SERGIO BARRETO DE SOUSA

RECURSOS HÍDRICOS DA ILHA DO MARANHÃO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Naldy Emerson Canali

Co-orientadores: Prof. André Virmond Lima Bittencourt
Prof. Ernani Francisco Rosa Filho

CURITIBA
1997

SERGIO BARRETO DE SOUSA

RECURSOS HÍDRICOS DA ILHA DO MARANHÃO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Naldy Emerson Canali
Departamento de Geografia, UFPR

Prof. Dr. Riad Salamuni
Departamento de Geologia, UFPR

Prof. Dr. Luiz EduardoMantovani
Departamento de Geologia, UFPR

Curitiba, 19 de dezembro de 1997

Ao povo da ilha do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço a inestimável ajuda recebida para o desenvolvimento desta dissertação, em especial:

Ao Prof. Dr. Naldy Emerson Canali do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná, pela orientação e incentivo.

Aos co-orientadores, Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt e Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, pela assessoria.

Aos professores, Dr. Alberto Pio Fiori e Dr. Paulo Cesar Fonseca Giannini, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, pelas sugestões para a construção da carta litológica.

Ao Prof. Msc. David Man Wai Zee, do Departamento de Oceanografia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, pelas informações fornecidas sobre a organização do Conselho das Águas da Baixada de Jacarepaguá do Rio de Janeiro.

Ao Prof. Antonio Carlos Vitte, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná, pelas sugestões.

Às bibliotecárias senhoras Maria de Lourdes Machosky e Eliane Maria Stroparo da Universidade Federal do Paraná, pelo trabalho de organização das referências bibliográficas.

Ao Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realização do curso.

A Universidade Estadual do Maranhão pelo apoio e manutenção da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS ix

LISTA DE TABELAS x

LISTA DE GRÁFICOS xi

LISTA DE FIGURAS xii

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS xiii

RESUMO xiv

RÉSUMÉ xv

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 GENERALIDADES 1

1.2 CONCEITOS 2

1.3 OBJETIVO 3

1.4 JUSTIFICATIVA 3

1.5 ROTEIRO DO TRABALHO 5

2 MATERIAIS E MÉTODO DE TRABALHO 6

2.1 MATERIAIS E INFRA-ESTRUTURA 6

2.2 MÉTODO DE TRABALHO 7

3 ASPECTOS GERAIS DA ILHA DO MARANHÃO 11

3.1 FISIOGRAFIA E VEGETAÇÃO 11

3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS/HIDROGEOLÓGICOS 16

3.3 OCUPAÇÃO DO SOLO 17

4 HIDROCLIMATOLOGIA 19

4.1 REGIME DAS CHUVAS 19

4.2 AJUSTE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS 26

4.3 BALANÇO HÍDRICO 28

4.3.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL 30

4.3.1.1 FÓRMULA DE HARGREAVES 33

4.3.1.2 FÓRMULA DE PENMAN/FAO 35

4.3.2 BALANÇO HÍDRICO SEQÜENCIAL 39

5 ANÁLISE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS 47

5.1 TRAÇADO DA REDE DE DRENAGEM 47

5.2 ANÁLISE DAS FORMAS DA REDE DE DRENAGEM 48

5.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA 51

5.4 SÍNTESE DOS ESTUDOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS 57

6 MAPEAMENTO TEMÁTICO 67

6.1 CARTA GEOLÓGICA 69

6.2 CARTA DAS ISOIETAS ANUAIS 71

6.3 CARTA HIDROGEOLÓGICA DE PONTOS DE ÁGUA 72

6.4 CARTA DO ESQUEMA DE OCORRÊNCIAS E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 73

6.5 CARTA DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS 74

6.6 CARTA DAS FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO 75

7 **RECURSOS HÍDRICOS** 77

7.1 RECURSOS HÍDRICOS DE SUPERFÍCIE 77

7.2 QUADRO AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS 84

7.3 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS 88

7.4 RISCO DE CONTAMINAÇÃO DOS AQÜÍFEROS 94

7.5 ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA 101

7.5.1 POTENCIALIDADE HÍDRICA 103

7.5.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA 104

7.5.3 DEMANDA HÍDRICA 106

7.5.4 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA 109

8 **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES** 116

APÊNDICES - ESTATÍSTICAS, QUADROS E GRÁFICOS 125

1 Alturas pluviométricas da estação do Boqueirão (mm) 126

2 Alturas pluviométricas médias da estação do Tirirical (mm) 126

3 Alturas pluviométricas da estação do Itapiracó (mm) 127

4 Índice sazonal da estação do Itapiracó 128

5 Alturas pluviométricas da estação de Ribamar (mm) 129

6 Índice sazonal da estação de Ribamar 130

7 Alturas pluviométricas da estação de Rosário (mm) 131

8 Índice sazonal da estação de Rosário 132

9 Correlograma dos dados pluviométricos [Rosário x Itapiracó] 133

10 Correlograma dos dados pluviométricos [Rosário x Ribamar] 134

11 Dados brutos e ajustados das estações Rosário, Itapiracó e Ribamar 135

12 Valores dos escoamentos superficial (Qr) e subterrâneo (Qs) em relação ao escoamento total (Q)..... 136

13 Dados de fichas de sondagens para o traçado das seções transversais..... 137

14 Parâmetros de poços tubulares da ilha do Maranhão..... 138

15 Características químicas dos poços tubulares e manuais da ilha do Maranhão..... 158

16 Esquema para avaliação da vulnerabilidade natural do aqüífero..... 159

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 160

LISTA DE QUADROS

4.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS DISPONÍVEIS.....28

4.2 VALORES DE EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL ANUAL EM PERNAMBUCO (mm).....32

7.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS DOS PRINCIPAIS RIOS DA ILHA DO MARANHÃO.....80

7.2 DISTRIBUIÇÃO DO ESPAÇO AGRÍCOLA DA ILHA DO MARANHÃO (ha).....85

7.3 CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO DA ILHA DO MARANHÃO.....85

7.4 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E HIDROQUÍMICAS DOS AQÜÍFEROS DA ILHA DO MARANHÃO.....92

7.5 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ILHA DO MARANHÃO.....92

7.6 ESQUEMA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DOS AQÜÍFEROS.....97

7.7 COEFICIENTES DE DEMANDA HÍDRICA.....107

LISTA DE TABELAS

4.1 ANÁLISE DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO SÃO LUIS (mm).....24

4.2 PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR HARGREAVES.....34

4.3 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR HARGREAVES.....35

4.4 PARÂMETROS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR PENMAN/FAO.....37

4.5 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR PENMAN/FAO.....38

4.6 BALANÇO HÍDRICO SEQÜENCIAL MENSAL (mm).....43

4.7 ESCOAMENTO SUPERFICIAL A PARTIR DO BALANÇO HÍDRICO SEQÜENCIAL MENSAL (mm).....44

5.1 DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DENSIDADE DE RIOS.....53

5.2 DISTRIBUIÇÃO DE DECLIVIDADES DAS BACIAS.....55

5.3 ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....63

5.4 MÉDIAS DOS ESCOAMENTOS SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO.....66

7.1 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQÜÍFEROS DA ILHA DO MARANHÃO.....96

7.2 DEMANDA HÍDRICA NOS CENÁRIOS 1990/2000/2010 (hm^3/ano).....109

7.3 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA - IAP/IUD/IUP.....110

7.4 TEMPERATURAS MÉDIAS EM TRÊS ESTAÇÕES DA ILHA DO MARANHÃO (°C).....113

LISTA DE GRÁFICOS

4.1 CICLO DAS CHUVAS NA ILHA DO MARANHÃO (1912-1990).....21

4.2 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS NA ILHA DO MARANHÃO (1912-1990).....22

4.3 PRECIPITAÇÃO ANUAL NA ILHA DO MARANHÃO (1913-1943).....25

4.4 PRECIPITAÇÃO ANUAL NA ILHA DO MARANHÃO (1966-1988).....25

4.5 BALANÇO HÍDRICO MENSAL DA ILHA DO MARANHÃO.....46

7.1 CRESCIMENTO POPULACIONAL x REDUÇÃO DO ESPAÇO RURAL DA ILHA DO MARANHÃO.....86

LISTA DE FIGURAS

5.1 ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM.....66

5.2 ISODENSIDADE DE RIOS.....66

6.1 CARTA LITOLÓGICA.....76

6.2 CARTA DE ISOIETAS ANUAIS.....76

6.3 CARTA HIDROGEOLÓGICA DE PONTOS DE ÁGUA.....76

6.4 CARTA DO ESQUEMA DE OCORRÊNCIAS E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....76

6.5 CARTA DOS RECURSOS HÍDRICOS DE SUPERFÍCIE.....76

6.6 CARTA DAS FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO HÍDRICA.....76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAEMA	COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO MARANHÃO
CPRM	COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS
CVRD	COMPANHIA VALE DO RIO DOCE
DEPV	DIRETORIA DE ELETRÔNICA E PROTEÇÃO AO VÔO
DNPM	DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL
DSG	DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO
FAO	FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS
GERCO/MA	PROGRAMA ESTADUAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO DA SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO MARANHÃO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INEMET	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
PLIRHINE	PLANO DE APROVEITAMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE DO BRASIL
PNGC	PROGRAMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO -
SNLCS	SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS
SUDENE	SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE

RESUMO

A ilha do Maranhão, situada entre os meridianos $44^0 11'11"$ e $44^0 22'37"$ W e os paralelos $02^0 27'12"$ e $02^0 45'02"$ S com uma área de 907 km^2, apresenta um clima quente semi-úmido (de 5 meses secos), com precipitações que variam entre 1.800 e 2.200 mm/ano. Os valores médios do balanço hídrico calculados a partir da altura de precipitação de 2.009 mm/ano e uma capacidade de campo de 75 mm são: 1.030,2 mm/ano para a evapotranspiração efetiva; 676,9 mm/ano para o escoamento superficial e 306,9 mm/ano para a infiltração que alimenta as águas subterrâneas. O relevo suave é representado pelos tabuleiros costeiros e baixadas litorâneas sujeitas à inundação das águas marinhas durante as marés de grande amplitude. A morfologia das bacias hidrográficas indica uma rede de fraturas em terrenos sedimentares de boa permeabilidade. A utilização das águas na ilha do Maranhão depende das disponibilidades de água subterrânea dos aqüíferos Barreiras e Itapecuru e, em grande parte, do sistema produtor do rio Itapecuru (sistema ITALUIS), localizado a 70 km de distância da Ilha. A poluição dos cursos de água, a devastação da vegetação e a ocupação desordenada do solo atingem níveis críticos. A fragilidade dos terrenos e a presença de elevadas cargas poluentes no solo e no subsolo acentua o risco de poluição das águas subterrâneas. A intensificação da demanda e a tendência de agravamento da poluição das águas do sistema ITALUIS poderão tornar-se uma ameaça ao abastecimento da população daqui até o ano 2.010. Segundo este cenário é proposto um esboço de um esquema de gestão ambiental e de proteção dos recursos hídricos da ilha do Maranhão.

RÉSUMÉ

L'île du Maranhão, située entre les méridians $44^0$11'11" et $44^0$22'37" Ouest et les parallèles $02^0$27'12" et $02^0$45'02" Sud, s'étend sur 907 km^2 en domaine tropical semi-humide (de 5 mois secs), avec des hauteurs de précipitations entre 1.800 e 2.200 mm/an. Les valeurs moyennes du bilan hydrique calculées à partir de la hauteur de pluie tombée de 2.009 mm/an et une capacité au champ de 75 mm sont: 1.030,2 mm/an pour l'évapotranspiration réelle; 676,9 mm/an pour l'écoulement superficiel et 306,9 mm/an s'infiltre pour alimenter les nappes souterraines. Le relief peu accentué est représenté par des bas-plateaux et des plaines soumises à l'inondation marine au cours des fortes marées. La morphologie des bassins versants indique un réseau de fractures en terrains sédimentaires permeables. L'utilisation des eaux sur l'île du Maranhão dépend des disponibilités en eau souterraine des aquifères Barreiras et Itapecuru et, de plus en plus, du système de distribution de l'eau de la rivière Itapecuru (système ITALUIS), localisé à 70 km distant de l'île. La pollution des cours d'eau, la déforestation et l'occupation désordonné du sol y a atteignent un seuil critique. La fragilité des terrains et la présence de grandes charges polluantes sur le sol et en sous-sol accentue le risque de pollution des nappes souterraines. L'intensification de la demande et la tendance d'aggravation de la pollution des eaux du système ITALUIS pourront devenir une menace au ravitaillement de la population d'ici à 2.010. Selon ce scénario est proposé un esquisse d'un schéma de gestion de l'environnement et de protection des ressources en eau de l'île du Maranhão.

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

A crescente expansão urbano-industrial nas cidades localizadas em zonas litorâneas tem gerado graves desequilíbrios ambientais que afetam a disponibilidade hídrica e aumentam os riscos de contaminação das águas subterrâneas nessa faixa territorial.

São problemas de abastecimento de água, salinização e contaminação de aqüíferos, assentamento de indústrias e lixões em ambientes frágeis, todos exigindo para sua solução o conhecimento adequado das condições de sustentabilidade hídrica, determinando as disponibilidades, as potencialidades da oferta de água e as respectivas demandas.

No caso específico do recurso hídrico, as condições de sustentabilidade se encontram situadas no interior de um tema mais vasto que é o da vulnerabilidade do meio ambiente. Pode-se dizer que a sustentabilidade hídrica depende do grau de vulnerabilidade a que se acha submetido o meio ambiente, através de seus componentes físico, biótico e social.

Na zona costeira, os aspectos de sustentabilidade hídrica e vulnerabilidade ambiental adquirem particular importância, principalmente quando associados às áreas densamente povoadas, tais como ilhas, onde não existem outras fontes de abastecimento de água.

A partir do nexo existente entre sustentabilidade hídrica e vulnerabilidade em ambiente litorâneo procurou-se desenvolver o estudo dos recursos hídricos, selecionando uma região localizada na província hidrogeológica costeira brasileira: a ilha do Maranhão.

Nesta perspectiva, o trabalho foi desenvolvido de tal forma que permitisse configurar a dimensão das disponibilidades de água existentes na região selecionada costeira a partir de indicadores das suas potencialidades e demandas hídricas, buscando-se nas especificações das

suas extensões e distribuições geográficas, com indicações referentes às vulnerabilidades do meio ambiente.

1.2 CONCEITOS

São apresentados a seguir alguns conceitos utilizados neste trabalho.

i) **Demanda de água**: Volume de água necessário para atendimento de determinado fim a que se destina a água (COSTA, 1995).

ii) **Disponibilidade hídrica**: É a parcela das potencialidades hídricas ativadas pela ação do homem, por meio de barragens, poços e outros meios de captação de água, para adequar as ofertas às necessidades ou demandas (GONDIM FILHO, 1994).

iii) **Oferta de água**: Parcela do manancial servida para atendimento de uma determinada demanda (COSTA, 1995).

iv) **Potencialidade hídrica**: É representada pelo escoamento médio passível de ocorrer, sem interferência humana, abrangendo a quantificação dos escoamentos de superfície e subterrâneo (GONDIM FILHO, 1994).

v) **Reserva**: No sentido amplo, é a totalidade de água mobilizável existente em um aqüífero ou sistema aqüífero (CUSTODIO e LLAMAS, 1993).

1.3 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é dar uma contribuição ao Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, apresentando uma proposta de estudo e mapeamento dos recursos hídricos da ilha do Maranhão, passível de ser aplicado à zona litorânea maranhense.

Sendo este o objetivo, o presente estudo adota os princípios gerais mínimos e comuns do PNGC, quais sejam:

i) Seleção do tema recursos hídricos levando-se em conta as especificidades do trecho litorâneo em estudo;

ii) Utilização de cartografia apropriada quando o tema for de grande relevância para a região enfocada e este produto servir como subsídio para planos diretores específicos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Na zona costeira maranhense não existem trabalhos envolvendo o estudo dos recursos hídricos com enfoque nos conceitos de sustentabilidade hídrica e vulnerabilidade ambiental.

Tomando como referência trabalhos análogos anteriormente publicados, é oportuno citar os estudos realizados pelo grupo de trabalho do Projeto ARIDAS, **Sustentabilidade do desenvolvimento do semi-árido sob o ponto de vista dos recursos hídricos** (GONDIM FILHO, 1994) e **Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino** (COSTA, 1995), tendo como tema de base a sustentabilidade hídrica do Nordeste Brasileiro.

No Maranhão, até recentemente as informações disponíveis sobre mapeamento e estudo das disponibilidades hídricas subterrâneas em zona litorânea, eram os resultados obtidos pelo **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** - Folha SA.23-X-C (Cururupu) e Folha SA.23-Z-A (São Luis), escala 1:250.000. Este trabalho, publicado em 1994, faz parte do Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás - Subprojeto de Recursos Minerais (CPRM), para o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). Os resultados desse trabalho vieram cobrir uma grande lacuna no que diz respeito ao zoneamento hidrogeológico em regiões litorâneas do Maranhão.

Tendo em vista que a área estudada é uma região de grande concentração populacional faz-se necessário o trabalho de pesquisa adicional, em escala apropriada, objetivando complementar e fornecer informações mais específicas para o estudo da vulnerabilidade dos aqüíferos e da sustentabilidade hídrica da área selecionada.

A ilha do Maranhão é um foco de povoamento. De toda a população maranhense, estimada em 4.930.253 habitantes (IBGE, 1991), uma parcela correspondente a 877.478 habitantes estava assentada na Ilha, no ano de 1990. Considerando-se as extensões territoriais da ilha do Maranhão (907km^2) e do Estado do Maranhão (333.365 km^2) verifica-se que 17,8% da população maranhense, naquela época, estava concentrada em apenas 0,27% de seu território.

O aumento crescente da população e a ocupação inadequada do solo vêm comprometendo a qualidade das águas superficiais e colocando em risco de contaminação as águas subterrâneas da região estudada.

A necessidade de um trabalho desta natureza se justifica quando se buscam soluções urgentes, de cujos resultados dependerá a garantia da sustentabilidade hídrica da área estudada.

1.5 ROTEIRO DO TRABALHO

A ordem de exposição se processa em oito capítulos, incluindo esta introdução.

O capítulo 2 é dedicado ao método e materiais utilizados no trabalho.

No capítulo 3 são descritos os aspectos relacionados a fisiografia, a vegetação, a geologia/hidrogeologia e a ocupação do solo da ilha do Maranhão.

O capítulo 4 contêm os estudos hidroclimatológicos objetivando a estimativa do balanço hídrico. Neste mesmo capítulo é apresentada uma alternativa para avaliação da evapotranspiração potencial, grandeza característica interveniente no cálculo do balanço hídrico.

No capítulo 5 é apresentada a análise das principais bacias hidrográficas da região.

No capítulo 6 são definidos os produtos cartográficos utilizados no estudo dos recursos hídricos, cobrindo os seguintes temas: litologia, isoietas anuais, pontos de água, recursos hídricos de superfície, esquema de ocorrências e classificação das águas subterrâneas e fontes potenciais de poluição hídrica.

No capítulo 7 são caracterizados os recursos hídricos, com avaliação do risco de contaminação dos aqüíferos e análise da sustentabilidade hídrica da ilha do Maranhão.

O capítulo 8 é destinado às conclusões e recomendações.

2 MATERIAIS E MÉTODO DE TRABALHO

Durante a execução dos trabalhos, foram utilizados recursos materiais e procedimentos metodológicos compatíveis com os objetivos propostos, conforme estão relacionados a seguir:

2.1 MATERIAIS E INFRA-ESTRUTURA

Dentre os recursos materiais, discriminam-se a infra-estrutura, os materiais cartográficos e os equipamentos utilizados.

Como materiais cartográficos foram utilizados os relacionados a seguir:

- Imagens digital e em papel do satélite SPOT-2/HRV-2 711/355/2 de 18/08/91 - São Luis (escala 1:100.000).

- Imagem em papel do satélite LANDSAT/TM-5, WRS 220/062WA de 15/07/93- São Luis (escala 1:50.000).

- Cartas DSG-MIN.EX./SUDENE 1976, (MI 495 - Alcântara), (MI 549 - São Luis) (escala 1:100.000).

- Cartas DSG-MIN.EX./SUDENE 1980 (MI-549/1 - São Luis-NO), (MI-549/2 - São Luis-NE), (MI-549/3 - Perises de Baixo) (escala 1:50.000).

Os equipamentos utilizados nos trabalhos de gabinete e nos levantamentos de campo, foram os seguintes:

- Estação de trabalho (HD 1.2 GB, 32 MB de RAM) equipada com sistema de tratamento e classificação de imagens (SITIM/SGI 2.5), plotter colorido HP da CADJET, jato de tinta , formato A0/A5 , mesa digitalizadora formato A1, DIGICON e mesa de luz do Projeto Estadual de Gerenciamento Costeiro do Maranhão (GERCO-MA).

- Micro PC AT 486 (HD 540/270 MB , 8 MB de RAM) equipado com sistema de tratamento e classificação de imagens (SITIM/SGI), 2 monitores 14", mesa digitalizadora

formato A3 , DIGIGRAF do Curso de Pós-Graduação de Geociências da Universidade Federal do Paraná.

- Micro PC AT 486 (HD 540 MB , 16 MB de RAM) equipado com editor de texto Word for Windows 6.0 e planilha Excel for Windows 5.0 da Microsoft.

- Laboratório de Geografia Física do Curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná.

- Transporte de superfície do Projeto Estadual de Gerenciamento Costeiro do Maranhão (GERCO-MA) para os levantamentos de campo.

2.2 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho de caráter geográfico e interdisciplinar, envolveu as etapas de diagnóstico dos recursos hídricos e de prognóstico, abrangendo as fases compilatória, correlatória, semântica, com definição do mapeamento temático e das análises utilizadas em cada disciplina particular.

Segundo ROSS (1991), essas três fases compreendem os seguintes níveis de abordagem:

i) **compilatório**: envolve a fase de levantamento e seleção das informações sobre as características e dinâmica do meio físico - geologia , geomorfologia, pedologia, climatologia e hidrologia; do meio biótico - vegetação; e do meio sócio-econômico - uso e ocupação do solo, demografia ; tendo em vista os objetivos da investigação previamente selecionados. Nesta etapa são levantados os dados básicos, quer sejam extraídos das referências bibliográficas específicas, arquivos oficiais, cartas temáticas, sensores remotos (imagens de satélite), quer de levantamentos de campo e análises de laboratório.

Esta etapa tem como objetivo a organização das informações em tabelas, quadros, cartas e gráficos devendo, para tanto, deslocar o eixo da verificação para uma verticalização da pesquisa nas contribuições dos diferentes temas ou disciplinas. Deste modo, é neste nível que se desenvolve toda a parte técnico operacional que viabiliza a pesquisa e gera os conhecimentos básicos a serem integrados e interpretados nas fases subseqüentes. Os estudos dos meios físico, biótico e sócio-econômico são submetidos a tratamento metodológico de acordo com as técnicas apropriadas e especificadas no conteúdo de cada disciplina;

ii) **correlatório**: os documentos gerados nesta etapa representam uma síntese parcial da pesquisa e são produzidos com o intuito de estabelecer a correlação das informações para posterior interpretação. Deste modo, os gráficos, tabelas e cartas permitem extrair conclusões produzidas pela análise individualizada de cada documento através da correlação das informações ali representadas. Dentro do procedimento da correlação de cartas, aplica-se a técnica de **overlays** que consiste na sobreposição dos diversos documentos cartográficos, representados em cartas temáticas transparentes, possibilitando a interpretação conjunta das diferentes disciplinas, de modo a se obter um produto cartográfico final que sintetize um diagnóstico ambiental.

iii) **semântico**: consiste na consolidação do estudo dos recursos hídricos, onde são estabelecidas correlações, interpretações e sínteses finais, com base nos cruzamentos simples realizados no nível anterior, colocando em evidência o quadro ambiental das bacias hidrográficas da zona litorânea estudada. Nesse momento da interpretação estabelecem-se as generalizações possíveis e os dados puros deixam de ser simplesmente informação fatual ou numérica e assumem caráter significativo em nível de interpretação.

O método empregado deriva normalmente de um trabalho interdisciplinar apoiado por estudos multidisciplinares, onde os levantamentos realizados, tanto de campo como de gabinete, sejam concebidos em seus aspectos de inter-relação.

Segundo o conceito de inter-relação de atributos, por exemplo, o clima regional ganha maior sentido se correlacionado à geomorfologia das bacias , à natureza geológica dos seus terrenos em sua permeabilidade e vulnerabilidade, ao tipo de ocupação do solo, isto é, como fator dinâmico para identificação dos níveis de vulnerabilidade e sustentabilidade da região.

Assim sendo, o trabalho ficou restrito aos resultados da análise da sustentabilidade hídrica e avaliação das vulnerabilidades do meio, buscando a análise dos dados básicos e a síntese entre as informações de **hidroclimatologia** (dados de base: alturas de precipitação, temperaturas do ar, umidade relativa do ar, horas de insolação, velocidade do vento; análise e processamento de dados: ritmo climático, evapotranspiração potencial, balanço hídrico; interpretação dos dados: balanço hídrico, lâminas de água precipitada e escoada; cartografia temática: carta das isoietas anuais); de **geomorfologia** (dados de base: cartas topográficas, imagens de satélite; análise e processamento de dados: índices morfométricos, análise da rede hidrográfica, lâmina de água infiltrada; interpretação dos dados: delimitação de bacias hidrográficas, permeabilidade superficial; cartografia temática: carta de recursos hídricos de superfície); de **geologia** (dados de base: carta geológica, dados litológicos de fichas de sondagem; análise e processamento de dados: análise litoestratigráfica, análise morfoestrutural, seções transversais; interpretação dos dados: permeabilidade dos terrenos, lâmina de água infiltrada; cartografia temática: carta litológica); de **hidrogeologia** (dados de base: profundidades de poços, níveis de água, vazões de poços, coeficientes de permeabilidade, de transmissividade e de armazenamento; análise e processamento de dados: perfis verticais

hidrogeológicos, zoneamento hidrogeológico; interpretação dos dados: delimitação dos aqüíferos e das áreas de recarga, superfícies hidrostáticas; cartografia temática: carta de pontos de água, esquema de ocorrências das águas subterrâneas); **sócio-econômicas** (dados de base: carta de uso e ocupação do solo, dados demográficos; análise e processamento de dados: tendências de crescimento populacional, identificação das fontes potenciais de poluição hídrica; cartografia temática: carta de fontes potenciais de poluição hídrica); de **qualidade das águas** (dados de base: parâmetros químicos e bacteriológicos das águas de superfície e subterrâneas pH, condutividade elétrica, resíduo seco, dureza, nitrato, amônia, fosfato, índice de coliformes; interpretação dos dados: classificação das águas quanto a potabilidade, correlações com as fontes potenciais de poluição hídrica, visando captar a qualidade e disponibilidade de água).

3 ASPECTOS GERAIS DA ILHA DO MARANHÃO

Este capítulo tem por finalidade reunir e sintetizar algumas informações extraídas, em sua maioria, dos estudos de geomorfologia, climatologia, vegetação e de uso do solo que constituem objetivos específicos da atividade multidisciplinar do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro do Maranhão. A essas informações se juntam as de geologia, hidrogeologia, solos e tipo de vegetação, extraídas em sua maioria dos relatórios do **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil** (CPRM, 1994) e do **Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do estado do Maranhão** (EMBRAPA, 1986).

3.1 FISIOGRAFIA E VEGETAÇÃO

Segundo FEITOSA (1993), a ilha do Maranhão, localizada na região nordeste do Brasil, tem como limites ao norte o Oceano Atlântico, a leste a Baía de São José, ao sul a Baía do Arraial e a oeste a Baía de São Marcos, tendo sua localização delimitada pelas coordenadas geográficas dos pontos extremos, conforme se segue:

- ponto extremo norte, localizado na ilha de Curupu, próximo à ponta de Curupu, a 02°27'12" de latitude sul e 44°11'11" de longitude oeste.
- ponto extremo sul, localizado ao sul do município de São Luis, no limite oriental do estreito dos Mosquitos, a 02°45'02" de latitude sul e 44°19'15" de longitude oeste.

- ponto extremo leste, localizado na ilha de Curupu, próximo à ponta de Curupu, a 02°27'12" de latitude sul e 44°11'11" de longitude oeste.
- ponto extremo oeste, localizado na ponta da Madeira, nas proximidades da baia de São Marcos, a 02°33'58" de latitude sul e 44°22'37" de longitude oeste.

Geograficamente, a área estudada situa-se no hemisfério sul, próximo à linha do Equador. Tomando como referência o território brasileiro, situa-se na porção ocidental da Região Nordeste, na zona costeira do Litoral Amazônico Oriental.

A ilha do Maranhão, cuja feição geomórfica mais expressiva é o Golfão Maranhense, está inserida no domínio morfoestrutural do Litoral Setentrional do Nordeste (IBGE, 1977), o qual se estende do rio Gurupi, na fronteira Pará-Maranhão, ao Cabo São Roque, no Rio Grande do Norte.

A Planície Flúvio-Marinha do Golfão Maranhense representa a região rebaixada e alagadiça dos estuários afogados dos rios Pindaré, Mearim, Itapecuru e Munim, englobando a pequena planície flúvio-marinha de Perizes. A planície apresenta numerosas lagoas fluviais, extensas várzeas inundáveis, áreas colmatadas e um sistema hidrográfico divagante e labiríntico. Nas embocaduras, nos fundos das bocas e nas ilhas ocorrem manguezais.

Foram distinguidas, de modo simplificado, duas formas de relevo (tabuleiros costeiros e baixada litorânea) as quais guardam relativa concordância com o aspecto geomorfológico e, especialmente, com a ocorrência dos solos.

Os tabuleiros costeiros, são as superfícies aplainadas, relacionadas à Formação Barreiras, que se sobressae do setor da frente costeira da ilha do Maranhão. Essas superfícies são freqüentemente recobertas de formações lateríticas, com predominância de latossolo

amarelo textura média, areias quartzosas e podzólico vermelho-amarelo textura média e textura média/argilosa.

A influência de condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de processos de laterização, vigentes desde o Terciário Inferior, tem favorecido a formação de um perfil laterítico, amplamente distribuído na área do Golfão Maranhense.

A configuração geomorfológica dos tabuleiros costeiros analisada em seu conjunto, conforme FEITOSA (1993), permite a definição de três zonas básicas, assim distribuídas a partir da costa emersa para o interior da Ilha: **superfície dissecada, superfície subtabular e superfície tabular**.

A **zona de superfície dissecada** corresponde às unidades geomorfológicas confinadas entre a zona costeira e as superfícies mais elevadas do tabuleiro central. É caracterizada pela presença de elevações isoladas (abaixo da cota de 40 metros), de altitudes e declividades variadas (inferiores a média de 2%), marcada por colinas suaves, por vezes abruptas, e baixos platôs. A litologia é caracterizada pela ocorrência de arenitos com intercalação de argilitos e siltitos argilosos derivada de sedimentos da Formação Itapecuru.

As **zonas de superfícies subtabular e tabular** correspondem ao eixo central da ilha, sendo caracterizadas pela ocorrência de tabuleiros com rebordos acentuados, decaindo em direção ao litoral. O relevo é caracterizado por altitudes que se colocam entre 30 e 70 metros e declividades que não ultrapassam 3%. A litologia é caracterizada pela ocorrência de arenitos avermelhados, médios a grosseiros, com faixas conglomeráticas muito argilosas pintalgados de caulim com estratificação plano-paralelo, derivada de sedimentos da formação Itapecuru.

A baixada litorânea é representada por planícies de origem marinha e flúvio-marinha, abrangendo as formações de dunas, paleodunas e cordões litorâneos, recorrentes ao longo da

orla marítima da ilha do Maranhão. São terrenos baixos, muito mal drenados, sob a influência de marés de grande amplitude, em altitudes que variam de 0 a 5 metros. Os solos predominantes são classificados como solos indiscriminados de mangues. Compreende solos, com alto conteúdo em sais, geralmente nas proximidades das desembocaduras dos rios e igarapés e nas partes baixas da orla marítima, onde a diminuição da velocidade das correntes de água favorece a deposição de sedimentos de material fino em mistura com detritos orgânicos. Em algumas partes ocorrem inclusões de areias quartzosas marinhas, siltes e argilas.

A área estudada ocupa uma zona de transição entre os domínios ecológicos Amazônico e do Planalto Central. Ocupando a superfície tabular, a cobertura vegetal é do tipo floresta de transição entre equatorial e cerrado, hoje muito descaracterizada pela ação antrópica. Não obstante, é ainda possível observar espécies amazônicas nas capoeiras remanescentes. Nos vales e igarapés desenvolve-se a vegetação galeria.

Na região dos tabuleiros, dentre as tipologias vegetais que ocorrem, é possível observar a presença do babaçu (*Orbignya sp.*), a juçara/açaí (*Euterpe sp.*), buriti (*Mauritia vinifera*), piaçava (*Attalea sp.*) e tucum *(Astrocarium tucumoides*). No interior da Ilha este tipo de vegetação se mescla com a vegetação de cerrado.

Ocupando as partes mais baixas e alagadas, sob influência das águas da maré, destacam-se os manguezais. As espécies características são o mangue vermelho *(Rhizophora mangle*), seriba (*Avicennia sp.* e *Laguncularia racemosa*). Outro tipo de vegetação característica é a vegetação arbustiva de restinga, caracterizado pelo alecrim-da-praia (*Bulbostylis capilaris*) e salsa-da-praia (*Ipomoea pescaprae*).

O clima caracteriza-se como quente semi-úmido com 4 a 5 meses secos, com uma altura de precipitação média anual em torno de 2.000 mm. O vento de superfície predominante,

em relação a sua freqüência média anual, é o alísio (Leste). Isto é modificado na zona litorânea por uma componente marítima perpendicular a costa, a qual resulta em uma brisa moderada variando entre 1,5 e 4 m/s, soprando de nordeste durante todo o ano. Durante os meses da estação seca, particularmente de setembro a início de dezembro, o vento é persistentemente mais forte, oscilando entre os valores de 3 a 9 m/s podendo atingir velocidades de rajada acima de 15 m/s. Enquanto que durante a estação úmida, o regime é de ventos fracos com ocorrência de ventos calmos nos meses mais chuvosos (março e abril). O período de exposição solar diária apresenta em média 2.350 horas/ano. Março e agosto são os dois meses do ano de menor e maior período de exposição solar para esta área , com os valores de 107 e 260 horas/mês, respectivamente. Os valores máximos são encontrados no período de junho a dezembro, quando a nebulosidade é mais reduzida. A variação da umidade relativa do ar média anual é pequena, apresentando uma oscilação em torno de 80 a 90%. Em decorrência da intensa insolação, a temperatura do ar média anual da Ilha é 26,7° C. Porém a influência dos alísios, da circulação litorânea, da alta umidade e da grande quantidade de nebulosidade durante todo o ano, faz com que não atinja máximas diárias muito elevadas. A temperatura média anual da região oscila entre os valores extremos de 34,4° C e 17,9° C. Novembro é o mês mais quente e julho, o mais frio. A evaporação anual medida no evaporímetro de Piche apresenta um valor médio da ordem de 1.020 mm. Os valores mais altos das perdas por evaporação são encontrados no período de agosto a dezembro, durante a estação seca (SOUSA, 1993).

A rede hidrográfica da ilha do Maranhão é integrada por cursos de água de pequeno porte, que deságuam em várias direções, abrangendo áreas de dunas, praias e manguezais, cuja hidrodinâmica é influenciada pelas marés que chegam a atingir 7 metros de amplitude.

A ilha é drenada por uma série de cursos de água e estuários profundamente entalhados nos sedimentos areno-argilosos de forma que a passagem do relevo mais elevado aos igarapés é quase sempre brusca, formando encostas íngremes. As marés de grandes amplitudes afogam praticamente até os médios cursos, os principais elementos de drenagem.

3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS/HIDROGEOLÓGICOS

Os terrenos da ilha do Maranhão são cobertos por sedimentos areno-argilosos de idade terciária pertencentes à Formação Barreiras. Além destes, em menor proporção, ocorrem sedimentos recentes: areias de praia e aluviões argilosos. Capeada pelos sedimentos terciários e/ou quaternários de espessura variável, afloram os sedimentos cretáceos, pertencentes a Formação Itapecuru (LUZ, 1997).

Segundo o **Inventário hidrogeológico básico do Nordeste folha nº 4 - São Luis-SE** (1977), a Ilha está localizada em uma bacia sedimentar que faz parte das sub-províncias hidrogeológicas São Luiz/Barreirinhas, situadas na Província Costeira, ao norte da bacia Piauí-Maranhão. Estas duas sub-bacias sedimentares marginais correspondem a dois **grabens** intensamente fraturados, separados pelo **horst** de Rosário, e colmatados por sedimentos de idades cenozóica e mesozóica, com espessura total em torno de 8.000 metros.

A Província Costeira, definida no Mapa Hidrogeológico do Brasil publicado em 1983 pelo DNPM/MME, é constituída por aqüíferos intersticiais ou porosos, dotados de porosidade e permeabilidade boas a regulares. Adotando-se uma classificação relativa quanto a potencialidade explotável dos aqüíferos em função da vazão específica, variando de

"excelente" a "péssima", pode-se enquadrar o sistema aqüífero Barreiras/Itapecuru na classificação de "regular", com vazão específica entre 0,5 e 3 $m^3/h.m$ (COSTA, 1995).

Utilizando a classificação regional de ambientes hidrogeológicos na região latino-americana e caribenha, os sistemas aqüíferos da região estudada são muito vulneráveis à poluição, principalmente por se tratar de uma ilha costeira, onde não existem outras fontes de abastecimento (FOSTER, VENTURA e HIRATA, 1993).

3.3 OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo TROVÃO e FERREIRA (1993), a ocupação do solo na ilha é da ordem de 30% de área urbanizada e 22% para o Distrito Industrial, sendo 6% ocupados por áreas de proteção ambiental e os 42% restantes distribuídos em loteamentos , núcleos rurais, áreas de invasão, áreas de produção hortifrutigranjeiras e cursos de água. A tendência de ocupação se dá pela ação da dinâmica industrial-urbano com processo de conurbação, mais precisamente ao longo da rodovia MA-201.

Segundo o censo do IBGE (1991), a população residente na ilha do Maranhão era de 877.478 habitantes. A Ilha ocupa uma área de 907 km^2, o que implicava em uma densidade demográfica média de 967,45 hab/km^2. Na área do município de São Luis, estimada em cerca de 518 km^2, estavam concentrados 781.374 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 1.508,44 hab/km^2. Nos núcleos urbanos dos municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar e nas suas proximidades a população era de 96.104 habitantes, distribuída em uma área de 387 km^2, resultando em uma densidade demográfica média de 248,33 hab/km^2.

Nas áreas urbana e industrial ocorrem lixões, cemitérios, postos de combustível e lubrificantes, oficinas mecânicas, pequenas indústrias, planta industrial de alumínio, pátio de estocagem de minério de ferro e várias outras atividades geradoras de resíduos. Em geral, todas essas áreas urbanizadas ou não são desprovidas de infra-estrutura de saneamento bem desenvolvida, apesar da existência de alguns sistemas sanitários condominiais em bairros com habitação de alto padrão.

4 HIDROCLIMATOLOGIA

O estudo hidroclimatológico, objetivando o conhecimento do regime pluviométrico, a distribuição espacial das chuvas e o cálculo do balanço hídrico, baseia-se nos dados meteorológicos de cinco estações situadas na ilha do Maranhão, ou próxima a ela, e nos estudos climatológicos de SOUSA (1993) específicos para a costa maranhense.

4.1 REGIME DAS CHUVAS

A topografia plana e os demais fatores tais como a energia solar, latitude e maritimidade agem sobre as condições climáticas em interação com os sistemas meteorológicos locais e regionais, fazendo com que o litoral Norte/Nordeste, desde o rio Gurupi, no Maranhão, até o Rio Grande do Norte, esteja sob o domínio do clima equatorial litorâneo. Este tipo de clima não se traduz em grandes diferenciações térmicas, mas reflete-se em uma grande variedade climática, do ponto de vista da pluviosidade.

Apresenta esta zona um regime pluviométrico análogo com chuvas no período de janeiro a junho, ocorrendo os máximos entre os meses de março e maio, marcado por uma estação seca que se prolonga de julho a dezembro, registrando-se no período de setembro a novembro as menores precipitações mensais.

Durante todo o ano, na região costeira maranhense, sopram freqüentemente ventos do quadrante leste, oriundos das altas pressões do anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul.

Essas altas pressões mantidas permanentemente sobre o Nordeste do Brasil exercem uma ação de bloqueio às massas de ar frio (frentes frias) provenientes do sul sobre a zona costeira.

Entretanto, apesar do caráter estável do anticiclone subtropical, esta situação cessa com a chegada de sistemas convectivos que produzem grandes quantidades de precipitação. Essas correntes de circulação perturbada, responsáveis por instabilidade e precipitação na região, são caracterizadas por linhas de atividade convectiva afetando o litoral Norte/Nordeste brasileiro no decorrer do ano, desde o Oiapoque até Fortaleza, trazendo condições de chuvas até Natal.

O fator que determina a ocorrência de correntes perturbadas na região, é a posição latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), dos alísios dos hemisférios Norte e Sul, responsável pela dinâmica pluviométrica no litoral Norte/Nordeste do Brasil.

Ao longo desta depressão equatorial, caracterizada por uma região de pressões relativamente baixas e de ventos calmos, o ar instável provoca chuvas e trovoadas, geralmente intensas.

Esboçando um quadro, segundo uma visão sinótica, descreve-se a seguir a situação da ZCIT:

- De dezembro a março, a ZCIT encontra-se entre 3 e 5 graus de latitude Norte produzindo grandes chuvas no Amapá, numa faixa de mais de 200 km ao longo do litoral entre Oiapoque e Macapá, com uma média mensal de precipitação ao redor de 500 mm.
- De abril até maio, a Intertropical pode ser localizada desde Belém até Fortaleza, produzindo duas áreas de acentuada nebulosidade, uma entre Oiapoque e São Luis e outra entre Parnaíba e Fortaleza. A precipitação declina para um valor médio mensal de 400 mm. Em

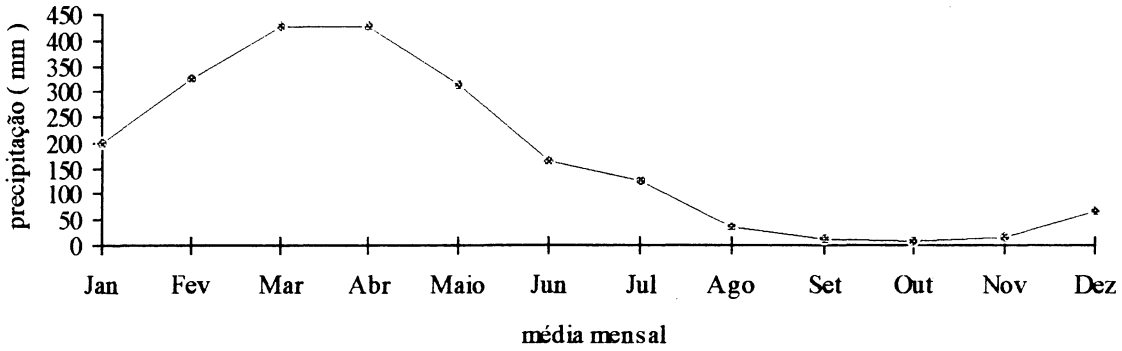
maio a posição da Intertropical não fica muito definida, mas já com tendência a se organizar entre 3 e 5 graus de latitude Norte.

- De junho a novembro a ZCIT encontra-se entre 5 e 10 graus de latitude Norte. A nebulosidade e a precipitação diminuem em todo o litoral Norte/Nordeste até Natal. Instala-se a estação seca.

O ciclo anual das chuvas no litoral Norte/Nordeste segue um padrão unimodal, definido por famílias de curvas caracterizadas por um só máximo, ocorrendo nos meses mais chuvosos, entre março e maio, com acentuado declínio nos meses colaterais.

A estação de São Luis, tomada como exemplo típico desse padrão de curvas, mostra no gráfico 4.1 o ciclo das chuvas na ilha do Maranhão.

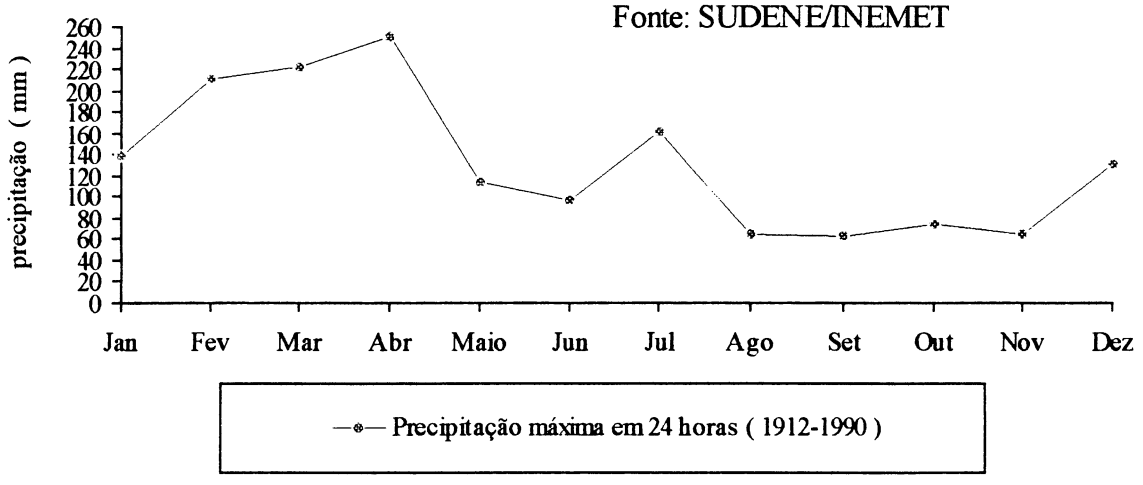
Gráfico 4.1 Ciclo das chuvas na ilha do Maranhão
(Período: 1912-1990) FONTE:SUDENE/ INEMET



Da análise desses dados conclui-se que a pluviometria é caracterizada por um máximo ocorrendo entre março e abril, em torno de 400 mm, e um mínimo próximo de 20 mm, ocorrendo entre setembro e novembro. A estação úmida, que vai de janeiro a julho, precipita 85% do total da chuva anual, sendo que o trimestre mais chuvoso (março-abril-maio) corresponde a 50% desse total.

Contudo é importante esclarecer que a estação seca, que vai de agosto a início de dezembro, não se caracteriza por estiagens catastróficas. Durante a estação seca, podem ocorrer dias de chuva, algumas até relativamente intensas (**ver** gráfico 4.2), porém sua insuficiência hidrológica é bastante para caracterizar a existência de uma época em que as águas são deficientes.

Gráfico 4.2 - Precipitações máximas na ilha do Maranhão
Fonte: SUDENE/INEMET



A dinâmica pluviométrica no litoral Norte/Nordeste é caracterizada por uma pluviosidade flutuante através dos anos.

Examinando-se as séries pluviométricas (1913-1943) e (1966-1988) da estação climatológica de São Luis (Itapiracó), representativa da região estudada, é possível observar oscilações entre os valores anuais extremos de 841,9 mm (em 1919) e 3.989,3 mm (em 1985) (ver tabela 4.1).

A variada gama de climas tropicais, a qual pertence o clima da ilha do Maranhão, é marcada pelas oscilações do ritmo pluviométrico. Em um extremo estão os climas equatoriais muito chuvosos, fazendo parte da cadeia dos climas quentes, enquanto que os climas subtropicais áridos constituem a outra extremidade (FRÉCAUT e PAGNEY, 1983).

TABELA 4.1 ANÁLISE DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO SÃO LUIS (mm)

Ano	Precipitação *	Desvio	Ano	Precipitação *	Desvio
1913	2110,8	+ 23,7	1966	1648,2	- 608,2
1914	1514,9	- 572,2	1967	1949,3	- 307,1
1915	1086,1	- 1001,0	1968	2213,6	- 42,8
1916	2446,9	+ 359,8	1969	3424,6	+ 1168,2
1917	3213,5	+ 1126,4	1970	1880,7	- 375,7
1918	1647,5	- 439,6	1971	3096,5	+ 840,1
1919	**841,9**	**- 1245,2**	1972	1359,5	- 896,9
1920	2638,7	+ 551,6	1973	2506,8	+ 250,4
1921	2780,0	+ 692,9	1974	3541,0	+ 1284,6
1922	2043,0	- 44,1	1975	2353,1	+ 96,7
1923	2040,7	- 46,4	1976	1618,4	- 638,0
1924	2940,6	+ 853,5	1977	2029,9	- 226,5
1925	1787,0	- 300,1	1978	2055,2	- 201,2
1926	3059,5	+ 972,4	1979	1625,3	- 631,1
1927	2078,5	- 8,6	1980	2459,6	+ 203,2
1928	1789,5	- 297,6	1981	1253,8	- 1002,6
1929	2320,6	+ 233,5	1982	1924,4	- 332,0
1930	2461,1	+ 374,0	1983	887,7	- 1368,7
1931	2102,3	+ 15,2	1984	2557,0	+ 300,6
1932	1006,7	- 1080,4	**1985**	**3989,3**	**+ 1732,9**
1933	2459,9	+ 372,8	1986	2867,7	+ 611,3
1934	3100,0	+ 1012,9	1987	1835,2	- 421`,2
1935	2256,4	+ 169,3	1988	2819,4	+ 563,0
1936	1562,0	- 525,1			
1937	2640,4	+ 553,3			
1938	1942,3	- 144,8			
1939	2456,0	+ 368,9			
1940	2098,6	+ 11,5			
1941	1250,7	- 836,4			
1942	1564,3	- 522,8			
1943	1468,5	- 618,6			
Média	**2087,1**		**Média**	**2256,4**	

FONTE : SUDENE (1990)

* Dados Brutos

Gráfico 4.3 Precipitação anual na ilha do Maranhão
(período 1913-1943) Fonte: SUDENE (1990)

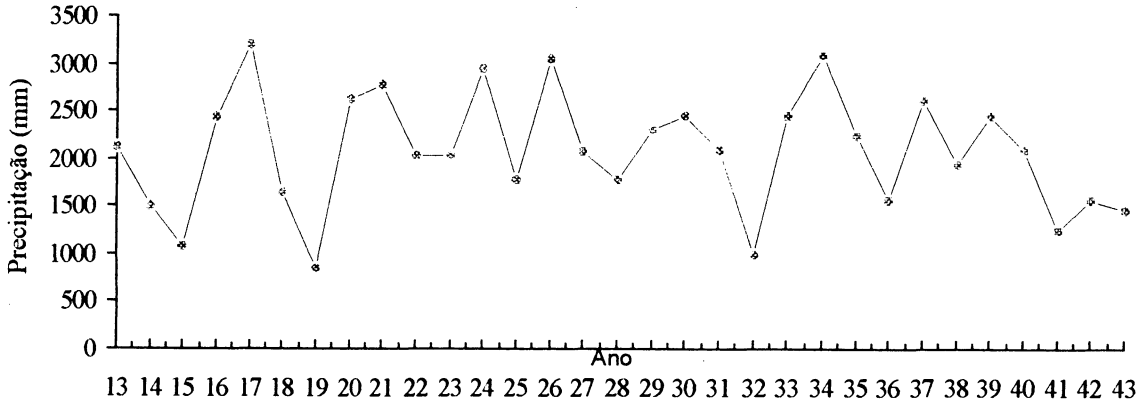
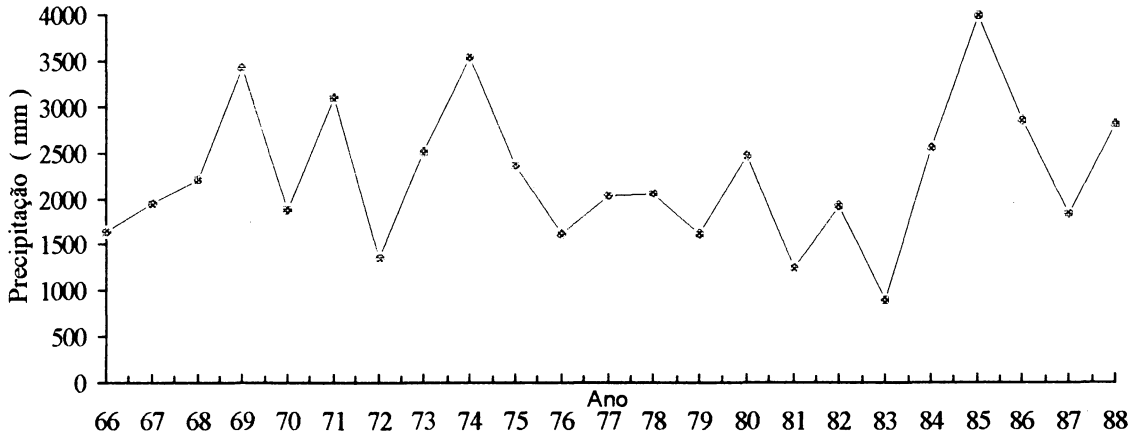


Gráfico 4.4 - Precipitação anual na ilha do Maranhão
(período 1966- 1988) Fonte: SUDENE (1990)



4.2 AJUSTE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos disponíveis das cinco estações climatológicas utilizadas no estudo da distribuição das chuvas na ilha do Maranhão (**ver** quadro 4.1) foram inicialmente analisadas para detecção de erros grosseiros. A seguir, os dados das estações do Itapiracó, Rosário e São José de Ribamar, com maior série histórica na área, foram analisados e posteriormente ajustados. Objetivando a homogeneização dos dados, foi aplicado um tratamento gráfico e analítico segundo (ARLÉRY, GRISOLLET e GUILMET, 1973; FONSECA, MARTINS e TOLEDO, 1982), acompanhando os seguintes passos:

i) Obter o índice sazonal de cada mês, para cada uma das três estações climatológicas.

ii) Selecionar a estação base (índice sazonal mensal $\cong$ 1).

iii) Representar em um gráfico as médias mensais dos dados brutos das estações climatológicas de Itapiracó e Ribamar com relação a estação-base (Rosário), para identificação dos movimentos de tendência.

iv) Organizar em ordem crescente dos valores mensais, segundo os pares **dado base x dado bruto**, e definição das curvas de tendência que melhor se comportam aos correlogramas obtidos.

v) Ajuste das médias mensais das estações de Itapiracó e Ribamar às respectivas curvas de tendência.

A obtenção dos índices sazonais consiste em exprimir as médias mensais das alturas de precipitação como percentagem da média anual. A média das percentagens dos diferentes anos resultam no índice sazonal para cada mês.

Para o ajuste dos dados pluviométricos foram utilizados os modelos-tipo: $\mathbf{Y = mX + b}$ e $\mathbf{Y = c_1X^2 + c_2X + b}$, onde:

Y - altura de precipitação mensal a ser ajustada

X - altura de precipitação mensal na estação pluviométrica considerada como base .

m, b, c_1, c_2 - coeficientes.

Calculada as médias das alturas pluviométricas Y e X, deve-se, a partir desses dados, determinar os coeficientes m, b, c_1, c_2 e, dessa forma, obter o modelo a ser adotado, compondo o estimador.

O cálculo de m, b, c_1, c_2 é realizado, pelo Método dos Mínimos Quadrados, de tal forma que os quadrados dos desvios dos valores observados em relação aos calculados para Y sejam um mínimo.

Como resultado dos tratamentos realizados por esse método, foram obtidas as seguintes curvas:

$$Y = 1{,}1776X - 12{,}907 \qquad (4.1)$$

onde:

Y - altura de precipitação mensal da estação do Itapiracó (ajustada).

X - altura de precipitação mensal da estação-base de Rosário

$$Y = 0{,}0005X^2 + 0{,}8199X - 10{,}006 \qquad (4.2)$$

onde:

Y - altura de precipitação mensal da estação de Ribamar (ajustada).

X - altura de precipitação mensal da estação-base de Rosário

Os dados disponíveis das estações utilizados no cálculo do balanço hídrico e no estudo da distribuição das chuvas na região, assim como os resultados obtidos pelos tratamentos realizados, estão contidos nos apêndices 1 a 11.

QUADRO 4.1 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS DISPONÍVEIS

Estação	Fonte *	Latitude	Longitude	Altitude	Período
São Luis (Tirirical)	DEPV	02^0 35' S	44^0 14' W	54 m	1981 - 1992
Praia do Boqueirão	CVRD	02^0 33' S	44^0 22' W	09 m	1986 - 1991
São José de Ribamar	SUDENE	02^0 33' S	44^0 04' W	32 m	1966 - 1988
São Luis (Itapiracó)	SUDENE	02^0 32' S	44^0 18' W	51 m	1966 - 1988
Rosário	SUDENE	02^0 57' S	44^0 15' W	30 m	1966 - 1988

*DEPV - Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo;
CVRD - Companhia Vale do Rio Doce;
SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

4.3 BALANÇO HÍDRICO

A disponibilidade de água no solo é fator essencial ao estabelecimento das possibilidades e limitações climáticas dos ecossistemas de uma região. Geralmente, quando se procura estimar este valor climático, são levados em conta apenas os valores das precipitações. Estas representam apenas uma das fases do balanço hídrico, aquela que corresponde ao fornecimento de umidade ao solo. Outra fase igualmente importante é a correspondente a perda combinada de água de uma bacia hidrográfica ou de parte dela, para a atmosfera, através dos processos conjuntos de evaporação (da água do solo e dos cursos de água) e da transpiração (plantas e animais).

Enquanto a precipitação representa, no balanço hídrico, a transferência de água da atmosfera para o solo, a evapotranspiração representa a fase oposta, ou seja, o retorno da água do solo para a atmosfera.

Evidentemente, do balanço entre esses dois processos opostos é que resulta o estado final de umidade do solo.

Neste sub-capítulo é apresentada a técnica mais divulgada da aplicação seqüencial do balanço hídrico, devida a THORNTHWAITE e MATHER (1957), utilizando uma forma simplificada da equação do balanço hídrico (LENCASTRE e FRANCO, 1984).

A utilização de uma forma simplificada da equação é devida a dificuldade , ou mesmo impossibilidade, de medição de todos os termos das equações intervenientes no balanço hídrico total. Além disso, o fato de se estar interessado apenas nos valores de alguns termos da equação permite a consideração conjunta dos restantes.

A impossibilidade prática de separar transpiração da evaporação das águas dos lagos, rios e solos, leva a considerá-los em conjunto, sob a designação de evapotranspiração.

Com a finalidade de avaliar as potencialidades hídricas superficiais e subterrâneas em uma zona carente de informações hidrometeorológicas, é proposta uma alternativa para avaliação da evapotranspiração potencial, grandeza interveniente no cálculo do balanço hídrico.

4.3.1 Evapotranspiração Potencial

Conforme exposto anteriormente, a evaporação direta do solo e da água acumulada sobre as plantas ocorre simultaneamente com a transpiração vegetal, não sendo possível, pelo menos praticamente, a separação destes dois processos. Assim, a soma dos dois processos, conhecida como evapotranspiração, é considerada como perda única.

A evapotranspiração potencial é definida como a quantidade de água capaz de ser evaporada, num dado clima, de uma superfície saturada. Compreende, assim, a evaporação da água do solo e dos corpos de água e da transpiração (plantas e animais), durante um determinado tempo.

A evapotranspiração potencial é considerada essencialmente uma função das condições meteorológicas. Destas condições, a radiação solar é, sem dúvida, a mais importante. Seguem-lhe a velocidade do vento, a umidade e a temperatura do ar.

Devido a utilidade da evapotranspiração potencial para a pesquisa hidrológica e agrícola, vários métodos empíricos e semiempíricos têm sido propostos para estimá-la a partir de dados meteorológicos. Segundo MOTA (1978) o método meteorológico para estimar a evapotranspiração potencial, de uso mais generalizado no Brasil (CAMARGO e ORTOLANI, 1966; CAMARGO *et al.*, 1971, 1974; Reis, 1967) é o de THORNTHWAITE (1948), que usa apenas a temperatura do ar. O método de balanço aproximado de energia proposto por PENMAN (1948) é mais preciso do que os métodos que usam apenas a temperatura do ar (HOUNAM, 1971). Na verdade, o sucesso parcial do método de THORNTHWAITE no Brasil (CAMARGO, 1962; MOTA e BEIRSDORF, 1976) deriva da correlação existente entre a temperatura média mensal e a energia disponível para a evapotranspiração (PENTON *et al.*,

1960), nos climas temperados e subtropicais úmidos. A maioria dos locais onde a fórmula de THORNTHWAITE foi comparada por CAMARGO (1962) e por MOTA e BEIRSDORF (1976), com medidas de evapotranspirômetro, possuem clima temperado. Nos trópicos, a correlação entre a temperatura e a energia disponível é fraca (CHANG, 1971), de modo que a fórmula de THORNTHWAITE não pode dar resultado satisfatório no Brasil tropical. Em climas tropicais úmidos , LEGARDA e FORSYTHE (1972) verificaram que a fórmula de THORNTHWAITE é pior que a de PENMAN para estimar a evapotranspiração potencial. Em climas tropicais áridos OMAR (1968) também verificou o mesmo, o que também é verdadeiro para climas temperados áridos (STANHILL, 1961).

Um grande número de resultados têm sido obtidos por diferentes modelos. A dificuldade é decidir qual modelo a ser adotado ou recomendado como o "mais consistente". Não existem testes estatísticos que respondam a esta questão, uma vez que não se sabe qual modelo deve ser considerado como "modelo verdade". Este modelo é muitas vezes escolhido em função de critérios de julgamento do usuário ou dos dados disponíveis para proceder o cálculo (MÜLLER, 1995).

A evidência experimental recomenda o uso da fórmula semiempírica de PENMAN, e suas adaptações regionais, como a melhor para fins de avaliação da evapotranspiração. A principal desvantagem da fórmula de PENMAN como base de cálculo reside na sua relativa complexidade e no grande número de informações necessárias à sua aplicação, nem sempre disponíveis na rede meteorológica nacional.

Apesar de algumas limitações, as fórmulas empíricas tais como a de THORNTHWAITE, COUTAGNE, TURC, MEYER, KUSMIN, BLANEY-CRIDDLE e HARGREAVES, entre outros, têm se mostrado de grande utilidade em regiões desprovidas de

observações meteorológicas mais completas ou de dados de lisímetros e evaporímetros. Mais recentemente HARGREAVES (1974) aplicou seu método de estimar a evapotranspiração potencial na Região Nordeste do Brasil, utilizando para isso os dados das normais climatológicas de 8 estações no Maranhão, 4 no Piauí, 12 no Ceará, 7 no Rio Grande do Norte, 7 na Paraíba, 13 em Pernambuco, 5 em Alagoas, 3 em Sergipe e 44 na Bahia. No trabalho de ARAUJO *et al.* (1993) são apresentados valores de evapotranspiração potencial pelo método de HARGREAVES e dados de evaporação em tanque classe A para as regiões do Agreste e da Mata de Pernambuco. Os resultados obtidos para oito postos estudados estão mostrados no quadro 4.2.

QUADRO 4.2 - VALORES DE EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL ANUAL EM PERNAMBUCO (mm)

Estação	Evapotranspiração (Hargreaves)	Evaporação Tanque (Classe A)
Recife	1571	1599
Vitória Santo Antão	-	1680
Surubim	1665	1642
Caruaru	1613	1615
São Bento do Una	-	1619
Belo Jardim	1435	1603
Garanhuns	1411	1478
Arcoverde	1814	1605

FONTE: ARAUJO et al. (1993) - Compilado de MÜLLER (1995)

Com base nesses resultados, o método de HARGREAVES se mostra como adequado para o cálculo da evapotranspiração potencial nas regiões do Agreste e da Mata do Estado de Pernambuco.

No trabalho de MÜLLER (1995), a fórmula de Hargreaves é recomendada quando a disponibilidade de dados não permitir o uso do método de PENMAN.

Neste trabalho a evapotranspiração potencial é avaliada pela fórmula de HARGREAVES (1974) e pelo método de PENMAN/FAO, conforme descrito por FRERE (1979), como base de comparação.

4.3.1.1 Fórmula de Hargreaves

A fórmula de Hargreaves para o cálculo da evapotranspiração potencial, função da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da latitude, adaptada para os dados climatológicos brasileiros é dada por:

$$ET_P = MF \times TF \times CH \qquad (4.3)$$

onde:

ET_P - estimativa da evapotranspiração potencial mensal (mm)

TF = temperatura média em graus Fahrenheit

CH = um coeficiente para a umidade relativa média

$$MF = 0{,}00483 \times RMM \times DL/12 \times CL \qquad (4.4)$$

onde

RMM = radiação solar recebida no limite da atmosfera expressa em mm de água evaporada

DL = comprimento do dia em hora

$$CL = 0{,}17 \times (70 - ABL)^{1/2} \qquad CL \leq 1{,}00 \qquad (4.5)$$

ABL = valor absoluto da latitude

$$TF = 32 + 1{,}8 \times T \qquad (4.6)$$

T = temperatura média do ar em graus Celsius, estimada pela média aritmética entre as temperaturas máximas médias TM e temperaturas mínimas médias Tm.

$$CH = 0{,}158 \times (100 - UR)^{1/2} \qquad CH \leq 1{,}00 \qquad (4.7)$$

UR = umidade relativa do ar em percentagem

HARGREAVES (1974) recomenda o uso do coeficiente de cultura Kc para a estimativa da evapotranspiração. O coeficiente de cultura considerado foi de 1,15 avaliado para as condições de cobertura vegetal predominante.

O cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de HARGREAVES (1974) para a ilha do Maranhão se torna possível com o uso dos dados climatológicos das normais (INEMET- 1961-1990) da estação do Itapiracó e das tabelas da publicação **Precipitation Dependability and Potentials for Agricultural Production in Northeast Brazil** (HARGREAVES, 1974) (ver tabela 4.2).

TABELA 4.2 PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR HARGREAVES

Parâmetros	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Origem
TM (° C)	30,0	29,4	29,4	29,6	30,1	30,4	30,2	30,7	31,0	31,2	31,4	31,1	Normal [1]
Tm (° C)	22,2	23,1	23,0	23,1	23,1	22,9	22,6	23,0	23,5	23,7	24,0	22,9	Normal
T (° C)	26,2	26,3	26,2	26,4	26,6	26,7	26,4	26,9	27,3	27,5	27,7	27,0	Calculado [2]
TF (° F)	79,2	79,3	79,2	79,5	79,9	80,1	79,5	79,2	81,4	81,5	81,9	81,6	Calculado
U (%)	85,0	88,0	89,0	90,0	89,0	86,0	86,0	84,0	81,0	81,0	79,0	81,0	Normal
MF	2,34	2,15	2,36	2,18	2,10	1,94	2,05	2,18	2,25	2,38	2,28	2,32	Tabela [3]

FONTE: [1] INEMET, 1992
[2] Calculado pelo autor
[3] HARGREAVES, 1974

Os resultados obtidos com o método de HARGREAVES constam da tabela 4.3.

TABELA 4.3 - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR HARGREAVES

Mês	MF	TF	U	CH	ETP	(ETP).Kc
Jan	2,34	79,20	85,00	0,61	113,41	130,4
Fev	2,15	79,30	88,00	0,55	93,32	107,3
Mar	2,36	79,20	89,00	0,52	97,95	112,6
Abr	2,18	79,50	90,00	0,50	86,59	99,6
Maio	2,10	79,90	89,00	0,52	87,93	101,1
Jun	1,94	80,10	86,00	0,59	91,87	105,6
Jul	2,05	79,50	86,00	0,59	96,35	110,8
Ago	2,18	79,20	84,00	0,63	109,12	125,5
Set	2,25	81,40	81,00	0,69	126,14	145,1
Out	2,38	81,50	81,00	0,69	133,59	153,6
Nov	2,28	81,90	79,00	0,72	135,20	155,5
Dez	2,32	81,60	81,00	0,69	130,38	149,9

FONTE: Tabela 4.2 ETP anual (mm): 1.497,1

4.3.1.2 Fórmula de Penman /FAO

A fórmula de Penman original (1948) para a estimativa da evapotranspiração potencial foi deduzida para condições ambientais do sul da Inglaterra. Algumas modificações foram introduzidas levando-se em conta a experiência reunida pela FAO (**Food and Agriculture Organization of the United Nations**) com o uso da fórmula em várias partes do mundo. A fórmula de Penman/FAO pode ser escrita como:

$$ET_P = (A \times B + C)/(A + 1{,}00) \qquad (4.8)$$

em que,

$A = (po/p).(\Delta/\gamma)$

$B = 0,75R_A (a + b\ n/N) - \sigma T_K^4 .(0,56 - 0,079 e_d^{1/2}) (0,10 + 0,90\ n/N)$

$C = 0,26 (e_a - e_d) (1,00 + 0,54\ U_2)$

onde:

UR - umidade relativa do ar em percentagem

ET_P - estimativa da evapotranspiração potencial mensal para um dado período (mm);

po - pressão atmosférica ao nível médio do mar em mb;

p - pressão atmosférica ao nível da estação em mb;

Δ - taxa de variação da tensão de saturação (mb/ ° C);

R_A - radiação solar recebida no limite da atmosfera, função da latitude e data (mm);

γ - constante psicrométrica para psicrômetros de ventilação forçada = 0,66;

a , b - coeficientes que são função da localidade;

n - número de horas de insolação média diária ;

N - número de horas de insolação astronomicamente possível para um dado período;

σ - constante de Stefan Boltzmann ($1,984.10^{-9}$ mm evap/K^4) para radiação do corpo negro;

T_K - temperatura do ar em graus absolutos (°K); tomando como base a temperatura do ar estimada pela média aritmética entre as temperaturas máximas e mínimas médias.

e_d - pressão do vapor (mb);

e_a - pressão de saturação do vapor (mb);

U_2 - velocidade do vento a 2 m da superfície, deduzida da velocidade do vento a 10 m U_{10} (m/s);

onde:

$$e_d/e_a = UR \qquad (4.9)$$

$$U_2/ U_{10} = (2/10)^{1/7} \qquad (4.10)$$

Os parâmetros da fórmula de Penman /FAO, conforme estão apresentados na tabela 4.4, são facilitados pelo uso das tabelas organizadas por FRERE (1979) em **A method for the practical application of the Penman formula for the estimation of potential evapotranspiration and evaporation from a free water surface**. Quanto aos elementos meteorológicos necessários ao cálculo da evapotranspiração potencial, foram utilizados os dados da estação do Itapiracó que dispõem de valores normais (1961-1990).

TABELA 4.4 - PARÂMETROS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR PENMAN/FAO

Parâmetros	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM (^{O} C) (1)	30,0	29,4	29,4	29,6	30,1	30,4	30,2	30,7	31,0	31,2	31,4	31,1
Tm (^{O} C) (1)	22,2	23,1	23,0	23,1	23,1	22,9	22,6	23,0	23,5	23,7	24,0	22,9
T (^{O} C) (1)	26,2	26,3	26,2	26,4	26,6	26,7	26,4	26,9	27,3	27,5	27,7	27,0
ND	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
UR (%) (1)	85,0	88,0	89,0	90,0	89,0	86,0	86,0	84,0	81,0	81,0	79,0	81,0
R_A (2)	15,53	15,73	15,68	15,05	14,03	13,43	13,63	14,45	15,18	15,53	15,35	15,18
n (h/dia) (2)	6,26	4,06	3,46	3,79	5,25	7,10	7,66	8,40	8,33	8,12	8,14	6,66
N (2)	12,2	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2
n/N (2)	0,513	0,336	0,286	0,313	0,438	0,592	0,638	0,700	0,694	0,671	0,667	0,546
σT_K^4 (mm) (2)	15,90	15,92	15,9	15,94	15,99	16,01	15,94	16,05	16,14	16,18	16,22	16,07
e_a (mb) (2)	34,01	34,21	34,01	34,41	34,82	35,03	34,41	35,44	36,28	36,71	37,14	35,65
e_d (mb) (2)	28,91	30,10	30,27	30,97	30,99	30,13	29,59	29,77	29,39	29,74	29,34	28,88
U_{10} (m/s) (1)	2,5	2,3	2,0	1,7	1,8	1,9	2,2	2,9	3,2	3,6	3,7	3,1
U_2 (m/s) (2)	2,0	1,8	1,6	1,3	1,4	1,5	1,7	2,3	2,5	2,8	2,9	2,4
$(\Delta/\gamma).(po/p)$ (2)	3,05	3,05	3,05	3,06	3,07	3,07	3,06	3,18	3,20	3,25	3,26	3,18

FONTE: (1) INEMET (1992)
(2) FRERE (1979)

Os resultados obtidos com a fórmula de PENMAN /FAO constam da tabela 4.5.

TABELA 4.5 - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR PENMAN /FAO

Termos	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$(\Delta/\gamma).po/p$	3,05	3,05	3,05	3,06	3,07	3,07	3,06	3,18	3,20	3,25	3,26	3,18
R_A	15,53	15,73	15,68	15,05	14,03	13,43	13,63	14,45	15,18	15,53	15,35	15,18
$0,75(a + b.n/N)$	0,38	0,32	0,31	0,32	0,36	0,40	0,42	0,44	0,43	0,43	0,43	0,39
σT_K^4	15,90	15,92	15,9	15,94	15,99	16,01	15,94	16,05	16,14	16,18	16,22	16,07
$0,56 - 0,079 (e_d)^{1/2}$	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14
$0,10+0,9n/N$	0,56	0,41	0,36	0,38	0,50	0,63	0,68	0,73	0,72	0,70	0,70	0,60
$0,26 . (1+0,54U_2)$	0,541	0,513	0,485	0,443	0,513	0,527	0,569	0,583	0,611	0,653	0,667	0,597
$(e_a - e_d)$	5,10	4,11	3,74	3,44	3,83	4,90	4,82	5,67	6,89	6,97	7,80	6,77
ND	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ETPdiária (mm)	4,187	3,672	3,548	3,457	3,569	3,698	3,928	4,469	4,825	5,052	5,143	4,444
ETPmensal (mm)	129,8	102,8	110,0	103,7	110,6	110,9	121,8	138,5	144,7	156,6	154,3	137,8

FONTE: Tabela 4.4 ETP anual (mm): 1521,6

Ao comparar os resultados obtidos com a aplicação das fórmulas de HARGREAVES e de PENMAN /FAO, eles se mostraram bastante coerentes.

Levando-se em conta os resultados obtidos e tendo em vista o reduzido número de parâmetros requeridos, o método de HARGREAVES foi adotado como base de cálculo da evapotranspiração potencial para a ilha do Maranhão, podendo ser estendido a toda faixa litorânea maranhense.

4.3.2 Balanço Hídrico Seqüencial

O método proposto para o cálculo do balanço hídrico seqüencial foi compilado em sua essência do livro **Lições de hidrologia** (LENCASTRE e FRANCO, 1984).

Para descrição sintética dos recursos hídricos superficiais estabeleceu-se o balanço hídrico mensal segundo THORNTHWAITE e MATHER (1957), a partir da fórmula simplificada do balanço hídrico total:

$$P - (ET_E + \Delta S_{SO}) = R + \Delta S_S + G + \Delta S_{SSO} \qquad (4.11)$$

em que:

P é a precipitação; ET_E a evapotranspiração efetiva; R o escoamento superficial; G o escoamento subterrâneo; ΔS_S , ΔS_{SO} e ΔS_{SSO} as variações do armazenamento de água , respectivamente, à superfície do solo , no solo e no subsolo. Todos os termos devem ser expressos nas mesmas unidades de volume ou de altura de água (volume/área), referentes ao mesmo intervalo de tempo.

Conhecendo-se os valores mensais básicos da economia de água , a precipitação e a evapotranspiração potencial em uma região, e considerando o solo como reservatório capaz de armazenar umidade para uso pela vegetação, pode-se fazer o balanço de água do solo por um sistema de contabilidade, onde o solo funciona como caixa, a chuva como entrada de água e a evapotranspiração como saída.

Na seqüência são apresentados com detalhes os dados e os procedimentos utilizados no cálculo do balanço hídrico, como também são fornecidos os valores do escoamento de superfície a partir do balanço hídrico mensal.

A aplicação seqüencial da equação (4.11) exige, no mínimo, que se disponha dos valores da precipitação P, da evapotranspiração potencial ET_P , referentes a cada um dos intervalos, e da capacidade utilizável pela vegetação ou capacidade máxima de retenção de água N_U . A evapotranspiração efetiva ET_E, será igual a ET_P quando não houver limitações de água para o fenômeno, e a $P - \Delta S_{SO}$ quando houver (casos em que $\Delta S_{SO} < 0$). O armazenamento de água no solo, S_{SO} e, consequentemente, a sua variação, ΔS_{SO}, serão limitados pela respectiva capacidade utilizável, N_U.

Quanto aos termos do segundo membro da equação (4.11) , o seu valor poderá ser determinado em conjunto, a partir dos valores dos termos do primeiro membro. No caso de haver conhecimento direto de alguns termos do segundo membro (normalmente R e ΔS_S), poderão os restantes ser determinados por subtração do respectivo valor total.

Na aplicação da equação (4.11) há que distinguir dois tipos de intervalos de tempo:

intervalos com superávit hídrico, SH, em que $P \geq ET_P$,

onde:

$$SH = P - (ET_P + \Delta S_{SO}); \qquad (\Delta S_{SO} \geq 0) \qquad (4.12)$$

intervalos com déficit hídrico, DH, em que $P < ET_P$,

onde:

$$DH = ET_P - ET_E = (ET_P + \Delta S_{SO}) - P ; \qquad (\Delta S_{SO} < 0) \qquad (4.13)$$

dado que:

$$ET_E = P - \Delta S_{SO} ; \qquad (\Delta S_{SO} < 0) \qquad (4.14)$$

Um conjunto de intervalos seguidos, com superávit hídrico, define um período úmido e um conjunto de intervalos seguidos, com déficit hídrico, define um período seco.

De acordo com a metodologia exposta, admite-se simplificadamente que durante um período úmido o aumento do armazenamento de água no solo é igual ao excesso da precipitação sobre a evapotranspiração, $\Delta S_{SO} = P - ET_P$, até ao limite da capacidade utilizável do solo, $S_{SO} = N_U$. Já durante um período seco a diminuição do mesmo armazenamento não é linear, devido ao aumento das forças de retenção de água no solo com a sua secagem, tendo THORNTHWAITE e MATHER proposto a seguinte equação exponencial:

$$S_{SO} = N_U \cdot e^{L/N_U} \qquad (4.15)$$

em que:

S_{SO} é o armazenamento de água que fica num solo de capacidade utilizável N_U, quando sujeito a uma perda potencial de água, L.

A perda L é obtida em cada intervalo de tempo do período seco (em que $P < ET_P$) por:

$$L(i) = \sum_{j=1}^{i} [P(j) - ETp(j)] \; ; \qquad (L < 0) \qquad (4.16)$$

em que:

i é o número de ordem do intervalo em causa, desde o início do período seco, e

j o de qualquer intervalo do mesmo período seco.

A variação do armazenamento ocorrida em cada intervalo em que haja déficit será portanto obtida da seguinte forma:

$$\Delta S_{SO}(i) = S_{SO}(i) - S_{SO}(i-1) = N_U e^{L(i)/N_U} - S_{SO}(i-1) \qquad (4.17)$$

No presente trabalho, adotou-se a capacidade máxima de retenção de água disponível no solo, N_U de 75 mm, para solo de textura fina, correspondente a uma vegetação de raízes superficiais (MOTA, 1981).

Para o cálculo do valor mensal da precipitação da ilha do Maranhão foram utilizados os dados consistidos das estações climatológicas de Rosário, Ribamar e Itapiracó, conforme consta do apêndice 11. A precipitação média utilizada é a média aritmética das três estações anteriormente referidas, face a topografia plana da região e os valores individuais das alturas de chuva não se distanciarem muito da média. Os valores mensais da evapotranspiração potencial, ET_P, foram calculadas pela fórmula de HARGREAVES.

Na tabela 4.6 está demonstrado o cálculo do balanço hídrico para 75 mm de capacidade de armazenamento. Para resolvê-lo, preenchem-se as colunas como segue:

Coluna 1 - P: Preencher com o valor da precipitação mensal

Coluna 2 - ET_P: Preencher com o valor da evapotranspiração potencial

Coluna 3 - P - ETP: Obter os saldos, negativos, entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, subtraindo algebricamente os dados da coluna 2 dos da coluna 1.

Coluna 4 - L = (P - ET_P) acumulado: Inicia-se quando aparece um valor negativo de (P - ET_P). Significa a soma dos valores negativos de (P - ET_P); neste mês o valor da coluna L é igual ao valor negativo de (P - ET_P). O valor de L do mês seguinte será igual à soma do valor negativo de (P - ET_P) do mês e o valor de L do mês anterior ; isto segue até o último mês que apresentar valor negativo de (P - ET_P).

Coluna 5 - S_{SO}: Admite-se que a capacidade utilizável do solo, N_U, se encontra integralmente satisfeita no início do período seco, em julho, isto é, o armazenamento no solo, no final do mês anterior, junho, é de S_{SO} = 75 mm. Os sucessivos valores mensais de armazenamento de água

no solo, durante o período seco, são determinados pela equação (4.15), e estão indicadas nesta coluna.

Coluna 6 - ΔS_{SO}: É igual ao armazenamento do solo do mês em questão menos o armazenamento do mês anterior.

Coluna 7 - ET_E: A evapotranspiração efetiva ou real é igual à potencial no período úmido, no período seco os valores são obtidos pela equação (4.14).

Coluna 8 - DH: É sempre representada pelo valor $ET_P - ET_E$.

Coluna 9 - SH: É sempre zero quando não ocorre armazenamento máximo (igual a N_U considerada). Quando o armazenamento é máximo, o SH é igual à diferença entre ($P - ET_P$) e ΔS_{SO}.

TABELA 4.6 - BALANÇO HÍDRICO SEQÜENCIAL MENSAL (mm)
Capacidade utilizável $N_U = 75$ mm
Valores meteorológicos médios para a ilha do Maranhão

Parâmetros	P (1)	ET_P (2)	$P - ET_P$ (3)	L (4)	S_{SO} (5)	ΔS_{SO} (6)	ET_E (7)	DH (8)	SH (9)
Jan	225,2	130,4	94,8	-	75,0	75,0	130,4	-	19,8
Fev	296,0	107,3	188,7	-	75,0	0,0	107,3	-	188,7
Mar	386,8	112,6	274,2	-	75,0	0,0	112,6	-	274,2
Abr	391,6	99,6	292,0	-	75,0	0,0	99,6	-	292,0
Mai	284,6	101,1	183,5	-	75,0	0,0	101,1	-	183,5
Jun	126,2	105,6	20,6	-	75,0	0,0	105,6	-	20,6
Jul	93,6	110,8	-17,2	-17,2	59,6	-15,4	109,0	1,8	-
Ago	45,4	125,5	-80,1	-97,3	20,5	-39,1	84,5	41,0	-
Set	28,7	145,1	-116,4	-213,7	4,3	-16,2	44,9	100,2	-
Out	30,5	153,6	-123,1	-336,8	0,8	-3,5	34,0	119,6	-
Nov	17,2	155,5	-138,4	-475,2	0,1	-0,7	17,9	137,6	-
Dez	83,2	149,9	-66,7	-541,9	0,0	-0,1	83,3	66,6	-
Ano	2009,0	1497,0	511,9	-541,9	-	0,0	1030,2	466,8	978,8

De acordo com as equações 4.12 e 4.13, o superávit hídrico corresponde a:

$$SH = R + \Delta S_S + G + \Delta S_{SSO} \qquad (4.18)$$

Considerando-se que o escoamento subterrâneo para fora da bacia, G, seja pouco significativo, THORNTHWAITE e MATHER sugerem que se considere que em cada mês cerca de metade do conjunto [SH (mês) + S_S + S_{SSO} (mês anterior)] se traduzirá por escoamento superficial, R, na seção de saída, e a outra metade ficará armazenada na bacia, à superfície ou no subsolo, até ao mês seguinte.

A aplicação desta regra permite a determinação de uma série de valores mensais do escoamento de superfície, R, a partir dos valores do superávit, SH.

Os resultados da aplicação desta regra aos dados da tabela 4.6, vêm apresentados na tabela 4.7.

TABELA 4.7 - ESCOAMENTO SUPERFICIAL A PARTIR DO BALANÇO HÍDRICO SEQÜENCIAL MENSAL (mm)

Termos	SH (1)	$R + S_{S+SSO}$ (2)	R (3)	S_{S+SSO} (4)	ΔS_{S+SSO} (5)
Jan	19,8	19,8	10,0	9,8	+ 9,8
Fev	188,7	198,6	99,5	99,1	+ 89,2
Mar	274,2	373,5	187,0	186,5	+ 87,2
Abr	292,0	478,8	239,4	239,4	+ 52,6
Maio	183,5	422,8	211,4	211,4	- 27,9
Jun	20,6	232,0	116,0	116,0	- 95,4
Jul	-	116,0	58,0	58,0	- 58,0
Ago	-	58,0	29,0	29,0	- 29,0
Set	-	29,0	15,0	14,0	- 15,0
Out	-	14,5	7,5	7,0	- 7,0
Nov	-	7,2	4,0	3,2	- 4,0
Dez	-	3,6	2,0	1,6	- 2,0
Ano	978,8	1953,8	978,8	975,0	0,5

FONTE: Tabela 4.6

Conforme FERREIRA FILHO *et al.* (1995), comparando a evapotranspiração potencial com a diferença entre a precipitação e o escoamento - evapotranspiração efetiva + infiltração, obtidos do cálculo do balanço hídrico da Ilha do Maranhão obtem-se o déficit de evapotranspiração.

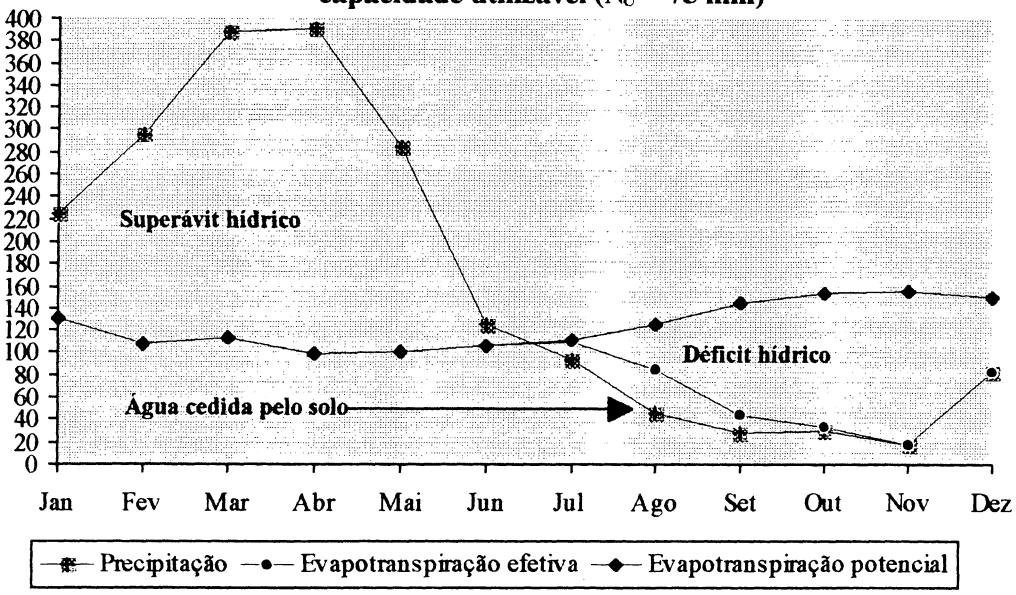
O déficit assim obtido dividido pela precipitação produz um índice de vulnerabilidade, denominado déficit de evapotranspiração relativo (DETPR), dado pela expressão:

$$DETPR = [\ ET_P - (\ P - R\ )\ ]/\ P \qquad (4.19)$$

Regiões com valores de DETPR maiores que a unidade significam regiões de maior vulnerabilidade, do ponto de vista hídrico. O valor de 0,232, estimado pela expressão (4.19) para o DETPR, indica que a ilha do Maranhão possui uma baixa vulnerabilidade natural a seca.

Os resultados da aplicação do balanço hídrico seqüencial proposto por THORNTWAITE e MATHER estão ilustrados no gráfico 4.5.

(mm) **Gráfico 4.5 - Balanço hídrico mensal da ilha do Maranhão**
capacidade utilizável (N_U = 75 mm)



5 ANÁLISE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A análise de bacias hidrográficas tem por finalidade estudar os seus comportamentos hidrológicos em função de suas características geomorfológicas em termos da topografia, forma, área, geologia, solo, vegetação, clima e uso do solo.

O resultado desta análise tem por objetivo fornecer subsídios considerados essenciais à estimativa das potencialidades hídricas e ao mapeamento dos recursos hídricos, incluindo informações morfoestruturais baseadas unicamente no traçado da rede de drenagem.

As abordagens quantificativa e qualitativa das bacias de drenagem são efetuadas obedecendo às seguintes etapas:

- Traçado da rede de drenagem;
- Análise das formas da rede de drenagem;
- Análise morfométrica das bacias de drenagem;
- Análise das características litológicas, dos solos e da vegetação;
- Trabalho de campo;
- Síntese dos estudos.

5.1 TRAÇADO DA REDE DE DRENAGEM

Para facilitar a integração das informações qualitativas e quantitativas o traçado da rede de drenagem foi realizados em dois mapas, utilizando as cartas topográficas da

DSG/SUDENE, folhas SA.23-Z-A-V-1 (MI-549/1, São Luis - NO, MA), SA.23-2-A-V-2 (MI-549/2, São Luis - NE, MA) e SA.23-Z-A-V-3 (MI - 549/3, Perises de Baixo, MA) escala 1:50.000, 1979 e a imagem em papel fotográfico do satélite TM LANDSAT 5, WRS 220/062 WA, passagem em 15.07.93, escala 1:50.000.

O traçado da rede de drenagem foi realizado (figura 5.1) com o rigor possível e compatível com a escala adotada, sendo considerados todos os elementos indicativos de drenagem, isto é, todos os pontos iniciais das linhas azuis dos cursos de água e todas as crenulações das curvas de nível (OKA FIORI, 1980).

5.2 ANÁLISE DAS FORMAS DA REDE DE DRENAGEM

Existem propriedades particulares da rede de drenagem entendida como um arranjo de canais ramificados que são analisados em busca de inferências geológico-estruturais a respeito de materiais superficiais imageados. Estas propriedades particulares permitem a definição de seis características que tornam possível a delimitação das zonas homólogas, formadas pela repetição dos mesmos elementos texturais e a mesma estrutura.

Na análise das formas da rede de drenagem, foi utilizado o método de fotointerpretação lógica e sistemática baseado nos estudos de SOARES e FIORI (1976), que sugerem as observações nas características seguintes:

- densidade textural;
- angularidade dos elementos texturais;
- sinuosidade;

- tropia;
- assimetria;
- formas anômalas

densidade textural - pode ser definida como a razão entre o número de elementos texturais de drenagem por unidade de área. Assim, uma zona com maior número relativo de elementos texturais de drenagem, é considerada como sendo de densidade alta. Ao contrário, quando os elementos texturais de drenagem são escassos, a densidade de textura de drenagem é considerada como densidade baixa.

angularidade dos elementos texturais - refere-se ao ângulo de confluência dos elementos de drenagem. A confluência dos elementos pode classificar zonas homólogas de drenagem em função desta propriedade: baixa (ângulos agudos $\leq 60^{\circ}$); média (ângulos entre 60° e 120°) e alta (ângulos obtusos $> 120^{\circ}$).

sinuosidade - a sinuosidade dos elementos texturais de drenagem pode se classificar visualmente em dominantemente curvos; dominantemente retilíneos; e curvos e retilíneos mistos. Os elementos retilíneos são considerados lineações de drenagem, enquanto a disposição em linha reta das lineações de drenagem constitui um alinhamento de drenagem.

tropia - é definida em função da orientação dos elementos texturais de drenagem, segundo direções preferenciais. Quanto a esta propriedade, podemos considerar a estrutura da drenagem tendo em vista a presença de uma ou mais direções de linhas de drenagem francamente dominantes.

Assim, tem-se :

- tropia unidirecional preferencial
- tropia bidirecional preferencial

- tropia tridirecional
- tropia multidirecional ordenada
- tropia multidirecional desordenada

assimetria- é definida em função da extensão e da forma dos elementos texturais de drenagem que se constituem nos afluentes do canal principal. A assimetria fraca é caracterizada apenas por diferença no tamanho dos elementos e a forte é caracterizada por tamanho e forma.

formas anômalas - são formas diferentes do arranjo geral dos elementos de drenagem, cada forma anômala deve ser considerada e ter seu significado investigado. Normalmente refletem estruturas geológicas, principalmente falhamentos.

Através da análise das seis propriedades da rede de drenagem certos dados podem ser inferidos, tais como:

- permeabilidade relativa como função da densidade textural;
- extensão e localização de materiais com diferenças significativas como função das seis propriedades;
- grau de uniformidade de material imageado como função da uniformidade textural;
- localização de fatores controladores como função dos alinhamentos, lineações e angularidades texturais e subordinadamente da tropia e assimetria;
- inferências sobre a natureza das rochas como função das seis propriedades;
- inferências a respeito do sentido de mergulho de feições planas como função da assimetria de drenagem.

5.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Os índices e parâmetros sugeridos para a análise morfométrica são abordados em três itens, análise areal, linear e hipsométrica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Na análise areal das bacias de drenagem mais representativas da ilha estão englobados os índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares. Nesta análise estão incluídos os seguintes índices:

a) Área de drenagem (A) - área plana, em projeção horizontal, limitada pelas linhas de separação topográfica, determinada por planimetria e expressa em km^2.

b) Comprimento da bacia (L) - comprimento axial da bacia, medido em linha reta desde o ponto mais elevado do divisor da bacia até o exutório, expresso em km.

c) Forma da bacia - com o objetivo de eliminar a subjetividade na caracterização da forma das bacias foram utilizados o índice de compacidade e o fator de forma. O índice de compacidade (Kc) é dado pela relação entre o perímetro da bacia (P), em km e a área da bacia (A) em km^2:

$$Kc = 0{,}28P / \sqrt{A} \qquad (5.1)$$

O fator de forma é a relação entre a área da bacia e o comprimento axial da bacia , dado pela expressão :

$$Kf = A/L^2 \qquad (5.2)$$

d) Densidade de rios (Dr) - relação existente entre o número de nascentes de rios e uma área de tamanho padrão. A área de tamanho padrão (4 km^2) foi definida a partir das celas do mapa topográfico de 2 km x 2 km. Desta maneira, os valores das densidades de rio (tabela 5.1) para cada cela quadrada são obtidos pela relação:

$$Dr = Nn/Ac \qquad (5.3)$$

onde Nn é o número de nascentes dentro de cada cela e Ac é a área de cada cela (4 km^2).

Os dados de densidade de rios obtidos foram plotados no centro de cada cela do mapa topográfico. As isolinhas de densidade de rios foram traçadas com espaçamento de valor 1,0 (OKA FIORI, 1980).

TABELA 5.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DENSIDADE DE RIOS

Cela	Nn	Dr	Cela	Nn	Dr	Cela	Nn	Dr	Cela	Nn	Dr	Cela	Nn	Dr	Cela	Nn	Dr
P1	1	0,25	R5	2	0,50	F8	1	0,25	I10	2	0,50	D13	5	1,25	D16	6	1,50
Q1	2	0,50	R5	2	0,50	G8	0	0,00	J10	7	1,75	E13	5	1,25	E16	8	2,00
R1	1	0,25	D6	1	0,25	H8	1	0,25	K10	3	0,75	F13	5	1,25	F16	7	1,75
S1	1	0,25	E6	2	0,50	I8	4	1,00	L10	2	0,50	G13	8	2,00	G16	6	1,50
M2	1	0,25	F6	2	0,50	J8	3	0,75	M10	14	3,50	H13	7	1,75	H16	1	0,25
N2	1	0,25	G6	2	0,50	K8	2	0,50	N10	9	2,25	I13	1	0,25	I16	3	0,75
02	0	0,00	H6	5	1,25	L8	6	1,50	O10	6	1,50	J13	4	1,00	J16	9	2,25
P2	1	0,25	I6	1	0,25	M8	4	1,00	P10	1	0,25	K13	5	1,25	K16	6	1,50
Q2	2	0,50	J6	5	1,25	N8	1	0,25	A11	0	0,00	L13	16	4,00	L16	4	1,00
R2	3	0,75	K6	3	0,75	O8	1	0,25	B11	7	1,75	M13	9	2,25	M16	0	0,00
S2	3	0,75	L6	3	0,75	P8	5	1,25	C11	7	1,75	N13	7	1,75	A17	6	1,50
L3	0	0,00	M6	3	0,75	Q8	7	1,75	D11	6	1,50	O13	2	0,50	B17	14	3,50
M3	1	0,25	N6	0	0,00	R8	0	0,00	E11	5	1,25	B14	5	1,25	C17	2	0,50
N3	0	0,25	O6	1	0,25	S8	2	0,50	F11	3	0,75	C14	11	2,75	D17	6	1,50
03	1	0,25	P6	4	1,00	A9	0	0,00	G11	6	1,50	D14	4	1,00	E17	8	2,00
P3	1	0,25	Q6	3	0,75	B9	3	0,75	H11	9	2,25	E14	11	2,75	F17	6	1,50
Q3	2	0,50	R6	0	0,00	C9	9	2,25	I11	4	1,00	F14	13	3,25	G17	7	1,75
I4	0	0,00	S6	2	0,50	D9	7	1,75	J11	2	0,50	G14	5	1,25	H17	9	2,25
J4	0	0,00	B7	0	0,00	E9	1	0,25	K11	2	0,50	H14	9	2,25	I17	11	2,75
K4	1	0,25	C7	0	0,00	F9	6	1,50	L11	7	1,25	I14	3	0,75	J17	0	0,00
L4	1	0,25	D7	0	0,00	G9	2	0,50	M11	13	3,25	J14	4	1,00	K17	0	0,00
M4	1	0,25	E7	0	0,00	H9	3	0,75	N11	1	0,25	K14	5	1,25	A18	2	0,50
N4	1	0,25	F7	1	0,25	I9	0	0,00	011	0	0,00	L14	2	0,50	B18	4	1,00
04	1	0,25	G7	4	1,00	J9	3	0,75	A12	1	0,25	M14	4	1,00	C18	10	2,50
P4	2	0,50	H7	5	1,25	K9	2	0,50	B12	4	1,00	N14	1	0,25	D18	5	1,25
Q4	3	0,75	I7	1	0,25	L9	5	1,25	C12	5	1,25	A15	0	0,00	E18	11	2,75
R4	0	0,00	J7	2	0,50	M9	1	0,25	D12	4	1,00	B15	6	1,50	F18	4	1,00
D5	1	0,25	K7	1	0,25	N9	4	1,00	E12	9	2,25	C15	1	0,25	G18	2	0,50
E5	1	0,25	L7	2	0,50	09	5	1,25	F12	6	1,50	D15	4	1,00	H18	7	1,75
F5	1	0,25	M7	6	1,50	P9	5	1,25	G12	7	1,75	E15	2	0,50	I18	0	0,00
G5	0	0,00	N7	7	1,75	Q9	1	0,25	H12	1	0,25	F15	11	2,75	A19	5	1,25
H5	1	0,25	O7	4	1,00	R9	0	0,00	I12	2	0,50	G15	1	0,25	B19	2	0,50
I5	1	0,25	P7	3	0,75	S9	0	0,00	J12	11	2,75	H15	8	2,00	C19	5	1,25
J5	2	0,50	Q7	7	1,75	A10	1	0,25	K12	8	2,00	I15	4	1,00	D19	10	2,50
K5	1	0,25	R7	2	0,50	B10	8	2,00	L12	7	1,75	J15	6	1,50	E19	7	1,75
L5	3	0,75	S7	3	0,75	C10	3	0,75	M12	4	1,00	K15	10	2,50	F19	1	0,25
M5	2	0,50	A8	1	0,25	D10	4	1,00	N12	13	3,25	L15	9	2,25	A20	1	0,25
N5	1	0,25	B8	6	1,50	E10	4	1,00	O12	2	0,50	M15	5	1,25	B20	2	0,50
O5	2	0,50	C8	5	1,25	F10	7	1,75	A13	0	0,00	A16	3	0,75	C20	2	0,50
P5	0	0,00	D8	1	0,25	G10	4	1,00	B13	3	0,75	B16	7	1,75	D20	1	0,50
Q5	3	0,75	E8	1	0,25	H10	2	0,50	C13	5	1,25	C16	4	1,00	E20	1	0,25

O mapeamento das isolinhas de densidade de rios evidenciaram 4 zonas (figura 5.2):

- Isozona 1,0 : compreendendo os valores de isodensidade de rios entre 0,50 e 1,50;
- Isozona 2,0 : compreendendo os valores de isodensidade de rios entre 1,50 e 2,50;
- Isozona 3,0 : compreendendo os valores de isodensidade de rios entre 2,50 e 3,50;
- Isozona 4,0 : compreendendo os valores de isodensidade de rios entre 3,50 e 4,00.

A análise quantitativa da rede de drenagem, tendo como destaque adicional a densidade de rios, oferece uma indicação das diferenças de permeabilidade dos materiais superficiais, que estão por sua vez relacionadas com as características do solo, clima, relevo, cobertura vegetal e tipo de ocupação do solo.

Na análise linear está incluído o comprimento da bacia (Lb), em km , considerado como a distância tomada ao longo do curso de água desde a desembocadura até a nascente.

Na análise hipsométrica estão incluídos os índices relação de relevo (Rr) e declividade média das bacias (Im). A relação de relevo é a relação existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia (Hm), em metros, e a maior extensão da referida bacia (Lb), em km.

$$Rr = Hm/Lb \qquad (5.4)$$

Utilizando-se as celas quadradas de 2 km de lado foi realizado, para cada um dos pontos de interseção da malha, uma determinação de declividade, obtendo-se uma série de valores que foram analisadas estatisticamente como mostra a tabela 5.2.

TABELA 5.2- DISTRIBUIÇÃO DE DECLIVIDADES DAS BACIAS

Bacia do rio Jeniparana

1	2	3	4
Declividade (m/m)	Ocorrências	Declividade no intervalo (m/m)	col.2 x col. 3
0,0000 - 0,0049	2	0,0025	0,0050
0,0050 - 0,0099	6	0,0075	0,0450
0,0100 - 0,0149	3	0,0125	0,0375
0,0150 - 0,0199	1	0,0175	0,0175
0,0200 - 0,0249	2	0,0225	0,0045
Total	14	-	0,1095

Declividade média: 0,1095/14 = 0,0078 m/m ou 0,78%

Bacia do rio Tibiri

1	2	3	4
Declividade (m/m)	Ocorrências	Declividade no intervalo (m/m)	col.2 x col. 3
0,0000 - 0,0049	4	0,0025	0,0100
0,0050 - 0,0099	7	0,0075	0,0525
0,0100 - 0,0149	6	0,0125	0,0750
0,0150 - 0,0199	6	0,0175	0,105
0,0200 - 0,0249	2	0,0225	0,0450
Total	25		0,2875

Declividade média: 0,2875/25 = 0,0115 m/m ou 1,15%

Bacia do riacho dos Cachorros

1	2	3	4
Declividade (m/m)	Ocorrências	Declividade no intervalo (m/m)	col.2 x col. 3
0,0000 - 0,0049	1	0,0025	0,0025
0,0050 - 0,0099	6	0,0075	0,0450
0,0100 - 0,0149	5	0,0125	0,0625
0,0150 - 0,0199	2	0,0175	0,0350
0,0200 - 0,0249	0	0,0225	0,0000
0,0250 - 0,0299	1	0,0275	0,0275
0,0300 - 0,0349	1	0,0325	0,0325
Total	16		0,2075

Declividade média: 0,2075/16 = 0,0130 m/m ou 1,30%

Bacia do rio Bacanga

1	2	3	4
Declividade (m/m)	Ocorrências	Declividade no intervalo (m/m)	col.2 x col. 3
0,0000 - 0,0049	5	0,0025	0,0255
0,0050 - 0,0099	8	0,0075	0,0600
0,0100 - 0,0149	8	0,0125	0,1000
0,0150 - 0,0199	1	0,0175	0,0175
0,0200 - 0,0249	1	0,0225	0,0225
0,0250 - 0,0299	0	0,0275	0,0000
0,0300 - 0,0349	1	0,0325	0,0325
Total	24		0,258

Declividade média : 0,2580/24 = 0,0108 m/m ou 1,08%

(Continuação) TABELA 5.2- DISTRIBUIÇÃO DE DECLIVIDADES DAS BACIAS

Bacia do rio Paciência			
1	2	3	4
Declividade (m/m)	Ocorrências	Declividade no intervalo (m/m)	col.2 x col. 3
0,0000 - 0,0049	8	0,0025	0,0200
0,0050 - 0,0099	8	0,0075	0,0600
0,0100 - 0,0149	8	0,0125	0,1000
0,0150 - 0,0199	4	0,0175	0,0700
0,0200 - 0,0249	3	0,0225	0,0675
0,0250 - 0,0299	2	0,0275	0,0550
0,0300 - 0,0349	0	0,0325	0,0000
0,0350 - 0,0399	2	0,0375	0,0750
Total	35	Total	0,4475
Declividade média: 0,4475/35 = 0,0128 m/m ou 1,28%			
Bacia do rio Santo Antônio			
1	2	3	4
Declividade (m/m)	Ocorrências	Declividade no intervalo (m/m)	col.2 x col. 3
0,0000 - 0,0049	3	0,0025	0,0075
0,0050 - 0,0099	5	0,0075	0,0375
0,0100 - 0,0149	6	0,0125	0,0750
0,0150 - 0,0199	4	0,0175	0,0700
0,0200 - 0,0249	2	0,0225	0,0450
0,0250 - 0,0299	1	0,0275	0,0275
0,0300 - 0,0349	1	0,0325	0,0325
Total	22	Total	0,2950
Declividade média: 0,2950/22 = 0,0134 m/m ou 1,34%			
Bacia do rio Anil			
1	2	3	4
Declividade (m/m)	Ocorrências	Declividade no intervalo (m/m)	col.2 x col. 3
0,0000 - 0,0049	2	0,0025	0,0050
0,0050 - 0,0099	5	0,0075	0,0375
0,0100 - 0,0149	1	0,0125	0,0125
0,0150 - 0,0199	0	0,0175	0,0000
0,0200 - 0,0249	1	0,0225	0,0225
Total	9	Total	0,0775
Declividade média: 0,0775/9 = 0,0086 m/m ou 0,86%			

5.4 SÍNTESE DOS ESTUDOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A análise das bacias hidrográficas possibilitou de imediato estabelecer os padrões de drenagem através da interpretação do mapa da rede hidrográfica detalhada na escala 1:50.000.

A interpretação visual da rede de drenagem evidenciou a predominância do padrão retangular-angular, transição dentrítica, em praticamente todos os cursos principais e secundários. Do mesmo modo, foi possível identificar sistemas de lineamentos nas direções gerais NW-SE e NE-SW nos terrenos da ilha do Maranhão.

A observação desses lineamentos estruturais revelou que os de direção NW-SE são mais freqüentes em boa parte das bacias do Bacanga e do Tibiri e em toda a bacia do riacho dos Cachorros, abrangendo o setor sudoeste da Ilha. A mesma análise revela que os lineamentos NE-SW, apesar de ocorrerem em quase toda a Ilha, são menos marcantes.

Devido à diferença de escala, ao manto de intemperismo e à cobertura vegetal, os lineamentos estruturais observados nem sempre são constatados em campo.

O padrão retangular-angular e a presença de lineamentos estruturais (fraturas) levou a considerar prováveis conseqüências das influências exercidas por fenômenos tectônicos e à composição diferente das camadas horizontais.

Os baixos valores das isozonas de densidade de rios revelaram que a permeabilidade natural dos materiais de superficie é superior a média.

Face a situação das formações geológicas superficiais permeáveis em relação com os leitos dos rios e com os níveis de água nas zonas dos aqüíferos contíguas aos elementos de drenagem, é possível estabelecer os esquemas-tipo dominantes de conexão hidráulica entre os mesmos.

A observação mostra que durante a estação úmida o esquema-tipo de conexão hidráulica dominante dos rios das bacias da ilha do Maranhão é a de rio efluente. Esta situação é freqüente nas zonas dos tabuleiros costeiros e nas planícies aluviais em período chuvoso, em que os rios efluentes recebem uma recarga importante devida a infiltração das águas nos leitos dos canais. Na estação seca a situação se inverte, isto é, os rios passam a ser influentes ou infiltrantes, que não só não recebem nenhuma contribuição do escoamento superficial, como também perdem por infiltração grande parte do seu caudal. Isto se deve graças a situação mais elevada do nível de água no leito dos rios em relação a superfície saturada dos materiais permeáveis contíguos. Este esquema é típico de zonas semi-áridas em que, na maioria das vezes, a infiltração da água através dos leitos permeáveis dos rios constitue a principal fonte de reserva dos aqüíferos. Este fato é corroborado pela presença de cursos de água periódicos, sendo alimentados por aqüíferos de pequena extensão e grande difusividade, nos quais a recarga proveniente das precipitações se descarrega em poucos dias (CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

As observações de campo, auxiliadas pelo mapa geológico da CPRM (1994), na escala de 1:250.000, confirmaram a predominância de solos e de depósitos areno-argilosos e conglomerados ferruginizados, de estrutura laterítica, visíveis em grande parte da cobertura superficial dos terrenos da Ilha.

Segundo o relatório da CPRM (1994), a ocorrência, distribuição e espessura desses depósitos de estrutura laterítica são genericamente caracterizadas, pelos seguintes horizontes, do topo para a base:

- Horizonte concrecionário ou ferruginoso - petroplintito: apresentando estruturas concrecionárias colunares, vesiculares e cavernosas, com cor marrom-avermelhada,

predominando óxidos de ferro. Tem espessura máxima de 6 m e é coberto por solo areno-argiloso amarelado com até 2 m de espessura.

- Horizonte saprolítico - plintito: apresentando textura terrosa com estruturas restritas a vênulas. Sua espessura máxima é de 5m, exibindo cor mosqueada de branco e vermelho, ou marrom-avermelhada e parda.

Apesar da boa permeabilidade relativa superficial, a alimentação dos aqüíferos da Ilha é, em parte, dificultada por esses estratos lateríticos, os quais se constituem em verdadeiras barreiras semipermeáveis, fazendo com que o movimento descendente das águas seja inibido, provocando, assim, um aumento da vazão do escoamento superficial.

Baseado nessas informações e nas observações de campo, é possível fazer uma classificação preliminar do solo da Ilha, caracterizando um tipo de solo que dá origem a escoamentos superficiais relativamente importantes, incluindo areias com quantidades apreciáveis de argila, apresentando, no entanto, uma permeabilidade superficial superior a média.

A partir das características litológicas dos terrenos da região estudada é possível estabelecer relações entre elementos hidrogeomorfológicos e a recarga, aplicando-se ao escoamento subterrâneo uma certa percentagem do escoamento total. Por exemplo, estas percentagens podem variar entre 5% para uma bacia com fortes declividades e materiais pouco permeáveis, até cerca de 75% para uma bacia com predomínio de formações permeáveis e com um relevo suave a plano.

Evidentemente, este procedimento denominado de método geohidrometeorológico por LLAMAS (1966) constitui somente uma primeira aproximação, porém, se ele é feito com

critério, pode, através de aproximações sucessivas, compensar a falta de dados hidrológicos mais completos (CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

A validade do critério é limitado, a rigor, aos locais para os quais foram obtidos resultados significativos. Para a sua utilização em outras regiões seria necessário verificar se os fatores climáticos e índices flúvio-geomorfológicos referentes à bacia em estudo são comparáveis aos dos utilizadas no estabelecimento das relações.

Diante das informações disponíveis ficou evidente a necessidade de estabelecer relações hidrogeomorfológicas entre os escoamentos superficial e subterrâneo com respeito ao escoamento total para diferentes tipos de terreno e de situações geomorfológicas.

Objetivando aplicar-se ao escoamento subterrâneo um percentual do escoamento total, estimado no balanço hídrico, utilizaram-se alguns valores relativos, que dependem essencialmente do tipo hidrológico do solo, da geomorfologia e da rede de drenagem, compilados do volume 2 **Hidrología subterránea** (CUSTODIO e LLAMAS, 1983), constante do apêndice 12.

Utilizando os argumentos de entrada do apêndice 12, em confronto com o tipo hidrológico do solo, da geomorfologia e da rede de drenagem das bacias vertentes, é possível indicar a faixa de valores relativos Qr/Q (coeficiente de escoamento superficial) e Qs/Q (coeficiente de escoamento subterrâneo).

Uma análise sumária da geomorfologia, da litologia e da rede de drenagem (figura 5.1) mostra as seguintes características da ilha do Maranhão:

- Tipo hidrológico do solo: predominância de areias e argilas.
- Geomorfologia: tabuleiros costeiros; bacia sedimentar.

- Rede hidrográfica: relativamente pouco densa, com pequenos cursos de água constituídos de trechos permanentes e efêmeros.

Essas características litológicas e geomorfológicas analisadas em conjunto permitem indicar a faixa de valores relativos $0,2 < Qs/Q < 0,5$ (ver apêndice 12).

Admitindo-se que o coeficiente de escoamento superficial depende das condições de permeabilidade do solo, há que se considerar que a capacidade de infiltração de água no solo reduz-se muito com a duração da chuva (LENCASTRE e FRANCO, 1984). O mesmo se verifica com relação à capacidade de infiltração com o tempo para solos nus ou de escassa cobertura vegetal.

Tendo em vista o conhecimento que se tem da área e dos principais elementos que afetam a capacidade de infiltração da água no solo, é possível estabelecer um cenário a partir dos seguintes fatores predominantes na região:

• Ocorrência de precipitações do tipo convectivas, caracterizadas por chuvas de curta duração em forma de pancadas	• redução na capacidade de infiltração da água no solo
• Ocorrência de solos de textura média (areno-argiloso)	• aumento na capacidade de infiltração da água no solo
• Ocorrência de solos com escassa cobertura herbácea mal cuidada	• redução na capacidade de infiltração da água no solo
• Existência de terrenos de baixa declividade com pequenas depressões que favorecem a retenção superficial	• aumento na capacidade de infiltração da água no solo

Tomando como base a faixa de valores relativos Qr/Q e Qs/Q e considerando-se esses fatores que afetam a capacidade de infiltração da água no solo, é possível estimar os valores dos coeficientes de escoamento subterrâneo e superficial.

Quanto à questão da escolha de um coeficiente de escoamento, o mesmo está vinculado a diversos fatores, destacando-se a aplicação de conhecimentos que dependem de uma certa experiência no ramo da hidrologia, do critério empregado, associado a um certo grau de precisão, compatível com as finalidades requeridas.

Para auxiliar na decisão da escolha dos coeficientes Qr/Q e Qs/Q foram elaboradas tabelas-síntese (tabela 5.3) contendo dados qualitativos e quantitativos, englobando aspectos litológicos, índices morfométricos, cobertura vegetal, ocupação do solo e informações dos tipos de solos do relatório do **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão** (EMBRAPA, 1986).

TABELA 5.3 - ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

BACIA DO RIO JENIPARANA			
Propriedades dos elementos de drenagem	densidade textural: baixa a média angularidade: baixa sinuosidade: mistos tropia : tridirecional assimetria: fraca a nula anomalias: não há caracterização bem definida de anomalias padrão de drenagem: transição entre o retangular - angular e o dentrítico		
Morfometria	$A = 51,5\ km^2$ $P = 30,4\ km$ $Kc = 0,28P/\sqrt{A} = 1,19$	$L = 8,5\ km$ $Kf = A/L^2 = 0,71$	$Im = 0,78\%$ $Hm = 56\ m$ $Lb = 10,0\ km$ $Rr = Hm/Lb = 5,6\ m/km$
Litologia	Sedimentos da Formação Itapecuru (Cretáceo). Produtos de alteração de arenitos finos com folhelhos e siltitos intercalados e concreções ferruginosas. Isozonas 3,0 e 4,0 - Petroplintitos derivados da Formação Barreiras		
Solos	Predomínio do podzólico vermelho-amarelo concrecionário e plintossolo concrecionário, ambos textura média e textura média/argilosa. Solos com grande quantidade de calhaus e cascalhos na superfície e dentro dos perfis, sendo relativamente bem drenados, contribuindo para uma permeabilidade normal do solo.		
Cobertura vegetal/Uso do solo	Floresta secundária mista e mangues. Área em processo de ocupação desordenada, com loteamentos sem infraestrutura urbana.		
Escoamento total (Q) Escoamento superficial (Qr) Escoamento subterrâneo (Qs)	$Q = R = 978,8\ mm$ $Qr/Q = 0,70 \therefore Qr = 685,2\ mm$ $Qs/Q = 0,30 \therefore Qs = 293,6\ mm$		
BACIA DO RIO TIBIRI			
Propriedades dos elementos de drenagem	densidade textural: baixa a média angularidade: baixa a média sinuosidade: mistos tropia : tridirecional assimetria: fraca a nula anomalia: não há caracterização bem definida de anomalias padrão de drenagem: transição entre o retangular - angular e o dentrítico		
Morfometria	$A = 112,7\ km^2$ $P = 42,2\ km$ $Kc = 0,28P/\sqrt{A} = 1,11$	$L = 13,0\ km$ $Kf = A/L^2 = 0,67$	$Im = 1,15\%$ $Hm = 67\ m$ $Lb = 13,9\ km$ $Rr = Hm/Lb = 4,82\ m/km$
Litologia	Cobertura areno-argilosa sobre ou derivada de sedimentos da Formação Itapecuru (Cretáceo). Isozonas 2,0/3,0 - Petroplintitos derivados da Formação Barreiras		
Solos	Predomínio do podzólico vermelho-amarelo concrecionário e plintossolo concrecionário, ambos textura média e textura média/argilosa, plíntica. São profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa no horizonte B. O horizonte B é espesso, quase sempre superior a 1,00m.		
Cobertura vegetal/Uso do solo	Floresta secundária mista e mangues. Distrito industrial.		
Escoamento total (Q) Escoamento superficial (Qr) Escoamento subterrâneo (Qs)	$Q = R = 978,8\ mm$ $Qr/Q = 0,70 \therefore Qr = 685,2\ mm$ $Qs/Q = 0,30 \therefore Qs = 293,6\ mm$		

(Continuação) TABELA 5.3 - ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

BACIA DO RIACHO DOS CACHORROS			
Propriedades dos elementos de drenagem	densidade textural: baixa a média angularidade: baixa sinuosidade: mistos tropia : tridirecional assimetria: fraca a nula anomalia: não há caracterização bem definida de anomalias padrão de drenagem: transição entre o retangular - angular e o dentrítico		
Morfometria	$A = 62,6\ km^2$ $P = 36,6\ km$ $Kc = 0,28P/\sqrt{A} = 1,26$	$L = 9,8\ km$ $Kf = A/L^2 = 0,65$ $Im = 1,30\%$	$Hm = 59\ m$ $Lb = 10,1\ km$ $Rr = Hm/Lb = 5,84\ m/km$
Litologia	Cobertura areno-argilosa sobre ou derivada de sedimentos da Formação Itapecuru (Cretáceo). Isozonas 3,0 - Petroplintitos derivados da Formação Barreiras Isozonas 3,0 - sedimentos areno-argilosos, siltosos, conglomeráticos, de cor róseo avermelhada, ferruginizados, pouco consolidados.		
Solos	Predomínio do latossolo amarelo textura média. Secundariamente podzólico vermelho-amarelo textura média/argilosa plíntica. São profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa no horizonte B. O horizonte B é espesso, quase sempre superior a 1,00m.		
Cobertura vegetal/Uso do solo	Mangue. Distrito industrial [planta industrial de produção de alumínio].		
Escoamento total (Q) Escoamento superficial (Qr) Escoamento subterrâneo (Qs)	$Q = R = 978,8\ mm$ $Qr/Q = 0,70 \therefore Qr = 685,2\ mm$ $Qs/Q = 0,30 \therefore Qs = 293,6\ mm$		
BACIA DO RIO BACANGA			
Propriedades dos elementos de drenagem	densidade textural: baixa angularidade: média sinuosidade: mistos tropia : multidirecional assimetria: fraca a nula anomalia: não há caracterização bem definida de anomalias padrão de drenagem: transição entre o retangular - angular e o dentrítico		
Morfometria	$A = 104,7\ km^2$ $P = 40,0\ km$ $Kc = 0,28P/\sqrt{A} = 1,09$	$L = 15,0\ km$ $Kf = A/L^2 = 0,47$ $Im = 1,08\%$	$Hm = 59\ m$ $Lb = 17,0\ km$ $Rr = Hm/Lb = 3,47\ m/km$
Litologia	Cobertura areno-argilosa sobre ou derivada de sedimentos da Formação Itapecuru (Cretáceo). Isozonas 2,0 - Plintitos e petroplintitos derivados da Formação Barreiras		
Solos	Predomínio do latossolo amarelo textura média. Secundariamente podzólico vermelho-amarelo textura média. Horizonte B latossólico, com presença de plintitos. Solos profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa no horizonte B.		
Cobertura vegetal/Uso do solo	Capoeiras baixas, mangues. Unidade de conservação. Ocupação com urbanização de baixo padrão.		
Escoamento total (Q) Escoamento superficial (Qr) Escoamento subterrâneo (Qs)	$Q = R = 978,8\ mm$ $Qr/Q = 0,70 \therefore Qr = 685,2\ mm$ $Qs/Q = 0,30 \therefore Qs = 293,6\ mm$		

(Continuação) TABELA 5.3 - ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

BACIA DO RIO PACIÊNCIA			
Propriedades dos elementos de drenagem	densidade textural: baixa angularidade: baixa sinuosidade: mistos tropia : multidirecional assimetria: fraca a nula anomalia: não há caracterização bem definida de anomalias padrão de drenagem: transição entre o retangular - angular e o dentrítico		
Morfometria	$A = 146,8\ km^2$ $P = 61,3\ km$ $Kc = 0,28P/\sqrt{A} = 1,42$	$L = 21,0\ km$ $Kf = A/L^2 = 0,33$ $Im = 1,28\%$	$Hm = 67\ m$ $Lb = 23,8\ km$ $Rr = Hm/Lb = 2,82\ m/km$
Litologia	Cobertura areno-argilosa sobre ou derivada de sedimentos da Formação Itapecuru (Cretáceo). Isozonas 2,0 - Plintitos derivados da Formação Barreiras		
Solos	Predomínio do latossolo amarelo textura média. Secundariamente podzólico vermelho-amarelo, ambos textura média. Horizonte B latossólico, com presença de plintitos. Solos profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa no horizonte B.		
Cobertura vegetal/Uso do solo	Floresta, secundária mista, capoeiras baixas, mangues. Áreas em processo de ocupação com loteamentos sem infraestrutura urbana..		
Escoamento total (Q) Escoamento superficial (Qr) Escoamento subterrâneo (Qs)	$Q = R = 978,8\ mm$ $Qr/Q = 0,60 \therefore Qr = 587,3\ mm$ $Qs/Q = 0,40 \therefore Qs = 391,5\ mm$		
BACIA DO RIO SANTO ANTÔNIO			
Propriedades dos elementos de drenagem	densidade textural: baixa angularidade: baixa sinuosidade: mistos tropia : multidirecional assimetria: fraca a nula anomalia: não há caracterização bem definida de anomalias padrão de drenagem: transição entre o retangular - angular e o dentrítico		
Morfometria	$A = 101,1\ km^2$ $P = 55,1\ km$ $Kc = 0,28P/\sqrt{A} = 1,53$	$L = 21,5\ km$ $Kf = A/L^2 = 0,22$ $Im = 1,34\%$	$Hm = 65\ m$ $Lb = 23,0\ km$ $Rr = Hm/Lb = 2,83\ m/km$
Litologia	Cobertura areno-argilosa sobre ou derivada de sedimentos da Formação Itapecuru (Cretáceo). Isozonas 2,0 - Plintitos derivados da Formação Barreiras.		
Solos	Predomínio do latossolo amarelo textura média. Secundariamente podzólico vermelho-amarelo, textura média e textura média/argilosa plíntica. Solos profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa no horizonte B. O horizonte B é espesso, quase sempre superior a 1,00m.		
Cobertura vegetal/Uso do solo	Floresta, secundária mista, mangues. Áreas em processo de urbanização, média densidade de urbanização.		
Escoamento total (Q) Escoamento superficial (Qr) Escoamento subterrâneo (Qs)	$Q = R = 978,8\ mm$ $Qr/Q = 0,70 \therefore Qr = 685,2\ mm$ $Qs/Q = 0,30 \therefore Qs = 293,6\ mm$		

(Continuação) TABELA 5.3 - ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

BACIA DO RIO ANIL			
Propriedades dos elementos de drenagem	densidade textural: baixa angularidade: baixa sinuosidade: mistos tropia : tridirecional assimetria: fraca a nula anomalia: não há caracterização bem definida de anomalias padrão de drenagem: transição entre o retangular - angular e o dentrítico		
Morfometria	$A = 41,7\ km^2$ $P = 26,8\ km$ $Kc = 0,28P/\sqrt{A} = 1,16$	$L = 8,8\ km$ $Kf = A/L^2 = 0,54$ $Im = 0,86\%$	$Hm = 56\ m$ $Lb = 10,6\ km$ $Rr = Hm/Lb = 5,28\ m/km$
Litologia	Cobertura areno-argilosa derivada da Formação Itapecuru (Cretáceo). Plintitos derivados da Formação Barreiras Isozonas de 0,0 a 1,0 (área urbanizada)		
Solos	Predomínio do latossolo amarelo textura média. Secundariamente podzólico vermelho-amarelo, ambos textura média. Horizonte B latossólico, com presença de plintitos. Solos profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa no horizonte B.		
Cobertura vegetal/Uso do solo	Capoeiras baixas, mangues. Alta densidade de ocupação.		
Escoamento total (Q) Escoamento superficial (Qr) Escoamento subterrâneo (Qs)	$Q = R = 978,8\ mm$ $Qr/Q = 0,85 \therefore Qr = 832\ mm$ $Qs/Q = 0,15 \therefore Qs = 147\ mm$		

FONTE: Análise do autor

A partir dos valores dos escoamentos superficial e subterrâneo estimados para cada bacia (tabela 5.3), foram calculados os valores médios para a área estudada (tabela 5.4).

TABELA 5.4 - MÉDIAS DOS ESCOAMENTOS SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO

Bacia	Escoamento superficial (mm)	Escoamento subterrâneo (mm)	Área (km^2)	Percentual da área total	Escoamento superficial ponderado (mm)	Escoamento subterrâneo ponderado (mm)
Tibiri	685,2	293,6	112,7	0,182	124,7	53,4
Cachorros	685,2	293,6	62,6	0,101	69,2	29,7
Bacanga	685,2	293,6	104,7	0,169	115,8	49,6
Paciência	587,3	391,5	146,8	0,236	138,6	92,4
Santo Antônio	685,2	293,6	101,1	0,163	116,7	47,9
Anil	832,0	147,0	41,7	0,067	55,7	9,8
Jeniparana	685,2	293,6	51,5	0,082	56,2	24,1
-	-	-	621,1	1,000	**Qr = 676,9**	**Qs = 306,9**

FONTE: Análise do autor

FIG. 5.1 ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM

RIO PACIÊNCIA

RIO SANTO ANTONIO

RIO ANIL

RIO BACANGA

RIO JENIPARANA

RIO TIBIRA

RIACHO DOS CACHORROS

CONVENÇÃO

DIVISOR TOPOGRÁFICO

REDE DE DRENAGEM

FONTE: CARTAS TOPOGRÁFICAS DA DSG/SUDENE, FOLHAS SA.23-Z-A-V-I (MI 549/I, SÃO LUIS – NO, MA), SA.23-2-A-V-2 (MI 549/2, SÃO LUIS – NE, MA) E SA.23-Z-A-V-3 (MI 549/3, PERISES DE BAIXO, MA) ESCALA 1:50.000, 1979 E A IMAGEM EM PAPEL FOTOGRÁFICO DO SATÉLITE TM LANDSAT 5, WRS 220/062 WA, PASSAGEM EM 15.07.93, ESCALA 1:50.000

ESCALA: 1:50.000

FIG. 5.2 – ISODENSIDADE DE RIOS.

RIO PACIÊNCIA
RIO SANTO ANTONIO
RIO ANIL
RIO BACANGA
RIO JENIPARANA
RIO TIBIRI
RIACHO DOS CACHORROS

1,0
2,0
3,0
4,0

CONVENÇÃO

DIVISOR TOPOGRÁFICO
REDE DE DRENAGEM
ISODENSIDADE

FONTE: CARTAS TOPOGRÁFICAS DA DSG/SUDENE, FOLHAS SA.23-Z-A-V-I(MI 549/I, SÃO LUIS-NO, MA), SA.23-2-A-V-2(MI 549/2, SÃO LUIS-NE, MA)E SA.23-Z-A-V-3(MI 549/3, PERISES DE BAIXO MA) ESCALA 1:50.000, 1979 E A IMAGEM EM PAPEL FOTOGRÁFICO DO SATÉLITE TM LANDSAT 5, WRS 220/062 WA, PASSAGEM EM 15.07.93, ESCALA 1:50.000.

ESCALA : 1:50.000

6 MAPEAMENTO TEMÁTICO

O mapeamento dos recursos hídricos de uma região, integrando dados do solo e do subsolo das bacias, sintetizando-os e interpretando-os, objetivando mostrar suas potencialidades como também suas limitações de uso, pode ser considerado como um produto gerado pelo mapeamento geotécnico (SANTOS, 1989).

O objetivo pelo qual um mapa geotécnico é elaborado é que determina os elementos necessários na sua composição. No caso do mapeamento dos recursos hídricos da ilha do Maranhão o objetivo principal é a conservação dos seus mananciais.

Por questões práticas, certamente todos os dados não poderiam ser representados em uma mesma carta. Primeiramente, foram elaborados cinco documentos de detalhe para a análise e interpretação dos componentes de interesse hidrológico. Finalmente, foi elaborado um outro documento cartográfico objetivando mostrar as limitações de uso dos recursos hídricos.

Seguindo as mesmas diretrizes utilizadas na elaboração dos mapas geotécnicos, o mapeamento dos recursos hídricos se restringe aos seguintes produtos cartográficos:

- carta geológica: subsídio básico para a carta hidrogeológica;
- carta hidrogeológica: com regiões de média e alta permeabilidade, bacias hidrográficas, regiões de recarga de aqüíferos, limites de aqüíferos, flutuações dos níveis estáticos, pontos de água, zonas de ocorrência e profundidade de captação das águas subterrâneas, coeficientes hidrodinâmicos e dados de classificação das águas;

- carta de distribuição das precipitações, complementada com informações do balanço hídrico (CUSTODIO e LLAMAS, 1983; SANTOS, 1989).

Com esse material cartografado é possível conhecer-se as **potencialidades**. A limitação surge no cruzamento com as **vulnerabilidades**, onde é necessário conhecer o possível nível de comprometimento ambiental. Quanto menor a vulnerabilidade, maior o potencial de uso dos recursos hídricos da área estudada. Por outro lado, as áreas mais vulneráveis devem merecer cuidados na gestão, inclusive com o uso de legislação protetora. O resultado da análise e cruzamento destes dois fatores permite o estabelecimento do diagnóstico dos recursos hídricos, possibilitando retratar os parâmetros da oferta de água frente à vulnerabilidade do meio físico.

Buscando avaliar a vulnerabilidade dos aqüíferos da ilha do Maranhão em relação a presença de cargas contaminantes foi elaborada a carta das fontes potenciais de poluição hídrica.

Guardando a compatibilidade com as escalas de trabalho padronizadas pelo PNGC, a escala utilizada no mapeamento dos recursos hídricos da ilha do Maranhão é 1:100.000.

O mapeamento assim conduzido tem condições de contribuir para o estabelecimento da carta de uso projetado.

6.1 CARTA GEOLÓGICA

A carta geológica deve mostrar informações de interesse hidrológico, uma vez que as características geológicas têm influência sobre o armazenamento de água subterrânea e sobre o regime do escoamento dos cursos de água. No que diz a esse respeito, é de grande importância a distinção entre material inconsolidado de material consolidado (LIMA, 1986).

Com relação aos fatos essenciais de interesse hidrológico não há necessidade de figurar todos os detalhes da carta geológica propriamente dita. No caso em estudo, é suficiente delimitar as grandes unidades litológicas: formações arenosas, argilosas, conglomerados, aluviões, dunas e solos indiscriminados de mangue (FOURMARIER, 1958).

Na realidade, o pano de fundo geológico deve consistir em uma carta litológica ao invés de uma carta geológica no sentido habitual do termo. Assim, foram incluídos os seguintes dados geológicos na carta litológica da ilha do Maranhão: idade dos terrenos, natureza das formações geológicas que afloram na superfície, sua disposição estrutural, os detalhes de tipo tectônico (fraturas) no contexto geológico, suas dimensões (FOURMARIER, 1958; CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

Para ser verdadeiramente útil, a carta assim compreendida deve ser acompanhada de seções transversais litoestratigráficas, objetivando mostrar o melhor que for possível a profundidade dos terrenos, identificando os tipos de aqüíferos, suas extensões e ocorrências (FOURMARIER, 1958; ERDÉLYI e GÁLFI, 1988).

A carta litológica assim representada, construída sobre a carta topográfica, além desses dados apresentou as informações geográficas do terreno e antrópicas, sem contudo comprometer a legibilidade do documento cartográfico final.

Para o estabelecimento da base planimétrica e para a construção da carta litológica foram realizados os seguintes trabalhos de análise e síntese:

- Compilação das cartas planialtimétricas da DSG/SUDENE, folhas SA.23-Z-A-V-1 (MI-549/1, São Luis - NO, MA), SA.23-2-A-V-2 (MI-549/2, São Luis - NE, MA) e SA.23-Z-A-V-3 (MI - 549/3, Perises de Baixo, MA) escala 1:50.000, 1979; imagem em papel fotográfico do satélite TM LANDSAT 5, WRS 220/062 WA, passagem em 15.07.93, escala 1:50.000.
- Compilação das cartas planialtimétricas DSG (M.Ex)/SUDENE folhas SA.23-Z-A-II (MI-495, ALCÂNTARA-MA) e SA.23-Z-A-V (MI-549, SÃO LUIS-MA) escala 1:100.000 carta-base;
- Integração dos dados da carta geológica da Ilha do Maranhão escala 1:100.000 (GERCO/MA, 1996);
- Integração dos dados da carta geológica do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil , folha SA.23-Z-A-São Luis, escala 1:250.000 (CPRM, 1994);
- Integração dos dados da carta de uso e ocupação de solo da Ilha do Maranhão (GERCO/MA, 1993);
- Análise e interpretação da imagem em papel fotográfico do satélite TM LANDSAT 5, WRS 220/062 WA, passagem em 15.07.93, escala 1:50.000;
- Análise e interpretação da imagem em papel fotográfico do satélite SPOT, WRS 711/355, passagem em 18.08.91, escala 1:100.000;
- Análise morfoestrutural do mapa da rede de drenagem da Ilha do Maranhão, escala 1:50.000.
- Traçado de duas seções transversais obtidas da análise dos dados litoestratigráficos

Em síntese, foram realizados os trabalhos de seleção e compilação das informações geológicas, planialtimétricas, e de uso e ocupação do solo. Paralelamente a essas atividades foram localizados os lineamentos estruturais nas direções gerais NE-SW e NW-SE, revelados na análise morfoestrutural baseada na interpretação da rede hidrográfica. Em seguida, foram traçadas duas seções transversais das unidades litológicas nas direções W-E e WNW-ESE.

Para o traçado das duas seções transversais foram analisados 20 perfis litoestratigráficos, extraídos de fichas de sondagens (apêndice 13). Os dados foram obtidos do Estudo Hidrogeológico do Distrito Industrial de Itaqui - Maranhão N°. 39, do Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, folha n° 4 São Luis SE e de perfis geológicos de fichas de sondagens da CAEMA. A localização dos poços de sondagem foi realizada em coordenadas UTM e as altitudes das bocas dos poços foram estimadas com base nas cartas planialtimétricas. Os dados foram organizados em ordem numérica, por local e município, contendo as informações de cada poço e complementados com alguns dados mais recentes dos níveis estáticos, conforme constam dos apêndices 13 e 14.

6.2 CARTA DAS ISOIETAS ANUAIS

A importância da carta das isoietas anuais se revela de utilidade por ser um dos elementos responsáveis pelo controle da alimentação e renovação das águas subterrâneas nos diferentes sistemas aqüíferos.

Além disso, a representação da quantidade e distribuição das águas meteóricas sobre as bacias, ao lado do conhecimento das características geoambientais possibilita estimar-se as relações infiltração/deflúvio, de utilidade na avaliação das potencialidades hídricas.

O traçado das isoietas anuais sobre a carta-base utilizou os totais anuais pluviométricos constantes dos apêndices 1, 2 e 11, referentes as estações climatológicas de Rosário, Itapiracó, Praia do Boqueirão, Tirirical e São José de Ribamar.

Para a construção da carta das isoietas, levou-se em conta os totais anuais das alturas de precipitação, os efeitos orográficos, a morfologia das chuvas e o estudo do clima do litoral maranhense (SOUSA, 1993). Nessa carta estão incluídas informações do balanço hídrico e o número dos dias de chuva anual.

6.3 CARTA HIDROGEOLÓGICA DE PONTOS DE ÁGUA

Os diferentes tipos de mapas de águas subterrâneas mostrando pontos de água, espessuras de aqüíferos, qualidade química das águas e outras informações, podem ser consideradas como apêndices dos mapas hidrogeológicos (ERDÉLYI e GÁLFI, 1988).

O levantamento das características dos pontos de água, visando a construção desse apêndice da carta hidrogeológica da ilha do Maranhão, tem por finalidade apresentar as seguintes informações:

i) Situação das zonas hidrogeológicas explotáveis;

ii) Posição do nível estático médio;

iii) Potencial explotável (volumes de água utilizada por unidade de tempo).

Para a construção da carta de pontos de água foram utilizadas as informações hidrogeológicas do catálogo de inventário hidrogeológico do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil da CPRM (1994).

Desse catálogo foram selecionados 281 pontos de água na ilha do Maranhão (**ver** apêndice 14), com as informações julgadas de interesse aos estudos hidrogeológicos, constando os seguintes elementos:

- Identificação: local, município, proprietário, localização geográfica, período da perfuração.
- Características: profundidade do poço, níveis estático e dinâmico, vazão, rebaixamento, capacidade específica, aqüífero captado.
- Qualidade da água: resíduo seco e/ou condutividade elétrica.

Basicamente a carta de pontos de água é uma compilação da carta de zoneamento hidrogeológico e de pontos de água na escala 1:250.000 (CPRM, 1994). Assim sendo, a confecção da carta de pontos de água obedeceu a mesma sistemática adotada pela CPRM, considerando a mesma representação setorial, através de símbolos e números das características de cada poço (ou grupos de poços) de uma determinada condição hidrogeológica.

6.4 CARTA DO ESQUEMA DE OCORRÊNCIAS E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A carta do esquema de ocorrências das águas subterrâneas foi construída sobre a carta litológica, incluindo os lineamentos estruturais (fraturas) e as seções transversais, mostrando os

perfis das formações geológicas, distinguindo os terrenos permeáveis dos impermeáveis, objetivando a classificação dos aqüíferos.

A etapa seguinte constou do traçado de isolinhas dos dados da carta de pontos de água (profundidade dos poços, nível estático, vazão de explotação) sobre planos de informação transparentes (**overlays**), para definir as zonas de ocorrências das águas subterrâneas na região estudada. Para isso também foram considerados os estudos hidrogeológicos realizados por REBOUÇAS e SILVA (1972) no distrito industrial do Itaqui, na ilha do Maranhão, sendo possível estabelecer correlações.

A partir destas informações foi possível estimar a profundidade de ocorrência das águas salgadas que saturam o horizonte arenoso encontrado em torno da cota de 200 m abaixo do nível do mar (REBOUÇAS e SILVA, 1972).

O conjunto das informações obtidas permitiu a confecção da carta do esquema de ocorrências das águas subterrâneas, na qual foram incluídos os dados de classificação das águas (CPRM, 1994).

6.5 CARTA DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

A carta de recursos hídricos superficiais foi construída sobre a carta topográfica, incluindo os divisores topográficos das principais bacias hidrográficas, com a finalidade de mostrar as seguintes informações hidrológicas de superfície:

- a situação das acumulações naturais de água (lagoa de água salobra e reservatório de água doce), figurando os elementos do escoamento superficial (permanentes e intermitentes);

- a localização das zonas de média e boa permeabilidade relativa, inferidas da análise das bacias hidrográficas e do mapa de solos;
- os limites das principais bacias hidrográficas.

Também fizeram parte deste documento as informações sobre o escoamento superficial e sobre as características químicas e bacteriológicas das águas superficiais.

6.6 CARTA DAS FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO HÍDRICA

Para o reconhecimento dos distintos níveis de risco de contaminação das águas subterrâneas, o procedimento cartográfico mais comum é a utilização do mapeamento das zonas sujeitas ao desenvolvimento urbano, industrial e/ou agrícola (MONTAÑO, 1994).

Qualitativamente, a informação factível de ser avaliada, em função das fragilidades dos terrenos da ilha do Maranhão, pode ser mostrada na carta de fontes potenciais de poluição hídrica.

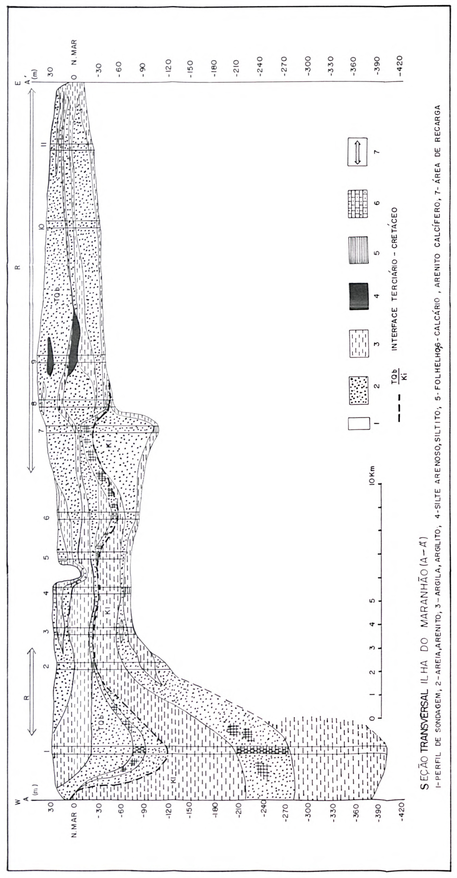
A definição de zonas representadas por áreas urbanas desprovidas de saneamento adequado, áreas de ocupação desordenada, presença de indústrias, mais ou menos poluentes, cemitérios, lixões, postos de combustível, permite dar uma idéia do risco potencial que suas cargas contaminantes representam, onde constam também os pontos de captação de água subterrânea e os mananciais de superfície que abastecem a população da ilha do Maranhão.

Para a construção da carta das fontes potenciais de poluição hídrica foram utilizadas as informações compiladas da carta de uso e ocupação do solo elaborada por TROVÃO e FERREIRA (1997).

Finalizando este capítulo, apresenta-se a seqüência de cartas utilizadas neste trabalho:

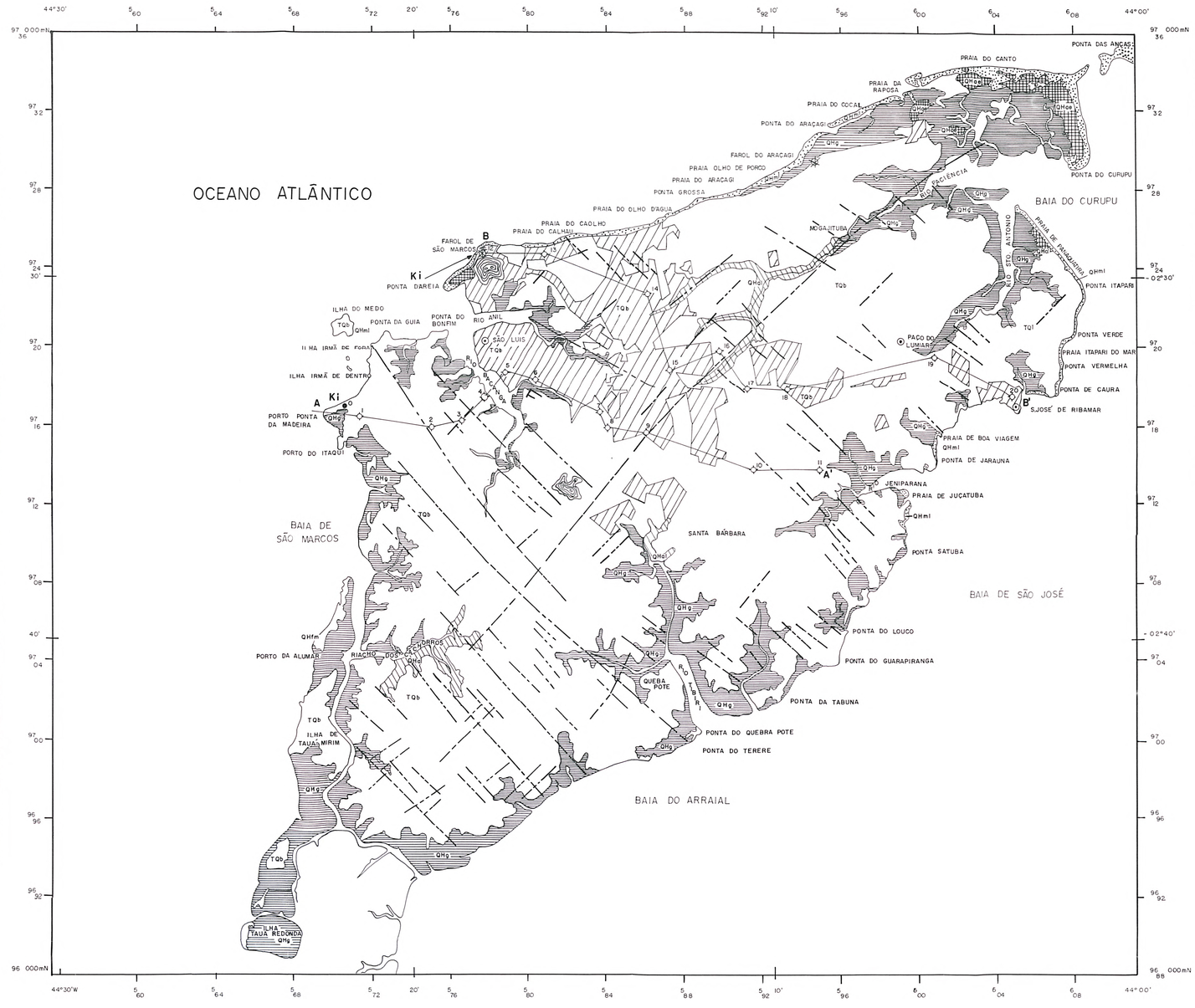
- Carta litológica (figura 6.1)
- Carta de isoietas anuais (figura 6.2)
- Carta hidrogeológica de pontos de água (figura 6.3)
- Carta do esquema de ocorrências e classificação das águas subterrâneas (figura 6.4)
- Carta dos recursos hídricos de superficie (figura 6.5)
- Carta das fontes potenciais de poluição hídrica (figura 6.6)

FIG. 6.1 — CARTA LITOLÓGICA DA ILHA DO MARANHÃO.



SEÇÃO TRANSVERSAL ILHA DO MARANHÃO (A-A')

1-PERFIL DE SONDAGEM, 2-AREIA,ARENITO, 3-ARGILA,ARGILITO, 4-SILTE ARENOSO,SILTITO, 5-FOLHELHO, 6-CALCÁRIO, ARENITO CALCÍFERO, 7-ÁREA DE RECARGA



CRONOESTRATIGRAFIA				UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		LITOLOGIA	AMBIENTE
EON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA				
FANEROZOICO	CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	FORMAÇÃO AÇUI	QHol	ALUVIÕES E COLUVIÕES FLUVIAIS E DE LEQUES TERRÍGENOS	CONTINENTAL-TRANSIÇÃO
					QHfm	AREIAS FLÚVIO-MARINHAS	
					QHoe	AREIAS EÓLICAS E DUNAS COSTEIRAS	
					QHmi	AREIAS MARINHAS LITORÂNEAS	
					QHg	LAMAS DE MANGUEZAIS COM MANGROOVES	
			PLEISTOCENO	FORMAÇÃO BARREIRAS	TQb	AREIAS ESBRANQUIÇADAS, FINAS QUARTZOSAS. ARENITO FINO, BEM ESTRATIFICADO CRUZADO, CORES AMARELADAS, ROSADA E AVERMELHADAS, FRIÁVEIS. LATERITA FERRUGINOSA - SILTITO/ARENITO LATERITIZADO. ARENITO ALARANJADO-AMARELADO MACIÇO OU ESTRATIFICADO, FRIÁVEL. LATERITA NODULAR OU COLUNAR EM MASSA DE ARENITO. ARENITO AMARELADO FINO E MÉDIO, FRIÁVEL. SILTITO/ARGILITO FINAMENTE ESTRATIFICADO E/OU INTERCALADO, CORES ARROXEADAS, CAULINICOS, POR VEZES LATERIZADOS. ARGILITOS ARROXEADOS, AMARELADOS E ESBRANQUIÇADOS INTERCALADOS OU NÃO POR SILTITOS E ARENITOS.	CONTINENTAL-TRANSIÇÃO
			NEOGENO				
			PALEOGENO				
	MESOZÓICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	FORMAÇÃO ITAPECURU	Ki	ARENITOS AMARELADO, COESOS, GRANULAÇÃO FINA, MICÁCEOS ARENITOS-SILTITOS, ALARANJADOS, CASTANHO MACIÇO, FERRUGINOSOS, MICÁCEOS. ARENITOS-SILTITOS, COR CINZA BEM ESTRATIFICADOS, INTERCALADOS, POR NÍVEIS FERRUGINOSOS. ARGILITOS-SILTITOS ESVERDEADOS COM BOLAS DE ARGILA.	CONTINENTAL-MARINHO
			INFERIOR				

LEGENDA

- FRATURA
- POÇO DE SONDAGEM
- ÁREA URBANIZADA
- CIDADE
- CAMPO DE POUSO
- FAROL NÁUTICO
- CURSO DE ÁGUA PERMANENTE
- CURSO DE ÁGUA PERIÓDICO
- LAGO, LAGOA SALGADA
- OCORRÊNCIA RESTRITA DE UNIDADE ESTRATIGRÁFICA
- AFLORAMENTO DE ROCHA AMOSTRADA
- AFLORAMENTO DESCRITO

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1976 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA

NM NG NG

18°57' -02°10'

A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 4,0' ANUALMENTE

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



ARTICULAÇÃO DA FOLHA



ESCALA 1:100.000

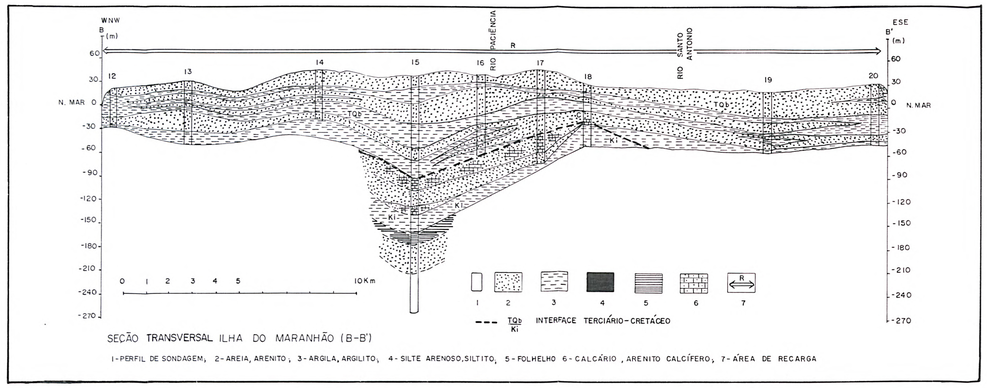
1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 QUILOMETROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM: EQUADOR E MERIDIANO 45° W.GR., ACRESCIDAS AS CONSTANTES: 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE.

DATUM VERTICAL: IMBITUBA - S.CATARINA
DATUM HORIZONTAL: SAD-69, MINAS GERAIS

1997



SEÇÃO TRANSVERSAL ILHA DO MARANHÃO (B-B')

1-PERFIL DE SONDAGEM, 2-AREIA, ARENITO, 3-ARGILA, ARGILITO, 4-SILTE ARENOSO, SILTITO, 5-FOLHELHO 6-CALCÁRIO, ARENITO CALCÍFERO, 7-ÁREA DE RECARGA

FONTES:

- CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS DSG (M.EX)/SUDENE, FOLHAS SA.23-Z-A-II (MI 495, ALCÂNTARA-MA) E SA.23-Z-A-V (MI 549, SÃO LUIS-MA) ESCALA 1:100.000, 1976, COM INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM EM PAPEL FOTOGRÁFICO DO SATÉLITE SPOT, WRS 711/355, COM PASSAGEM EM 18/08/91.
- CARTAS GEOLÓGICAS DA ILHA DO MARANHÃO, NAS ESCALAS 1:250.000 (CPRM, 1994) E 1:100.000 (GERCO/MA, 1996).
- CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA ILHA DO MARANHÃO NA ESCALA 1:100.000 (GERCO/MA, 1993).
- CARTA GEOMORFOLÓGICA DA ILHA DO MARANHÃO NA ESCALA 1:100.000 (GERCO/MA, 1993).

FIG. 6.2 – CARTA DE ISOIETAS ANUAIS – ILHA DO MARANHÃO.

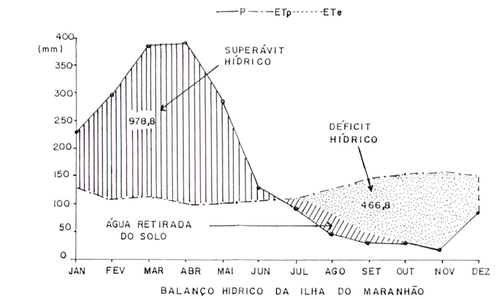
OCEANO ATLÂNTICO

BAIA DO CURRAL
PRAIA DA RAPOSA
PONTA DO ARACAGI
FAROL DO ARAÇAGI
1800
1900
PONTA GROSSA
2000
2100
RIO PACIÊNCIA
BAIA DO CURUPU
RIO SANTO ANTONIO
PONTA DE ITAPARI
PONTA VERDE
PONTA VERMELHA
FAROL DE SÃO MARCOS
PONTA D'AREIA
ILHA DO MEIO
2200
RIO ANIL
PONTA DA LAJE
RIO BACANGA
SÃO LUIS
ITAPIRACO
PAÇO DO LUMIAR
RIBAMAR
SÃO JOSÉ DE RIBAMAR
PONTA DA MADEIRA
P. DO BOQUEIRÃO
TIRIRICAL
AEROPORTO TIRIRICAL
PONTA DE JARAUNA
RIO JENIPARANA
PORTO DO ITAQUI
BAIA DE SÃO MARCOS
BAIA DE SÃO JOSÉ
PONTA SATUBA
PORTO GRANDE
PONTA DO LOUCO
PONTA DO GUARAPIRANGA
PORTO DA ALUMAR
ESTREITO DOS COQUEIROS
RIACHO DOS CANÁRIOS
RIO TIBIRI
1800
PONTA DA TABUNA
2200
1900
PONTA DO TERERE
2000
BAIA DO ARRAIAL
ILHA TAUA-MIRIM
EST. DOS MOSQUITOS
2100

560 000mE · 5 64 · 5 68 · 5 72 · 20' · 5 76 · 5 80 · 5 84 · 5 88 · 5 92 · 10' · 5 96 · 6 00 · 6 04 · 6 08 · 44°00'
97 44 · -02°20' · 97 40 · 97 36 · 97 32 · 97 28 · 97 24 · 30' · 97 20 · 97 16 · 97 12 · 97 08 · 40' · 97 04 · 97 00 · 96 96 · 96 92 · 96 88 000
5 60 000mE · 5 64 · 5 68 · 5 72 · 20' · 5 76 · 5 80 · 5 84 · 5 88 · 5 92 · 10' · 5 96 · 6 00 · 6 04 · 6 08 · 44°00' 000mN

LEGENDA

BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL MENSAL (VALORES MÉDIOS DE 23 ANOS NA ILHA DO MARANHÃO, CAPACIDADE UTILIZÁVEL = (75 mm).



BALANÇO HIDRICO DA ILHA DO MARANHÃO

MES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Nº DIAS DE CHUVA	14	20	23	24	23	17	12	6	3	2	3	6	153

▽ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.

2000 ISOLINHA DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm).

MANGUE.

CIDADE.

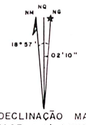
AEROPORTO.

FAROL NÁUTICO.

CURSO DE ÁGUA PERMANENTE.

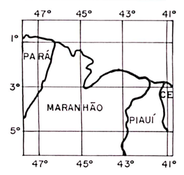
CURSO DE ÁGUA PERIÓDICO.

LAGO, LAGOA SALGADA.

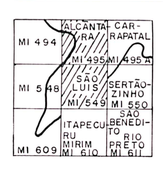


A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 4,0' ANUALMENTE

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



ARTICULAÇÃO DA FOLHA



FONTES:

- CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS DSG (M.Ex)/SUDENE, FOLHAS SA.23-Z-A-II (MI-495, ALCÂNTARA-MA) E SA.23-Z-A-V (MI-549, SÃO LUIS-MA) ESCALA 1:100.000, 1976, COM INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM EM PAPEL FOTOGRÁFICO DO SATÉLITE SPOT, WRS 711/355, COM PASSAGEM EM 18/08/91.
- MAPA DE ISOIETAS ANUAIS DA COSTA MARANHENSE NA ESCALA 1:2.000.000 (GERCO/MA, 1993).

ESCALA 1:100.000

1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 QUILOMETROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL IMBITUBA — S. CATARINA
DATUM HORIZONTAL SAD-69 — MINAS GERAIS

1997

FIG. 6.3 – CARTA HIDROGEOLÓGICA DE PONTOS DE ÁGUA – ILHA DO MARANHÃO.



LEGENDA

ZONAS HIDROGEOLÓGICAS

ÁREA DE CAPTAÇÃO POUCO PROFUNDA PARA POÇOS COM ATÉ 250 m; AQÜÍFEROS NOS SEDIMENTOS ITAPECURU, BARREIRAS E COBERTURAS ALUVIAIS; ÁGUA DE BOA QUALIDADE, REGIONALMENTE SATISFATÓRIOS PARA VAZÕES ABAIXO DE $40 m^3/h$.

ÁREA DE PREDOMINÂNCIA DE MANGUEZAIS E PLANÍCIES FLUVIAIS EM SUA MAIORIA TEMPORARIAMENTE INUNDADAS, NÃO RECOMENDADA PARA EMPREENDIMENTOS HIDROGEOLÓGICOS.

PONTOS DE ÁGUA

CLASSIFICAÇÃO

POÇO TUBULAR

CARACTERÍSTICAS

$$\text{I} \; \frac{2}{3-4} \; \frac{}{5-6}$$

I – AQÜÍFERO (Ki – ITAPECURU, Tb – BARREIRAS E QHa – ALUVIÃO),
2 – NÚMERO DE ORDEM,
3 – PROFUNDIDADE (m),
4 – NE/ND,
5 – VAZÃO (m^3/h),
6 – RESÍDUO SECO (mg/l) E/OU CE – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu mho/cm$),

QUANDO EM UM PONTO FOREM AGRUPADOS DIVERSOS POÇOS PRÓXIMOS E DA MESMA CLASSE.

$$\text{I} \; \frac{020-025}{3(6)-4(5)} \; \frac{}{5(5)-6(4)}$$

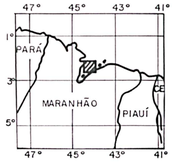
$$\text{I} \; \frac{145/162}{3-4(2)} \; \frac{}{5(2)-6}$$

ENTRE PARÊNTESES O NÚMERO DE DADOS PARA A OBTENÇÃO DA MÉDIA INDICADA.

(*)
– = a (EX.: 020 a 025)
/ = e (EX.: 145 e 162)

T = COEFICIENTE DE TRANSMISSIVIDADE
K = COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE
S = COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



ARTICULAÇÃO DA FOLHA



CIDADE
AEROPORTO
FAROL NÁUTICO
CURSO DE ÁGUA PERMANENTE
CURSO DE ÁGUA PERIÓDICO



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 4,0' ANUALMENTE

FONTES:

- CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS DSG (M.Ex.)/SUDENE, FOLHAS SA.23-Z-A-II (MI-495, ALCÂNTARA-MA) E SA.23-Z-A-V (MI-549, SÃO LUIS-MA) ESCALA 1:100.000, 1976, COM INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM EM PAPEL FOTOGRÁFICO DO SATÉLITE SPOT, WRS 711/355, COM PASSAGEM EM 18/08/91.
- CARTA DE ZONEAMENTO HIDROGEOLÓGICO E DE PONTOS DE ÁGUA NA ESCALA 1:250.000 (CPRM, 1994).

ESCALA 1:100.000

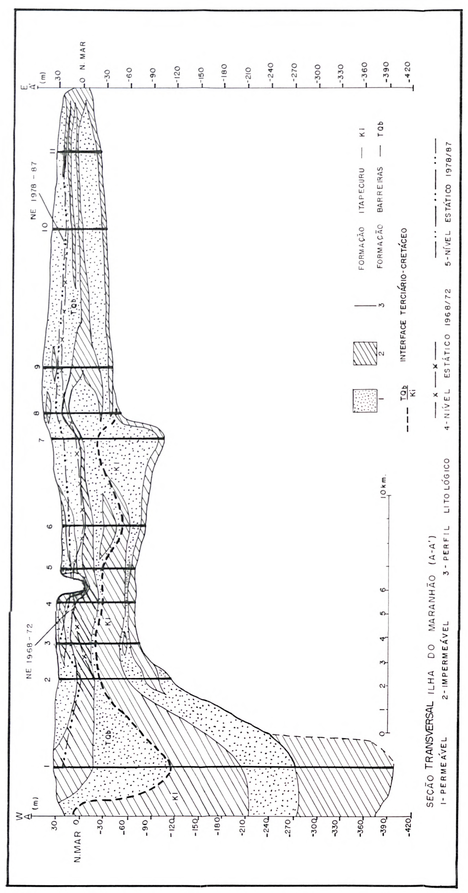
1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 QUILOMETROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL IMBITUBA – S. CATARINA
DATUM HORIZONTAL SAD-69 – MINAS GERAIS

1997

FIG. 6.4 – CARTA DO ESQUEMA DE OCORRÊNCIAS E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ILHA DO MARANHÃO



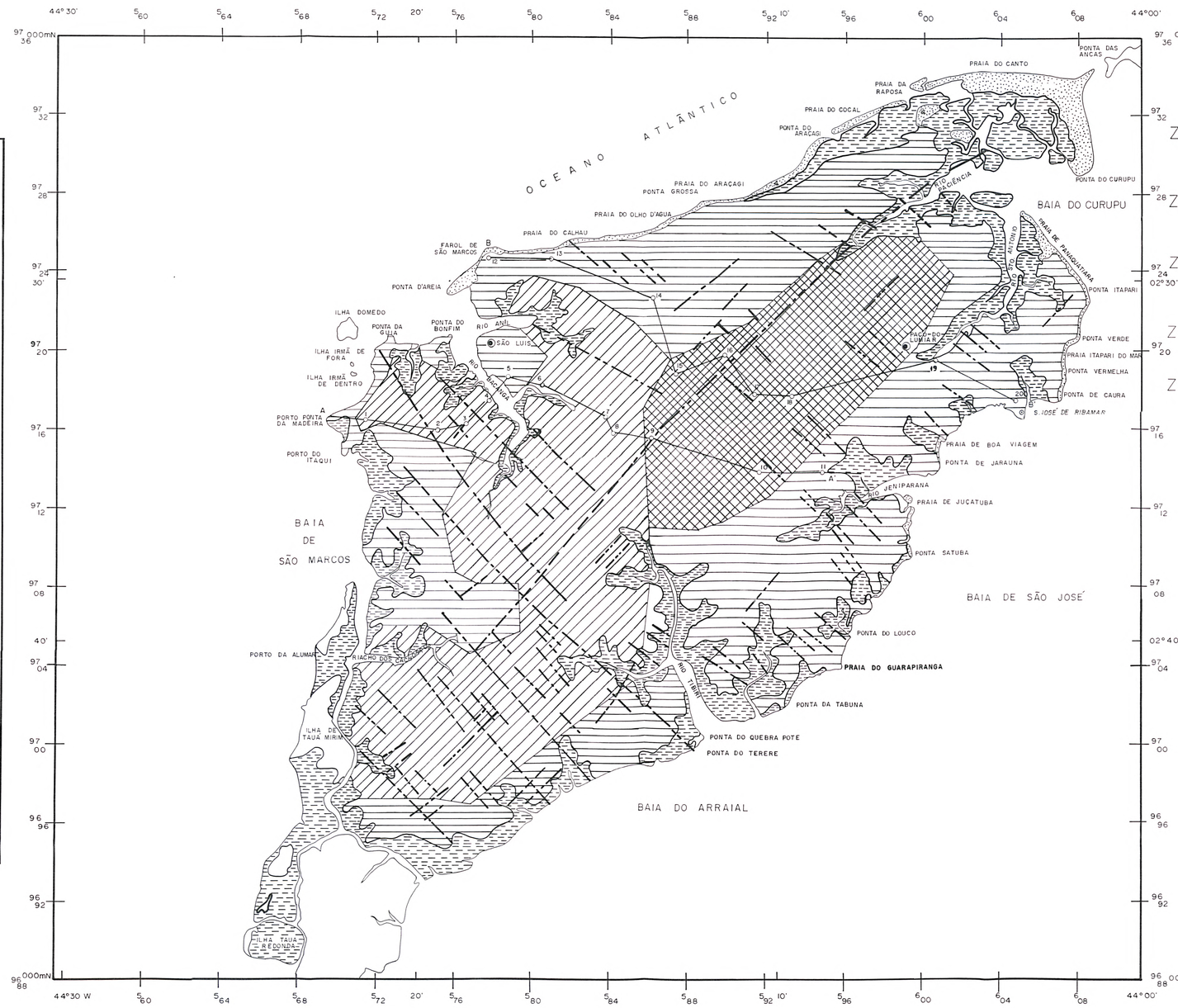
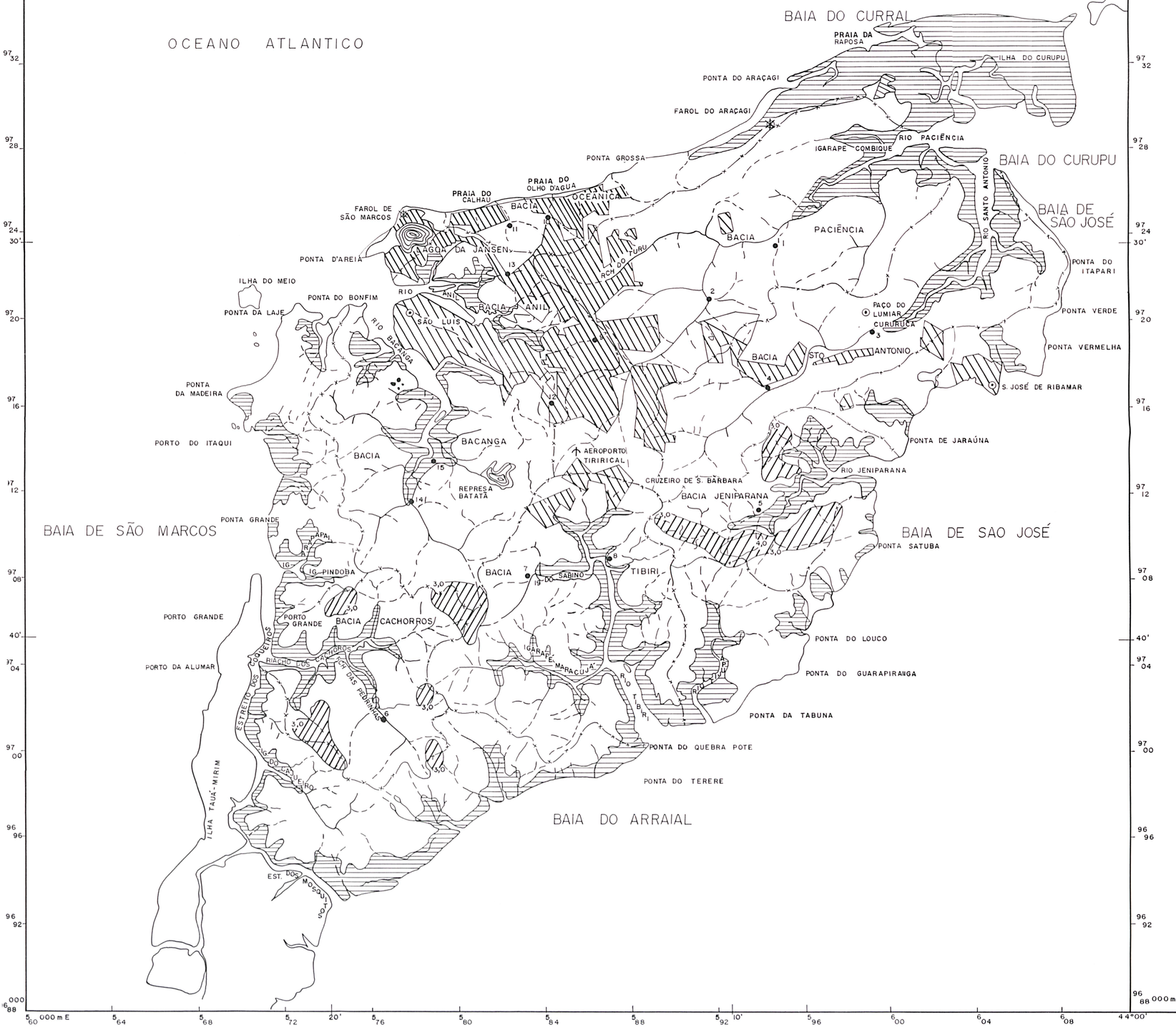

OCEANO ATLÂNTICO
BAIA DO CURUPU
BAIA DE SÃO MARCOS
BAIA DE SÃO JOSÉ
BAIA DO ARRAIAL
PONTA DAS ANCAS
PRAIA DO CANTO
PRAIA DA RAPOSA
PRAIA DO COCAL
PONTA DO ARAÇAGI
PRAIA DO ARAÇAGI
PONTA GROSSA
PONTA DO CURUPU
PRAIA DO OLHO D'AGUA
PRAIA DO CALHAU
FAROL DE SÃO MARCOS
PONTA D'AREIA
ILHA DOMEDO
PONTA DA GUIA
PONTA DO BONFIM
RIO ANIL
SÃO LUIS
ILHA IRMÃ DE FORA
ILHA IRMÃ DE DENTRO
RIO BACANGA
PORTO PONTA DA MADEIRA
PORTO DO ITAQUI
PONTA ITAPARI
PONTA VERDE
PRAIA ITAPARI DO MAR
PONTA VERMELHA
PONTA DE CAURA
S. JOSÉ DE RIBAMAR
PONTA DE BOA VIAGEM
PONTA DE JARAUNA
PRAIA DE JUCATUBA
PONTA SATUBA
PONTA DO LOUCO
PRAIA DO GUARAPIRANGA
PONTA DA TABUNA
PONTA DO QUEBRA POTE
PONTA DO TERERE
PORTO DA ALUMAR
RIACHO DOS CAVALOS
ILHA DO TAUÁ MIRIM
ILHA TAUÁ – REDONDA –
RIO TIBIRY
RIO PACANÇA
RIO SANTO ANTONIO
RIO PANDEIROS
RIO MEARIM
FAROL DE SÃO MARCOS
FAROL DE SÃO JOSÉ
FAROL DE SÃO LUIS
FAROL DE SANTANA
FAROL DE ITAPARI
FAROL DE SÃO JOSÉ DE RIBAMAR
FAROL DE SÃO JOÃO
FAROL DE SÃO PEDRO
FAROL DE SÃO PAULO
FAROL DE SÃO MIGUEL
FAROL DE SÃO FRANCISCO
FAROL DE SÃO ANTONIO
FAROL DE SÃO BENTO

FIG. 6.5 — CARTA DOS RECURSOS HÍDRICOS DE SUPERFÍCIE — ILHA DO MARANHÃO.



LEGENDA

PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DE SUPERFÍCIE

PONTO DE COLETA DA AMOSTRA/BACIA	PH	SALINIDADE (%)	CONDUTIVIDADE (ms/cm)	AMONIA (µg/l)	FOSFATO (µg/l)	NITRATO (µg/l)	NÚMERO DE COLIFORMES	USOS
● 1 RIO PACIÊNCIA	5,86	1,89	0,11	62,08	121,38	3,10	ACIMA DE 10^3/100ml	
● 2 RIO PACIÊNCIA	5,94	0,72	1,20	—	73,44	6,49		1, 2, 3, 4.
● 3 RIO STO. ANTONIO	5,69	1,6	0,08	—	31,15	125,15	ACIMA DE 10^3/100ml	1, 3, 4
● 4 RIO STO. ANTONIO	5,69	2,4	0,16	—	228,85	140,02		1, 4
● 5 RIO JENIPARANA	5,73	1,00	0,15	5,20	18,70	14,99	ACIMA DE 10^3/100 ml	1, 3, 4
● 6 RIACHO DOS CACHORROS	6,10	0,41	0,81	146,39	148,76	14,96	ACIMA DE 10^3/100ml	1, 3, 4
● 7 RIO TIBIRI	7,30	23,52	23,52	103,44	30,14	65,70	ACIMA DE 10^4/100ml	
● 8 RIO TIBIRI	7,30	16,32	28,17	56,11	26,95	87,53		1
● 9 RIO JAGUAREMA	5,30	—	0,86	60,48	8,41	142,88	ACIMA DE 10^3/100ml	
● 10 RIO PIMENTA	6,30	2,70	5,02	28,27	11,60	1834,22	ACIMA DE 10^4/100ml	1
● 11 RIO CALHAU	6,60	9,8	17,36	94,29	8,41	296,70		
● 12 RIO ANIL	6,70	8,6	1,29	251,38	105,02	—	ACIMA DE 10^4/100ml	1
● 13 RIO ANIL	7,10	—	4,91	67,64	153,54	21,81		
● 14 RIO BACANGA	6,63	7,85	17,00	—	11,40	117,88	ACIMA DE 10^4/100ml	1
● 15 RIO BACANGA	7,26	9,50	10,66	84,22	5,32	25,82		

USOS DA ÁGUA: 1 – DILUIÇÃO DE ESGOTO 2 – IRRIGAÇÃO 3 – ABASTECIMENTO 4 – DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS

MES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
ESCOAMENTO SUPERFICIAL (mm)	10,0	99,5	187,0	239,4	211,4	116,0	58,0	29,0	15,0	7,5	4,0	2,0	978,8

FONTE: GERCO/MA, 1996

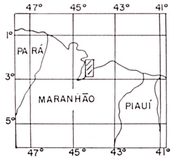
ÁREA DE PERMEABILIDADE BOA (ZONA DE ISODENSIDADE DE RIOS ABAIXO DE 3,0)

ÁREA DE PERMEABILIDADE MEDIA A BOA (ZONA DE ISODENSIDADE DE RIOS DE 3,0 A 4,0)

ÁREA URBANIZADA (ZONA DE PERMEABILIDADE BAIXA)

MANGUE (ZONA EM SUA MAIOR PARTE TEMPORARIAMENTE AFOGADA)

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



ARTICULAÇÃO DA FOLHA



DIVISOR TOPOGRÁFICO

CIDADE

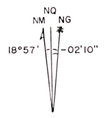
AEROPORTO

FAROL NÁUTICO

CURSO DE ÁGUA PERMANENTE

CURSO DE ÁGUA PERIÓDICO

LAGO, LAGOA SALGADA



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 4,0' ANUALMENTE

FONTES:

CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS DSG(M.EX)/SUDENE, FOLHAS SA.23-Z-A-II (MI-495, ALCÂNTARA-MA) E SA.23-Z-A-V (MI 549, SÃO LUIS – MA) ESCALA 1:100.000, 1976.

ESCALA 1:100.000

1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 QUILOMETROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM VERTICAL IMBITUBA – S. CATARINA
DATUM HORIZONTAL SAD.69 – MINAS GERAIS

1997

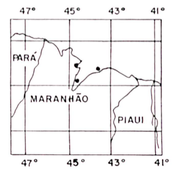
FIG. 6.6-CARTA DE FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO HÍDRICA

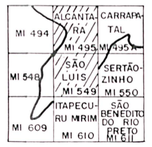


LEGENDA

FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO

- ZONA URBANA DESPROVIDA DE SANEAMENTO ADEQUADO.
- ZONA DE OCUPAÇÃO DESORDENADA.
- DISTRITO INDUSTRIAL
- INDÚSTRIAS IMPLANTADAS
- LIXÃO DESATIVADO
- LIXÃO ATIVO
- CEMITÉRIO
- POSTO DE COMBUSTÍVEL
- UNIDADE DE CONSERVAÇÃO
  - 1 — PARQUE ESTADUAL DO ITAPIRACÓ
  - 2 — PARQUE ESTADUAL DO BACANGA
  - 3 — PARQUE ECOLÓGICO DA LAGOA DA JANSEN
  - 4 — APA DA REGIÃO DO MARACANÃ





- CIDADE
- AEROPORTO
- FAROL NÁUTICO
- CURSO DE ÁGUA PERMANENTE
- CURSO DE ÁGUA PERIÓDICO
- RODOVIA
- FERROVIA
- LAGO, LAGOA

FONTES:

- CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS DSG (M.EX)/SUDENE, FOLHAS SA.23-Z-A-II (MI-495, ALCÂNTARA-MA) E SA.23-Z-A-V (MI 549, SÃO LUIS-MA), ESCALA 1:100.000, 1976, COM INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM EM PAPEL FOTOGRÁFICO DO SATÉLITE SPOT, WRS 711/355, COM PASSAGEM EM 18/08/91.
- CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA ILHA DO MARANHÃO NA ESCALA 1:100.000 (GERCO/MA, 1997).

ESCALA 1:100.000

1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 QUILOMETROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM VERTICAL IMBITUBA — S. CATARINA
DATUM HORIZONTAL SAD-69- MINAS GERAIS
1997

7 RECURSOS HÍDRICOS

Este capítulo visa a caracterização dos recursos hídricos da região objeto de estudo a partir das informações disponíveis e levantar, a nível de diagnose, os principais problemas ambientais dos mesmos. Por fim, é feita uma avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas e análise das condições de sustentabilidade hídrica da ilha do Maranhão.

7.1 RECURSOS HÍDRICOS DE SUPERFÍCIE

Os mananciais de superfície da ilha do Maranhão estão situados em zonas de pluviometria média anual entre 1.800 mm e 2.200 mm (**ver** figura 6.2). Os elementos de drenagem de que os mesmos são constituídos obedecem um traçado que se desenvolve nas direções gerais dos lineamentos estruturais NW-SE e NE-SW, evidenciando um controle por fraturas (figuras 5.1 e 6.1).

Dentre os cursos de água principais da região destacam-se os rios Anil, Bacanga, Paciência, Santo Antônio, Tibiri, Jeniparana, e dos Cachorros. Esses rios, juntamente com alguns outros cursos de água doce de menor porte, desembocam no litoral e nas áreas cobertas de manguezais, sob ação de marés de grande amplitude.

Na seqüência, a partir das informações obtidas dos estudos hidroclimatológicos, da análise das bacias hidrográficas e levantamentos de campo realizados neste estudo, foram caracterizados os recursos hídricos superficiais da ilha do Maranhão.

O rio Paciência, o de percurso mais longo, nasce nas proximidades do aeroporto do Tirirical e corre no sentido SW-NE, por uma distância aproximada de 23,8 km até desembocar na baía de São José. Esse rio tem uma bacia de drenagem de 146,8 km^2, percorrendo uma área densamente povoada do setor leste da cidade de São Luis. No seu trajeto, ele recebe os dejetos orgânicos provenientes das populações ribeirinhas e principalmente dos conjuntos habitacionais Maiobão, Cohatrac I/II/III/IV, Cohab I/II/III/IV e Cidade Operária. A recarga é favorecida pela ocorrência de terrenos porosos de baixa declividade, caracterizados por uma rede hidrográfica de escassa densidade de drenagem. O escoamento médio estimado, da ordem de 584,3 mm/ano (escoamento superficial) e 391,5 mm/ano (escoamento subterrâneo) favorece a formação do manancial subterrâneo Paciência, no setor leste da cidade de São Luis.

O rio Santo Antônio, a leste da cidade de São Luis, tem suas nascentes localizadas próximas ao conjunto Maiobão, tendo como principal afluente o rio Cururuca. Apresenta uma bacia de drenagem de 101,1 km^2 e constitui um manancial abastecedor da área do conjunto Maiobão. Seu curso principal tem 23 km de extensão, seguindo no sentido nordeste até a localidade Timbuba, daí inflete-se para o norte até desaguar na baía de São José. A recarga é favorecida pela ocorrência de terrenos porosos de baixa declividade, caracterizados por uma rede hidrográfica de escassa densidade de drenagem. O escoamento médio estimado, é da ordem de 685,2 mm/ano (escoamento superficial) e 293,6 mm/ano (escoamento subterrâneo).

O rio Jeniparana, a leste da área, tem uma bacia de drenagem da ordem de 51,5 km^2, situada em uma área rural da cidade de São Luis. Esse curso de água recebe os esgotos do conjunto Cidade Operária e após percorrer cerca de 10 km deságua na baía de São José. Os escoamentos superficial e subterrâneo anuais foram estimados em 685,2 mm e 293,6 mm, respectivamente.

O rio Tibiri localizado na área industrial, ao sul da cidade de São Luis, tem por afluentes os rios Ribeira, Maracujá, Tibirizinho e Santa Bárbara. O rio Tibiri drena uma área de 112,7 km^2 , recebendo efluentes domésticos e industriais de diferentes origens, incluindo o lixiviado do aterro do lixão do Ribeira. O curso principal se estende por 13,9 km, no sentido N-S, desaguando na baía do Arraial.

O riacho dos Cachorros localizado na área industrial, no setor sudoeste da Ilha, tem como principal afluente o riacho das Pedrinhas, cujas águas drenam uma área de 62,6 km^2. Na bacia do riacho dos Cachorros destaca-se a planta industrial do Consórcio de Alumínio do Maranhão, onde são utilizados consideráveis volumes de água para seus processos na produção de alumínio. Essa bacia, juntamente com a do Tibiri, localizadas no setor mais chuvoso da Ilha (2.200 mm/ano), têm como característica principal a sua rede de drenagem superficial que se desenvolve em terrenos fraturados.

A bacia do rio Anil com uma área de drenagem de 41,7 km^2 e cerca de 8,8 km de extensão, está localizada em um setor muito urbanizado da Ilha. Apresenta como afluentes ao curso principal os igarapés Vinhais, Jaracati e da Jansen; hoje totalmente descaracterizado e transformado em lagoa (lagoa da Jansen). O rio Anil nasce na superfície subtabular do Tirirical e corre no sentido noroeste até desembocar na baía de São Marcos. Seu canal principal corta a cidade de São Luis, recebendo seus esgotos domésticos e industriais, incluindo o lixiviado do lixão desativado do Jaracati. O escoamento superficial médio anual nesta bacia atinge valores da ordem de 832 mm.

A bacia do rio Bacanga, localizada no setor noroeste da Ilha, com cerca de 104,7 km^2 é formada pelos igarapés Bacanguinha e Coelho e pelos rios das Bicas e Batatã; este último transformado em reservatório (reservatório do Batatã), fazendo parte do sistema produtor de

São Luis. A sub-bacia do rio das Bicas, inserida no parque estadual do Bacanga, recebe os esgotos domésticos de alguns bairros de São Luis e os depositam no ambiente estuarino da barragem do Bacanga.

Além desses rios, fazendo parte da bacia oceânica norte, existem os rios Calhau, Pimenta e o manancial de superfície do Jaguarema. Esses rios, em função da urbanização, estão sendo assoreados e se encontram em franco processo de degradação.

Um estudo recente, incluindo a caracterização química e bacteriológica desses rios, abrangendo aspectos da degradação ambiental das principais bacias da ilha do Maranhão, foi realizado por MACEDO *et al.* (1996).

Utilizando 15 pontos amostrais e selecionando alguns parâmetros, a caracterização química e bacteriológica dos corpos de água da Ilha pode ser sintetizada no quadro 7.1.

QUADRO 7.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS DOS PRINCIPAIS RIOS DA ILHA DO MARANHÃO

• Ponto de amostragem * Bacia	pH	Condutividade elétrica (mS/cm)	Nitrato (µg/l)	Amônia (µg/l)	Fosfato (µg/l)	Índice de Coliformes ($N = 10^3/100$ ml)
• 1 - rio Paciência	5,86	0,11	3,10	62,08	121,38	excede 1 N
• 2 - rio Paciência	5,94	1,20	6,49	-	73,44	excede 1 N
• 3 - rio Santo Antônio	5,69	0,08	125,15	-	31,15	excede 1 N
• 4 - rio Santo Antônio	5,69	0,16	140,02	-	228,85	excede 1 N
• 5 - rio Jeniparana	5,73	0,15	14,99	5,20	18,70	excede 1 N
• 6 - riacho dos Cachorros	6,10	0,81	14,96	146,39	148,76	excede 1 N
• 7 - rio Tibiri	7,30	23,52	65,70	103,44	30,14	excede 10 N
• 8 - rio Tibiri	7,30	28,17	87,53	56,11	26,95	excede 10 N
• 9 - rio Jaguarema	5,30	0,86	142,88	60,48	8,41	excede 1 N
• 10 - rio Pimenta	6,30	5,02	1.834,22	28,27	11,02	excede 10 N
• 11 - rio Calhau	6,60	17,36	296,70	94,29	11,60	excede 10 N
• 12 - rio Anil	6,70	1,29	-	251,38	105,02	excede 10 N
• 13 - rio Anil	7,10	4,91	21,81	67,64	153,54	excede 10 N
• 14 - rio Bacanga	6,63	17,00	117,88	-	11,40	excede 10 N
• 15 - rio Bacanga	7,26	10,66	25,82	84,22	5,32	excede 10 N

FONTE: GERCO/MA, 1996

* Ver a figura 6.5

MACEDO *et al.* (1996), ao analisarem as características químicas e bacteriológicas dos principais rios da ilha do Maranhão, apresentaram os seguintes resultados:

Bacia do rio Paciência: A água na bacia do rio Paciência é levemente ácida (pH variando entre 5,86 e 5,94). A condutividade foi relativamente baixa, com os valores 0,11 e 1,20 mS/cm, mostrando que pode estar havendo grande contribuição de água doce de efluentes domésticos para o rio, ou que no momento da coleta a situação da maré era baixa. O índice de coliformes excedeu o valor de 10^3/100 ml. As concentrações de amônia (62,08 μg/l) e principalmente de fosfato (121,38 e 73,44 μg/l), em termos de nutrientes dissolvidos foram relativamente altas, refletindo o fato de que a cabeceira desta bacia recebe o lançamento maciço de esgotos **in natura,** provenientes do conjunto habitacional Maiobão, das áreas de ocupação desordenada, granjas e vários loteamentos.

Bacia do rio Santo Antônio: A água do rio Cururuca, principal afluente do rio Santo Antônio, é levemente ácida, pH igual a 5,69. A condutividade (0,08 e 0,16 mS/cm) foi baixa, evidenciando que havia pequena influência da maré no momento da coleta. O índice de coliformes excedeu o valor de 10^3/100 ml. Os resultados de nitrato (125,15 e 140,02 μg/l) e de fosfato (228,85 μg/l), indicaram que ao menos o ponto 4, à montante, deve estar recebendo grande contribuição de esgotos **in natura** e outros efluentes domésticos dos conjuntos habitacionais, principalmente da Cidade Operária, e de áreas de ocupação desordenada e granjas.

Bacia do rio Jeniparana: O pH da água do rio Jeniparana mostrou-se levemente ácido (5,73) e a condutividade (0,15 mS/cm) foi relativamente baixa. O índice de coliformes excedeu o valor de 10^3/100 ml. As concentrações de amônia (5,20 μg/l), nitrato (14,99 μg/l) e fosfato

foram baixas e demonstraram que o rio Jeniparana provavelmente ainda mantém algumas características limnológicas naturais.

Bacia do riacho dos Cachorros: A água do riacho das Pedrinhas, principal afluente do riacho dos Cachorros, é levemente ácida pH igual a 6,1. A condutividade (0,81 mS/cm) foi relativamente alta, considerando-se que o riacho é um corpo de água doce. As concentrações de amônia (146,39 µg/l) e fosfato (148,76 µg/l) foram altas e indicam que deve haver lançamento de esgotos **in natura** e/ou outros efluentes domésticos no leito do curso de água. O índice de coliformes excedeu o valor de 10^3/100 ml.

Bacia do rio Tibiri: A bacia do rio Tibiri apresentou a água levemente básica pH igual a 7,3. A condutividade (23,52 e 28,17 mS/cm), denota grande influência das águas marinhas. Os resultados de amônia (56,11 e 103,44 µg/l), nitrato (65,70 e 87,53 µg/l) e fosfato (30,14 µg/l), juntamente com os dados de condutividade, traduzem a situação de que esta bacia é uma das que possuem maior número de indústrias, como é o caso de um curtume, um matadouro e de uma indústria de alimentos, além de depósitos de lixo, fatores que certamente estão influenciando as condições limnológicas do rio Tibiri. O índice de coliformes excedeu o valor de 10^4/100 ml.

Bacia do rio Anil: O pH da água do rio Anil variou de levemente ácido no ponto 12 (6,70) a neutro no ponto 13 (7,10). Os valores de condutividade (1,29 e 4,91 mS/cm) foram relativamente altos, mostrando a influência da água salgada. O índice de coliformes excedeu o valor de 10^4/100 ml. Devido ao fato de que toda a bacia se encontra em meio a áreas urbanizadas, recebendo uma carga excessiva de esgotos domésticos e efluentes industriais, os níveis de amônia (67,64 e 251,38 µg/l) e fosfato (105,02 e 153,54 µg/l) foram altos.

Bacia do rio Bacanga: A água no rio Bacanga apresentou o pH variando de levemente ácido no ponto 14 (6,63) a levemente básico no ponto 15 (7,26). Os valores de condutividade foram altos nos pontos de coleta, (10,66 e 17,00 mS/cm), denotando que também nesta bacia há grande influência da maré salina. No ponto 15 as concentrações de amônia (84,22 μg/l) e nitrato (25,82 μg/l) foram relativamente altas, por outro lado, a de nitrato (117,88 μg/l) foi alta no ponto 14, o que mostra um certo grau de contaminação da água mesmo em locais isolados da bacia, devido principalmente ao lançamento de esgotos domésticos no rio. O índice de coliformes excedeu o valor de 10^4/100 ml.

Bacias oceânicas: Os pontos 9, 10 e 11 que representam as bacias oceânicas apresentaram valores de pH que variaram de 5,30, no rio Jaguarema, a 6,60, no rio Calhau. Os valores de condutividade foram altos, principalmente para os rios Pimenta (5,02 mS/cm) e Calhau (17,36 mS/cm), revelando a grande influência da maré salina. Os índices de coliformes excederam os valores de 10^4/100 ml nos rios Pimenta e Calhau, enquanto que no rio Jaguarema excedeu a 10^3/100 ml. As concentrações de amônia e nitrato foram altas de maneira geral nas três bacias. Deve-se destacar os valores excepcionais para nitrato nos rios Pimenta (1.834,22 μg/l) e Calhau (296,70 μg/l). A maior concentração de amônia foi obtida no rio Calhau (94,29 μg/l) e as concentrações de fosfato variaram de 8,41 a 11,60 μg/l. Estes resultados levam a crer que nas bacias oceânicas, principalmente o rio Pimenta, estão recebendo grande carga de esgotos domésticos, que provavelmente já ultrapassaram a capacidade de autodepuração desses cursos de água.

7.2 QUADRO AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A área urbano-industrial representa a mais profunda modificação humana no quadro do ambiente costeiro da ilha do Maranhão, destacando-se dois fatores responsáveis pela grande alteração sofrida pela região nessas últimas décadas.

Em primeiro lugar, a região é um foco de povoamento, concentrando cerca de 17,8% da população maranhense em pouco menos de 0,27% da superfície do estado do Maranhão.

O segundo fator é a fragilidade do ambiente costeiro, principalmente quando se considera o risco de contaminação das águas subterrâneas.

Como reflexo desses fatores emergem dois graves problemas, que colocam em risco a disponibilidade de água para abastecimento da população da região.

O primeiro está relacionado à devastação da cobertura vegetal.

O segundo está associado à carência de uma infra-estrutura de saneamento bem desenvolvida.

A devastação da cobertura vegetal chega a ser impressionante quando se sabe que somente 6% do solo da Ilha é ocupado por áreas de proteção ambiental, enquanto que cerca de 60% foi ocupado pela área urbano-industrial, conforme se pode deduzir dos estudos de TROVÃO e FERREIRA (1993).

Segundo os dados do IBGE (1991), o espaço agrícola da ilha do Maranhão sofreu uma considerável redução de 79.685 ha (em 1970) para 8.909 ha (em 1985), conforme está mostrado no quadro 7.2.

A atrofia do espaço rural nas décadas de 70 e 80, quando se compara com o crescimento da população da ilha do Maranhão nas décadas de 50 a 90 (quadro 7.3), serve para dar uma idéia da devastação da cobertura vegetal (**ver** gráfico 7.1).

Essas cifras corroboram o fato de que o processo de ocupação do solo da Ilha vem sendo desencadeado sem obediência a um plano de gestão ambiental ou aos critérios e normas de um plano diretor, agravando o quadro de degradação das bacias e colocando em risco os ecossistemas costeiros, incluindo os mananciais que abastecem a região.

QUADRO 7.2- DISTRIBUIÇÃO DO ESPAÇO AGRÍCOLA DA ILHA DO MARANHÃO (ha)

	Área agrícola em hectares			
Ano/Município	**São Luis**	**Paço do Lumiar**	**São José de Ribamar**	**Área total**
1970	72.610	2.760	4.315	79.685
1975	35.086	2.644	5.327	43.057
1980	4.717	2.268	2.609	9.594
1985	3.428	4.038	1.443	8.909

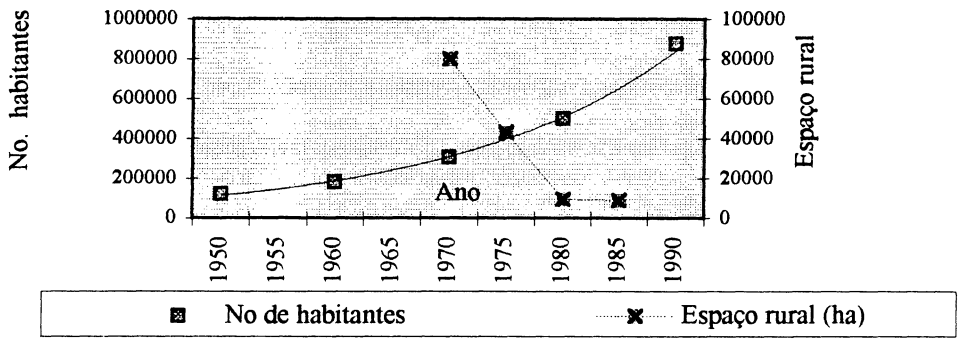
FONTE: IBGE (1991)

QUADRO 7.3 - CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO DA ILHA DO MARANHÃO

Ano	**Urbana**	**Rural**	**População**
1950	79.731	40.054	119.785
1960	130.374	48.946	179.320
1970	219.974	83.000	302.974
1980	266.970	232.564	499.534
1990	781.374	96.104	877.478

FONTE: IBGE (1991)

Gráfico 7.1- Crescimento populacional x Redução do espaço rural da ilha do Maranhão (Fonte: IBGE)



FEITOSA (1993), analisando a evolução morfogenética da ilha do Maranhão, considera que nas últimas décadas, a elevada taxa de crescimento da cidade de São Luis vem acarretando a expansão demográfica desordenada da área urbana, com reflexos extremamente negativos sobre a geomorfologia e o patrimônio natural em seu todo, contribuindo para a aceleração dos processos modeladores da paisagem e da instabilidade morfodinâmica. Ações diretas relacionadas ao intenso processo de desmatamento e urbanização da Ilha favorecem a erosão, transporte e assoreamento das calhas dos rios Anil, Bacanga, Pimenta, Jaguarema e Calhau. A destruição dos bosques de mangue por obras de retificações, drenagem, represamento, barragens, aterros, especulação imobiliária e poluição hídrica pelo lançamento de resíduos domésticos e industriais vêm degradando os corpos de água da região estudada.

MACEDO *et al.* (1996) fazendo uma abordagem sobre as condições sanitárias das bacias hidrográficas da Ilha se refere a vazão dos despejos de esgotos no rio Anil da ordem de 45.000 m^3/dia, no início dos anos 80. As projeções para o ano 2.010 apontam para um valor em torno de 180.000 m^3/dia.

No início dos anos 90 o setor de monitoramento e controle de qualidade das águas da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Maranhão identificou 165 pontos de lançamentos de esgotos **in natura** diretamente nos rios Bacanga, Anil e Paciência, com uma descarga aproximada de 5.300 l/s.

Outra fonte de contaminação para os corpos de água, tanto superficial quanto subterrâneos, é o lixo acumulado nas margens dos igarapés e nos terrenos ocupados pelos manguezais. O lixão do Jaracati, estabelecido no início dos anos 80 e desativado em meados de 1996, foi localizado em uma área de 70 ha sem contar com a infra-estrutura mínima para receber o lixo urbano da cidade de São Luis.

O lixo industrial da Ilha não sofre coleta mas grande parte é disposta a céu aberto e o lixo hospitalar não recebe tratamento diferenciado.

A bacia do rio Tibiri, localizada na área do distrito industrial, também é grandemente afetada por efluentes industriais de diferentes origens, incluindo a contribuição do lixão localizado na sub-bacia do Ribeira, sem as mínimas condições que um aterro sanitário requer.

Os resultados das análises revelaram que os rios das bacias oceânicas, Jaguarema, Calhau, Pimenta estão poluídos e sendo aterrados pela ocupação desordenada e pela urbanização.

Face a carência de uma infra-estrutura de saneamento bem desenvolvida os rios Anil, Bacanga, Paciência e Cururuca apresentaram a qualidade de suas águas comprometida, devido, principalmente, aos altos teores de nitrato, amônia, fosfato e coliformes encontrados. Os despejos de esgotos sanitários no ambiente fluvial beneficia o desenvolvimento acelerado de algas, principalmente em trechos dos rios Anil e Bacanga

7.3 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

A partir dos dados hidrogeológicos do relatório Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil-São Luis/Cururupu (CPRM,1994) e das informações geradas pelo mapeamento temático foram caracterizados os recursos hídricos subterrâneos da região.

Objetivando facilitar a análise dessas informações foi elaborado o quadro-síntese 7.4 (ver apêndices 14 e 15).

Dos dados disponíveis constatou-se que cerca de 90% dos 281 poços perfurados na ilha do Maranhão explotam o aqüífero Itapecuru, que é subaflorante em praticamente toda a área objeto desse estudo.

Para a caracterização dos sistemas aqüíferos foram delimitadas cinco zonas, de acordo com o esquema de ocorrências das águas subterrâneas (figura 6.4):

ZONA 1 - Aqüíferos confinados profundos com água doce (maiores que 100 m e/ou 150 m) em sedimentos pouco consolidados. Os aqüíferos confinados profundos (a 200 m abaixo do nível do mar) apresentam água salgada.

ZONA 2 - Aqüíferos livres e confinados profundos com água doce não a pouco consolidados. Presença de aqüíferos de boa potencialidade para captação de água subterrânea (a mais de 50 m de profundidade).

ZONA 3 - Aqüíferos livres e semiconfinados com baixa potencialidade para captação de água subterrânea. Presença de aqüíferos superficiais com água doce em calhas de drenagem e planícies fluviais.

ZONA 4 - Aqüíferos livres com água salobra e salgada em sedimentos não consolidados. Presença de aqüíferos superficiais com água doce em ambiente de água salgada.

ZONA 5 - Presença de solos indiscriminados de mangues em ambiente de água salgada não recomendável para captação de água subterrânea.

Está descrito, a seguir, resumidamente, as três unidades hidrogeológicas reconhecidas na área.

Aqüífero Itapecuru (Ki): Constitui a unidade geológica e hidrogeológica de maior importância no contexto analisado, face a sua distribuição em subsuperfície pela quase totalidade da área. Em superfície, aflora unicamente na porção oeste da ilha do Maranhão, na Ponta da Madeira e no Farol de São Marcos, estando, no restante da área, capeada por sedimentos terciários e/ou quaternários de pequena espessura. Essa unidade é constituída por arenitos sílticos, micáceos, avermelhados, estratificação plano-paralela e folhelhos avermelhados, com ocorrências de lentes de calcário areno-argiloso cinza e marrom e argilito marrom.

Em função de suas características litológicas, a Formação Itapecuru é classificada, do ponto de vista hidrogeológico, como de potencial fraco no contexto da bacia sedimentar costeira de São Luis. Todavia, para a área em estudo ela representa o principal sistema aqüífero para a captação de água subterrânea. Seu potencial hidrogeológico é classificado como satisfatório para poços com demanda de vazão inferior a 40 m^3/h e profundidades de até 200 m.

Sua recarga se faz principalmente através da infiltração direta das precipitações até a zona de saturação, e pelos rios que a drenam. Em parte, esta alimentação do aqüífero é dificultada pelos estratos lateríticos, os quais se constituem em verdadeiras barreiras semipermeáveis, fazendo com que o movimento descendente das águas seja inibido, provocando, assim, um aumento da vazão de escoamento superficial.

Os poços perfurados no aqüífero Itapecuru apresentam os seguintes parâmetros (**ver** tabela 7.4):

- A profundidade média é da ordem de 80 m; a máxima de 198 m e a mínima de 6,20 m.
- O nível estático médio é da ordem de 17 m (máximo de 51 m e mínimo de 1 m).

As características hidrodinâmicas para esse aqüífero foram determinadas, no distrito industrial do Itaqui, na ilha do Maranhão, por REBOUÇAS e SILVA (1972), em teste realizado pela CAEMA, quando foram encontradas as seguintes constantes:

- coeficiente de transmissividade (T) = 7,0 x 10^{-5} m^2/s
- coeficiente de permeabilidade (K) = 1,4 x 10^{-5} m/s
- coeficiente de armazenamento (S) = 3,5 x 10^{-2}

Aqüífero Barreiras (TQb): A litologia da Formação Barreiras é constituída, a partir da base, por arenitos pouco consolidados, vermelhos e amarelados, siltitos amarelados a ocre e folhelhos arcosianos, com o feldspato freqüentemente alterado para caulim. Nos sedimentos clásticos há ocorrências de conglomerados de matacões e blocos de arenito médio a grosso, marrom-avermelhado, quartzoso, ferruginizado. Para o topo, ocorrem areias brancas quartzosas.

Na zona Z2, portadora de água subterrânea da bacia do rio Paciência, esse aqüífero apresenta boa potencialidade, visto a alimentação direta do rio Paciência e a elevada pluviometria local.

No apêndice 14, estão registradas as características principais dos poços que explotam este aqüífero no Setor Paciência, onde verifica-se uma vazão máxima de 100 m^3/h. Informações obtidas da CAEMA, indicam que um poço perfurado nesse setor forneceu vazão de 220 m^3/h, com uma profundidade de 48 m.

Os poços perfurados no aqüífero Barreiras apresentam os seguintes parâmetros (**ver** tabela 7.4) :

- A profundidade média é da ordem de 80 m; a máxima de 161 m e a mínima de 41 m.
- O nível estático médio é da ordem de 5 m (máximo de 38 m e mínimo de 0,5 m).

Segundo o relatório da CPRM (1994), na bacia do rio Paciência há ocorrência de água mineral, evidenciada por dois poços tubulares com captação a 16 m de profundidade e vazão de 108.000 l/d. Esses poços estão localizados no município de São José de Ribamar e situados nas coordenadas 9.715.550N/595.350E.

Não se sabendo ao certo o significado que foi dado ao termo "água mineral", presume-se que o mesmo tenha sido empregado para notabilizar sua composição das outras águas captadas na região.

Aluviões: Os sedimentos quaternários ocorrem descontinuadamente na ilha do Maranhão, ocupando a planície fluvial do rio Paciência. Apresentam também importância hidrogeológica as aluviões encontradas nas pequenas calhas de drenagem próximas ao litoral, livres de influência das marés.

O nível da água é bastante variável e está sempre relacionado com a situação topográfica local, a litologia atravessada e as condições sazonais do período de observação.

Para completar a classificação das águas foi construído o quadro 7.5, com os dados compilados do relatório da CPRM (1994), constantes do apêndice 14.

QUADRO 7.4 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E HIDROQUÍMICAS DOS AQÜÍFEROS DA ILHA DO MARANHÃO

Unidade hidrogeológica	Parâmetros	Médio	Mínimo	Máximo
Aluviões	Profundidade (m)	3,35	0,70	5,45
	Nível estático (m)	-	0,10	1,30
	Vazão (m^3/h)	-	-	-
	Vazão específica ($m^3/h/m$)	-	-	-
	Rebaixamento (m)	-	1,60	6,00
	Dureza (graus franceses)	3,50	2,40	4,60
	pH	6,90	6,50	7,30
	Resíduo seco (mg/l)	46,00	46,00	46,00
	Condutividade (micro-ohm/cm)	575	150	1.000
Formação Barreiras	Profundidade (m)	80,41	40,7	161,00
	Nível estático (m)	5,19	0,50	38,2
	Vazão (m^3/h)	36,82	8,00	100,00
	Vazão específica ($m^3/h/m$)	12,364	0,864	42,854
	Rebaixamento (m)	5,90	0,48	17,63
	Dureza (graus franceses)	2,30	0,80	9,20
	pH	5,86	5,20	8,30
	Resíduo seco (mg/l)	104,00	28,00	309,00
	Condutividade (micro-ohm/cm)	237	50	1.000
Formação Itapecuru	Profundidade (m)	79,95	6,20	198,00
	Nível estático (m)	17,03	5,00	51,00
	Vazão (m^3/h)	12,00	1,00	66,00
	Vazão específica ($m^3/h/m$)	2,615	0,026	20,37
	Rebaixamento (m)	9,49	0,45	47,00
	Dureza (graus franceses)	4,93	0,16	24,00
	pH	6,95	4,90	8,92
	Resíduo seco (mg/l)	214,00	6,00	1297,00
	Condutividade (micro-ohm/cm)	257	50	2.500

FONTE: CPRM (1994)

QUADRO 7.5 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ILHA DO MARANHÃO

Aqüífero	Classe	(%)	Tipo	(%)
Itapecuru	Águas Carbonatadas	34,50	Sódicas	44,80
	Águas Cloretadas	34,50	Magnesianas Sódicas	20,70
	Águas Cloretadas Carbonatadas	22,40	Mistas	19,00
	Águas Mistas	6,90	Sódicas Cálcicas	8,60
	Águas Sulfatadas Cloretadas	1,70	Magnesianas	6,90
Barreiras	Águas Cloretadas	50,00	Magnesianas Sódicas	42,86
	Águas Cloretadas Carbonatadas	21,43	Sódicas	28,57
	Águas Sulfatadas Cloretadas	21,43	Mistas	14,29
	Águas Carbonatadas	7,14	Magnesianas	7,14
			Cálcicas Magnesianas	7,14
Aluviões	Águas Cloretadas	50,00	Sódica e mista	
	Águas Cloretadas Carbonatadas	50,00		

FONTE: CPRM (1994)

Conforme mostram os quadros 7.4 e 7.5, as análises hidroquímicas revelaram que:

- As águas são classificadas como muito moles a moles, visto que a média de dureza é de 4,93 graus franceses; 85% dos valores situam-se abaixo de 12 graus franceses e apenas 15% enquadram-se como águas algo duras a duras.
- O pH médio de 6,95 variou de 4,90 a 8,92, não mostrando tendência percentual de acidez ou alcalinidade dessas águas.
- Há equivalência entre os íons cloro e carbonato com predominância tipo sódica nas águas do aqüífero Itapecuru.
- Há uma predominância absoluta do íon cloro para as águas do aqüífero Barreiras, apresentando uma predominância dos cátions sódio e magnésio.
- Há uma predominância absoluta do íon cloro para as águas aluviais, apresentando como do tipo sódica e mista, com relação à concentração de cátions dissolvidos.
- Há ocorrências de valores extremos do resíduo seco, 6 mg/l e 1.297 mg/l, considerados como muito baixo e elevado, apesar dessas águas serem qualificadas como de baixo grau de concentração de sais dissolvidos, caracterizado pela média de 214 mg/l.
- A média da condutividade elétrica da ordem de 257 micro-ohm/cm variou entre os valores extremos de 50 e 2.500 micro-ohm/cm, em um reduzido número de amostras, o que não compromete o caráter de baixa salinidade das águas da região.
- As análises das características físicas e químicas classificam essas águas como de potabilidade boa.

7.4 RISCO DE CONTAMINAÇÃO DOS AQÜÍFEROS

A existência de zonas densamente povoadas, carentes de infra-estrutura de saneamento bem desenvolvido, e de indústrias mais ou menos poluentes em um ambiente geológico frágil, a poluição dos aqüíferos pode representar uma ameaça.

A ameaça a contaminação das águas subterrâneas se relaciona com a existência de aqüíferos não confinados, sobretudo em locais onde a zona não saturada é delgada e o lençol freático é relativamente pouco profundo. Expressivos riscos de poluição podem ocorrer inclusive onde os aqüíferos semi-confinados não possuem a espessura necessária.

Face as condições de degradação das bacias hidrográficas da Ilha, foi realizada uma avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas, em termos de probabilidade, baseado na vulnerabilidade natural dos aqüíferos.

Utilizando um critério baseado no conceito de risco de poluição das águas subterrâneas foi possível avaliar as zonas mais frágeis às cargas contaminantes de potencial relativamente alto.

O conceito de risco de poluição das águas subterrâneas, segundo FOSTER, VENTURA e HIRATA (1993), encontra significado quando se considera a interação entre dois fatores semi-independentes:

- a carga poluente que é, será ou poderá ser aplicada no solo como resultado da atividade humana;
- a vulnerabilidade natural dos aqüíferos à poluição.

Para a avaliação das zonas mais frágeis à poluição das águas subterrâneas foram utilizadas as informações das cartas geradas pelo mapeamento temático, correlacionando as

principais atividades que potencialmente geram cargas contaminantes no subsolo, onde constam também os pontos de captação de água subterrânea para o abastecimento público.

Na avaliação da vulnerabilidade natural dos aqüíferos foi utilizado o método proposto por FOSTER (1987), citado por MONTAÑO (1994), envolvendo as seguintes fases:

a - identificação do tipo de ocorrência das águas subterrâneas, segundo a faixa de valores que vai de 0 a 1;

b - caracterização do grau de consolidação da formação litológica sobre a zona saturada do aqüífero, segundo uma escala que vai de 0,4 a 1,0;

c - determinação da profundidade do lençol freático (no caso dos aqüíferos não consolidados) ou a profundidade do teto dos aqüíferos confinados, segundo uma escala que vai de 0,4 a 1,0.

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade dos aqüíferos é necessário obter os valores de **a** (da figura 6.4), **b** (da figura 6.1) e **c** (das figuras 6.3 e 6.4).

O índice de vulnerabilidade dos aqüíferos foi obtido pelo produto dos componentes indicados no esquema para avaliação da vulnerabilidade natural do aqüífero (**ver** apêndice 16).

A tabela 7.1 discrimina essa operação, referenciando as áreas avaliadas por zona de ocorrência das águas subterrâneas e por bacia, **ver** figuras 6.4 e 6.5.

TABELA 7.1 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQÜÍFEROS DA ILHA DO MARANHÃO

Zona/Bacia/Setor	Ocorrência de água subterrânea a	Substrato litológico b	Distância da água c	Índice de vulnerabilidade do aqüífero (IVA) = a.b.c
Z1/riacho dos Cachorros	confinado a = 0,3	sedimentos areno-argilosos não consolidados b = 0,7	15 m c = 0,7	BAIXO IVA = 0,2
Z2/rios Paciência e Santo Antônio (abrange as cabeceiras e a margem direita do rio Paciência)	não confinado e semi confinado a = 1,0	sedimentos areno-argilosos não consolidados b = 0,7	10 - 20 m c = 0,7	ALTO IVA = 0,5
Z3/rio Paciência-bacia oceânica norte (margem direita do rio Santo Antônio)	não confinado e semi confinado a = 1,0	sedimentos areno-argilosos não consolidados b = 0,7	15 m c = 0,7	ALTO IVA = 0,5
Z3/rio Santo Antônio setor leste da Ilha (margem direita do rio Santo Antônio)	não confinado e semi confinado a = 1,0	sedimentos areno-argilosos não consolidados b = 0,7	15 m c = 0,7	ALTO IVA = 0,5
Z3/rio Bacanga - setor oeste-noroeste da Ilha	não confinado e semi confinado a = 1,0	sedimentos areno-argilosos não consolidados b = 0,7	10 - 20 m c = 0,7	ALTO IVA = 0,5
Z3/rio Jeniparana-rio Tijupá	não confinado a = 1,0	sedimentos areno-argilosos não consolidados b = 0,7	15 m c = 0,7	ALTO IVA = 0,5
Z3/rio Tibiri	não confinado a = 1,0	sedimentos areno-argilosos não consolidados b = 0,7	15 m c = 0,7	ALTO IVA = 0,5
Z4/cordão litorâneo	não confinado a = 1,0	areias b = 0,7	< 5 m c = 1,0	EXTREMO IVA = 0,7

De acordo com as principais atividades potencialmente poluentes, tomando como referência a carta de fontes potenciais de poluição hídrica (figura 6.6), as cargas contaminantes foram consideradas:

- **Alta** - para a zona urbana com saneamento inadequado.
- **Moderada** - para o distrito industrial e zonas de ocupação desordenada.

A interação entre a carga poluente e a vulnerabilidade do aqüífero define o risco da sua poluição que permite estabelecer o impacto de tal evento no abastecimento das águas subterrâneas.

Na apreciação dos níveis de risco de poluição foi utilizado o esquema simplificado para avaliação do risco de contaminação (quadro 7.6), adaptado de FOSTER, VENTURA e HIRATA (1993).

QUADRO 7.6 - ESQUEMA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DOS AQÜÍFEROS

Índice de Vulnerabilidade dos Aqüíferos	**Carga Contaminante**			
	Baixa	Moderada	Alta	Extrema
Extrema	Moderado	Alto	Extremo	Máximo
Alta	Baixo	Alto	Alto	Extremo
Moderada	Baixo	Moderado	Alto	Alto
Baixa	Mínimo	Baixo	Baixo	Moderado

FONTE: FOSTER, VENTURA e HIRATA (1993)

A interação entre a carga poluente e a vulnerabilidade do aqüífero é que poderá definir o risco da sua poluição que permite estabelecer o impacto de tal evento no abastecimento das águas subterrâneas.

Os resultados obtidos por esse método revelaram que, praticamente, em toda a região as águas subterrâneas explotáveis correm de moderado a alto risco de serem contaminadas, caso ocorra carga contaminante de potencial moderado a elevado. Este risco está diretamente relacionado à permeabilidade superficial natural dos terrenos da Ilha, que é um fato imutável. Consequentemente, só é possível evitar uma eventual contaminação eliminando ou controlando a carga contaminante produzida pelas atividades urbano-industriais.

Correspondendo às áreas onde ocorre água subterrânea explotável em aqüífero livre, a profundidade média de 10 metros subjacente a material de boa permeabilidade por porosidade, sem atenuante de conteúdo argiloso que amorteça a infiltração de elementos poluentes dispostos na superfície ou sub-superfície do terreno, tem-se a zona Z2.

Nessa zona, face à elevada vulnerabilidade natural dos aqüíferos e às características das cargas poluentes, a ameaça mais séria a essa importante fonte produtora é a poluição potencial por nitratos.

Apesar de que os compostos de nitrogênio nos despejos sanitários não representarem um perigo tão imediato para as águas subterrâneas, há que se considerar a persistência com que os efluentes sanitários na bacia do rio Paciência venha a afetar seriamente os seus mananciais subterrâneos. Essa probabilidade é maior face a precária proteção em torno dos poços de captação, em operação ou abandonados.

A crescente tendência da densidade populacional na zona Z2, mais precisamente na bacia do rio Paciência, carente de infra-estrutura de saneamento, vai originar freqüentes incrementos na concentração de nitratos em suas águas subterrâneas. Considerando que nessa zona a pluviometria média é de 1.950 mm/ano com infiltração em torno de 780 mm/ano, contribuindo com a elevação do nível freático até o seu afloramento em vários pontos da bacia durante a estação úmida. Localmente, onde a zona não saturada é menos espessa e os sedimentos clásticos são mais permeáveis, existe a probabilidade de ocorrência de contaminação por microorganismos.

Na zona Z1, abrangendo grande parte da bacia do riacho dos Cachorros e parte da bacia do rio Tibiri, está instalado o distrito industrial. Um número crescente de indústrias e atividades, tais como cervejarias, oficinas metalmecânicas, curtume, tanques de combustível,

complexo industrial de alumínio, com freqüência tendem a localizar-se mais ou menos ao longo do divisor topográfico do rio Tibiri e riacho dos Cachorros, próximas à rodovia BR-135. A maioria dessas atividades industriais gera efluentes líquidos, tais como óleos e solventes, além de resíduos sólidos.

Ante a falta de controle, a maioria desses efluentes são lançados diretamente no solo. Com a crescente variedade e complexidade de produtos químicos sintéticos, usados pelas indústrias, algumas atividades podem representar uma séria ameaça à qualidade das águas subterrâneas locais. Essa ameaça está relacionada a ocorrência de terrenos aqüíferos onde a densidade de fraturas é o fator mais importante no fluxo subterrâneo.

A zona não saturada apresenta uma certa atenuação à poluição, entretanto a vulnerabilidade não pode por isso ser considerada baixa, no caso das bacias dos rios Tibiri e dos Cachorros, porque isso depende do grau de fraturamento dos materiais aqüíferos.

Assim como já são conhecidas as fontes mais evidentes de poluição, sabe-se também que o complexo industrial de alumínio da ALUMAR (Consórcio de Alumínio do Maranhão) faz uso de consideráveis volumes de água para seus processos, utiliza também lagoas para tratamento ou concentração de efluentes líquidos. Tais instalações, bem como lagoas de resíduos de bauxita, são teoricamente seguras, mas na prática estão sujeitas a vazamentos, como o ocorrido em julho de 1995. Este episódio envolveu o vazamento de 400 m^3 de soda cáustica de um lago de segurança da ALUMAR, numa área de aproximadamente 3.000 m^2.

Ainda com relação a contaminação das águas subterrâneas há um outro fator de risco a considerar: a intrusão salina nos aqüíferos costeiros.

O primeiro estudo que se tem notícia sobre risco de salinização em poços perfurados é devido a REBOUÇAS e SILVA (1972), apontando o setor do Itaqui na extremidade noroeste da Ilha como área propensa a intrusão salina.

Esse estudo revelou problemas, provocados pelas oscilações acentuadas dos níveis da maré, que afetaram o equilíbrio hidrostático em três poços perfurados naquele setor, localizados entre 50 e 100 m da linha das marés altas. Tendo sido observado naquela ocasião que, no caso do aqüífero livre, a flutuação do nível foi produzida pelo movimento da água salgada que penetrou no aqüífero, enquanto que no aqüífero sob pressão a flutuação foi produzida pela variação de carga a que ficou submetido o aqüífero, segundo o fluxo e refluxo das marés.

Ênfase especial deve ser dada às recomendações desses dois autores, no tocante a que se evitasse grandes abaixamentos de níveis de água dentro dos poços, considerando o perigo de contaminação que representa a existência do mar circundando, praticamente, toda aquela área.

Decorridas mais de duas décadas, a demanda de água crescente vem sendo responsável pelo rebaixamento perigoso dos níveis estáticos até próximo ao nível do mar, aumentando o risco de salinização dos poços nessas duas áreas.

Informações mais recentes indicam que os níveis estáticos em alguns pontos na região da bacia do rio Bacanga sofreram rebaixamentos da ordem de 15 a 25 metros, no período 1968-1987. Igualmente, no mesmo período, o nível estático sofreu rebaixamento de 15 metros próximo a localidade de São José de Ribamar.

À medida que os níveis estáticos forem sendo rebaixados, agravado pelas explorações desordenadas dos poços, eleva-se o risco de intrusão da água salgada nos aqüíferos costeiros situados próximos a esses dois setores.

7.5 ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

A sustentabilidade hídrica de uma bacia ou de um conjunto de bacias hidrográficas está diretamente associada à limitada disponibilidade de água, em termos de quantidade e qualidade, e à capacidade de suporte que pode oferecer às atividades humanas em geral (GONDIM FILHO, 1994). Mediante o emprego de números-índices é possível estabelecer comparações entre as seguintes variáveis-chaves:

- Potencialidade hídrica;
- Disponibilidade hídrica;
- Demanda hídrica.

Dentre as comparações mais importantes, no estudo do balanço dos recursos hídricos, destaca-se aquele que se estabelece entre as potencialidades da oferta dos recursos hídricos e as respectivas demandas. Tal comparação oferece uma primeira idéia da carência ou da abundância desses recursos. Em decorrência, fornece uma primeira visão sobre quais providências poderão ser tomadas para alcançar, em primeira aproximação, o equilíbrio amplo, pois aí se consideram, essencialmente, os usos consuntivos (GONDIM FILHO, 1994).

Segundo (GONDIM FILHO, 1994), as variáveis-chaves e os indicadores de sustentabilidade hídrica, considerados neste trabalho, são:

- Potencialidade hídrica **(Qp)** - Volume de água representado pelo escoamento médio anual passível de ocorrer, sem interferência humana, abrangendo a quantificação dos escoamentos de superfície e subterrâneo.
- Disponibilidade hídrica **(Qo)** - Parcela das potencialidades hídricas ativadas pela ação do homem, por meio de barragens, poços e outros meios de captação de água, para adequar as ofertas às necessidades ou demandas. O PLIRHINE (1980) considerou como disponibilidade máxima factível a que corresponde ao nível de ativação de 80% da disponibilidade potencial.
- Demandas hídricas **(Qd)** - Volumes de água que devem satisfazer a determinados usuários, sejam eles consuntivos ou não.
- Índice de ativação da potencialidade **(IAP)** - Representa o nível de ativação do potencial hídrico da região hidrográfica e é obtido pela relação: **Qo/Qp**. O número-índice **IAP** varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, mais ativados foram os recursos potenciais da região estudada.
- Índice de utilização da disponibilidade **(IUD)** - Representa o grau de utilização da disponibilidade e é obtido pela relação: **Qd/Qo**. Quando seu valor é menor que a unidade, significa que a disponibilidade está sendo suficiente para satisfazer a demanda e, quando é maior que a unidade, significa que a disponibilidade não está sendo suficiente para atender a demanda, existindo uma demanda reprimida, o que implica na necessidade de construção de novos reservatórios ou na perfuração de mais poços.

- Índice de utilização da potencialidade **(IUP)** - Representa o grau de utilização do potencial e é dado pela relação **Qd/Qp**. Quando mais próximo for seu valor de 0,8, mais próxima estará a região de atingir o limite máximo possível da utilização do seu potencial.

A análise destes indicadores, correspondentes à situação atual retratará a situação dos recursos hídricos da região. A análise da evolução destes indicadores, ao longo do tempo, é que retratarão a sustentabilidade dos recursos hídricos da ilha do Maranhão.

O cenário desejável, para ser atingido no futuro, pode ser simplesmente descrito através da seguinte inequação: **Demanda < Disponibilidade < Potencialidade.**

Em síntese, os padrões desejáveis de sustentabilidade hídrica podem assim ser resumidos:

- IAP < 0,8 (limitação de ordem física)
- IUD < 1 (disponibilidade excedente sobre a demanda)
- IUP << 0,8 (IUP = IAP x IUD)

7.5.1 Potencialidade Hídrica

As potencialidades hídricas são representadas pelos escoamentos médios de superfície e subterrâneo passível de ocorrer, sem interferência humana, em qualquer parte da região em estudo. Essas duas parcelas, consideradas de forma inseparável, oferecem, em conjunto, todos os elementos essenciais à quantificação das potencialidades hídricas (GONDIM FILHO, 1994).

As potencialidades hídricas são usualmente expressas em termos de volume por unidade de tempo, dependendo do tipo de problema em análise, dos dados disponíveis e do

trabalho com unidades consistentes. No caso em estudo entende-se por unidade consistente a seguinte expressão: **volume/ano (hm^3/ano) = escoamento/ano (hm/ano) x área (hm^2)**.

Na quantificação das potencialidades hídricas, admitiu-se as contribuições estimadas em 306,9 mm/ano (parcela subterrânea) e 676,9 mm/ano (parcela superficial) (**ver** tabela 5.4).

Com base nessas parcelas e na área correspondente a superfície tabular, excetuando a zona de influência flúvio-marinha, estimada em 687,3 km^2, foi possível calcular as potencialidades hídricas. Assim foram estimadas as parcelas correspondentes às contribuições de superfície (465,23 hm^3/ano) e subterrânea (210,93 hm^3/ano). A soma destas duas parcelas corresponde a potencialidade hídrica estimada em 676,16 hm^3/ano.

7.5.2 Disponibilidade Hídrica

Considerou-se como disponibilidade hídrica o volume de água que é efetivamente utilizável com determinado nível de garantia.

A correspondência com a garantia é fundamental, visto que não há sentido em se estabelecer um volume sem imputar-lhe a freqüência em que estará disponível (GONDIM FILHO, 1994).

Neste estudo, para efeito de avaliação, considerou-se que o volume disponível anual dos reservatórios situados em mananciais de superfície, corresponderia aos dois subsistemas principais do sistema produtor do município de São Luis.

Para o cálculo da disponibilidade total acrescentou-se às informações sobre os mananciais de superficie, fornecidas pela CAEMA, as informações sobre as disponibilidades de uso dos aqüíferos da ilha do Maranhão obtidas do relatório da CPRM (1994).

Face a grande dificuldade de obter-se dados de poços e mesmo sobre os mananciais de superficie, a avaliação da disponibilidade efetiva não pode ser feita com a precisão desejada devido aos principais fatores:

i) não existe cadastro completo de poços da ilha do Maranhão na CAEMA, como também na residência da CPRM em Terezina-PI;

ii) não existe banco de dados hidrológicos organizado nos diferentes órgãos públicos que tratam dos recursos hídricos no estado do Maranhão.

Os dados aqui apresentados apesar de não responderem à exigência requerida, senão aproximadamente, mas que pela sua significação compensa suas limitações.

Segundo o relatório da CPRM (1994), a vazão de explotação não é suficientemente conhecida, uma vez que o volume de água utilizado para abastecimento público, indústria e agropecuária, não apresenta controle de descarga através de bombeamento constante para determinado tempo. Apenas a CAEMA tem este controle em seus núcleos de abastecimento. De acordo com tais informações, a vazão de explotação média é da ordem de 13 m^3/h para cada poço, o que representa um total de 5.044 m^3/h para as folhas São Luis e Cururupu. Entretanto, há considerações a fazer quanto a esse número, considerando que foi feito com base numa amostragem de 281 pontos de água. Ressalte-se que, segundo a própria CPRM, o número de poços perfurados na ilha do Maranhão está em torno de 1.000 (mil).

Admitindo-se a vazão média de 13 m^3/h para todos os 1.000 poços, a vazão disponível é da ordem de 113,88 hm^3/ano.

A partir dos dados fornecidos pela CAEMA, para o ano de 1995, o sistema produtor da capital São Luis é constituído por três sub-sistemas principais:

- **Sub-sistema Sacavém** (mananciais superficial e subterrâneo) - vazão total 600 l/s ou 18,921 hm^3/ano;
- **Sub-sistema ITALUIS** (manancial de superficie do rio Itapecuru) - vazão total 3.000 l/s ou 94,608 hm^3/ano;
- **Sub-sistema Paciência** (manancial subterrâneo) - vazão total 364 l/s ou 11,479 hm^3/ano.

Considerando somente a contribuição dos mananciais de superficie, a disponibilidade de água para o município de São Luis é da ordem de 113,53 hm^3/ano.

Existem também outros dois subsistemas independentes operando no Olho d'água, manancial superficial, e conjunto habitacional Maiobão, mananciais superficial e subterrâneo. Além disso, existem poços tubulares que atingem de 80 a 140 metros de profundidade, que são utilizados como solução provisória no atendimento de áreas isoladas (Cohatrac, Cohafuma, Cohajap, Turu, Calhau).

Assim, o total de água disponível deve ficar em torno de 227,41 hm^3/ano, considerando-se as disponibilidades de uso dos aqüíferos e dos mananciais de superficie.

7.5.3 Demanda Hídrica

O estudo da demanda hídrica tem como objetivo determinar, na escala anual, as demandas de água para diversos usos, considerando o ano de 1990, bem como as demandas projetadas para os anos 2.000 e 2.010.

Atendendo a este propósito foram consideradas os seguintes tipos de demanda: populacionais urbana e rural, animal, de irrigação, de distrito industrial e ecológica.

As demandas populacionais urbana e rural foram obtidas a partir dos dados do censo demográfico do IBGE, ano 1991, a nível municipal, utilizando os coeficientes de demanda do PLIRHINE - Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil, elaborado em 1980, pela SUDENE. Esses coeficientes foram os previstos pelo PLIRHINE, para o ano de 1990. No quadro 7.7 são apresentados os referidos coeficientes.

QUADRO 7.7 COEFICIENTES DE DEMANDA HÍDRICA

Demanda	Coeficiente de demanda utilizado	
Urbana	P* ≤ 5.000	145 l/hab/dia
	5.000 < P ≤ 10.000	185 l/hab/dia
	10.000 < P ≤ 20.000	230 l/hab/dia
	20.000 < P ≤ 100.000	270 l/hab/dia
	100.000 < P ≤ 500.000	330 l/hab/dia
	P ≥ 500.000	460 l/hab/dia
Rural	-	270 l/hab/dia
Animal	-	50 l/BEDA**/dia
Irrigação	-	18.000 m^3/ha/ano com 30% de água de retorno

(*) - População urbana

(**) - BEDA = Bovinos + Bubalinos + Eqüinos + Asininos + Muares + (Ovinos + Caprinos)/5 + Suínos/4

(Compilado de Ferreira Filho, 1994)

Segundo os dados censitários de cinco décadas (quadro 7.3) e as tendências atuais observadas do crescimento populacional na ilha do Maranhão, a função que pareceu melhor se comportar para a projeção do número de habitantes para os anos 2.000 e 2.010, recaiu na função polinomial do tipo $\mathbf{Y = Ax^2 + Bx + C}$.

A função ajustada é dada pela seguinte expressão:

$$\text{habitantes} = 25.467\ x^2 + 17.417x + 55.137 \qquad (7.1)$$

onde,

x = 6 para o ano 2.000 x = 7 para o ano 2.010

Levando em conta a dinâmica urbano-industrial, a demanda populacional, a partir do ano 2.000 foi considerada urbana.

A demanda de água animal, para pecuária, corresponde ao somatório das demandas dos rebanhos de animais domésticos de médio e grande porte.

Segundo GONDIM FILHO (1994), para efeito de cálculo de demandas hídricas os efetivos pecuários são transformados em uma unidade proposta pelo PLIRHINE (1980), denominada BEDA (**) - bovinos equivalentes para demanda de água. Esta unidade agrega as projeções dos bovinos, eqüinos, ovinos, caprinos e suínos, ponderando o que cada espécie utiliza de água em relação ao bovino:

A demanda de irrigação foi obtida através dos dados de área irrigada (IBGE, 1985), igual a 41 ha, utilizando o coeficiente de demanda de 18.000 m^3/ha/ano (quadro 7.5).

No cenário tendencial considerou-se que a área irrigada e a quantidade equivalente de animais permaneceriam as mesmas.

O PLIRHINE (1990) observou que a evolução das demandas para os abastecimentos domésticos e distritos industriais apresentam ritmo de crescimento semelhantes. Dessas observações considerou-se que a demanda para o abastecimento dos distritos industriais eqüivalem a 25% da demanda para o abastecimento urbano.

Por demanda ecológica entende-se a quantidade de água mínima necessária para a manutenção da vida aquática nos rios.

A demanda ecológica foi obtida diretamente do escoamento superficial disponível, através de sua multiplicação pelo coeficiente 0,10.

Na tabela 7.2 são apresentadas as demandas hídricas.

TABELA 7.2 DEMANDA HÍDRICA NOS CENÁRIOS 1990/2000/2010 (hm^3/ano)

Cenário		1990	2000	2010
População urbana	(1)	781.374	1.076.451	1.424.939
População rural	(1)	96.104	-	-
Demanda hídrica urbana	(2)	131,19	180,74	239,25
Demanda hídrica rural	(2)	9,47	-	-
Demanda hídrica animal	(2)	0,13	0,13	0,13
Demanda hídrica irrigação	(2)	0,74	0,74	0,74
Demanda hídrica industrial	(2)	32,8	45,19	59,81
Demanda hídrica ecológica	(2)	46,52	46,52	46,52
Demanda hídrica total		220,85	273,32	346,45

BEDA = 3.260 + 620 + 528 + 193 + (440 + 875)/5 + 7959/4 = 6854 (IBGE, 1994)
Área irrigada = 41 ha (IBGE, 1985)

FONTE: (1) IBGE (1991)
(2) Quadro 7.5

7.5.4 Indicadores de Sustentabilidade Hídrica

Na análise dos indicadores de sustentabilidade hídrica ao longo do tempo, implicitamente, considerou-se que as potencialidades dos recursos hídricos se manteriam constantes. Também, considerou-se que a disponibilidade decorrente da construção de reservatórios e da perfuração de poços não seria reduzida. Esta hipótese foi revista quando se levaram em conta o alto risco de contaminação dos aqüíferos e os aspectos relacionados à degradação das bacias hidrográficas da ilha do Maranhão e do rio Itapecuru.

Utilizando os valores obtidos na avaliação das potencialidades, disponibilidades e demandas hídricas, estimados em 7.5.1, 7.5.2 e 7.5.3, pode-se determinar os índices de sustentabilidade hídrica mostrados na tabela 7.3.

TABELA 7.3 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA - IAP/IUD/IUP

Cenário	1990	2000	2010
Disponibilidade - Qo (hm^3/ano)	227,41	227,41	227,41
Potencialidade - Qp (hm^3/ano)	676,16	676,16	676,16
Demanda - Qd (hm^3/ano)	220,85	273,32	346,45
IAP = Qo/Qp	0,336	0,336	0,336
IUD = Qd/Qo	0,971	1,202	1,523
IUP = Qd/Qp	0,327	0,404	0,512

FONTE: Autor

Baseando-se nos índices de sustentabilidade hídrica, os resultados mostram que:

- os valores de IUP indicam uma tendência no sentido de atingir o limite máximo possível da utilização do seu potencial.
- o valor relativamente baixo de IAP mostra que ainda é possível aumentar a disponibilidade atual.
- os valores relativamente altos de IUD apontam a existência de uma demanda reprimida.

A primeira vista a região apresenta índices de sustentabilidade hídrica que poderiam ser consideráveis favoráveis.

Porém quando se utilizam valores médios para uma região como a ilha do Maranhão, tendo em vista a grande contribuição do rio Itapecuru para o abastecimento do município de São Luis (sistema ITALUIS), pode levar a visões distorcidas da realidade vivida na região como um todo.

Os dados disponíveis da situação atual do abastecimento de água de áreas urbanas não revelam que ainda existem localidades na ilha do Maranhão que não contam com sistemas de abastecimento de água, incluindo o recém criado município da Raposa. Isto se torna mais evidente quando se considera que mesmo em situações de anos de chuvas normais, alguns bairros de São Luis não têm satisfeitas suas necessidades de abastecimento.

A realidade é que as disponibilidades hídricas concentram-se nas proximidades dos núcleos urbanos, fazendo com que as áreas mais afastadas das infra-estruturas hídricas não tenham acesso a água, não tendo-se, por isso, uma avaliação confiável do conflito "oferta x demanda" nessas áreas, que a cada dia são ocupadas desordenadamente.

Essa realidade evidencia-se quando o índice de utilização de disponibilidade aponta a existência de uma demanda reprimida, ou seja, que a disponibilidade não está sendo suficiente para atender nem mesmo a demanda do município de São Luis.

Esta situação é mais freqüente entre a população rural da ilha do Maranhão, cujo abastecimento é realizado através de poços e cacimbas, como fonte de água para suas necessidades nem sempre satisfeitas.

Um caso que merece destaque é o da localidade da Raposa cujo abastecimento é precário, face a escassez hídrica, agravado pela deterioração das águas subterrâneas pela presença de altos teores de ferro.

Este fato serve para revelar o alto risco de contaminação dos aqüíferos costeiros e a baixa sustentabilidade hídrica desse setor da Ilha.

Como conseqüência da íntima relação existente entre sustentabilidade e vulnerabilidade há que se dar atenção para três aspectos da região estudada:

i) a poluição dos recursos hídricos de superficie;

ii) o alto risco de contaminação das águas subterrâneas em decorrência da alta vulnerabilidade natural dos aqüíferos;

iii) a baixa vulnerabilidade natural à seca.

Com relação ao primeiro aspecto, a qualidade das águas de superfície é o fator limitante para sua utilização no abastecimento doméstico. A presença, em praticamente todas as bacias, de águas superficiais com elevados índices de coliformes e altos valores salinidade diminuem as suas condições de autodepuração, conferindo um baixo padrão de sustentabilidade.

No que se refere ao segundo aspecto, especificamente com relação as águas subterrâneas, sua potencialidade representa 95% da demanda atual. Embora a sua potabilidade seja classificada como boa, existe o alto risco potencial de contaminação dos aqüíferos, resultando em um baixo padrão de vulnerabilidade.

Com relação ao terceiro aspecto, o balanço hídrico revelou que a região possui uma baixa vulnerabilidade natural à seca. Entretanto, ao se consultar os registros pluviométricos disponíveis (**ver** tabela 4.1) seria muito otimismo, rejeitar os desvios negativos, esperando que os bons índices persistam, indefinidamente, quando se conhece períodos passados como:

1914 e1915 - 2 anos seguidos com desvios negativos superiores a 500 e 1.000 mm;

1941, 1942 e 1943 - 3 anos seguidos com desvios negativos superiores a 500 e 800 mm;

1981 e 1983 - 2 anos com desvios negativos superiores a 1.000 mm.

Além desses desvios negativos nos totais pluviométricos, há indicações de que a temperatura média do ar tende a aumentar e a umidade do solo diminuir.

Corroborando esse fato, apresenta-se a seguir os dados de temperatura do ar em três estações da ilha do Maranhão, instaladas em sítios de características ambientais diferentes:

i) Estação do Tiririca: instalada nas proximidades do pátio de estacionamento do aeroporto do Tiririca.

ii) Estação da Praia do Boqueirão: instalada na área próxima ao complexo portuário da Companhia Vale do Rio Doce.

iii) Estação do Itapiracó: instalada na unidade de conservação do Parque Estadual do Itapiracó.

Comparando-se os dados das médias de temperatura do ar das estações do Tiririca (DEPV) e da Praia do Boqueirão (CVRD), avaliadas no período 1986-1991, com as normais de temperatura do ar do Itapiracó (INEMET), no período normal 1961-1990, constatam-se diferenças de até 1,7° C (**ver** tabela 7.4).

TABELA 7.4 TEMPERATURAS MÉDIAS EM TRÊS ESTAÇÕES DA ILHA DO MARANHÃO(°C)

Estação (Fonte)	Itapiracó (INEMET)	Tiririca (DEPV)	Boqueirão (CVRD)	Maior diferença
Mês	Temperatura média do ar (°C)			Temperatura (°C)
Jan	26,1	27,0	27,6	1,5
Fev	25,7	26,6	27,4	1,7
Mar	25,8	26,2	26,9	1,1
Abr	25,8	26,6	27,2	1,4
Maio	25,9	26,9	27,3	1,4
Jun	25,9	27,0	27,2	1,3
Jul	25,7	27,0	27,2	1,5
Ago	26,0	27,4	27,6	1,6
Set	26,4	27,8	28,0	1,6
Out	26,6	27,9	28,2	1,6
Nov	27,0	28,1	28,3	1,3
Dez	26,8	27,8	28,2	1,4

Face a crescente devastação da vegetação e a impermeabilização dos solos da ilha do Maranhão espera-se que a temperatura do ar aumente e a umidade do solo diminua, causando os seguintes impactos:

- aumento da evapotranspiração potencial e, consequentemente, diminuição do escoamento total.
- diminuição da recarga dos aqüíferos e aumento da erosão nas bacias, pela redução da cobertura vegetal, acarretando assoreamento dos reservatórios de água existentes, reduzindo seus volumes disponíveis e sua vida útil.

Diante dessas possibilidades, incluindo o comprometimento dos cursos de água e do alto risco de contaminação dos aqüíferos, é provável que haja redução na oferta de água na região.

Ao se considerar a hipótese de diminuição da oferta de água para abastecimento, convém assinalar a importância do sistema ITALUIS, localizado a 70 km da ilha do Maranhão, que contribui com cerca de 42% da disponibilidade total estimada para a região.

Em virtude da importância desse sistema produtor cabe fazer alguns comentários acerca da degradação da bacia do rio Itapecuru.

Segundo MACEDO *et al.* (1996), nos afluentes do rio Itapecuru e ao longo das margens do curso principal, nas proximidades da captação do sistema ITALUIS, estão sendo lançados esgotos e lixos.

Outro aspecto a ser levado em conta é o incremento de fontes potenciais de poluição por resíduos industriais.

Entre as indústrias potencialmente poluidoras da bacia do rio Itapecuru destacam-se:

- Indústrias de cimento Portland e cimento pozolâmico, na cidade de Codó;

- Indústrias de curtume, na cidade de Codó e Caxias;
- Indústrias de beneficiamento de arroz, em número de 71 na bacia, caracterizadas pela grande quantidade de cascas produzidas, aterrando córregos e áreas de drenagem natural;
- Indústrias de óleos vegetais e de álcool, que produzem efluentes líquidos bastante tóxicos;
- Indústrias siderúrgicas, responsáveis pela produção de poeiras de óxido de alumínio e de manganês.

Além do risco potencial de contaminação das águas por efluentes industriais inclue-se os provenientes da utilização de agrotóxicos.

Associada ao mau uso da terra, ao desmatamento da vegetação marginal, a aplicação de agrotóxicos de forma indiscriminada, principalmente pelos grandes projetos agropecuários, vêm comprometendo a qualidade das águas da bacia do rio Itapecuru.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos hidrológicos e o mapeamento temático, como parte integrante desta pesquisa, forneceram informações que permitiram a análise e conseqüente avaliação preliminar da sustentabilidade e vulnerabilidade, do ponto de vista hídrico, da ilha do Maranhão.

Paralelamente, os mapas mostraram onde a água pode ser encontrada, qual a sua qualidade e, de um modo aproximado, a quantidade disponível.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho são apresentados as seguintes conclusões:

i) A ilha do Maranhão, situada entre os meridianos $44^0$11'11" e $44^0$22'37" oeste e os paralelos $02^0$27'12" e $02^0$45"02" sul, abrangendo uma superfície de 907 km^2, tem um clima equatorial semi-úmido de cinco meses secos, com 150 dias de chuva. A pluviometria é caracterizada por um máximo ocorrendo entre março e abril, em torno de 400 mm, e um mínimo de 20 mm, ocorrendo em novembro.

ii) O balanço hídrico calculado estimou para o período normal de 1961-1990 os valores de 1.030,2 mm/ano para a evapotranspiração efetiva e 978,8 mm/ano para o escoamento total, com uma precipitação média de 2.009 mm/ano e para uma capacidade de campo igual a 75 mm. Adicionalmente, foi utilizado um critério geohidrometeorológico, baseado na análise das bacias hidrográficas, que permitiu chegar aos valores de 676,9 mm/ano para o escoamento superficial e 306,9 mm/ano para o escoamento subterrâneo.

iii) Nas bacias hidrográficas da ilha do Maranhão, a qualidade das águas superficiais é o fator limitante para sua utilização doméstica. Os resultados das análises químicas e

bacteriológicas dos corpos de água revelaram que os rios das bacias oceânicas e os rios Anil, Bacanga, Paciência e Cururuca apresentaram a qualidade de suas águas comprometida, devido, principalmente, aos altos teores de nitrato, amônia, fosfato e coliformes encontrados. Os valores de condutividade das águas dos rios Bacanga, Cachorros e Tibiri foram altos, evidenciando a influência das águas marinhas. A qualidade da água para o consumo humano foi considerado boa somente para o rio Jeniparana.

iv) As características das águas subterrâneas da área permitiram sua subdivisão em cinco zonas de ocorrências, conforme mostra a carta hidrogeológica da figura 6.4: ZONA Z1 - Aqüíferos confinados profundos com água doce (maiores que 100 m e/ou 150 m) em sedimentos pouco consolidados. Os aqüíferos confinados profundos (a 200 m abaixo do nível do mar) apresentam água salgada; ZONA Z2 - Aqüíferos livres e confinados profundos com água doce não a pouco consolidados. Presença de aqüíferos de boa potencialidade para captação de água subterrânea (a mais de 50 m de profundidade); ZONA Z3 - Aqüíferos livres e semiconfinados com baixa potencialidade para captação de água subterrânea. Presença de aqüíferos superficiais com água doce em calhas de drenagem e planícies fluviais; ZONA Z4 - Aqüíferos livres com água salobra e salgada em sedimentos não consolidados. Presença de aqüíferos superficiais com água doce em ambiente de água salgada; ZONA Z5 - Presença de solos indiscriminados de mangues em ambiente de água salgada não recomendável para captação de água subterrânea. Relativamente à qualidade, constatou-se que, na maioria desses aqüíferos, a água foi considerada como potável, com resíduo seco médio abaixo de 1.500 mg/l, com predominância da fácies química cloretada e do tipo sódica.

v) Os aqüíferos explotáveis da ilha do Maranhão, na zona Z1 correm moderado risco de contaminação e nas zonas Z2, Z3, e Z4 correm alto risco de serem poluídos por cargas

contaminantes provenientes da superfície. Há que se considerar também o risco de contaminação por intrusão salina nos aqüíferos próximos à costa, no setor do Itaqui/Barragem do Bacanga.

vi) O índice denominado déficit de evapotranspiração relativo (DETPR), avaliado em 0,232, indica que a Ilha é uma região de baixa vulnerabilidade a seca. Entretanto, a estação seca de 5 meses e a concentração de 50% do total da precipitação anual no período que vai de março até maio pode constituir uma situação crítica quando ocorrerem desvios pluviométricos negativos significativos no ciclo anual das chuvas.

vii) Os índices de sustentabilidade hídrica, IAP - índice de ativação de potencialidade, IUD - índice de utilização da disponibilidade e IUP - índice de utilização da potencialidade revelaram que: os valores de IUP indicaram uma tendência no sentido de atingir o limite máximo possível da utilização do seu potencial hídrico; o valor relativamente baixo de IAP mostrou a possibilidade de aumentar a disponibilidade hídrica atual; os valores relativamente altos de IUD apontaram tendência de demanda reprimida. O alto valor de IUD mostrou uma disponibilidade hídrica insuficiente para atender a demanda, o que explica, em parte, as freqüentes faltas de água em praticamente todos os bairros da cidade de São Luis. Este quadro tende a se agravar quando forem incorporadas restrições qualitativas para o uso dos recursos hídricos.

viii) A crescente devastação seguida da impermeabilização dos solos das bacias vertentes tende a causar impactos indesejáveis sobre os recursos hídricos da ilha do Maranhão, tais como: aumento da evapotranspiração potencial e conseqüente diminuição do escoamento total, resultando na redução da recarga dos aqüíferos; aumento da erosão nas bacias, pela redução da cobertura vegetal, acarretando assoreamento dos reservatórios de água existentes, reduzindo

seus volumes disponíveis e sua vida útil. A crescente degradação da qualidade das águas pelo lançamento de efluentes industriais e domésticos, aumenta a perspectiva de diminuição na potencialidade e na disponibilidade de água da ilha do Maranhão.

ix) Os resultados dos estudos mostraram que os mananciais de abastecimento de água da Ilha, incluindo o do sistema ITALUIS, correm riscos de comprometimento. E duas razões, certamente as mais graves para este comprometimento, são a devastação da vegetação e a carência de uma infra-estrutura de saneamento bem desenvolvida nas bacias hidrográficas da ilha do Maranhão e do rio Itapecuru.

A partir dessas conclusões pode-se apresentar algumas recomendações, seja para implementação de projetos futuros, seja para execução imediata.

No conjunto são recomendados dez projetos de alcance abrangente, cuja materialização representa o desafio que está posto para as universidades, grupos técnicos especializados, governantes e organizações não governamentais.

Para implementação de projetos futuros ressalta-se:

PROGRAMA	PROJETO
Pesquisa básica	• Mapa potenciométrico da ilha do Maranhão, na escala 1:100.000. Inventário rigoroso e integração de dados hidrológicos.
	• Zoneamento florestal das áreas de recarga, de trânsito e de descarga das águas subterrâneas da ilha do Maranhão.
	• Estudo detalhado das potencialidades e vulnerabilidades da bacia do rio Itapecuru.
Desenvolvimento econômico	• Reflorestamento das áreas de recarga, de trânsito e de descarga das águas subterrâneas da ilha do Maranhão.
	• Dotação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos nas bacias dos rios Anil, Bacanga, Paciência e Tibiri.
	• Coleta e tratamento seletivo do lixo urbano e industrial, com reciclagem de resíduos.
Defesa contra poluição	• Monitoração das áreas potencialmente críticas, sujeitas à poluição, junto às zonas de recarga e conservação dos aqüíferos. Diretrizes locais e legislação municipal de proteção dos aqüíferos e bacias hidrográficas.
	• Investigação de campo, com cuidadosa monitoração da qualidade das águas subterrâneas na zona do distrito industrial.

Difusão de informações

- Implantação de um subsistema de dados hidrológicos, integrante do sistema de informações do gerenciamento costeiro e difusão das informações aos usuários.
- Desenvolvimento de campanha de esclarecimento público acerca da correta utilização das águas subterrâneas, evitando desperdícios e depreciação das bacias hidrográficas e dos aqüíferos.

Entre as possíveis recomendações para aplicação prática imediata, cabe sugerir a implementação de um programa relacionado a defesa da qualidade da água e do meio ambiente.

A criação de um órgão colegiado, é aparentemente, a via mais promissora para onde podem confluir os esforços e ações de cooperação para execução de um programa conjunto para o saneamento básico, preservação, despoluição e recuperação ambiental das bacias hidrográficas da ilha do Maranhão.

Porém, a implementação de um órgão colegiado para a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente representa um desafio de natureza política. Trata-se de convencer dirigentes públicos, despertar o interesse das organizações civis e superar a inércia das instituições ligadas ao setor. Isto requer que os grupos precursores superem, eles próprios, a abordagem exclusivamente setorial ou corporativa da questão dos recursos hídricos.

Além disso, a organização de um esquema organizacional dessa natureza, representa um processo, geralmente demorado, de envolvimento e aglutinação dos atores potencialmente interessados, não pode, portanto, ser instituído de maneira burocrática e vertical, sob pena de ficar no papel.

Num primeiro momento, a busca de integração dos principais atores, por meio de amplas reuniões é o passo fundamental para o sucesso da proposta. Daí a necessidade da formação de um órgão colegiado que promova reuniões congregando os centros universitários, a Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão, as empresas de poços, os segmentos de usuários das águas e as instituições do governo. Tais reuniões visam, de um lado, a integração e a discussão de projetos específicos; por outro lado, são parte de um processo de organização dos segmentos sociais interessados que, aos poucos, irão assumir a gestão dos recursos hídricos de forma consciente e participativa.

Em um equacionamento atualizado dos problemas de gestão da qualidade da água e do meio ambiente não se pode deixar de ter em conta as experiências representativas e exemplares, englobando contribuições de utilidade.

Recentemente, o Ministério do Meio Ambiente divulgou uma lista contendo cem experiências pioneiras realizadas no território nacional, na área de gestão urbana.

Fazendo parte dessa lista há que considerar a experiência do Conselho das Águas - CONSAG, baseada na cooperação mútua, e no princípio da responsabilidade partilhada.

O modelo do Conselho das Águas da Baixada de Jacarepaguá, no estado do Rio de Janeiro, poderá, no que contém de essencial, ajustar-se ao caso da ilha do Maranhão.

Indicativa de um processo de convergência ou de prioridade comum, a experiência do CONSAG busca o diálogo com a comunidade, através de um foro democrático, o plenário.

O plenário é uma representação paritária do poder público e da sociedade civil, assim configurado:

- 4 (quatro) representantes de órgãos ligados às áreas de saneamento e do meio ambiente, nomeados pelo Governador do Estado.
- 4 (quatro) representantes de órgãos ligados às áreas de saneamento e do meio ambiente, nomeados pelo Prefeito.
- 2 (dois) representantes do Governo Federal, incluindo 1 (um) de órgão ambiental federal e 1 (um) da Caixa Econômica Federal.
- 10 (dez) membros representantes indicados pelos segmentos da sociedade civil, incluindo associações de moradores, de colônias de pescadores, de favelas, organizações governamentais ligadas ao meio ambiente, federação de indústria, sindicato da indústria da construção civil e associação de engenharia sanitária.

O CONSAG é co-presidido pelo Governador do Estado e pelo Prefeito, que decide sobre a política de gestão da qualidade da água.

No impedimento dos co-presidentes, o Secretário Executivo presidirá as sessões no Plenário.

Para melhor esclarecimento dos assuntos em debate, o CONSAG conta com a assessoria das Câmaras Técnicas Permanentes, integradas por conselheiros e especialistas em vários domínios para o estabelecimento de planos de ordenamento das bacias, abrangendo as seguintes áreas: recursos hídricos, acompanhamento de obras e projetos, desenvolvimento institucional, uso do solo e reflorestamento.

As condições de lançamento de uma política de gestão da qualidade da água e do meio ambiente na ilha do Maranhão são neste momento oportunas, pois por um lado, os problemas

já se revestem de uma certa gravidade e, por outro, tem possibilidade de se beneficiar da experiência do CONSAG, certo de que seus erros e acertos poderão contribuir para a gestão dos recursos hídricos dessa região.

APÊNDICE

ESTATÍSTICAS, QUADROS E GRÁFICOS

APÊNDICE 1 - ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS DA ESTAÇÃO DO BOQUEIRÃO (mm) (Dados Brutos) FONTE: CVRD													
Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1985	-	-	-	-	-	307,7	227,8	40,7	5,8	23,8	1,2	452,9	
1986	231,2	354,4	961,6	650,2	215,4	249,8	172,0	63,0	47,2	17,5	1,8	154,5	
1987	87,9	221,9	536,1	297,8	298,3	134,3	41,1	49,4	0	13,3	0	2,6	
1988	312,6	371,1	354,8	557,1	575,5	301,6	246,0	31,6	0	3,3	3,4	146,5	
1989	197,4	203,7	346,1	605,9	441,5	102,0	128,5	61,3	8,7	52,5	80,5	305,1	
1990	76,1	263,6	304,3	297,8	107,4	256,9	164,4	35,1	15,4	0,1	17,3	31,3	
1991	242	203,1	455,9	291,8	407,7	176,9	39,9	1,9	0,4	16	0	0	
1992	270,2	152,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1994	402,4	252,3	456,4	402	408	288,1	144,5	77,7	36,8	1,2	0,2	87,2	
1995	58,3	390,5	337,8	575	339,7	315,4	288	44,9	99,8	0,2	21,6	36,1	
1996	235,4	199,6	555,5	393,6	360,2	-	-	-	-	-	-	-	
Total	2113,5	2612,5	4308,5	4071,2	3153,7	2132,7	1452,2	405,6	214,1	127,9	126,0	1216,2	
Média	211,4	261,3	478,7	452,4	350,4	266,6	161,4	45,1	23,8	14,2	14,0	135,1	2414,2

APÊNDICE 2 - ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS MÉDIAS DA ESTAÇÃO DO TIRIRICAL (mm) FONTE: DEPV													
Período/Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1981-1992	221,8	272,7	387,1	389,9	312,6	138,5	90,0	29,3	8,3	10,9	23,5	87,1	1972,0

APÊNDICE 3 - ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS DA ESTAÇÃO DO ITAPIRACÓ (mm) (Dados Brutos) Fonte : SUDENE													
Ano/Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
1966	10,7	198,8	168,3	243,1	198,6	408,3	212,9	5,0	0	0	73,6	128,9	
1967	228,1	357,1	310,2	373,8	204,7	160,6	189,8	0	0	52,3	0	72,8	
1968	152,7	311,5	336,0	189,5	341,3	277,5	105,5	0	0	0	126,6	373,0	
1969	125,7	561,1	707,4	578,8	698,9	485,4	239,0	0	0	20,2	8,1	0	
1970	255,4	336,0	500,6	429,5	322,1	195,5	135,5	0	0	18,2	25,0	38,7	
1971	298,5	508,6	317,8	59,6	70,4	124,8	33,6	0	31,3	1,5	0	36,4	
1972	198,8	133,8	283,2	286,7	268,8	86,4	79,8	24,8	0	0	0	227,8	
1973	380,5	346,5	392,6	518,2	405,0	183,5	183,6	138,2	46,4	40,0	0	82,4	
1974	436,0	555,3	428,4	801,9	556,4	273,1	164,6	12,5	61,7	0,5	18,9	231,7	
1975	335,1	319,7	434,4	403,5	337,1	126,8	236,5	75,2	27,3	0	0	98,2	
1976	189,0	182,5	420,8	361,8	148,5	32,0	52,8	0,6	0	14,6	23,3	41,4	
1977	358,1	240,9	374,0	475,1	226,3	218,1	78,4	15,4	3,9	0	0	39,7	
1978	222,4	152,9	381,5	439,9	307,5	184,5	206,1	21,6	40,6	5,7	0	92,5	
1979	284,8	204,2	367,6	-	404,2	84,3	163,3	3,2	66,2	1,3	37,1	9,1	
1980	274,4	824,7	369,5	445,	219,8	213,6	84,3	12,1	11,8	0	1,7	2,1	
1981	75,9	161,5	350,3	-	372,3	82,0	71,6	0,7	0	0	0	139,5	
1982	303,5	477,1	356,6	468,6	142,8	119,8	11,9	20,1	8,6	2,1	11,6	1,7	
1983	21,7	243,0	156,5	249,8	49,1	76,9	2,5	1,4	0	2,4	1,2	83,2	
1984	212,7	324,1	534,2	638,6	454,6	131,8	85,8	43,4	17,5	28,1	13,2	58,5	
1985	503,7	689,6	796,9	849,2	407,0	266,4	227,9	22,4	11,7	0,5	10	204,0	
1986	343,4	371,6	732,8	749,2	173,1	225,3	155,6	21,4	23,2	37,8	1,2	33,1	
1987	104,5	278,2	689,2	184,1	333,4	131,8	32,5	53,2	0	28,0	0	0,3	
1988	366,5	539,9	339,2	430,4	406,4	190,1	313,5	81,5	0	3,0	3,2	145,7	
Soma	5682,1	8318,6	9748,0	9176,9	7048,3	4278,5	3067,0	552,7	350,2	256,2	354,7	2140,7	
Média	247,05	361,68	423,83	399,00	306,45	186,02	133,35	24,03	15,23	11,14	15,42	93,07	2.216,3

APÊNDICE 4 - ÍNDICE SAZONAL DA ESTAÇÃO DO ITAPIRACÓ

	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
1966	0,043	0,550	0,397	0,609	0,648	2,195	1,597	0,208	0	0	0,791	1,385	
1967	0,923	0,987	0,732	0,937	0,668	0,863	1,423	0	0	4,695	0	0,782	
1968	0,618	0,861	0,793	0,475	1,114	1,492	0,791	0	0	0	1,36	4,008	
1969	0,509	1,551	1,669	1,451	2,281	2,609	1,792	0	0	1,813	0,087	0	
1970	1,034	0,929	1,181	1,076	1,051	1,051	1,016	0	0	1,634	0,269	0,416	
1971	1,208	1,406	0,750	0,149	0,230	0,671	0,252	0	2,055	0,135	0	0,391	
1972	0,805	0,370	0,668	0,719	0,877	0,464	0,598	1,032	0	0	0	2,448	
1973	1,540	0,958	0,926	1,299	1,322	0,986	1,377	5,751	3,047	3,591	0	0,885	
1974	1,765	1,535	1,011	2.01	1,816	1,468	1,234	0,520	4,051	0,045	0,203	2,490	
1975	1,356	0,884	1,025	1,011	1,100	0,682	1,774	3,129	1,793	0	0	1,055	
1976	0,765	0,505	0,993	0,907	0,485	0,172	0,396	0,025	0	1,311	0,250	0,445	
1977	1,450	0,666	0,882	1,191	0,738	1,172	0,588	0,641	0,256	0	0	0,994	
1978	0,900	0,423	0,900	1,103	1,003	0,453	1,225	0,133	4,347	0,117	0,399	0,098	
1979	1,153	0,565	0,867	0	1,319	1,148	0,632	0,504	0,775	0	0,018	0,023	
1980	1,111	2,280	0,872	1,117	0,717	1,148	0,632	0,504	0,775	0	0,018	0,023	
1981	0,307	0,447	0,827	0	1,215	0,441	0,537	0,029	0	0	0	1,499	
1982	1,228	1,319	0,841	1,174	0,466	0,644	0,089	0,836	0,565	0,189	0,125	0,018	
1983	0,088	0,672	0,369	0,626	0,160	0,413	0,019	0,058	0	0,215	0,013	0,894	
1984	0,861	0,896	1,260	1,601	1,483	0,709	0,643	1,806	1,149	2,522	0,142	0,629	
1985	2,039	1,907	1,880	2.128	1,328	1,423	1,709	0,932	0,768	0,045	0,107	2,192	
1986	1,390	1,027	1,729	1,878	0,565	1,211	1,167	0,891	1,523	3,393	0,013	0,356	
1987	0,423	0,769	1,626	0,461	1,088	0,709	0,244	2,214	0	2,513	0	0,003	
1988	1,484	1,423	0,800	1,079	1,326	1,022	2,351	3,392	0	0,269	0,034	1,565	
Soma	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	22,99	23,00	3,811	23,00	
Ind. Sazonal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,17	1,00	11,17

APÊNDICE 5 - ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS DA ESTAÇÃO DE RIBAMAR (mm) (Dados Brutos) FONTE: SUDENE													
Ano/Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
1966	2,9	87,2	263,1	362,1	385	142,8	104,6	35,1	0	0	7,9	85,7	
1967	34,0	218,2	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	
1968	106,6	228,9	502	276,2	275,8	186,7	64,8	15,6	33,5	21,0	21,4	71,0	
1969	201,7	268,0	277,6	319,4	244,9	95,4	97,1	20,0	8,3	0	0	0	
1970	62,5	104,0	316,5	403,4	186,8	211,6	259,7	8,1	3,0	19,4	7,8	7,5	
1971	140,0	265,0	381,8	433,2	456,1	149,3	187,3	26,1	17,6	6,7	0	35,1	
1972	147,2	132,1	271,6	231,4	205,8	127,5	77,3	73,3	3,8	4,0	0	347,2	
1973	354,4	354,3	539,8	425,8	323,8	105,7	158,3	152,5	39,6	25,4	2	75,9	
1974	340,3	448,0	283,2	724,0	372,5	308,7	134,5	17,2	10,0	2,0	34,1	151,2	
1975	158,2	316,8	262,7	394,9	422,3	119,1	128,3	31,8	18,4	0	20	47,4	
1976	120,1	360,8	409,7	386,6	235,4	62,2	29,2	0	0	11,0	0	39,0	
1977	368,1	320,6	398,1	409,4	119,0	209,4	56,8	25,2	19,8	0	0	57,8	
1978	238,4	104,8	304,2	483,4	183,4	155,4	204,0	22,2	1,0	11,8	0	79,8	
1979	185,4	255,8	293,8	334,8	307,2	47,2	77,2	20,8	20,2	1	60,0	0	
1980	137,6	560,0	400,0	432,0	202,8	158,6	62,4	0	0	8,2	0	0	
1981	19,8	137,0	337,8	112,0	222,2	23,2	0	16,0	0	0	0	67,6	
1982	170,2	145,8	459,0	424,8	88,8	104,8	65,0				18,2		
1983	30,2	284,4	166,0	268,8	67,2	62,6	0	0	0	0	0	29,4	
1984	135,8	369,5	492,4	529,8	267,4	67,4	52,2	38,6	30,2	10,2	0	27,0	
1985	417,2	449,0	645,8	870,8	308,4	211,0	114,4	41,4	0	20,2	17,6	324,2	
1986	436,6	162,2	437,2	254,2	168,4	252,6	97,0	107,6	34	0	0	43,4	
1987	88,6	178,6	349,6	46,6	138,4	89,8	54,6	33,6	0	20,4	0	0	
1988	215,6	323,8	374,0	398,8	250,8	132,0	118,4	34,0		0	0	134,4	
Soma	4111	6075	8166	8522	5432	3023	2143	719	239	161	189	1624	
Média	178,76	264,12	371,18	387,38	246,93	137,40	97,41	32,69	11,40	7,33	8,22	73,80	1816,6

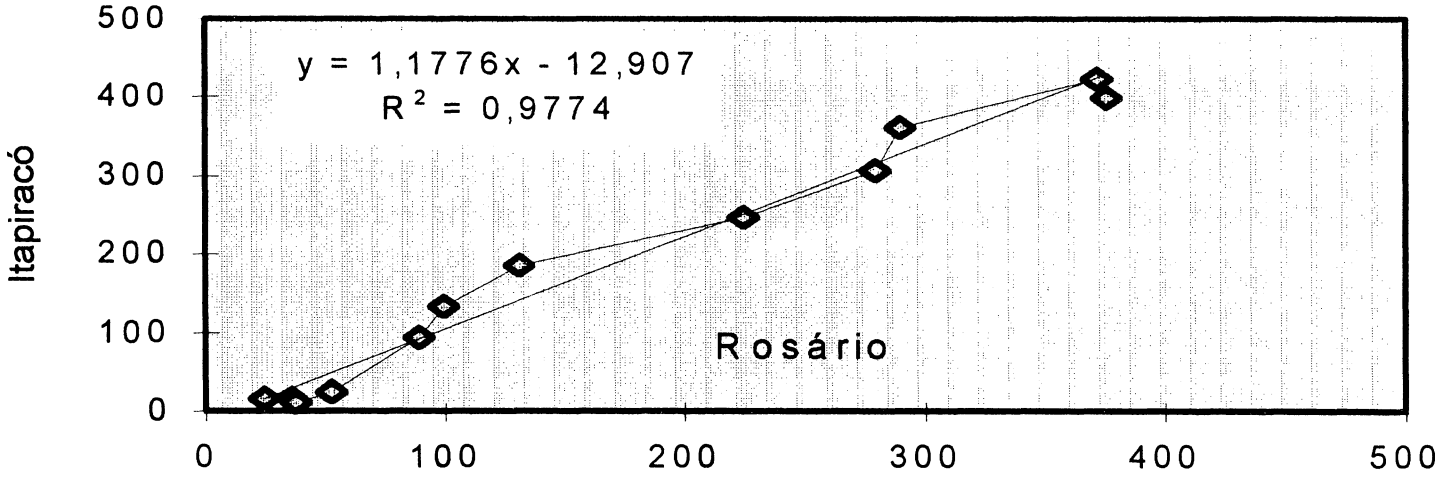
APÊNDICE 6 - ÍNDICE SAZONAL DA ESTAÇÃO DE RIBAMAR													
Ano/Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
1966	0,0162	0,3302	0,7088	0,9347	1,5591	1,0392	1,0738	1,0737	0,0000	0,0000	0,9611	1,1612	
1967	0,1902	0,8261	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1968	0,5963	0,8667	1,3524	0,7130	1,1169	1,3587	0,6652	0,4772	2,9386	2,8649	2,6034	0,9621	
1969	1,1283	1,0147	0,7479	0,8245	0,9918	0,6943	0,9968	0,6118	0,7281	0,0000	0,0000	0,0000	
1970	0,3496	0,3938	0,8527	1,0414	0,7565	1,5399	2,6661	0,2478	0,2632	2,6467	0,9489	0,1016	
1971	0,7832	1,0033	1,0286	1,1183	1,8471	1,0865	1,9228	0,7984	1,5439	0,9141	0,0000	0,4756	
1972	0,8235	0,5002	0,7317	0,5973	0,8334	0,9279	0,7936	2,2423	0,3333	0,5457	0,0000	4,7046	
1973	1,9825	1,3414	1,4543	1,0992	1,3113	0,7692	1,6251	4,6650	3,4737	3,4652	0,2433	1,0285	
1974	1,9037	1,6962	0,7630	1,8690	1,5085	2,2466	1,3808	0,5262	0,8772	0,2729	4,1484	2,0488	
1975	0,8850	1,1995	0,7077	1,0194	1,7102	0,8667	1,3171	0,9728	1,6140	0,0000	2,4331	0,6423	
1976	0,6719	1,3660	1,1038	0,9980	0,9533	0,4527	0,2998	0,0000	0,0000	1,5007	0,0000	0,5285	
1977	2,0592	1,2138	1,0725	1,0568	0,4819	1,5239	0,5831	0,7709	1,7368	0,0000	0,0000	0,7832	
1978	1,3336	0,3968	0,8195	1,2479	0,7427	1,1309	2,0942	0,6791	0,0877	1,6098	0,0000	1,0813	
1979	1,0371	0,9685	0,7915	0,8643	1,2441	0,3435	0,7925	0,6363	1,7719	0,1364	7,2993	0,0000	
1980	0,7697	2,1202	1,0776	1,1152	0,8213	1,1542	0,6406	0,0000	0,0000	1,1187	0,0000	0,0000	
1981	0,1108	0,5187	0,9101	0,2891	0,8999	0,1688	0,0000	0,4894	0,0000	0,0000	0,0000	0,9160	
1982	0,9521	0,5520	1,2366	1,0966	0,3596	0,7627	0,6673	0,0000	0,0000	0,0000	2,2141	0,0000	
1983	0,1689	1,0768	0,4472	0,6939	0,2721	0,4556	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3984	
1984	0,7597	1,3990	1,3266	1,3676	1,0829	0,4905	0,5359	1,1808	2,6491	1,3915	0,0000	0,3659	
1985	2,3339	1,7000	1,7399	2,2479	1,2489	1,5356	1,1744	1,2664	0,0000	2,7558	2,1411	4,3930	
1986	2,4424	0,6141	1,1779	0,6562	0,6820	1,8383	0,9958	3,2915	2,9825	0,0000	0,0000	0,5881	
1987	0,4956	0,6762	0,9419	0,1203	0,5605	0,6535	0,5605	1,0278	0,0000	2,7831	0,0000	0,0000	
1988	1,2061	1,2260	1,0076	1,0295	1,0157	0,9606	1,2155	1,0401	0,0000	0,0000	0,0000	1,8211	
Soma	23,000	23,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,001	21,998	21,000	22,005	22,993	22,000	
Ind.Sazonal	1,0000	1,0000	0,9565	0,9565	0,9565	0,9565	0,9566	0,9564	0,9130	0,9568	0,9997	0,9565	11,5650
Ind.corrigido	1,038	1,038	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,992	0,947	0,993	1,037	0,992	12,000

APÊNDICE 7 - ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS DA ESTAÇÃO DE ROSÁRIO (mm) (Dados Brutos) FONTE: SUDENE)													
Ano/Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
1966	69,7	433,0	362,8	384,6	331,1	120,4	119,1	43,8	30,4	0	14,2	167,9	
1967	187,3	306,1	520,1	635,7	458,9	201,3	74,9	59,5	0	7,3	0	40,5	
1968	160,5	109,9	354,4	258,5	268,6	154,1	172,6	64,9	22,1	50,8	139,5	145	
1969	222,1	244,7	354,4	469,9	358,8	209,1	168,8	125,9	48,5	42,3	54,9	22,3	
1970	154,5	305,9	348,3	435,8	291,2	109,3	184,5	45,6	54,4	13,1	63,2	111	
1971	156,2	218,0	351,9	463,7	224	301,1	206,9	63,2	34,5	454	4,4	20,7	
1972	256,8	330,2	267,1	290,9	296,3	135,0	99,8	157,5	22,2	3	2,3	229	
1973	322,9	385,5	503,1	340,3	310,6	208,8	126,4	108,2	98,4	22,7	12	90,3	
1974	400,9	218,8	334,9	422,6	439,6	169,0	35,3	97,3	134,4	47,6	3,6	379,6	
1975	253,7	422,0	385,8	351,7	278,4	148,7	219,7	38,9	49,5	52,4	34,2	62,6	
1976	354,7	285,8	382,7	403,5	325,5	91,8	30,8	57,0	17,7	0,2	11,6	78,4	
1977	369,1	309,2	312,6	382,0	420,6	121,4	60,0	14,6	11,4	0,8	32,7	78,8	
1978	194,0	271,2	462,2	340,0	240,8	117,9	117,4	40,4	41,2	67,8	5,6	22,8	
1979	129,4	150,6	260,6	200,8	142,8	86,8	7,6	9,4	0	2,0	101,1	23,2	
1980	320,4	500,2	391,0	334,5	226,6	126,2	32,0	40,1	23,0	3,6	6	10,6	
1981	127,6	175,2	327,0	178,4	226,4	34,0	38,0	28,6	0	0	3,8	91	
1982	232,4	314,0	262,0	303,0	198,8	84,2	92,0	26,4	0	8	0	10	
1983	89,1	201,7	185,8	298,9	123,1	30,4	5,2	0	0	0	10,6	19,6	
1984	190,1	319,2	689,9	512,4	422,8	129,6	147,8	69,6	70,4	36,0	15,4	57,6	
1985	355,4	525,8	433,8	416,7	426,4	158,7	143,2	41,9	48,0	5,8	11,0	31,8	
1986	358,2	250,0	366,9	396,9	235,8	113,7	137,6	50,4	75,0	21,6	37,0	128,8	
1987	39,2	229,8	340,2	308,6	79,8	96,4	30,8	11	35,0	28,0	1,0	0	
1988	222,6	160,6	351,8	518,5	101,8	66,6	41,4	15,2	16,8	6,2	4	239	
Soma	5167,0	6667,0	8549,0	8648,0	6429,0	3015,0	2292,0	1209,0	832,9	873,2	568,1	2061	
Média	224,64	289,89	371,71	376,00	279,51	131,07	99,64	52,58	36,21	37,97	24,70	89,59	2013,5

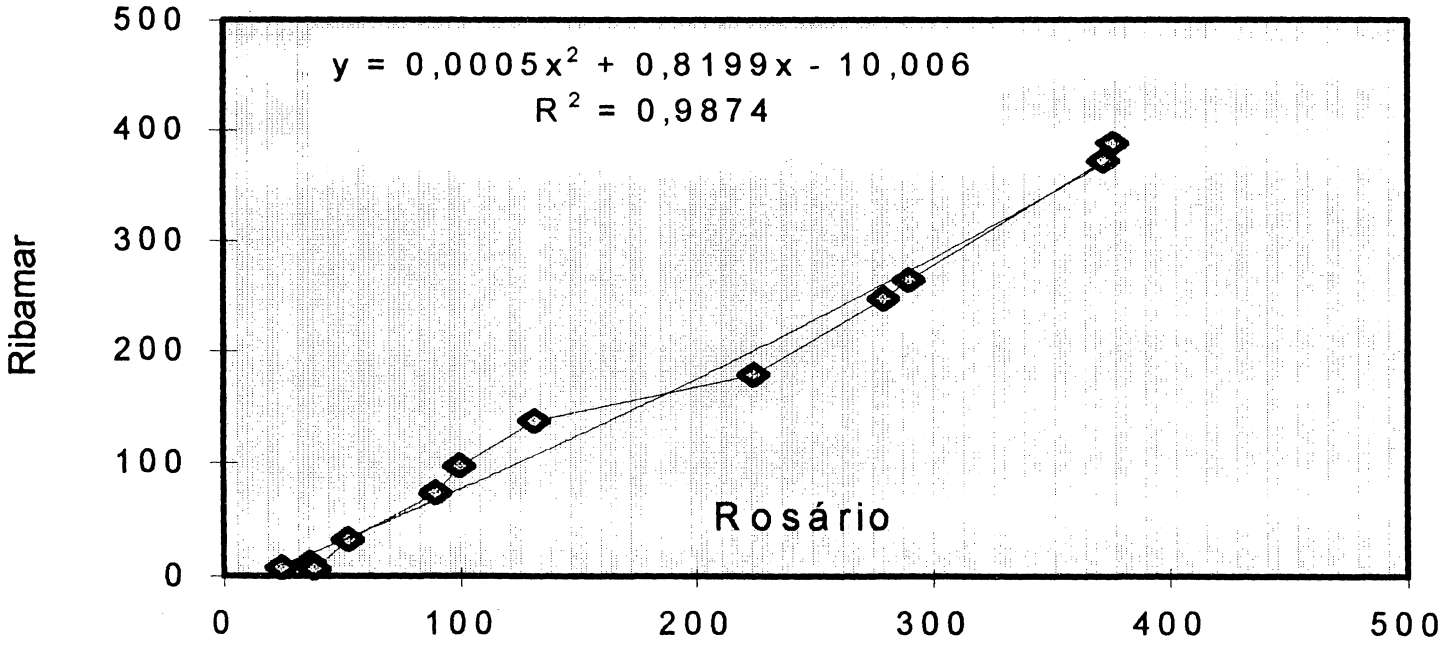
APÊNDICE 8 - ÍNDICE SAZONAL DA ESTAÇÃO DE ROSÁRIO

Ano/Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
1966	0,3103	1,4937	0,9760	1,0229	1,1846	0,9186	1,1953	0,8330	0,8395	0,0000	0,5749	1,8741	
1967	0,8338	1,0559	1,3992	1,6907	1,6418	1,5358	0,7517	1,1316	0,0000	0,1923	0,0000	0,4521	
1968	0,7145	0,3791	0,9534	0,6875	0,9610	1,1757	1,7322	1,2343	0,6103	1,3379	5,6478	1,6185	
1969	0,9887	0,8441	0,9534	1,2497	1,2837	1,5953	1,6941	2,3944	1,3394	1,1140	2,2227	0,2489	
1970	0,6878	1,0552	0,9370	1,1590	1,0418	0,8339	1,8517	0,8672	1,5023	0,3450	2,5587	1,2390	
1971	0,6953	0,7520	0,9467	1,2332	0,8014	2,2972	2,0765	1,2020	0,9528	-	0,1781	0,2311	
1972	1,1432	1,1391	0,7186	0,7737	1,0601	1,0300	1,0016	2,9954	0,6131	0,0790	0,0931	2,5561	
1973	1,4374	1,3298	1,3535	0,9051	1,1112	1,5930	1,2686	2,0578	2,7175	0,5978	0,4858	1,0079	
1974	1,7846	0,7548	0,9010	1,1239	1,5728	1,2894	0,3543	1,8505	3,7117	1,2536	0,1457	4,2371	
1975	1,1294	1,4557	1,0379	0,9354	0,9960	1,1345	2,2049	0,7398	1,3670	1,3800	1,3846	0,6987	
1976	1,5790	0,9859	1,0296	1,0731	1,1645	0,7004	0,3091	1,0841	0,4888	0,0053	0,4696	0,8751	
1977	1,6431	1,0666	0,8410	1,0160	1,5048	0,9262	0,6022	0,2777	0,3148	0,0211	1,3239	0,8796	
1978	0,8636	0,9355	1,2434	0,9043	0,8615	0,8995	1,1782	0,7684	1,1378	1,7856	0,2267	0,2545	
1979	0,5760	0,5195	0,7011	0,5340	0,5109	0,6622	0,0763	0,1788	0,0000	0,0527	4,0931	0,2590	
1980	1,4263	1,7255	1,0519	0,8896	0,8107	0,9628	0,3212	0,7626	0,6352	0,0948	0,2429	0,1183	
1981	0,5680	0,6044	0,8797	0,4745	0,8100	0,2594	0,3814	0,5439	0,0000	0,0000	0,1538	1,0157	
1982	1,0345	1,0832	0,7049	0,8059	0,7112	0,6424	0,9233	0,5021	0,0000	0,2107	0,0000	0,1116	
1983	0,3966	0,6958	0,4999	0,7949	0,4404	0,2319	0,0522	0,0000	0,0000	0,0000	0,4291	0,2188	
1984	0,8462	1,1011	1,8560	1,3628	1,5126	0,9888	1,4833	1,3237	1,9442	0,9481	0,6235	0,6429	
1985	1,5821	1,8138	1,1670	1,1082	1,5255	1,2108	1,4372	0,7969	1,3256	0,1528	0,4453	0,3550	
1986	1,5946	0,8624	0,9871	1,0556	0,8436	0,8675	1,3810	0,9585	2,0713	0,5689	1,4980	1,4377	
1987	0,1745	0,7927	0,9152	0,8207	0,2855	0,7355	0,3091	0,2092	0,9666	0,7374	0,0405	0,0000	
1988	0,9909	0,5540	0,9464	1,3790	0,3642	0,5081	0,4155	0,2891	0,4640	0,1633	0,1619	2,6677	
Soma	23,0004	22,9998	22,9999	22,9997	22,9999	22,9992	23,0008	23,0011	23,0019	22,9971	23,0000	22,9992	
Ind.Sazonal	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	12,000

APÊNDICE 9 - Correlograma dos dados pluviométricos [Rosário x Itapiracó]



APÊNDICE 10 - Correlograma dos dados pluviométricos [Rosário x Ribamar]



APÊNDICE 11- DADOS BRUTOS E AJUSTADOS DAS ESTAÇÕES ROSÁRIO - ITAPIRACÓ - RIBAMAR

Y = 1,1776X - 12,907			Y = $0,0005X^2$ + 0,8199X - 10,006			MÊS/ANO
ROSÁRIO (X) (Média-Base)	ITAPIRACÓ (Média-Bruta)	ITAPIRACÓ (Y) (Média-ajustada)	ROSÁRIO (X) (Média-Base)	RIBAMAR (Média-Bruta)	RIBAMAR (Y) (Média-ajustada)	MÊS
224,6	247,1	251,6	224,6	178,8	199,4	Nov
289,9	361,7	328,5	289,9	264,1	269,7	Set
371,7	423,8	424,8	371,7	371,2	363,8	Out
376,0	399,0	429,9	376,0	387,4	369,0	Ago
279,5	306,5	316,2	279,5	246,9	258,2	Dez
131,1	186,0	141,4	131,1	137,4	106,0	Jul
99,6	133,4	104,4	99,6	97,4	76,7	Jun
52,6	24,0	49,0	52,6	32,7	34,5	Jan
36,2	15,2	29,7	36,2	11,4	20,3	Maio
38,0	11,1	31,8	38,0	7,3	21,8	Fev
24,7	15,4	16,2	24,7	8,2	10,6	Mar
89,6	93,1	92,6	89,6	73,8	67,5	Abr
2.013,5	2.216,3	2.216,2	2.013,5	1.816,6	1.797,5	ANO

APÊNDICE 12 VALORES DOS ESCOAMENTOS SUPERFICIAL (Qr) E SUBTERRÂNEO (Qs) EM RELAÇÃO AO ESCOAMENTO TOTAL (Q)
(Adaptado de Castany *et al.* 1970). É indicativo e pode ter grandes desvios em casos concretos

Hidrologia	Geomorfologia	Rede hidrográfica	Escoamento superficial (Qr/Q)	Escoamento subterrâneo (Qs/Q)
Rochas carbonatadas;	Mesetas com geomorfologia cárstica evoluída	Baixa densidade de drenagem; degradações com perdas de água e mananciais;	Nulo	1
karst evoluído	Áreas montanhosas acidentadas; maciços calcários cársticos	Baixa densidade de drenagem; degradações com perdas de água e mananciais;	Fraco	0,9
Rochas carbonatadas;	Mesetas e planícies de fraco relevo	Densa; pouco degradada	0,1 a 0,2	0,8 a 0,9 *
karst pouco evoluído	Relevos fortes; áreas montanhosas	Densa; pouco degradada	0,2	0,7 a 0,8 *
Greda	Mesetas e relevos suaves	Relativamente densa; levemente degradada	Elevada	0,8 a 0,9 *
Rochas vulcânicas porosas ou fissuradas	Maciços vulcânicos; desfiladeiros de basaltos; mesetas basálticas	Pouco densa; muito encaixada	Fraco	0,8 a 0,9
Formações vulcânicas pouco porosas	Rochas plutônicas	Relativamente densa; muito encaixada	0,5	0,5
Aluviões	Grandes planícies aluviais; leques de aluviões	Pequena densidade de drenagem sem contar o curso de água principal; desaparecimento rápido das águas nos leques de aluviões	Nulo	1 *
	Pequenas planícies aluviais com nível piezométrico bastante profundo; terraços aluviais	Pequena densidade de drenagem sem contar o curso de água principal; desaparecimento rápido das águas	Fraco	0,8 a 0,9 *
Areias e arenitos	Bacias sedimentares	Pouco densa, com rios perenes	Fraco	0,8 a 0,9 *
Alternâncias de rochas aqüíferas e de rochas pouco permeáveis	Planícies e mesetas a margem de grandes bacias sedimentares	Relativamente densa, com rios perenes	0,5	0,5
Bons aqüíferos com uma cobertura semipermeável	Terrenos planos, mesetas, planícies aluviais, desfiladeiros de basaltos, bacias sedimentares	Relativamente densa, com rios perenes	0,5	0,5
Areias e argilas	Terrenos planos e mesetas; bacias sedimentares	Densa e permanente	Importante	0,2 a 0,5

*** Diminuir se o aqüífero está recoberto de formações superficiais pouco permeáveis**

(Compilado de CUSTODIO e LLAMAS, 1983)

APÊNDICE 13 - DADOS DE FICHAS DE SONDAGENS PARA O TRAÇADO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

Origem	Nº.	Nome	Município	Coord.X	Coord.Y	Coord.Z	Prof. (m)	N.E. (m)	Ano	N.E. (m)	Ano	Referência (*)
SUDENE	1	Itaqui I1	São Luis	571200	9716200	32,00	430,00	8,37	1969	-	-	EH p. 66
SUDENE	2	Anjo da Guarda	São Luis	575000	9715800	28,00	141,70	28,3	1969	42,60	1972	EH p. 67
SUDENE	3	Santa Quinta	São Luis	579800	9720400	30,00	105,00	4,75	1969	29,00	-	EH p. 64
SUDENE	4	CAEMA 1	São Luis	577600	9717200	30,00	101,00	15,60	1969	21,00	1978	EH p. 63
SUDENE	5	Bairro de Fátima	São Luis	577600	9714600	25,00	86,00	14,50	1968	22,00	1978	IH p. 132
SUDENE	6	Caratatiua	São Luis	577600	9714600	25,00	105,00	8,90	1969	-	-	IH p. 133
CAEMA	7	Sacavém P11A	São Luis	583600	9716400	40,00	142,00	-	-	28,30	1981	PGFS
SUDENE	8	São Cristovão	São Luis	580400	9722400	50,00	94,00	16,20	1972	32,00	1978	IH p. 156
SUDENE	9	Base Aérea	São Luis	585800	9715400	50,00	84,00	-	-	23,70	1984	IH P. 155
SUDENE	10	Santa Bárbara	S. J. de Ribamar	588000	9712800	40,00	42,00	18,90	1968	20,20	1972	IH P. 163
CAEMA	11	Mata P-1A	S. J. de Ribamar	594800	9713600	38,00	54,00	6,95	-	-	-	PGFS
SUDENE	12	São Marcos	São Luis	577400	9724800	24,00	50,00	2,80	1970	5,00	1982	IH p. 137
CAEMA	13	Calhau PIII	São Luis	580800	9724400	33,00	81,00	-	-	5,00	1974	PGFS
SUDENE	14	Dr. Rossini	São Luis	586000	9725200	50,00	63,00	24,70	-	-	-	IH p. 158
SUDENE	15	COHAB I	São Luis	587200	9718600	41,00	300,00	26,50	1969	-	-	IH p. 157
CAEMA	16	Paciência P17A	São Luis	589800	9719600	41,00	95,00	-	-	31,70	1983	PGFS
SUDENE	17	Fomento Agrícola	São Luis	580800	9703600	50,00	120,00	32,30	1970	-	-	IH p. 160
CAEMA	18	Maiobão	São Luis	593200	9717600	30,00	77,00	-	-	20,30	-	PGFS
SUDENE	19	TURUSA II	S. J. de Ribamar	604400	9717600	24,00	78,00	28,60	1970	-	-	IH p. 165
SUDENE	20	Maiobinha	S. J. de Ribamar	600400	9718000	32,00	76,00	2,10	1971	30,00	1984	IH p. 139

Referência (*)

EH - Estudo Hidrogeológico do Distrito Industrial de Itaqui - Maranhão no. 39

IH - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste folha no. 4 São Luis SE

PGFS - Perfil Geológico / Ficha de Sondagem

APÊNDICE 14 - PARÂMETROS DE POÇOS TUBULARES DA ILHA DO MARANHÃO (ORIGEM: CPRM, 1994) PRIMEIRA PARTE							
Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
OO1	HELIO DINIZ	PAÇO DO LUMIAR	CAEMA	599800	9722800		12/09/71
OO2	IGUAÍBA	PAÇO DO LUMIAR	CAEMA	600600	9724600		10/03/73
OO3	IGUAÍBA	PAÇO DO LUMIAR	JOSÉ M. DUAILIBE	600600	9724600		jul/79
OO4	IGUAÍBA	PAÇO DO LUMIAR	PENA BRANCA AVIC.	600600	9724600		set/85
OO5	LARANJAL	PAÇO DO LUMIAR	JOSÉ R. QUADROS	597200	9716800		jan/83
OO6	MAIOBA	PAÇO DO LUMIAR	VATUTIN MAURICIO	594600	9722400		ago/79
OO7	OITEIRO	PAÇO DO LUMIAR	SEC. EDUCAÇÃO	599800	9722800		fev/83
OO8	PARQUE PRIMAVERA	PAÇO DO LUMIAR	JOSÉ P.DE SOUZA	599600	9720800		jun/81
OO9	RAPOSA	PAÇO DO LUMIAR	CAEMA	599200	9729600		mai/83
O10	RAPOSA	PAÇO DO LUMIAR	FSESP	599200	9729600		out/77
O11	RAPOSA	PAÇO DO LUMIAR	FSESP	599200	9729600		out/79
O12	RAPOSA	PAÇO DO LUMIAR	ANDRADE GUTIERREZ	599200	9729600		out/87
O13	RAPOSA	PAÇO DO LUMIAR	CAEMA	599200	9729600		15/03/71
O14	RAPOSA	PAÇO DO LUMIAR	CAEMA	599200	9729600		24/12/72
O15	SEDE	PAÇO DO LUMIAR	CIA.AV.AMAZONICA	599600	9720800		out/82
O16	SEDE	PAÇO DO LUMIAR	FSESP	599600	9720800		ago/86
O17	SEDE	PAÇO DO LUMIAR	FSESP	599600	9720800		out/76
O18	TRISIDELA	PAÇO DO LUMIAR	JOSÉ M. DUAILIBE	591400	9718400		jul/81
O19	W. PORTELA	PAÇO DO LUMIAR	CAEMA	599800	9722800		15/03/71
O20	COHATRAC II	S. J. RIBAMAR	CONST. ESTRELA	587400	9720000		ago/94
O21	COHATRAC IV	S. J. RIBAMAR	CONST. ESTRELA	587400	9720000		jul/84
O22	COHATRAC IV	S. J. RIBAMAR	CONST. ESTRELA	587400	9720000		jun/84
O23	COHATRAC J.M.	S. J. RIBAMAR	PLANTA ENG.	587400	9720000		jul/84
O24	COHATRAC J.M.	S. J. RIBAMAR	PLANTA ENG.	587400	9720000		jun/84
O25	EST.. SÃO LUIS	S. J. RIBAMAR	AMERICO ARRUDA	586200	9722600		fev/83
O26	JACATUBA	S. J. RIBAMAR	SEC. SAUDE	595000	9709800		out/81
O27	LARANJAL	S. J. RIBAMAR	WILSON B. BELLO	597200	9716800		nov/81
O28	LARANJAL	S. J. RIBAMAR	RAIMUNDO ARRUDA	597200	9716800		nov/86

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
O29	LARANJAL PI	S. J. RIBAMAR	CAEMA	597200	9716800		out/77
O3O	MATA	S. J. RIBAMAR	CONST CEDRO	594800	9713600		set/80
O31	MATA	S. J. RIBAMAR	JOSE P. SANTOS	594800	9713600		out/80
O32	MATA	S. J. RIBAMAR	CAEMA	594800	9713600		dez/87
O33	MATINHA PI	S. J. RIBAMAR	CAEMA	594200	9713600		dez/97
O34	OLHO DE PORCO	S. J. RIBAMAR	SALOMÃO ROCHA	593600	9728600	1,50	dez/87
O35	PANAQUATIRA	S. J. RIBAMAR	SEC. SAUDE	598600	9722800		jan/83
O36	PINDAÍ	S. J. RIBAMAR	JULIMAR PENA	598600	9722900		set/80
O37	PINDAÍ PI	S. J. RIBAMAR	CAEMA	598600	9722800		set/80
O38	PIQUIZEIRO	S. J. RIBAMAR	CARLOS JASSEM	598600	9722800	46,80	set/80
O39	Q. RIO SÃO JOÃO	S. J. RIBAMAR	CAEMA	593200	9715000		mar/88
O40	SÃO JOSÉ DOS INDIOS	S. J. RIBAMAR	CAEMA	600400	9718000		1971
O41	SÃO JOSÉ DOS INDIOS	S. J. RIBAMAR	CAEMA	600400	9718000		11/06/84
O42	SARNAMBI	S. J. RIBAMAR	SEC. SAUDE	605800	9720400		jan/83
O43	SEDE AV G. DIAS	S. J. RIBAMAR	FSESP	604400	9717600	3,10	jan/83
O44	SEDE P9	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		1981
O45	SEDE P1O	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		1981
O46	SEDE P1OA	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		1986
O47	SEDE P11	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		1987
O48	SEDE P12	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		1981
O49	SEDE P13	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		1981
O50	SEDE P14	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		13/09/82
O51	SEDE P15	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		20/10/82
O52	SEDE P16	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		set/80
O53	SEDE P17	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		out/86
O54	SEDE P18	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		mar/87
O55	SEDE P19	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		ago/87
O56	SEDE P20	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		jan/83

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
O57	SEDE P21	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		mar/88
O58	SEDE P22	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		abr/88
O59	VILA KIOLA SARNEY	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		abr/88
O60	VILA OPERÁRIA P2	S. J. RIBAMAR	CAEMA	604400	9717600		08/11/82
O61	ALCOA 4SL-01-MA	SÃO LUIS	ALCOA	5728000	9701200		ago/83
O62	BR-135 KM 11	SÃO LUIS	CIA. IND. CER.N.BRASIL	576200	9707400		ago/83
O63	CRUZEIRO STA. BÁRBARA	SÃO LUIS	DANIEL A. REGO	589400	9711800	44,7	ago/83
O64	ESTIVA	SÃO LUIS	CVRD	57200	9696000		nov/77
O65	ESTIVA	SÃO LUIS	ESC. JOSÉ A. CIRNE	57200	9696000		1968
O66	ESTIVA P II	SÃO LUIS	CAEMA	57200	9696000		1968
O67	ILHA CURUPU	SÃO LUIS	CAEMA	608000	9729800		dez/87
O68	ITAPIRACÓ	SÃO LUIS	DEL. FED. AGRIC. MA	580800	9703600		jan/84
O69	ITAQUI	SÃO LUIS	CVRD	571200	9716200		jul/83
O70	ITAQUI	SÃO LUIS	ALCOA	571200	9716200		jul/83
O71	ITAQUI	SÃO LUIS	ALCOA	571200	9716200		fev/83
O72	ITAQUI	SÃO LUIS	CONST. ODEBRECHT	571200	9716200		fev/82
O73	ITAQUI	SÃO LUIS	CONST. ODEBRECHT	571200	9716200		fev/82
O74	ITAQUI	SÃO LUIS	CONST. LIX. DA CUNHA	571200	9716200		out/83
O75	ITAQUI	SÃO LUIS	CAEMA	571200	9716200		abr/80
O76	ITAQUI	SÃO LUIS	BENEDITO SALAZAR	571200	9716200	10,5	mai/05
O77	ITAQUI (P. ESPERANÇA)	SÃO LUIS	SERV. ENG. CIVILSAN	571200	9716200		jun/82
O78	KM 06 BR-135	SÃO LUIS	J. GONZALEZ	578000	9716200		ago/80
O79	KM 02(MA 53) S. J. R.	SÃO LUIS	LAB. JESUS LTDA.	588000	9705800		jan/78
O80	KM 04(MA 53) S. J. R.	SÃO LUIS	BENEDITO AMORIM	588000	9517000		ago/75
O81	KM 04(MA 53) S. J. R.	SÃO LUIS		588000	9517000		jan/87
O82	KM 05(MA 53) S. J. R.	SÃO LUIS	QUIMICA NORTE	588000	9517000		dez/75
O83	KM 05(MA 53) S. J. R.	SÃO LUIS	QUIMICA NORTE	588000	9517000		dez/75
O84	KM 17(MA 53) S. J. R.	SÃO LUIS	JOLLY-MAR	603200	9717600		

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
O85	KM 17(MA 53) S. J. R.	SÃO LUIS	JOLLY-MAR	603200	9717600		out/75
O86	MAIOBÃO	SÃO LUIS	CAEMA	593200	9717600		jan/83
O87	MAIOBÃO	SÃO LUIS	JURNDYR BONITO	593200	9717600		jul/83
O88	MAIOBÃO	SÃO LUIS	BENILDO MUNIZ	593200	9717600		jul/83
O89	MAIOBÃO II	SÃO LUIS	CAEMA	593200	9717600		mai/83
O90	MAIOBÃO III	SÃO LUIS	CAEMA	593200	9717600		jul/87
O91	MARACANÃ	SÃO LUIS	MARCUS RDO. PINHEIRO	579000	9709800		jun/85
O92	MARACANÃ	SÃO LUIS	CAEMA	579000	9709800		nov/82
O93	MIRITITUIA	SÃO LUIS	SECRETARIA DE SAUDE	590000	9724200		jan/83
O94	NOVA REP I	SÃO LUIS	CAEMA	585800	9723600		1985
O95	NOVA REP II	SÃO LUIS	CAEMA	585800	9723600		jul/86
O96	PARQUE PINDORAMA	SÃO LUIS	JATHAI ENG. LTDA.	585800	9723600		mai/79
O97	PEDRINHAS	SÃO LUIS	ESTACON ENG. SA	576800	9702600		dez/80
O98	PEDRINHAS	SÃO LUIS	ALCOA	576800	9702600		jan/82
O99	PEDRINHAS	SÃO LUIS	CHESF	576800	9702600		jul/79
100	PEDRINHAS	SÃO LUIS	ALCOA	576800	9702600		abr/82
101	PEDRINHAS	SÃO LUIS	DNER	576800	9702600		dez/78
102	PEDRINHAS	SÃO LUIS		576800	9702600		ago/86
103	PEDRINHAS	SÃO LUIS	ALCOA	576800	9702600		nov/82
104	PONTA DO FAROL	SÃO LUIS	ANASTACIO AFONSO	577400	9724800		nov/82
105	QUEBRA POTE	SÃO LUIS	ALCOA	587600	9724800		nov/82
106	QUÍMICA NORTE I	SÃO LUIS		597400	9718400		fev/70
107	SANTA BÁRBARA	SÃO LUIS	R. CORDEIRO FILHO	588000	9712800		mai/83
108	SANTA BÁRBARA	SÃO LUIS	GREMIO RECREATIVO	588000	9712800		out/84
109	SANTA BÁRBARA	SÃO LUIS	PEDRO A. ARAQUARI	588000	9712800		out/84
110	SANTA BÁRBARA	SÃO LUIS	CAEMA	588000	9712800		jul/81
111	SANTA BÁRBARA II	SÃO LUIS	CAEMA	588000	9712800		abr/72
112	SANTA BÁRBARA III	SÃO LUIS	CAEMA	588000	9712800		dez/72

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
113	SANTA BÁRBARA IIIA	SÃO LUIS	CAEMA	588000	9712800		out/86
114	SEDE A. GUARDA	SÃO LUIS		575000	9715800		jun/81
115	SEDE A. GUARDA II	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		1972
116	SEDE A. GUARDA III	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		nov/72
117	SEDE A. GUARDA IV	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		1970
118	SEDE A. GUARDA V	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		1977
119	SEDE A. GUARDA VIA	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		1980
120	SEDE A. GUARDA VII	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		nov/81
121	SEDE A. GUARDA VIII	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		ago/83
122	SEDE A. GUARDA IX	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		ago/84
123	SEDE A. GUARDA X	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		dez/85
124	SEDE A. GUARDA XI	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		ago/87
125	SEDE A. GUARDA XII	SÃO LUIS	CAEMA	575000	9715800		out/87
126	SEDE AEROPORTO	SÃO LUIS	INFRAERO	585800	9715400		jul/84
127	SEDE ANGELIM	SÃO LUIS	CONST. ESTRÊLA SÁ	583600	9720400		jun/88
128	SEDE ANGELIM	SÃO LUIS	CONST. ESTRÊLA SÁ	583600	9720400		fev/88
129	SEDE ANGELIM	SÃO LUIS	JOSE R. DOMINICE	583600	9720400		nov/78
130	SEDE ANIL PI	SÃO LUIS	CAEMA	587200	9718600		1985
131	SEDE ARAÇAGI	SÃO LUIS	CAEMA	592600	9726400		nov/77
132	SEDE ARAÇAGI	SÃO LUIS	CAEMA	592600	9726400		abr/84
133	SEDE ARAÇAGI	SÃO LUIS	OLEAMA	592600	9726400		dez/82
134	SEDE ARAÇAGI	SÃO LUIS	THERESINHA REGO	592600	9726400		abr/79
135	SEDE AREINHA	SÃO LUIS	CAEMA	578000	9720000		dez/74
136	SEDE AV. KENNEDY	SÃO LUIS	SESI	577600	9714600		ago/78
137	SEDE AV. SÃO LUIS	SÃO LUIS	ECON. ENG.	591600	9723200		ago/85
138	SEDE BACANGA	SÃO LUIS	UFMA	579800	9720400		jul/84
139	SEDE BACANGA	SÃO LUIS	CASA PERNAMBUCANAS	579800	9720400		dez/79
140	SEDE BONFIM PI	SÃO LUIS	CAEMA	275200	9720000		jun/85

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
141	SEDE C. UNIVERSITÁRIA	SÃO LUIS	UFMA	577600	9717200		jun/78
142	SEDE C. UNIVERSITÁRIA	SÃO LUIS	UFMA	577600	9717200		out/78
143	SEDE CALHAU	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		28/03/85
144	SEDE CALHAU PI	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		22/07/86
145	SEDE CALHAU PIA	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		14/06/81
146	SEDE CALHAU PIB	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		jun/87
147	SEDE CALHAU PII	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		1970
148	SEDE CALHAU PIIA	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		jul/81
149	SEDE CALHAU PIIB	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		jan/82
150	SEDE CALHAU PIII	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		dez/74
151	SEDE CALHAU PIV	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		dez/81
152	SEDE CALHAU PVI	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		1980
153	SEDE CALHAU PVII	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		jul/75
154	SEDE CALHAU PVIII	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		1987
155	SEDE CALHAU PIX	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		jul/87
156	SEDE CALHAU PX	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		nov/87
157	SEDE CALHAU PXI	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		jan/88
158	SEDE CALHAU PXII	SÃO LUIS	CAEMA	580800	9724400		fev/88
159	SEDE CEASA	SÃO LUIS	CAEMA	581200	9723000		jul/84
160	SEDE CENTRO	SÃO LUIS	CAEMA	579600	9719200		jun/82
161	SEDE CENTRO	SÃO LUIS	CENTRO MÉDICO	579600	9719200		fev/80
162	SEDE CENTRO	SÃO LUIS	CONST. ESTRÊLA	574600	9719200		jun/80
163	SEDE CENTRO LIRA P II	SÃO LUIS	CAEMA	574600	9719200		set/87
164	SEDE CID. OPERÁRIA P6	SÃO LUIS	CAEMA	587600	9715800		jul/85
165	SEDE CID. OPERÁRIA P12	SÃO LUIS	CAEMA	587600	9715800		jun/85
166	SEDE CID. OPERÁRIA	SÃO LUIS	CAEMA	587600	9715800		jul/85
167	SEDE CID. OPERÁRIA	SÃO LUIS	COHAB/M. JUNIOR SÁ	587600	9715800		fev/84
168	SEDE CID. OPERÁRIA	SÃO LUIS	COHAB/M. JUNIOR SÁ	587600	9715800		mar/84

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
169	SEDE CID. OPERÁRIA	SÃO LUIS	COHAB/M. JUNIOR SÁ	587600	9715800		fev/84
170	SEDE CID. OPERÁRIA	SÃO LUIS	COHAB/M. JUNIOR SÁ	587600	9715800		mar/84
171	SEDE CID. OPERÁRIA	SÃO LUIS	COHAB/M. JUNIOR SÁ	587600	9715800		fev/84
172	SEDE COHAB	SÃO LUIS	INS. F. FIGUEIREDO	587200	9718600		mai/83
173	SEDE COHAB	SÃO LUIS	EMP. MAR. ENG. SA	587200	9718600		ago/84
174	SEDE COHAB	SÃO LUIS	POLÍCIA MILITAR	587200	9718600		jan/80
175	SEDE COHAMA	SÃO LUIS	CAEMA	587200	9718600		ago/81
176	SEDE COHASERMA	SÃO LUIS	CAEMA	587200	9718600		31/08/77
177	SEDE COHASERMA	SÃO LUIS	CAEMA	587200	9718600		20/09/77
178	SEDE COHASERMA	SÃO LUIS	CAEMA	587200	9718600		20/07/87
179	SEDE COHATRAC	SÃO LUIS	CONST. ESTRÊLA SA	587400	9721000		jun/82
180	SEDE COHATRAC	SÃO LUIS	CONST. ESTRÊLA SA	587400	9721000		jul/82
181	SEDE COHATRAC II	SÃO LUIS	CANOPUS ENG. LTDA.	587400	9721000		out/87
182	SEDE COHATRAC III	SÃO LUIS	CONST. ESTRÊLA SA	587400	9721000		ago/82
183	SEDE COHATRAC PI	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		abr/80
184	SEDE COHATRAC PII	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		mai/78
185	SEDE COHATRAC PIII	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		jun/87
186	SEDE COHATRAC PIV	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		abr/83
187	SEDE COHATRAC P V	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		dez/80
188	SEDE COHATRAC P VI	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		mar/88
189	SEDE COHATRAC P VII	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		dez/83
190	SEDE COHATRAC P VIII	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9721000		1988
191	SEDE COL. BOSQ. ENCAT.	SÃO LUIS	CAEMA	583400	9723600		mar/86
192	SEDE CONJ. BEQUIMÃO	SÃO LUIS	CIMA CONS. IMOB. MA	583400	9723600		jan/82
193	SEDE CONJ. ESMERALDA	SÃO LUIS	SKALA ENG. LTDA.	583400	9723600		mar/83
194	SEDECONJ. VILA NOVA	SÃO LUIS	ASS DOS MORAD. SESI	275200	9720000		set/83
195	SEDE CRUZEIRO ANIL	SÃO LUIS	CAEMA	587200	9718600	36,7	//
196	SEDE ESC. CAEMA	SÃO LUIS	CAEMA	579800	9720400		dez/70

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
197	SEDE J. PAULO	SÃO LUIS	BRECIL	584200	9714000		dez/79
198	SEDE J. PRIMAVERA	SÃO LUIS	LBA				mai/87
199	SEDE LBA	SÃO LUIS	SÃO LUIS ENG.	583200	9718400		fev/88
200	SEDE LUZITANOS	SÃO LUIS	ENZA	583200	9718400		mai/85
201	SEDE M. JESUS PRAGA	SÃO LUIS	CAEMA	583200	9718400		out/85
202	SEDE MISERIC. I	SÃO LUIS	CAEMA	583200	9718400		out/71
203	SEDE MISERIC. II	SÃO LUIS	COCA-COLA	583200	9718400		mar/87
204	SEDE OITEIRO DA CRUZ	SÃO LUIS	COCA-COLA	583200	9718400		mai/81
205	SEDE OITEIRO DA CRUZ	SÃO LUIS	FRANCISCO LAGO	583200	9718400		dez/81
206	SEDE OLHO D'ÁGUA	SÃO LUIS	PLANTA COM. ENG. LTDA.	586000	9725200		fev/82
207	SEDE OLHO D'ÁGUA	SÃO LUIS	AQUARIUS ENG. LTDA	583200	9718400		mai/84
208	SEDE OLHO D'ÁGUA	SÃO LUIS	SESC	583200	9718400		jun/83
209	SEDE OLHO D'ÁGUA	SÃO LUIS	SEBASTIÃO CORREA	583200	9718400		mar/80
210	SEDE OLHO D'ÁGUA	SÃO LUIS	ALCOA	583200	9718400		dez/86
211	SEDE OLHO D'ÁGUA	SÃO LUIS	EMBRATEL	583200	9718400		mai/81
212	SEDE P. AREIA	SÃO LUIS	SÃO LUIS ENG.	585800	9723600		jul/83
213	SEDE P. DOS NOBRES	SÃO LUIS	SÃO LUIS ENG.	585800	9723600		jan/86
214	SEDE P. DOS NOBRES	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		mai/86
215	SEDE PACIÊNCIA IA	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		10/04/76
216	SEDE PACIÊNCIA 2	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		//
217	SEDE PACIÊNCIA 3A	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		//
218	SEDE PACIÊNCIA 4B	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		jun/81
219	SEDE PACIÊNCIA 5A	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		//
220	SEDE PACIÊNCIA 6	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		1974
221	SEDE PACIÊNCIA 7B	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		jan/80
222	SEDE PACIÊNCIA 8A	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		1980
223	SEDE PACIÊNCIA 9C	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		abr/83
224	SEDE PACIÊNCIA 10B	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		fev/83

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
225	SEDE PACIÊNCIA 11	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		1979
226	SEDE PACIÊNCIA 12	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		1979
227	SEDE PACIÊNCIA 13	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		1979
228	SEDE PACIÊNCIA 14	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		fev/80
229	SEDE PACIÊNCIA 15	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		jan/80
230	SEDE PACIÊNCIA 16	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		jan/80
231	SEDE PACIÊNCIA 17A	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		1983
232	SEDE PACIÊNCIA 18	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		out/80
233	SEDE PACIÊNCIA 19	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		jul/80
234	SEDE PACIÊNCIA 20	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		jul/80
235	SEDE PACIÊNCIA 21	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		jul/80
236	SEDE PACIÊNCIA 22	SÃO LUIS	CAEMA	589800	9719600		1980
237	SEDE PACIÊNCIA 23	SÃO LUIS	CAEMA	587400	9720000		abr/87
238	SEDE PÃO DE AÇUCAR	SÃO LUIS	CAEMA	586200	9722600		jul/81
239	SEDE PARQUE ATENAS	SÃO LUIS	BRECIL	580800	9724400		jun/85
240	SEDE QUINTA CALHAU	SÃO LUIS	BRECIL	580800	9724400		mai/83
241	SEDE QUINTA CALHAU	SÃO LUIS	CONST. ANTARES	580400	9724400		mar/87
242	SEDE R. BELA AURORA	SÃO LUIS	TELMA	580400	9724400		dez/78
243	SEDE R. J. TAVARES, 86	SÃO LUIS	MANOEL F. RIBEIRO	580400	9724400		mai/80
244	SEDE RENASCENÇA	SÃO LUIS	PLANTA CO. ENG. LTDA	580400	9724400		set/85
245	SEDE S. BERNARDO	SÃO LUIS	ASS. SERV CAEMA	580400	9724400		abr/87
246	SEDE S. CRISTOVÃO	SÃO LUIS	CAEMA	577600	9722600		//
247	SEDE S. FRANCISCO	SÃO LUIS	JORNAL ESTRÊLA MA	577600	9722600		//
248	SEDE S. FRANCISCO	SÃO LUIS	ALCOA	577600	9722600		fev/88
249	SEDE S. FRANCISCO	SÃO LUIS	HOTEL S. FRANCISCO	577600	9722600		set/79
250	SEDE S. FRANCISCO	SÃO LUIS	POLÍCIA MILITAR	577600	9722600		fev/80
251	SEDE S. FRANCISCO III	SÃO LUIS	CAEMA	577600	9722600		out/73
252	SEDE SACAVEM	SÃO LUIS	CAEMA	583600	9716400		dez/79

Nº.	LOCAL	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z	PERFURAÇÃO
253	SEDE SACAVEM	SÃO LUIS	CAEMA	583600	9716400		15/81
254	SEDE SACAVEM	SÃO LUIS	CAEMA	583600	9716400		mai/81
255	SEDE SACAVEM	SÃO LUIS	CAEMA	583600	9716400		mai/81
256	SEDE SANTA QUINTA	SÃO LUIS	CAEMA	583600	9716400		1974
257	SEDE TIRIRICAL	SÃO LUIS	REFESA	584200	9714000		//
258	SEDE TIRIRICAL	SÃO LUIS	CONST. ANTARES	584200	9714000		mar/88
259	SEDE TIRIRICAL	SÃO LUIS	CAEMA	584200	9714000		jul/81
260	SEDE TURU	SÃO LUIS	ALTAMIRO S. LIMA	591600	9723200		jul/83
261	SEDE TURU	SÃO LUIS	GERCI O. PERES	591600	9723200		dez/84
262	SEDE TURU	SÃO LUIS	NORTE GÁS BUTANO	591600	9723200		jul/83
263	SEDE TURU	SÃO LUIS	COSME EURICO DIAS	591600	9723200		abr/78
264	SEDE TURU	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		jul/81
265	SEDE TURU I	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		out/78
266	SEDE TURU II	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		mar/82
267	SEDE TURU III	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		set/85
268	SEDE TURU IV	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		jun/82
269	SEDE TURU IV A	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		ago/82
270	SEDE TURU V	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		jul/81
271	SEDE TURU VI	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		mar/85
272	SEDE TURU VII	SÃO LUIS	CAEMA	591600	9723200		set/78
273	SEDE VILA D. LUIS	SÃO LUIS	ASS. DOS MORADORES	586200	9722600		jul/84
274	SEDE VILA FIALHO	SÃO LUIS		583400	9723600		jun/81
275	SEDE VILA ISABEL	SÃO LUIS	ASS. DOS MORADORES	583400	9723600		set/83
276	SEDE VILA NOVA	SÃO LUIS		275200	9720000		jun/81
277	TIBIRI	SÃO LUIS	OLEAMA	584600	9711000		jun/83
278	TIBIRI	SÃO LUIS	MATADOURO INDUSTRIAL	584600	9711000		abr/78
279	TIBIRI	SÃO LUIS	CURTUME DO NORDESTE	584600	9711000		set/75
280	TIBIRI	SÃO LUIS		584600	9711000		jun/81
281	VOLTA DO S	SÃO LUIS	DR. RAIMUNDINHO	578800	9704800	21,9	1967

APÊNDICE 14 - PARÂMETROS DE POÇOS TUBULARES DA ILHA DO MARANHÃO (ORIGEM: CPRM, 1994) SEGUNDA PARTE

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
OO1	80,00	20,95	28,50	7,55	10,95	1,424		Ki
OO2	57,00	8,40	11,60	3,20	19,46	6,081		Ki
OO3	60,00	12,00	16,31	4,31	18,00	4,176		Ki
OO4	58,70	27,80	31,00	3,80	4,36	1,147		Ki
OO5	54,00	19,60	25,00	5,40	9,60	1,778		Ki
OO6	60,00	9,00	19,15	10,15	18,00	1,773		Ki
OO7	60,00	4,70	8,00	3,30	18,00	5,455		Ki
OO8	60,00	25,00	26,50	1,50	6,86	4,573		Ki
OO9	42,00	15,00	18,20	3,00	6,25	1,953		Ki
O10	69,00	4,00	15,20	11,20	16,00	1,428		Ki
O11	70,00	10,70	14,22	3,52	16,00	4,545		Ki
O12	70,00	29,70	37,02	7,32	6,87	0,938		Ki
O13	67,50	1,00	9,90	8,90	16,00	1,798		Ki
O14	67,50	11,35	34,70	23,35	8,57	0,367		Ki
O15	73,00	17,00	21,00	4,00	12,86	3,215		Ki
O16	44,10		17,00	17,00	42,00	2,470		Ki
O17	43,50		29,00	29,00	21,60	0,746		Ki
O18	54,00	3,50	6,15	2,65	18,00	6,792		Ki
O19	53,00	1,60	13,23	11,63	13,58	1,168		Ki
O20	70,00	22,00	23,90	1,90	10,80	5,684		Ki
O21	70,00	20,24	22,83	2,59	10,80	4,169		Ki
O22	107,00	12,51	16,33	3,82	14,00	3,665		Ki
O23	70,00	8,73	15,95	7,22	16,90	2,340		Ki
O24	70,00	10,23	15,10	4,87	17,14	3,519		Ki
O25	42,00	13,00	18,00	5,00	8,47	1,694		Ki
O26	70,00	11,00	17,70	7,70	12,63	1,640		Ki
O27	62,00	18,00	21,10	3,10	11,80	3,806		Ki
O28	60,00	20,00	25,50	5,50	6,00	1,091		Ki

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
O29	62,00	9,00	14,15	5,15	15,96	3,099		Ki
O3O	71,00	4,00	5,50	1,50	22,50	1,500		Ki
O31	48,00	33,00	34,00	1,00	3,00	3,000		Ki
O32	54,00	6,95	8,49	1,54	18,00	11,688		Ki
O33	69,00	20,70	25,27	4,57	13,89	3,039		Ki
O34	0,70	0,10					84	QHa
O35	70,00	17,50	42,00	24,50	7,83	0,319		Ki
O36	72,00	21,00	27,00	6,00	13,09	2,187		Ki
O37	76,00	25,20	26,91	1,71	12,00	7,017	57	Ki
O38	20,60	17,70					140	Ki
O39	62,00	21,75	24,71	2,96	9,45	3,192		Ki
O40	85,00	31,50	41,80	10,30	8,57	0,832		Ki
O41	77,00	30,00	41,00	11,00	7,12	0,647		Ki
O42	70,00	30,75	42,50	11,75	8,09	0,688		Ki
O43	3,90	0,90					133	QHa
O44	22,50	4,90	8,80	3,90	7,20	1,846	100	Ki
O45	34,50	14,00	14,90	0,90	3,00	3,333	65	Ki
O46	44,00	9,00	15,60	6,60	12,00	1,818		Ki
O47	27,00	6,80	12,17	5,37	7,58	1,422	91	Ki
O48	31,00	6,70	9,00	2,30	13,09	5,691		Ki
O49	60,00	2,25	11,05	4,91	20,00	4,073	595	Ki
O50	57,00	4,00	19,14	15,14	9,00	0,594	73	Ki
O51	74,00	2,98	17,05	13,52	13,74	1,016	170	Ki
O52	68,00	2,30	7,80	5,50	20,57	3,740	732	Ki
O53	70,00	28,00	36,00	8,00	6,86	0,857		Ki
O54	52,00	28,95	31,70	2,75	4,34	1,589		Ki
O55	32,00	1,87	8,20	6,33	16,80	2,654	85	Ki
O56	44,00	12,20	15,75	3,55	10,08	2,839	220	Ki

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. (m^3/h/m)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
O57	70,00	30,75	42,50	11,75	8,09	0,688		Ki
O58	48,00	8,55	13,00	4,45	14,00	3,146	77	Ki
O59	60,00	15,00	17,97	2,97	60,50	20.37		Ki
O60	66,00	26,60	37,30	10,70	34,36	3,211		Ki
O61	198,00	14,92	18,82	3,90	27,00	6,923	25	Ki
O62		8,29	9,13	0,84	14,26	16,976		Ki
O63	15,80	12,35					532	Ki
O64	90,00	23,00	45,50	22,50	6,00	0,267		Ki
O65	10,50	9,45						Ki
O66	42,00	10,50	26,05	15,55	3,60	0,231		Ki
O67	38,00	4,50	7,50	3,00	7,50	2,500		Ki
O68	51,00	3,75	22,70	18,95	9,59	0,453		Ki
O69	150,26	22,10	29,80	7,70	18,00	2,238		Ki
O70	34,00	4,90	7,70	2,80	12,00	4,286		Ki
O71	30,00	1,80	9,00	8,15	12,00	1,472		Ki
O72	90,00	25,00	32,20	7,20	11,08	1,539		Ki
O73	93,00	30,65	48,50	17,85	8,27	0,463		Ki
O74	100,00	21,00	32,00	11,00	12,98	1,180		Ki
O75	78,00	33,00	43,00	10,00	6,00	0,600		Ki
O76	9,10	6,65						Ki
O77	86,00	15,20	28,00	12,80	9,00	0,703		Ki
O78	72,00	11,70	19,00	7,30	16,00	2,192		Ki
O79	96,00	14,00	16,34	2,34	16,00	6,838		Ki
O80	71,00	8,00	10,00	2,00	18,00	9,000		Ki
O81	60,00	13,50	17,50	4,00	15,00	3,750		Ki
O82	120,00	10,40	25,25	14,85	18,41	1,278		Ki
O83	120,00	13,20	18,00	4,80	21,80	4,542		Ki
O84	76,00	22,50	27,00	4,50	11,08	2,462		Ki

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
O85	81,00	20,50	30,00	9,50	13,00	1,368		Ki
O86	52,00	5,43	9,24	3,81	15,00	3,937		Ki
O87	64,00	15,70	16,40	0,70	7,20	10,286		Ki
O88	50,00	14,00	16,60	2,60	6,87	2,642		Ki
O89	135,85	21,50	26,75	5,25	20,57	3,918	41	Ki
O90	87,50	24,90	27,70	2,80	11,08	3,957	28	Ki
O91	150,00	3,00	6,45	3,45	14,50	4,202		Ki
O92	132,00	17,00	31,00	14,00	13,09	0,935	242	Ki
O93	43,00	4,30	10,80	6,50	6,60	1,015		Ki
O94	63,00	19,44	26,46	7,02	7,20	1,025	116	Ki
O95	57,00	5,15	12,20	7,05	17,21	2,441		Ki
O96	120,00	19,00	42,15	23,15	10,43	0,450		Ki
O97	23,00	5,00	18,50	13,50	9,00	0,667		Ki
O98		12,00	21,50	9,50	4,00	0,421		Ki
O99	150,00	15,00	33,00	18,00	12,00	0,667		Ki
100	95,00	4,58	30,00	25,00	12,20	0,480		Ki
101	90,00	14,00	16,30	2,30	14,30	6,217		Ki
102	50,00	14,34	22,00	7,66	38,40	5,013		Ki
103	198,00	14,92	18,82	3,90	27,00	6,923	25	Ki
104	40,00	5,00	28,00	23,00	1,00	0,043		Ki
105	84,00	23,00	32,00	9,00	9,00	1,000		Ki
106	117,00	14,50	16,75	2,25	18,00	8,000		Ki
107	70,00	15,75	17,40	2,05	8,68	4,234		Ki
108	50,00	28,00	30,00	2,00	2,30	1,150		Ki
109	76,00	22,00	30,00	8,00	4,80	0,600		Ki
110	72,00	22,05	27,50	5,45	66,00	12,110	68	Ki
111	42,00	20,20	28,30	8,10	4,00	0,494	15	Ki
112	71,00	23,62	25,50	1,88	14,69	7,814		Ki

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
113	62,00	9,80	14,32	4,52	15,53	3,436		Ki
114	189,00						321	Ki
115	141,70	42,60	49,54	6,94	7,06	1,017		Ki
116	132,00	26,50	51,70	25,20	20,57	0,816		Ki
117	105,00	28,00	35,80	7,80	6,00	0,769	321	Ki
118	132,00	28,00	40,00	12,00	18,00	1,500	425	Ki
119	150,00	50,00	64,50	14,00	9,60	0.686	357	Ki
120	104,00	18,69	33,30	14,61	13,58	0,929	269	Ki
121	108,00	22,00	36,00	14,00	11,00	0,786	304	Ki
122	138,00	35,00	42,00	7,00	9,60	1,371	317	Ki
123	106,00	29,00	48,63	19,63	9,00	0,458		Ki
124	121,00	46,00	59,10	13,10	8,34	0,637	224	Ki
125	126,00	50,70	57,40	6,70	9,00	1,343	272	Ki
126	88,50	23,74	28,36	4,62	13,50	2,922		Ki
127	107,00	23,35	31,32	5,97	14,82	2,482		Ki
128	110,00	19,60	26,06	6,46	18	2,786		Ki
129	80,00	6,20	50,22	44,02	3,14	0,071		Ki
130	76,00	9,00	14,40	5,40	13,42	2,485		Ki
131	90,00	42,00	45,00	3,00	5,30	1,767		Ki
132	60,00	12,30	17,30	5,00	16,00	3,200		Ki
133	72,00	29,00	46,00	17,00	2,80	0,165		Ki
134	54,00	25,00	40,00	15,00	1,30	0,087		Ki
135	89,00	21,00	23,00	2,00	10,00	5,000	473	Ki
136	102,00	9,00	49,00	40,00	8,89	0,222		Ki
137	53,00	5,00	7,05	2,05	13,32	6,498		Ki
138	91,00	20,90	20,05	9,96	11,63	1,168		Ki
139	110,00	29,00	40,80	11,80	9,30	0,793		Ki
140	127,00	32,80	52,50	19,40	9,36	0,482	325	Ki

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
141	70,00	15,00	16,40	1,40	12,63	9,021		Ki
142	110,00	30,00	53,00	23,00	9,00	0,391		Ki
143	98,00	4,70	10,50	5,80	12,60	2,172		Ki
144	81,00	1,20	12,15	10,95	16,00	1,461		Ki
145	70,50	2,10	11,10	9,00	26,40	2,933		Ki
146	72,00	1,95	9,50	7,55	19,40	2,569	141	Ki
147	86,00	5,00	12,00	7,00	12,00	1,714		Ki
148	120,00						30	Ki
149	42,50	6,20	10,80	4,60	14,09	3,063		Ki
150	81,00	5,00	45,00	40,00	2,00	0,500		Ki
151	80,00	8,00	37,20	29,20	2,72	0,093		Ki
152	105,00	14,30	20,45	6,15	5,70	0,927		Ki
153	102,00	11,00	48,17	37,17	3,30	0,089		Ki
154	56,00	8,64	19,57	10,93	10,59	0,969		Ki
155	72,00	15,50	42,06	26,56	5,76	0,217		Ki
156	53,00	4,34	25,00	20,66	9,00	0,436	86	Ki
157	36,00	15,20	21,00	5,74	10,00	1,742		Ki
158	46,00	24,12	28,70	4,58	6,32	1,380	52	Ki
159	102,00	27,00	38,00	11,00	10,35	0,941		Ki
160	80,00	23,40	29,65	6,25	5,14	0,822		Ki
161	100,00	13,00	22,00	9,00	6,00	0,667		Ki
162	120,00	25,00	40,00	15,00	16,00	1,067		Ki
163	129,00	42,00	56,00	14,00	9,00	0,643	656	Ki
164	88,00	21,30	26,80	5,50	8,40	1,527		Ki
165	83,00	23,40	23,85	0,45	9,69	21,533		Ki
166	88,00	13,50	43,50	30,00	5,91	0,197		Ki
167	46,00	30,00	32,50	2,50	5,35	2,140		Ki
168	66,00	20,50	26,30	5,80	4,72	0,814		Ki

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
169	75,00	29,00	36,00	7,00	1,20	0,171		Ki
170	59,00	20,50	26,90	6,40	4,13	0,645		Ki
171	75,00	29,00	32,00	3,00	4,80	1,600		Ki
172	60,00	18,20	26,45	8,25	4,24	0,514		Ki
173	96,00	7,00	25,00	18,00	13,09	0,727		Ki
174	90,00	23,39	32,00	8,61	12,00	1,393		Ki
175	58,00	26,70	35,28	8,58	14,90	1,737		Ki
176	80,00	23,30	27,10	3,80	11,08	2,916	89	Ki
177	78,00	23,50	27,30	3,80	12,00	3,158	37	Ki
178	58,00	25,62	27,90	2,28	12,00	5,263	100	Ki
179	70,00	17,00	20,80	3,80	11,30	2,976	89	Ki
180	70,00	9,72	14,00	4,28	17,14	4,005		Ki
181	70,00	14,80	15,65	0,85	13,50	15,882	6	Ki
182	83,00	11,00	20,00	9,00	13,00	1,444		Ki
183	72,00	21,50	26,00	4,50	11,00	2,444	430	Ki
184	71,00	17,50	21,00	3,50	11,50	3,286		Ki
185	70,00	15,06	18,24	2,64	12,00	4,545	32	Ki
186	64,00	15,06	17,65	2,59	16,34	6,309	49	Ki
187	74,00	15,00	19,00	4,00	18,00	4,500		Ki
188	78,00	19,00	23,00	4,00	13,09	3,272	25	Ki
189	71,00	21,50	25,60	4,10	10,80	2,634	25	Ki
190	52,00	12,97	14,31	1,34	13,75	10,621		Ki
191	36,00	3,85	9,45	5,57	4,24	0,761		Ki
192	100,00	35,00	46,00	11,00	4,50	0,409		Ki
193	72,00	4,80	12,00	7,20	17,14	2,381		Ki
194	130,00	13,00	18,00	5,00	12,35	2,470		Ki
195	6,20	5,15					161	Ki
196	155,00	12,50	22,18	9,68	16,74	1,729	507	Ki

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
197	65,00	13,50	38,00	24,50	3,00	0,122		Ki
198	70,00	12,30	14,80	2,50	14,40	5,760		Ki
199	100,00	12,80	17,50	4,70	4,70	1,000		Ki
200	63,00	10,00	15,00	5,00	14,00	2,800		Ki
201	64,00	17,22	22,82	5,60	12,00	2,143		Ki
202	117,00	34,10	69,40	35,30	12,00	0,340		Ki
203	138,45	42,00	57,00	15,00	9,45	0,630		Ki
204	96,00	23,00	60,00	37,00	2,00	0,054		Ki
205	93,00	28,00	56,00	28,00	2,70	0,096		Ki
206	90,00	18,00	28,00	10,00	14,40	1,440		Ki
207	72,00	8,70	26,40	17,70	8,37	0,473		Ki
208	108,00	25,80	31,00	5,20	8,25	1,587		Ki
209	70,00	18,70	23,00	4,30	13,09	3,044		Ki
210	54,00	16,60	21,20	21,20	10,14	2,204		Ki
211	53,00	15,85	27,14	11,29	49,92	4,422		Ki
212		9,00	56,00	47,00	1,21	0,026		Ki
213	120,00	12,00	25,00	13,00	13,74	1,056		Ki
214	120,00	15,00	44,00	29,00	12,63	0,436		Ki
215	47,00	1,95	6,40	4,45	36,00	8,089	31	TRs
216	40,70	3,30	4,40	1,10	21,18	19,255		TRs
217	54,00	2,40	4,92	2,52	100,00	39,682		TRs
218	101,00	3,50	9,13	5,63	39,60	7,033		TRs
219	100,00	0,60	1,84	1,24	24,00	19,355	28	TRs
220	42,00	2,93	11,55	8,62	17,14	1,988	52	TRs
221	58,00	2,00	5,00	3,00	60,00	20,000		TRs
222	70,00	1,60	4,10	2,50	19,40	7,760	31	TRs
223	150,00	32,00	49,63	17,63	15,23	0,864		TRs
224	161,00	38,20	42,80	4,60	8,00	1,739	309	TRs

Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. (m^3/h/m)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
225	70,00	2,00	2,48	0,48	20,57	42,854	233	TRs
226	70,00	2,12	2,95	0,83	20,57	24,783		TRs
227	51,00	0,50	7,00	6,50	51,42	7,910	129	TRs
228	51,00		15,00	15,00	40,00	2,667	98	TRs
229	88,00	1,00	11,10	10,10	36,00	3,564	78	TRs
230	100,00		11,00	11,00	48,00	4,364	58	TRs
231	95,00	3,17	5,18	2,01	24,83	12,348	33	TRs
232	104,00	1,35	5,43	4,08	48,00	11,764	221	TRs
233	68,34	1,28	3,64	2,30	48,00	20,339		TRs
234	80,00	1,50	9,50	8,00	48,00	6,000	76	TRs
235	78,00	1,40	10,60	9,20	36,00	3,913	52	TRs
236	90,00	1,00	10,00	9,00	48,00	5,333	138	TRs
237	127,00	15,00	18,37	3,37	8,67	2,573	502	Ki
238	104,00	10,28	17,43	7,15	26,80	3,748	35	Ki
239	94,00	6,80	9,00	2,20	14,40	6,545		Ki
240	112,00	12,00	16,00	4,00	10,73	2,682		Ki
241	82,00	11,80	53,00	41,20	2,20	0,053		Ki
242	142,00	42,00	53,00	11,00	8,00	0,727		Ki
243	42,00	1,60	16,50	14,90	2,40	0,161		Ki
244	70,00	11,96	15,00	3,04	15,80	5,197		Ki
245	81,00	32,00	34,80	2,80	11,60	4,143		Ki
246	100,00	42,00	42,45	0,45	9,60	21,333	335	Ki
247	100,00	18,99	31,93	12,94	5,67	0,438		Ki
248	60,00	12,00	21,50	9,50	4,00	0,421		Ki
249	115,00	10,00	25,60	15,60	9,60	0,615		Ki
250	72,00	12,30	36,00	23,70	4,00	0,169		Ki
251	102,00	24,45	41,10	16,65	8,00	0.48	1297	Ki
252	155,00	16,00	26,00	10,00	21,18	2,118		Ki

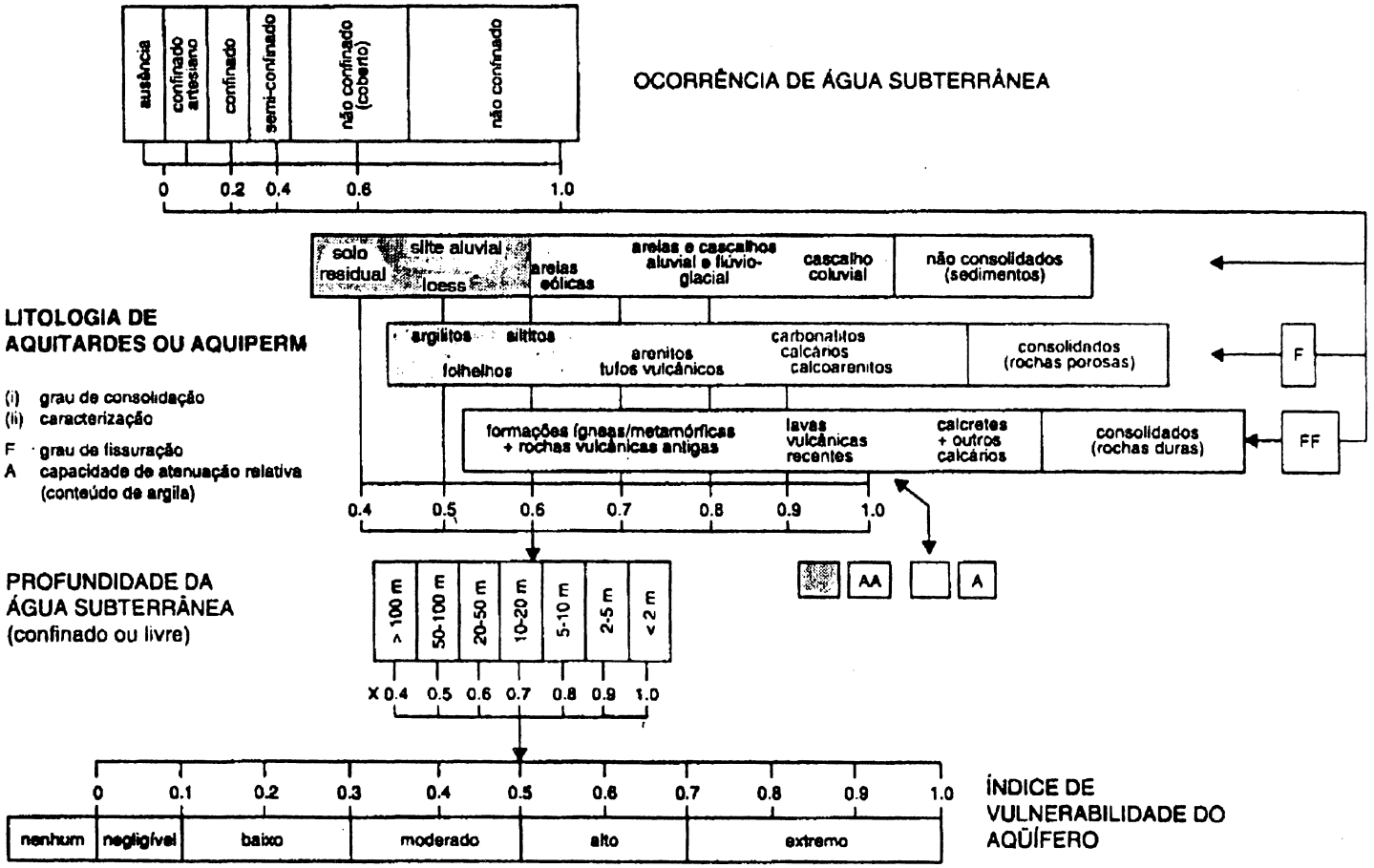
Nº	PROF. (m)	PROF. NE (m)	PROF. ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	VAZÃO (m^3/h)	VAZÃO ESP. ($m^3/h/m$)	RES. SECO (mg/l)	AQUÍF. CAP.
253	162,00	31,75	51,06	19,31	12,18	0,631	339	Ki
254	152,00	37,20	49,40	12,20	22,00	1,803	266	Ki
255	146,00							Ki
256	96,00	27,00	39,10	12,10	12,42	1,026	259	Ki
257	70,00	21,00	24,00	3,00	5,90	1,967		Ki
258	64,00	13,87	17,71	3,84	10,28	2,678		Ki
259	105,00							Ki
260	36,00	2,90	7,40	4,50	9,60	2,133		Ki
261	50,00	15,00	27,00	12,00	3,86	0,738		Ki
262	80,36	22,90	26,00	3,10	10,95	3,532		Ki
263	54,00	12,20	16,70	4,50	10,28	2,284		Ki
264	44,00	10,00	14,02	4,02	17,20	4,279		Ki
265	144,00	8,50	10,00	1,50	3,09	2,060		Ki
266	46,00	9,20	15,95	6,75	8,09	1,198		Ki
267	60,00	16,00	21,78	5,78	10,59	1,832	102	Ki
268	45,00	13,80	17,05	3,25	10,28	3,163	50	Ki
269	48,00	16,62	20,44	3,82	11,60	3,037	31	Ki
270	72,00	10,00	13,80	3,80	6,88	1,810	50	Ki
271	61,00	22,25	29,60	7,35	8,00	1,088		Ki
272	46,00	11,00	13,40	1,40	14,39	10,278	21	Ki
273	108,00	22,80	52,30	29,50	4,00	0,135		Ki
274	45,00	17,93	23,37	8,44	25,44	3,014		Ki
275	130,00	18,00	29,50	11,50	9,40	0,817		Ki
276	129,00							Ki
277	100,00	27,60	34,60	7,00	11,80	1,686		Ki
278	107,00	22,00	29,00	7,00	13,50	1,928		Ki
279	117,00	10,50	24,00	13,50	14,00	1,037	60	Ki
280	124,00							Ki
281	5,45	2,90					112	QHa

APÊNDICE 15 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS POÇOS TUBULARES E MANUAIS DA ILHA DO MARANHÃO
FONTE: CPRM, 1994

Parâmetro		Poços tubulares			Poços manuais
		Aquífero Itapecuru	Aquífero Barreiras	Aluviões	
Dureza (°F)	Médio	4,93	2,30	3,50	5,53
	Máximo	24,00	9,20	4,60	10,20
	Mínimo	0,16	0,80	2,40	1,40
pH	Médio	6,95	5,86	6,90	7,23
	Máximo	8,92	8,30	7,30	8,00
	Mínimo	4,90	5,20	6,50	5,90
Resíduo Seco (mg/l)	Médio	214	104	46	119
	Máximo	1.297	309	46	140
	Mínimo	6	28	46	84
Condutividade Elétrica (micro-ohm/cm)	Médio	257	237	575	260
	Máximo	2.500	1.000	1.000	260
	Mínimo	50	50	150	260

Apêndice 16

ESQUEMA PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQÜÍFERO



FONTE: FOSTER et al. - 1988 (modificado de MONTAÑO,1994)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARLÉRY, R., GRISOLLET, H., GUILMET, B. **Climatologie** - méthodes et pratiques Paris: Gauthier-Villars, 1973. 434 p.

2. BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia: **Normais Climatológicas**: Acre, Amazonas, Pará, Maranhão . Rio de Janeiro, 1968. v.1.

3. BRASIL Ministério da Agricultura e Reforma Agrária . Departamento Nacional de Meteorologia.. **Normais Climatológicas**. Brasília, 1992. 84 p.

4. BRASIL. Ministério do Interior . Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Dados pluviométricos do Nordeste - Maranhão** -. Recife, 1990. 103 p. (série pluviometria).

5. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Programa de Integração Nacional. - **Projeto RADAM**. v. 3, folha SA.23/24 * São Luis/Fortaleza. Brasília, 1973. Escala 1:1.000.000.

6. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: E. Blucher, 1980. 188 p.

7. COMITÉ CENTRAL DES TRAVAUX GÉOGRAPHIQUES. **Atlas des formes du relief**. Paris, 1956. 179 p.

8. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**, São Luis Folha SA.23-Z-A. Cururupu. Folha SA.23-X-C escala 1:250.000 Estado do Maranhão Brasília: CPRM, 1994. 181 p.

9. COSTA, W. D. **Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino**. Projeto ARIDAS. Brasília: SEPLAN-PR, 1995. 53 p.

10. CUSTODIO, E., LLAMAS, M. R. **Hidrología subterránea.** 2. ed. Barcelona: E. Omega, 1983. 2v.

11. DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand, 1994. 203 p.

12. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão** escala: 1:1.000.000. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1986 - (Boletim de Pesquisa nº. 35).

13. ERDÉLYI, M., GÁLFI, J. **Surface and subsurface mapping in hydrogeology**. Budapest: Kiadó, 1988. 383 p.

14.FEITOSA, A. C. et al. **Caraterização geomorfológica da Ilha do Maranhão e Alcântara**. São Luis: Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Maranhão, 1993. 27 p., 1 mapa de zoneamento, escala 1: 100.000. (Publicação 004-93 GERCO/MA).

15.FERREIRA FILHO, W. M. et al. **Recursos hídricos do Nordeste semi-árido**. Projeto ARIDAS. Brasília: SEPLAN-PR, 1994. 26 p.

16.FIORI, O. C., **Contribuição ao estudo das formações superficiais das quadrículas de Piracicaba e São Pedro**. Rio Claro, 1980. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP.

17.FONSECA, J. S., MARTINS. G. A., TOLEDO, G. L. **Estatística aplicada**. São Paulo: Atlas, 1982. 267 p.

18.FOSTER, S., VENTURA, M., HIRATA, R. **Poluição das águas subterrâneas**: um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1993. 53 p.

19.FOURMARIER, P. **Hydrogéologie**: introduction à l'étude des eaux destinées à l'alimentation humaine et à l'industrie. Paris: Masson, 1958. 294 p.

20.FRANCISS, F.O. **Hidráulica de meios permeáveis**: escoamento em meios porosos. Rio de Janeiro: Interciência, 1980. 169 p.

21.FRÉCAUT, R., PAGNEY, P.. **Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial.** Paris: Masson, 1983. 239 p.

22.FRERE, M. **A method for the practical application of the Penman formula for the estimation of potential evapotranspiration and evaporation from a free water surface** [S. 1.]: FAO, 1979. 26 p.

23.GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto**. São Paulo: Nobel, 1982. 357 p.

24.GODOY, E. V., PAREDES R. J. L. **Recursos hídricos del Chaco Paraguayo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (10.: 1993: Gramado) Porto Alegre: ABRH, 1993. v. 1, p. 129 - 138.

25.GONDIM FILHO, J. G. C. **Sustentabilidade do desenvolvimento do semi-árido sob o ponto de vista dos recursos hídricos**. Projeto ARIDAS. Brasília: SEPLAN-PR, 1994. 102 p.

26.HARGREAVES, G. H.. **Precipitation dependability and potentials for agricultural production in Northeast Brazil**. Logan: Utah State Univ., 1974. 123 p.

27.INVENTÁRIO Hidrogeológico Básico do Nordeste, São Luis. Recife: SUDENE - Divisão de Reprografia, 1977. 165 p (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 51).

28.LEINZ, V. , AMARAL, S. E. **Geologia geral** . São Paulo: Nacional, 1966. 512 p.

29.LENCASTRE, A., FRANCO, F. M. **Lições de hidrologia**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 1984. 451 p.

30.LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, 1986. 242 p.

31.LUZ, D. S. da **Mapa geológico da ilha do Maranhão**, 1997, 1 mapa; escala 1:100.000.

32.MACEDO, L. A. A. et al. **Estudos hidrológicos da Ilha do Maranhão**. São Luis: [s.n], 1996. 38 p. (Relatório parcial II. GERCO/MA).

33.MONTAÑO XAVIER, J. Vulnerabilidade de los recursos hídricos subterráneos. In.: CURSO SUL-AMERICANO SOBRE AVALIAÇÃO E VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS, 1., Curitiba, 1994. **Memória**... Curitiba: UFPR. Departamento de Geologia, 1994. p. 95 - 165.

34.MOTA, F. S. et al. Tabelas para o cálculo da evapotranspiração potencial (Penman) no Brasil. **Boletim Técnico do Instituto Nacional de Meteorologia,** n. 15, p. 35-52, 1978.

35.MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1981. 376 p.

36.MÜLLER, I. I. **Métodos de avaliação da evaporação e evapotranspiração** . Curitiba, 1995. 1995. Dissertação (Mestrado) - Centro de Hidráulica Prof. Parigot de Souza, Universidade Federal do Paraná.

37.PAGNEY, P. **Les climats de la terre**. Paris: Masson, 1976. 151 p.

38.REBOUÇAS, A. C., SILVA, A. B. **Estudo hidrogeológico do Distrito Industrial de Itaqui - MA**. Recife:. SUDENE, Divisão de Documentação, 1972. 83 p. (Brasil SUDENE. Hidrogeologia, 39).

39.ROCHE, M. **Hydrologie de surface**. Paris: G. Villars, 1963. 430 p.

40.ROCHA, G. A. **Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul**: Bases para uma política de desenvolvimento e gestão. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL AQÜÍFERO GIGANTE DO MERCOSUL, Curitiba, 1996. 22 p.

41.ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1991. 85 p.

42._____. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, n. 9, p. 66 - 75.

43.SANTOS, M. C. S. R. **Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. - (Publicação IPT.1773).

44.SERRUTO COLQUE, A. R. UEHARA, K. **Balanço hídrico com base ecológica da vertente do lago Titicaca Peru - Bolívia** . São Paulo:. Escola Politécnica da USP, 1993 , 21 p (Boletim Técnico.da EPUSP-BT-PHD).

45.SOARES, P. C., FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica** v.16, n.32, p. 71-104, 1976.

46.SOUSA, S. B. **Caracterização climatológica da zona costeira do Maranhão**. São Luis: Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Maranhão, 1993. 36 p. 55 mapas escala 1: 2.000.000. (Publicação 002-93 - GERCO/MA)

47.TRENDEL, R. , et al. (1978), **Méthodes de critique des données pluviométriques quotidiennes**, Paris: [s.n], 1978 (Monographie N° 102 de la Météorologie Nationale).

48.TROVÃO, J. R., FERREIRA, A. J. . **Processo de ocupação e uso do solo da Ilha do Maranhão e do município de Alcântara**. São Luis: Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Maranhão , 1993. 97 p. , 1 carta escala 1: 100.000. (Publicação 005-GERCO/MA)

49._____. **Mapa de uso e ocupação do solo da ilha do Maranhão**, 1997, 1 mapa; escala 1:100.000.

50.UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Água subterrânea e poços tubulares** Curitiba: UFPR, 1969. 392 p.

51.SÃO PAULO. Secretaria dos Serviços e Obras Públicas. **Água**: **qualidade , padrões de potabilidade e poluição**. São Paulo: CETESB, 1969. 298 p.