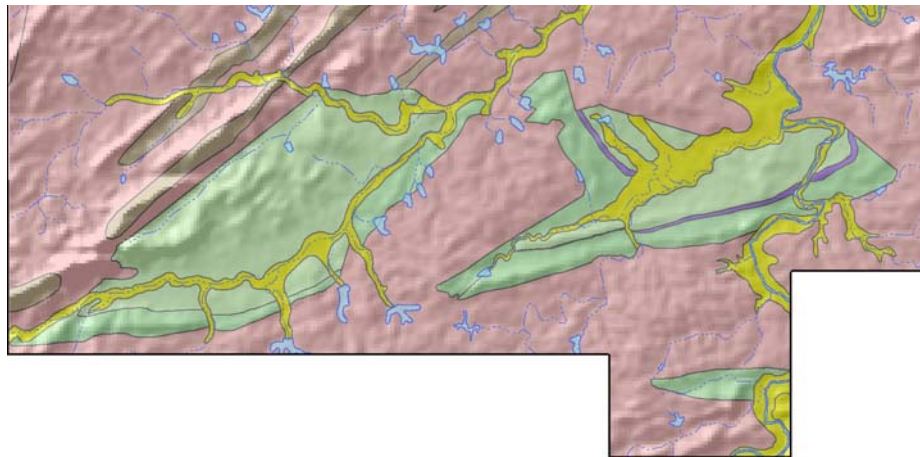




Rede Cooperativa de Pesquisa

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



HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DE LAVRAS DA MANGABEIRA

Meta C

Caracterização Hidrogeológica

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 DE
LAVRAS DA MANGABEIRA***

Meta C

Caracterização Hidrogeológica

Execução:

**Serviço Geológico do Brasil - CPRM
Universidade Federal do Ceará - UFC**

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 A. C. 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 Araripe

Hidrogeologia da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira

Meta A – Relatório Diagnóstico do Estado da Arte

1 AUTORIA:

CPRM

MSc. Liano Silva Veríssimo

MSc. Robério Boto de Aguiar

Meta B – Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos

1. AUTORIA:

CPRM

MSc. Jaime Quintas dos Santos Colares

MSc. Sara Maria Pinotti Benvenuti

Francisco Edson Mendonça Gomes

Felissimo Melo

UFC:

Dr. David Lopes de Castro - LGPSR

Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco - LGPSR

Dr. Enéas Lousada – LGPSR

Meta C – Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos

1. AUTORIA:

CPRM:

MSc. Robério Boto de Aguiar

MSc. Liano Silva Veríssimo

UFC:

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - Dept. de Geologia

2. CONSULTORIA:

Dr. João Manoel Filho

3. COLABORADORES:

CPRM:

Francisco Alves Pessoa

Armando Arruda Câmara Filho

Jorge de Vasconcelos Oliveira

Julimar de Araújo

Carlos Alberto Ramos

Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade

1 AUTORIAS:

CPRM:

MSc. Liano Silva Veríssimo

UFC:

Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago - Dept. de Física

Dra. Carla Maria S. Vidal Silva - Dept. de Física

Dr. Horst Frischkorn - Dept. de Engenharia Hidráulica e Ambiental

Dr. Josué Mendes Filho - Dept. de Física

2 COLABORADORES:

CPRM:

Francisco Alves Pessoa

UFC:

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - Dept. de Geologia

Nirlando de Oliveira Viana - Mestrando Dept. de Geologia

Cláudio César de Aguiar Cajazeiras - Mestrando Dept. de Geologia

Érika Grasielli C. Peixoto - Aluno de Iniciação Científica do Dept. de Geologia

Michel Lopes Granjeiro - Mestrando Dept. de Física

Roberto Namor Silva Santiago - Aluno de Iniciação Científica Dept. de Física

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

1 AUTORIA:

UFC:

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - Dept. de Geologia

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

1 COODENAÇÃO:

CPRM:

Francisco Edson Mendonça Gomes

2 COLABORADORES:

CPRM:

Eriveldo da Silva Mendonça

Érika Gomes de Brito

Vicente Calixto Duarte Neto

Antônio Celso Rodrigues de Melo

MSc. Robério Boto de Aguiar

MSc. Liano Silva Veríssimo

HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DE LAVRAS DA MANGABEIRA

Meta C Caracterização Hidrogeológica

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. SELEÇÃO DOS PONTOS D'ÁGUA	2
1.1. Revisão e atualização do inventário de pontos d'água	2
1.2. Seleção dos Poços Representativos	3
1.3. Monitoramento Potenciométrico e Qualitativo	4
1.4. Implantação de Pluviógrafos e Infiltrômetros	6
2. NIVELAMENTO DOS POÇOS SELECIONADOS	8
3. MAPAS POTENCIOMÉTRICOS	8
4. CONSTRUÇÃO DO POÇO DE OBSERVAÇÃO	11
5. TESTE DE AQÜÍFERO	11
6. BALANÇO HÍDRICO	12
6.1. Dados e Métodos Utilizados	12
6.1.1. Precipitações	13
6.1.2. Evapotranspiração Potencial	14
6.1.3. Fluxo básico (I)	14
6.2. Resultados do Balanço Hídrico nas Bacias de Lavras da Mangabeira	15
6.2.1. Precipitações Médias	15
6.2.2. Excesso de Água	16
6.2.3. Escoamento total	16
6.2.4. Infiltrações	16
6.2.5. Escoamento superficial	17
6.3. Síntese dos resultados do balanço hídrico nas Bacias de Lavras da Mangabeira	21
6.3.1. Estatística descritiva de chuva e recarga nas Bacias de Lavras da Mangabeira	22
6.3.2. Probabilidade de chuva e recarga nas Bacias de Lavras da Mangabeira	23
7. RESERVAS E DISPONIBILIDADES	24
7.1. Reservas Renováveis (Rr)	24
7.2. Reservas Permanentes (Rp)	25
7.3. Recursos Explotáveis (Re) ou Potencialidade Aquífera (P)	25
7.4. Disponibilidade	26
7.5. Disponibilidade Efetiva (Disponibilidade Instalada)	26
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição dos poços tubulares cadastrados na área de estudo e localização da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira.	2
Figura 2. Distribuição dos poços da Rede Representativa nas Bacias de Lavras da Mangabeira.	4
Figura 3. Poços selecionados para monitoramento potenciométrico e qualitativo.	5
Figura 4. Variação temporal dos valores médios de nível estático nas Bacias do Riacho do Meio e Rosário em Lavras da Mangabeira.	5
Figura 5. Estações hidroclimatológicas instaladas na Bacia de Lavras da Mangabeira.	7
Figura 6. Distribuição das precipitações nas estações de Jenipapeiro e Missão Nova	7
Figura 7. Nivelamento dos poços nas Bacias de Lavras da Mangabeira.	8
Figura 8. Mapa Potenciométrico referente as medidas efetuadas em outubro de 2005.	9
Figura 9. Mapa Potenciométrico referente as medidas efetuadas em abril de 2006.	10
Figura 10. Situação encontrada no Sitio Limoeiro na Bacia do Riacho do Meio.	11
Figura 11. Recessões do rio Salgado em Lavras da Mangabeira nos anos de 1991, 1992, 1994 e 1995.	15
Figura 12. Polígonos de Thiessen representativos dos pesos usados no cálculo da chuva média nas bacias de Lavras da Mangabeira.	16
Figura 13. Histogramas de frequência e curvas de densidade de probabilidade ajustadas à chuva e à recarga média anual nas Bacias de Lavras da Mangabeira.	22

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Postos pluviométricos no município de Lavras da Mangabeira.	13
Quadro 2. Postos pluviométricos com dados homogeneizados para o período 1961-1990.	14
Quadro 3. Evapotranspiração potencial média diária nos postos pluviométricos de interesse nas bacias de Lavras da Mangabeira.	14
Quadro 4. Coeficientes de recessão, volumes e lâminas de água subterrânea restituídos no Rio Salgado em Lavras da Mangabeira (8400 km ²).	14
Quadro 5. Postos pluviométricos e coeficientes de influência usados na estimativa da chuva média nas bacias de Lavras da Mangabeira.	16
Quadro 6. Chuva média nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.	17
Quadro 7. Excesso médio de água nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961-1990.	18
Quadro 8. Escoamento total médio nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.	19
Quadro 9. Escoamento subterrâneo médio nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.	20
Quadro 10. Escoamento superficial médio nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.	21
Quadro 11 - Resumo do balanço hídrico nas Bacias de Lavras da Mangabeira.	22
Quadro 12. Estatística descritiva das chuvas e da recarga médias anuais nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961-1990.	22
Quadro 13. Probabilidade de ocorrência de chuvas e de recargas anuais (mm) nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961-1990.	23

LISTA DE TABELAS)

Tabela 1. Relação dos poços cadastrados nas Bacias Sedimentares de Lavras da Mangabeira. 3

SIGLAS E ABREVEATURAS

CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CE	Ceará
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará,
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
FUNCEME.	Fundação Cearense de
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LGPSR	Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto
MDT	Modelos Digitais de Terreno
MIGHA	Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PROASNE	Programa de Água Subterrânea no Nordeste do Brasil
RMSEH	Root Mean Square Error of Head
SAAEC	Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Crato
SIAGAS	Sistema de Informações de Água Subterrâneas
SRTM	Shuttle Radar Topographil Mission
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

INTRODUÇÃO

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil, firmou junto ao Ministério da Ciência e Tecnologia, por intermédio da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, responsável pela implementação do Fundo Setorial de Recursos Hídricos, o convênio 01.04.0623.00 denominado Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.

Essa parceria tem como objetivo levantar, gerar e disponibilizar informações sobre a ocorrência, potencialidades, circulação e utilização das águas subterrâneas em bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste.

Participam também deste convênio, formando uma rede cooperativa de pesquisa, as seguintes instituições: Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

O presente documento corresponde a Meta C - Caracterização Hidrogeológica, que teve como objetivo a seleção de pontos d'água, o nivelamento dos poços selecionados, a construções de piezômetros, a confecção de mapas potenciométricos, execução de testes de aquífero, o estudo do balanço hídrico, a elaboração de um modelo matemático e avaliação de Reserva e disponibilidade das águas subterrâneas na área.

A Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira localiza-se no município de mesmo nome, situado na porção sudeste do estado do Ceará (Figura 1). Faz limítrofe com os municípios de Aurora, Cedro, Caririaçu, Granjeiro, Várzea Alegre, Baixio, Umari e Ipaumirim; compreendendo uma área de 60,2 km². Tem posição geográfica entre os paralelos 06^o46'00" e 06^o51'00" de latitude sul e meridianos 39^o10'00" e 38^o56'00" de longitude oeste de Greenwich. O acesso ao município, a partir de Fortaleza, pode ser feito através da rodovia BR 116 no sentido Fortaleza/Russas/Icó.

A Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira constitui um conjunto de três pequenas bacias: a Bacia do Riacho do Meio com uma área aproximada de 33,2 km², a Bacia do Riacho do Rosário com 24,8 km² e a mini-bacia de Ipoberi com 2,2 km².

1. SELEÇÃO DOS PONTOS D'ÁGUA

Autor: MSc. Robério Boto de Aguiar – CPRM; Francisco Alves Pessoa - CPRM

1.1. Revisão e atualização do inventário de pontos d'água

De acordo com o banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS, do Serviço Geológico do Brasil, estavam cadastrados na área delimitada para o estudo 64 poços tubulares, sendo que, apenas, onze deles estavam locados nos sedimentos que formam as Bacias Sedimentares de Lavras da Mangabeira.

A partir desse inventário foi realizada uma revisão visando identificar esses poços e localizar poços ainda não cadastrados. Essa atividade resultou no cadastramento de dezenove poços, onde todas as informações levantadas foram armazenadas no banco de dados do SIAGAS, com exceção de seis poços que não dispunham de ficha técnica. A figura 1 mostra a distribuição dos poços cadastrados na área de projeto, e localização da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira.

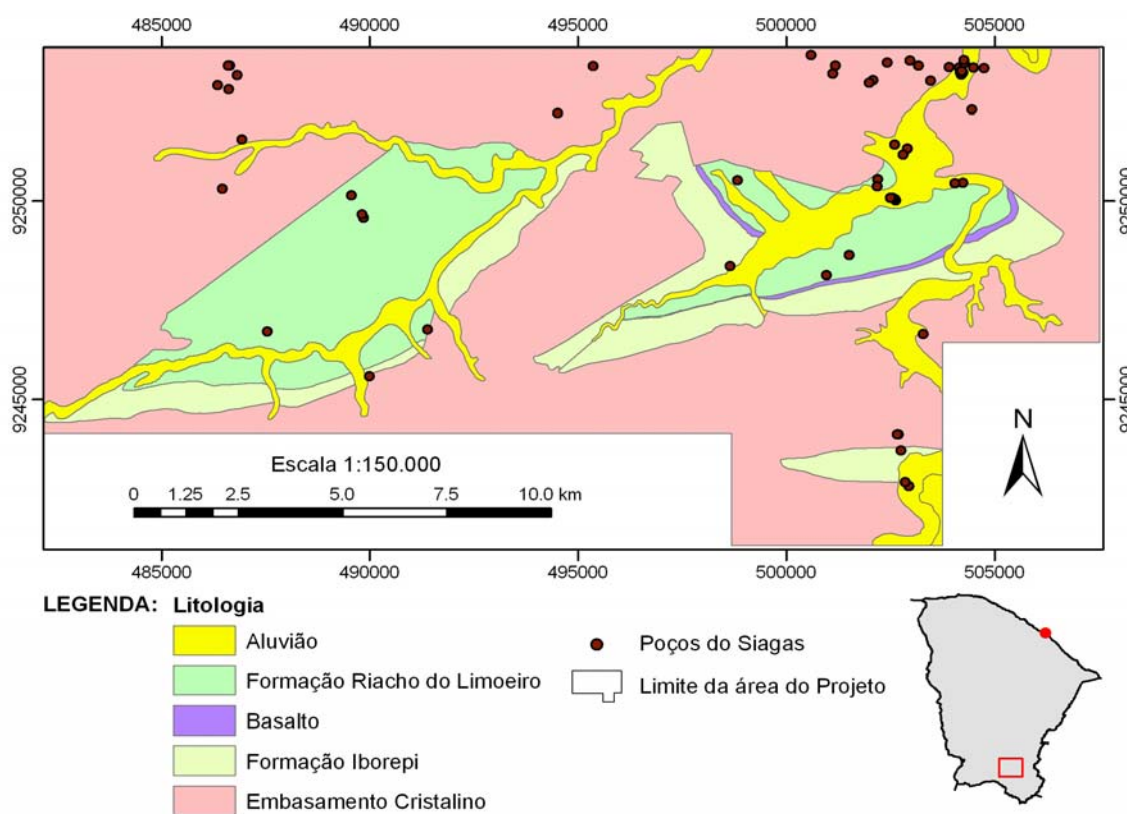


Figura 1. Distribuição dos poços tubulares cadastrados na área de estudo e localização da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira.

Como o principal objetivo do projeto é estudar o comportamento das águas subterrâneas nas bacias sedimentares, então foram selecionados apenas os poços tubulares construídos dentro dos limites das Bacias de Lavras da Mangabeira, eliminando-se aqueles localizados em terreno de rochas cristalinas. Como a quantidade de poços nessas bacias é pequena, os seis poços sem informações litológicas e construtivas foram incorporados ao cadastro do projeto.

Sendo assim, a quantidade de poços cadastrados nas Bacias de Lavras da Mangabeira aumentou para 27 poços, onde nove estão locados na Bacia do Riacho do Meio (Oeste), dezesseis na Bacia do

Riacho do Rosário (Leste) e dois na Bacia de Iborepi (Sul). A tabela 1 apresenta a relação desses poços com as respectivas coordenadas, localidade, proprietário e profundidade.

Tabela 1. Relação dos poços cadastrados nas Bacias Sedimentares de Lavras da Mangabeira.

NR	UTME	UTMN	LOCALIDADE	PROPRIETÁRIO	PROF.(m)
LM001	9242900	502850	Iborepi		60
LM002	9242800	502950	Exu (Iborepi)		60
LM003	9246709	487539	Sítio Angico	Antonio Alves Maia	60
LM004	9248351	498650	Calabaco	Governo do Estado	70
LM005	9248115	500963	Mulungu	Governo do Estado	50
LM006	9250367	502177	Logradouro	Jose Pereira Souza	62
LM007	9250544	502195	Logradouro	Jose Pereira Souza	60
LM008	9250516	498827	Barro Branco	Governo do Estado	60
LM009	9245579	489986	Varas 1	Jose Filgueiras	80
LM010	9248625	501512	Melancia 1	Antonio Pinheiro	60
LM011	9246684	491657	Tabuleiro Alegre	Prefeitura Municipal	64
LM012	9250452	504236	Logradouro-Cagece (PT-05)	Cagece	155
LM013	9250446	504052	Logradouro-Cagece (PT-06)	Cagece	209
LM014	9249568	489850	Limoeiro-Cagece (PT-04)	Cagece	68
LM015	9250130	489561	Limoeiro-Cagece (PT-05)	Cagece	86
LM016	9249652	489814	Limoeiro-Cagece (PT-06)	Cagece	120
LM017	9250009	502631	Logradouro-Cagece (PT-07)	Cagece	42
LM018	9250039	502612	Logradouro-Cagece (PT-08)	Cagece	42
LM019	9250056	502573	Logradouro-Cagece (PT-09)	Cagece	42
LM020	9250072	502545	Logradouro-Cagece (PT-10)	Cagece	42
LM021	9250068	502497	Logradouro-Cagece (PT-11)	Cagece	42
LM022	9245479	487265	Areias	Sohidra	60
LM023	9250207	500811	Melancia 2	Particular	54
LM024	9249600	489808	Limoeiro	Associação	42
LM025	9248379	498750	Calabaco 1	Vicente Favelas	18
LM026	9247735	501155	Mulungu 2	Joaquim Favelas	72
LM027	9245289	489383	Varas 2	Sohidra	60

Analisando os dados desses poços, observa-se que a profundidade média dos 27 poços cadastrados é de 68 m, com valor máximo de 209 m e mínimo de 18 m. Apenas oito poços possuem dados de nível estático, onde o valor médio é de 6,6 m, o máximo de 15 m e mínimo de 1,8 m. O nível dinâmico médio é de 32,1 m, variando de 55,3 m a 15 m. A vazão média de doze poços é 5,2 m³/h, o valor máximo de 15 m³/h e mínimo de 0,2 m³/h.

A partir dos valores dos níveis estático e dinâmico e da vazão foi calculada a capacidade específica dos poços. A capacidade específica média encontrada é de 0,35 m³/h/m, com valor máximo de 1,3 m³/h/m e mínimo de 0,03 m³/h/m.

1.2. Seleção dos Poços Representativos

Baseados nas informações contidas no cadastro e na distribuição desses poços na área de estudo, foram escolhidos vinte poços para compor a Rede de Poços Representativos (RPR). A figura 2 mostra a distribuição espacial desses poços nas Bacias Sedimentares de Lavras da Mangabeira.

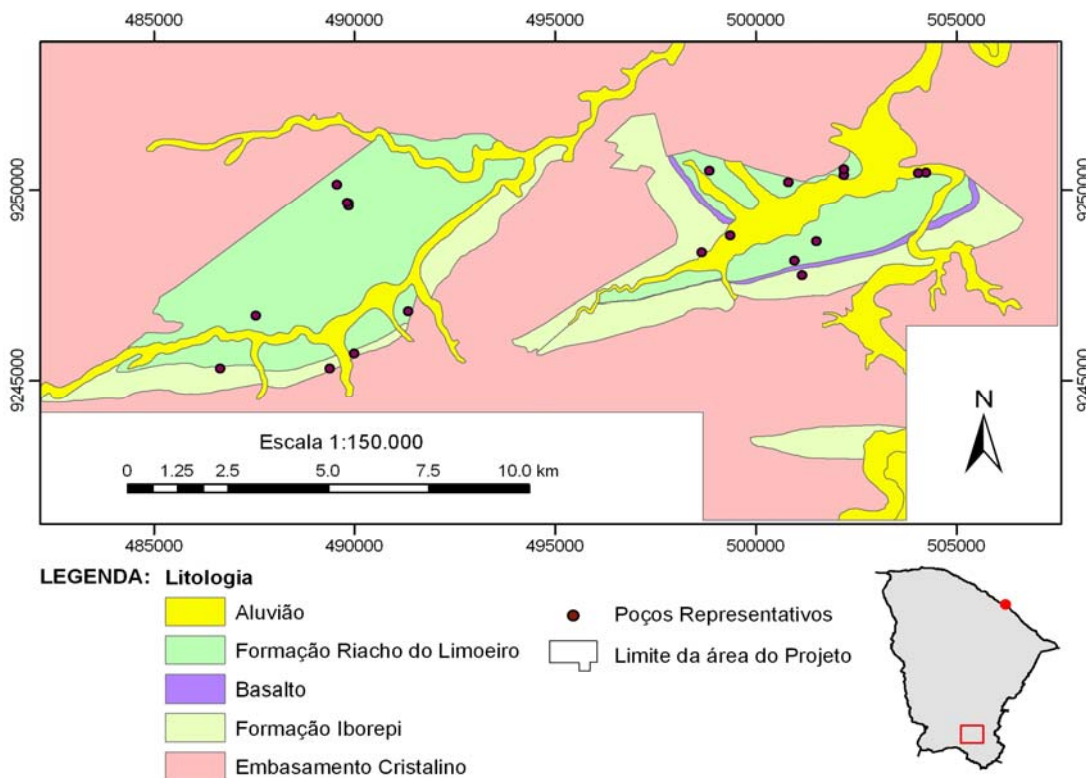


Figura 2. Distribuição dos poços da Rede Representativa nas Bacias de Lavras da Mangabeira.

Dos poços selecionados para integrar a Rede de Poços Representativos (RPR) das Bacias de Lavras da Mangabeira, nove estão localizados na Bacia do Riacho do Meio (Oeste) e onze estão situados na Bacia do Riacho do Rosário (Leste). A ausência de poços na Bacia de Iborepi deu-se em virtude dos poços cadastrados nela estarem desativados ou locados na zona de contato com as rochas do embasamento.

1.3. Monitoramento Potenciométrico e Qualitativo

Após a revisão e atualização do inventário de pontos d'água e, conseqüentemente, da seleção de uma rede de poços representativos das bacia de Lavras, procedeu-se a etapa de monitoramento dos níveis potenciométricos e da qualidade das águas. Nessa etapa foram medidos sistematicamente, e com periodicidade trimestral, os níveis estáticos dos poços e recolhidas amostras para a realização de análises físico-químicas e isotópicas.

Foram realizadas cinco campanhas de monitoramento potenciométrico. As duas primeiras etapas de monitoramento ocorreram nos meses de outubro e dezembro de 2005. As outras três campanhas foram realizadas, respectivamente, em abril, julho e outubro de 2006, onde foram medidos os níveis de dezesseis poços e coletadas cerca de dez amostras de água para realização de análises físico-químicas e isotópicas, conforme mostra a figura 3.

Considerando que dezesseis poços tiveram seus níveis estáticos medidos em todas as campanhas de monitoramento, construiu-se um gráfico, apresentado na figura 4, com os valores médios desses níveis para mostrar a evolução temporal da superfície freática nas duas bacias de interesse do projeto. Observa-se uma variação média de 1,25 m entre os meses de outubro de 2005 e abril de 2006, mostrando a importância da infiltração das águas de chuva na recarga desses aquíferos.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física e no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada do Departamento de Geologia, ambos da Universidade Federal do Ceará. As análises isotópicas foram realizadas no Laboratório de Isótopos da Universidade Federal da Bahia.

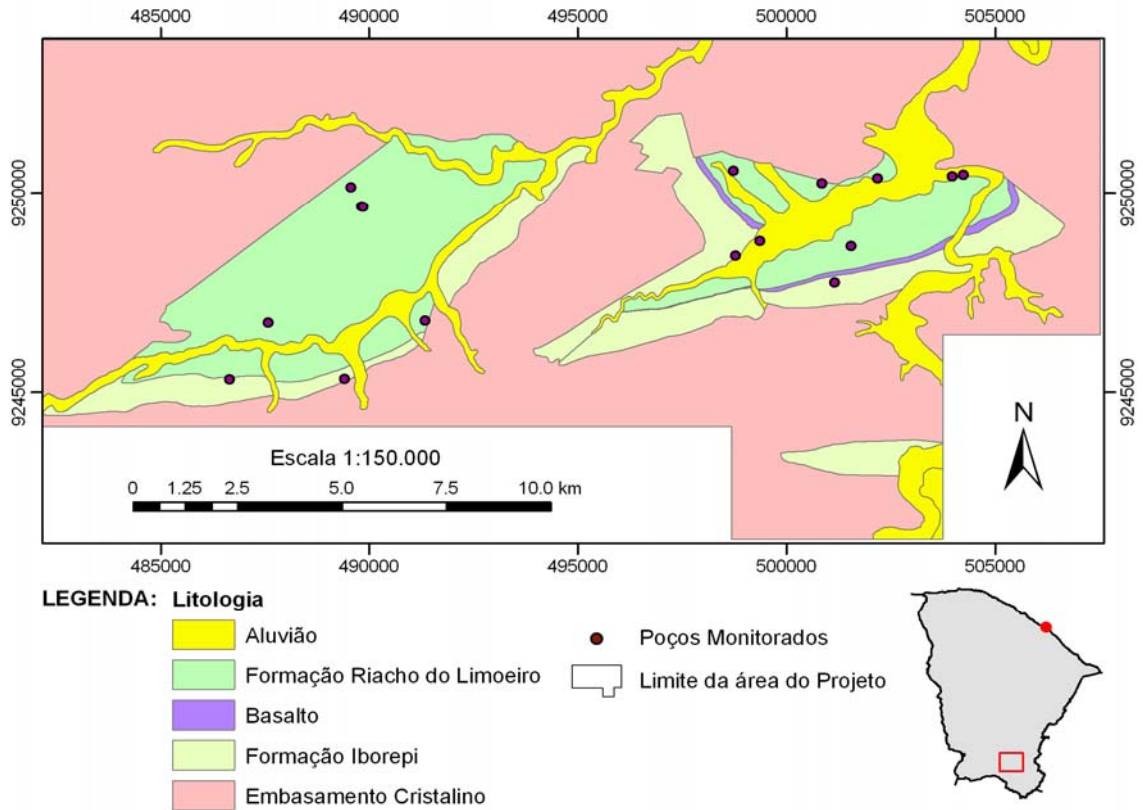


Figura 3. Poços selecionados para monitoramento potenciométrico e qualitativo.

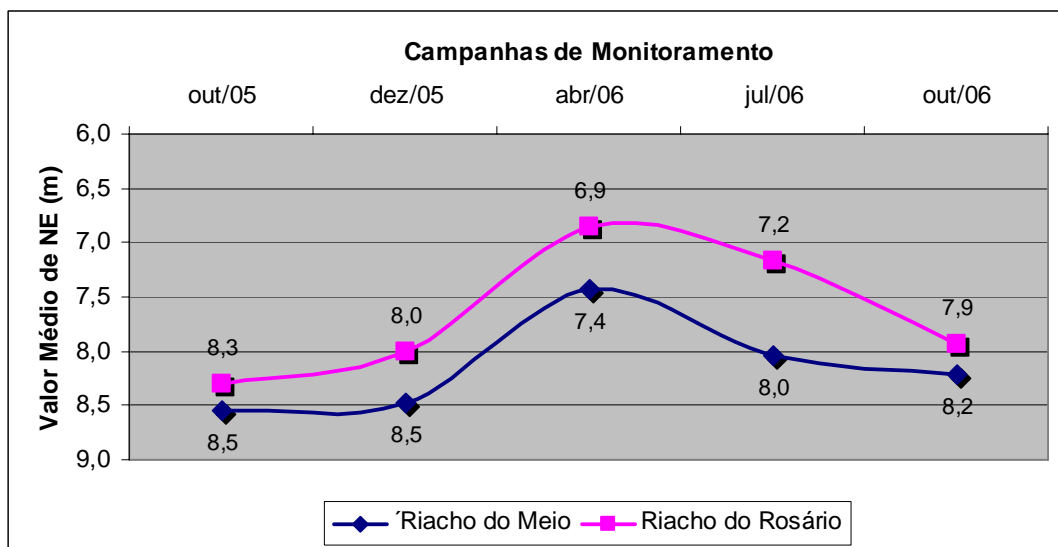


Figura 4. Variação temporal dos valores médios de nível estático nas Bacias do Riacho do Meio e Rosário em Lavras da Mangabeira.

1.4. Implantação de Pluviógrafo e Infiltrômetro

Nos estudos de sistemas hidrológicos e hidrogeológicos de uma determinada área é fundamental o conhecimento do ciclo hidrológico e a elaboração do balanço hídrico da região.

A avaliação quantitativa do ciclo hidrológico é feita através da *Equação Geral do Balanço Hídrico*, que obedece ao princípio da conservação da massa ou da continuidade, segundo o qual, num sistema qualquer, a diferença entre as entradas e as saídas é igual a variação do armazenamento dentro do próprio sistema.

Portanto, para elaboração do balanço hídrico de uma área selecionada, que permitirá inferir os valores e, possivelmente, os mecanismos de recarga, deverão ser coletados, selecionados e analisados os dados climatológicos disponíveis, tais como, pluviométricos, fluviométricos, de evapotranspiração etc.

O pluviômetro e o pluviógrafo são aparelhos que permitem medir as precipitações. A diferença entre ambos é que o pluviógrafo registra automaticamente os dados, ao contrario do pluviômetro que precisa de leituras manuais a intervalos de tempo fixos.

Existem vários tipos de pluviógrafos, usando princípios diferentes para medir e gravar continuamente as precipitações. No projeto foi utilizado o pluviógrafo de balança, que consiste em uma caçamba, dividida em dois compartimentos, arranjada de tal maneira que, quando um deles se enche, a caçamba balança, esvazia-o e coloca o outro em posição. Quando este último é esvaziado, por sua vez, a caçamba balança em sentido contrário, voltando à posição primitiva, e assim por diante. A caçamba é conectada eletricamente a um registrador (*datalog*), de modo que, quando caem 0.25 mm de chuva na boca do receptor, um dos compartimentos da caçamba se enche, e cada oscilação corresponde ao registro de 0.25 mm de chuva.

Os infiltrômetros ou lisímetros são dispositivos instalados no terreno, a cerca de 2 m de profundidade, sem alterar a estrutura natural do solo ou formação. Destina-se, assim, a avaliar realisticamente o volume infiltrado. Em presença de terreno plano, o escoamento superficial é desprezível na pequena área amostrada pelo lisímetro. Daí pode-se avaliar a evapotranspiração real como sendo a diferença entre a precipitação, medida pelo pluviômetro, e a infiltração, medida pelo lisímetro (Feitosa, 2000).

Apesar de existirem alguns postos pluviométricos na área selecionada, a proposta do projeto era implantar estações hidroclimatológicas, onde fosse possível se medir os valores de precipitação, infiltração e da evapotranspiração num mesmo ponto da área de estudo.

Para isso, foi instalada na Bacia do Riacho do Meio uma estação, composta de pluviômetro, pluviógrafo e infiltrômetro (lisímetro). A estação está localizada no Sítio Limoeiro, próximo ao Distrito de Mangabeira, conforme mostra a figura 5.

A instalação do pluviômetro junto ao pluviógrafo, deu-se por medida de precaução, já que esses equipamentos de registro automático estão sendo testados e, em caso de falha, os dados de precipitação não seriam perdidos, pois o observador registraria através do pluviômetro.



Figura 5. Estações hidroclimatológicas instaladas na Bacia de Lavras da Mangabeira.

A figura 6 representa graficamente os totais mensais de precipitações na estação de Limoeiro, em Lavras da Mangabeira, durante o período de dezembro de 2005 a abril de 2007. Observa-se uma predominância de chuvas nos meses de fevereiro a maio.

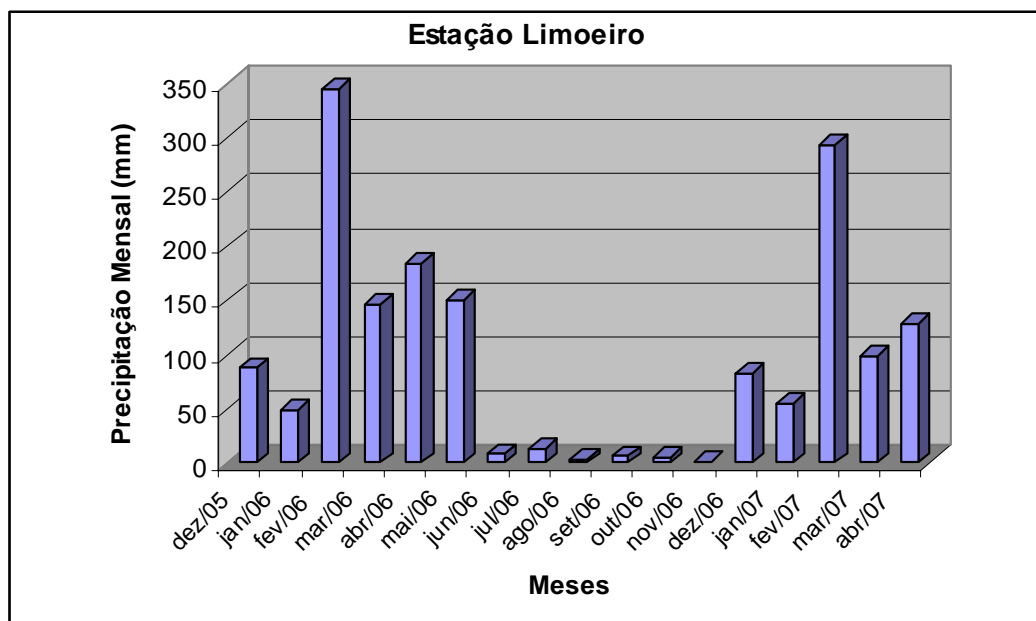


Figura 6. Distribuição das precipitações nas estações de Jenipapeiro e Missão Nova

Com relação aos dados dos infiltômetros, infelizmente, não serão utilizados no presente trabalho, em virtude do pequeno período de observação, pois, somente foram instalados em janeiro de 2007, como também, pelos constantes erros de leitura cometidos pelos observadores. Portanto, espera-se que, com a continuidade do projeto, novos equipamentos sejam instalados e os observadores orientados no procedimento correto de leitura do dispositivo.

2. NIVELAMENTO DOS POÇOS SELECIONADOS

Autores: MSc. Robério Boto de Aguiar – CPRM; MSC. Liano Silva Veríssimo – CPRM; Francisco Alves Pessoa – CPRM

Tendo por objetivo a elaboração de mapas potenciométricos, quatorze poços integrantes da rede representativa foram nivelados altimetricamente. Devido a exatidão necessária para se estabelecer a superfície potenciométrica do aquífero, foi empregado o sistema geodésico de posicionamento global, utilizando-se a ferramenta denominada de GPS Geodésico, capaz de fornecer dados consistentes com precisão centimétrica. O trabalho de campo foi realizado pelos técnicos Jorge de Vasconcelos Oliveira, Julimar de Araújo e Carlos Alberto Ramos da Divisão de Cartografia da CPRM.

A figura 7 ilustra a execução dessa atividade por técnicos da Divisão de Cartografia da CPRM, com a participação de alunos da Universidade Federal do Ceará. A foto da esquerda mostra a montagem da antena do GPS Geodésico e na foto da direita o pessoal procedendo a leitura das coordenadas.



Figura 7. Nivelamento dos poços nas Bacias de Lavras da Mangabeira.

3. MAPAS POTENCIOMÉTRICOS

Autor: MSc. Robério Boto de Aguiar – CPRM

Apesar do pequeno número de poços existentes nas Bacias de Lavras da Mangabeira e esses serem mal distribuídos na área, optou-se por elaborar os mapas potenciométricos com o objetivo de obter a distribuição espacial e temporal das cargas hidráulicas das unidades aquíferas.

Esses mapas potenciométricos foram gerados através do método de interpolação linear da krigagem, que estima um valor de um atributo, em uma posição não amostrada, a partir de um conjunto de amostras vizinhas. Em virtude da pequena oscilação nos níveis d'água medidos durante as cinco campanhas de monitoramento, decidiu-se por apresentar apenas a potencimetria referente aos meses de outubro de 2005 e abril de 2006, que correspondem respectivamente ao período de estiagem e chuvoso.

A figura 8 apresenta as superfícies potenciométricas dos aquíferos livres nas duas principais bacias que formam as Bacias de Lavras da Mangabeira, referente às medidas de nível d'água realizadas no mês de outubro 2005. Observa-se na Bacia do Riacho do Meio (Oeste), que há uma predominância do fluxo de água subterrânea de SW para NE até a porção central da

bacia. A partir deste ponto existe uma convergência do fluxo para NW em direção a área de captação da Cagece, que mantém neste local uma bateria de três poços bombeando $40 \text{ m}^3/\text{h}$ e funcionando cerca de oito horas por dia, nos sete dias da semana.

Analisando ainda a figura 8, mas precisamente a Bacia do Riacho do Rosário (Leste), nota-se a existência de uma estrutura linear que corta a bacia de SW para NE e separa as formações Iborepi (Sul) e Serrote do Limoeiro (Norte). Apesar dessa nítida separação, verifica-se que os fluxos tendem para as depressões dos vales dos principais rios que drenam a bacia: Rio Salgado e Riacho do Rosário com seus afluentes.

Com relação aos gradientes hidráulicos, constata-se que os valores variaram durante as etapas de monitoramento apenas na Bacia do Riacho do Meio (Oeste). Em outubro de 2005 o valor máximo foi de 0,011 e o mínimo de $5,4 \times 10^{-5}$. Em abril de 2006 o valor máximo foi de 0,009 e o mínimo de $9,8 \times 10^{-5}$.

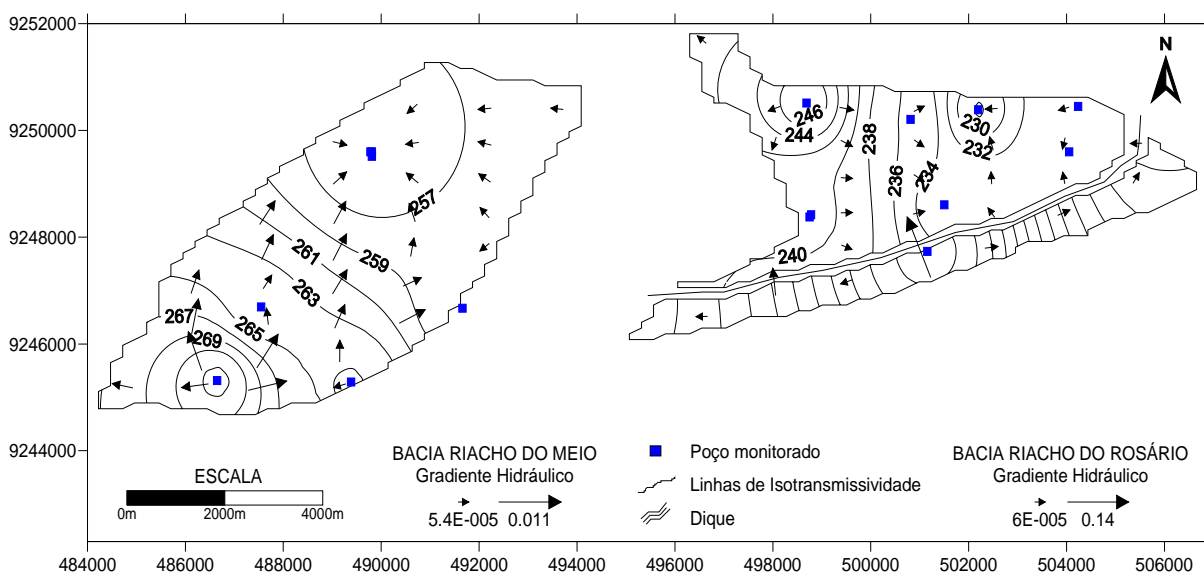


Figura 8. Mapa Potenciométrico referente as medidas efetuadas em outubro de 2005.

A figura 9, que mostra as superfícies potenciométricas elaboradas a partir das medidas de nível estático realizadas nos meses de abril 2006, evidencia o mesmo comportamento do fluxo subterrâneo apresentado nas etapas de monitoramentos anteriores. Ou seja, existe uma direção preferencial de SW para NE e, no Sistema Aquífero Inferior, de NE para SW.

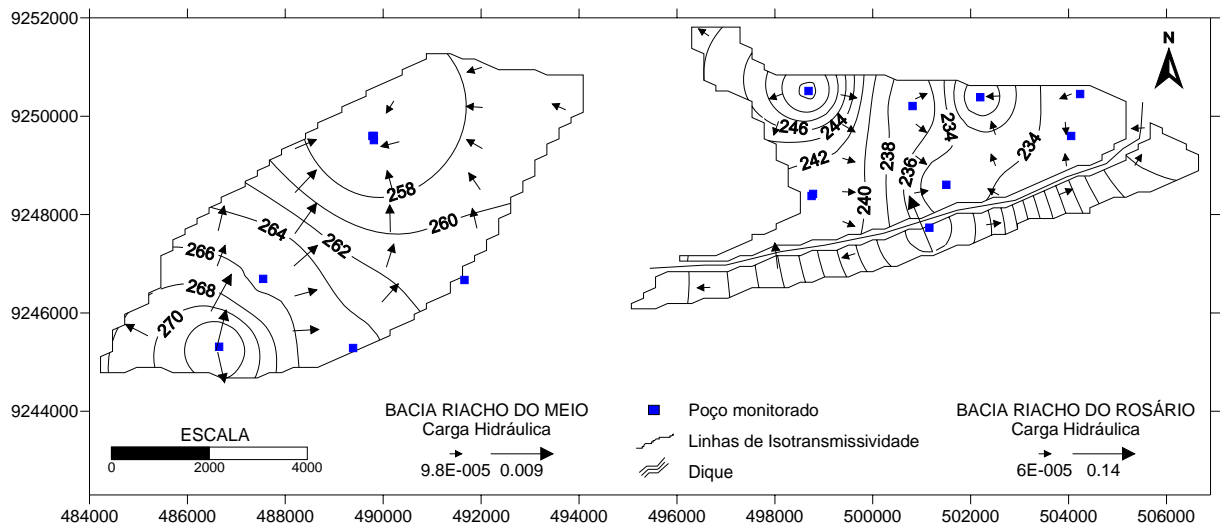


Figura 9. Mapa Potenciométrico referente as medidas efetuadas em abril de 2006.

4. CONSTRUÇÃO DO POÇO DE OBSERVAÇÃO

Autor: MSc. Robério Boto de Aguiar – CPRM

Essa atividade não foi realizada nas Bacias de Lavras da Mangabeira em virtude de existir um local com condições propícias à realização do teste de aquífero. A figura 10 mostra as condições encontradas no Sítio Limoeiro, na Bacia do Riacho do Meio, onde existem dois poços da Cagece em operação e, distante cerca de 20 metros, um poço não instalado que pode ser utilizado como poço de observação.



Figura 10 – Situação encontrada no Sítio Limoeiro na Bacia do Riacho do Meio.

5. TESTE DE AQUIFERO

Autor: MSc. Robério Boto de Aguiar – CPRM

Conforme relatado no item anterior, estava previsto a execução de um teste de aquífero na Bacia do Riacho do Meio, mas precisamente no Sítio Limoeiro. Seria utilizado o poço da Cagece (PT06) para bombeamento e o poço não instalado como poço de observação. Porém, por questões operacionais, não foi possível a realização do ensaio, pois, no período marcado para a realização do mesmo, a Cagece teve a necessidade de ampliar o fornecimento de água para o Distrito de Mangabeira e instalou uma bomba no poço que seria utilizado para observação do nível dinâmico, incorporando-o ao sistema de abastecimento da comunidade.

6. BALANÇO HÍDRICO

Autores: Dr. João Manoel Filho – Consultor e MSc. Robério Bôto de Aguiar - CPRM

6.1. Dados e Métodos Utilizados

Na elaboração do balanço hídrico foram utilizados: i) dados pluviométricos levantados nos *sites* da Agência Nacional de Águas – ANA (*Hidroweb*) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME; ii) dados de evapotranspiração média diária em postos pluviométricos da região, segundo Hargreaves (Cunha & Milo, 1984) e; iii) dados pluviométricos disponíveis em uma estação de medição de descargas na região, que foi analisado com o foco na avaliação do fluxo básico.

O balanço hídrico foi feito pelo método de Thornthwaite, utilizando a equação:

$$P+RU=ETR+EX \quad (1)$$

Onde: P = Precipitação em mm;

RU = Reserva útil de água utilizada pelas plantas retida no solo;

ETR = Evapotranspiração real em mm;

EX = Excedente de água, em mm, representado pelo escoamento superficial direto para os rios (R) + infiltração profunda que alcança o aquífero (I).

Admite-se ainda que a evapotranspiração real é menor ou igual à evapotranspiração potencial ($ETR \leq ETP$). A evapotranspiração real é calculada por comparação da ETP com a chuva, conforme se indica a seguir:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Quando } P > ETP \Rightarrow ETR = ETP \\ \text{Quando } P < ETP \Rightarrow ETR = P \end{array} \right. \quad (2)$$

Para o cálculo do excedente hídrico, inicia-se o balanço supondo completa a reserva utilizável pelas plantas e adotando que $RU_{\text{solo}} = 100$ mm.

Em seguida foi empregado o seguinte algoritmo:

Se $P - ETP + \text{solo} \geq 100$	$Solo \leftarrow 100$ $ETR \leftarrow ETP$ $EX \leftarrow (P - ETP + \text{solo}) - 100$	Há excedente da reserva utilizável pelas plantas (infiltração)
Se $P - ETP + \text{solo} > 0$	$Solo \leftarrow (P - ETP + \text{solo})$ $ETR \leftarrow P$ $EX \leftarrow 0$	Há variação da reserva utilizável pelas plantas
Se $P - ETP + \text{solo} \leq 0$	$Solo \leftarrow 0$ $ETR \leftarrow P$ $EX \leftarrow 0$	Há déficit de água no solo

Da equação (1) resulta que o excesso de água é dado pela expressão:

$$EX = P - ETR + RU \quad (3)$$

O Cálculo do escoamento total (I+R) foi estimado distribuindo igualmente o excesso de água entre deflúvio superficial (50% escoando no mês) e infiltração (50% infiltrando e escoando no mês seguinte). A partir dessa primeira aproximação, que se molda a um decaimento exponencial fictício, a separação dos verdadeiros termos I e R, componentes do escoamento total, foi feita ajustando o decaimento da vazão observada nos hidrogramas, a uma lei do tipo $q(t-t_0) = q_0 \exp[-\alpha(t-t_0)]$. Isso permitiu definir um *coeficiente de fluxo subterrâneo mensal*, $f_1 = \exp(-\alpha)$ do qual se deduziu o *coeficiente de fluxo superficial* $f_2 = 1 - \exp(-\alpha)$.

6.6.1. Precipitações

Os dados pluviométricos levantados nos bancos de dados disponibilizados nas *homepages* da ANA e FUNCEME, correspondem a séries de chuvas diárias envolvendo diferentes períodos e apresentando muitas lacunas. O quadro 1 apresenta a relação desses postos existentes na região de Lavras da Mangabeira, com as respectivas coordenadas, entidades responsáveis e operadoras, séries de dados e os anos de observação.

Quadro 1. Postos pluviométricos no município de Lavras da Mangabeira.

Código Nacional	Nome do Posto	UTM-E	UTM-N	Responsável	Operadora	Série	Anos
638070	Iborepi	503683	9246517	FUNCEME	Funceme	2000-2005	5
638056	Lavras da Mangabeira	503683	9253887	SUDENE	Desativada	1988-2005	17
638071	Amanituba	512894	9263094	FUNCEME	Funceme	1988-2005	17
639065	Quitaius	488952	9239147	FUNCEME	Funceme	1988-2005	17
639066	Mangabeira	487107	9253886	FUNCEME	Funceme	1988-2005	17
639000	Lavras da Mangabeira	505525	9253887	INMET	Desativada	1974-2005	31
639011	Mangabeira/Grangeiro	487107	9252043	SUDENE	Desativada	1961-1996	35
639008	Quitaius	494475	9240990	SUDENE	Desativada	1961-2000	39
639028	Patos	492632	9253887	DNOCS	Dnocs	1937-1999	62
639024	Arrojado	498157	9263099	DNOCS	Dnocs	1925-2000	75
638007	Lavras da Mangabeira	504266	9252505	ANA	CPRM	1912-2005	93
639074	Limoeiro	489840	9249618	ANA	CPRM	Nova	SD

Desse acervo de doze postos foi possível selecionar apenas cinco deles, com séries de 30 anos, e ainda assim preenchendo lacunas com os valores médios dos dados disponíveis em cada posto. Desse modo foi obtida uma série no período de 1961 a 1990 para os cinco postos escolhidos (Quadro 2). A opção por um período mais longo para o balanço foi descartada para evitar uma redução muito drástica no número de postos, caso não se desejasse utilizar um excessivo número de valores estimados para preenchimento de valores ausentes.

Quadro 2. Postos pluviométricos com dados homogeneizados para o período 1961-1990.

Código Nacional	Nome do Posto	UTM-E	UTM-N
00638007	Lavras da Mangabeira (DNOCS)	504266	9252505
00639008	Quitaius	494,475	9240,99
00639011	Mangabeira (Granjeiro)	487,107	9252,043
00639024	Arrojado	498157	9263099
00639028	Patos	492632	9253887

6.1.2. Evapotranspiração Potencial

Os valores de evapotranspiração potencial média diária segundo Hargreaves (Cunha & Milo, 1984) e os respectivos totais mensais e anuais são apresentados no quadro 3 para os cinco postos pluviométricos de interesse nas Bacias de Lavras da Mangabeira.

Regionalmente os valores médios diários de evapotranspiração potencial oscilam entre 4 mm no período chuvoso e 6,5 mm na estiagem. A média anual é de 1925,7 mm na região de Lavras da Mangabeira.

Quadro 3. Evapotranspiração potencial média diária nos postos pluviométricos de interesse nas bacias de Lavras da Mangabeira.

Nome do Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anos
Lavras da Mangabeira	6,2	5,1	4,5	4,2	4,0	4,0	4,6	5,2	5,9	6,1	6,5	6,4	62,7
Quitaius	6,2	5,1	4,5	4,2	4,0	4,0	4,6	5,2	5,9	6,1	6,5	6,4	62,7
Mangabeira (Granjeiro)	6,2	5,1	4,5	4,2	4,0	4,0	4,6	5,2	5,9	6,1	6,5	6,4	62,7
Arrojado	6,6	5,7	4,7	4,2	4,1	4,3	4,9	5,5	6,2	6,6	6,8	6,7	66,3
Patos	5,9	5,2	4,2	4,0	4,0	4,4	5,0	3,8	6,3	6,6	6,5	6,2	62,1
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365,0
ETP/dia	6,2	5,2	4,5	4,2	4,0	4,1	4,7	5,0	6,0	6,3	6,6	6,4	
ETP/mês	192,8	146,7	138,9	124,8	124,6	124,2	146,9	154,4	181,2	195,3	196,8	199,0	1925,7

6.1.3. Fluxo básico (I)

Não existem dados fluviométricos específicos associados com drenagem sobre as Bacias Sedimentares de Lavras da Mangabeira. Trata-se de terrenos pouco permeáveis onde predominam argilitos, siltitos e arenitos muito argilosos. Para fins de estimativa de recarga serão considerados os coeficientes de restituição do Rio Salgado em Lavras da Mangabeira (Posto 36270000), nos anos de 1991, 1992, 1994 e 1995, que drena terrenos mistos sedimentares e cristalinos, apresentados no quadro 4 e na figura 11.

Quadro 4. Coeficientes de recessão, volumes e lâminas de água subterrânea restituídos no Rio Salgado em Lavras da Mangabeira (8400 km²).

ANO	Q _o (m ³ /s)	α (1/dia)	Nº dias	V (m ³)	Restituição específica (m ³ /km ²)	Restituição (mm)	Época
1991	2.0	0.0746983	31	2.3133E+6	275.3936	0.3	Jun-jul
1992	7.0	0.0864741	27	6.9940E+6	832.6193	0.8	Mai-jul
1994	3.0	0.0851029	27	3.0457E+6	362.5862	0.4	Ago
1995	10.0	0.0847279	27	1.0197E+7	1213.97	1.2	Jun-jul

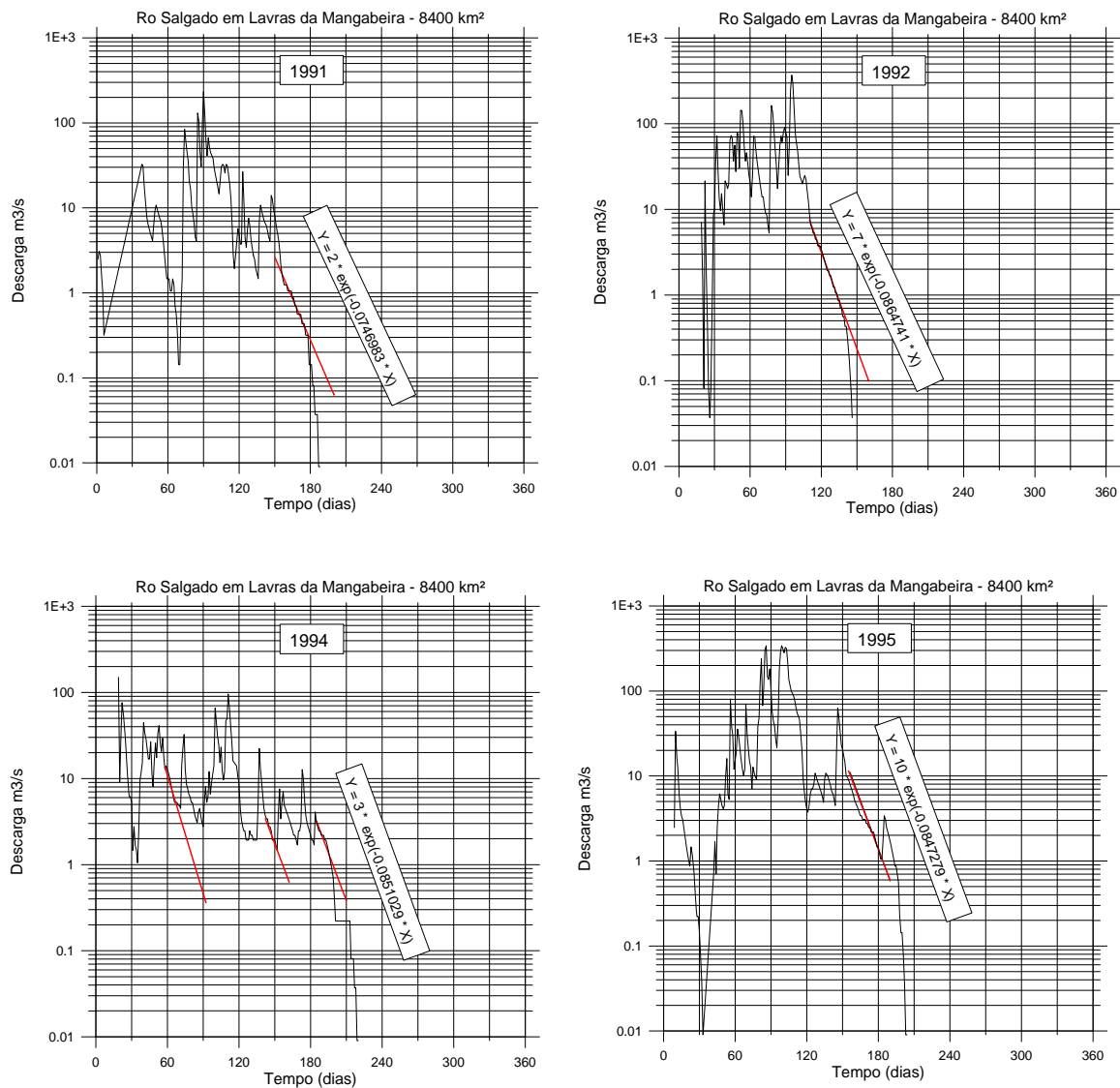


Figura 11. Recessões do rio Salgado em Lavras da Mangabeira nos anos de 1991, 1992, 1994 e 1995.

6.2. Resultados do Balanço Hídrico nas Bacias de Lavras da Mangabeira

6.2.1. Precipitações Médias

Nas Bacias de Lavras da Mangabeira, no período de 1961-1990, os postos pluviométricos e coeficientes de influência na chuva média são mostrados no quadro 5 e os polígonos de Thiessen ilustrados na figura 12. As precipitações médias mensais e totais anuais são mostradas no quadro 6. As chuvas mensais variam de um máximo de 238,2 mm em março e apresentam um mínimo de 5,4 mm em agosto. A média anual é de 969,3 mm.

Quadro 5. Postos pluviométricos e coeficientes de influência usados na estimativa da chuva média nas bacias de Lavras da Mangabeira.

Código Nacional	UTM-E	UTM-N	Nome do Posto	Área Km ²	Influência
00638007	504266	9252505	Lavras da Mangabeira (DNOCS)	24,40	0,3553
00639008	494,475	9240,99	Quitaius	7,75	0,1128
00639011	487,107	9252,043	Mangabeira (Granjeiro)	25,46	0,3707
00639024	498157	9263099	Arrojado	0,00	0,0000
00639028	492632	9253887	Patos	11,07	0,1612

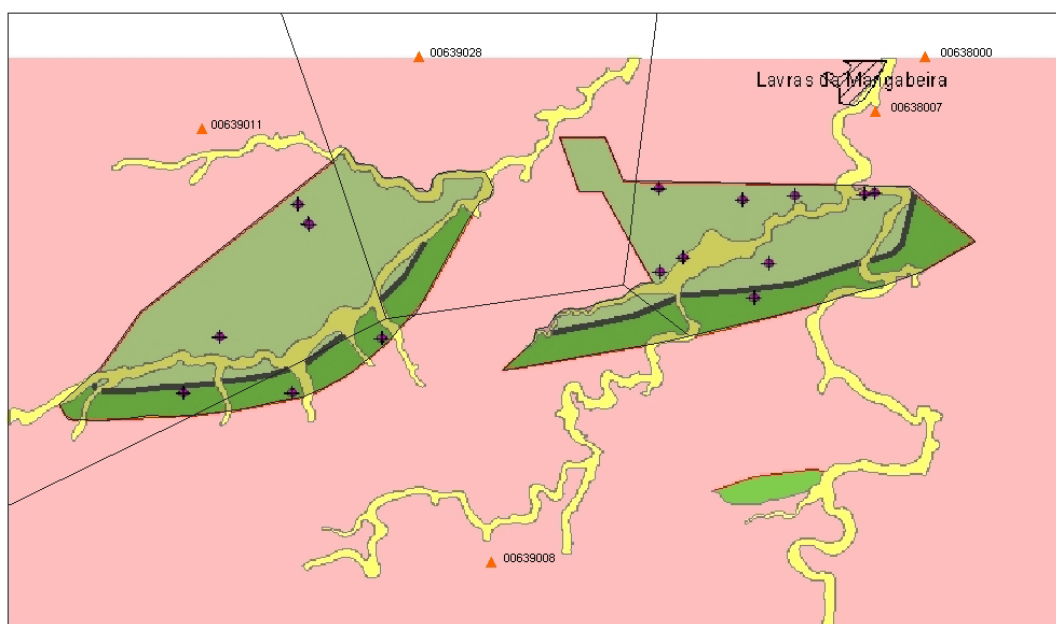


Figura 12. Polígonos de Thiessen representativos dos pesos usados no cálculo da chuva média nas bacias de Lavras da Mangabeira.

6.2.2. Excesso de Água

O excesso de água mensal e os respectivos totais anuais são indicados no quadro 7, onde se nota que os excedentes ocorrem no período de fevereiro a junho, com máximo de 85,9 mm em abril e mínimo de 0,3 mm em junho.

6.2.3. Escoamento total

O escoamento total médio fictício se distribui por todo o ano com máximo de 62,4 mm em abril e mínimo de 0,1 mm em janeiro (Quadro 8).

6.2.4. Infiltrações

As infiltrações médias mensais e os respectivos totais anuais nas bacias de Lavras da Mangabeira foram estimados usando o coeficiente de escoamento subterrâneo deduzido das restituições do rio Salgado em Lavras da Mangabeira e que é igual a $f_1 = \exp(-2,482526) = 0,08352$. O resultado é mostrado no quadro 9. Nota-se que, em média, o escoamento subterrâneo ocorre entre fevereiro e outubro, apresentando valor médio anual de 15,3 mm.

6.2.5. Escoamento superficial

O escoamento superficial é caracterizado por um coeficiente igual a 0,91646 do escoamento fictício total (Quadro 10).

Quadro 6. Chuva média nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	PPT _{Ano}
1961	186,7	195,8	260,1	70,0	75,8	1,4	31,9	0,2	1,8	1,7	5,8	21,1	852,3
1962	43,8	195,1	286,4	136,3	138,3	27,1	17,2	0,0	0,0	5,4	38,8	86,3	974,8
1963	175,0	284,7	439,1	83,6	23,0	17,8	0,0	0,0	5,3	6,4	69,9	144,7	1249,6
1964	145,8	194,5	249,8	293,2	96,1	52,2	6,8	29,3	20,8	1,8	17,1	4,3	1111,7
1965	115,4	31,3	210,4	279,0	22,2	94,3	1,4	1,0	0,0	37,6	0,0	0,1	792,7
1966	40,4	276,3	74,1	82,7	66,7	21,9	5,5	0,0	6,2	0,4	2,5	33,6	610,3
1967	50,2	310,3	240,2	255,3	234,2	26,7	13,0	0,8	0,0	0,0	6,3	42,8	1179,8
1968	79,9	219,4	302,7	80,7	86,5	8,5	3,9	0,0	2,5	8,9	28,1	64,0	885,0
1969	125,9	138,6	121,9	270,1	98,3	68,0	34,2	1,5	16,1	7,0	0,0	13,0	894,6
1970	164,9	113,1	266,1	54,4	3,1	12,7	0,0	2,7	2,9	5,2	16,1	7,8	649,0
1971	208,7	204,6	111,3	172,9	61,7	21,5	16,2	2,7	32,3	34,0	2,1	39,9	907,8
1972	254,8	80,0	137,1	89,7	45,8	34,7	2,9	28,3	0,0	0,0	0,0	83,2	756,4
1973	52,5	105,9	190,9	322,3	90,2	39,7	81,3	6,2	8,6	91,7	0,0	42,2	1031,6
1974	269,8	340,9	354,4	433,9	163,2	17,7	10,8	2,1	21,3	33,6	31,8	53,8	1733,3
1975	140,4	97,5	323,0	310,5	87,7	33,4	28,1	6,0	3,0	1,1	0,5	56,3	1087,4
1976	27,6	180,1	191,0	47,5	6,8	0,0	0,0	1,0	11,3	24,2	32,7	35,5	557,7
1977	118,5	183,5	483,0	545,9	134,1	68,5	30,9	2,1	4,9	34,4	5,4	63,6	1674,8
1978	163,7	177,3	182,3	83,2	111,9	24,9	51,8	7,6	3,6	15,3	24,0	38,1	883,6
1979	66,2	76,3	117,1	116,8	84,6	17,0	4,2	4,6	18,4	39,7	19,5	11,8	576,3
1980	100,0	326,9	162,7	30,9	49,4	14,9	9,5	4,0	5,8	20,5	32,0	14,5	771,1
1981	131,4	145,1	444,3	89,6	0,0	4,7	0,0	2,5	2,2	0,1	4,6	56,4	880,7
1982	130,2	135,0	90,6	212,4	45,4	11,3	15,1	10,5	5,3	2,4	2,4	50,1	710,7
1983	38,8	192,5	133,3	62,9	8,1	1,6	6,0	0,0	0,0	3,6	0,0	29,7	476,6
1984	21,7	58,3	209,5	341,4	119,2	4,7	4,0	22,4	1,6	57,9	10,9	22,1	873,8
1985	274,6	461,9	280,7	311,0	148,2	134,2	50,2	3,0	13,1	0,0	10,2	139,0	1826,2
1986	38,2	116,9	304,9	216,9	63,8	69,0	47,2	5,2	28,9	41,6	44,4	10,6	987,7
1987	53,7	148,7	345,0	150,5	49,8	84,3	2,2	5,0	2,7	1,4	6,6	0,0	850,1
1988	73,6	169,3	284,1	216,5	70,8	11,9	1,9	0,0	0,0	5,6	0,1	146,1	980,0
1989	128,2	15,4	167,3	539,1	174,2	33,9	15,8	8,5	21,8	6,5	19,1	294,4	1424,1
1990	88,1	171,9	183,1	261,4	51,9	17,6	17,0	5,4	8,3	14,5	14,9	55,3	889,4
Média	117,0	178,2	238,2	205,4	80,4	32,5	17,0	5,4	8,3	16,8	14,9	55,3	969,3

Quadro 7. Excesso médio de água nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961-1990.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Excesso
1961	0,0	0,0	70,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,3
1962	0,0	0,0	96,0	11,5	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	121,2
1963	0,0	38,0	300,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	338,2
1964	0,0	0,0	58,7	168,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	227,1
1965	0,0	0,0	0,0	125,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	125,7
1966	0,0	29,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,6
1967	0,0	63,6	101,3	130,5	109,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	404,9
1968	0,0	0,0	136,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	136,4
1969	0,0	0,0	0,0	45,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,3
1970	0,0	0,0	27,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,3
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	0,0	0,0	0,0	149,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	149,6
1974	0,0	171,1	215,5	309,1	38,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	734,3
1975	0,0	0,0	84,1	185,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	269,8
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	0,0	280,9	421,1	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	711,4
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	80,2	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,1
1981	0,0	0,0	205,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	205,4
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	0,0	187,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,3
1985	0,0	297,0	141,8	186,2	23,6	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	658,6
1986	0,0	0,0	66,1	92,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	158,2
1987	0,0	0,0	108,1	25,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	133,8
1988	0,0	0,0	67,9	91,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	159,5
1989	0,0	0,0	0,0	342,7	49,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	392,2
1990	0,0	0,0	0,0	106,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	106,0
Média	0,0	22,7	66,1	85,9	8,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	183,2

Quadro 8. Escoamento total médio nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Q_{Ano}
1961	0,0	0,0	35,2	17,6	8,8	4,4	2,2	1,1	0,5	0,3	0,1	0,1	70,3
1962	0,0	0,0	48,0	29,8	21,7	10,9	5,4	2,7	1,4	0,7	0,3	0,2	121,1
1963	0,1	19,0	159,6	79,8	39,9	20,0	10,0	5,0	2,5	1,2	0,6	0,3	338,1
1964	0,2	0,1	29,4	98,9	49,4	24,7	12,4	6,2	3,1	1,5	0,8	0,4	227,0
1965	0,2	0,1	0,0	62,9	31,4	15,7	7,9	3,9	2,0	1,0	0,5	0,2	125,9
1966	0,1	14,9	7,4	3,7	1,9	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	29,8
1967	0,0	31,8	66,5	98,5	104,0	52,0	26,0	13,0	6,5	3,3	1,6	0,8	404,1
1968	0,4	0,2	68,3	34,2	17,1	8,5	4,3	2,1	1,1	0,5	0,3	0,1	137,1
1969	0,1	0,0	0,0	22,6	11,3	5,7	2,8	1,4	0,7	0,4	0,2	0,1	45,3
1970	0,0	0,0	13,6	6,8	3,4	1,7	0,9	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	27,3
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	0,0	0,0	0,0	74,8	37,4	18,7	9,3	4,7	2,3	1,2	0,6	0,3	149,3
1974	0,1	85,6	150,6	229,8	134,2	67,1	33,6	16,8	8,4	4,2	2,1	1,0	733,5
1975	0,5	0,3	42,2	113,9	57,0	28,5	14,2	7,1	3,6	1,8	0,9	0,4	270,4
1976	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
1977	0,0	0,0	140,4	280,8	145,1	72,6	36,3	18,1	9,1	4,5	2,3	1,1	710,3
1978	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	40,1	32,0	16,0	8,0	4,0	2,0	1,0	0,5	0,2	0,1	0,1	104,0
1981	0,0	0,0	102,7	51,4	25,7	12,8	6,4	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	205,3
1982	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	0,0	93,6	46,8	23,4	11,7	5,9	2,9	1,5	0,7	0,4	186,9
1985	0,2	148,6	145,2	165,7	94,7	52,3	26,2	13,1	6,5	3,3	1,6	0,8	658,2
1986	0,4	0,2	33,1	62,6	31,3	15,7	7,8	3,9	2,0	1,0	0,5	0,2	158,7
1987	0,1	0,1	54,1	39,9	20,0	10,0	5,0	2,5	1,2	0,6	0,3	0,2	133,9
1988	0,1	0,0	34,0	62,8	31,4	15,7	7,9	3,9	2,0	1,0	0,5	0,2	159,5
1989	0,1	0,1	0,0	171,4	110,5	55,2	27,6	13,8	6,9	3,5	1,7	0,9	391,6
1990	0,4	0,2	0,1	53,1	26,5	13,3	6,6	3,3	1,7	0,8	0,4	0,2	106,7
Média	0,1	11,4	38,8	62,4	35,3	17,8	8,9	4,4	2,2	1,1	0,6	0,3	183,2

Quadro 9. Escoamento subterrâneo médio nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	I_{Ano}
1961	0,0	0,0	2,9	1,5	0,7	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
1962	0,0	0,0	4,0	2,5	1,8	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	10,1
1963	0,0	1,6	13,3	6,7	3,3	1,7	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	28,2
1964	0,0	0,0	2,5	8,3	4,1	2,1	1,0	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	19,0
1965	0,0	0,0	0,0	5,3	2,6	1,3	0,7	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	10,5
1966	0,0	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5
1967	0,0	2,7	5,6	8,2	8,7	4,3	2,2	1,1	0,5	0,3	0,1	0,1	33,7
1968	0,0	0,0	5,7	2,9	1,4	0,7	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	11,5
1969	0,0	0,0	0,0	1,9	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	3,8
1970	0,0	0,0	1,1	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	0,0	0,0	0,0	6,2	3,1	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	12,5
1974	0,0	7,2	12,6	19,2	11,2	5,6	2,8	1,4	0,7	0,4	0,2	0,1	61,3
1975	0,0	0,0	3,5	9,5	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0	22,6
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	0,0	11,7	23,4	12,1	6,1	3,0	1,5	0,8	0,4	0,2	0,1	59,3
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	3,4	2,7	1,3	0,7	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7
1981	0,0	0,0	8,6	4,3	2,1	1,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	17,1
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	0,0	7,8	3,9	2,0	1,0	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	15,6
1985	0,0	12,4	12,1	13,8	7,9	4,4	2,2	1,1	0,5	0,3	0,1	0,1	55,0
1986	0,0	0,0	2,8	5,2	2,6	1,3	0,7	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	13,3
1987	0,0	0,0	4,5	3,3	1,7	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	11,2
1988	0,0	0,0	2,8	5,2	2,6	1,3	0,7	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	13,3
1989	0,0	0,0	0,0	14,3	9,2	4,6	2,3	1,2	0,6	0,3	0,1	0,1	32,7
1990	0,0	0,0	0,0	4,4	2,2	1,1	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	8,9
Média	0,0	1,0	3,2	5,2	2,9	1,5	0,7	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	15,3

Quadro 10. Escoamento superficial médio nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961 a 1990.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	R _{Ano}
1961	0,0	0,0	32,2	16,1	8,1	4,0	2,0	1,0	0,5	0,3	0,1	0,1	64,4
1962	0,0	0,0	44,0	27,3	19,9	10,0	5,0	2,5	1,2	0,6	0,3	0,2	111,0
1963	0,1	17,4	146,3	73,2	36,6	18,3	9,1	4,6	2,3	1,1	0,6	0,3	309,8
1964	0,1	0,1	26,9	90,6	45,3	22,7	11,3	5,7	2,8	1,4	0,7	0,4	208,0
1965	0,2	0,1	0,0	57,6	28,8	14,4	7,2	3,6	1,8	0,9	0,5	0,2	115,4
1966	0,1	13,6	6,8	3,4	1,7	0,9	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	27,3
1967	0,0	29,1	61,0	90,3	95,3	47,7	23,8	11,9	6,0	3,0	1,5	0,7	370,3
1968	0,4	0,2	62,6	31,3	15,7	7,8	3,9	2,0	1,0	0,5	0,2	0,1	125,7
1969	0,1	0,0	0,0	20,8	10,4	5,2	2,6	1,3	0,6	0,3	0,2	0,1	41,5
1970	0,0	0,0	12,5	6,2	3,1	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	25,0
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	0,0	0,0	0,0	68,5	34,3	17,1	8,6	4,3	2,1	1,1	0,5	0,3	136,8
1974	0,1	78,5	138,0	210,6	123,0	61,5	30,7	15,4	7,7	3,8	1,9	1,0	672,3
1975	0,5	0,2	38,7	104,4	52,2	26,1	13,1	6,5	3,3	1,6	0,8	0,4	247,8
1976	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
1977	0,0	0,0	128,7	257,3	133,0	66,5	33,2	16,6	8,3	4,2	2,1	1,0	651,0
1978	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	36,8	29,3	14,7	7,3	3,7	1,8	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	95,3
1981	0,0	0,0	94,1	47,1	23,5	11,8	5,9	2,9	1,5	0,7	0,4	0,2	188,1
1982	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	0,0	85,8	42,9	21,5	10,7	5,4	2,7	1,3	0,7	0,3	171,3
1985	0,2	136,2	133,1	151,8	86,7	48,0	24,0	12,0	6,0	3,0	1,5	0,7	603,2
1986	0,4	0,2	30,4	57,4	28,7	14,3	7,2	3,6	1,8	0,9	0,4	0,2	145,5
1987	0,1	0,1	49,6	36,6	18,3	9,1	4,6	2,3	1,1	0,6	0,3	0,1	122,7
1988	0,1	0,0	31,1	57,6	28,8	14,4	7,2	3,6	1,8	0,9	0,4	0,2	146,1
1989	0,1	0,1	0,0	157,1	101,2	50,6	25,3	12,7	6,3	3,2	1,6	0,8	358,9
1990	0,4	0,2	0,1	48,6	24,3	12,2	6,1	3,0	1,5	0,8	0,4	0,2	97,8
Média	0,1	10,4	35,5	57,1	32,3	16,3	8,2	4,1	2,0	1,0	0,5	0,3	167,9

6.3. Síntese dos resultados do balanço hídrico nas Bacias de Lavras da Mangabeira

Os resultados do balanço hídrico nas Bacias de Lavras da Mangabeira estão apresentados no quadro 11 e mostram uma precipitação média anual de 969,3 mm e um excesso de água de 183,2 mm, porém, apenas 15,3 mm desse excedente infiltra efetivamente.

Quadro 11 - Resumo do balanço hídrico nas Bacias de Lavras da Mangabeira.

Parâmetros (mm)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Chuva	117,0	178,2	238,2	205,4	80,4	32,5	17,0	5,4	8,3	16,8	14,9	55,3	969,3
Excesso	0,0	22,7	66,1	85,9	8,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	183,2
Infiltração (I)	0,0	1,0	3,2	5,2	2,9	1,5	0,7	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	15,3
Escoamento Sup. (R)	0,1	10,4	35,5	57,1	32,3	16,3	8,2	4,1	2,0	1,0	0,5	0,3	167,9
Escoa. total (I+R)	0,1	11,4	38,8	62,4	35,3	17,8	8,9	4,4	2,2	1,1	0,6	0,3	183,2

6.3.1. Estatística descritiva de chuva e recarga nas Bacias de Lavras da Mangabeira

A estatística descritiva das precipitações médias e da recarga nas Bacias de Lavras da Mangabeira, mostrada no quadro 12, revela que: i) o intervalo de confiança de 95% da chuva média é igual a $969,3 \pm 124,8$ mm/ano; ii) para a recarga o referido intervalo de confiança da média é de $15,3 \pm 6,6$ mm/ano.

Quadro 12. Estatística descritiva das chuvas e da recarga médias anuais nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961-1990.

Parâmetro	Nº de anos	Média	Confiança da média		Mediana	Mín.	Máx.	Desvio Padrão	Assimetria
			-95%	95%					
Chuva	30	969,3	844,5	1094,1	887,2	476,5	1826,1	334,2	1,1
Recarga	30	15,3	8,7	21,8	10,8	0,0	61,2	17,4	1,5
Recarga	23	19,9	12,3	27,5	13,2	2,2	61,2	17,5	1,4

Os histogramas de freqüência da chuva e da recarga nas Bacias Sedimentares de Lavras da Mangabeira, apresentado na figura 13, exibem uma distribuição normal para o regime pluviométrico e log-normal para a recarga.

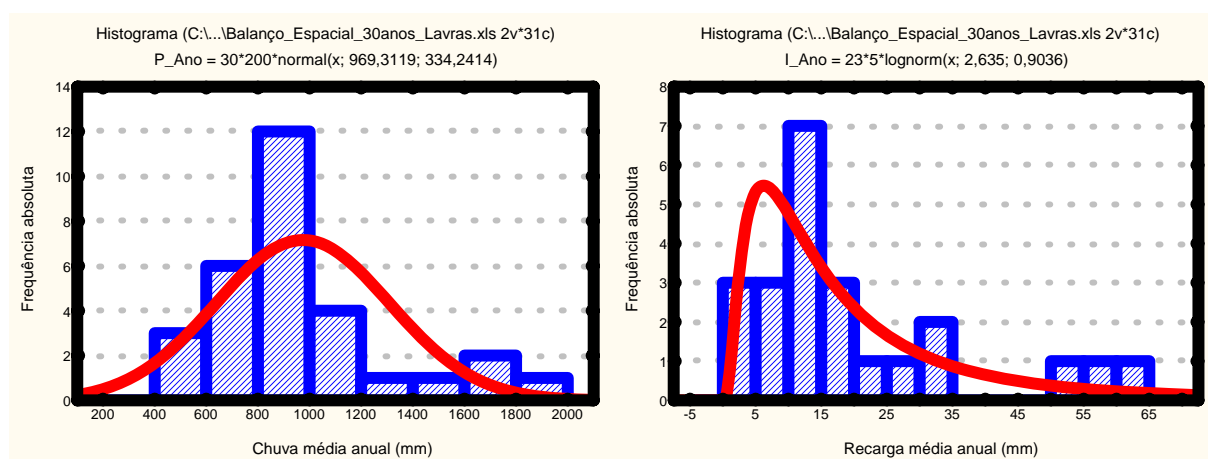


Figura 13. Histogramas de freqüência e curvas de densidade de probabilidade ajustadas à chuva e à recarga média anual nas Bacias de Lavras da Mangabeira.

6.3.2. Probabilidade de chuva e recarga nas Bacias de Lavras da Mangabeira

A distribuição de probabilidade da ocorrência de chuva e recarga nas Bacias de Lavras da Mangabeira, apresentada no quadro 13, mostra que, em termos percentuais, a relação entre recarga e chuva vai de 1,4% com 50% de risco, a 0,9% com 1% de risco.

Quadro 13. Probabilidade de ocorrência de chuvas e de recargas anuais (mm) nas Bacias de Lavras da Mangabeira no período de 1961-1990.

Probabilidade ($x \geq a$)	0,5	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
Chuva média	969,3	688,0	540,9	419,5	282,8	191,7
Recarga média	13,9	6,5	4,3	3,1	2,1	1,7
% Recarga/Chuva	1,4	0,9	0,8	0,7	0,7	0,9

7. RESERVAS E DISPONIBILIDADES

Autores: Dr. Itabaraci Nazreno Cavalcante - Dept. de Geologia/UFC; MSc. Robério Boto de Aguiar - CPRM

Vários parâmetros influenciam no cálculo de reservas das águas subterrâneas, tais como precipitação pluviométrica, tipo de aquífero, características dimensionais e hidrodinâmicas do meio e qualidade da água.

O cálculo das reservas hídricas subterrâneas deve ser incorporado a qualquer projeto direcionado ao planejamento e gestão integrada de recursos hídricos. O planejamento dos recursos hídricos (superficial e subterrâneo) deve considerar o uso integrado das reservas, recursos e disponibilidades de água, associados a qualidade hídrica, ocupação do meio físico, uso e proteção (Cavalcante, 1998).

Os volumes hídricos armazenados nos sistemas aquíferos representam as reservas e podem ser avaliadas segundo um ponto de vista natural ou utilitário. Tradicionalmente, estas reservas são classificadas como renováveis (dinâmicas ou reguladoras) e não renováveis (permanentes ou geológicas). As reservas totais são obtidas pela somatória das reservas renováveis e permanentes. Sob uma análise integrada, em função de escala de tempo de renovação e uso das águas, a classificação de reservas permanentes (não renováveis) não encontra respaldo, pois se sabe que a água subterrânea não está desconectada do ciclo hidrológico, participando efetivamente à medida que existe recarga, extração através de poços tubulares e descarga.

7.1 Reservas Renováveis (Rr)

São representadas pelo volume hídrico armazenado entre os níveis de flutuação máximo e mínimo dos aquíferos livres. Participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo anual, interanual ou sazonal estando, desta forma, em constante movimento. Existem várias maneiras de se realizar o cálculo destas reservas, sendo as mais comuns:

1^o) cálculo da Vazão de Escoamento Natural (VEN), que sob condições de equilíbrio natural representa a recarga anual efetiva do aquífero, expressa por: $VEN = T i L$, onde T = transmissividade hidráulica (L^2T^{-1}), i = gradiente hidráulico e L = comprimento da frente de escoamento (L).

Este método é recomendado e empregado no dimensionamento das reservas das águas subterrâneas com a utilização de mapas potenciométricos que permitem o cálculo do gradiente hidráulico local, direção do fluxo subterrâneo e do comprimento da frente de escoamento. O valor da transmissividade é obtido de testes de bombeamento.

2^o) Hidrograma de escoamento superficial, com cálculos a partir das curvas de recessão, no trecho correspondente à restituição do excesso infiltrado no meio poroso. A restituição das reservas hídricas somente inicia-se quando toda a água superficial é escoada, ou seja, no período de estiagem (Costa, 1997).

3^o) Método volumétrico, tendo-se por base a flutuação (Δh) dos níveis d'água nos aquíferos livres, sendo expressa por $Rr = A \cdot \Delta h \cdot \eta e$, onde A = área de ocorrência do aquífero (L^2), Δh = variação do nível d'água (L) e ηe = porosidade efetiva (adimensional) para aquíferos livres ou S = Coeficiente de armazenamento para aquíferos confinados a semi-confinados. Este será o método utilizado na área em estudo.

Foram realizadas cinco campanhas de campo, entre outubro/2005 e outubro/2006, objetivando o monitoramento dos níveis estáticos dos poços tubulares nas Bacias de Lavras da Mangabeira. Na Bacia do Riacho do Meio (oeste) foram monitorados sete poços, que apresentaram uma variação média dos níveis de 1,4 metros. Na Bacia do Riacho do Rosário (leste) a variação média dos níveis nos nove poços monitorados foi de 1,6 metros. Considerando uma área de 71,82 km² para as duas bacias e a porosidade efetiva de 5% para os litotipos que exercem o papel de aquífero, mesmo sabendo ser este valor conservador, tem-se que as reservas renováveis, definidas pela equação $R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$, são de 5,3 milhões de m³/ano.

Adotando-se um fator de segurança de (Fs) de 0,8, por entender que existem fatores que podem interferir no cálculo destas reservas, a exemplo de interferências de cones de bombeamento e variações litológicas, obtêm-se para as Bacias de Lavras da Mangabeira um volume de recarga de 4,2 milhões de m³/ano a partir da precipitação pluviométrica.

7.2 Reservas Permanentes (Rp)

Estas reservas representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar. Correspondem aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação dos aquíferos livres ou dos níveis potenciométricos dos aquíferos confinados (Rebouças, 1997; Cavalcante, 1998).

As reservas permanentes são calculadas pelo método volumétrico utilizando-se as seguintes fórmulas: $R_p = A \cdot h_o \cdot \eta_e$, onde A = área de ocorrência do sistema aquífero (L²), h_o = espessura saturada (L), e η_e = porosidade efetiva (adimensional) no caso de sistema livre. No caso do sistema aquífero confinado, as reservas permanentes são calculadas pela somatória de $R_p = A \cdot h_o \cdot \eta_e$ mais o volume armazenado sob pressão dado pela equação $R_p = A \cdot h_o \cdot S$, onde S = coeficiente de armazenamento.

A ausência de um modelo geométrico definindo as espessuras reais e saturadas das bacias e a inexpressível quantidade de perfis técnico-construtivos e litológicos existentes dificultou a realização dos cálculos das reservas permanentes. Porém, na tentativa de se estimar um valor para essas reservas, adotou-se a espessura média saturada (h_o) de 21 m, a partir da análise de apenas três perfis existentes na área, a porosidade efetiva (η_e) de 5% e um fator de segurança (Fs) de 0,8 e tem-se que as reservas permanentes são de 60,3 milhões de m³.

7.3 Recursos Explotáveis (Re) ou Potencialidade Aquífera (P)

Os recursos explotáveis das águas subterrâneas representam os volumes que podem ser utilizados das reservas naturais, em função das reservas renováveis (reguladoras) ou dos meios técnico-financeiros de que se disponha, ou seja, da variável de decisão que leva em consideração outros objetivos e fatores limitantes, a exemplo da taxa de renovabilidade natural (Rebouças, 1997; Cavalcante, 1998). É interessante observar que a utilização dos recursos hídricos explotáveis está associada a responsabilidade de uso dos recursos hídricos que estão disponíveis sem que haja comprometimento do aquífero nem do meio ambiente.

Em princípio, para que não haja comprometimento do aquífero, é recomendável a exploração do volume correspondente à recarga, ou seja, a reserva reguladora do aquífero sem provocar

qualquer depleção nas reservas permanentes. Porém, dentro de uma visão sistêmica, o uso depende fundamentalmente do conhecimento técnico das reservas, com monitoramento em tempo real, integrado a evolução da demanda.

Duarte (1996, 1997) define recursos exploráveis como sendo “*aqueles que estão disponíveis sem que haja comprometimento do aquífero nem do meio ambiente*” e os associa com as disponibilidades hídricas do sistema aquífero, resultando no dimensionamento da potencialidade aquífera. Admite-se que, sem prejuízo para o aquífero, se possa explorar toda a reserva renovável e mais uma parcela da reserva permanente, que representem no período de 50 anos um valor de 30% dessas reservas.

Assim, através da equação $P = R_r + (0,006 \times R_p)$, onde P = potencialidade aquífera, R_r = reserva renovável e R_p = reserva permanente, tem-se para as Bacias de Lavras da Mangabeira uma potencialidade é de 4,6 milhões de m³/ano disponível para uso.

Ressalta-se, ainda, que os recursos hídricos dependem das variáveis de decisão impostas pela política socioeconômica de desenvolvimento, ou seja, constitui-se em um bem valorado fundamentado na importância que a água representa no meio.

7.4 Disponibilidade

Além de reservas e recursos/potencialidades aquíferas, o termo denominado de disponibilidade vem sendo empregado comumente nos trabalhos sobre planejamento das águas subterrâneas.

A disponibilidade refere-se ao volume que pode ser explorado sem risco de exaustão do sistema aquífero (Duarte, 1997), que pode ser classificada na área de estudo nos seguintes tipos: (a) disponibilidade potencial do aquífero; (b) disponibilidade instalada dos poços, e; (d) disponibilidade instalável dos poços.

A definição utilizada para Recursos Exploráveis também se emprega para *Disponibilidade Potencial do Aquífero*, já calculada anteriormente. A *Disponibilidade Instalada dos Poços* corresponde ao volume de água subterrânea que pode ser captado a partir das obras instaladas, adotando-se a vazão máxima permissível de cada poço em regime de bombeamento contínuo.

7.5 Disponibilidade Efetiva (Disponibilidade Instalada)

A *Disponibilidade Efetiva dos Poços* representa os volumes atualmente captados, utilizando-se as vazões dimensionadas de bombeamento e o regime de bombeamento operante. O tempo médio de bombeamento varia de acordo com a necessidade do usuário, sendo considerados maiores tempos para abastecimento público nos poços operados pela Cagece e Prefeitura e menos tempo para demais usuários.

Assim, tem-se que $De = Q \cdot p \cdot t$, onde De = disponibilidade efetiva (m³/ano); Q = vazão do poço (m³/h); p = n° de poços por município e; t = período de operação (365 dias).

Observa-se que dos 27 poços existentes nas Bacias de Lavras da Mangabeira, apenas dez estão em operação, sendo seis para abastecimento público e quatro particulares. Portanto, considerando-se que os poços públicos operam durante doze horas/dia e os particulares por quatro horas/dia, tem-se uma disponibilidade instalada de 1,0 milhão de m³/ano.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCANTE, I.N. & MATTA, M.A.S. 2007. *Gestão das Águas*. I Curso de Especialização à Distância. CG/UFPA. Belém/PA. 48p.

CAVALCANTE, I.N. 1998. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará*. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo.

COSTA, W.D. 1997. Uso e gestão de água subterrânea. In: Feitosa, F.A.C.; Manoel Filho, J. (Coord). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2ª. Ed.. CPRM, LABHID/UFPE. Fortaleza. Cap. 14, p 341-364, il.

FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. (Coord.). 2000. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2ª. Ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE. 391 p il.

FUNCEME. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acessado em maio de 2007.

HIDROWEB. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acessado em maio de 2007.

REBOUÇAS, A.C. - 1997 – *Desenvolvimento e proteção das águas subterrâneas*. ABAS/MG. Rio de Janeiro – RJ. 13p.

REBOUÇAS, A.C. 1994. *Fundamentos de Gestão de Aquíferos*. Curso Pré-Congresso – 2º Congresso Latino-Americano de Hidrologia Subterrânea. ALHSUD. Santiago/Chile. 35 p.

RH. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. 1992. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. SRH. 4 vol. Fortaleza – CE.

SIAGAS. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br>>. Acessado em agosto de 2007.

SUDENE. 1967. *Estudo geral de base do Vale do Jaguaribe*. Recife, Série Hidrogeologia 7, 245 p.