antonio Carneiro Feitosa*

MSc *Jaime Quintas dos Santos Colares*

Universidade Federal da Bahia – UFBA

Coordenadora: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Coordenador: Dr. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

Universidade Federal do Ceará – UFC

Coordenadora: Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Coordenador: Dr. José Geilson Alves Demetrio

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Coordenador: Dr. José Geraldo de Melo

Bacia Sedimentar do Urucuia

Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso

Meta A – Relatório Diagnóstico do Estado da Arte

MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Meta B – Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos

Item 1 – Revisão Geológica

Dr. Ricardo Cunha Lopes – CPRM

Item 2 – Levantamento Geofísico por Gravimetria

Dr. Olivar Antonio Lima de Lima – UFBA

Mestrando Emerson Sidnei Mota dos Santos – UFBA

Luiz Medeiros dos Santos – Técnico em Geofísica

José Medeiros dos Santos – Técnico em Geofísica
José Mota da Paz – Técnico de Campo

Meta C – Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos

Item 1 – Definição da Rede de Monitoramento

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz - UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM
Dr. Luiz Rogério Bastos Leal – UFBA
Dr. Olivar Antonio Lima de Lima – UFBA

Item 2 – Instalação dos Equipamentos

MSc José Cláudio Viégas Campos - CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM
Aloisio da Silva Pires – Iniciação Científica – UFBA
Soriano Cardoso dos Santos - CPRM

Item 3 – Teste de Aquífero

MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM
Dr. João Manoel Filho - Consultor
Natanael da Silva Barbosa – Iniciação Científica – UFBA
Natali da Silva Barbosa – Iniciação Científica - UFBA

Itens 4 – Elaboração de Mapas Potenciométricos

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA
Dr. Harald Klammler – UFBA
Aloisio da Silva Pires – Iniciação Científica - UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Itens 5 – Balanço Hídrico

Dr. Lafayette Dantas da Luz – UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos – CPRM

Itens 6 – Elaboração de Modelos de Fluxo

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA
Dr. Olivar Antônio Lima de Lima – UFBA
Dr. Lafayette Dantas da Luz – UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos - CPRM

Item 7 – Avaliação dos Recursos de Água Subterrânea da Bacia

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA
Dr. Olivar Antônio Lima de Lima – UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos – CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade

Item 1 – Estudos Hidroquímicos e Isotópicos

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz - UFBA

MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM

Dr. Luiz Rogério Bastos Leal - UFBA

Natali da Silva Barbosa – Iniciação Científica - UFBA

Item 2 – Estudos de Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz - UFBA

MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

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

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA

Dr. Luiz Rogério Bastos Leal – UFBA

Dr. Olivar Antônio Lima de Lima – UFBA

Dr. Lafayette Dantas da Luz – UFBA

MSc José Cláudio Viégas Campos – CPRM

MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

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

Coordenação: Francisco Edson Mendonça Gomes – CPRM

Eriveldo da Silva Mendonça - CPRM

Érika Gomes Brito - CPRM

Antônio Celso Rodrigues de Melo - CPRM

Vicente Calixto Duarte Neto - CPRM

SUMÁRIO DA META C

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO SISTEMA AQUÍFERO

1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO SISTEMA AQUÍFERO	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. DEFINIÇÃO DA REDE DE POÇOS DE MONITORAMENTO	1
1.2.1. Inventário dos poços existentes	3
1.2.2. Seleção de pontos para monitoramento	3
1.2.3. Nivelamento dos poços de água selecionados	6
1.3. - INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	8
1.3.1. Instalação de Pluviógrafos	8
1.3.2. Instalação de Lisímetro	12
1.3.3. Construção de Piezômetros	14
1.4. TESTE DE AQUÍFERO	18
1.4.1. Planejamento e Execução dos Testes	18
1.4.2. Interpretação dos testes e determinação dos parâmetros hidrodinâmicos.....	20
1.5. BALANÇO HÍDRICO E RECARGA	37
1.5.1. INTRODUÇÃO	37
1.6. ESTIMATIVAS DE RECARGA.....	39
1.6.1. Método de Thorntwaite.....	39
1.6.2. Balanço mensal sequencial	39
1.6.3. Método de Meyboom.....	44
1.6.4. Método de Maillet.....	46
1.6.5. Método de separação dos escoamentos dos fluviogramas.....	50
1.6.6. Estimativa da recarga combinando o Método de Thorntwaite e a estimativa de runoff pelo emprego do HYSEP	53
1.7. POTENCIOMETRIA	56
1.7.1. Comportamento dos níveis estáticos.....	57
1.7.2. Mapas Potenciométricos	57
1.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

ANEXOS

1. Planilha balanço hídrico pelo método de Thorntwaite
2. Planilha séries pluviométricas das estações e série ponderada.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS PARA MEDIÇÃO DO NÍVEL POTENCIOMÉTRICO	05
FIGURA 1.2 - LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS COM ALTIMETRIA REALIZADA	08
FIGURA 1.3 - MAPA DA ÁREA DE ESTUDO COM A PLUVIOMETRIA OBTIDA NOS APARELHOS MANUAIS.....	11
FIGURA 1.4 - MAPA DA ÁREA DE ESTUDO COM A PLUVIOMETRIA OBTIDA NOS APARELHOS.....	11
FIGURA 1.5 - ESQUEMA DO LISÍMETRO (INFILTRÔMETRO DE CAIXA) INSTALADO	12
FIGURA 1.6 - LOCALIZAÇÃO DOS TESTES DE AQUÍFERO.....	14
FIGURA 1.7 - PERFIL CONSTRUTIVO DO PO33 COM A DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DE CALHA.....	17
FIGURA 1.8 - PERFIL CONSTRUTIVO DO PO127 COM A DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DE CALHA.....	18
FIGURA 1.9 - POÇO PT 33 COM A DESCRIÇÃO DO PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO	19
FIGURA 1.10 - SÍTIO DO TESTE DE AQUÍFERO DA FAZENDA COBA, COM LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE BOMBEAMENTO E OBSERVAÇÃO DOS PÍVÔS CENTRAIS USADOS PARA IRRIGAÇÃO DE 200 HA.....	20
FIGURA 1.11 - REGISTRO DA VAZÃO BOMBADA OSCILANTE NO TESTE DA FAZENDA COBA..	23
FIGURA 1.12 - REGISTROS DE PRESSÃO ATMOSFÉRICA E NÍVEL D'ÁGUA NO PO33 ANTES DO BOMBEAMENTO	24
FIGURA 1.13 - REGISTROS DA SOMATÓRIA DA VARIAÇÃO DE CARGA DE PRESSÃO	24
FIGURA 1.14 - SOMATÓRIA DAS VARIAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA ANTES DO BOMBEAMENTO NO POÇO DE OBSERVAÇÃO PO33. A MAGNITUDE DA VARIAÇÃO TOTAL ENTRE 16:00H E 22:00H É ESTIMADA EM 1.815 CM.....	25
FIGURA 1.15 - SOMATÓRIA DAS VARIAÇÕES DA CARGA DE PRESSÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA ANTES DO BOMBEAMENTO NO POÇO DE OBSERVAÇÃO P33. A VARIAÇÃO TOTAL ENTRE 16:00H E 22:00H.....	26
FIGURA 1.16 - GEOMETRIA DOS POÇOS UTILIZADOS NO TESTE DE AQUÍFERO DA FAZENDA COBA	27
FIGURA 1.17 - AJUSTE DA CURVA DE CAMPO À CURVA PADRÃO TIPO A DE NEUMAN PARA B=0,01 ESPECÍFICA PARA A GEOMETRIA DOS POÇOS (TABELA 3.4)	28
FIGURA 1.18 - AJUSTE DA CURVA DE CAMPO À CURVA PADRÃO TIPO B DE NEUMAN PARA B=0,01 ESPECÍFICA PARA A GEOMETRIA DOS POÇOS (TABELA 3.4)	29
FIGURA 1.19 - SOMATÓRIA DAS VARIAÇÕES DE PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO PO127 ANTES DO TESTE.....	32

<u>FIGURA 1.19 - SOMATÓRIA DAS VARIAÇÕES DE PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO PO127 ANTES DO TESTE</u>	32
<u>FIGURA 1.20 - SOMATÓRIA DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA DO PO127 ANTES DO BOMBEAMENTO</u>	33
<u>FIGURA 1.21 - GEOMETRIA DOS POÇOS TESTADOS NA FAZENDA BURITI NO AQUÍFERO LIVRE URUCUIA</u>	34
<u>FIGURA 1.22 - AJUSTE DA CURVA DE CAMPO À CURVA PADRÃO TIPO A NO TESTE DA FAZENDA BURITI</u>	36
<u>FIGURA 1.23 - AJUSTE DA CURVA DE CAMPO À CURVA PADRÃO TIPO B NO TESTE DA FAZENDA BURITI</u>	36
<u>FIGURA 1.24 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA UTILIZADA PARA REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS</u>	38
<u>FIGURA 1.25 - DISTRIBUIÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES MÉDIAS ANUAIS (1943-1983) NA BACIA DO RIO CORRENTE E SUB-BACIAS DOS RIOS ARROJADO E FORMOSO</u>	39
<u>FIGURA 1.26 - BALANÇO HÍDRICO PARA A ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE GATOS (1945 - 1974)</u>	40
<u>FIGURA 1.27 - BALANÇO HÍDRICO POR THORNTWAITE PARA A ÁREA DE ESTUDO (CAD=100MM)</u>	42
<u>FIGURA 1.28 - FREQUÊNCIA OBSERVADA (1981 - 2005) DOS EXCEDENTES HÍDRICOS</u>	43
<u>FIGURA 1.29 - FREQUÊNCIA OBSERVADA (1981-2005) DOS DEFICITS HÍDRICOS</u>	43
<u>FIGURA 1.30 - HIDROGRAMA DO RIO FORMOSO NA ESTAÇÃO GATOS 1999 - 2001 (VAZÃO X TEMPO)</u>	44
<u>FIGURA 1.31 - EXEMPLOS DE HIDROGRAMAS DA ESTAÇÃO GATOS NO RIO FORMOSO</u>	46
<u>FIGURA 1.32 - EXEMPLOS DE HIDROGRAMAS DA ESTAÇÃO ARROJADO NO RIO ARROJADO</u>	48
<u>FIGURA 1.33 - SEPARAÇÃO DE ESCOAMENTOS - POSTO FLUVIOMÉTRICOS GATOS, RIO FORMOSO. MÉTODOS HYSEP: INTERVALO FIXO, INTERVALO VARIÁVEL E INTERVALO LOCAL</u>	51
<u>FIGURA 1.34 - FLUVIOGRAMAS TOTAL E DE BASE DO POSTO FLUVIOMÉTRICO GATOS, RIO FORMOSO</u>	51
<u>FIGURA 1.35 - PERÍODOS DE RECARGA - LÂMINA MENSAL (PERÍODO JAN/1982 A DEZ/2005)</u>	54
<u>FIGURA 1.36 - TESTE DE TEMPO DE RETARDO ENTRE CHUVAS E RECARGA</u>	56
<u>FIGURA 1.37 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE NÍVEL ESTÁTICO (NE) PARA AS CINCO CAMPANHAS DE MONITORAMENTO</u>	58

<u>FIGURA 1.38 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NÍVEIS ESTÁTICOS PARA A CAMPANHA DE AMOSTRAGEM DE NOVEMBRO/05</u>	59
<u>FIGURA 1.39 - DISTRIBUIÇÃO DOS NÍVEIS ESTÁTICOS PARA A CAMPANHA DE AMOSTRAGEM DE JULHO/06</u>	59
<u>FIGURA 1.40 - MAPA POTENCIOMÉTRICO PARA AS BACIAS DOS RIOS FORMOSO E ARROJADO - CAMPANHA DE NOVEMBRO/05</u>	60
<u>FIGURA 1.41 - MAPA POTENCIOMÉTRICO PARA AS BACIAS DOS RIOS FORMOSO E ARROJADO - CAMPANHA JULHO/06</u>	60

META C - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO SISTEMA AQÜÍFERO

1.1. Introdução

A água oriunda de precipitações ao atingir a superfície do solo, pode infiltrar-se a depender das características do solo e do substrato rochoso, podendo ser armazenada em meios isotrópicos ou anisotrópicos, constituindo-se assim, fonte natural de águas com reservas de dezenas de vezes superiores ao volume de água doce disponível na superfície. A alimentação e movimento dessas águas nesses meios isotrópicos e anisotrópicos são complexos e envolve uma série de variáveis distintas e depende de cada caso.

A água da superfície do terreno, ou do solo e nas formações geológicas é dividida ao longo de um perfil vertical e está subdividida em zona saturada e não saturada de acordo com proporção relativa de espaços porosos que é ocupado pela água. A zona não-saturada, zona de aeração ou vadosa, compreendida como a região entre a superfície freática e a superfície do terreno onde os poros estão parcialmente preenchidos por gases e água. A zona saturada é a região abaixo da superfície freática, onde todos os espaços existentes no terreno estão preenchidos por água, que se define como aquífero. A superfície freática é conceituada como o lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida à pressão atmosférica

As características geológicas do terreno definem os tipos de aquíferos, assim temos os aquíferos fraturados ou fissurais constituídos por rochas cristalinas (ígneas ou metamórficas), os cársticos a partir das rochas carbonáticas e os porosos, constituídos por rochas sedimentares, como é o caso do aquífero Urucuia.

O sistema aquífero Urucuia, na Bahia, compreende uma espessa seqüência de arenitos fluvio-eólicos depositados no início do período Cretáceo. Constitui um amplo chapadão, com cerca de 80.000km² de extensão, esculpido em terrenos predominantemente arenosos. A rede de drenagem nele superposta é constituída por rios e riachos perenes, estruturalmente controlados, de cursos retilíneos e subparalelos, geralmente orientados

de WSW para ENE, constituindo a expressão superficial do fluxo hídrico num dos maiores reservatórios de água potável do país. É este amplo sistema hídrico que regula uma grande parcela da vazão do rio São Francisco.

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 aquífero Urucuia, tanto para abastecimento humano, quanto para extensivas irrigações sem, contudo, ter sido avaliada sua hidrogeologia com propriedade.

A região selecionada para estudos se situa num dos ambientes mais ricos do estado da Bahia, em termos de recursos hídricos. Seu desenvolvimento agroindustrial acelerado está exigindo do estado um controle mais rigoroso de outorga e monitoramento dos recursos hídricos ali disponíveis, que ainda não foram completamente dimensionados. Os trabalhos aqui apresentados se enquadram no objetivo de fornecer subsídios básicos para embasar as decisões de tal regulação.

Este capítulo se refere aos levantamentos de campo e os resultados obtidos a partir dos dados coletados na área de estudo visando atender aos objetivos do convênio nº 01.04.0623.00 firmado entre a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e as Universidades Federais da Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Paraíba. Este convênio, firmado como uma Rede Cooperativa de Pesquisa com as universidades mencionadas, buscou avaliar o *Comportamento de Bacias Sedimentares na Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro*. Nas próximas seções são apresentados os procedimentos para instalação e obtenção dos dados de campo, bem como a análise e interpretação desses dados no sentido de se caracterizar o sistema aquífero.

Definição da rede de poços de monitoramento

Autores: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA; MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM; MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM; Dr. Luiz Rogério Bastos Leal – UFBA; Dr. Olivar Antonio Lima de Lima – UFBA

1.2.1 - Inventário dos poços existentes

O levantamento de informações referente aos poços tubulares da região de estudo, iniciou-se com a consulta ao banco de dados SIAGAS (Sistema Informação de Águas Subterrâneas), que a CPRM – Serviço Geológico do Brasil administra em rede nacional, além de contatos com a CERB (Companhia de Engenharia Rural da Bahia) e a SRH (Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia). Observou-se que a maioria dos poços cadastrados nesses órgãos estavam localizados a norte da área, na bacia do rio Corrente.

Nesta etapa de contato com as empresas detentoras de informações, foram cadastrados somente 29 poços na área de estudo que captam água do aquífero Urucuia ou, pelo menos, o atravessa, sendo que poucos possuíam algum tipo de informação sobre os perfis litológico-constructivos.

O cadastramento de poços com visita em campo começou em julho de 2005, sendo que esta atividade foi constante ao longo de todo o projeto. Foram cadastrados, no total, 137 poços localizados nas bacias do Arrojado e Formoso e na circunvizinhança. Para o cadastramento foi utilizado GPS da marca Garmin, modelo etrex Vista, utilizando o *datum* WGS84.

1.2.2 - Seleção de pontos para monitoramento

A maioria dos poços cadastrados tem como destinação principal o uso doméstico nas fazendas. Dessa forma, a seleção dos pontos d'água passou por um processo de convencimento dos proprietários quanto a necessidade de obtenção de informações detalhadas sobre os poços para dar maior qualidade ao estudo aqui desenvolvido.

Procurou-se selecionar os poços com maior qualidade de informações (perfil constructivo, perfil litológico, dados de bombeamento, etc), facilidade de acesso ao poço e com boa distribuição geográfica.

Com base em 125 poços cadastrados foram selecionados inicialmente 30 para

acompanhamento da potenciometria, ver Anexo 1. Entretanto, a quase totalidade dos poços apresentava-se lacrado (com tampa) impossibilitando a medição do nível estático do aquífero (Foto 1.1). Dessa forma, foi necessário contratar uma empresa para perfuração das respectivas tampas e instalação de tubos-guia de ¾”, soldável, para viabilizar as respectivas medições.



Foto 1.1. Poço tubular típico da área de trabalho (PT 110)

Em novembro de 2005, iniciaram-se os trabalhos de instalação dos tubos-guia através da contratação de empresa com sede em Barreiras (BA). Dos 30 poços que compõem a rede potenciométrica, a DELCOMAQ instalou os tubos-guia em vinte e seis, em dois a instalação foi feita pela CPRM, no restante não houve necessidade, pois um deles encontra-se abandonado sem tampa e outro é uma cacimba (poço escavado).

Para a instalação dos tubos-guia utilizou-se uma máquina perfuradora com broca tipo “copo” com 24 mm de diâmetro movida por um gerador (foto 2). Os tubos foram instalados no final da estação seca, início da estação chuvosa, quando os níveis potenciométricos devem alcançar as maiores profundidades.



Foto 1.2. Processo de perfuração das tampas dos poços para instalação dos tubos-guia

As medições começaram a ser realizadas em novembro de 2005, com campanhas sucessivas em março, julho, outubro de 2006 e março de 2007. Embora a rede potenciométrica fosse composta inicialmente de 30 poços, as últimas medições foram feitas somente em 27, pois 3 poços, devido a problemas diversos, tiveram os tubos-guia retirados (Pt1, Pt43 e Pt66) pelos proprietários.



Foto 1.3. Medição no poço Pt43 que teve, posteriormente, retirados os tubos-guia

A Figura 1.1 a seguir, mostra a localização dos poços de monitoramento potenciométrico. Observa-se que não foi possível manter uma malha regularmente distribuída na área em função da não existência de poços na porção leste e centro-sul da área.

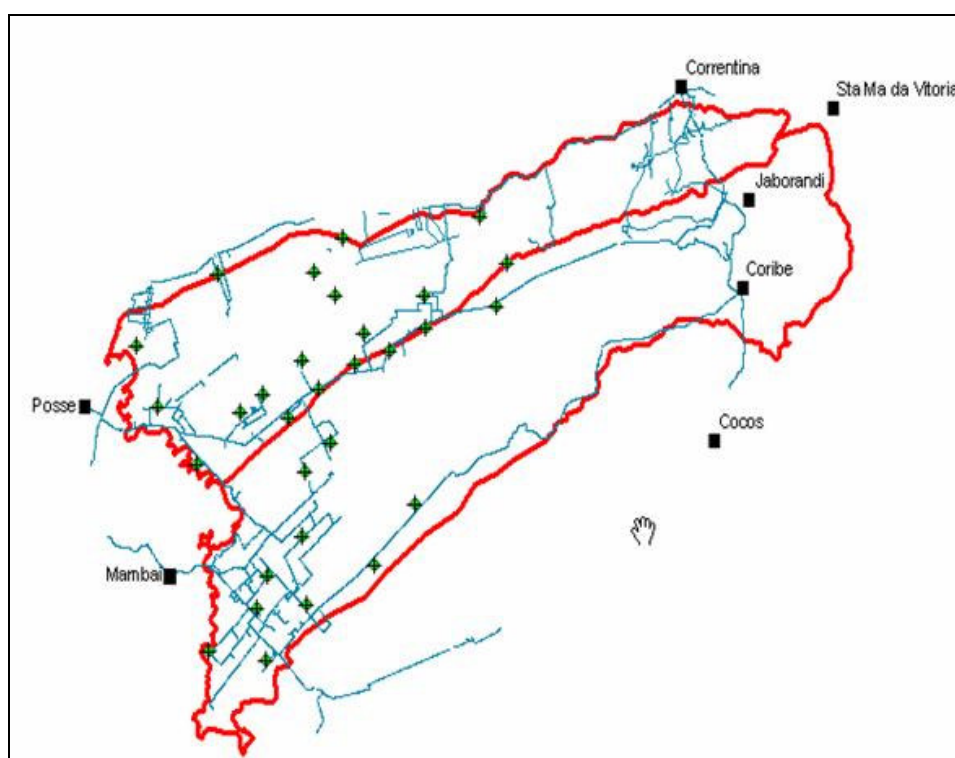


Figura 1.1 - Localização dos pontos para medição do nível potenciométrico

1.2.3 - Nivelamento dos poços de água selecionados

Em novembro de 2005 foi destacada uma equipe da cartografia do Escritório do Rio de Janeiro da CPRM para determinar as cotas altimétricas de 60 poços selecionados na área de estudo. Entretanto, devido às intensas chuvas na região, no período, só foi possível determiná-las em 45 poços, ver Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Determinação das cotas altimétricas nos poços selecionados

POÇOS	COTA (m)	POÇOS	COTA (m)	POÇOS	COTA (m)
Pt64	851.344	pt43	935.789	pt56	753.967
Pt69	827.199	pt72	836.465	pt11	753.304
Pt33	889.058	pt135	804.470	pt132	749.126
Pt34	884.165	pt40	860.304	pt133	755.652
Pt31	885.955	pt39	853.734	pt01	771.674
Pt66	820.853	pt37	849.679	pt16	959.219
Pt60	890.568	pt26	924.701	pt42	971.151
Pt22	872.907	pt14	804.856	pt09	792.373
Pt62	867.044	pt110	881.299	pt47	926.323
Pt70	832.529	pt105	930.784	pt05	787.438
Pt75	876.958	pt103	959.962	pt123	826.535
Pt78	873.913	pt100	967.325	pt126	798.752
Pt45	878.208	pt108	888.471	pt50	907.513
Pt27	886.954	pt107	893.339	pt67	845.268
Pt29	867.452	pt03	767.896	pt124	811.871

Foi utilizado para este serviço o GPS Geodésico, como pode ser visto nas fotos a seguir.



Foto 1.4. Processo de medição das cotas altimétricas nos poços selecionados

A Figura 1.2 apresentada a seguir mostra a localização dos poços selecionados para medição das cotas.

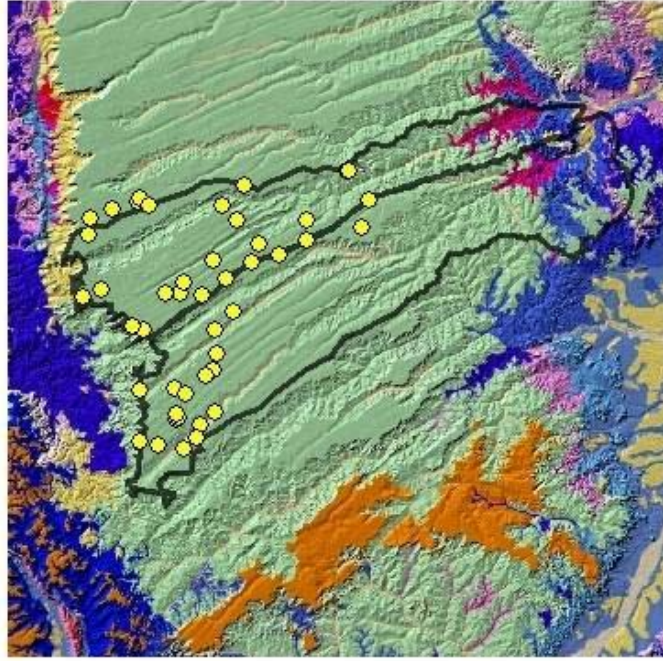


Figura 1.2 - Localização dos poços com altimetria realizada

1.3 - Instalação de equipamentos

1.3.1 - Instalação de Pluviógrafos

Em dezembro de 2005, foram instalados 4 pluviômetros automáticos eletromecânicos, com área de captação de 400 cm² da marca HIDROMECA, modelo PLA, e ao lado de cada um destes um pluviômetro do tipo convencional, modelo DNAEE com área de captação também de 400cm², ver fotos a seguir. Dessa forma, conseguiu-se um período de observação de dezembro de 2005 a março de 2007.



Foto 1.5. Pluviógrafo instalado (digital) tendo ao lado um pluviômetro (manual), localizado na Fazenda Tropeiro Velho.



Foto 1.6. Detalhe do pluviógrafo instalado



Foto 1.7. Aferição do pluviógrafo antes da instalação

Salienta-se que o Serviço Geológico do Brasil manteve a observação dos dados com recursos próprios de janeiro até junho de 2007 e repassou para o controle da Agência Nacional das Águas (ANA) a rede de pluviometria instalada, o que permitirá o monitoramento dos dados após o encerramento deste projeto.

Com base nas informações, coletadas foi possível determinar a distribuição pluviométrica para o ano de 2006, conforme demonstrado nas figuras abaixo. Em relação aos pluviômetros convencionais, foram contratados observadores locais para fazer as anotações diárias.

Durante as medições, o equipamento instalado na Fazenda Tomix teve que ser retirado para manutenção. Dessa forma, as medidas do período de dezembro de 2005 a junho de 2006 não puderam ser computadas. As figuras 1.3 e 1.4 apresentadas a seguir mostra os totais pluviométricos observados no período.

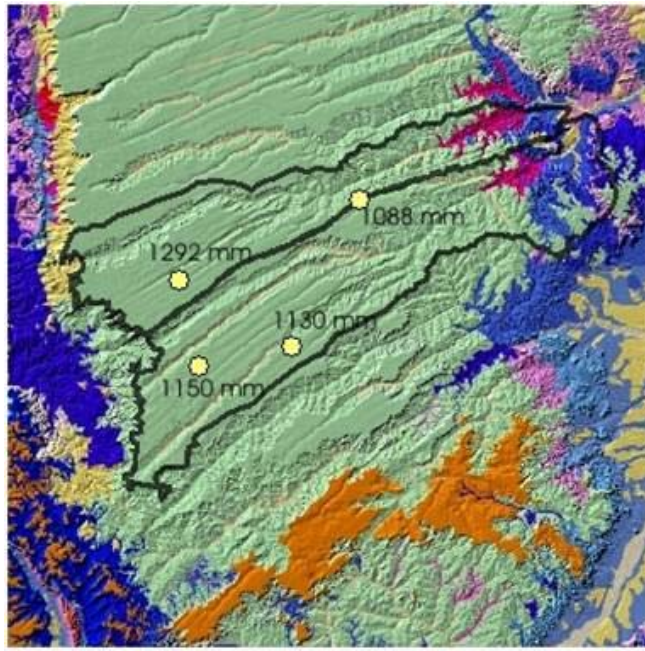


Figura 1.3 - Mapa da área de estudo com a pluviometria obtida nos aparelhos manuais

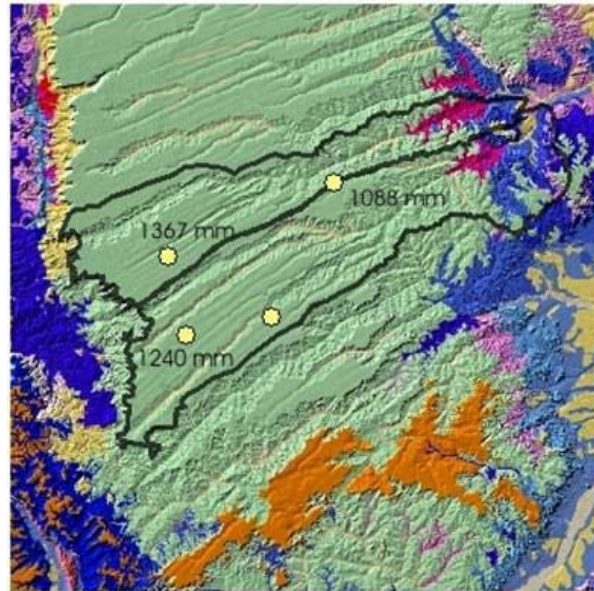


Figura 1. 4 - Mapa da área de estudo com a pluviometria obtida nos aparelhos

1.3.2 - Instalação de Lisímetro

Com a finalidade de determinar a taxa de infiltração na área em estudo, foram instalados 4 lisímetros em maio de 2006, no final da estação chuvosa, nas mesmas localidades onde foram instalados os pluviógrafos, na fazenda Tomix, fazenda Tropeiro Velho, fazenda Conquista e COBA.

Ao longo das observações foram detectados problemas nas leituras. No caso da fazenda Conquista, em nenhum momento, foi possível fazer as medições, pois a régua medidora apresentou-se sem nenhuma marcação, seca. Somente com a reabertura da cava será possível determinar o que ocorreu. A Figura 1.5 apresentada a seguir mostra o desenho esquemático dos equipamentos instalados.

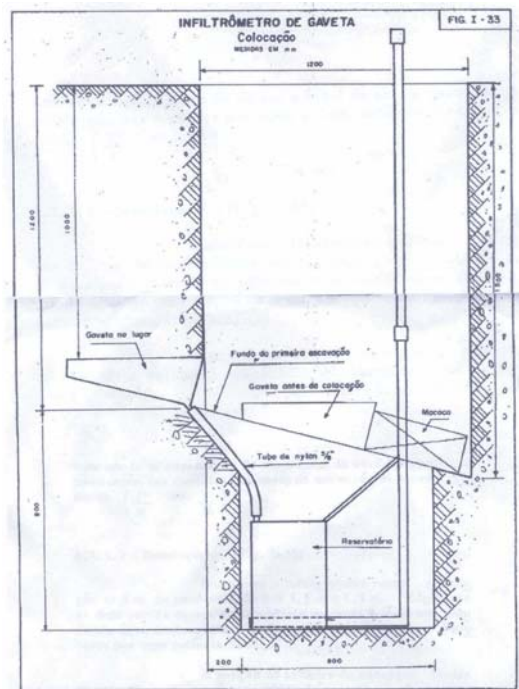


Figura 1. 5 - Esquema do lisímetro (infiltrômetro de caixa) instalado

Em todos os lisímetros ocorreu o adensamento do solo, sendo necessário colocar mais terra para recompor a estrutura, conforme mostra a foto abaixo.



Foto 1.8. Solapamento do lisímetro na Fazenda Tomix

A Tabela 1.2 apresentada a seguir mostra as principais características dos lisímetros instalados na área.

Tabela 1.2. Características dos lisímetros instalados

FAZENDA	CAVA	GAVETA	X₀
COBA	3 m	1,5 m	2,5 cm
CONQUISTA	2,6	1,5 m	2 cm
TROPEIRO VELHO	3 m	1,5 m	2 cm
TOMIX	3 m	1,5 m	2 cm

De modo geral, os lisímetros construídos apresentam uma profundidade de até 3 metros de profundidade com abertura de cava de 2 metros por 2 metros. A gaveta coletora ficou posicionada a 1,5 metros de profundidade conforme ilustra a foto abaixo. A leitura da infiltração se deu através de uma barra de ferro com uma fita graduada, conforme ilustrada na foto. Inicialmente foram feitas medições para definição do ponto inicial (X₀).

Nas diversas etapas de campo, foram feitas leituras da variação do nível de óleo, conforme mostrado na foto abaixo.



Foto 1.9. Processo de construção do lisímetro



Foto 1.10. Processo de construção do lisímetro e sua leitura.

1.3.3 - Construção de Piezômetros

Para a construção dos piezômetros foi contratada uma empresa especializada. O processo se deu através da distribuição de carta-convite para diversas empresas que atuam na região de estudo. Definiu-se como proposta básica a construção de dois piezômetros, um para o teste de aquífero do poço da Fazenda Buriti (PT127) e outro para o da Fazenda São Miguel/COBA (PT33), ver Figura 1.6. Os piezômetros contratados têm 70 metros de profundidade cada, e ficaram a aproximadamente 22 metros do poço bombeado.

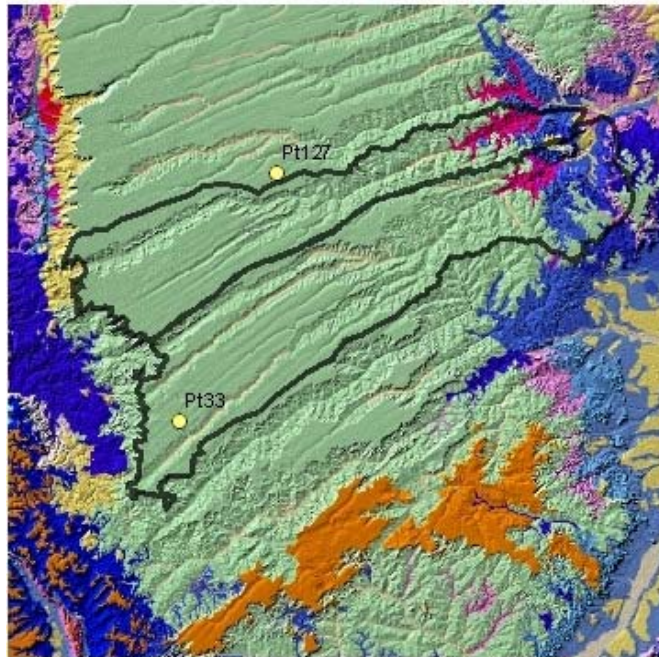


Figura 1.6 - Localização dos testes de aquífero

Os trabalhos de construção dos piezômetros duraram de 17 a 24 de agosto de 2006 com a perfuração do primeiro piezômetro na Fazenda São Miguel (PO33). Foi utilizada uma sonda rotativa e as amostras de calha foram coletadas em sacos plásticos, de metro em metro, analisadas e armazenadas. Após a perfuração em 8", procedeu-se a completação do poço com a colocação de tubulação de PVC geomecânico de 4" na seguinte seqüência: de 0 a 40 metros tubo cego e de 40 a 70 metros filtro. Durante a descida da tubulação, foram instalados 2 centralizadores para manter o espaço anular uniforme. O pré-filtro foi posicionado de 15 a 70 metros e a seção superior foi preenchida com calda de cimento (selo sanitário). Após esses procedimentos o poço foi desenvolvido através do método de lavagem até a água sair límpida, ver foto a seguir.



Foto 1.11. Perfuração do piezômetro PO33



Foto 1.12. Desenvolvimento do piezômetro PO127

As características do piezômetro PO33 seguem descritas na Figura 1.7 abaixo.

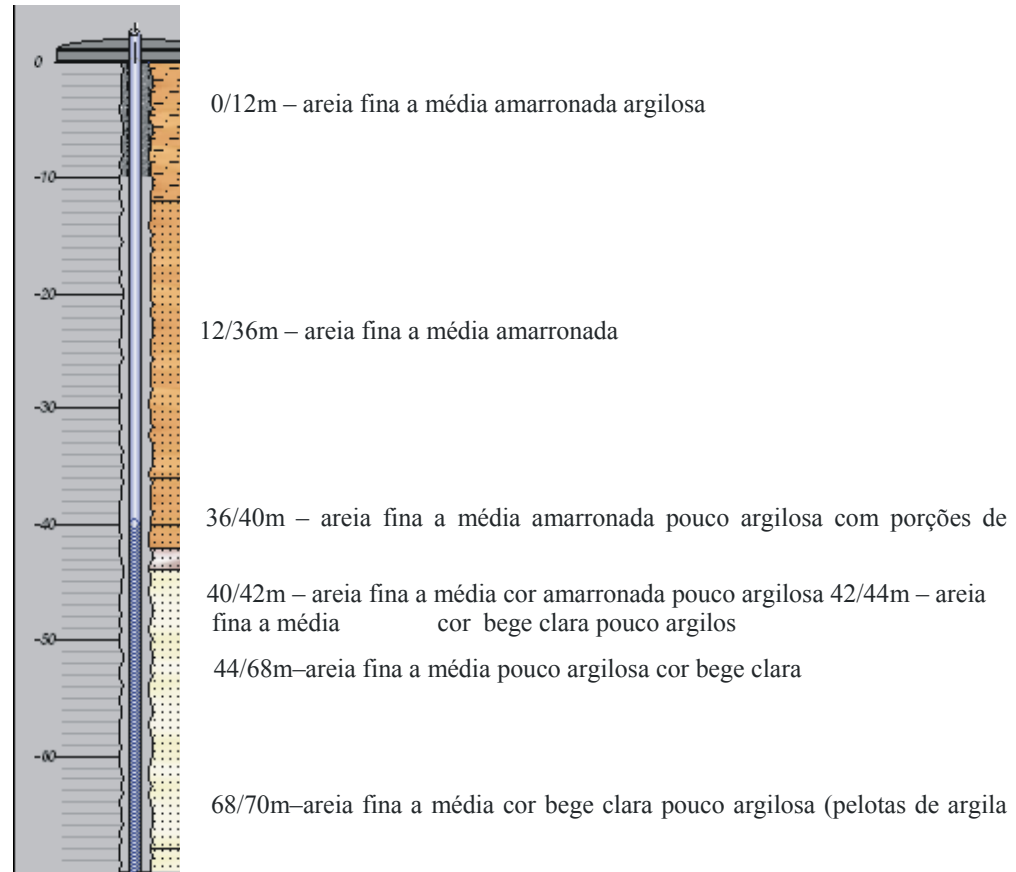


Figura 1.7 - Perfil construtivo do PO33 com a descrição das amostras de calha

Após o término da perfuração deslocou-se a máquina para a fazenda Buriti para perfuração do piezômetro PO127. Adotou-se o mesmo procedimento do PO33 para perfuração, completação e desenvolvimento. Foram colocados tubos PVC geomecânico de 4" na seguinte seqüência: de 0 a 36 metros tubo cego e de 36 a 70 metros filtro. Da mesma forma, foram instalados 2 centralizadores e o pré-filtro foi posicionado de 15 a 70 metros e a seção superior foi preenchida com calda de cimento (selo sanitário).

O perfil litológico construtivo do piezômetro PO127 pode ser visto na Figura 1.8 apresentada a seguir.

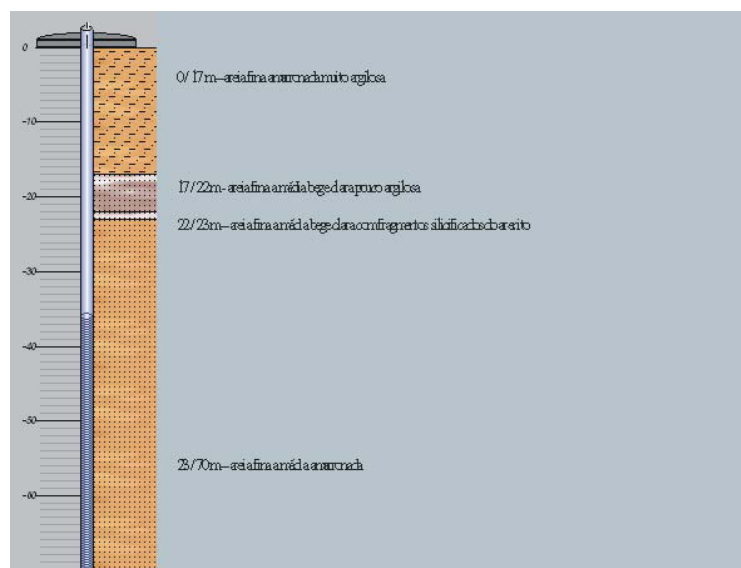


Figura 1. 8 - Perfil construtivo do PO127 com a descrição das amostras de calha

Teste de Aquífero

Autores: MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM; Dr. João Manoel Filho – Consultor; Natanael da Silva Barbosa – Iniciação Científica – UFBA; Natali da Silva Barbosa – Iniciação Científica - UFBA

1.4.1 - Planejamento e Execução dos Testes

A avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Urucuia se deu através de dois testes de aquífero em poços previamente selecionados dentro da área da bacia.

O aquífero Urucuia é constituído por duas formações arenosas, a Formação Serra das Araras (superior) e a Formação Posse (inferior), um dos poços selecionados capta água somente da formação superior (Pt 126) e o outro somente da formação inferior (Pt 33).

O poço PT33, pertencente à Fazenda São Miguel/COBA, possui uma profundidade de 282 metros e atravessa as duas formações que compõem o aquífero Urucuia (Figura 1.9). O poço foi construído em maio de 2004 pela empresa R. DERNER PERFURAÇÃO Ltda. Segundo o relatório de construção, o poço possui uma vazão livre de produção de 560 m³/h e segundo os proprietários é utilizado para irrigação através de um pivô central. Entretanto, a um bom tempo o poço não tem sido utilizado.

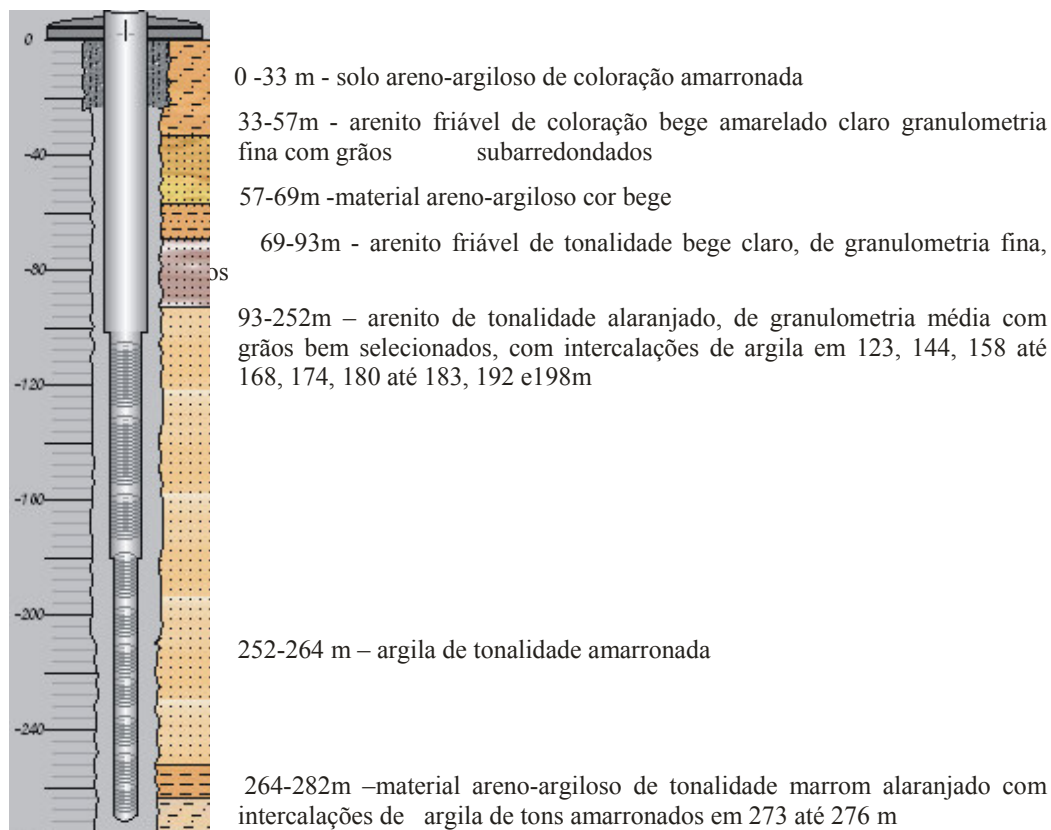


Figura 1. 9 - Poço PT 33 com a descrição do perfil litológico e consuntivo

O Poço PT 127, pertencente à fazenda Buriti, é utilizado para o abastecimento doméstico. Segundo o relatório, o poço possui uma profundidade de 60 metros, não atinge a Fm Posse, captando água somente da Fm Serra das Araras com uma vazão de produção de 12 m³/h.

Para realização dos testes foi contratada a mesma empresa que executou a perfuração dos dois piezômetros. O poço foi desligado às 20 horas do dia anterior ao ensaio.

1.4.2 - Interpretação dos testes e determinação dos parâmetros hidrodinâmicos

Teste da Fazenda Coba

Localização - Na Fazenda COBA o poço testado foi o PT33 com observação de nível d'água e de pressão atmosférica no poço PO33 situado a 22 m de distância. Os referidos poços estão localizados nos pontos de coordenadas UTM mostrados na Tabela 1.3 e ilustrados na Figura 1.10.

Tabela 1.3 – Localização dos poços usados no teste da Fazenda COBA

Poço	X -kmE	Y -kmN	Z (m)	r (m)	NE	Boca (m)
PT33	408,132	8386,785	904	0,125	39,6	1,70
PO33	408,143	8386,767	904	22,0	38,6	0,60

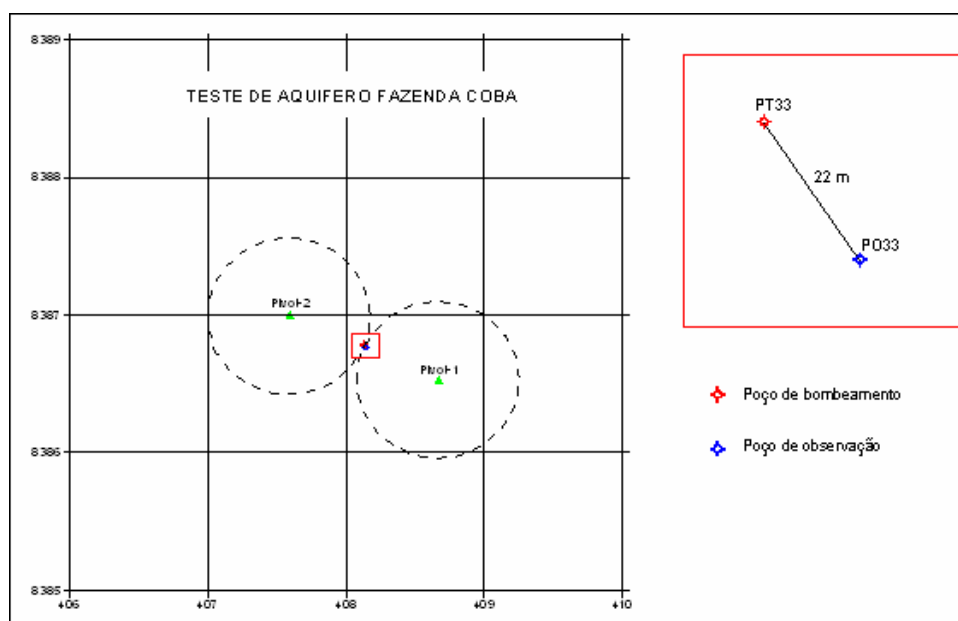


Figura 1.10 - Sítio do teste de aquífero da Fazenda Coba, com localização dos poços de bombeamento e observação dos pivôs centrais usados para irrigação de 200 ha.

Condições de Realização - O teste teve duração de 24 horas com início do bombeamento do poço PT33 (Foto 1.13) no dia 27.08.06 às 7:30 horas e término às 7:30 horas do dia 28.08.06, com observação de nível d'água apenas no poço PO33 (Foto 1.14).



Foto 1.13 – Poço de bombeamento PT33 usado no teste de aquífero da Faz. COBA.



Foto 1.14 – Vista do poço bombeado e do poço de observação PO33 situado a 22 m de distância, no teste de aquífero realizado na Faz. COBA.

No poço bombeado as medidas de vazão foram feitas pelo método de ultra-som (fotos 1.15 e 1.16). A primeira leitura somente foi obtida após 25 minutos de bombeamento e a vazão oscilou durante todo o teste (Figura 1.11).



Foto 1.15 – Ilustração da instalação do equipamento de ultra-som no tubo de descarga da vazão bombeada no teste de aquífero da Faz. COBA.



Foto 1.16 - Vazão de 390,2 m³/h mostrada no visor do “datalogger” programado para registrar a descarga a intervalos de 1 minuto, no teste da Faz. COBA.

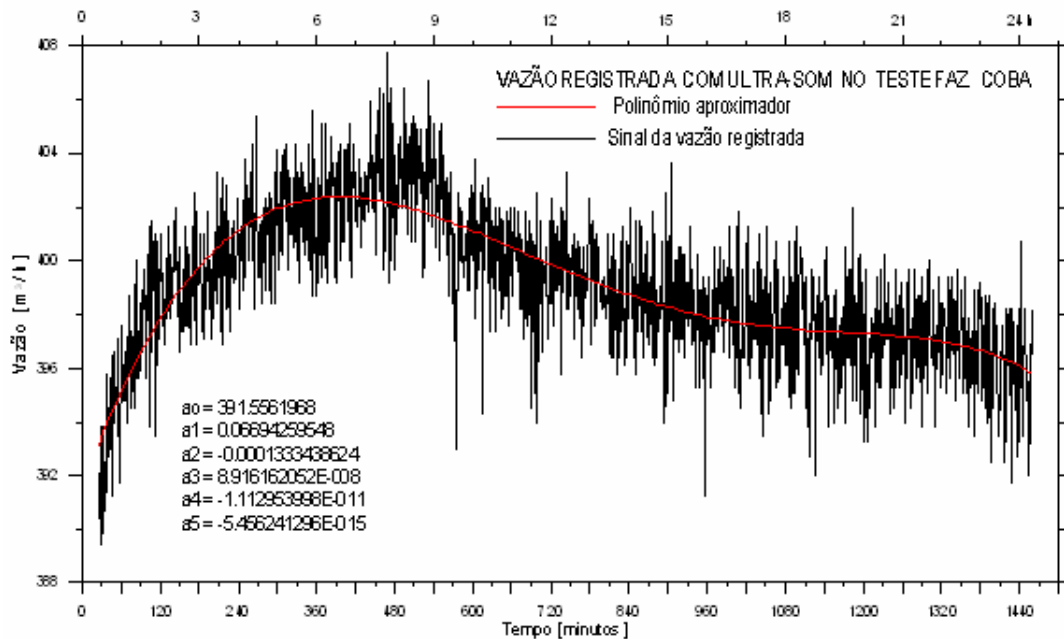


Figura 1. 11 - Registro da vazão bombeada oscilante no teste da Fazenda Coba

A vazão bombeada oscilou durante todo o teste, apresentando uma tendência crescente de 390 a 402 m³/h nas primeiras 6 horas e decrescente de 402 a 396 m³/h nas 18 horas restantes. A média foi de 399 m³/h.

O monitoramento do nível d'água e da pressão atmosférica no poço de observação PO33 foi realizado através de dois sensores eletrônicos (“dataloggers”), o que permitiu avaliar a eficiência barométrica do aquífero e o coeficiente de armazenamento.

Eficiência Barométrica - Os registros de variação da pressão atmosférica e da carga de pressão da água no PO33, antes do início bombeamento, são mostrados na Figura 1.12. A significativa diferença de magnitude observada entre as oscilações milimétricas da pressão atmosférica e as oscilações centimétricas do nível da água subterrânea, sugere que essas últimas foram produzidas por outras causas além da pressão atmosférica. De fato, quando os sensores foram instalados às 16:00 horas do dia 26.08.06, no poço de observação PO33, o nível da água estava em recuperação do desenvolvimento, que terminou às 15:00 horas. A somatória das variações de nível d'água (Figura 1.13) mostra que entre 16 horas e 18 horas a recuperação foi superior a 8 cm.

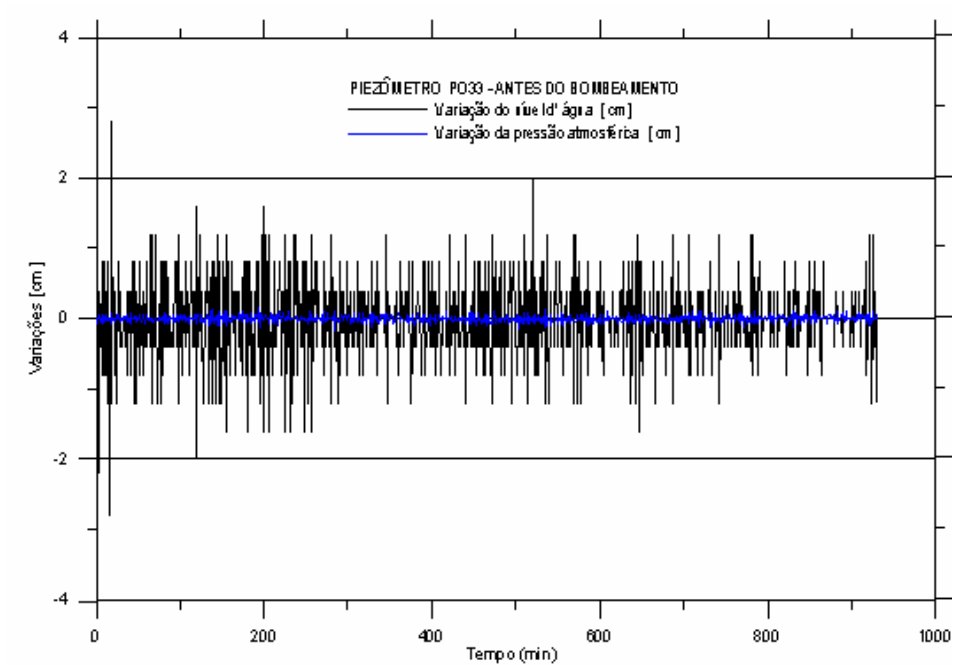


Figura 1.12 - Registros de pressão atmosférica e nível d'água no PO33 antes do bombeamento

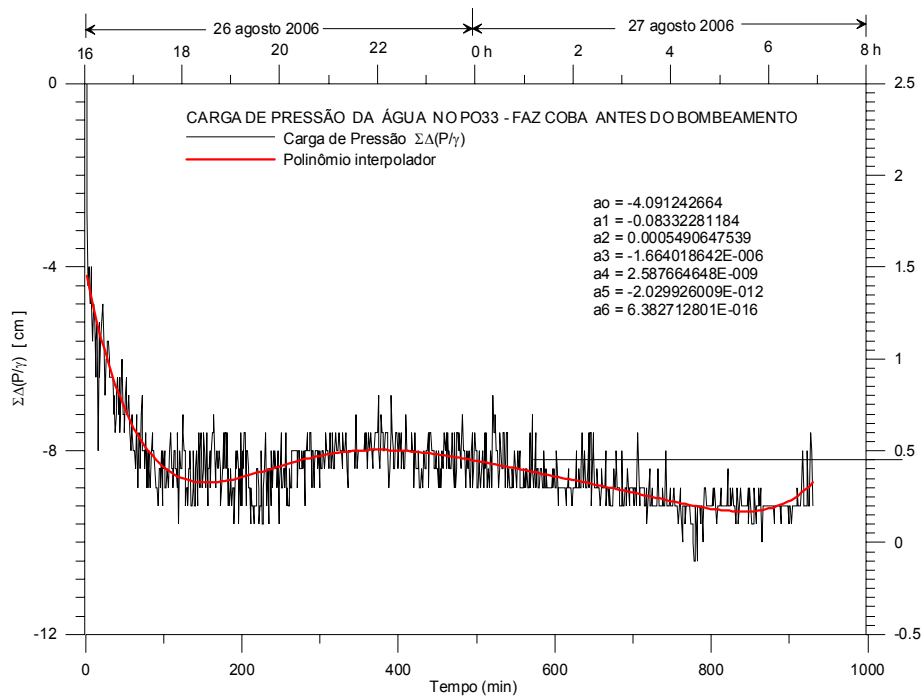


Figura 1.13 - Registros da somatória da variação de carga de pressão

A Figura 1.14 mostra a somatória das variações da pressão atmosférica. Através de um polinômio aproximador estima-se que a variação total, dada pela diferença entre o máximo e o mínimo no período de 16:00 h a 22:00 h é de 1,81 cm.

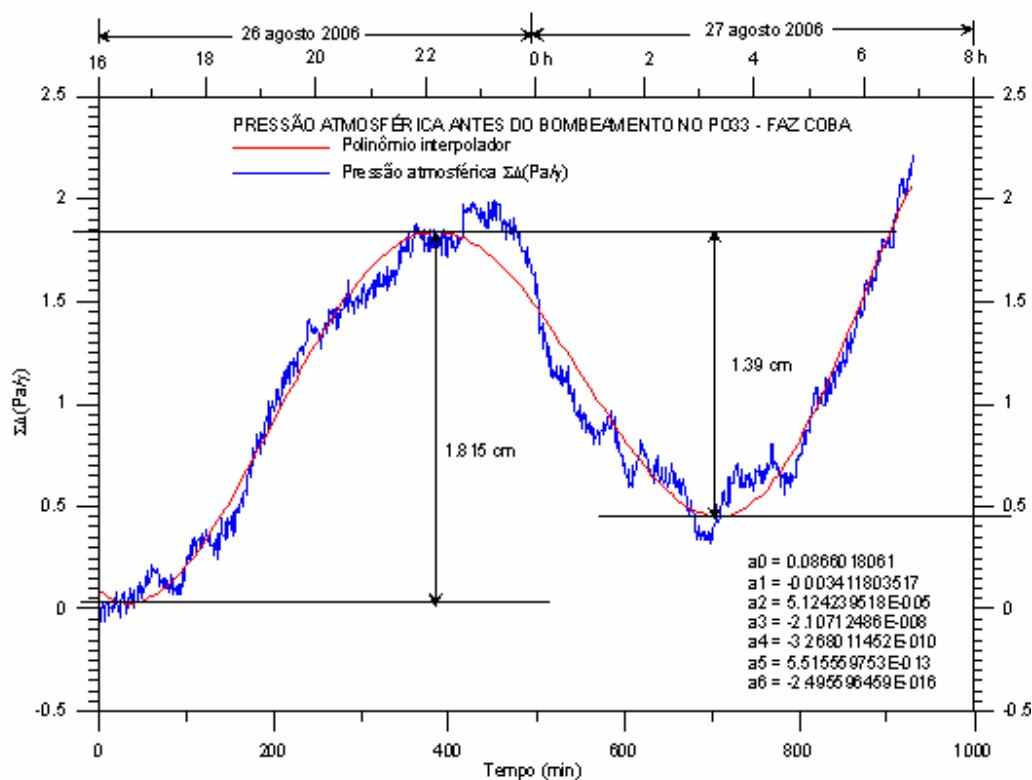


Figura 1.14 - Somatória das variações da pressão atmosférica antes do bombeamento no poço de observação PO33. a magnitude da variação total entre 16:00h e 22:00h é estimada em 1.815 cm

A diferença entre o máximo e o mínimo da somatória das variações de nível da água subterrânea atribuída ao efeito da pressão atmosférica entre as 16:00 h e 22:00 h, conforme ilustrado na Figura 1.15, é de 0,70 cm.

A eficiência barométrica do aquífero é dada por:

$$EB = \frac{\sum \Delta \left(\frac{P}{\gamma} \right)}{\sum \Delta \left(\frac{Pa}{\gamma} \right)} = \frac{0,7}{1,815} \cong 0,38 \quad (1)$$

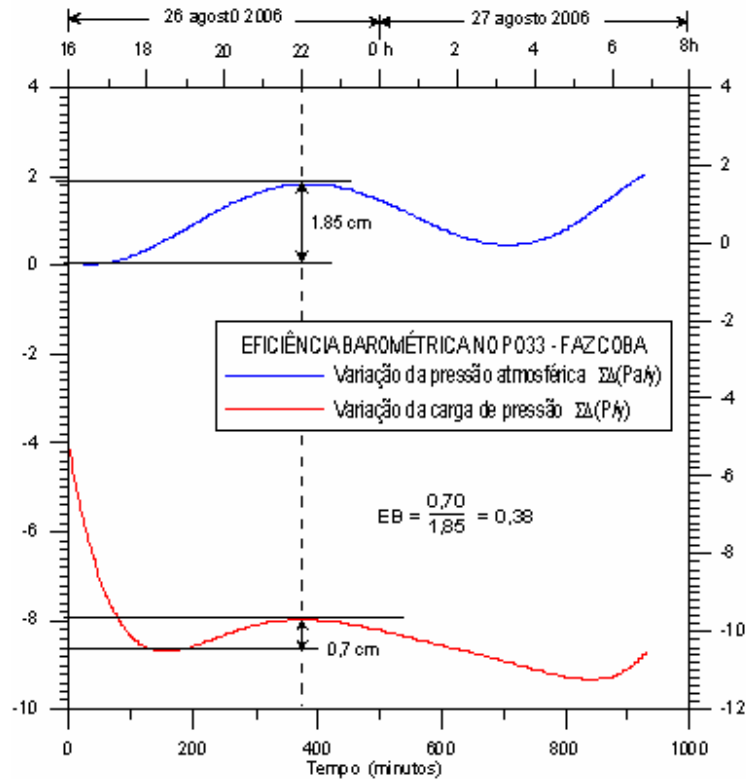


Figura 1.15 - Somatória das variações da carga de pressão da água subterrânea antes do bombeamento no poço de observação P33. A variação total entre 16:00h e 22:00h atribuída ao efeito da pressão atmosférica é estimada em 0,7 cm

Coefficiente de Armazenamento - A temperatura média da água registrada no sensor foi de 25,8 °C, o que leva a atribuir ao peso específico e à compressibilidade da água os valores de $\gamma = 9777\text{N/m}^3$ e $\beta = 4,7 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{N}$, respectivamente.

Considerando uma porosidade de 30% para o aquífero e uma espessura saturada de 242 m obtém-se um coeficiente de armazenamento de:

$$S = \frac{\gamma n \beta b}{EB} = \frac{9777 \times 0,3 \times 4,5 \times 10^{-10} \times 242}{0,38} = 8,4 \times 10^{-4}$$

(2)

Geometria dos poços testados - Os parâmetros de penetração do poço bombeado e do poço observado em relação à espessura total do aquífero no teste da Fazenda COBA são ilustrados na Figura 3.16. Admite-se que o poço bombeado é quase totalmente penetrante com a base do aquífero situada a 280 m de profundidade. Como o poço de observação é parcialmente penetrante a interpretação do teste é feita pelo método de Neuman para poços parcialmente penetrantes em aquífero livre (Batu, 1998).

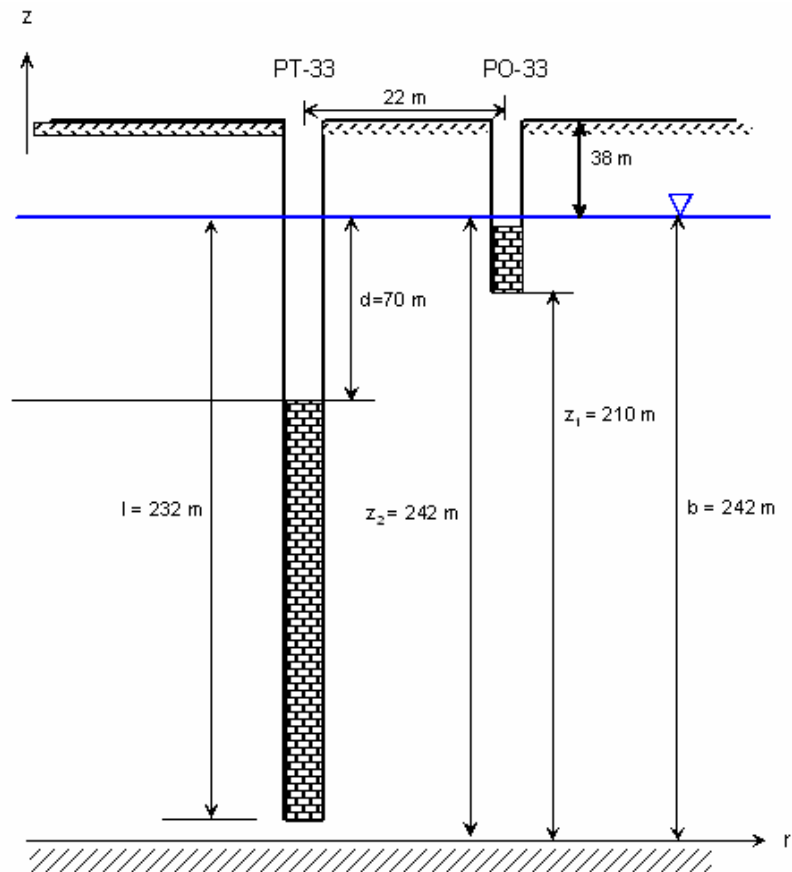


Figura 1.16 - Geometria dos poços utilizados no teste de aquífero da Fazenda Coba

Para a aplicação do método é preciso gerar famílias de curvas padrão de Neuman tipo A e tipo B específicas da geometria dos poços usando os parâmetros mostrados na Tabela 1.4.

Tabela 1.4 – Parâmetros de entrada para a geração de curvas padrão específicas da geometria dos poços testados na Fazenda COBA.

Poço bombeado	Poço observado	l/b	d/b	z/b	$z1/b$	$z2/b$
PT33	PO33	0,96	0,29	0	0,87	1,0

Parâmetros Hidráulicos - A superposição do gráfico de campo obtido no PO33 às curvas padrão geradas com a geometria dos poços é ilustrada nas figuras 1.17 e 1.18 .

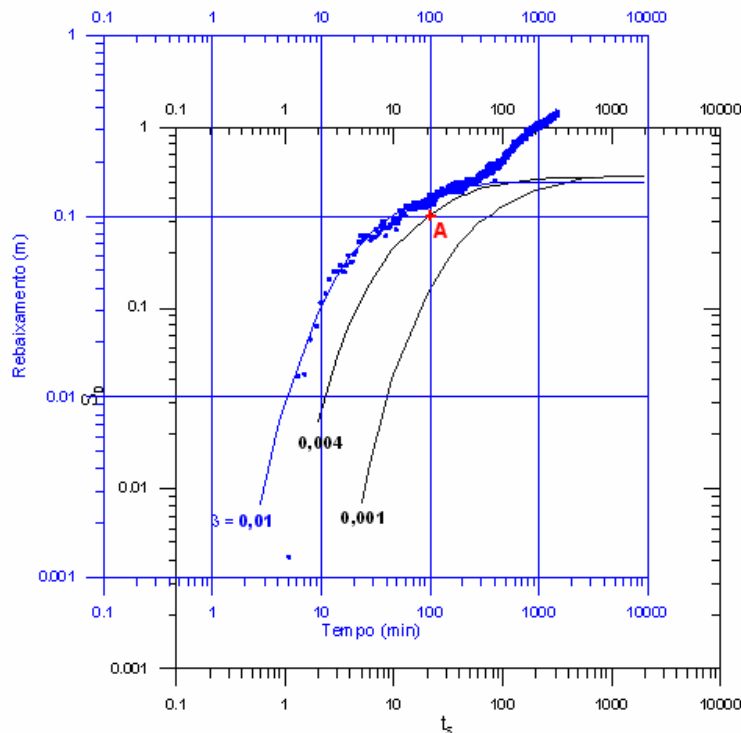


Figura 1.17 - Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo A de Neuman para $B=0,01$ específica para a geometria dos poços (tabela 1.4)

Foram feitas superposições da curva de campo com as curvas padrão para valores de $\beta=0,01$ e $\beta=0,004$ nos pontos indicados na Tabela 1.5. As figuras 1.17 e 1.18 ilustram apenas as superposições para $\beta=0,01$.

Tabela 1.5 – Coordenadas dos pontos de superposição com $\beta=0,01$

Ponto	β	t (min)	t_s	t_y	s (m)	s_D
A	0,01	100	21	-	0,1	0,33
B	0,01	100	-	3,2	0,1	0,58
A	0,004	100	47		0,1	0,33
B	0,004	100		8	0,1	0,6

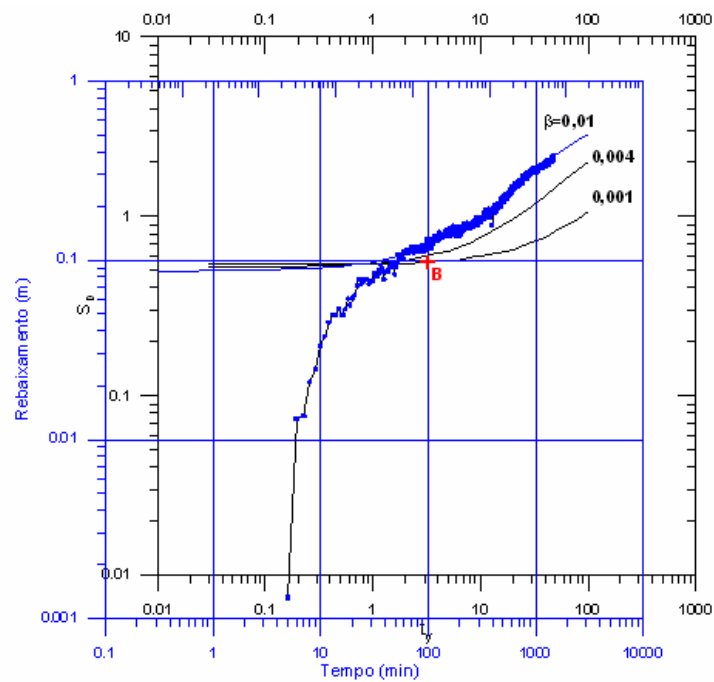


Figura 1.18 - Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo B de Neuman para $\beta=0,01$ específica para a geometria dos poços (tabela 1.4)

Tabela 1.6 – Cálculo dos parâmetros hidráulicos

Ponto	β	Equações	T m ² /s	S	S _y
A	0,01	$T = \frac{Q s_D}{4\pi s} = \frac{0,111 \times 0,33}{4\pi \times 0,1}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$	
		$S = \frac{T t}{t r^2} = \frac{2,9 \times 10^{-2} \times 100 \times 6}{21 \times 22^2}$			
B	0,01	$T = \frac{Q s_D}{4\pi s} = \frac{0,111 \times 0,58}{4\pi \times 0,1}$	$5,1 \times 10^{-2}$		$1,98 \times 10^{-1}$
		$S_y = \frac{T t}{t r^2} = \frac{5,1 \times 10^{-2} \times 100 \times 6}{21 \times 22^2}$			
A	0,004	$T = \frac{Q s_D}{4\pi s} = \frac{0,111 \times 0,33}{4\pi \times 0,1}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$7,7 \times 10^{-3}$	
		$S = \frac{T t}{t r^2} = \frac{2,9 \times 10^{-2} \times 100 \times 6}{47 \times 22^2}$			
B	0,004	$T = \frac{Q s_D}{4\pi s} = \frac{0,111 \times 0,6}{4\pi \times 0,1}$	$5,3 \times 10^{-2}$		$8,2 \times 10^{-1}$
		$S_y = \frac{T t}{t r^2} = \frac{5,3 \times 10^{-2} \times 100 \times 6}{8 \times 22^2}$			
		$S = \frac{\gamma n \beta b}{ER} = \frac{9777 \times 0,3 \times 4,5 \times 10^{-10}}{0,38}$		$8,4 \times 10^{-1}$	

Tabela 1.7 -Valores médios adotados para a Fazenda COBA

Transmissividade	T m ² /s	4,1E-02
Coefficiente de armazenamento	S	8,6E-03
Porosidade efetiva	S _y	1,4E-01
Fator de drenagem retardada	$\beta = r/D$	0,007
Espessura saturada	b (m)	242
Condutividade hidráulica horizontal	K _r (m/s)	1,7E-04
Razão de anisotropia	KD = K _z / K _r	0,847
Condutividade hidráulica vertical	K _z m/s	1,4E-04
Razão de armazenamento	S/S _y	6,1E-02
Difusividade	T/(S+S _y)	2,7E-01

Os resultados sugerem que o sistema aquífero do Urucuia se comporta praticamente como isotrópico e que a razão de anisotropia se aproxima da unidade com erro de 15%.

Teste na Fazenda Buriti

Localização - O teste da Fazenda Buriti consistiu no bombeamento do poço PT127 com observação de nível d'água e de pressão atmosférica no poço PO127 situado a 22m de distância. A Tabela 1.8 indica as coordenadas UTM dos referidos poços.

Tabela 1.8 – Localização dos poços usados no teste da Fazenda BURITI

Poço	X -kmE	Y-kmN	Z (m)	r (m)	NE	Boca (m)
PT127	447,523	8491,722	795	0,076	38,6	1,70
PO127	447,542	8491,708	795	22,0	38,6	0,60

Condições de Realização - O teste teve início às 11:23 h do dia 01.09.06 e foi encerrado às 8:23 h do dia 02.09.06, com duração de 21 horas de bombeamento. A recuperação foi registrada durante um período de 2 horas, com a retirada dos sensores do poço de observação PO127 às 10:23 h do dia 02.09.06. A impossibilidade prática de interromper o abastecimento de água da Fazenda durante um período suficiente para que o poço bombeado (que se encontrava em regime de operação) e o poço observado voltassem a uma razoável condição de equilíbrio dificultou as operações de campo, embora não tenha comprometido os resultados do teste.

A vazão bombeada, medida na boca do poço pelo método volumétrico, foi de 3 l/s e se manteve constante durante todo o teste, graças à grande produtividade do aquífero. 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.

Eficiência Barométrica - A eficiência barométrica do PO127 é deduzida dos gráficos das figuras 1.19 e 1.20 é dada por:

$$EB = \frac{\sum \Delta \left(\frac{P}{\gamma} \right)}{\sum \Delta \left(\frac{Pa}{\gamma} \right)} = \frac{0,7}{1,91} \cong 0,37 \quad (3)$$

O valor é quase idêntico ao encontrado no poço PO33 da Fazenda COBA.

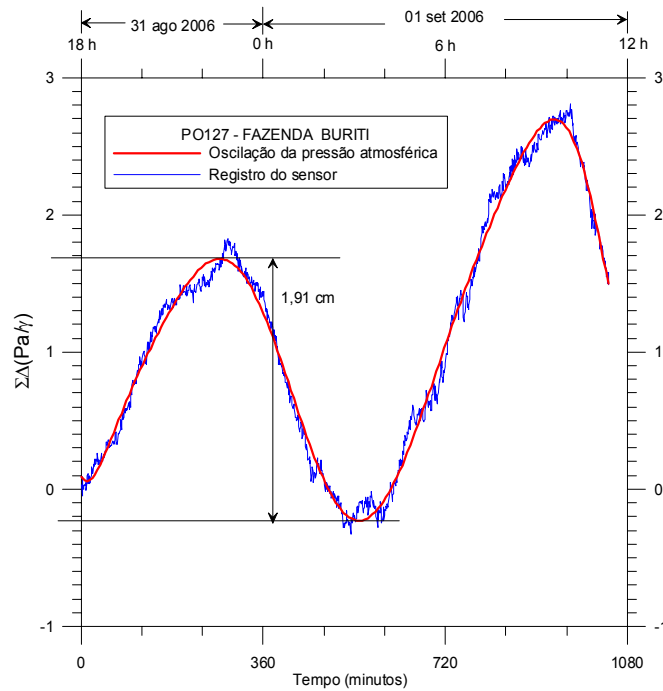


Figura 1.19 - Somatória das variações de pressão atmosférica no PO127 antes do teste

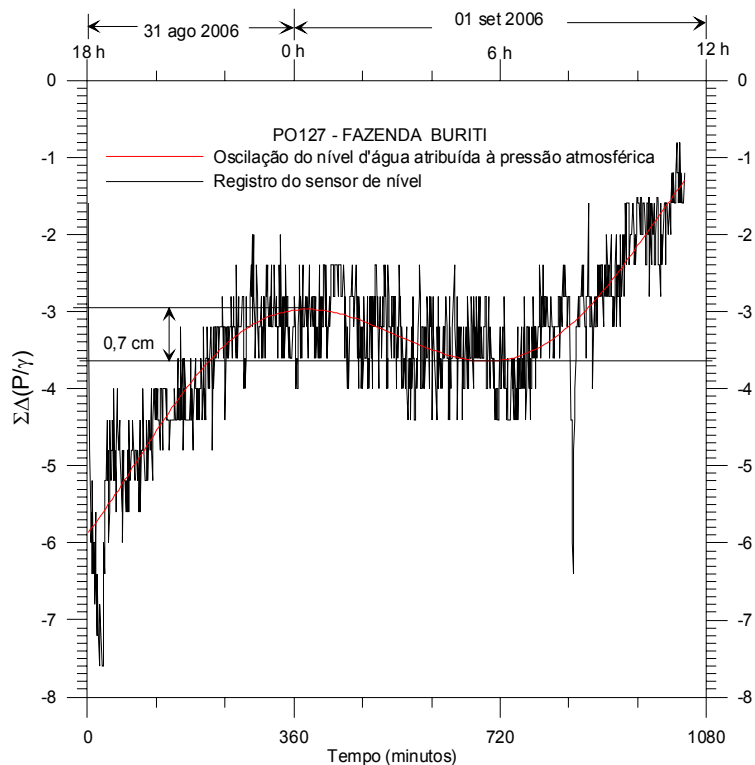


Figura 1.20 - Somatória da variação do nível de água do PO127 antes do bombeamento

Coefficiente de Armazenamento - O coeficiente de armazenamento deduzido da eficiência barométrica é dado pela equação (2) aqui reproduzida com o valor de EB obtido no poço PO127 (equação 3):

$$S = \frac{\gamma n \beta b}{EB} = \frac{9777 \times 0,3 \times 4,5 \times 10^{-10} \times 238}{0,37} = 8,5 \times 10^{-4} \quad (4)$$

Geometria dos poços testados - A geometria dos poços testados é ilustrada na Figura 1.21. Nota-se que tanto o poço bombeado quanto o observado apresentam pequena penetração no sistema aquífero. Os parâmetros de entrada para geração das curvas padrão influenciadas pela penetração parcial são vistos na Tabela 1.9.

Tabela 1.9 – Parâmetros de entrada para a geração de curvas padrão BURITI

Poço bombeado	Poço observado	l/b	d/b	z/b	z_1/b	z_2/b
PT127	PO127	0,24	0,03	0	0,88	1,0

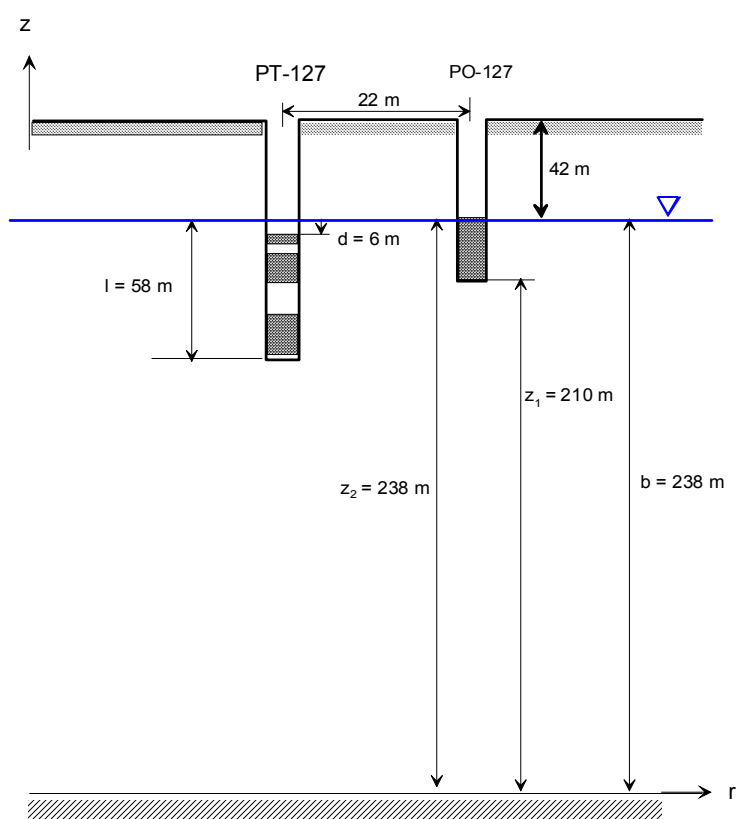


Figura 1.21 - Geometria dos poços testados na Fazenda Buriti no aquífero livre Urucuia

Cálculo dos Parâmetros hidráulicos - As coordenadas dos pontos de superposição da curva de campo às curvas padrão tipo A e tipo B de Neuman geradas com os dados da geometria dos poços são mostradas na Tabela 1.10. A superposição propriamente dita é ilustrada nas figuras 4.22 e 4.23.

Tabela 1.10 – Coordenadas obtidas da superposição das curvas padrão X curva de campo para o teste da Faz. Buriti (PO127).

Ponto	β	t (min)	ts	ty	s (m)	s_D
A	0,01	10	2,4	-	0,1	7,0
B	0,01	10	-	0,12	0,1	0,68

A Tabela 1.11 ilustra o cálculo da transmissividade, armazenamento e porosidade efetiva no teste da Fazenda Buriti.

Tabela 1.11 – Valores de transmissividade, armazenamento e porosidade efetiva obtidos no teste Faz. Buriti

Ponto	β	Equações	T m ² /s	S	S_y
	0,01	$T = \frac{Q s_D}{4\pi s} = \frac{0,003 \times 7,0}{4\pi \times 0,1}$	$1,7 \times 10^{-2}$		
		$S = \frac{T t}{t_s r^2} = \frac{1,67 \times 10^{-2} \times 10 \times 60}{2,4 \times 22^2}$		$8,6 \times 10^{-3}$	
	0,01	$T = \frac{Q s_D}{4\pi s} = \frac{0,003 \times 6,8}{4\pi \times 0,1}$	$1,6 \times 10^{-2}$		
		$S_y = \frac{T t}{t_y r^2} = \frac{1,62 \times 10^{-2} \times 10 \times 60}{0,12 \times 22^2}$			$1,68 \times 10^{-1}$
$S = \frac{\gamma n \beta b}{EB} = \frac{9777 \times 0,3 \times 4,5 \times 10^{-10} \times 238}{0,37}$				$8,5 \times 10^{-4}$	

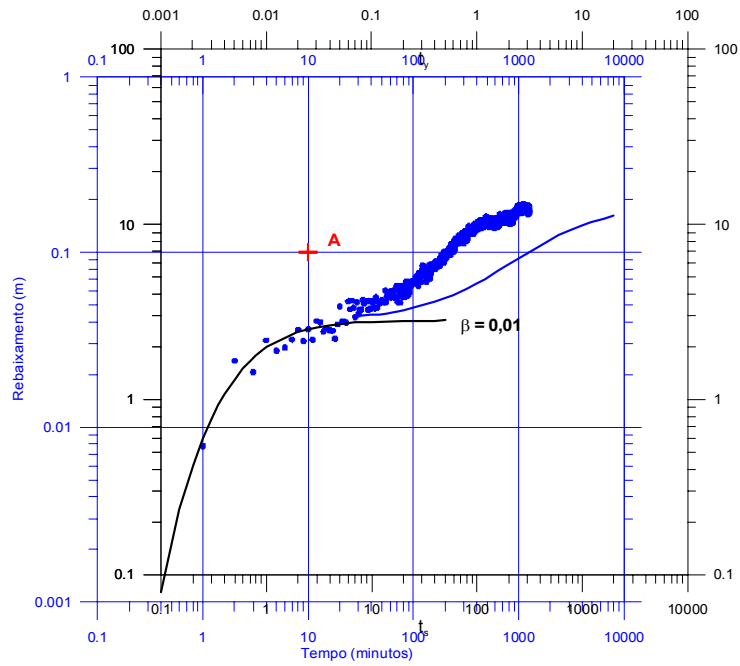


Figura 1.22 - Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo A no teste da Fazenda Buriti.

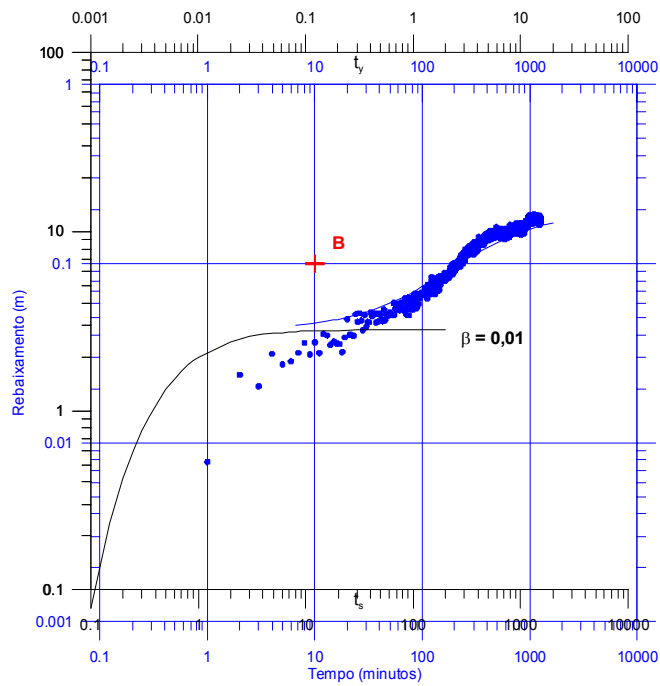


Figura 1. 23 - Ajuste da curva de campo à curva padrão tipo B no teste da Fazenda Buriti

Tabela 1.12 - Valores médios adotados para a Fazenda BURITI:

Transmissividade	$T \text{ m}^2/\text{s}$	1,6E-02
Coefficiente de armazenamento	S	4,7E-03
Porosidade efetiva	S_y	1,7E-01
Fator de drenagem retardada	$\beta=r/D$	0,01
Espessura saturada	b (m)	238
Condutividade hidráulica horizontal	$K_r \text{ (m/s)}$	6,9E-05
Razão de anisotropia	$KD = K_z/ K_r$	1,17
Condutividade hidráulica vertical	$K_z \text{ (m/s)}$	8,1E-05
Razão de armazenamento	S/S_y	5,1E-02
Difusividade	$T/(S+S_y)$	9,5E-02

Com um erro de 17% por excesso, a razão de anisotropia sugere que o sistema aquífero. pode ser considerado isotrópico.

BALANÇO HÍDRICO E RECARGA

Autores: Dr. Lafayette Dantas da Luz – UFBA; MSc José Cláudio Viégas Campos – CPRM.

INTRODUÇÃO

De modo geral, as drenagens que correm sobre o Urucuia são perenes, havendo uma forte contribuição da água subterrânea na composição do fluxo total anual dos rios locais. Estudos desenvolvidos na bacia do rio das Fêmeas [1], sobre a recarga do Urucuia, indicaram que o fluxo total anual médio desta drenagem tem contribuição da água subterrânea em mais de 90%. Foi calculada ainda uma recarga média de 258,5 mm/ano, que corresponde a 20% da precipitação média para o período de 1984 a 1995.

De modo a avaliar a recarga do aquífero Urucuia, foram empregadas diferentes metodologias, além do procedimento de Thorntwaite definido pela Rede de Pesquisa.

Utilizou-se os Métodos de Meyboom e de Maillet, baseados na decomposição de hidrogramas de alguns anos representativos. Utilizando séries históricas mais longas, foi realizada a separação de escoamentos dos fluviogramas, valendo-se dos métodos considerados no modelo HYSEP: intervalo fixo, intervalos variáveis e intervalos locais.

Essas avaliações consideraram as estações fluviométricas de Gatos (rio Formoso) e Arrojado (rio Arrojado). Também no Rio Formoso tem-se a estação fluviométrica de Colônia do Formoso, a qual apresenta alta correlação com a estação Gatos, tendo sido utilizada para fins de preenchimentos de dados e controle. As duas primeiras estações, consideradas neste estudo, se revestem de grande importância, pois se localizam próximo às confluências dos respectivos rios com o Rio Corrente e drenam quase que exclusivamente as águas dos sedimentos arenosos do Urucuia.

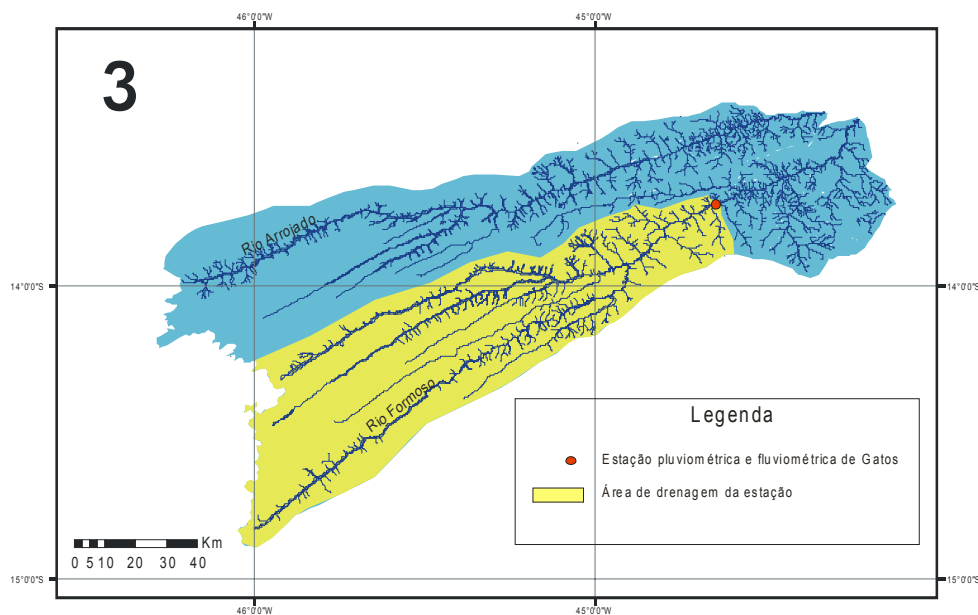


Figura 1. 24 - Localização da área utilizada para realização dos estudos.

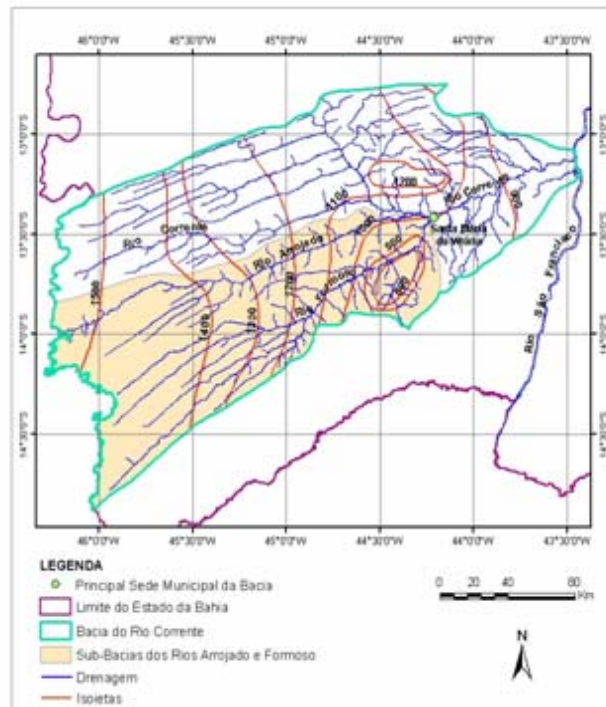


Figura 1.25 - Distribuição das precipitações médias anuais (1943-1983) na bacia do rio Corrente e sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso

1.6 - ESTIMATIVAS DE RECARGA

1.6.1 - Método de Thornthwaite

1.6.2 - Balanço mensal médio

Na figura 1.26 e tabela 1.13 é apresentado o balanço hídrico médio mensal pelo método de Thornthwaite e Mather para a estação de Gatos (lat. $13^{\circ} 42'$ / long. $44^{\circ} 38'$) para o período de 1945 a 1974, utilizando-se uma capacidade de campo de 100 mm [5]. Percebe-se que os meses de novembro a março correspondem ao período de excedente hídrico que perfaz um total médio anual de 264,4 mm, sendo que parte infiltrará recarregando os aquíferos e outra parte comporá o runoff (escoamento superficial).

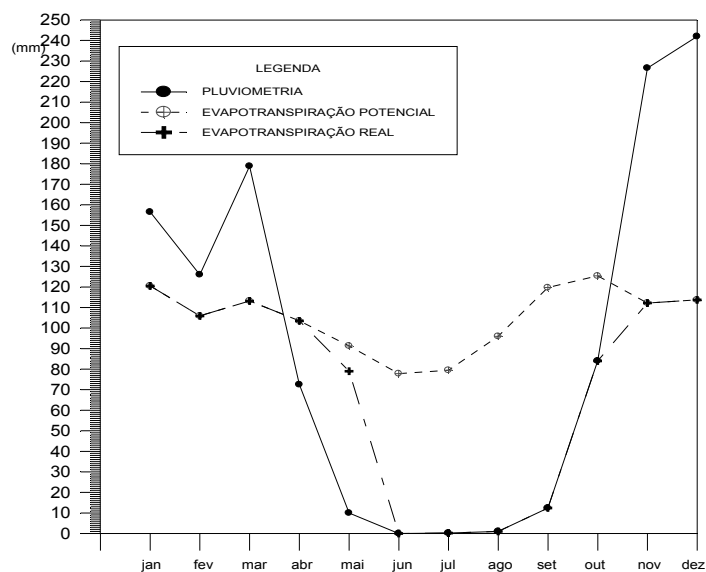


Figura 1.26 - Balanço hídrico para a estação pluviométrica de Gatos (1945 - 1974)

Tabela 1.13 – Balanço hídrico para a estação pluviométrica de Gatos (1945-1974)

meses	T (^o C)	Estação GATOS			cc 100 mm			
		EP (mm)	P (mm)	P-EP (mm)	ARM	ER (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
janeiro	24,5	120,5	156,5	36	100	120,5	0	36
fevereiro	24,6	105,9	126	20,1	100	105,9	0	20,1
março	24,5	113,2	178,8	65,6	100	113,2	0	65,6
abril	24,4	103,5	72,5	-31	69	103,5	0	0
maio	23,4	91,3	10	-81,3	0	79	12,3	0
junho	22,5	77,8	0	-77,8	0	0	77,8	0
julho	22,4	79,5	0,2	-79,3	0	0,2	79,3	0
agosto	23,6	96	1	-95	0	1	95	0
setembro	25,4	119,7	12,4	-107,3	0	12,4	107,3	0
outubro	25,2	125,4	84	-41,4	0	84	41,4	0
novembro	24,3	112,2	226,6	114,4	100	112,2	0	14,4
dezembro	24	113,7	242	128,3	100	113,7	0	128,3
Total		1258,7	1110			845,6		264,4

Considerando que o sistema hidrológico numa bacia encontra-se em equilíbrio dinâmico para períodos prolongados (acima de 20 anos), pode-se calcular a evapotranspiração na bacia considerando-se que a precipitação que cai é igual ao total de

água que é evapotranspirado e descarregado através do rio para fora da bacia [6]. Dessa forma, tem-se:

$$\text{Precipitação} = \text{Escoamento da drenagem} + \text{evapotranspiração}$$

ou

$$\text{Evapotranspiração} = \text{Precipitação} - \frac{\text{Volume de descarga do rio}}{\text{Área da bacia}} \quad (1)$$

A evapotranspiração média anual é a evapotranspiração calculada dividida pelo número de anos estudados.

Considerando os dados pluviométricos e fluviométricos da estação Gatos para o período de 1978 a 2001, para uma área drenada de 6.867 km² (figura 4), através da equação (1) pôde-se calcular a evapotranspiração anual média de 717 mm, bem próxima ao valor de 845,6 mm calculado pelo método de Thornthwaite para a estação. Entretanto, o valor da evapotranspiração real calculado pelo método de Thornthwaite tenderá a ser menor se for considerada uma capacidade de campo menor, o que seria mais adequado frente à litologia predominantemente arenosa da área.

1.6.2 - Balanço mensal seqüencial

Neste item é apresentado o balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather para uma série de precipitações média da área de estudo, obtida por ponderação com Coeficientes de Thiessen, para o período de julho de 1981 a dezembro de 2005. Os postos pluviométricos envolvidos na ponderação por Thiessen, bom como suas áreas de influência na região de estudo e os Coeficientes de ponderação são apresentados na tabela 1.14. No balanço hídrico seqüencial foi adotada uma capacidade de campo de 100 mm.

Tabela 1.14 – Estações pluviométricas e Coeficientes de ponderação de Thiessen

Código nacional	1344013	1344015	1344016	1345000	1346006	1445000	Total
Nome da Estação Pluviométrica	GATOS	COL. FORMOSO	ARROJADO	ARROJOLANDIA	FAZ PLANALTO	CAJUEIRO	
Planimetro (km²)	3193,8	1438,8	882,7	6137,7	3096,9		
Arcview - UTM (km²)	2920,2	1411,25	929,4	6212,1	3049	1821,4	16343,35
Coef Thiessen (Áreas Arcview)	0,179	0,086	0,057	0,380	0,187	0,111	1,000

Os dados de temperatura média mensal, gerados pelo INMET, foram obtidos do sumário publicado no sítio www.agritempo.gov.br, acessado em 15/11/2006.

O Balanço Hídrico seqüencial ao longo do período julho de 1981 a dezembro de 2005 (figura 1.27) permite observar a variabilidade ao longo do tempo, garantindo uma continuidade entre os armazenamentos no solo de um ano para outro para fins de cálculos.

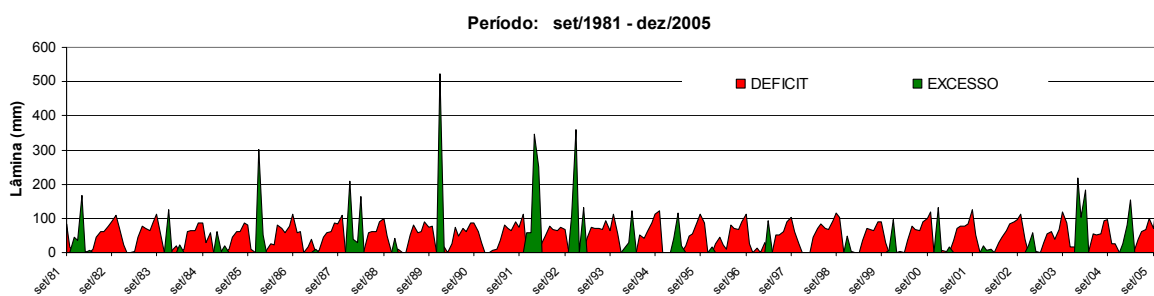


Figura 1.27 - Balanço hídrico por Thorntwaite para a área de estudo (CAD=100mm)

Com isso uma análise de frequência foi procedida com referência aos excedentes e déficits hídricos, o que é demonstrado nas figuras 1.28 e 1.29. Nelas se observa que as lâminas excedentes mensais são quase sempre inferiores a 100mm. São raros os eventos mensais que resultam em excedentes que atingem valores maiores, em cerca de apenas 8% dos meses. Os maiores excedentes, embora raros, podem chegar a 520mm num mês. Saliente-se que desses excedentes, apenas parte converte-se em percolação ao aquífero, constituindo recarga.

Considerando o ano hidrológico (out-set), em termos médios obteve-se EXC igual a 199,6 mm para a área de estudo, com desvio padrão de 211mm, valor máximo 711mm e mínimo nulo, ao longo dos anos 1981-2005.

O método de Thorntwaite, por ele mesmo, não possibilita uma estimativa dessa recarga. Com isso, é apresentado em item posterior deste capítulo uma estimativa de recarga valendo-se de estimativas de *runoff* obtidas por outro método (separação de escoamentos com o modelo Hysep).

Por sua vez, os déficits hídricos mensais estimados por esse método são mais distribuídos em termos de valores, mas ocorrendo em grande parte (40% do tempo) até 27mm de lâmina. São significativas, porém, as lâminas entre 62 e 98 mm que ocorrem em 32% do tempo. Os maiores déficits, embora raros, podem atingir 160mm num mês.

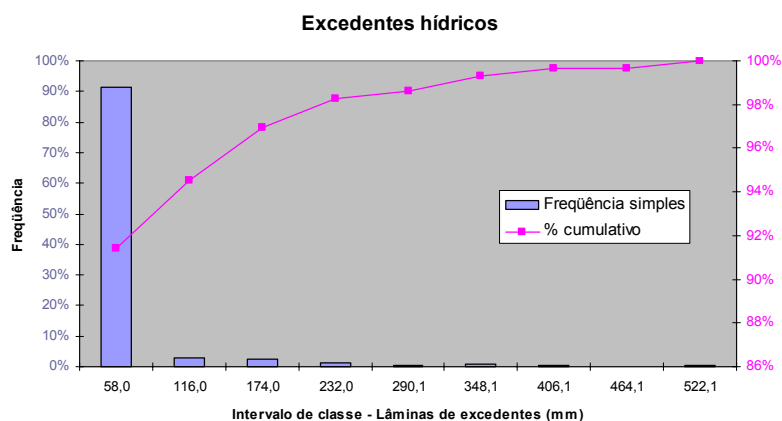


Figura 1.28 - Frequência observada (1981 - 2005) dos excedentes hídricos

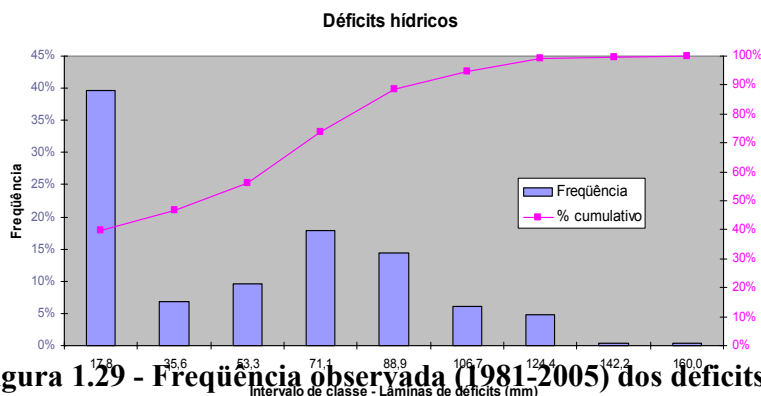


Figura 1.29 - Frequência observada (1981-2005) dos déficits hídricos

1.6.3 - Método de Meyboom

São apresentados os resultados obtidos da análise do hidrograma da estação fluviométrica de Gatos (45840000) para o período de (1999-2000) utilizando-se o método de Meyboom [2]. A área de drenagem da estação é de 6.867 km² que corresponde a, aproximadamente, 45% da área do projeto.

O princípio para o cálculo da recarga de um aquífero utilizando-se o método de Meyboom [2], também conhecido como método de recessão sazonal (Seasonal Recession Method – SRM), consiste na plotagem das vazões médias diárias em gráfico semi-log de um período representativo de 2 anos ou mais (figura 1.30). No caso em questão utilizou-se o período 1999 – 2000 para análise da recarga.



Figura 1.30 - Hidrograma do rio Formoso na estação Gatos 1999 - 2001 (vazão x tempo)

Considera-se que a descarga de um rio durante um grande período de recessão será inteiramente devido à contribuição da água subterrânea. Dessa forma, a recarga total de água subterrânea é calculada utilizando o volume total potencial de água subterrânea no

início da recessão (V_{tp}) menos o volume de descarga potencial de água subterrânea (V_t) deixada no fim da recessão [2]. Sendo que Q_0 corresponde ao fluxo de base no início da recessão e t_l é o tempo que leva o fluxo de base ir de Q_0 a $0,1Q_0$.

O valor de Q_0 para a primeira recessão (1999) é de $66 \text{ m}^3/\text{s}$ e t_l é igual a 2115 dias ($0,1Q_0$):

$$V_{tp}^{1999} = \frac{Q_0 \cdot t_l}{2,3} \quad (2) \quad V_{tp}^{1999} = 5,2 \times 10^9 \text{ m}^3$$

O valor de V_t no fim da recessão que dura 180 dias é:

$$V_t^{1999} = \frac{V_{tp}^{1999}}{10^{(t/t_l)}} \quad (3) \quad V_t^{1999} = 4,3 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Para a recessão do próximo ano (2000), o valor de Q_0 é igual a $68 \text{ m}^3/\text{s}$ e t_l é de 2165 dias:

$$V_{tp}^{2000} = \frac{Q_0 \cdot t_l}{2,3} \quad (4) \quad V_{tp}^{2000} = 5,5 \times 10^9 \text{ m}^3$$

O valor da recarga é:

$$\text{Recarga} = V_{tp}^{2000} - V_t^{1999} \quad \text{Recarga} = 1,2 \times 10^9 \text{ m}^3$$

A recarga calculada corresponde a 177 mm para a área da bacia (6.867 km^2), ou ainda, 16% da pluviosidade no período infiltrou e recarregou o aquífero Urucuia.

1.6.4 -Método de Maillet

Neste método, os dados fluviométricos da Estação Gatos (45840000) – Rio Formoso e Estação Arrojado (45770000) – Rio Arrojado são analisados anualmente (1977 a 2003) utilizando a equação de Maillet ($Q = q_0 \cdot e^{-\alpha t}$). Para cada ano hidrológico são determinados o período de recessão e a parcela de água subterrânea que contribui para o fluxo anual das respectivas drenagens.

Com base no mapa de isoietas, no período de 1943 a 1983, da área de estudos (Bahia, 1998), determinou-se uma pluviosidade média anual de 1281 mm, sendo que para a área de drenagem da estação Gatos de 1342 mm.

Observa-se nos exemplos abaixo de hidrogramas da estação Gatos que o período de recessão inicia-se, predominantemente, em abril a setembro.

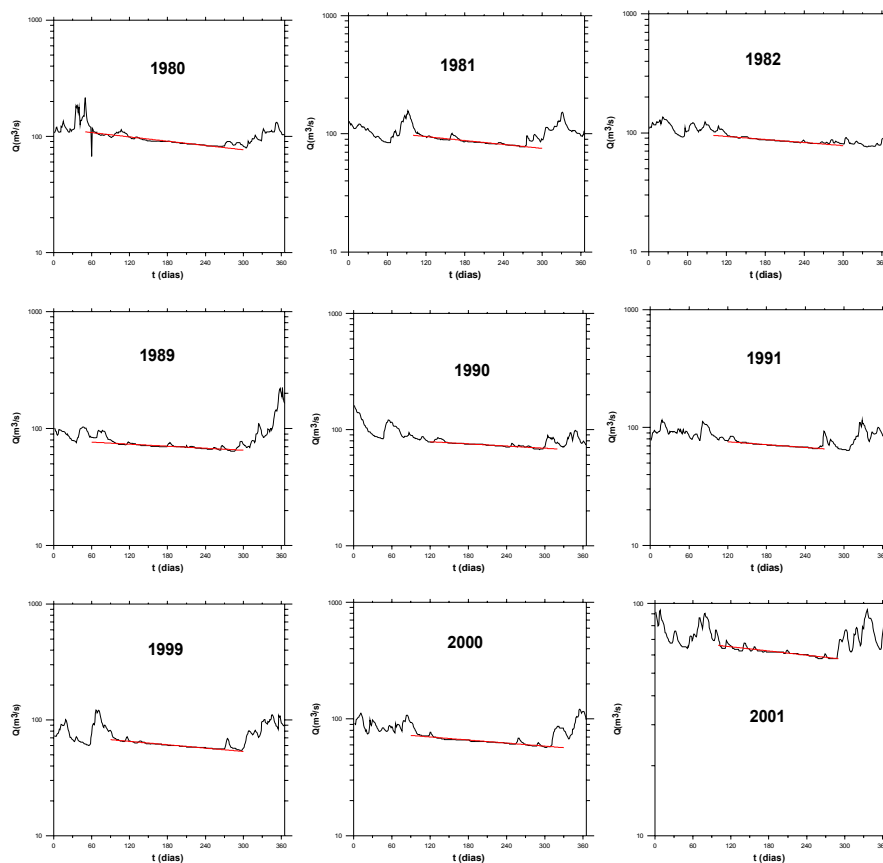


Figura 1.31 - Exemplos de hidrogramas da estação Gatos no rio Formoso

Tabela 1.15 – Parâmetros e cálculos para estação Gatos no rio Formoso

Ano	q0 m ³ /s	A (1/dia)	t-to (dia)	V (m ³)	A (km ²)	L (mm)
1977	75,9	0,000857	200	1,21E+09	6870	175,4
1978	88,83	0,00102	105	7,64E+08	6870	111,2
1979	104,24	0,00105	120	1,02E+09	6870	147,8
1980	117,069	0,0014	195	1,73E+09	6870	251,2
1981	110,46	0,00127	155	1,34E+09	6870	195,5
1982	105,06	0,000989	139	1,18E+09	6870	171,6
1983	96,21	0,000931	166	1,28E+09	6870	186,1
1984	85,17	0,000547	156	1,10E+09	6870	160,2
1985	89,19	0,000938	151	1,08E+09	6870	157,9
1986	94,26	0,000889	189	1,42E+09	6870	206,2
1987	84,71	0,000928	131	9,03E+08	6870	131,4
1988	90,3	0,001068	148	1,07E+09	6870	155,5
1989	79,63	0,000661	190	1,23E+09	6870	178,8
1990	85,67	0,000716	153	1,07E+09	6870	156,1
1991	84,5	0,000917	129	8,88E+08	6870	129,3
1992	95,31	0,001073	114	8,84E+08	6870	128,6
1993	86,26	0,000875	112	7,95E+08	6870	115,7
1994	94,67	0,00121	186	1,36E+09	6870	198,3
1995	84,36	0,00109	136	9,21E+08	6870	134,1
1996	73,72	0,000826	154	9,21E+08	6870	134,1
1997	93,38	0,001618	121	8,87E+08	6870	129,1
1998	71,2	0,000851	183	1,04E+09	6870	151,7
1999	74,62	0,001112	171	1,00E+09	6870	146,1
2000	79,13	0,001009	211	1,30E+09	6870	189,1
2001	70,66	0,000695	191	1,09E+09	6870	158,9
2002	67,67	0,00084	115	6,41E+08	6870	93,3

Analisando-se os dados apresentados acima, determinou-se uma recarga média anual de 160 mm para a bacia do Formoso, o que corresponde a 12% da pluviosidade média no período 1943 a 1983.

A mesma análise foi feita na estação Arrojado que drena uma área de 5.278 km² na bacia do mesmo rio, contígua ao norte da bacia do rio Formoso. A pluviosidade média anual na área da bacia é de 1360 mm tendo como base também o mapa de

isoietas, no período de 1943 a 1983, da área de estudos (Bahia, 1998). Na figura abaixo são apresentados alguns exemplos de hidrogramas da estação Arrojado, onde se observa também o período de recessão bem definido entre abril e setembro, a exemplo da bacia do rio Formoso.

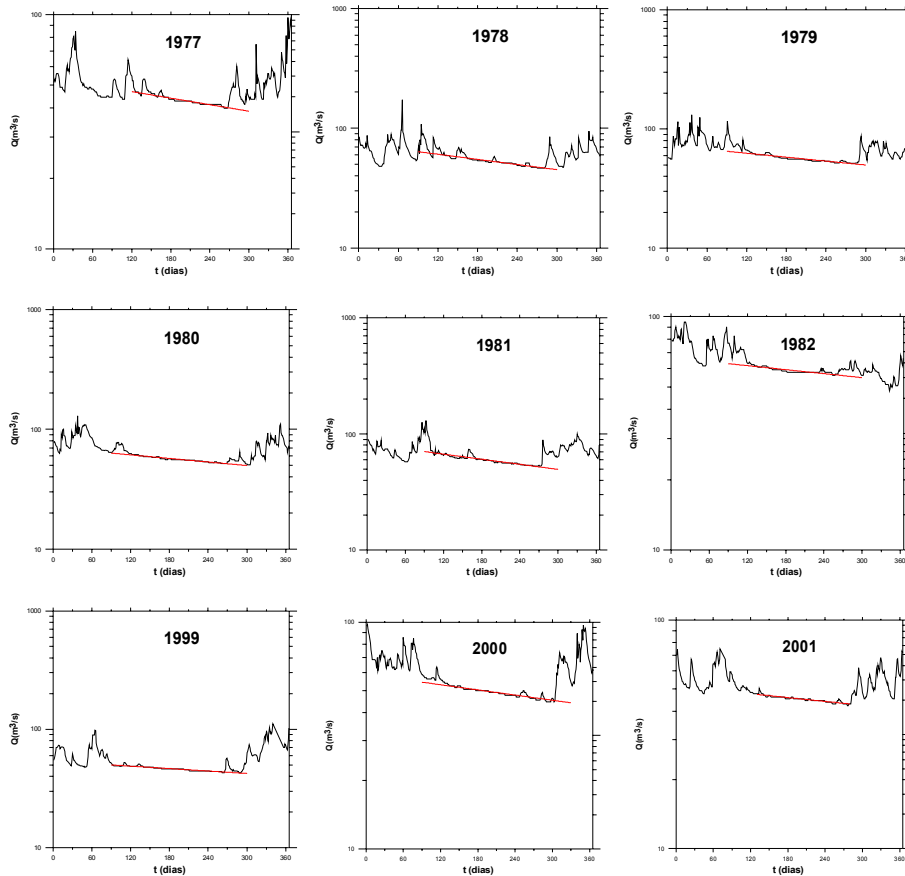


Figura 1.32 - Exemplos de hidrogramas da estação Arrojado no rio Arrojado

Tabela 16 – Parâmetros e cálculos para estação Arrojado no rio Arrojado

Ano	q0 m ³ /s	α (1/dia)	t-to (dia)	V (m3)	A (km2)	L (mm)
1977	53,38	0,0010718	101	4,41E+08	5278	83,6
1978	73,97	0,0016473	121	7,01E+08	5278	132,8
1979	72,86	0,0012669	171	9,68E+08	5278	183,4
1980	70,15	0,0011376	154	8,56E+08	5278	162,2
1981	82,06	0,0016821	161	1,00E+09	5278	189,5
1982	66,7	0,0006571	131	7,23E+08	5278	137,1
1983	66,57	0,0010587	161	8,51E+08	5278	161,3
1984	58,46	0,0006476	121	5,88E+08	5278	111,4
1985	61,89	0,0008279	155	7,78E+08	5278	147,4
1986	58,16	0,0003671	152	7,43E+08	5278	140,8
1987	58,64	0,00082	111	5,38E+08	5278	101,8
1988	62,66	0,0008696	136	6,94E+08	5278	131,6
1989	56,01	0,0004813	166	7,72E+08	5278	146,3
1991	62,82	0,0008893	131	6,71E+08	5278	127,2
1992	65,95	0,000895	101	5,50E+08	5278	104,3
1993	62,55	0,0008862	117	6,01E+08	5278	113,8
1994	68,54	0,0013117	183	9,63E+08	5278	182,5
1995	59,94	0,0009361	131	6,38E+08	5278	121,0
1996	46,06	0,0001816	121	4,76E+08	5278	90,2
1997	61,75	0,001125	141	6,96E+08	5278	131,8
1998	53,18	0,0008333	186	7,92E+08	5278	150,0
1999	53,66	0,0007944	174	7,53E+08	5278	142,7
2000	58,87	0,0008752	164	7,77E+08	5278	147,2
2001	51,49	0,0006476	151	6,40E+08	5278	121,3
2002	48,28	0,00055	151	6,04E+08	5278	114,5

A análise dos hidrogramas da estação Arrojado indicou uma recarga média anual de 136 mm, que corresponde a 10% da pluviosidade média da bacia (1943-1983).

A avaliação segundo a equação de Maillet apresentou valores de recarga de 10 a 12%. No caso da bacia do Formoso, analisada pelos dois métodos, os valores encontrados foram muito próximos, o que corrobora para a validação dos resultados.

A ocupação da área estudada, de modo geral, ainda é incipiente. Entretanto a área do rio Arrojado apresenta uma ocupação maior principalmente na sua porção oeste, o que acontece com menor expressão na bacia do rio Formoso, que se apresenta muito mais preservada. A retirada da cobertura vegetal, expondo o solo aos processos erosivos tende a aumentar o escoamento superficial, diminuindo as taxas infiltração, conseqüentemente a recarga do aquífero.

Embora os valores de recarga na bacia do rio Arrojado sejam menores que no Formoso, a diferença é diminuta de modo a levar a conclusão de que tal efeito seria devido a uma maior antropização.

1.6.5 - Método de separação dos escoamentos dos fluviogramas

A separação de escoamentos significa identificar nos fluviogramas de vazões as possíveis porções dos mesmos que correspondem à contribuição de base. O princípio geral para a separação é similar ao aplicado em outros métodos, como os de Meyboom e Maillet, anteriormente referidos. Em geral assumem uma função reservatório linear como representativa do comportamento dos fluxos subsuperficiais, o que resulta numa recessão exponencial decrescente nos fluviogramas. A identificação dos instantes inicial e final desse hidrograma de escoamento subsuperficial, ou de base, observado na calha fluvial varia conforme particularidades de um procedimento ou outro.

Empregou-se o modelo HYSEP (Sloto e Crouse, 1996), o qual emprega três procedimentos para separação dos escoamentos: intervalo fixo, intervalos variáveis e intervalos locais.

O HYSEP foi utilizado para a separação de escoamentos das séries dos postos fluviométricos de Gatos e Colônia do Formoso (rio Formoso) e Arrojado (rio Arrojado).

Verificou-se que as vazões de base obtidas para dado posto fluviométrico não diferem muito entre si conforme o procedimento de separação de escoamentos que o HYSEP executa, o que pode ser comparado na figura 1.33, referente ao posto fluviométrico Gatos, no rio Formoso, onde ilustra a grande semelhança entre os fluviogramas de base.

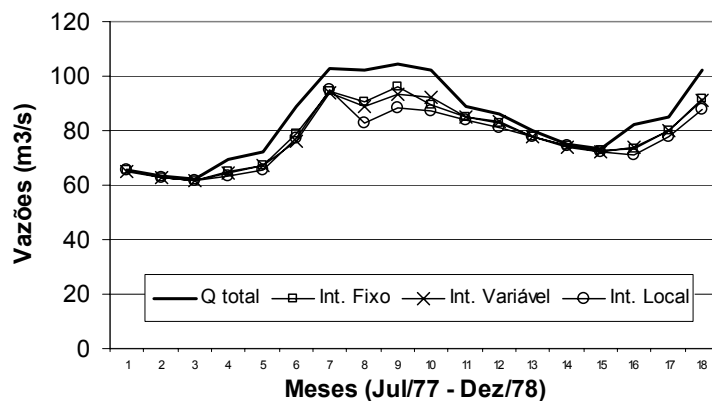


Figura 1.33 - Separação de escoamentos - Posto Fluviométricos Gatos, rio Formoso. Métodos HYSEP: Intervalo fixo, intervalo variável e intervalo local

Embora tenham sido executados os três procedimentos para separação dos escoamentos, para fins das análises deste projeto não foi identificada a necessidade de diferenciação dos seus resultados. Assim, optou-se por somente apresentar as informações geradas com o método do intervalo fixo.

A figura 1.34 ilustra os fluviogramas de vazões totais e de base, obtidas com o intervalo fixo.

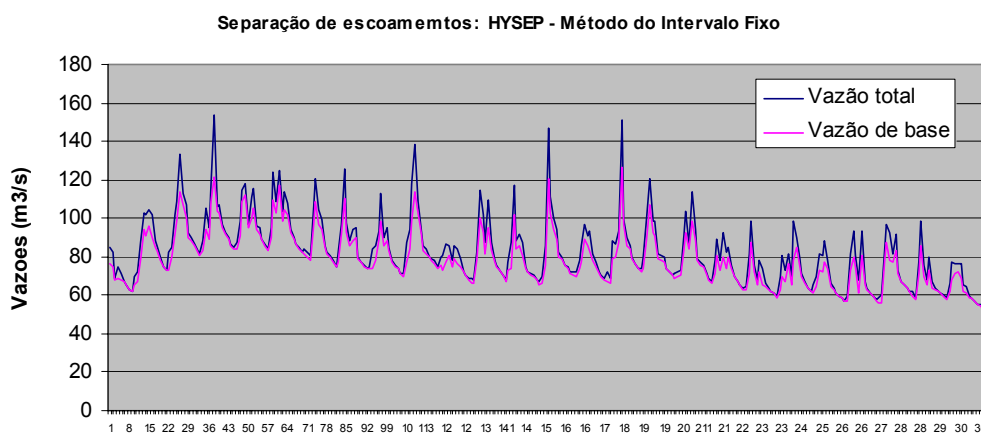


Figura 1.34 - Fluviogramas total e de base do Posto Fluviométrico Gatos, Rio Formoso

Verifica-se que com as estimativas de vazões de base pelo 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.

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.

As expressões a seguir indicam o cômputo da vazão de base em dado intervalo da série histórica (t), sendo $t = 1, 2, 3, \dots, N$ ($N = n^o$ de períodos da série histórica):

$$\text{Recarga}_t = Q_{\text{base}_t} - Q_{\text{base}_{t-1}} \quad , \quad \text{para } Q_{\text{base}_t} > Q_{\text{base}_{t-1}}$$

e

(5)

$$\text{Recarga}_t = 0 \quad , \quad \text{para } Q_{\text{base}_t} < \text{ ou } = Q_{\text{base}_{t-1}}$$

t-1

Com base nas estimativas de recarga efetuadas para as bacias hidrográficas dos postos fluviométricos Arrojado e Gatos, conforme acima descrito, observou-se que esse método conduziu a valores bastante baixos de recarga. Mesmo com uma significativa parcela da vazão total (> 80%) sendo atribuída aos escoamentos de base e, estes, apresentarem oscilações com magnitudes expressivas, quando computada a recarga conforme acima descrito seus valores médios anuais resultaram em 11,5 e 13,5 mm,

respetivamente para as estações fluviométricas Arrojado e Gatos. Esses valores respondem por aproximadamente 1% do total anual de precipitação. Esse resultado parece improvável, merecendo essa abordagem ser repensada com profundidade, pois se é suspeita pelos valores obtidos por outro lado mostra-se fisicamente fundamentada.

1.6.6 - Estimativa da recarga combinando o Método de Thorntwaite e a estimativa de runoff pelo emprego do HYSEP

Em qualquer dos procedimentos empregados existem incertezas nas estimativas obtidas decorrentes de diversos fatores. A origem, qualidade e extensão das séries de dados; parâmetros com certa imprecisão física, como o coeficiente de armazenamento no solo (CAD) no Método de Thorntwaite; os modelos empregados para a separação de escoamentos; o desconhecimento de aspectos físicos das bacias e do aquífero, dentre outros.

Ainda assim, buscamos apresentar aqui um procedimento que visa dar seqüência ao estimado no balanço hídrico de Thorntwaite. Esse balanço, conforme apresentado em item anterior, seja na forma média mensal ou na forma seqüencial, não conduz a uma estimativa de recarga. Chega-se aos excedentes, EXC, dos quais se espera que parcela produza a recarga do aquífero pela percolação. No entanto parcela do excedente, que não evapotranspirou e assume-se vai preencher a capacidade de armazenamento do solo, pode converter-se em escoamento superficial, ou *runoff*, representado pela expressão a seguir:

$$\text{Percolação}_t = \text{EXC}_t - \text{runoff}_t = \text{Recarga}_t$$

(6)

A fim de proceder às estimativas por esse meio, valeu-se das estimativas de *runoff* obtidas a partir da separação de escoamentos realizada com o modelo HYSEP, na forma:

$$Runoff_t = Q_{total_t} - Q_{base_t} \quad (7)$$

Assim realizado, foi observado que as recargas médias anuais resultaram, respectivamente para as estações fluviométricas Arrojado (rio Arrojado) e Gatos (rio Formoso), iguais a 188,5 e 190,3 mm. Tais valores resultam em recargas na ordem de 13,9% e 14,2% da precipitação média anual das bacias (1360 mm 1342 mm, respectivamente), podendo atingir em um único mês dentro do ano hidrológico até mais de 500 milímetros. (Figura 1.35)

Os valores obtidos para recarga apresentam-se em ordem de grandeza similar ao resultado estimado pelos métodos de Meyboom e Malliet.

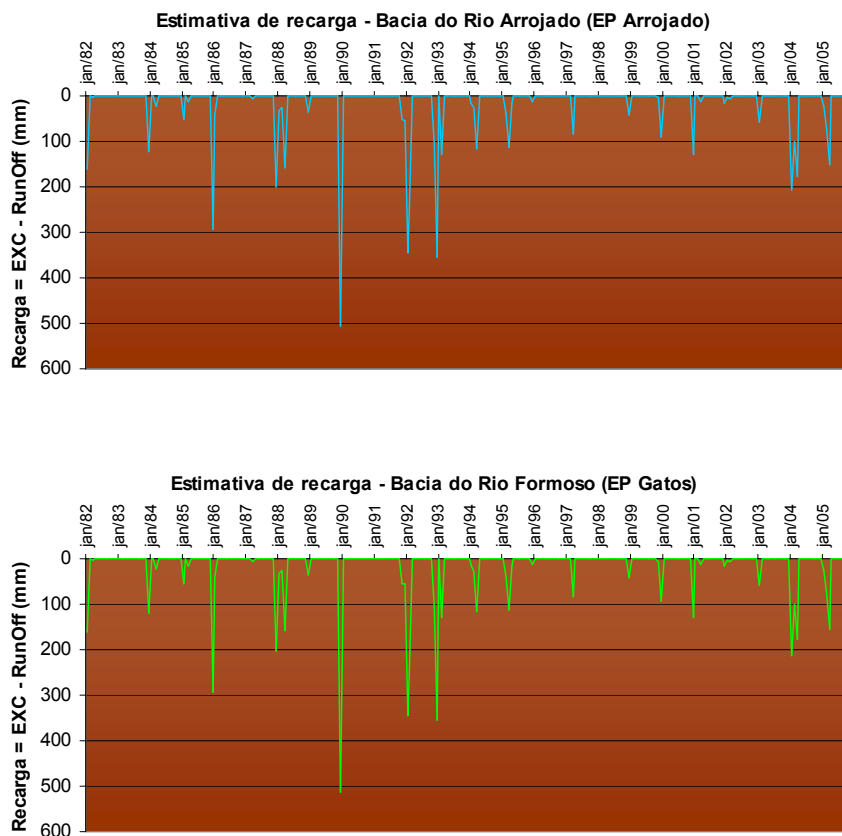


Figura 1.35 - Períodos de recarga - Lâmina mensal (período Jan/1982 a Dez/2005)

Os métodos empregados convergiram para valores de recarga similares, à exceção da estimativa direta pelo cômputo da recarga a partir das ascensões do fluviograma de base calculado pelo modelo HYSEP. Esse procedimento merece ser aferido, realizando uma análise de consistência mais rigorosa das séries fluviométricas.

Os valores estimados de recarga média anual variaram conforme o método empregado, conforme mostrado no quadro a seguir:

Tabela 1.17 – Síntese dos resultados do balanço hídrico e das estimativas de recarga

Método para a estimativa da recarga	Bacia: Posto Fluviométrico	Recarga	
		% da total anual médio de precipitação	Lâmina média anual (mm)
Meyboom	Gatos	16	217,6
Maillet	Gatos	12	163,2
	Arrojado	10	134,2
Separação de hidrogramas, HYSEP	Gatos	(~ 1)	(13,5)
	Arrojado	(~ 1)	(11,5)
Procedimento misto: EXC de Thorntwaite e runoff do HYSEP	Gatos	13,9	188,5
	Arrojado	14,2	190,3
Thorntwaite sequencial	Área total de Estudo	-	EXC _{médio} = 199 mm
		-	EXC _{desv.padrão} = 211mm
		-	EXC ≤ 87 mm em 90% do tempo
Thorntwaite médio mensal	Idem acima	-	EXC = 264 mm

OBS: Áreas das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos. Gatos = 6.867 km² e Arrojado = 5278 km²

Precipitação total anual média: Bacias hidriográfica de Gatos = 1360 mm e Arrojado = 1342 mm. Valores entre parênteses são duvidosos

Por fim, foi avaliado se haveria defasagens, ou tempos de retardo, entre a ocorrência da precipitação, a nível mensal, e a resposta na recarga, esta observada via a resposta em termos de vazões de base.

Considerando o comportamento observado entre vazões totais e de base na análise dos fluviogramas e na separação de escoamentos efetuada com o HYSEP, verificou-se que as respostas das vazões de base praticamente acompanham as respostas da vazão total devido à ocorrência das precipitações.

Para fins de análise adicional foi construído correlograma, relacionando os incrementos positivos das vazões de base (resposta no rio às recargas) às precipitações mensais, defasando-as mês a mês. A figura 1.36 mostra o correlograma com defasagens (K) de 0 a 24 meses.

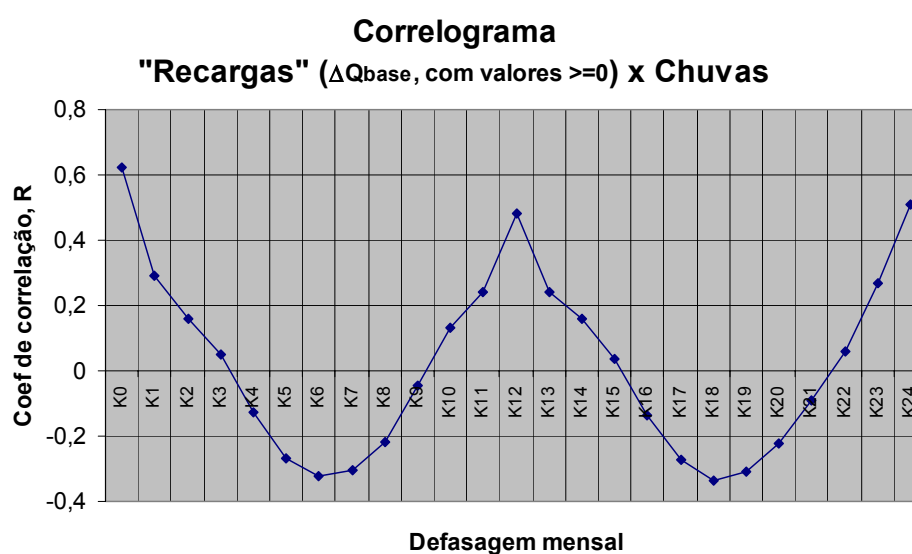


Figura 1.36 - Teste de tempo de retardo entre CHUVAS e RECARGA

Observa-se que as maiores correlações se dão no próprio mês ($K = 0$) em que a chuva provoca elevação do hidrograma do fluxo de base. Ou seja, a resposta é imediata nas bacias da área estudada.

Nota-se que novamente as correlações atingem seu máximo nos K's 12 e 24, isso acontecendo em função da regularidade sazonal observada nos rios da região, quando a defasagem de 12 meses, ou seus múltiplos, tendem a ser altamente correlacionados.

1.7- Potenciometria

O objetivo do monitoramento dos níveis piezométricos teve como objetivo obtenção dos mapas de potenciométricos, que são obtidos a partir das medidas de níveis

estáticos em um certo número de poços os quais são referenciados a um certo *datum* representando a superfície topográfica.. As curvas assim obtidas representam as equipotenciais da superfície piezométrica. As medidas devem ser feitas em condições de equilíbrio dessa superfície, durante um período determinado e mais curto possível, de forma que não haja variação sensível nos níveis locais ou regionais. As medidas em campo são feitas considerando-se a cota do terreno e o nível da água no aquífero.

1.7.1 - Comportamento dos níveis estáticos

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 3.21 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.

1.7.2 - Mapas Potenciométricos

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 geoestatística, com análise variográfica e krigagem ordinária cujos resultados são apresentados nas figuras 1.37 a 1.41, para cada período de monitoramento: novembro de 2005, março de 2006, junho de 2006, outubro de 2006 e março de 2007 respectivamente.

Através da análise dessas superfícies, pode-se notar que a direção predominante de flux se dá de SW para NE. As pequenas variações nos períodos, refletidos nas superfícies de cada período do monitoramento com pequenas variações das curvaturas dos isovalores, estão relacionados a flutuações das variações dos valores dos níveis estáticos, conforme analisado nos gráficos de variação de níveis estáticos para cada poço monitorado.

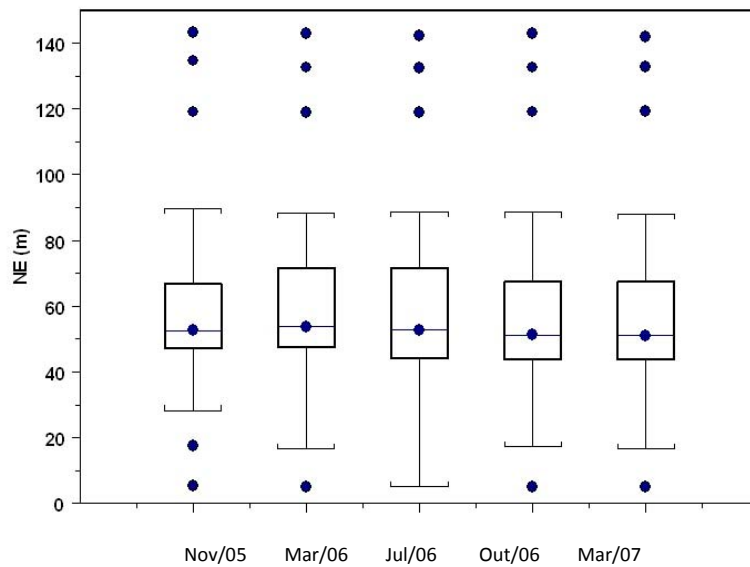


Figura 1.37 - Comparação entre os dados de nível estático (NE) para as cinco campanhas de monitoramento

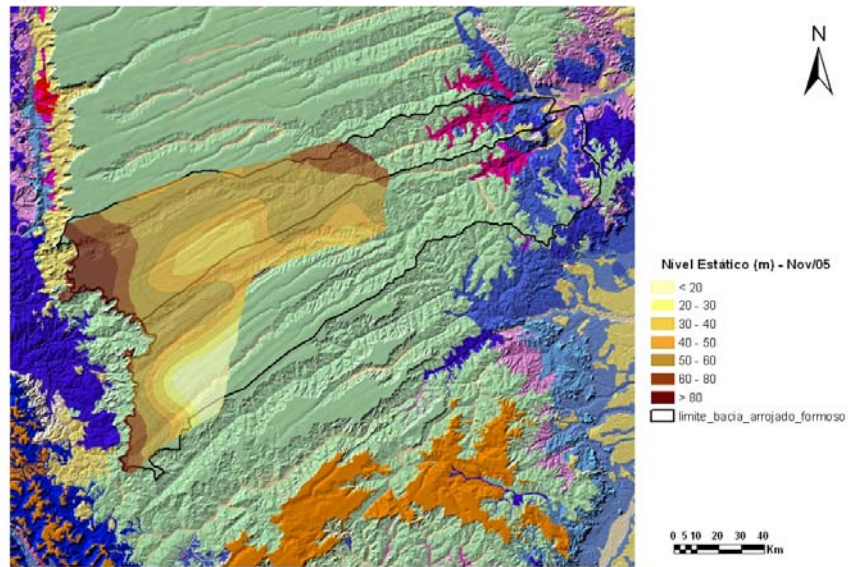


Figura 1.38 - Distribuição espacial dos níveis estáticos para a campanha de amostragem de Novembro/05

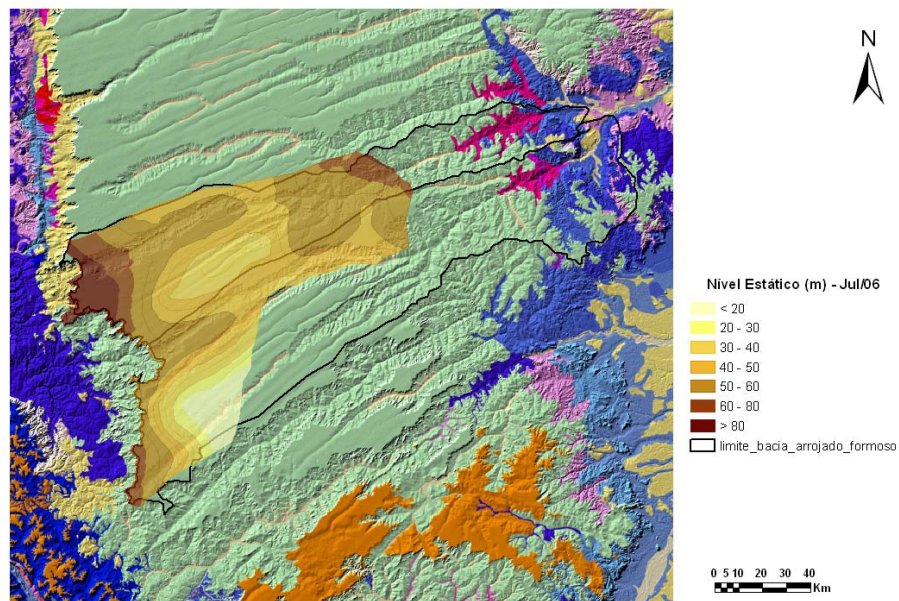


Figura 1.39 - Distribuição dos níveis estáticos para a campanha de amostragem de Julho/06

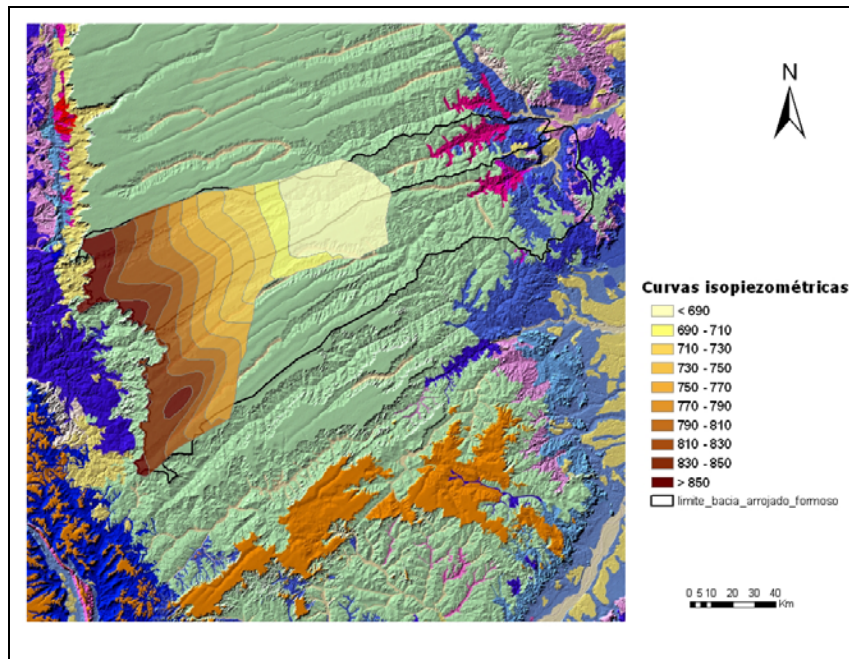


Figura 1.40 - Mapa potenciométrico para as bacias dos rios Formoso e Arrojado - campanha de Novembro/05

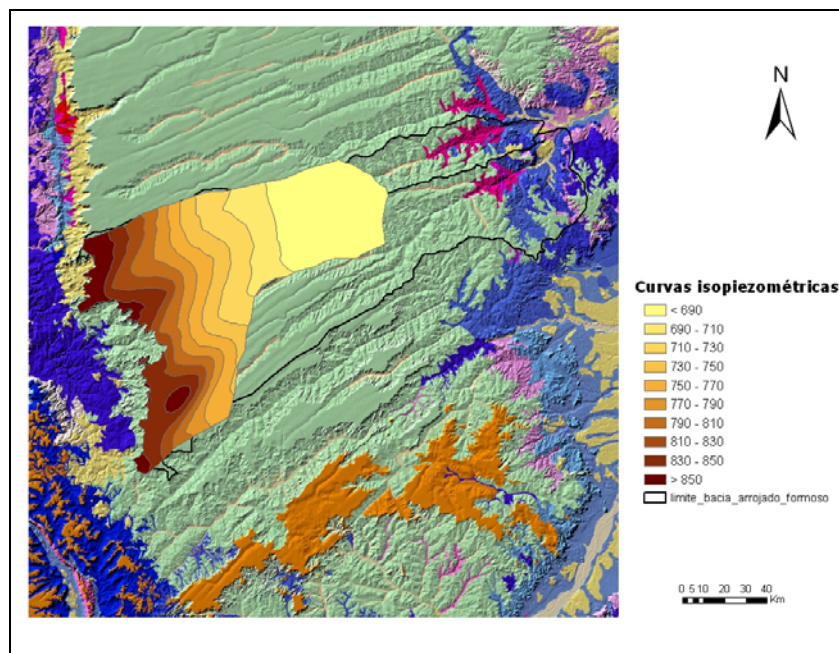


Figura 1.41 - Mapa potenciométrico para as bacias dos rios Formoso e Arrojado - campanha Julho/06

1.8 - Referências Bibliográficas

- BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Corrente: Documento Síntese. Salvador: 1995.
- BOMFIM, L. F. C. & Gomes, R A. D. AQÜÍFERO URUCUIA – GEOMETRIA E ESPESSURA: IDÉIAS PARA DISCUSSÃO. In Cong. Brás. De águas subterrâneas. Cuiabá, Anais. 9p.
- 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, 1997.
- LOPES, R.C. Relatório de viagem do Projeto Urucuia. Relatório Interno da CPRM. Inédito. 2006.
- SLOTO, Ronald A.; CROUSE, Michèle Y. HYSEP: A COMPUTER PROGRAM FOR STREAMFLOW HYDROGRAPH SEPARATION AND ANALYSIS. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Water-Resources Investigations Report 96-4040. Lemoyne, Pennsylvania. 1996.
- SPIGOLON, A.L.D.; Alvarenga, C.J.S. Superfície Urucuia: Um limite de seqüência que separa o sistema eólico do sistema fluvial-eólico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBG, 2002. p.681-691.

ANEXO 2 – Planilha Séries Pluviométricas das Estações e Série Ponderada

CODIGO ESTACAO	1344013 GATOS	1344015 COL. FORMOSO	1344016 ARROJADO	1345000 ARROJOLANDIA	1346006 FAZ PLANALTO	1445000 CAJUEIRO	CHUVAS MEDIAS
jul81	1,3	10,4	5,6	3,4	0	0	2,7
ago81	7,4	12	9,8	10,9	0	0	7,1
set81	0	0	0	0,5	0	0	0,2
out81	114,6	99	143,9	64,4	148	267,2	119,1
nov81	197	197,1	167,5	272,6	235	381,5	251,7
dez81	79	164,1	118,9	87,4	366,7	215,1	160,7
jan82	349,9	197,3	262,2	201,7	373,3	403,4	265,8
fev82	91,7	50,5	59,1	69,8	120,8	78,9	82,0
mar82	101,6	101,4	139	138,5	202,3	210,9	148,7
abr82	78,5	49	102,9	66,2	38,5	90,7	66,6
mai82	7,2	10,8	3,2	8,7	40	34	17,0
jun82	0	0	0	0,9	0	0	0,3
jul82	0	0	0	1,6	0	0	0,6
ago82	0	14,6	0	0,4	29,7	45,3	12,0
set82	4,8	3	1,5	14,7	83,8	15,6	24,2
out82	66,9	82,7	74	6,2	12,4	44,3	32,9
nov82	13,5	29	14,1	43,8	169,6	29,8	57,3
dez82	79	92,3	66	53,3	136,6	178	101,1
jan83	270,1	225,9	244	0	275,9	318,3	168,6
fev83	268	302,2	281	0	134	161	132,9
mar83	94,6	112,7	107,5	0	259,5	231,2	106,9
abr83	9,2	7,5	7,1	0	94,6	80,9	29,4
mai83	0	0	0	0	6,8	44,4	6,2
jun83	0	0	0	0	0	0	0,0
jul83	0	0	0	0,2	0	1,2	0,2
ago83	0	0	0	0	0	0	0,0
set83	0	0	0	0,2	7,3	1	1,5
out83	88,8	131,7	82,3	85,7	75,6	142,5	94,1
nov83	126,4	194,5	149,4	195,8	227,6	330	201,5
dez83	235	92,3	246,4	317,1	368,7	238,6	279,5
jan84	42,2	57,9	51,7	98,9	83,8	155,7	86,1
fev84	57,1	67,4	75,3	76,8	52,3	68,9	66,6
mar84	161,3	169,6	159	241,4	128,3	207,6	194,9
abr84	36,6	34,5	44,5	73	76,8	62,1	61,0
mai84	0	0	0,4	0	0	0	0,0
jun84	0	0	0	0	0	0	0,0
jul84	0	0	0	0	0	0	0,0
ago84	2,6	6,4	0,4	1,8	10,7	9	4,7
set84	23,8	13,3	16,5	2,2	65,5	68,2	27,0
out84	208,9	136,6	121,6	50,9	138,6	96,1	112,2
nov84	63,7	29,4	130	43	78,6	127,6	71,8
dez84	208,7	103,4	103,8	41,2	198,8	171	123,9
jan85	454,7	395	429,6	151,2	220,9	367,3	279,4
fev85	59,2	50	48,2	182,9	91,3	37,8	113,8
mar85	109,6	83	53,8	135,1	197,2	147,1	134,3
abr85	15,2	38,4	7,3	120,6	60,1	28,5	66,7
mai85	0	6,8	0,8	38	2,6	44,4	20,5
jun85	0	0	0	0	0	0	0,0
jul85	0	0	5,8	0	0	1,2	0,5
ago85	0	0	0	0	3,2	3,1	0,9
set85	31,1	11,4	26,7	37	29,3	42,6	32,3
out85	69,6	176,6	138,7	140,3	147,5	131,2	131,9
nov85	229	276,4	233	129,8	128,6	202,5	173,9
dez85	452,7	470,5	453,4	517,8	464,9	448	480,8
jan86	324,2	150,8	211,4	89,1	162,3	203,8	169,8
fev86	103,3	34,5	69,6	14	95,2	105,1	72,0
mar86	103,6	39,8	22	17,8	117	80,2	60,7
abr86	11,5	42,2	34,7	99,2	141,5	64	78,9
mai86	0	0	1,8	0	8,8	0	1,7
jun86	0	0	0	0	0	0	0,0
jul86	17,2	6,2	13,5	4,9	1,1	26,6	9,4
ago86	4,7	12	5,6	11,8	15,7	50,8	15,3
set86	0	0	0	0	0	0	1,6
out86	75,1	64,9	153,2	74,1	78,4	125,8	84,5
nov86	45,9	42,4	76,1	80,9	57,6	113,2	70,3
dez86	162,3	106,4	150,3	267,8	227,8	152,1	208,0
jan87	12,6	50,4	34,6	83,5	15,6	23,6	75,4
fev87	50,4	27,3	11,2	23,6	106,3	57,4	47,2
mar87	149,1	94,7	157,7	212	284,4	177,8	197,2
abr87	48,9	24,1	73,2	91,1	83,2	93	75,5
mai87	21,5	18,5	32,6	0	18,7	50,6	16,3
jun87	0	0	0	0	0	0	0,0
jul87	0	0	0	0	0	0	0,0
ago87	0	3	0	0	0	0	0,3
set87	21,8	20,7	42,6	33	23,4	47,3	31,4
out87	41,3	67,6	31,1	11,7	59,2	13,7	32,0
nov87	116,4	243,5	241,2	256,7	215,5	281,3	224,7
dez87	396,2	236	322,9	265,4	447	394,6	337,7
jan88	174,6	128,6	122,6	189,4	127,4	107,3	157,0
fev88	98,5	24,4	99,5	102,6	246,6	256,3	138,9
mar88	199,7	284,2	255,1	324,2	282,7	261,7	279,9
abr88	62,3	30,4	40,2	100,2	47,6	55,4	59,1
mai88	0	0	0	0	0	0	0,0
jun88	0	0	0	0	0	0	0,0
jul88	0	0	0	0	0	0	0,0
ago88	0	0	0	0	0	0	0,0
set88	9,9	0	14,8	30	1,7	0,8	14,4
out88	120,9	111,5	129	72,6	89,1	110,7	95,1
nov88	36,3	60	60,8	156,1	215,1	203,7	149,1
dez88	380,3	410,3	286,6	74,4	361,8	286,4	247,4
jan89	35	108,8	61,6	27,8	133,7	156,2	72,1
fev89	90,4	76,5	54,9	148,5	94,5	157,2	117,5
mar89	79,1	48,5	108,6	150,9	169,6	91,4	123,7
abr89	0	14,8	2	0,8	40,7	11,2	10,5
mai89	0	9,2	3,1	0	3,6	0	1,6
jun89	23,1	24,2	22,4	10	7	15	14,3
jul89	2	0	0	7,5	0	0,4	3,3
ago89	0	0	1,6	0	3,9	6,4	1,5
set89	33,9	48	44,6	65	17,4	12,1	42,0
out89	12,9	73,6	52,5	39	123,9	145,4	65,8
nov89	242,4	317,6	284,4	167,3	223,4	243,4	225,5
dez89	848	733,2	754,4	585,9	515,1	674,8	651,7
jan90	91,2	41	30	50,6	27,2	128,8	60,2
fev90	165,7	201,4	154,3	96,3	160,4	200,4	144,6
mar90	39,6	16	21,1	4,2	137,6	65,8	44,3
abr90	1,7	9,4	0,8	10,5	21,5	20,2	11,4
mai90	1,5	36	6,5	57,3	99,6	11,2	45,4
jun90	0	0	0	0	0	0	0,0
jul90	1,7	2	3,6	0	3,7	20,7	3,7
ago90	4,3	0	7,3	2,9	14,5	12,3	6,4
set90	47,6	29,1	13,9	2,9	21,5	97	27,7
out90	97	77,9	61,6	65,6	90	123,5	82,6
nov90	101,1	143,3	67,3	72,8	100,4	189,5	101,8
dez90	228,4	171,9	159,5	120,3	141,2	162,1	154,9
jan91	216,4	169	191,3	171,1	308	356	161,2
fev91	122,5	163,4	147,2	0	153,7	195,5	94,8
mar91	110,2	180,2	146,5	0	160,1	207,8	96,6
abr91	42,6	50,2	94,1	0	151	100	56,6
mai91	0	2,2	0	0	10,2	0	2,1
jun91	0	0	0	0	0	0	0,0
jul91	0	0	0	0	0	0	0,0
ago91	0,7	0	0,8	0	0	0	0,2
set91	39,9	42,2	33,4	8	137	21,6	40,6
out91	0	12,6	0	0	110	49	30,2
nov91	436,1	340,6	337,6	218,7	249,2	289,5	288,4
dez91	213,4	178,2	121,3	137,2	176,5	331,4	182,4
jan92	299,4	684,5	484	604	260,5	462,7	467,0
fev92	381,8	349	364,3	286,6	392	528	360,0
mar92	6,5	0	0	25,5	97,5	0,5	29,1
abr92	23,5	0	26	37	77	91	43,1
mai92	11,4	9,2	1,8	12	7	19,1	10,9
jun92	0	0	0	0	0	0	2,6
jul92	0	0	0	0	0	0	0,0
ago92	0	0	0	0	0	0	0,0
set92	31,8	52,6	44,7	62,2	27,2	44,3	46,4
out92	59,3	66,8	48,5	180,6	154,8	146,6	133,0
nov92	261,1	268,8	262,9	417,2	323,2	324,5	339,3
dez92	326,3	209,6	707	285,1	444	369,1	465,3
jan93	84,2	108,4	84,5	93	107,1	132,4	99,3
fev93	78,6	81,9	154,1	481,8	248,3	26,7	262,3
mar93	9,2	1,4	0,2	15	12	0	9,7
abr93	7	30,6	13,8	0	7	36,2	51,4
mai93	6,7	5,6	3,3	0	76,5	35,9	20,1
jun93	0	0	0	0	0	0	0,0
jul93	0	0	0	0	0	0	0,0
ago93	0	0	0	0	0	0	0,0
set93	28,9	24	15,2	76,7	54,4	21,3	49,8
out93	36,1	28,4	87,4	19,2	26	31,6	29,5
nov93	66,5	37,3	25	55,4	169,7	66,5	76,7
dez93	279,6	171,1	192,7	170,1	240,8	134,8	200,3
jan94	171,8	218,3	145,8	164,5	190,2	57,8	162,3
fev94	104,8	102,4	152,8	128,4	279,2	22,6	139,7
mar94	287	138,2	291,9	305,1	295,8	62,7	237,8
abr94	117,8	31,2	48,5	74,1	129,7	19	81,0