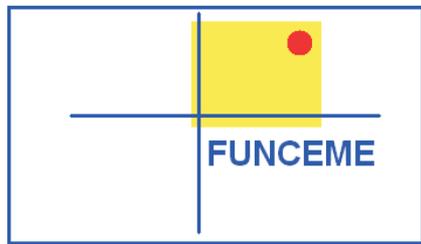


Secretaria de Recursos Hídricos
Fundação Cearense de Meteorologia
e Recursos Hídricos - FUNCEME



MCT
Ministerio
da Ciência e
Tecnologica

**ESTUDO INTEGRADO
DA BACIA DO RIO MUNDAÚ - CE**
Segundo Relatório Parcial
Fortaleza, 24 de março de 1997

FOLHA DE DADOS - GED/SRH

TIPO DE DOCUMENTO: ESTUDO
 Identidade GED: 0205/03
 Lote: 02246
 N° de Registro: 97/0471
 Autores: MINISTERIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA % FUNCEME
 Programa: _____
 Título: Estudo Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Mundauí
 Sub-Título 1: Segundo Relatório Parcial
 Sub-Título 2: _____
 N° de Páginas: 147
 Volume: _____
 Tomo: _____
 Editor: FUNCEME
 Data de Publicação (mês/ano): Março 1997
 Local de Publicação: Fortaleza

Localização da Obra

Tipo de Empreendimento:

<input type="checkbox"/> Barragem	<input type="checkbox"/> Açude	<input type="checkbox"/> Adutora	<input type="checkbox"/> Canal / Eixo de Transp.	<input type="checkbox"/> Outro
Rio / Riacho Barrado: _____		Fonte Hídrica: _____		

Bacia: Rio mundauí
 Sub-bacia: _____
 Municípios: _____
 Distrito: _____
 Microregião: _____
 Estado: ceará

**Estudo Integrado da Bacia
Hidrográfica do Rio Mundaú**

Segundo Relatório Parcial
Fortaleza, 24 de março de 1997

717-3^o
ESTADO DO CEARÁ
10-1-1997

FEV 1997

000003

APRESENTAÇÃO

A Bacia do Rio Mundaú está sendo estudada por força do convênio celebrado entre a FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos e o MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. O Projeto Mundaú - Estudo Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, foi iniciado em setembro de 1995 com previsão de execução em dois anos e tem realizado vários estudos e pesquisas naquela área do Ceará. O Projeto Mundaú tem como objetivo final fornecer subsídios para a elaboração de uma proposta de um modelo de gestão de Recursos Hídricos para a respectiva bacia.

As equipes da FUNCEME envolvidas no projeto vem trabalhando assiduamente em busca de informações científicas para servirem de suporte ao objetivo final citado. Desta forma, a cada passo executado, elabora-se um relatório técnico naquele assunto estudado para posterior junção nos relatórios parciais dos estudos realizados e no final do projeto, ao global.

O presente relatório parcial, concluído em fevereiro de 1997, traz os mais recentes resultados obtidos pelos especialistas das diversas áreas da FUNCEME envolvidas com o Projeto Mundaú. Então, de uma forma didática resolveu-se que este segundo relatório seria dividido em cinco partes para facilitar a leitura, a compreensão e a localização dos assuntos tratados. As partes são: Hidrogeologia, Hidrologia, Meio Ambiente, Geoprocessamento e Hidráulica.

Estamos certos que avançou-se mais ainda nos estudos propostos quando o contrato foi firmado com o MCT objetivando a execução de um projeto de pesquisa na bacia piloto do Mundaú. O Projeto Mundaú tem sido de grande importância para a FUNCEME estabelecer-se como centro de excelência e referência na área de Recursos Hídricos no Brasil, especialmente no Ceará e no Nordeste, através das oportunidades que este convênio oferece ao aprimoramento da formação do nosso corpo técnico, bem como do fortalecimento da tradicional cooperação existente entre a FUNCEME e o MCT.



Francisco Demócrito de Almeida
Diretor Técnico
FUNCEME

EQUIPE TÉCNICA PARTICIPANTE DO PROJETO MUNDAÚ

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Divisão de Águas Superficiais

Ana Lúcia Góes d'Assumpção, Mestre

Brandina de Amorim

Caio Sílvio Braz Peixoto

Josimar Alves de Oliveira, Mestre

Osvan Menezes de Queiroz, Mestre

Paulo Márcio Vieira, Mestre

Rogério Campos, Mestre

Valdenor Nilo de Carvalho Júnior, Mestre

Divisão de Águas Subterrâneas

Carlos Eduardo Sobreira Leite

Fernando Moura Andrade, Mestre

Gilberto Möbus, Mestre

Luciano Álvaro Maia Gomes, Mestre

Nélson Paiva Raulino de Souza, Mestre

Porfirio Sales Neto

Waldir Duarte Costa Filho, Mestre

DEPARTAMENTO DE RECURSOS AMBIENTAIS

Divisão de Geoprocessamento

Raimunda Neuma Segundo da Costa

Sônia Barreto Perdigão de Oliveira

Divisão de Análise Geoambiental

Elber Leite Braga

Francisco de Assis Bezerra Leite

Francisco Roberto Bezerra Leite

Manuel Messias Saraiva Barreto

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO SUMÁRIO

PARTE 1 - HIDROGEOLOGIA

1.1 HIDRÁULICA	02
1.1.1 Introdução	02
1.1.2 Metodologia	04
1.1.3 Noções Teóricas	05
1.1.4 Aquífero Confinado do Grupo Barreiras	08
Vila dos Prascianos	08
Tabocal	18
1.1.5 Aquífero Freático - sedimentos não Consolidados sobre o Grupo Barreiras	25
Vila dos Prascianos	25
1.1.6 Conclusões	29
1.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	30
1.3 MAPAS TEMÁTICOS	31
1.4 ATIVIDADES REALIZADAS E PREVISTAS	32

PARTE 2 - HIDROLOGIA

2.1 INTRODUÇÃO	34
2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	34
2.3 HIDROCLIMATOLOGIA	38

2.3 1	Instalação das Estações Meteorológicas	38
2.3 2	Estudo sobre a Evapotranspiração	40
	Conceituação	40
	Métodos de Estimativa da Evapotranspiração	41
	Obtenção dos dados meteorológicos	43
	Análise mensal dos principais parâmetros	46
	Estimativa da evapotranspiração potencial	51
2.4	BANCO DE DADOS DOS USUÁRIOS DE ÁGUA BRUTA	52
2.4 1	Conceituação Geral	52
2.4 2	O Banco de Dados de Usuários de Água do Mundaú	52
2.5	INSTRUMENTAÇÃO PARA MONITORAMENTO DO ESCOAMENTO NO RIO MUNDAÚ	55
2.5 1	Instalação das Estações Fluviométricas	55
	Estação limnimétrica do açude Mundaú	55
	Estação fluviométrica Itacolomi	56
	Estação fluviométrica Uruburetama	57
	Estação fluviométrica Angeline	58
	Estação fluviométrica Fazenda CBR	59
	Estação fluviométrica Fazenda Conceição	59
	Estação fluviométrica Rio do Inácio	60
	Estação Fluviométrica Barrento	60

PARTE 3 - MEIO AMBIENTE

3.1	ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA	63
3.1 1	Introdução	63
3.1.2	Importância do Estudo	63
	Estudo da Qualidade da Água em Reservatórios	64
	Coleta de Dados ao Longo do Rio Mundaú	66
3.1 3	Metodologia	65
	Descrição da Área de Abrangência do Estudo	65
	Coleta de Dados em Poços na Bacia do Rio Mundaú	68
	Coleta de Dados no Açude Mundaú	69
	Coleta de Plânctons no Açude Mundaú	71
3.1.4	Avaliação dos Dados Obtidos no Açude Mundaú	71
	Parâmetros Físico-químicos e Bacteriológicos	71
	Comunidade Planctônica no Açude Mundaú	79

3.1.5	Avaliação da Qualidade da Água No Rio Mundaú	82
	Classificação da Água para Irrigação	82
	Caracterização Geoquímica das Águas do Rio Mundaú	86
	Caracterização Geoquímica das Águas Subterrâneas	87
	Avaliação de Parâmetros Físico-químicos e Bacteriológicos no Rio Mundaú.	91
3.1.6	Conclusões e Recomendações	97
3.1.7	Atividades Executadas.	98
3.1.8	Atividades Previstas	99
3.1.9	Bibliografia	99

PARTE 4 - GEOPROCESSAMENTO

4.1	GEOPROCESSAMENTO NO PROJETO MUNDAÚ.	104
4.1.1	Introdução	104
4.1.2	Metodologia	106
	Bases Metodológicas	106
	Elaboração da Base Cartográfica na Escala de 1:100 000.	106
	Interpretação Visual das Imagens	107
	Interpretação Digital para Identificação da Geologia e Formas de Relevo.	107
	Digitalização dos Dados Geológicos, Geomorfológicos e os Recursos Hídricos Levantados.	107
	Integração, Manipulação e Quantificação dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos.	107
4.1.3	Caracterização Ambiental.	108
	Recursos Hídricos Superficiais	108
	Geologia.	109
	Geomorfologia	110
	Vegetação	110
4.1.4	Elaboração de Mapas Temáticos	111

PARTE 5 - HIDRÁULICA

5.1	ESTUDO PRELIMINAR DO ASSOREAMENTO DO AÇUDE MUNDAÚ	114
5.1.1	Introdução.	114
5.1.2	Caracterização Sumária do Reservatório.	114

5 1 3 Metodologia	115
Composição dos Sedimentos Afluentes	115
Peso Especifico dos Sedimentos Depositados	116
Eficiência de Retenção de Sedimentos Depositados.	117
Estimativa da Vida Útil.	117
Estimativa da Distribuição de Sedimentos..	118
5 1 4 Resultados	120
5.1 5 Conclusões e Recomendações	122
5.1 6 Bibliografia..	122
5 2 PLANEJAMENTO DA CALIBRAÇÃO DA VÁLVULA CÔNICA DO AÇUDE MUNDAÚ	123
5 2.1 Introdução	123
5 2 2 Características Gerais da Válvula Cônica do Açude Mundaú	123
5.2.3 Coeficiente de Descarga das Válvulas Cônicas	123
5.2.4 Medição da Pressão e da Descarga na Válvula do Mundaú	123
5.2.5 Conclusão.	124

ANEXOS A - HIDROGEOLOGIA

ANEXOS B - GEOPROCESSAMENTO

Parte 1

HIDROGEOLOGIA

000010

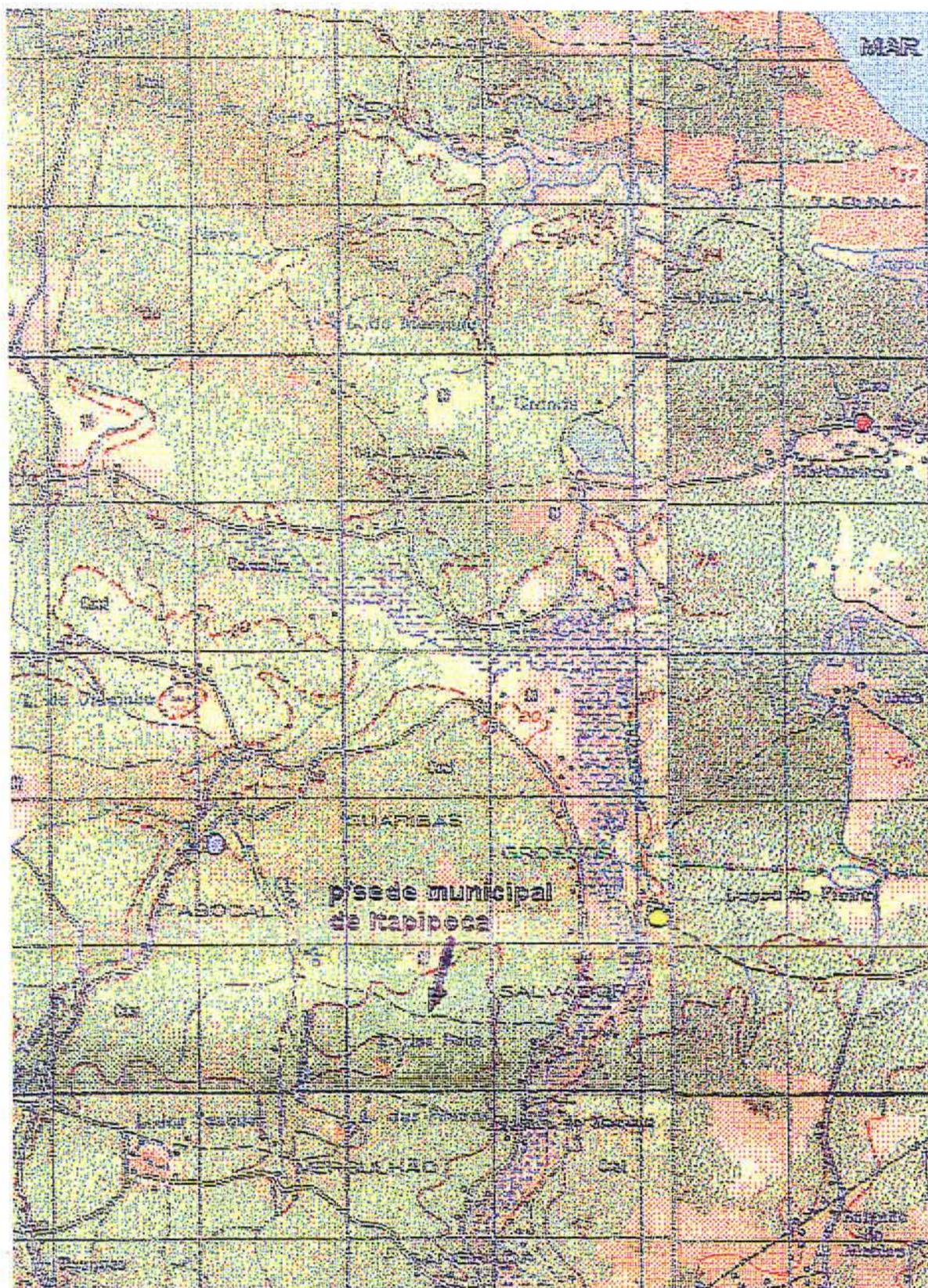
1.1 HIDRÁULICA

1.1.1 - INTRODUÇÃO

Pelo projeto "Estudo Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú" foram perfurados três poços de pesquisa (Figura 1 1) com o objetivo de obter dados para a caracterização hidráulica do(s) aquífero(s) do Grupo Barreiras na região. O presente relatório apresenta os dados coletados quando da realização dos testes de bombeamento nos respectivos poços e os resultados obtidos pela análise e tratamento dos mesmos.

Inicialmente é apresentado a metodologia de campo empregado no teste de bombeamento. A seguir é exposto os princípios básicos que dão sustentação as análises desenvolvidas e, por fim, são apresentados os resultados e conclusões das análises. Cabe salientar que somente foram realizados testes de bombeamento em dois poços (Vila dos Prascianos e Tabocal) pois o terceiro poço (Vieira dos Carros) mostrou-se improdutivo durante os testes preliminares de caçamba, realizados logo após o término dos trabalhos de perfuração, mas será tentado o desenvolvimento do mesmo. A apresentação dos resultados obtidos se dará primeiramente para o aquífero do Grupo barreiras, por poço (local da perfuração) e, posteriormente, para o aquífero freático. Em anexo, são apresentados os dados obtidos em campo, dispostos na forma de fichas para cada poço e piezômetro monitorado.

Foi realizado, no poço da Vila dos Prascianos, teste de produção escalonado, visando obter dados para a determinação das perdas de carga totais que ocorrem no poço. Sua análise e resultados será fruto de um relatório a parte.



Legenda

- Poço da Vila dos Praianos
- Poço da Vila de Tabocal
- Poço da Vila de Vieira dos Carros

Figura 1.1 - Mapa de localização dos poços da Bacia do Rio Mundaú (1:200.000)

1.1.2 - METODOLOGIA

Os teste de bombeamento (ou teste de aquíferos) seguiram uma metodologia padrão, conforme descrito a seguir

Primeiramente é realizado uma aferição nos instrumentos de monitoramento dos níveis de água (metragem e funcionamento) Uma vez checados todos os materiais necessários, passa-se para a realização do pré-teste, que consiste num bombeamento preliminar de curta duração (de 2 a 4 horas), cuja finalidade é, dentre outras, definir a descarga a ser empregada no teste principal e aferimento final dos equipamentos de medição (de descarga e de monitoramento dos níveis de água) A vazão é definida em função da capacidade da bomba submersa e da resposta dos níveis dinâmicos O instrumento empregado para o monitoramento da vazão foi um escoador de orifício circular.

Vinte e quatro horas depois da realização do pré-teste inicia-se o teste de bombeamento Em cada ponto de observação (poço e piezômetros) ficou um técnico monitorando os níveis d'água em intervalos de tempo pré-estabelecidos (vide fichas - Anexo A) O controle da vazão (constante) se fez pela manutenção do nível do escoador de orifício circular, através de um registro. Foi realizado um acompanhamento gráfico da evolução dos rebaixamentos através da plotagem de pontos em papel mono-log (rebaixamento x tempo)

Após transcorrido o tempo previsto de bombeamento (24 a 48 hs), a bomba era desligada e imediatamente eram medidos a recuperação dos níveis de água, conforme tempos pré-estabelecidos (Anexo A). O ensaio de recuperação teve sempre um tempo menor que o de bombeamento.

Em escritório os dados alimentaram uma planilha eletrônica, a partir da qual foram feitas as análises de consistência e elaboração das curvas típicas. O cálculo dos parâmetros hidrodinâmica foram realizados por intermédio de um software específico para a estimativa automática desses parâmetros.

1.1.3 - NOÇÕES TEÓRICAS

A equação diferencial geral que governa o fluxo subterrâneo nos meios porosos é expressa como

$$\frac{\partial(K_x \partial h)}{\partial x^2} + \frac{\partial(K_y \partial h)}{\partial y^2} + \frac{\partial(K_z \partial h)}{\partial z^2} = S_e \frac{\partial h}{\partial t}$$

onde. **K** = condutividade hidráulica ($L T^{-1}$),
h = carga hidráulica (L),
t = tempo (T),
S_e = coeficiente de armazenamento específico,
x, y e z = dimensões do meio

Para as condições específicas de aquífero confinado não drenante, caso do aquífero estudado, e em condições de regime transitório (observado nos testes de bombeamento), a equação acima se reduz à

$$h_0 - h = s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{-e^{-u}}{u} du$$

com

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

onde **Q** = vazão de bombeamento ($L^3 T^{-1}$),
T = transmissividade ($L^2 T^{-1}$),
S = coeficiente de armazenamento,
s = rebaixamento a uma distância **r** do poço bombeado (L)
r = distância do poço bombeado ao ponto de rebaixamento **s** (L),
t = tempo a partir do início do bombeamento (T)
u = variável de Boltzman

Esta integral não tem solução exata. Theis propôs uma resolução através de uma série convergente, chegando a equação a seguir, conhecida como equação de Theis.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

onde

$$W(u) = \text{Função de poço} = -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

Isolando-se os valores de T e S temos.

$$\boxed{T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)} \quad e \quad \boxed{S = \frac{4 T t u}{r^2}}$$

Quando o valor de u (variável de Boltzman) é muito pequeno ($u < 0,01$), os dois primeiros termos da série de Theis são suficientes para apresentar uma aproximação bastante confiável do valor de $W(u)$, ou seja

$$s = \frac{Q}{4\pi T} [-0,5772 - \ln u], \text{ lembrando que } u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

Trabalhando esta equação e trocando-se a base logaritmica chega-se a conhecida **equação de Jacob** (aproximação logaritmica de Jacob), conforme apresentado abaixo

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{r^2 S}$$

que pode ser reescrita da seguinte forma.

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \left(\log \frac{2,25 T}{r^2 S} + \log t \right)$$

reestruturando, e isolando-se o termo T :

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s} \log \frac{t_2}{t_1}$$

Usando-se um intervalo de tempo ($t_2 - t_1$) igual a um ciclo logaritmo, tem-se que t_2/t_1 será igual a um, e a equação acima simplifica-se em.

$$\boxed{T = \frac{0,183 Q}{\Delta s}}$$

onde. Δs = variação do rebaixamento tomado em um ciclo logaritmo (L),
 t_1 e t_2 = tempos correspondentes aos rebaixamentos s_1 e s_2 , respectivamente (T)

E para o calculo do coeficiente de armazenamento (S) tem-se

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

onde T = transmissividade (L^2T^{-1}),
 t_0 = tempo em que o rebaixamento é nulo $\rightarrow s = 0$ (T),
 r = distância do poço ao ponto monitorado (L)

Em se tratando de regime transitório com descarga constante, condições observadas nos testes de bombeamento dos poços da Bacia do Rio Mundaú, uma ótima estimativa dos parâmetros hidráulicos pode ser obtida pelo estudo do comportamento da recuperação dos níveis de água após o término do bombeamento.

Admitindo-se que o poço tenha sido bombeado durante um tempo τ a uma vazão Q constante, se pararmos o bombeamento, isto equivale teoricamente a continuar o bombeamento mas com uma vazão $-Q$ constante, que corresponderia a uma recarga de igual intensidade da vazão de bombeamento. Os níveis observados agora seriam os rebaixamentos residuais (s'), ou seja, referenciados ao nível inicial do aquífero, antes do bombeamento. Tem-se, para um aquífero confinado, a conhecida fórmula de recuperação de Theis

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t + \tau}{t}$$

onde: t = tempo em um determinado instante após o término do bombeamento (T);
 s' = rebaixamento residual para o correspondente t (L).

A partir dela facilmente pode-se obter os valores de transmissividade (T)

$$T = \frac{0,055 Q}{s_r}$$

As equações de Theis e Jacob apresentadas anteriormente podem ser aplicadas para a caracterização dos parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos livres em regime transitório, desde que o rebaixamento produzido seja pequeno em relação a espessura saturada ($s < 25\% H_0$) e sejam feitas correções aos rebaixamentos medidos para anular o efeito das perdas de carga adicionais devido as componentes de fluxo vertical existente durante o bombeamento neste tipo de aquífero. Esta correção é conhecida como correção de Dupuit-Jacob, e se constitui em:

$$s_c = s - \frac{s^2}{2H_0}$$

onde: s_c = rebaixamento corrigido (L),
 s = rebaixamento medido (L),
 H_0 = espessura saturada inicial (L)

1.1.4 - AQUÍFERO CONFINADO DO GRUPO BARREIRAS

Vila dos Prascianos

Na Vila dos Prascianos foram furados, além do poço, dois piezômetros, sendo um deles multi-nível, além de um conjunto poço-piezômetro para o freático, dispostos conforme a Figura 1. O perfil construtivo e litológico desse poço é apresentado na figura 1.2. Em anexo (Anexo A) são apresentados algumas fotos tiradas no transcorrer dos testes neste local. Podem ser observados detalhes do piezômetro multinível, do escoador de orifício circular empregado para monitoramento da vazão e o aspecto "treinamento" de profissionais da área, tanto da FUNCEME como de outros órgãos

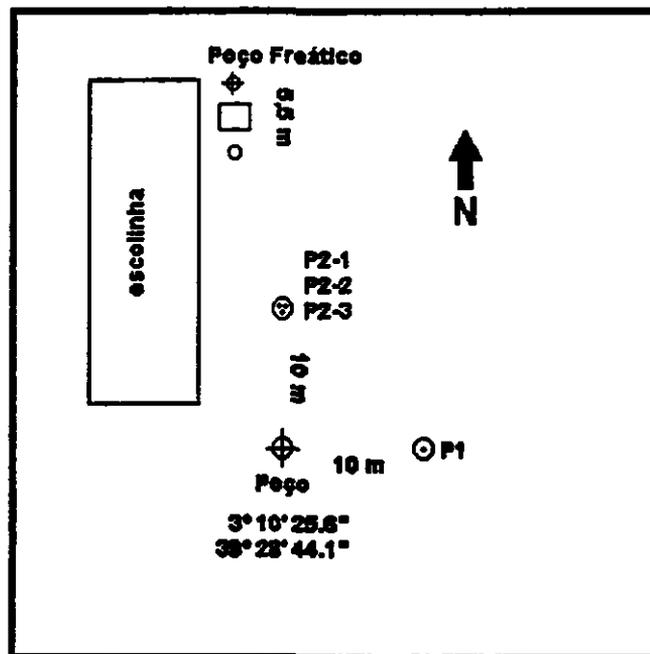


Figura 1.2 - Planta esquemática do poço da Vila dos Prascianos

Como pode-se observar na figura 1.3 foram colocadas cinco zonas filtrantes na tubulação do poço principal. Já no piezômetro P1 (Figura 1.4) foram selecionadas somente 4 zonas, menosprezando a camada entre os 98 e 100 m, dados a sua pequena espessura. No piezômetro multi-nível P2 (Figura 1.4) foram selecionadas três zonas filtrantes para monitoramento, desprezando-se a mesma zona citada anteriormente, e a zona mais profunda (entre 120 e 124 m) por motivo técnico.

O teste de bombeamento se deu em duas fases. A primeira fase constitui-se num bombeamento contínuo de 48 horas, há uma vazão constante (monitorada com escoador de orifício circular) A segunda fase constituiu-se no monitoramento, durante 24 horas, da recuperação dos níveis d'água. Os dados obtidos em cada uma das fases, para cada um dos pontos de observação, estão registradas nas respectivas fichas apresentadas no Anexo A. Estes dados foram primeiramente tabulados em uma planilha eletrônica para a análise de consistência (método gráfico) e cálculo de variáveis (rebaixamento e descarga específica) As curvas características do poço e dos piezômetros são apresentadas na figura 1.5 (a,b,c e d).

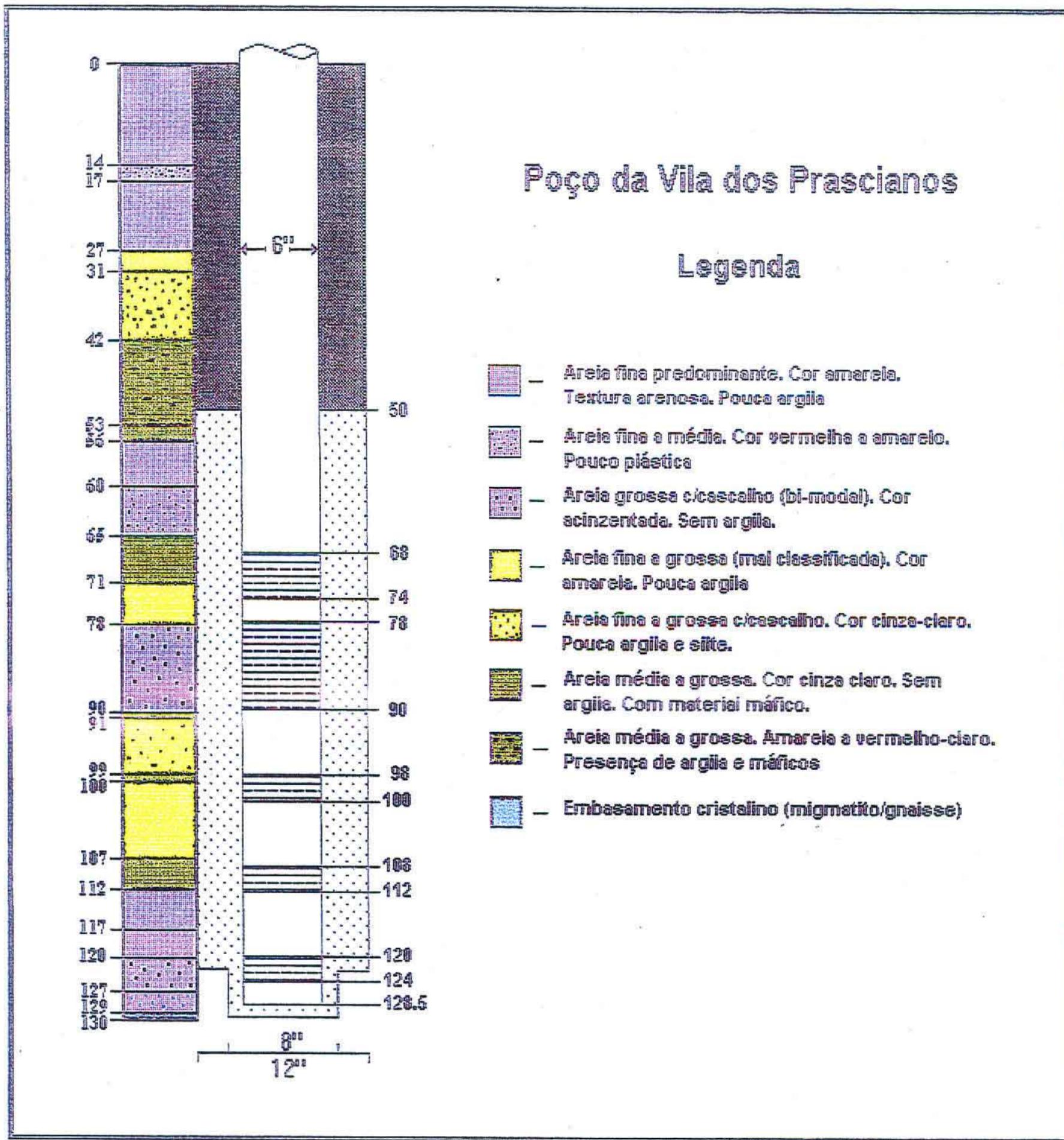


Figura 1.3 - Perfil geológico e construtivo do poço da Vila dos Prascianos



Piezômetros da Vila dos Prascianos

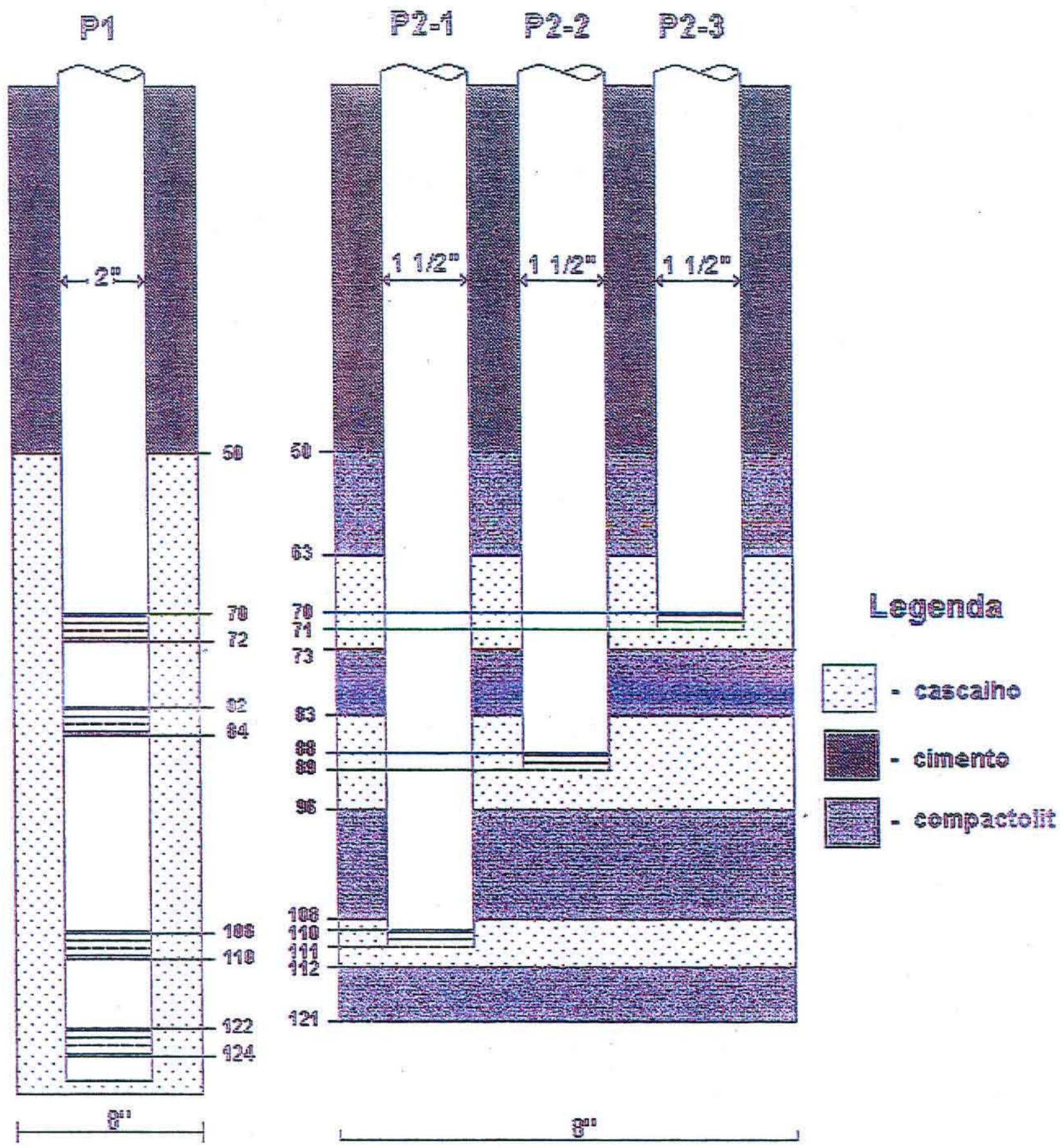


Figura 1.4 - Perfis construtivos dos piezômetros da Vila dos Prascianos

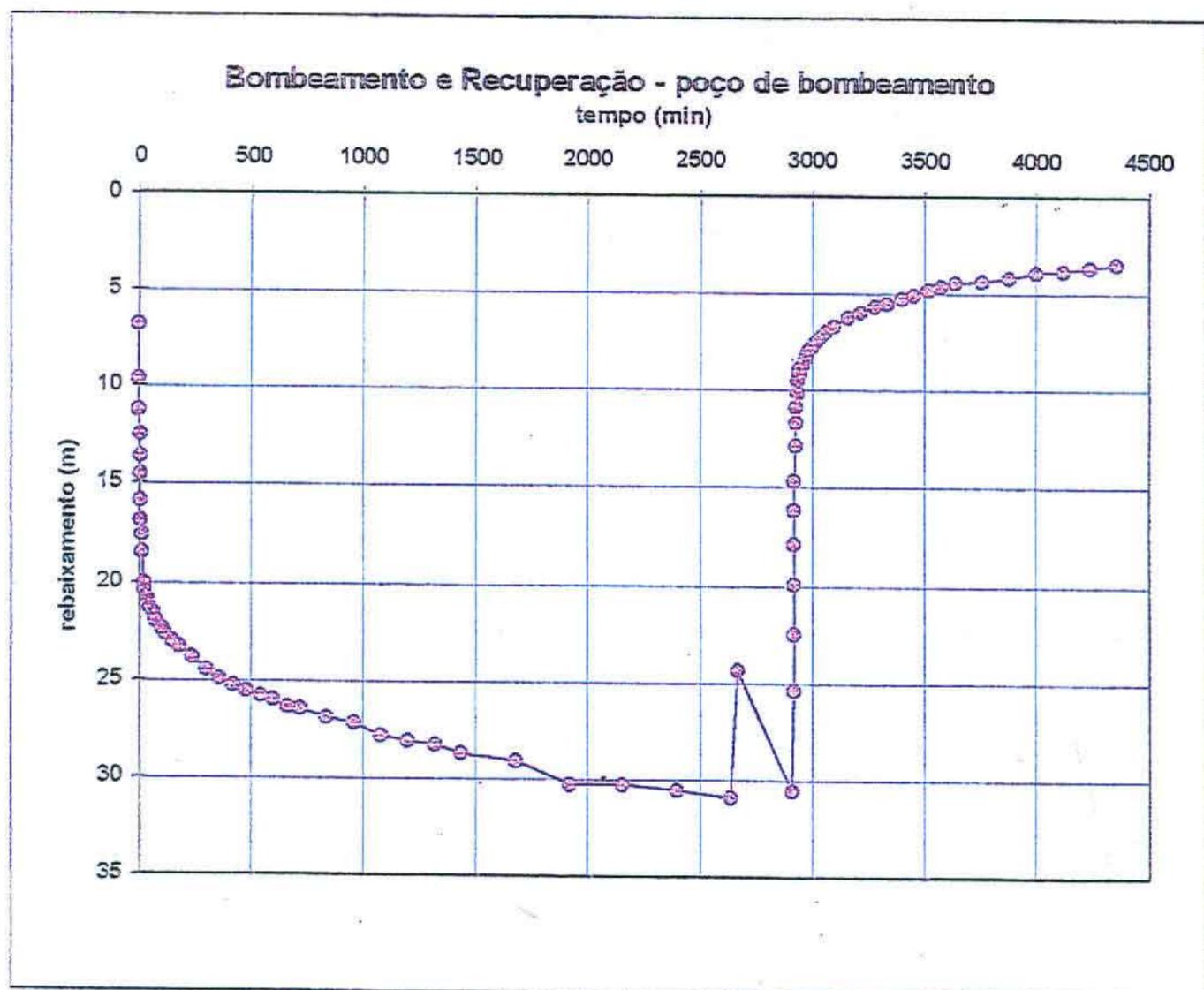
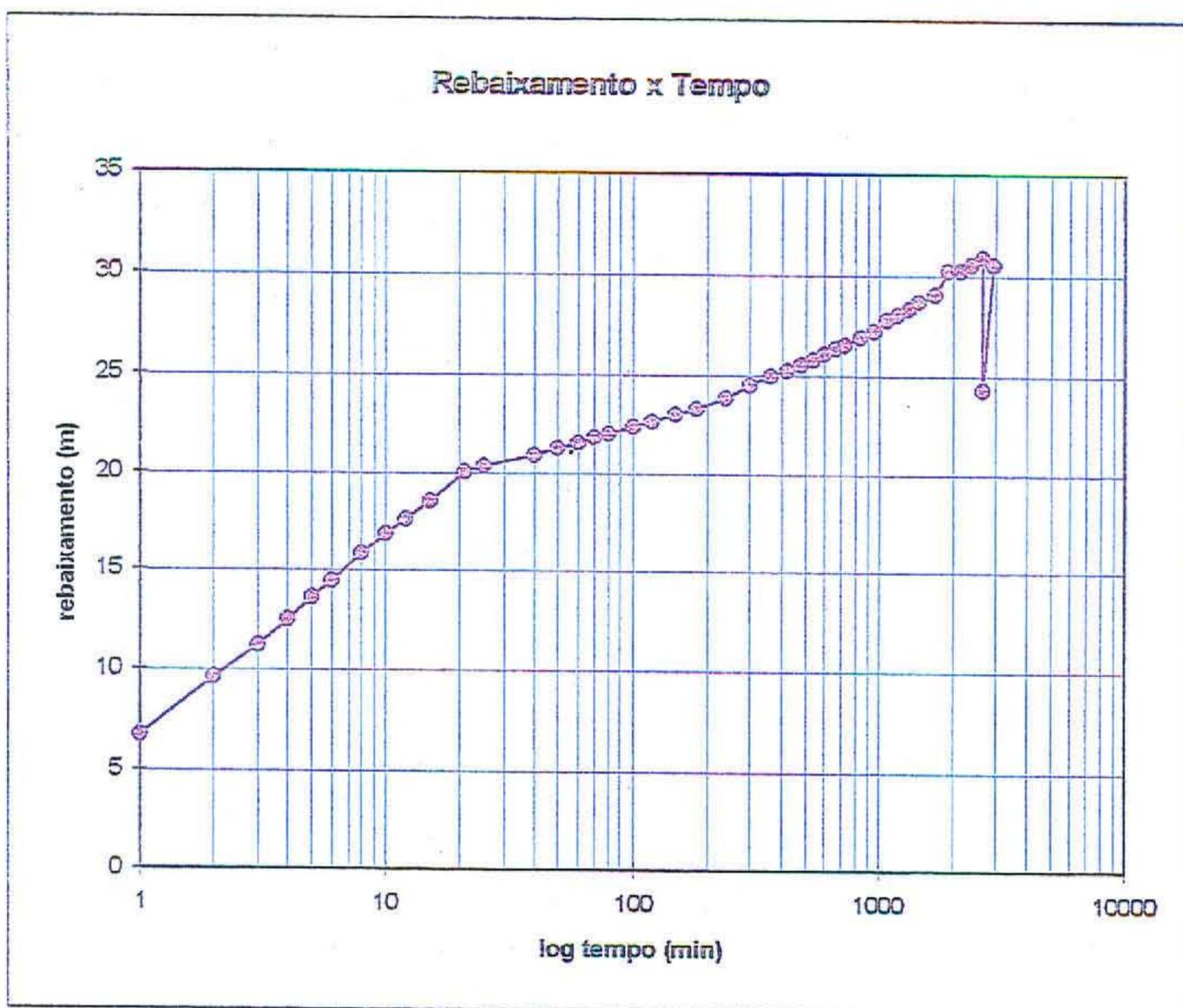


Figura 1.5 - a: Curvas tipo - Poço produtor da Vila dos Prascianos (Itapipoca)

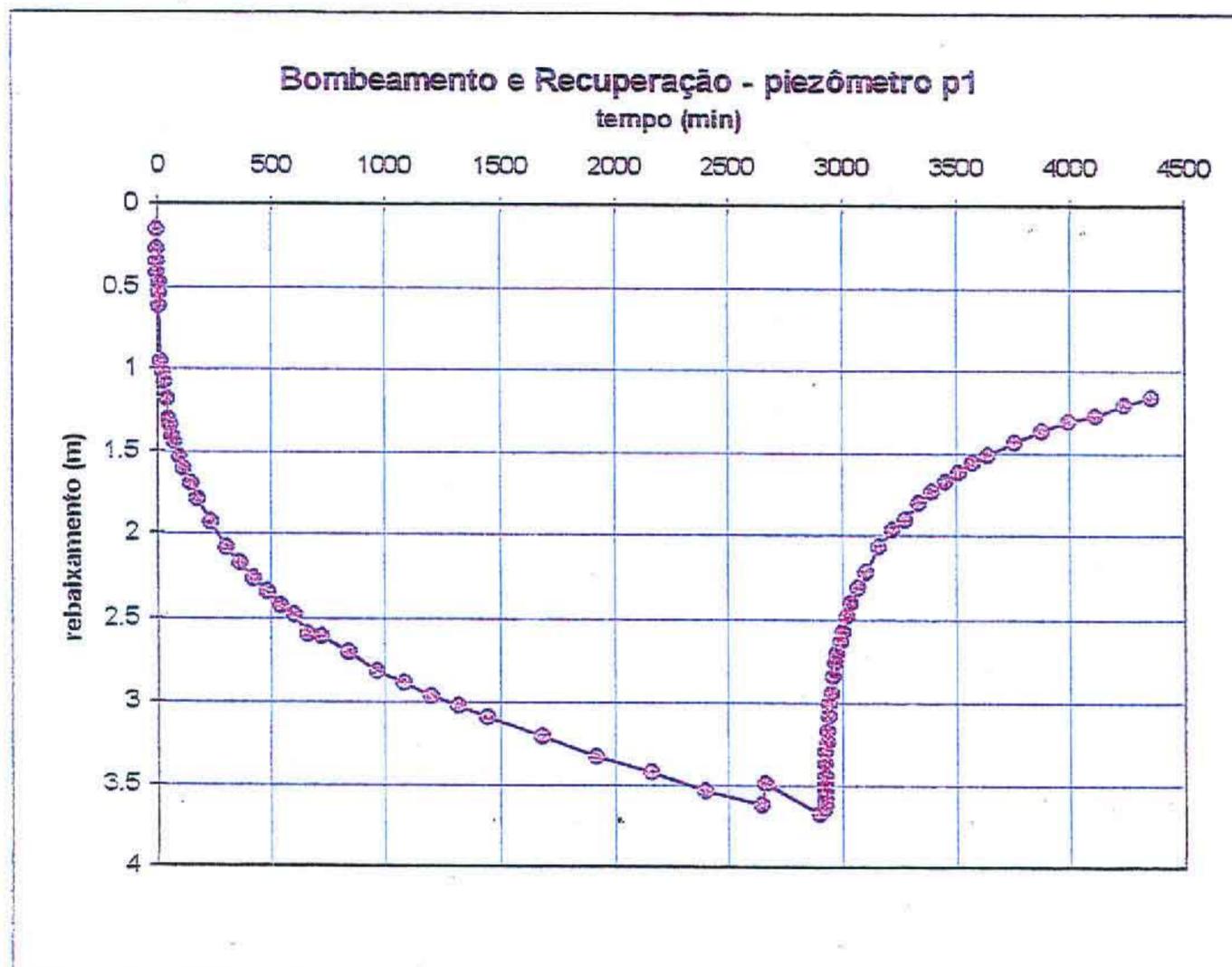
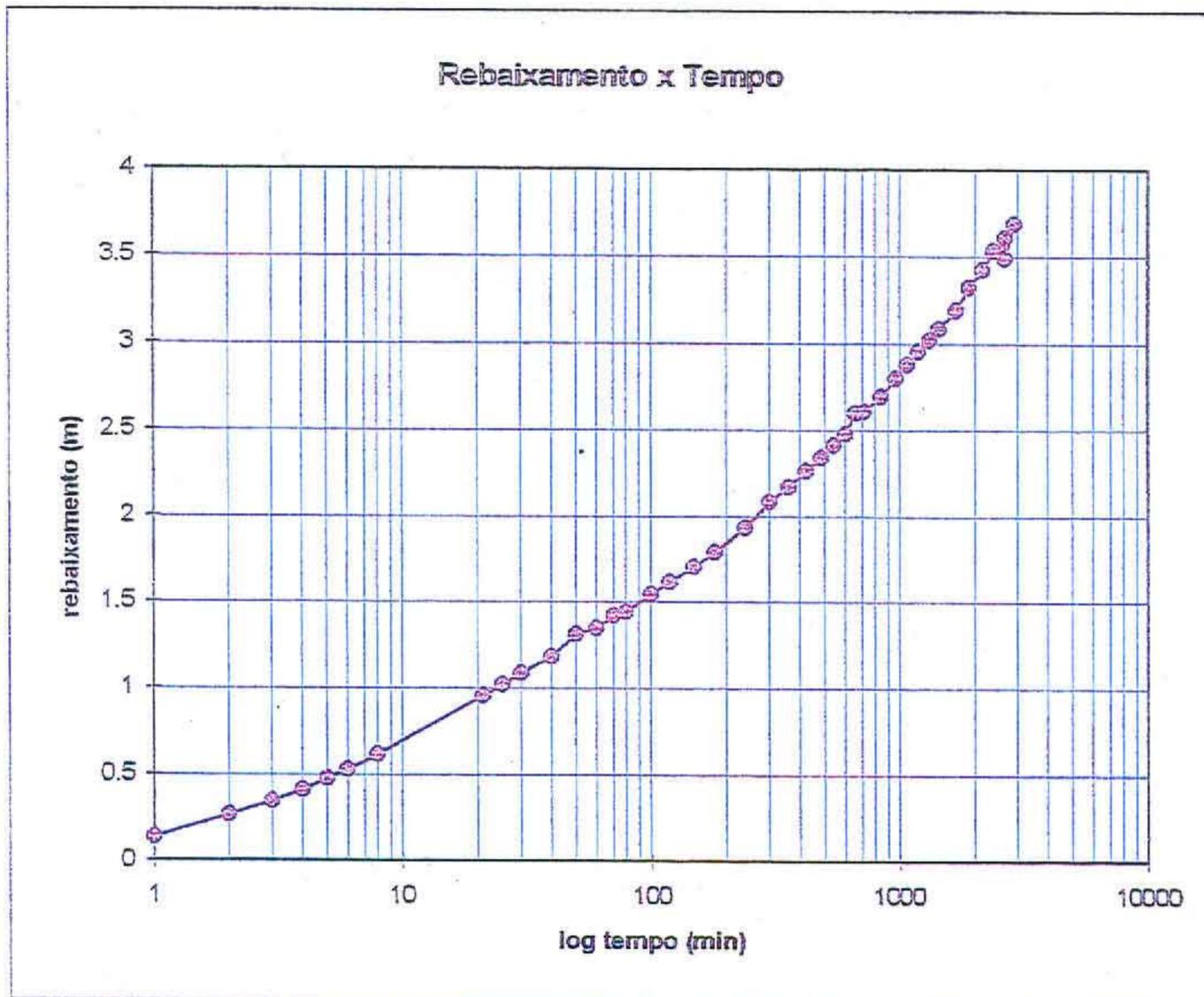


Figura 1.5 - b: Curvas tipo - Piezômetro P1 de Marinheiros (Itapipoca)

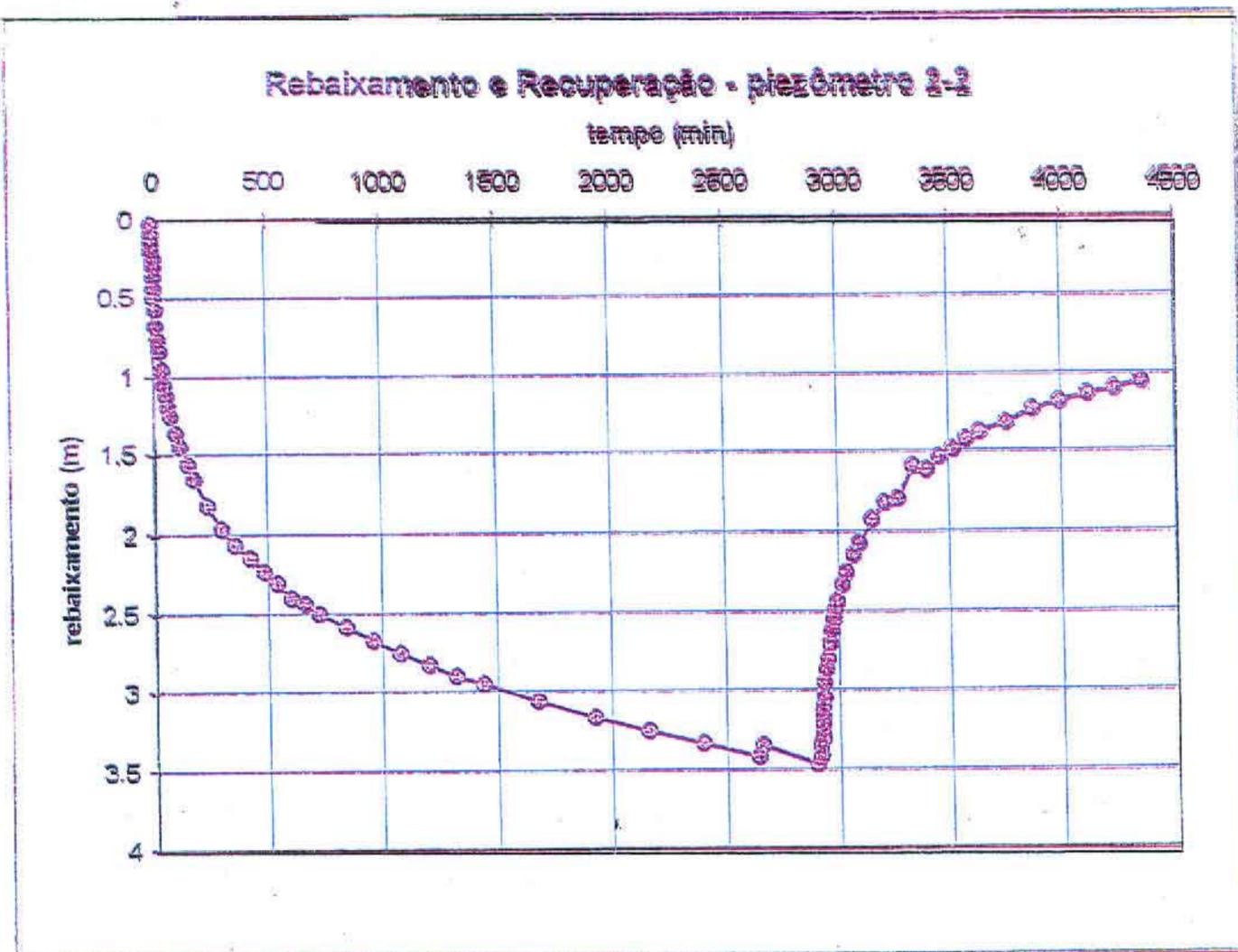
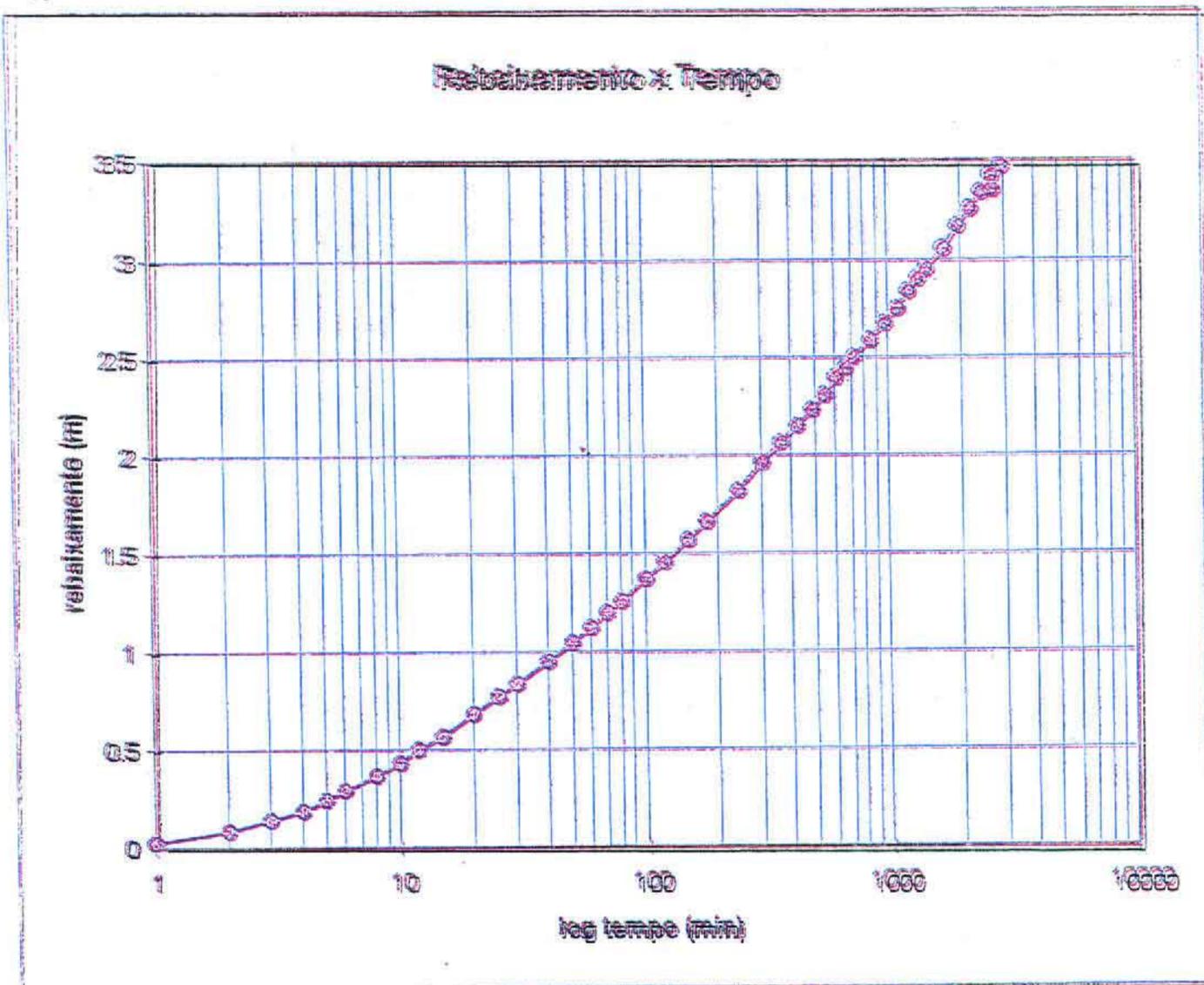


Figura 1.5 - c: Curvas tipo - Piezômetro P2-2 de Marimbuco (Itapipoca)

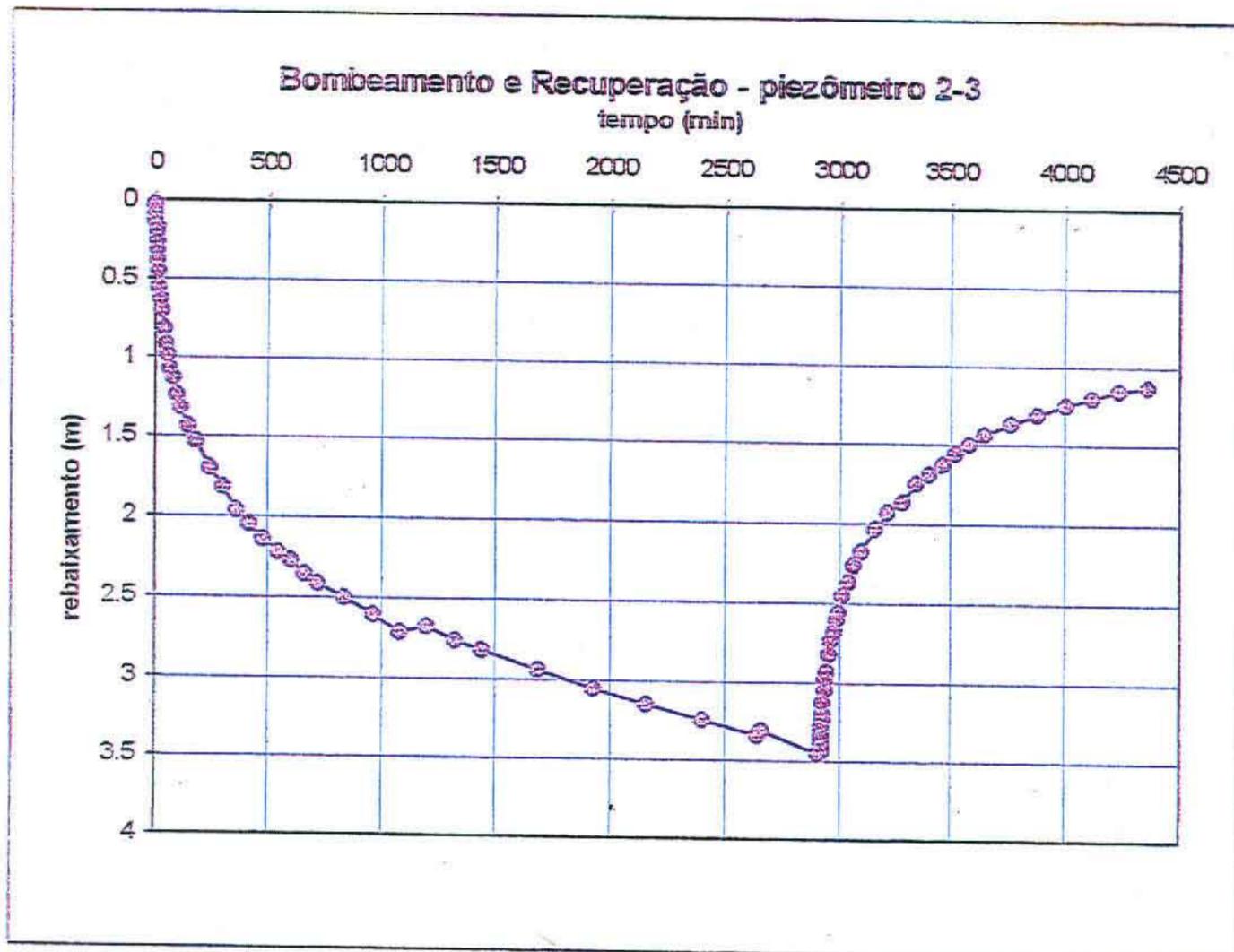
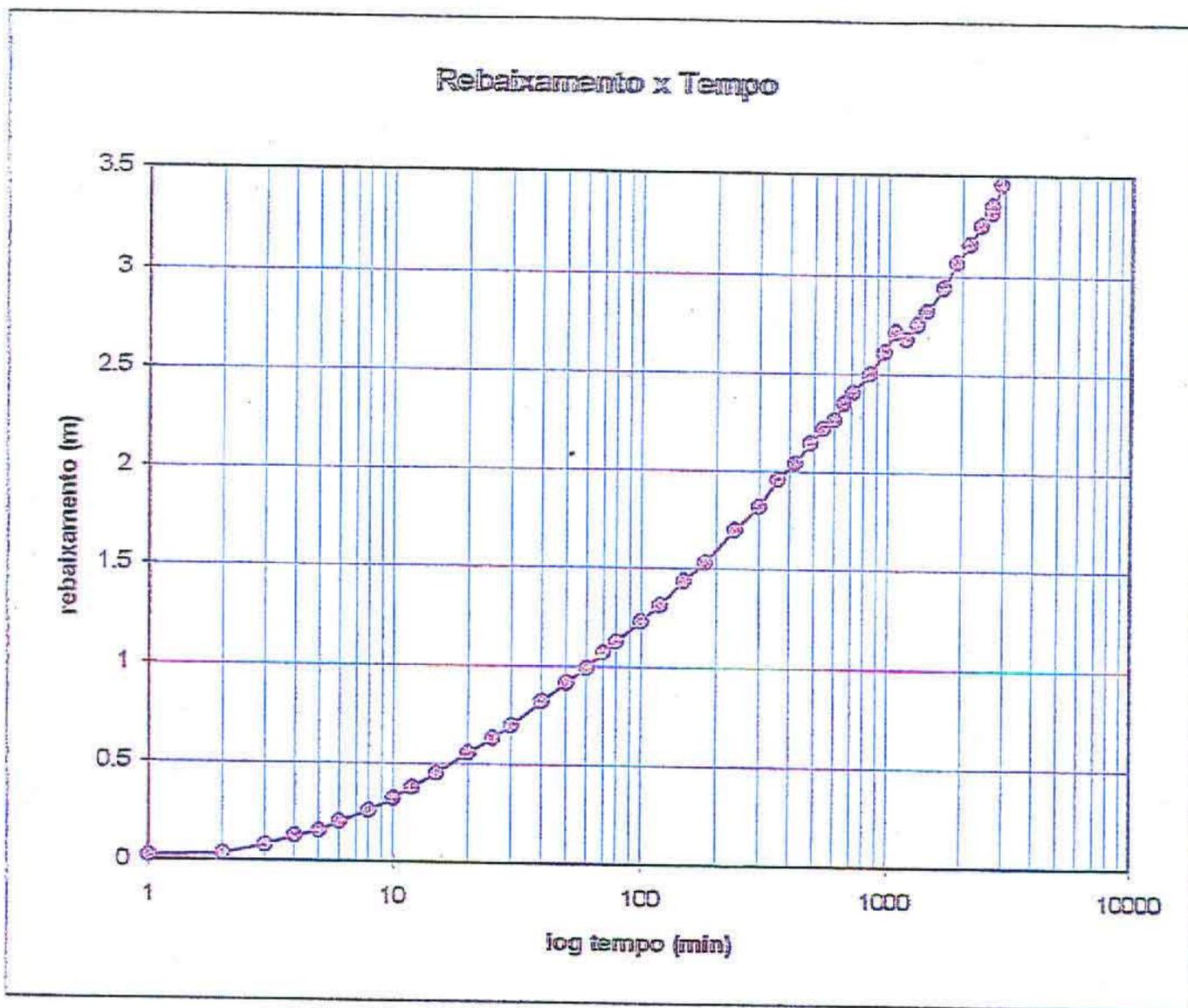


Figura 1.5 - d: Curvas tipo - Piezômetro P2-3 de Marinheiros (Itapipoca)

Tabocal

Na Vila de Tabocal foram furados um poço e um piezômetro, dispostos conforme mostrado na figura 1.6. O perfil litológico e construtivo desse poço é apresentado na figura 1.7. A figura 1.8 mostra o perfil construtivo do piezômetro.

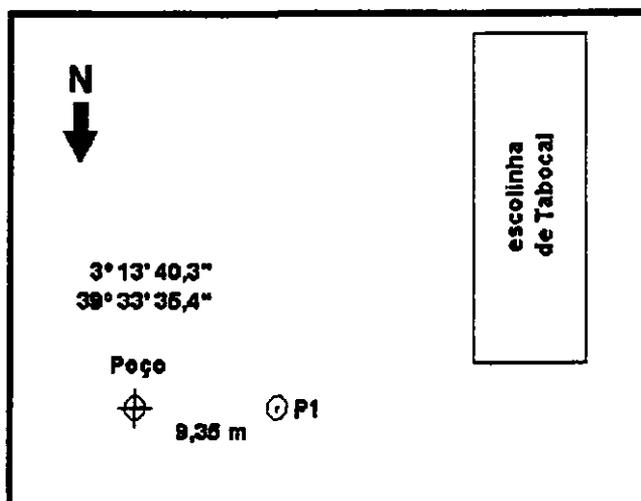


Figura 1.6 - Planta esquemática do poço da Vila de Tabocal

Pode-se observar pelo perfil do poço que a espessura do Grupo Barreiras neste local é significativamente menor, perfazendo aproximadamente 50 m. Esta configuração está de acordo com os trabalhos de geofísica realizados nesta bacia, que indicava o aumento do pacote sedimentar em direção norte.

Dado a maior uniformidade dos sedimentos não houve a necessidade da instalação de piezômetro multi-nível. A colocação das seções filtrantes do poço seguiu o critério granulométrico. O piezômetro está monitorando toda a camada aquífera. A construção do poço e do piezômetro não sofreram qualquer impedimento técnico.

O teste de bombeamento realizado em Tabocal também se deu em duas fases. A primeira fase constitui-se num bombeamento de 24 horas, há uma vazão constante (monitorada com escoador de orifício circular). A segunda fase constituiu-se no monitoramento, de aproximadamente 25 horas, da recuperação dos níveis d'água. Os dados obtidos em cada uma das fases estão registradas nas respectivas fichas apresentadas no Anexo A. Estes dados foram tabulados em uma planilha eletrônica para a análise de consistência (método gráfico) e cálculo de variáveis (rebaixamento e descarga específica). As curvas características do poço e do piezômetro são apresentadas na figura 1.9 (a e b).

Como o bombeamento foi realizado com uma bomba injetora a diesel, não houve qualquer interferência no transcorrer do bombeamento. Mas isto também acarretou num pequeno transtorno que foi a pequena oscilação do nível piezométrico no vertedouro de orifício circular, devido a rotação do motor da bomba, mas para efeitos práticos não houve comprometimento do teste.

Considerando-se uma espessura média de 60 m para o aquífero confinado do Grupo Barreiras na área onde se realizou o teste de bombeamento tem-se, como valor aproximado da condutividade hidráulica (K)

$$K = 2.0383E-004 \text{ m/min} \\ 2.9351E-001 \text{ m/dia}$$

Estes valores (T e K) caracterizam um aquífero de baixo potencial hidrogeológico, em se tratando de um meio contínuo. Isto está coerente se considerarmos a litologia local e os valores de T e K apresentados na bibliografia especializada (CUSTODIO & LLAMAS, 1983)

A baixa transmissividade também já era esperado dado ao comportamento apresentado pelos níveis de água no poço durante o teste de bombeamento (Figura 14 - a). Pode-se verificar que o rebaixamento ocorrido nos primeiros minutos do teste foi brusco e acentuado, característica de aquíferos de transmissividade pobre.

Em relação aos valores obtidos para o coeficiente de armazenamento pode-se verificar que o intervalo de ocorrência também foi pequeno. Os obtidos pelo método de Jacob com ajuste estatístico sempre foram menores que os obtidos pelo outro método. Isto se deve a limitação imposta pelo método, ou seja, somente válido para valores de $u < 0,01$. Pelo método estatístico ocorre a tendência de tentar ajustar a reta a um número maior de pontos, inclusive a aqueles que não satisfazem a citada condição e, portanto, diminuindo a declividade da reta e, conseqüentemente subestimando os valores de S (e também T). Mas observando-se mais atentamente pode-se verificar o ótimo ajuste obtido entre os valores obtidos pelo método de Jacob por ajuste visual (onde tomou-se o cuidado de respeitar-se a condição) e os obtidos pelo método de Theis por ajuste estatístico da reta. Assim, achou-se por bem tomar a média entre estes valores, obtendo-se:

$$S = 2.0495E-003 \quad (\text{máx} = 1.1180E-003, \text{mín} = 2.6888E-003)$$

Este valor é considerado relativamente alto, ou seja, é indicativo de uma excelente capacidade de armazenamento (ou de liberação) por parte do aquífero. Isto foi atestado em campo quando do cessar do bombeamento, com uma recuperação excepcional.

Durante o teste de bombeamento foi também monitorado, com intervalos mais espaçados, o piezômetro no aquífero livre. Esta ação visava verificar possível conexão hidráulica entre os dois aquíferos. Não foi observado qualquer variação do nível d'água neste piezômetro, o que leva a se concluir que não há qualquer conectividade das águas dos aquíferos.

recuperação Os dados de campo estão tabulados no Anexo A

Tabela 1 2 - Valores de T e S obtidos pelos diversos métodos de interpretação

Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste visual das curvas						
		Poço	piez. 1	piez. 2.1	piez. 2.2	piez. 2.3
T	Theis	2.0856E-003 4 11264	1.1631E-002 23 4864	x	1.1007E-002 15 85008	1.1351E-002 19 4544
	Jacob	2.1208E-003 3 053952	8.7560E-003 12.60864	x	9.5683E-003 13 778352	9.9933E-003 14.30352
	Recuperação	3.4711E-003 4 998384	1.2175E-002 17 532	x	1.3482E-002 19 41408	1.2812E-002 18.44928
Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste estatístico						
		Poço	piez. 1	piez. 2.1	piez. 2.2	piez. 2.3
T	Theis	2.1589E-003 3.1088	1.0669E-002 15.36336	x	9.9236E-003 14 28998	9.4683E-003 13.634352
	Jacob	2.1588E-003 3.10867	1.2360E-002 17 7984	x	1.1976E-002 17 24544	1.2018E-002 17 5392
	Recuperação	2.2419E-003 3 228336	1.4234E-002 20 49696	x	1.4674E-002 21 13056	1.4752E-002 21 24288
Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste visual das curvas						
		Poço	piez. 1	piez. 2.1	piez. 2.2	piez. 2.3
S	Theis	x	7.2600E-004	x	1.2430E-003	1.8655E-003
	Jacob	x	2.3633E-003	x	2.0580E-003	2.1387E-003
Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste estatístico						
		Poço	piez. 1	piez. 2.1	piez. 2.2	piez. 2.3
S	Theis	x	1.1180E-003	x	1.9363E-003	2.6888E-003
	Jacob	x	6.0493E-004	x	9.7437E-004	1.1936E-003

Os valores de transmissividade (T) obtidos pelos três métodos sempre foram menores com os dados do poço que com os dados dos piezômetros. Isto é bastante coerente uma vez que no poço estão embutidos nos valores de rebaixamento as perdas de cargas inerentes ao processo de bombeamento, fazendo com que seja subestimado os valores de T. O método pela recuperação sempre apresentou, para qualquer uma das obras hidráulicas, os maiores valores. Isto se justifica pelo mesmo motivo já citado, ou seja, na recuperação não existe as perdas de cargas inerentes ao regime de bombeamento. Entretanto, o intervalo de variação dos valores obtidos foi considera bom, mostrando haver uma consistência nos dados básicos, além de reforçar a idéia de ser um único aquífero, e não multiníveis como inicialmente imaginava-se com base nas amostras de calha obtidas para a confecção dos perfis geológicos.

Para efeito de estimativa dos valores de transmissividade julgou-se mais conveniente tomar a média dos valores obtidos (ajuste estatístico) com os dados dos piezômetros. Assim, tem-se:

$$T = 1.2230E-002 \text{ m}^2/\text{min} \quad (\text{máx} = 1.4752E-002 \text{ m}^2/\text{min} \quad , \quad \text{mín.} = 9.4683E-003 \text{ m}^2/\text{min})$$

$$17\ 611\ 984 \text{ m}^2/\text{dia} \quad \quad \quad 21\ 242\ 88 \text{ m}^2/\text{dia} \quad \quad \quad 13.634352 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Pode-se observar, principalmente nas curvas de rebaixamento do poço, que houve uma anomalia de registro no tempo 2666 min (correspondente as 9 42 do dia 27/06/96) Este sobressalto na curva corresponde a uma queda momentânea da energia elétrica (menos de 2 minutos) neste periodo, o que ocasionou a parada da bomba submersa e, conseqüentemente, uma recuperação do nível d'água Este registro, e o seguinte, foram descartados para efeito de calculo dos parâmetros hidráulicos, não havendo nenhum comprometimento na qualidade dos resultados obtidos

Abaixo é apresentado algumas informações básicas (Tabela 1 1) sobre o poço e os piezômetros construídos no aquífero Barreiras nesta área

Tabela 1 1 - Dados sobre o conjunto poço-piezômetro da Vila dos Prascianos

Vila dos Prascianos - Itaipoca					
Obra hidráulica	Profundidade (m)	Raio (m)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Observações
poço	130,0	0,076	19,83	50,50	Crivo da
piezômetro P1	126,0	10,0	19,96	23,70	bomba =
piezômetro P2-1	111,0	10,0	21,98	24,60	66,0 m
piezômetro P2-2	89,0	10,0	19,74	23,20	Vazão =
piezômetro P2-3	71,0	10,0	19,86	23,33	4,3 m ³ /h

Pode-se observar na tabela acima que somente os níveis estático e dinâmico do piezômetro P2-1 apresentaram valores distintos dos restantes Isto nos leva a inferir ser este o único nível monitorado que aparentemente não apresenta conexão com os demais. Cabe frisar que este piezômetro estava primeiramente projetado para monitorar um nível mais profundo (120 - 124 m) mas, por motivos técnicos, não foi possível, e suspeita-se que a base desse piezômetro tenha sofrido colapso devido a pressão exercida pelo vedante (compactolit) e pela própria formação Como pode ser visto na sua ficha de campo, no teste de bombeamento os níveis de água apresentaram comportamento anômalo, inviabilizando sua análise.

Já o poço e os demais piezômetros apresentaram valores similares dos níveis estático e dinâmico, inclusive na evolução proporcional dos níveis monitorados durante o teste de bombeamento, o que leva a inferir que os níveis argiloso que separam os níveis monitorados não constituem em camadas contínuas (confinantes), mas sim lentes de extensão limitada, não comprometendo a continuidade do aquífero Isto esta de acordo sobre as informações geológicas que se tem sobre Grupo Barreiras na região

O Programa empregado para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos chama-se AQTESOLV (Versão 1 00) Este software, criado em 1989 por Geraghty & Miller Modeling Group e atualmente de domínio público, constitui-se num programa para estimação automática dos parâmetros hidráulicos a partir de dados de teste de bombeamento No caso de aquíferos confinados, em regime transitório, permite o calculo dos coeficientes pelos três métodos já citados, sendo que o ajuste das curvas aos pontos observados, fase crucial numa análise, é feita tanto por assentimento (visual) do operador, como por ajuste estatístico (método dos mínimos quadrados).

A seguir é apresentado a tabela 1 2 onde se encontram os resultados obtidos na determinação das características hidrodinâmicas com base nos dados do teste de bombeamento. Foram empregados os métodos de interpretação já apresentados anteriormente, ou seja. Theis, Jacob e de

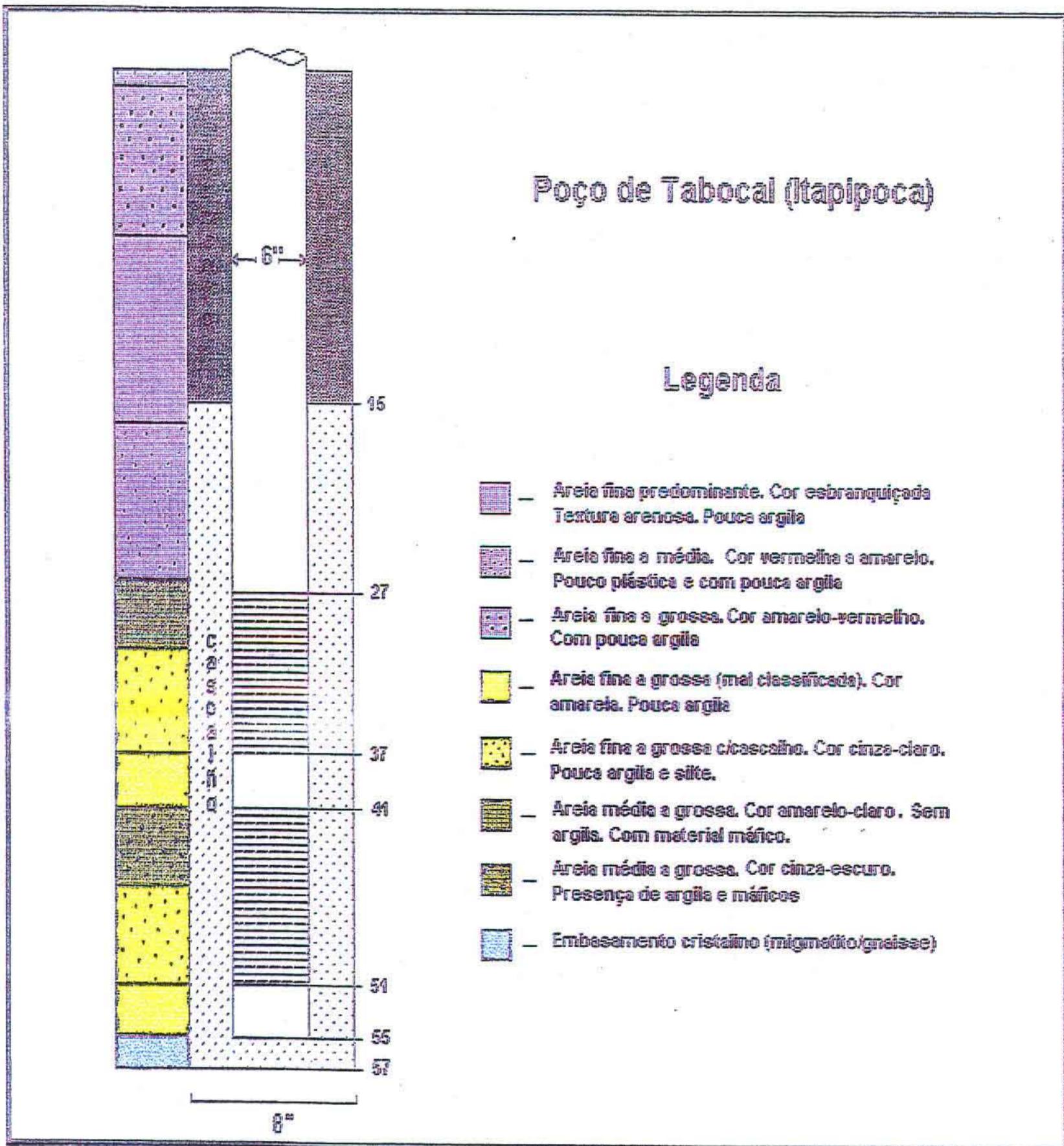


Figura 1.7 - Perfil geológico e construtivo do poço da Vila dos Prascianos

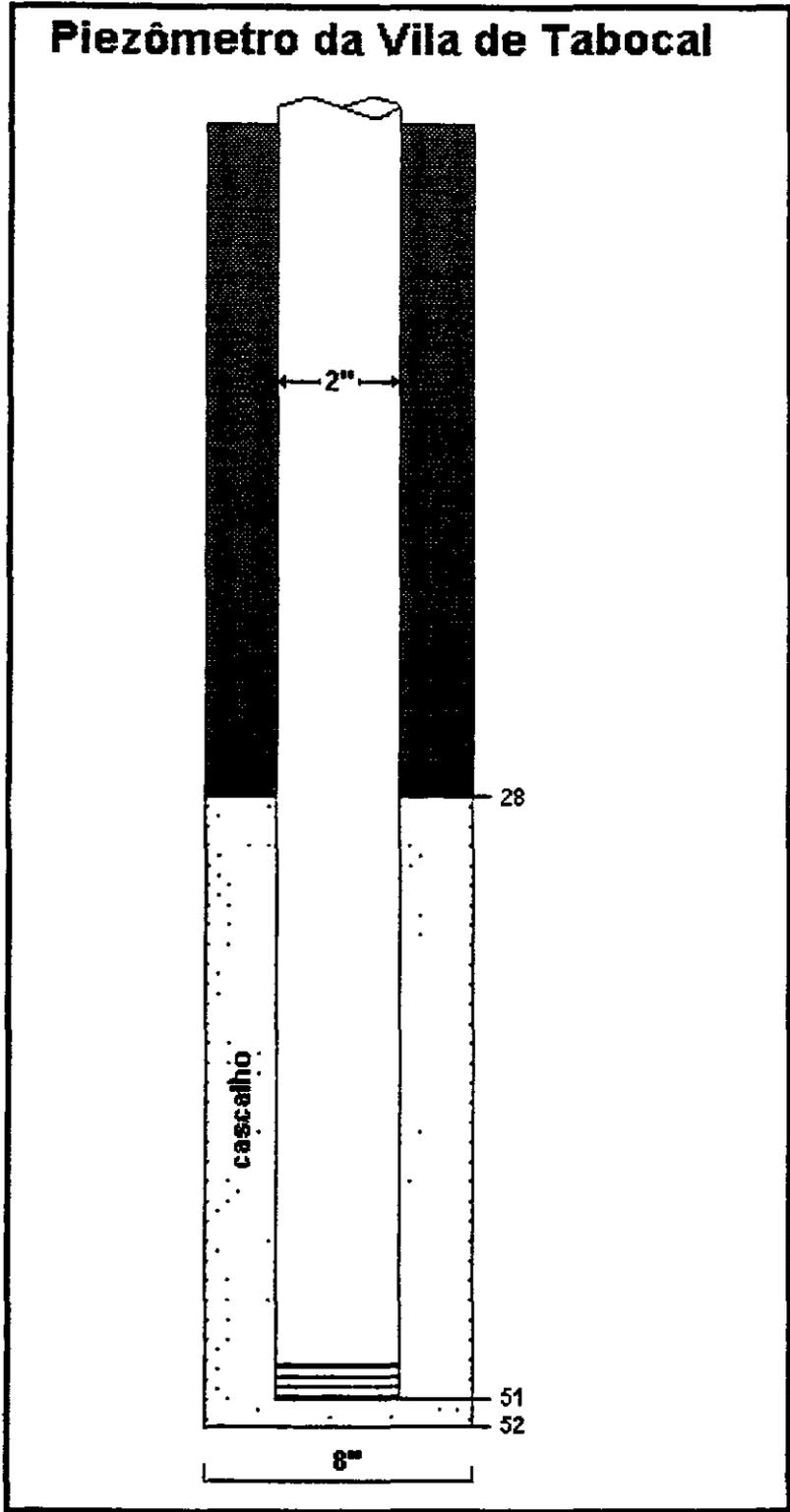


Figura 1.8 - Perfil construtivo do piezômetro da Vila de Tabocal

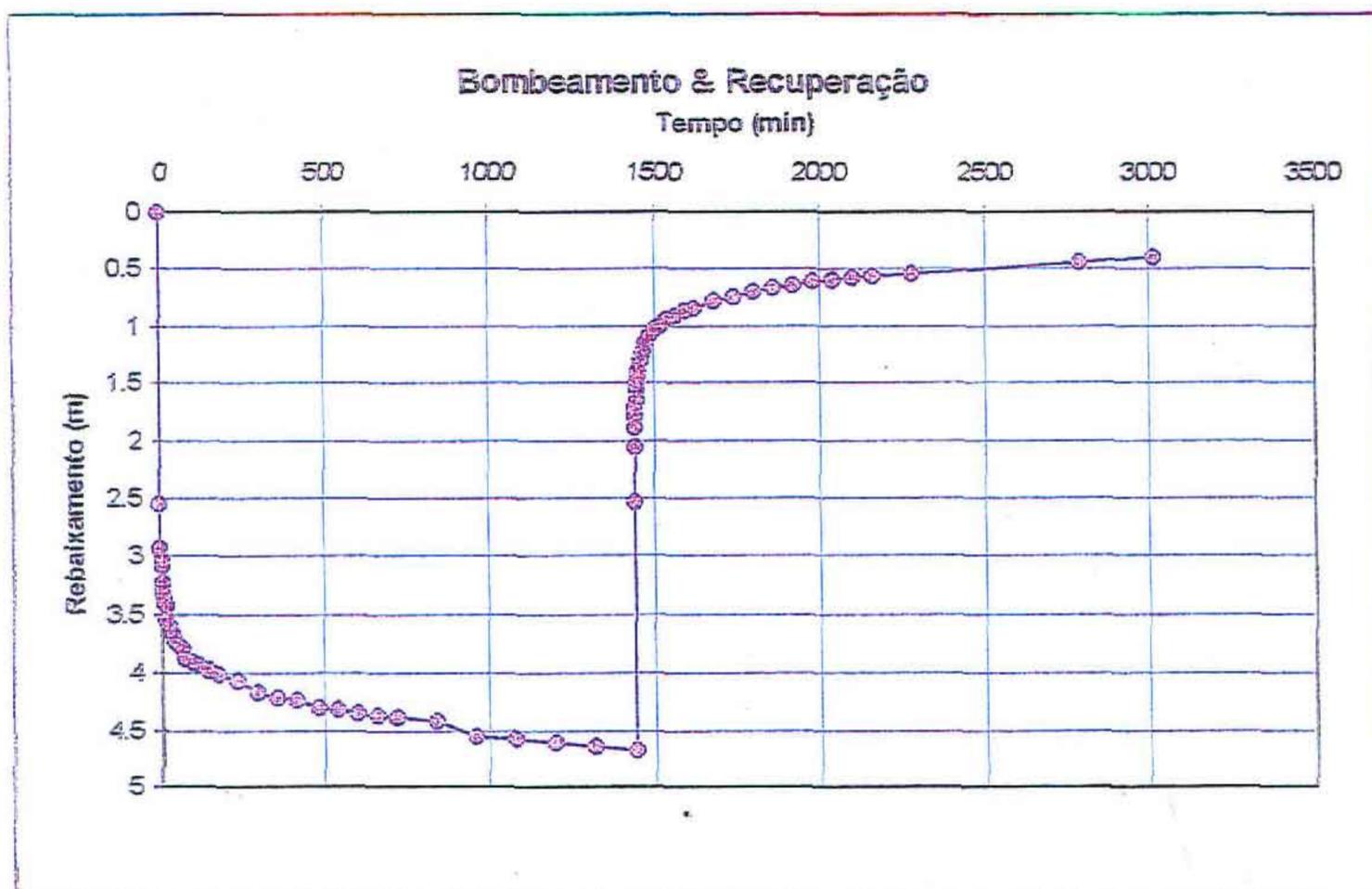
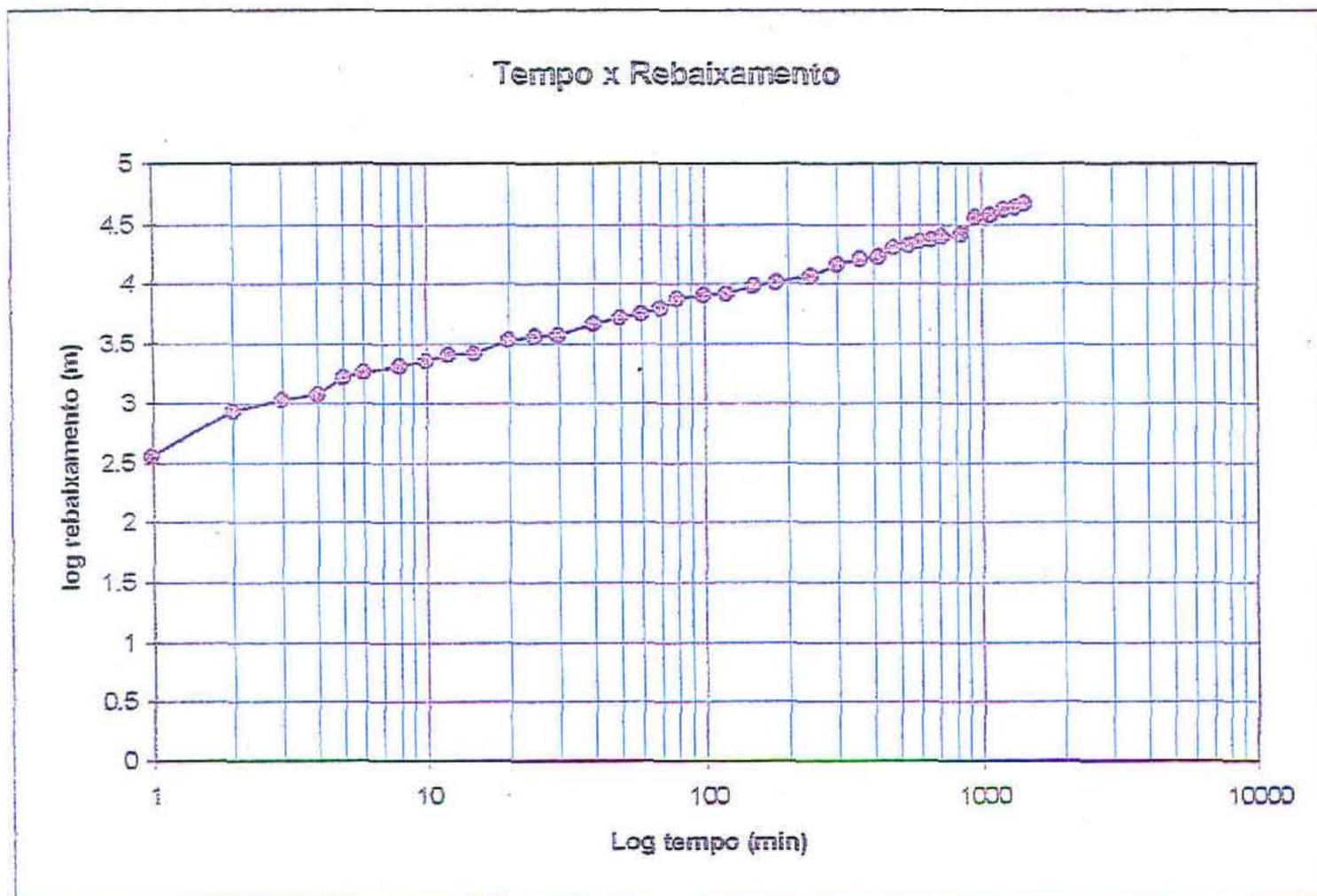


Figura 1.9 - a: Curvas tipo - Poço produtor de Tabocal (Itaipoca)

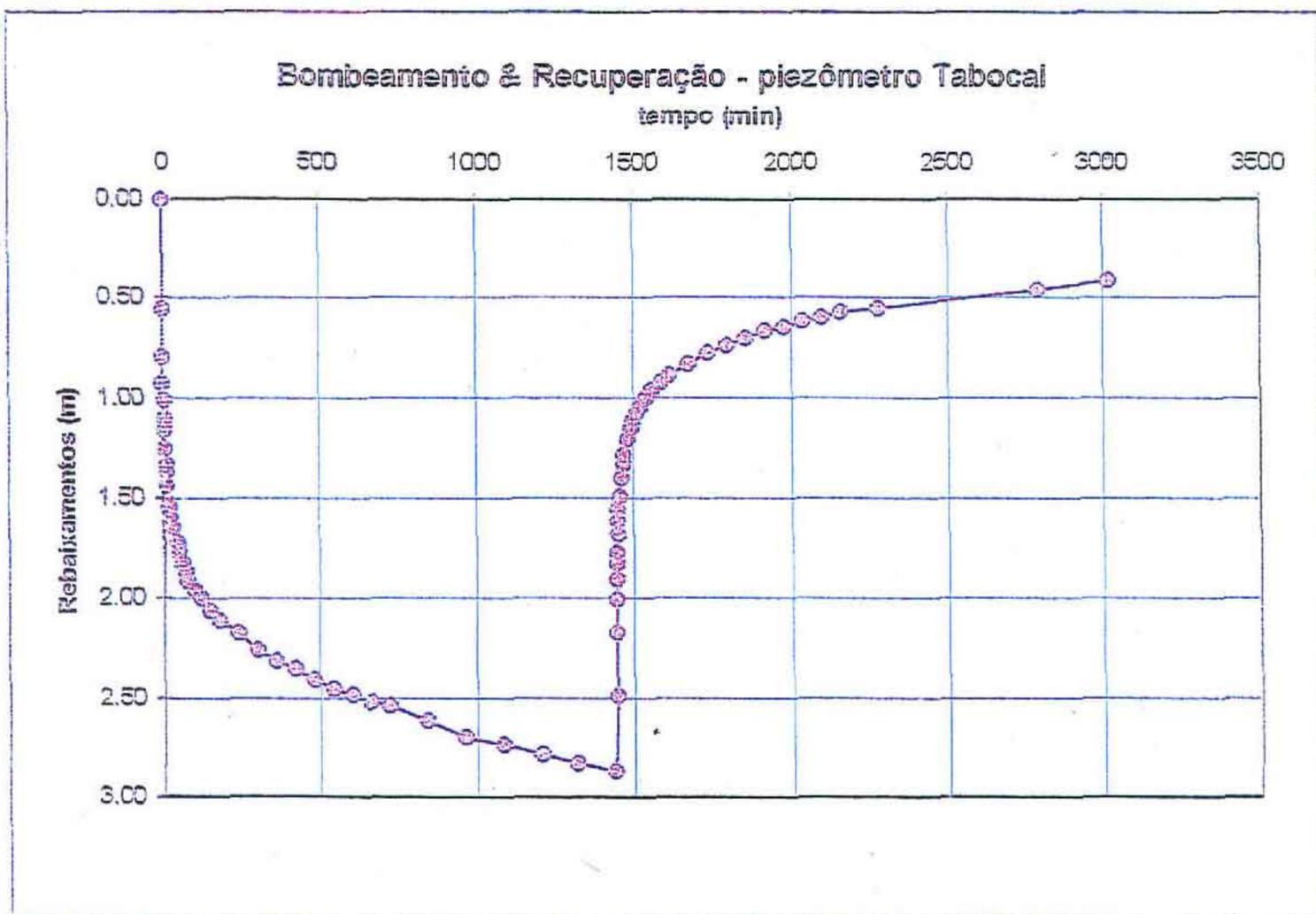
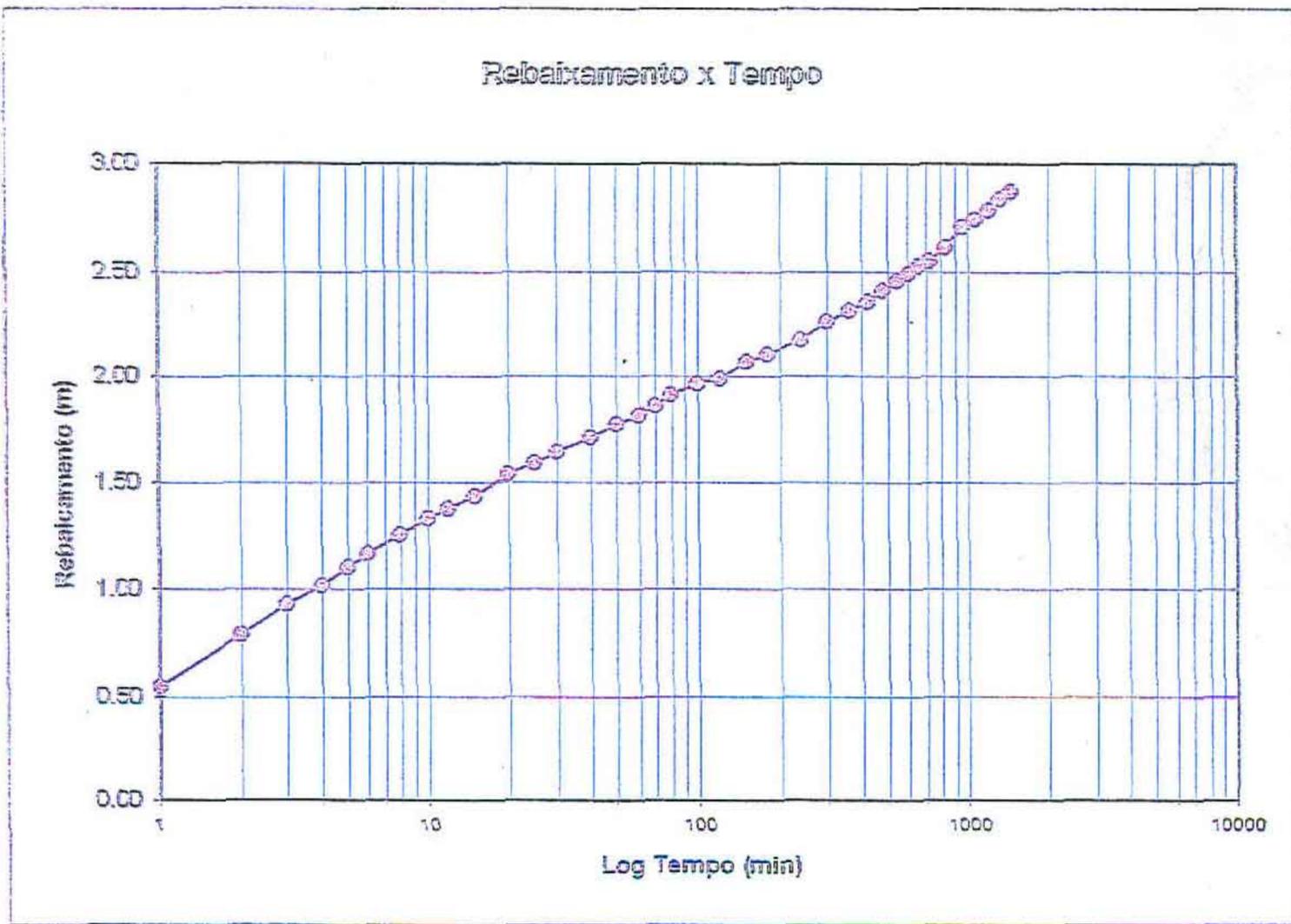


Figura 1.9 - b: Curvas tipo - Piezômetro de Tabocal (Itapipoca)

Abaixo é apresentada algumas informações básicas (Tabela 1 3) sobre o poço e o piezômetro construídos no aquífero Barreiras nesta área

Tabela 1 3 - Dados sobre o conjunto poço-piezômetro da Vila de Tabocal

Vila de Tabocal - Itapipoca					
Obra hidráulica	Profundidade (m)	Raio (m)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Observações
poço	57,0	0 076	3,388	8,064	Crivo da bomba = 36 m
piezômetro P1	52,0	9,35	3,330	6,196	Vazão = 4,798 m ³ /h

É apresentado abaixo a tabela dos resultados (Tabela 1 4) obtidos na determinação das características hidrodinâmicas com base nos dados do teste de bombeamento. Foram empregados os métodos de interpretação já citados (Theis, Jacob e de recuperação), com o auxílio do programa AQTESOLV. Os dados de campo estão tabulados no Anexo A.

Somente é apresentado os valores obtidos pelo ajuste automático (estatístico) uma vez que a qualidade do ajuste era ótima, em nada necessitando do ajuste visual. Isto atesta não somente a qualidade dos dados como também a maior uniformidade do aquífero amostrado no teste.

Tabela 1 4 - Valores de T e S obtidos pelos diversos métodos

Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste estatístico			
		Poço	Piezômetro
T	Theis	2.4656E-002 35 50464	2.1158E-002 30.46752
	Jacob	2.4661E-002 38 3184	2.1252E-002 30.60288
	Recuperação	2.5461E-002 36.66384	2.2543E-002 32.46192
		Poço	Piezômetro
S	Theis	x	7.5815E-005
	Jacob	x	7.3655E-005

Ao contrário do observado nos resultados obtidos para a Vila dos Prascianos, os valores estimados para a transmissividade (T) são sempre maiores no poço que no piezômetro. Isto talvez se deva a turbulência do nível d'água causada no interior do poço em função do tipo de bomba. Contudo, isto não invalida a análise, dado a coerência dos dados observados. Outro fato positivo é o pequeno intervalo de variação dos valores obtidos. Como a observação em piezômetro é sempre mais fidedigna, foi tomado a média desses valores como representativo da capacidade de transmissão. Tem-se portanto.

$$T = 2,1651E-002 \text{ m}^2/\text{min} \quad (\text{mín} = 2,1158E-002 \text{ m}^2/\text{min}, \quad \text{máx} = 2,2543E-002 \text{ m}^2/\text{min})$$
$$31,17744 \text{ m}^2/\text{dia} \quad 30,46752 \text{ m}^2/\text{dia} \quad 32,46192 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Como pode-se observar, o valor de T para o Barreiras em Tabocal é significativamente maior que o obtido para a mesma formação na Vila dos Prascianos. Considerando-se que a espessura do aquífero é menor que o anteriormente analisado, pode-se concluir que as características de transmissibilidade da água aumentaram, dado talvez a maior uniformidade granulométrica e as melhores características de porosidade denotada nas amostras de calha do poço. Se considerarmos uma espessura aquífera de 30 m para o local, tem-se como permeabilidade do meio (K)

$$K = 7.217E-004 \text{ m/min}$$
$$1.039248 \text{ m/dia}$$

O valor do coeficiente de condutividade hidráulica (K) de Tabocal é, apesar de maior, da mesma ordem de grandeza relativa que o obtido na Vila dos Prascianos. Assim, tem-se aqui uma perfeita continuidade do meio aquífero do Grupo Barreiras, com valores de T e K baixos, caracterizando um baixo (pobre) potencial para este meio.

Em relação ao coeficiente de armazenamento os resultados também foram impecáveis, dado a longa duração de observação. Os valores calculados mostraram-se sensivelmente mais baixos que os obtidos na Vila dos Prascianos. Esta menor capacidade de armazenamento pode estar associada ao tamanho ou arranjo dos poros da formação nesta região, aparentemente composta por frações mais finas. O valor tomado como representativo foi a média dos obtidos pelos dois métodos, ou seja

$$S = 7.4735E-005$$

Este valor é considerado como normal para formação com as características apresentadas pelo aquífero do Grupo Barreiras, caracterizando um potencial médio de armazenabilidade de água.

1.1.5 - AQUIFERO FREÁTICO - SEDIMENTOS NÃO CONSOLIDADOS SOBRE O GRUPO BARREIRAS

Vila dos Prascianos

Foi realizado um teste de bombeamento na Vila dos Prascianos visando atestar as características hidráulicas do aquífero freático que sobrepõe o Grupo barreiras neste local. Utilizou-se um poço já existente, próximo de onde havia sido construído o conjunto poço-piezômetros do projeto (Figura 1.2). Foi construído um piezômetro para o monitoramento dos níveis do freático, conforme mostra a figura 1.10. A espessura estimada do aquífero freático é de 15 m.

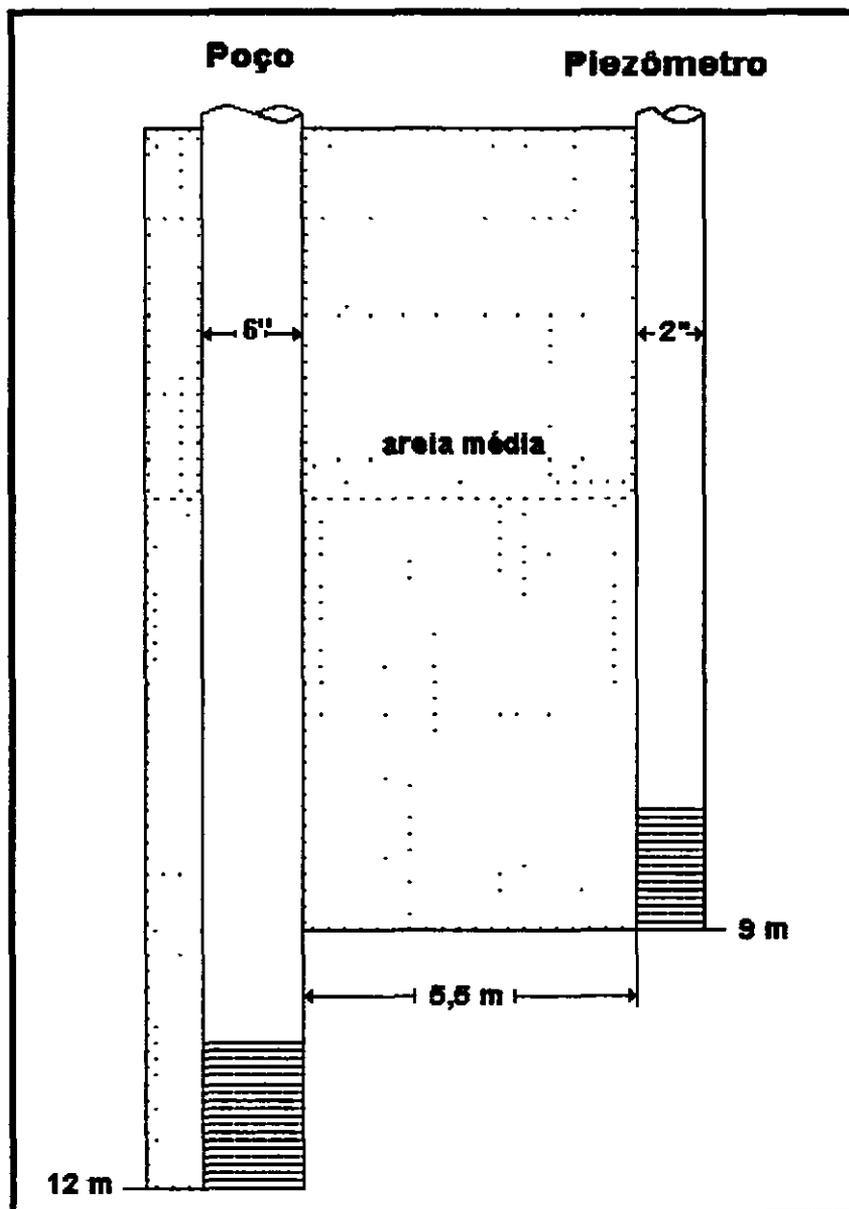


Figura 1.10 - Perfil esquemático do poço e do piezômetro no freático

O teste de bombeamento do poço no freático foi realizado durante 10 horas (600 minutos) e os níveis observados encontram-se tabulados nas fichas apresentadas no Anexo A. Abaixo é apresentado as curvas-tipo obtidas a partir desses dados (Figura 1.11).

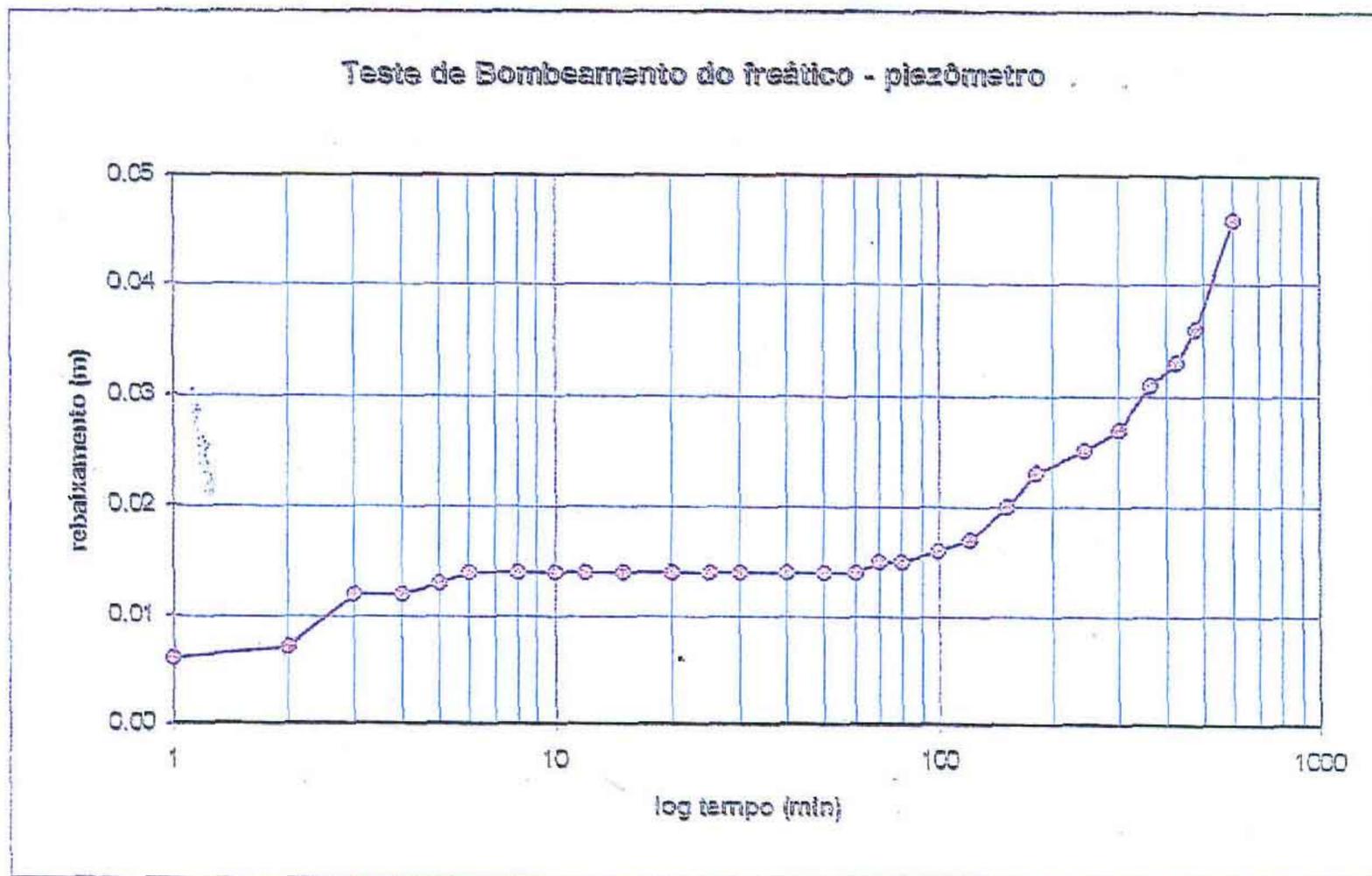
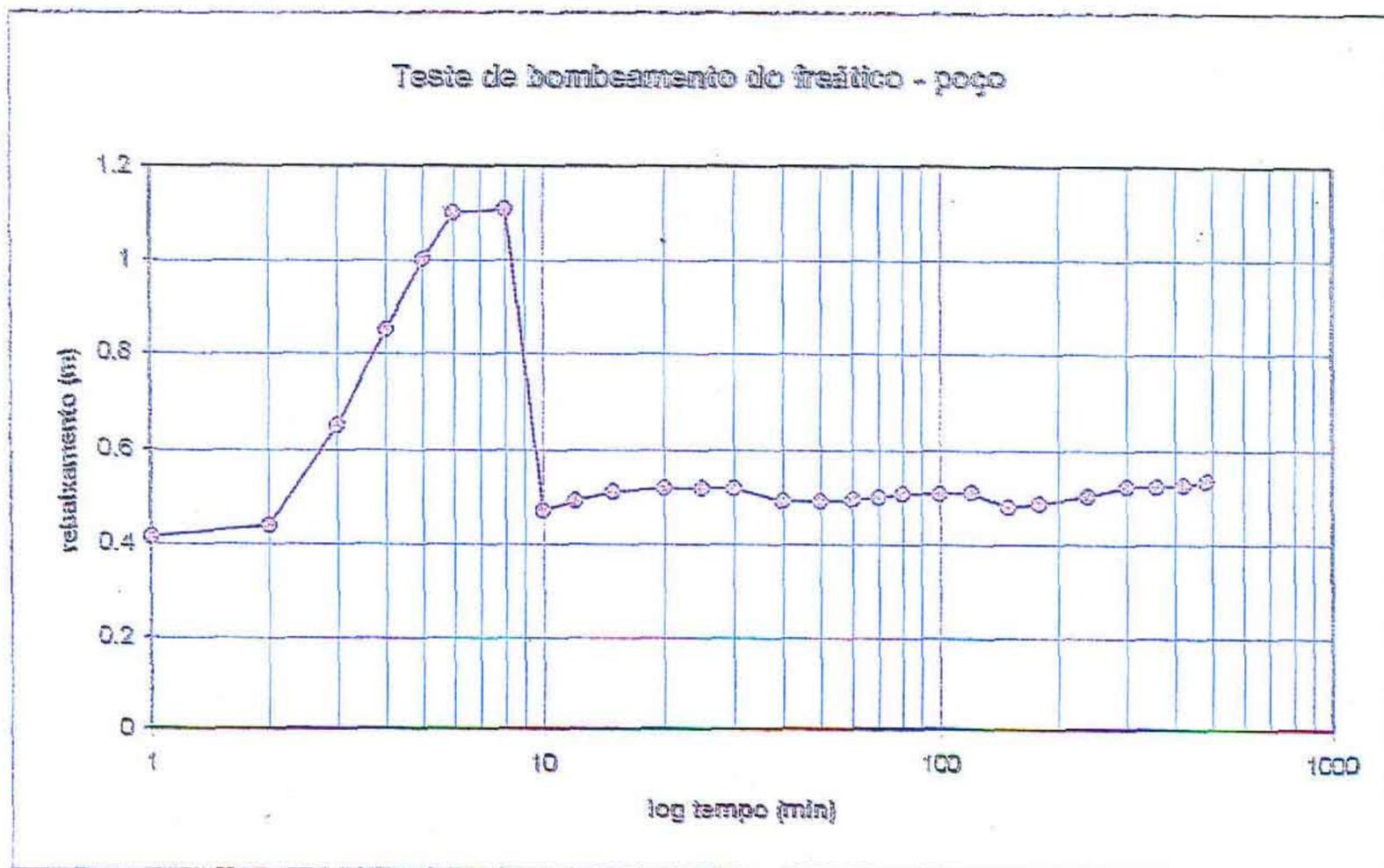


Figura 1.11 - Curvas-tipo do freático (poço e piezômetro)

Normalmente os aquíferos livres dão origem a problemas de hidráulica difíceis de se analisar em função de fatos como a variação da transmissividade em cada ponto com o decorrer do tempo ou pela variação do domínio de fluxo ao longo do tempo devido a variação temporal da superfície freática (limite superior) No caso em análise verifica-se uma complicação a mais, pela figura 1 10 pode-se observar que o descenso inicial dos níveis é acentuado no poço, ocorrendo uma brusca "recuperação" antes de transcorrido os 10 primeiros minutos e, a partir daí, atinge um pseudo-equilíbrio entre a vazão e os níveis d'água no poço Já no piezômetro, após um pequeno descenso inicial, os níveis apresentam um equilíbrio por um tempo de aproximadamente 100 minutos e a partir daí a curva sofre uma deflexão esperada para uma situação padrão de bombeamento-rebaixamento

Este comportamento apresentado pelos níveis observados tanto no poço como no piezômetro caracteriza o que é conhecido na literatura especializada como "drenagem diferida ou retardada" ou seja, o esvaziamento (drenagem) dos poros não é instantânea como é observado nos aquíferos confinados, havendo um efeito de retardamento dessa drenagem (drenagem gravitacional) Isto está bem evidenciado na figura 1 10, na curva rebaixamento x tempo do piezômetro, onde pode-se observar três fase bem distintas

- o primeiro tramo da curva reage como se o aquífero fosse cativo Tem a duração de poucos minutos Pode-se calcular T neste trecho usando-se Theis Já o valor de ai calculado tem pouco significado
- no segundo tramo da curva, o aporte diferido de água por drenagem gravitacional começa a aparecer e o ritmo do rebaixamento decai, semelhante ao que aconteceria se houvesse uma recarga Os valores de T ai calculados pelo ajuste de uma curva bi-log de Theis seriam superestimados
- no terceiro tramo o aquífero evolui de acordo com a fórmula de Theis e é onde tem-se a melhor situação para a determinação do coeficiente de armazenamento

A seguir é apresentado a tabela contendo os resultados obtidos (Tabela 1 5) para T e S sob a análise dos métodos de Theis e Jacob As análises foram realizadas nos dados do piezômetro Pode-se observar nesta tabela que os valores obtidos para a transmissividade foram bastante elevados comparativamente aos obtidos para o aquífero confinado Isto era esperado dada as melhores características hidrogeológicas da formação superficial Mesmo com valores aparentemente altos, o aquífero livre apresenta um potencial médio conforme estimativas clássicas O menor valor, obtido pelo método do ajuste visual da curva no método de Theis, se deve ao ajuste ter sido feito para somente o primeiro tramo da curva Assim, tomou-se como valor representativo da transmissividade o valor médio de todas as estimativas Tem-se

$$T = 5.14925E-001 \text{ m}^2/\text{min} \quad (\text{mín} = 4.4195E-001 \text{ m}^2/\text{min} \quad \text{máx} = 5.4948E-001 \text{ m}^2/\text{min})$$

$$740 \text{ 5812 m}^2/\text{dia} \quad 636,408 \text{ m}^2/\text{dia} \quad 791,2514 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Se considera-mos a espessura média saturada igual a 15 m (Figura 03), tem-se como estimativa da condutividade hidráulica

$$K = 3,4333E-002 \text{ m/mim} \quad (49,4328 \text{ m/dia})$$

valor este em acordo com as características granulométricas do aquífero freático (areias fina a média, sem argila)

Tabela 1 5 - Valores de T e S obtidos pelos dois métodos propostos

Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste estatístico		
		Piezômetro
T	Theis	5.1626E-001 743 4144
(m ² /min) (m ² /dia)	Cooper-Jacob	5.4948E-001 791 2512
Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste visual		
		Piezômetro
T	Theis	4.4195E-001 636,408
(m ² /min) (m ² /dia)	Cooper-Jacob	5.4948E-001 791.2514
Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste estatístico		
		Piezômetro
S _{ef}	Theis	2.8722E-002
	Cooper-Jacob	2.2184E-002
Tabela comparativa dos valores obtidos por ajuste visual		
		Piezômetro
S _{ef}	Theis	3.4234E-001
	Cooper-Jacob	2.2184E-002

Os valores estimados para o coeficiente de armazenamento efetivo (S_{ef}) também se mostraram coerentes com as características granulométricas observadas para este aquífero. Tem-se como valor médio (desprezando-se o valor obtido por Theis com ajuste visual - aparentemente superestimado) tem-se

$$S_{ef} = 2,4363E-002$$

Durante o teste de bombeamento no aquífero livre foram realizadas algumas medidas nos níveis de água do piezômetro P2-3, que monitora a porção superior do aquífero confinado, e não foi observado qualquer variação desse nível

1.1.6 - CONCLUSÕES

Os testes de bombeamento realizados nos poços de pesquisa perfurados pelo projeto "Estudos Integrados da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú" foram realizados dentro do mais rigoroso controle técnico, gerando dados fidedignos para a quantificação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero confinado do Grupo Barreiras, como também para o aquífero freático, constituído por sedimentos recentes

Dos três poços profundos perfurados, somente em um (Vieira dos Carros) não foi possível realizar o teste de bombeamento dado ao baixíssimo potencial apresentado durante testes preliminares realizados logo após a sua completação. Está previsto trabalhos de desenvolvimento (estimulação) desse poço e, caso tenha-se sucesso, será realizado o teste de bombeamento também para este poço.

Os valores estimados para a Transmissividade do meio confinado e para o coeficiente de armazenamento mostraram-se coerentes com os esperados para uma formação geológica com as características do Grupo Barreiras. Os parâmetros obtidos nos dois locais experimentados mostraram uma grande similaridade entre si, o que pode atestar a regionalização dos valores do aquífero. Verificou-se não haver conexão hidráulica com as águas do aquífero livre da região. A sua recarga deve ocorrer em regiões mais a sul, próximo ao contato com as litologias que compõem o Complexo Nordestino, onde a cobertura é constituída por solo autóctonos, sem cobertura sedimentares recentes

O teste de bombeamento do aquífero livre mostrou-se interessante por delinear com clareza o comportamento hidráulico das águas do freático e permitir com confiança a parametrização do meio.

O aquífero confinado do Grupo Barreiras na região apresenta um potencial estimado baixo, em termos de valores absolutos, para formações sedimentares. Este diagnóstico se reverte no instante que considera-se o contexto regional e local. Dadas as características climáticas adversas do estado e, localmente, a escassez dos recursos hídricos superficiais para atendimento com qualidade das necessidades de abastecimento para a população, poços profundos neste aquífero podem ser plenamente usados para atendimento de pequenas comunidades, fornecendo água de qualidade em quantidades razoáveis.

Já o aquífero livre estudado na região de marinheiros mostrou um alto potencial para exploração, guardada as respectivas dimensionalidade do meio (pequena espessura saturada) Mostra-se como a melhor alternativa para abastecimento doméstico mas, dado as suas características (sedimentar não consolidado, textura média a fina) apresenta também um alto risco de contaminação por ações poluidoras de superfície

1.1 7 - BIBLIOGRAFIA

CUSTODIO & LLAMAS 1983 Hidrologia Subterrânea. Editora Omega S.A., Barcelona 2ª edição 2350 p.

1.2. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os trabalhos realizados até o presente momento sobre qualidade das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do rio Mundaú se constituíram em cadastramento de pontos d'água, medição de dados "in situ" e coleta de amostras para análises laboratoriais

Apresentação e discussão dos resultados são apresentados no tópico referente a qualidade de águas da Bacia do rio Mundaú.

1.3 MAPAS TEMÁTICOS

Com base nos dados coletados (trabalhos de escritório e campo) foram confeccionados mapas sobre temas de relevância para o estudo da Bacia Hidrográfica do rio Mundaú. Pertinentes a área de hidrogeologia, foram gerados os seguintes mapas:

- mapa das unidades geológicas,
- mapa de lineamentos estruturais;
- mapa de localização dos poços (tubulares e cacimbas) cadastrados.

Os mapas foram gerados em um sistema geográfico georeferenciado (SGI), o que permitirá a integração dos mesmos para análises (geoprocessamento) previstas, tais como a obtenção de mapas de vulnerabilidade dos aquíferos, de potencialidade, de hidrogeoquímica, etc...

1.4 ATIVIDADES REALIZADAS E PREVISTAS

A seguir é apresentado as atividades já desenvolvidas no transcorrer do Projeto "Estudo Integrado da Bacia do Rio Mundaú" Estão aqui incluídas todas as atividades desenvolvidas deste o início do referido projeto.

- cadastramento (campo e escritório) de poços (tubulares e cacimbas) da bacia,
- coleta de dados dos mesmos,
- reconhecimento geológico (campo e escritório),
- levantamento dos lineamentos (área do cristalino)
- trabalhos geofísicos preliminares na área de ocorrência das sedimentares do Grupo Barreiras;
- locação e perfuração de poços-piezômetros de pesquisa;
- testes de aquífero e respectivas análises,
- coleta de amostras d'água para qualidade das águas subterrâneas;
- treinamento na área de geofísica com os novos equipamentos
- análise preliminar sobre qualidade das águas subterrâneas

Em função dos objetivos previstos, estão ainda programadas as seguintes atividades:

- sondagens mecânicas e geofísicas dos corpos aluvionares,
- parametrização e modelação hidráulica dos aluviões,
- realização dos testes de aquífero restantes,
- trabalhos geofísicos (caminhamentos) no Grupo Barreiras;
- geoprocessamento dos dados georeferenciados (mapas temáticos);
- campanhas de monitoramento de qualidade das águas subterrâneas;
- análise global dos resultados obtidos.



Parte 2

HIDROLOGIA

000042

2.1 INTRODUÇÃO

Dando prosseguimento aos estudos sobre a hidroclimatologia da bacia hidrográfica do rio Mundaú, foram concretizadas a instalação das estações meteorológicas e analisados os dados parciais até o presente momento

Foram também realizados os estudos sobre a evapotranspiração na bacia. Quanto ao cadastro dos usuarios de água bruta encontra-se em fase final de concepção o banco de dados relacional que será responsável pelo armazenamento das informações relativas aos diversos usos de água bruta na bacia

Para realização do monitoramento quantitativo do escoamento no rio Mundaú, foram selecionadas, para instalação dos postos fluviométricos, seis seções no curso principal e uma no principal afluente (riacho Angeline). Cada posto fluviométrico será constituído por um limnómetro de registro contínuo e por uma bateria de réguas limnimétricas (réguas graduadas)

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A temperatura média na região do rio Mundaú está em torno de 28 °C, com máximas em torno de 40 °C e mínimas próximas a 23 °C. A evaporação média está na faixa de 2000 mm/ano, com máximo ocorrendo no bimestre setembro/outubro. A umidade relativa média varia de 80% nos meses mais frios (março/abril) a 60% nos meses mais quentes. Na região a taxa de insolação é muito favorável superando facilmente a faixa de 2400 horas/ano. A evapotranspiração de referência situa-se na faixa dos 1700 mm anuais, e a velocidade média do vento está próxima a 2,8 m/s em média. Além disto, verifica-se para esta região, que a direção predominante está dentro do quadrante Nordeste/Sudeste. Na Figura podemos ver a região de estudo. Nela ainda localizamos as 4 estações meteorológicas automáticas, e os pontos de amostra de água para a avaliação qualitativa.

Quanto à pluviometria, a bacia foi detalhadamente analisada na primeira fase deste estudo e, anteriormente, por ocasião do PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1990). Uma análise das isoietas e iso-cv's (linhas de mesmos coeficientes de variação da pluviometria média anual), mostram que a área de estudo apresenta média pluviométrica entre 800 e 1200 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,45 (figuras 2.2 e 2.3). Os postos pluviométricos localizados na bacia foram agrupados, ainda pelo PERH, em zonas homogêneas, conforme a Tabela 2.1

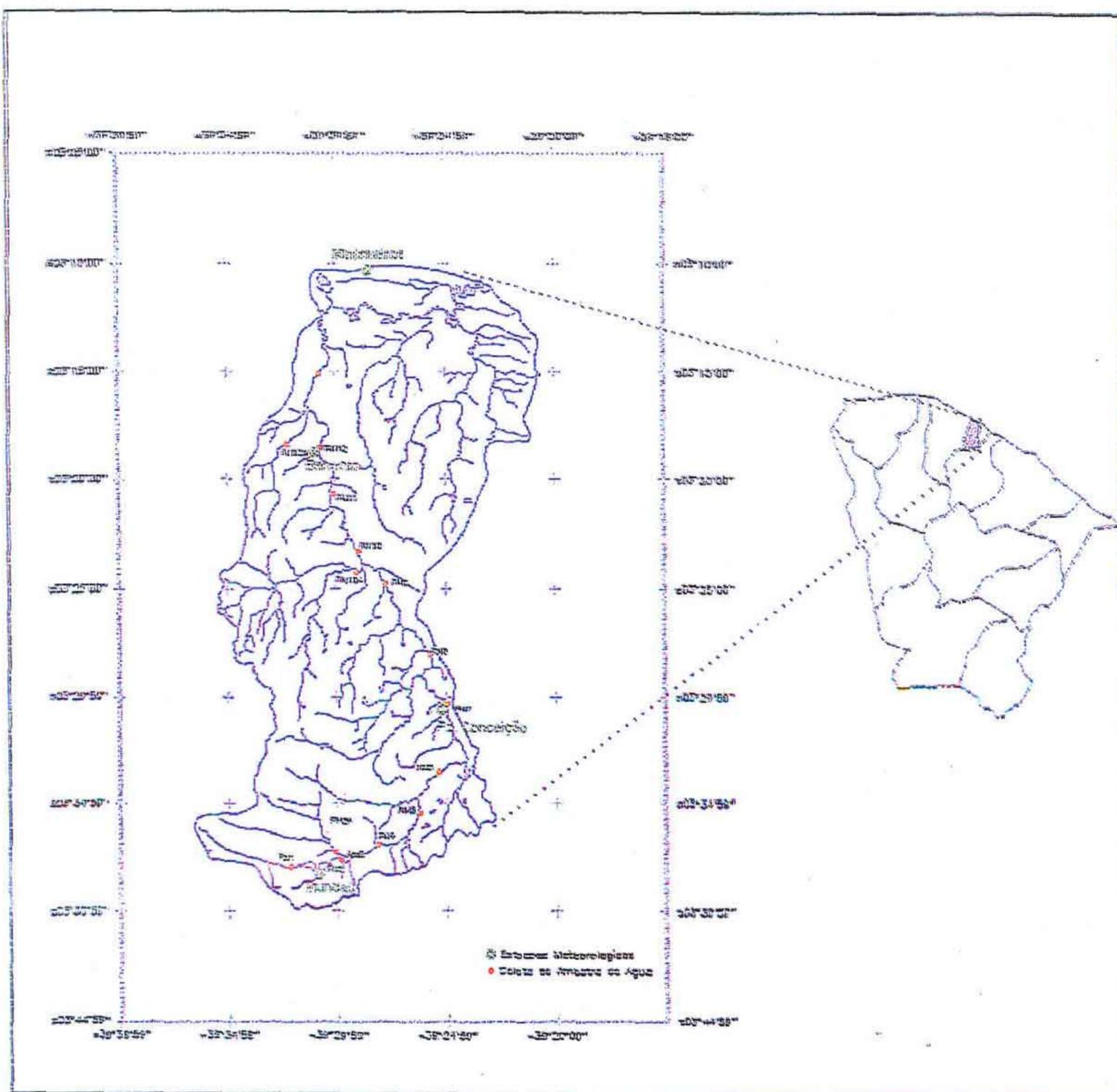
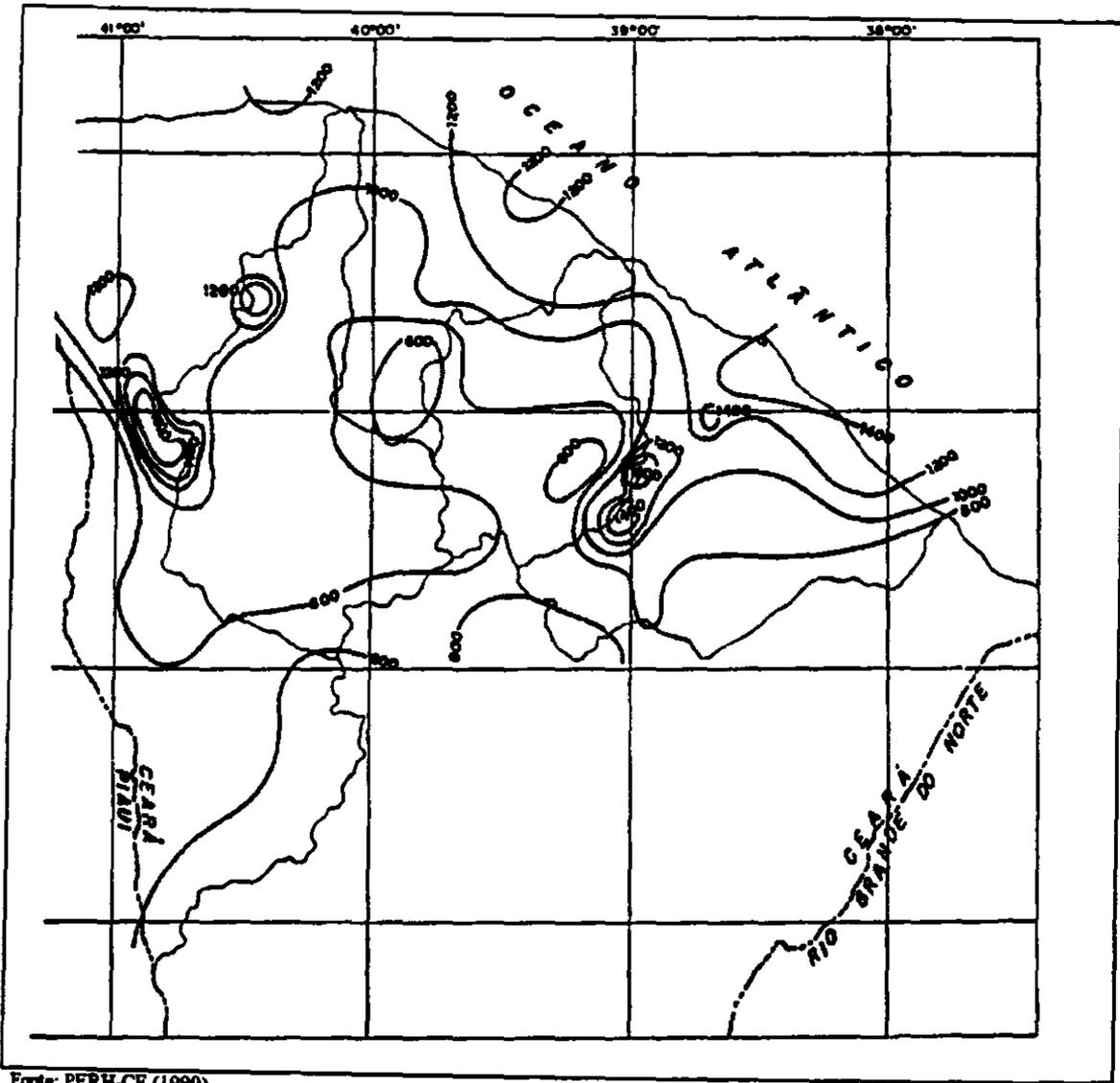
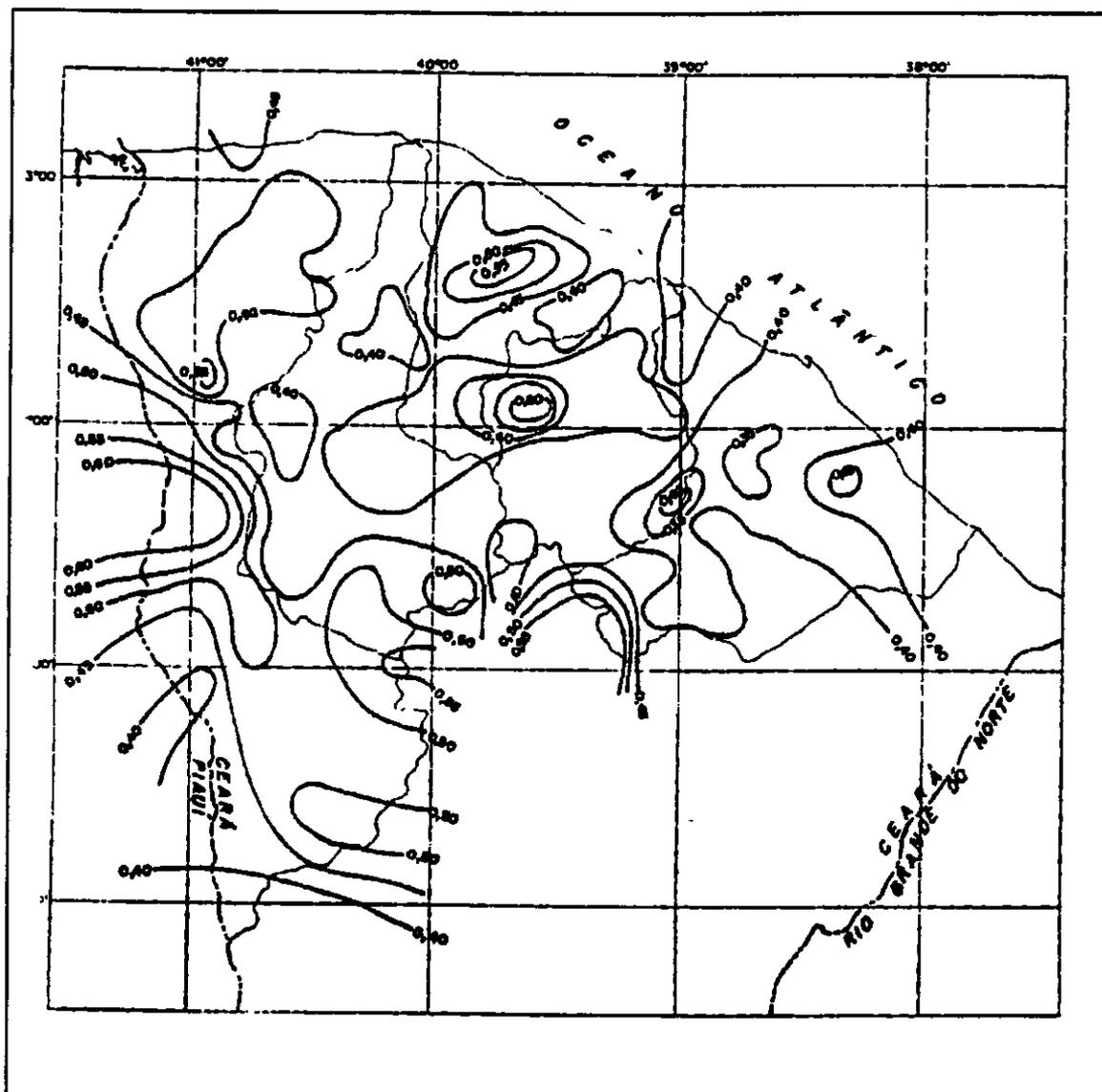


Figura 2.1 - Localização da área de estudo e dos pontos de coleta



Fonte: PERH-CE (1990)

Figura 2.2- Isoieta média anual sobre as bacias do ceará (exceto Jaguaribe)



Fonte: PERH-CE (1990)

Figura 2.3 - Iso-cv das precipitações médias anuais sobre o Ceará (exceto Jaguaribe)

Tabela 2 1 - Postos pluviométricos existentes na bacia

Posto	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
GRUPO ICARAI				
Aracatiara	2860355	03°10'	39°44'	15
Cruxati	2860572	03°22'	39°39'	60
GRUPO. PARACURU				
Mundaú	2861329	03°11'	39°22'	5
Trairi	2861553	03°17'	39°15'	20
Cemoaba	2861917	03°27'	39°25'	80
GRUPO. URUBURETAMA				
S.B Amontada	2870049	03°23'	39°50'	180
Itapipoca	2870084	03°30'	39°35'	98
Assunção	2870175	03°34'	39°38'	150
Aç. Rajada	2871109	03°35'	39°28'	—
Uruburetama	2871202	03°37'	39°30'	330
GRUPO: URUOCA				
Amontada	2860736	03°22'	39°50'	180

Fonte PERH-CE (1990)

2.3 HIDROCLIMATOLOGIA

2.3.1 INSTALAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

A sub-bacia do rio Mundaú, que drena uma área de 650 km², não possuía até então estação hidroclimatológica alguma. A estação de Sobral, pertencente ao INEMET¹, é a mais próxima da área em estudo e havia sido utilizada na primeira fase do estudo para fins de classificação climática..

Durante este último período de trabalho, foram instaladas 4 estações meteorológicas automáticas da ENGESPACO (2 completas e 2 incompletas) sendo suas características dadas na Tabela 2.2. Verifica-se na referida tabela que a instalação dos equipamentos deu-se a partir de 31/07/96 As coordenadas geográficas das estações foram obtidas utilizando um GPS

Tabela 2.2 - Dados gerais das estações automáticas

Estação	Latitude	Longitude	Tipo	Instalação
1 Mundaú	03° 38' 03,8"	39° 30' 52,4"	Completa	31/07/96
2. Fazenda Conceição	03° 30' 36,0"	39° 25' 11,3"	Completa	31/07/96
3. Barrento	03° 18' 50,8"	39° 31' 04,6"	Incompleta	03/09/96
4 Marinheiro	03° 10' 25,4"	39° 28' 41,1"	Incompleta	19/09/96

¹ INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

As estações completas constam dos seguintes equipamentos:

- uma torre metálica de aço de 3 m de altura;
- um abrigo termométrico a 1,5 m de altura com 4 sensores: sensor de temperatura do ar (PT100); sensor de medida da umidade do ar (HC1000); sensor de direção do vento e sensor de pressão barométrica modelo SCX;
- um sensor a base de silício (modelo 110 PHB) a 2 m de altura para medida da radiação incidente e refletida;
- três sensores de temperatura do solo, instalados a 3 - 6 e 12 cm de profundidade;
- um sensor de fluxo de calor no solo instalado a 5 cm de profundidade;
- um pluviógrafo instalado a 1,5 m de altura;

A Figura mostra a estação Mundaú, situada próximo a barragem homônima. Já a Figura mostra o momento da instalação da estação automática na fazenda Conceição. Nas duas figuras pode-se ver alguns dos instrumentos citados acima.

Para estações incompletas somente as medidas de velocidade do vento a 2m, e radiação incidente e refletida são realizadas. A coleta dos dados é feita mensalmente por ocasião das visitas às estações.

Um tanque de evaporação (Classe A), um heliógrafo e dois lisímetros de drenagem, foram comprados e estão em fase de instalação na área próxima a estação Fazenda Conceição.

Com o intuito de dar continuidade aos trabalhos, os dados de evaporação foram estimados com base em dados de áreas vizinhas, através de metodologia a ser descrita posteriormente.

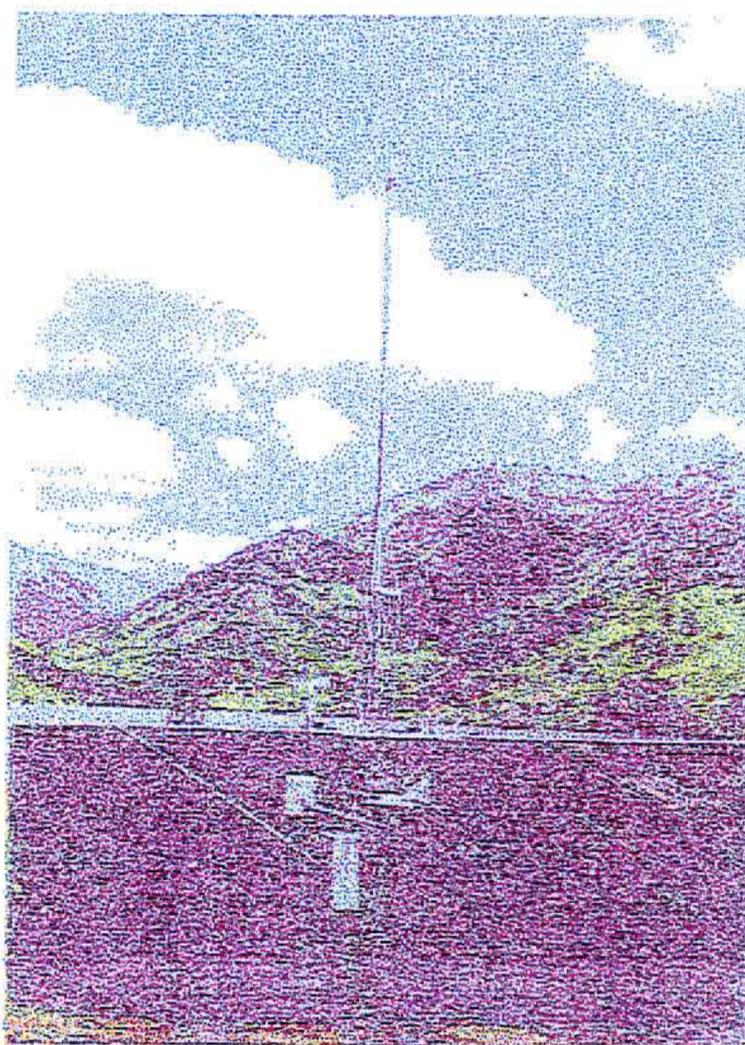


Figura 2.4 - Estação Meteorológica do Mundaú

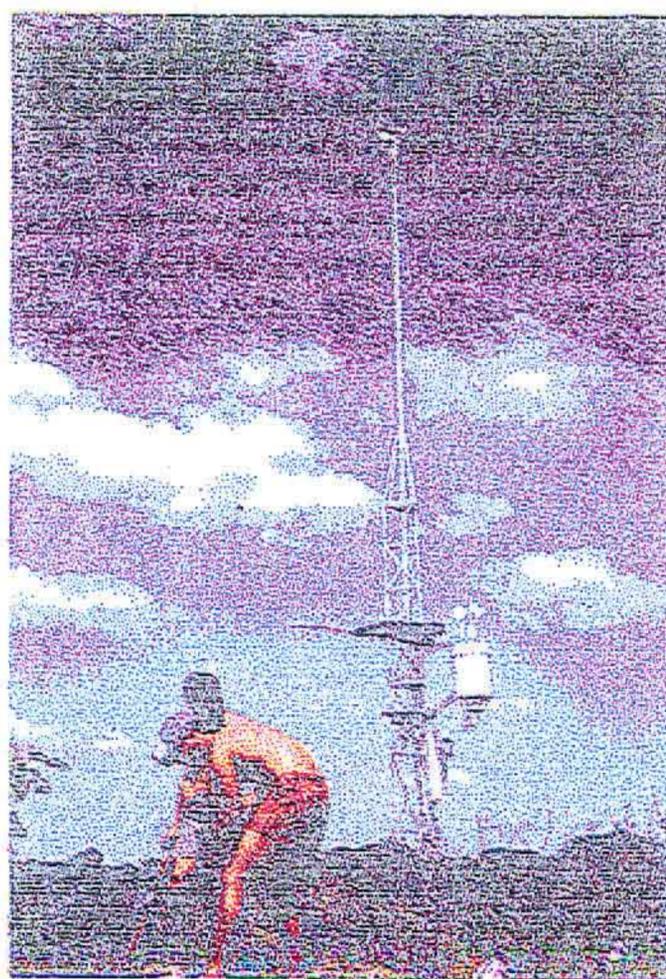


Figura 2.5 - Estação meteorológica da fazenda Conceição

2.3.2 ESTUDO SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Conceituação

A evapotranspiração é caracterizada pela ação conjunta de dois processos: a transpiração, quando a água que penetra pelas raízes das plantas e utilizada no processo de fotossíntese, reintegra-se à atmosfera; e a evaporação, se a água evaporada pelo terreno nu, próximo às culturas, for evaporada sem ser usada pelas plantas.

Uma definição de evapotranspiração tem sido dada por muitos autores. Em busca de uma padronização, definiu-se evapotranspiração potencial de referência (ET_0) como "a quantidade de água transpirada na unidade de tempo e área por uma cultura de porte baixo, verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência de água" (Penman, 1966 apud Klar, 1984).

A taxa de evapotranspiração relativa (ET_r) vem a ser a relação entre a evapotranspiração real e potencial ($ET_r = ET_a/ET_m$). A evapotranspiração relativa é um índice importante de medida da falta de água ("stress") para as culturas como demonstraram Corsi e Shaw (1971) (apud Mota, 1981).

Para refletir a diferença de evapotranspiração das diferentes culturas em relação à cultura padrão, define-se a evapotranspiração máxima ou potencial (ET_m) de uma cultura através de um coeficiente de cultura K_c , sendo K_c determinado experimentalmente pela relação ET_m/ET_0 . Seu valor é tabelado para diversas culturas, e diferentes estágios de desenvolvimento.

Diversos fatores influenciam na medida da evapotranspiração em condições de campo. Klar (1984) divide esses fatores em meteorológicos (radiação, temperatura, umidade, vento, pressão barométrica), geográficos (qualidade da água, massas de ar), fatores de solo (teor de umidade, lençol freático, tipo de solo) e fatores de planta (transpiração, raízes, folha).

Dai explica-se a perda de precisão que os diversos métodos baseados em variáveis climatológicas apresentam ao serem aplicados em diferentes localidades, em virtude da variabilidade espaço-temporal que esses fatores, governantes do processo, possuem

Métodos de Estimativa da Evapotranspiração:

Os métodos de cálculo da evapotranspiração atualmente disponíveis podem ser agrupados em três categorias

- métodos baseados em medidas diretas de campo através de aparelhos lisímetros, evapotranspirômetros,
- métodos baseados em medidas indiretas de fatores influentes do processo no ar (vento, umidade) e no solo (umidade);
- métodos baseados em equações teórico-empíricas balanço de energia, balanço hídrico

Os métodos de medida direta são muito importantes pois servem de referência para calibragem de outros métodos. Dentre os métodos existentes, os lisímetros de pesagem são os mais adotados mundialmente pois, quando bem construídos e implantados, são considerados os aparelhos mais precisos de medida da evapotranspiração. São tanques enterrados com um sistema de drenagem para medir a percolação de água no solo, e conseqüentemente a evapotranspiração potencial ou a evapotranspiração real, caso haja restrição de água.

Apesar de sua precisão, os aparelhos de medição direta nem sempre são de fácil instalação, e muitas vezes seu custo e aplicação os tornam restritivos. Baseado nisso, vários métodos denominados indiretos estimam a ETo, utilizando dados de clima como, por exemplo, os métodos de Blaney-Criddle e Thornthwaite, que estimam a ETo a partir de informações sobre temperatura do ar e de comprimento do dia. O método de Thornthwaite é o mais simples, e utiliza para o cálculo da evapotranspiração potencial a medida da temperatura média do ar e a latitude. A evapotranspiração potencial é então corrigida pela duração real do dia na localidade. Os fatores de correção são tabelados e encontram-se facilmente nos textos de agrometeorologia (Reichardt, 1987).

Devido a sua simplicidade o método de Thornthwaite só deve ser usado para períodos mensais, pois não fornece estimativas razoáveis para períodos menores, sendo mais indicado para regiões de clima temperado. Apesar dessa limitação, esse método ainda é aplicado principalmente em regiões desprovidas de outras observações, como o Brasil (Mota, 1981).

Outro método de medida indireta muito usado no Brasil é o método do tanque de evaporação (tanque Classe "A"). Este é o método difundido, e recomendado pela W.M.O. (Organização Meteorológica Mundial) para a determinação da evaporação. Com ele a evaporação medida no tanque (ECA) é relacionada com a ETo através de um fator de correção Kp (coeficiente de tanque).

Klar (1984) cita outros métodos, podem ser citados como métodos indiretos, entre eles, os métodos de Jansen-Haise e Turc, baseados na temperatura do ar e na radiação solar, método de Hargreaves (1973) desenvolvido para o Nordeste brasileiro; e o de Lowry-Johnson baseado no "calor efetivo".

A classe de métodos teórico-empíricos compreende aqueles baseados no balanço de energia que ocorre no processo de transferência solo-planta-atmosfera. Estes métodos são muito usados

para fins de pesquisa ou para propósitos operacionais, principalmente devido às dificuldades inerentes na obtenção de seus parâmetros

Outros métodos indiretos, baseados nos perfis de umidade do ar e velocidade do vento, são conhecidos como modelos aerodinâmicos e em geral possuem, como aqueles baseados no balanço de energia, parâmetros de difícil medição, e ainda não atingiram um grau desenvolvimento que os permitam ser aplicados como rotina (Webb, 1965 apud Klar, 1984)

A fórmula de Penman modificada, obtida com a modificação do termo aerodinâmico da fórmula de Penman, tem sido aplicada com sucesso em muitos locais, tendo-se encontrado resultados melhores que os métodos anteriores. A prática experimental recomenda o uso desta fórmula como a melhor para fins agroclimáticos (Doorenbos e Pruitt, 1975). Entretanto para que a equação funcione bem é necessário que se tenha uma boa estimativa da radiação líquida e da função do vento para condições particulares, o que nem sempre é possível

A equação de Penman-Monteith, utilizada neste estudo, é mostrada abaixo

$$ETP = \frac{\delta}{\delta + \xi^*} \cdot (R_n - G) \cdot \frac{1}{\lambda} + \frac{\xi}{\delta + \xi^*} \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_a - e_d)$$

onde

- ETP: evapotranspiração potencial [mm d-1]
- R_n: radiação líquida [MJ m-2 d-1]
- G: fluxo de calor no solo []
- T: temperatura [°C]
- u₂: velocidade do vento a 2m [m s-1]
- δ: declividade da curva pressão de saturação do vapor de água versus temperatura [kPa °C-1]
- λ: calor latente de vaporização [MJ kg-1]
- ξ: constante psicrométrica [kPa °C-1]
- ξ*: constante psicrométrica modificada [kPa °C-1]
- e_a: pressão de saturação do vapor de água [kPa]
- e_d: pressão real do vapor de água [kPa]

Na conversão da velocidade do vento medida a alturas diferentes de 2m, utilizou-se a expressão a seguir

$$u_2 = u_z \cdot \frac{2}{\log(50 \cdot z)}$$

onde:

- u₂: velocidade do vento a uma altura de 2 m [m s-1]
- u_z: velocidade do vento a uma altura de z m [m s-1]
- z: altura onde a velocidade do vento é conhecida

De um modo geral os métodos baseados na umidade relativa do ar tem uma desvantagem em relação aos que usam a temperatura do ar, por aquele parâmetro ser menos disponível e apresentar uma correlação baixa com a radiação solar. Já os métodos baseados na radiação solar apresentam resultados melhores, pois apresentam boa correlação com a evapotranspiração, embora quase sempre sejam de difícil obtenção (Klar, 1984)

Dá explica-se a perda de precisão que os diversos métodos baseados em variáveis climatológicas apresentam ao serem aplicados em diferentes localidades, em virtude da variabilidade espaço-temporal que esses fatores, governantes do processo, possuem

Métodos de Estimativa da Evapotranspiração:

Os métodos de cálculo da evapotranspiração atualmente disponíveis podem ser agrupados em três categorias

- métodos baseados em medidas diretas de campo através de aparelhos: lisímetros, evapotranspirômetros;
- métodos baseados em medidas indiretas de fatores influentes do processo no ar (vento, umidade) e no solo (umidade),
- métodos baseados em equações teórico-empíricas balanço de energia, balanço hídrico

Os métodos de medida direta são muito importantes pois servem de referência para calibragem de outros métodos. Dentre os métodos existentes, os lisímetros de pesagem são os mais adotados mundialmente pois, quando bem construídos e implantados, são considerados os aparelhos mais precisos de medida da evapotranspiração. São tanques enterrados com um sistema de drenagem para medir a percolação de água no solo, e conseqüentemente a evapotranspiração potencial ou a evapotranspiração real, caso haja restrição de água.

Apesar de sua precisão, os aparelhos de medição direta nem sempre são de fácil instalação, e muitas vezes seu custo e aplicação os tornam restritivos. Baseado nisso, vários métodos denominados indiretos estimam a ET_0 , utilizando dados de clima como, por exemplo, os métodos de Blaney-Criddle e Thornthwaite, que estimam a ET_0 a partir de informações sobre temperatura do ar e de comprimento do dia. O método de Thornthwaite é o mais simples, e utiliza para o cálculo da evapotranspiração potencial a medida da temperatura média do ar e a latitude. A evapotranspiração potencial é então corrigida pela duração real do dia na localidade. Os fatores de correção são tabelados e encontram-se facilmente nos textos de agrometeorologia (Reichardt, 1987)

Devido a sua simplicidade o método de Thornthwaite só deve ser usado para períodos mensais, pois não fornece estimativas razoáveis para períodos menores, sendo mais indicado para regiões de clima temperado. Apesar dessa limitação, esse método ainda é aplicado principalmente em regiões desprovidas de outras observações, como o Brasil (Mota, 1981)

Outro método de medida indireta muito usado no Brasil é o método do tanque de evaporação (tanque Classe "A"). Este é o método difundido, e recomendado pela W.M.O. (Organização Meteorológica Mundial) para a determinação da evaporação. Com ele a evaporação medida no tanque (ECA) é relacionada com a ET_0 através de um fator de correção K_p (coeficiente de tanque)

Klar (1984) cita outros métodos, podem ser citados como métodos indiretos, entre eles. os métodos de Jansen-Haise e Turc, baseados na temperatura do ar e na radiação solar, método de Hargreaves (1973) desenvolvido para o Nordeste brasileiro; e o de Lowry-Johnson baseado no "calor efetivo"

A classe de métodos teórico-empíricos compreende aqueles baseados no balanço de energia que ocorre no processo de transferência solo-planta-atmosfera. Estes métodos são muito usados

para fins de pesquisa ou para propósitos operacionais, principalmente devido às dificuldades inerentes na obtenção de seus parâmetros

Outros métodos indiretos, baseados nos perfis de umidade do ar e velocidade do vento, são conhecidos como modelos aerodinâmicos e em geral possuem, como aqueles baseados no balanço de energia, parâmetros de difícil medição, e ainda não atingiram um grau desenvolvimento que os permitam ser aplicados como rotina (Webb, 1965 apud Klar, 1984)

A fórmula de Penman modificada, obtida com a modificação do termo aerodinâmico da fórmula de Penman, tem sido aplicada com sucesso em muitos locais, tendo-se encontrado resultados melhores que os métodos anteriores. A prática experimental recomenda o uso desta fórmula como a melhor para fins agroclimáticos (Doorenbos e Pruitt, 1975). Entretanto para que a equação funcione bem é necessário que se tenha uma boa estimativa da radiação líquida e da função do vento para condições particulares, o que nem sempre é possível.

A equação de Penman-Monteith, utilizada neste estudo, é mostrada abaixo

$$ETP = \frac{\delta}{\delta + \xi^*} \cdot (R_n - G) \cdot \frac{1}{\lambda} + \frac{\xi}{\delta + \xi^*} \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_a - e_d)$$

onde

- ETP: evapotranspiração potencial [mm d⁻¹]
- R_n: radiação líquida [MJ m⁻² d⁻¹]
- G: fluxo de calor no solo []
- T: temperatura [°C]
- u₂: velocidade do vento a 2m [m s⁻¹]
- δ: declividade da curva pressão de saturação do vapor de água versus temperatura [kPa °C⁻¹]
- λ: calor latente de vaporização [MJ kg⁻¹]
- ξ: constante psicrométrica [kPa °C⁻¹]
- ξ*: constante psicrométrica modificada [kPa °C⁻¹]
- e_a: pressão de saturação do vapor de água [kPa]
- e_d: pressão real do vapor de água [kPa]

Na conversão da velocidade do vento medida a alturas diferentes de 2m, utilizou-se a expressão a seguir:

$$u_2 = u_z \cdot \frac{2}{\log(50 \cdot z)}$$

onde:

- u₂: velocidade do vento a uma altura de 2 m [m s⁻¹]
- u_z: velocidade do vento a uma altura de z m [m s⁻¹]
- z: altura onde a velocidade do vento é conhecida

De um modo geral os métodos baseados na umidade relativa do ar tem uma desvantagem em relação aos que usam a temperatura do ar, por aquele parâmetro ser menos disponível e apresentar uma correlação baixa com a radiação solar. Já os métodos baseados na radiação solar apresentam resultados melhores, pois apresentam boa correlação com a evapotranspiração, embora quase sempre sejam de difícil obtenção (Klar, 1984)

Os métodos de balanço hídrico para estimativa da evapotranspiração baseiam-se na equação geral de balanço de água no solo. Este é um método muito usado para planejamento de manejo de água em perímetros irrigados, e tem sua precisão dependente das medições efetuadas de seus termos componentes. Um método muito conhecido e aplicado é o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather usado para cálculo da evapotranspiração real em planejamento de cultivos.

Obtenção dos dados meteorológicos

Para a medida da evapotranspiração na bacia, pretende-se utilizar lisímetros de drenagem para a quantificação direta deste parâmetro. Já foi efetuada a licitação para compra de material de consumo necessário à confecção do lisímetros de drenagem. Entretanto, como os dados destes equipamentos ainda não estão disponíveis, a evapotranspiração foi estimada para a bacia em estudo com base nos valores horários coletados nas estações. Para tanto, foi desenvolvido um programa computacional em linguagem PASCAL para efetuar o processamento e análise dos dados coletados. Este software realiza a leitura dos dados horários coletados e totaliza os totais e médias diárias e mensais.

O cálculo dos totais diários é feito a partir dos dados horários, e dos totais mensais a partir dos totais diários, procedimento semelhante é feito para o cálculo das médias. Ressalta-se aqui que para o cálculo das médias utilizou-se da média aritméticas dos parâmetros, ao invés do procedimento clássico que usa apenas os dados dos horários sinóticos de observação, por considerar-se que esta última, sendo uma série praticamente contínua, reflete com mais fidedignidade a situação real. Os gráficos da Figura à Figura mostram a evolução diária de algumas das variáveis climáticas medidas nas estações Mundaú e Fazenda Conceição ao longo de todo o período de coleta.

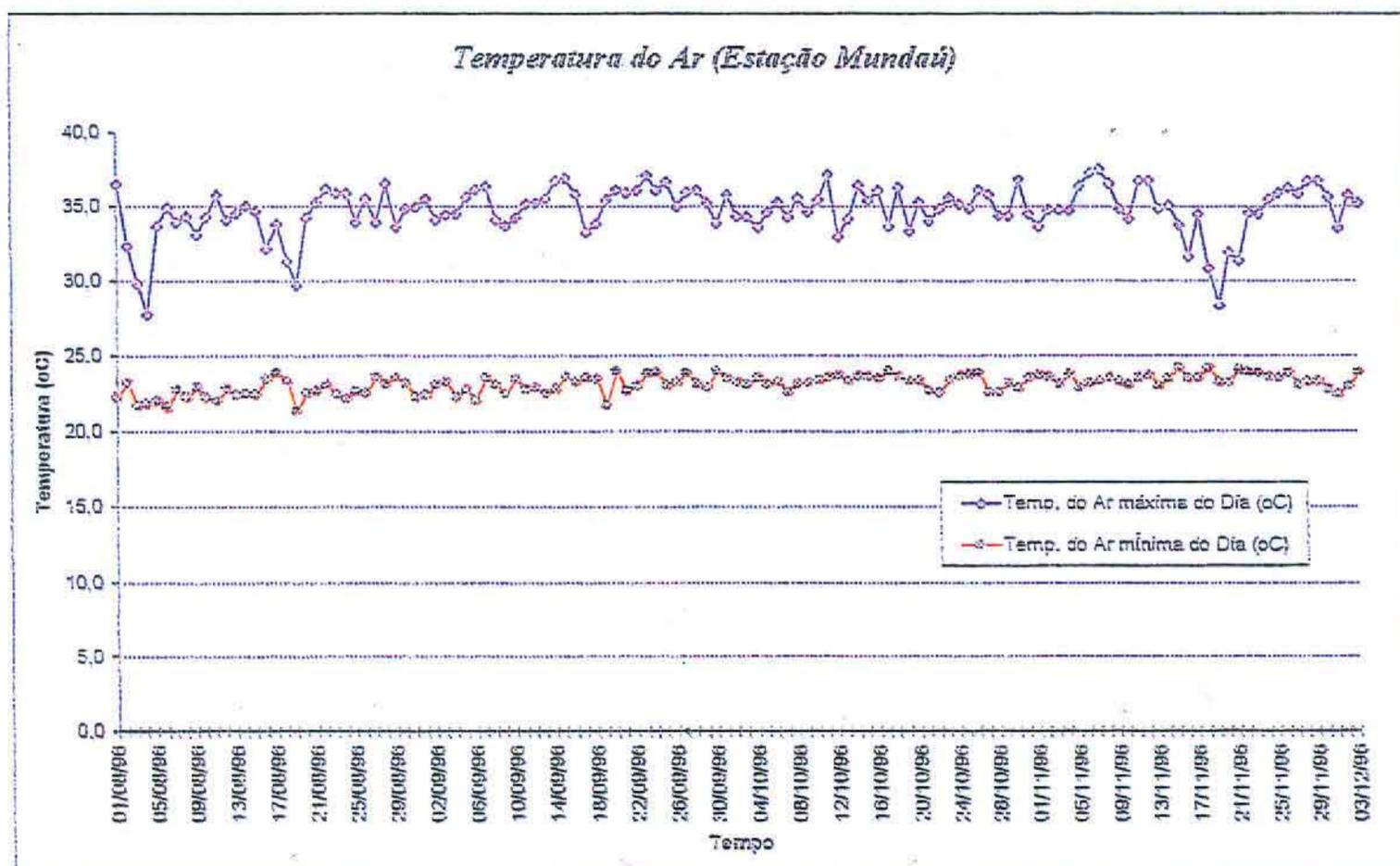


Figura 2.6 - Temperatura média diária do ar em Mundaú

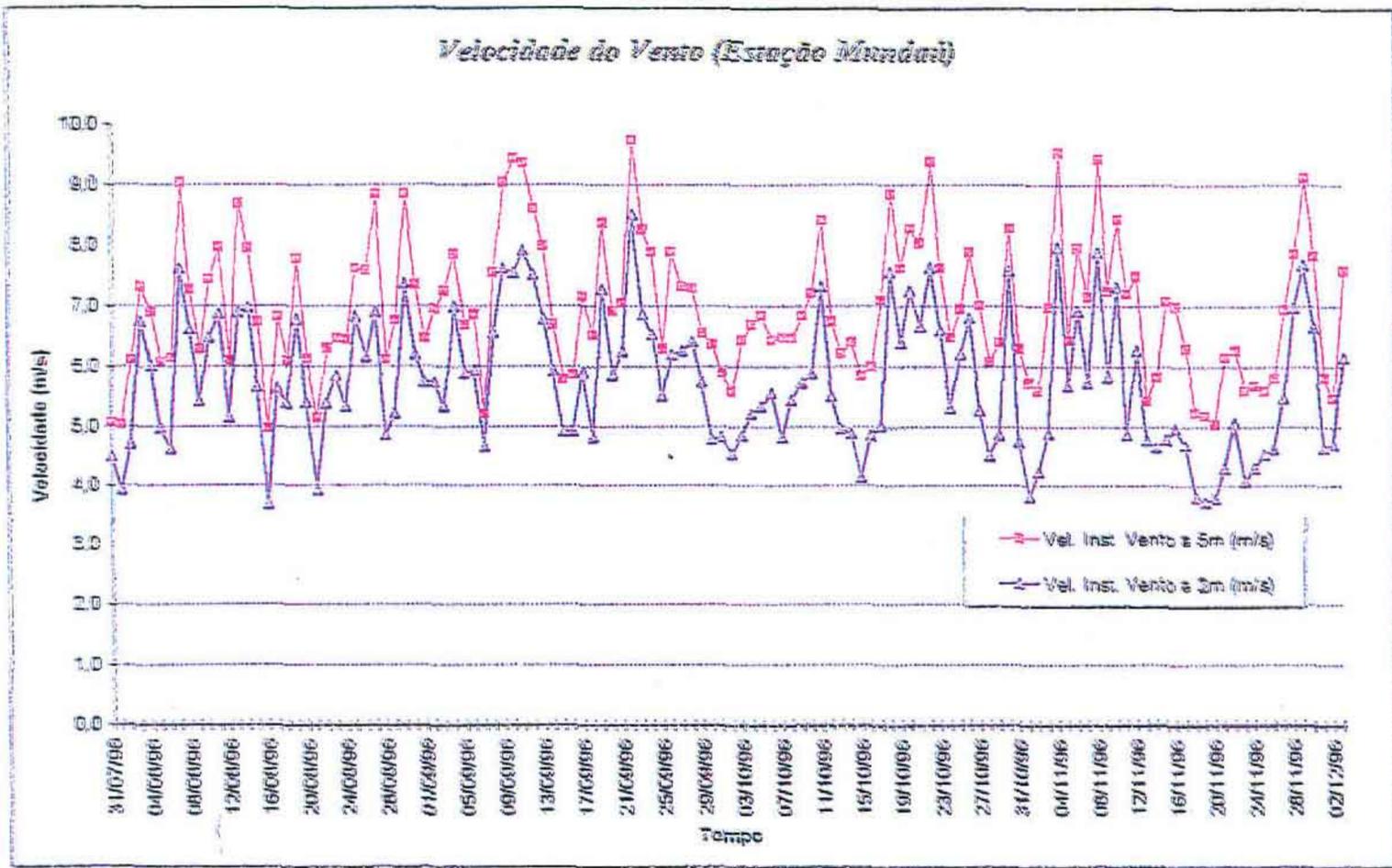


Figura 2.7 - Velocidade do vento em Mundau

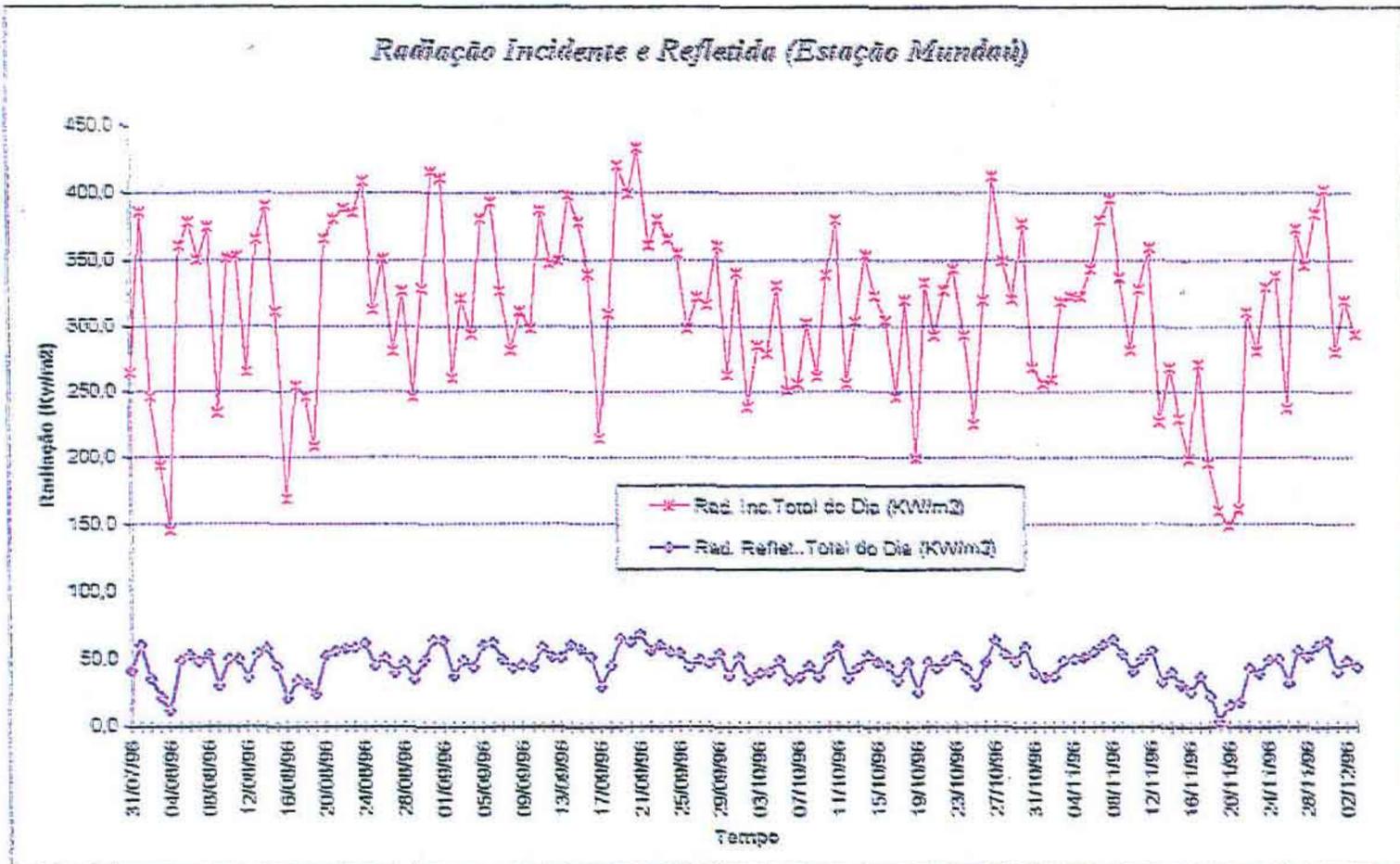


Figura 2.8 - Radiação incidente e refletida em Mundau

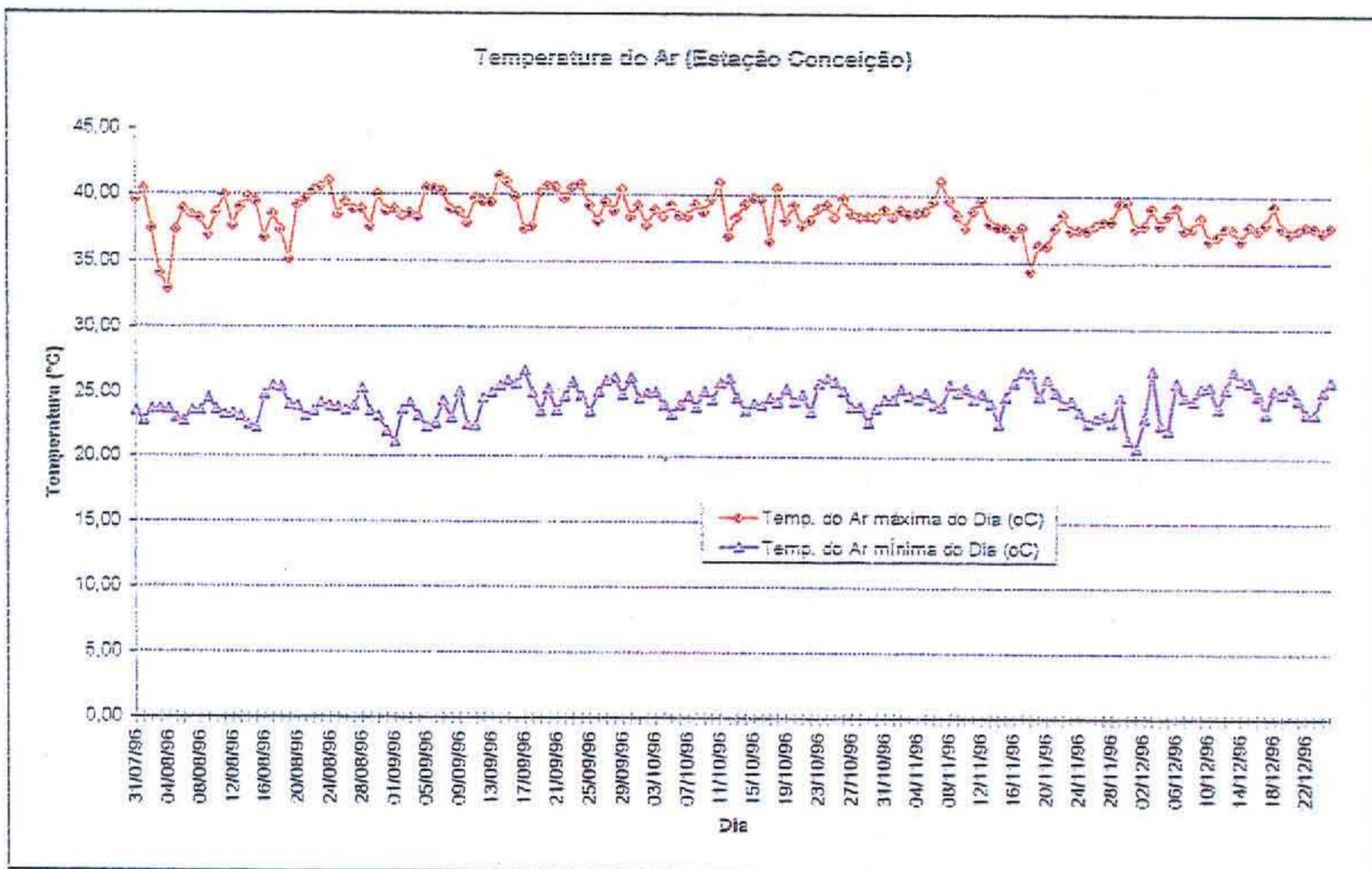


Figura 2.9 - Temperatura média diária do ar em Fazenda Conceição

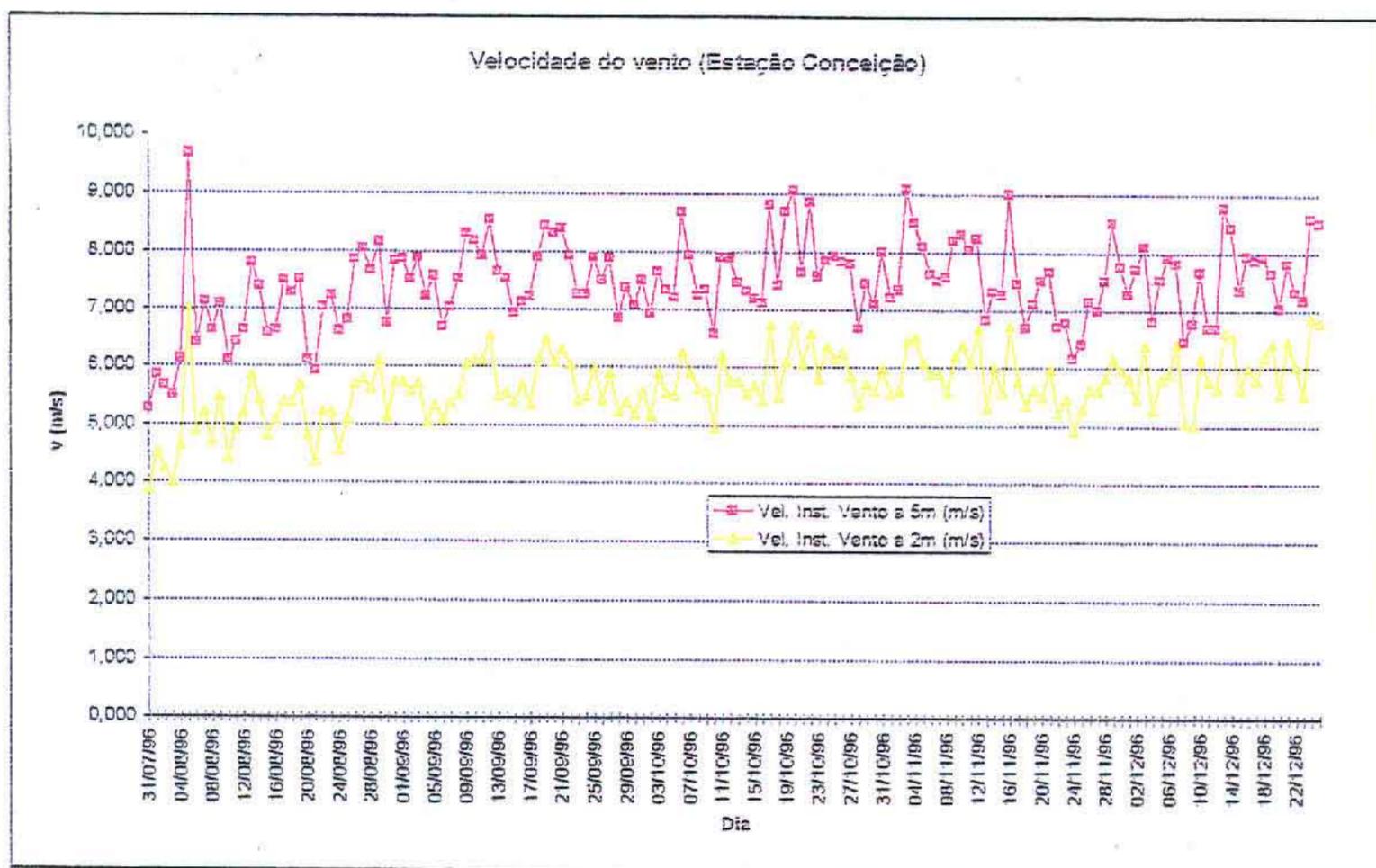


Figura 2.10 - Velocidade do vento em Fazenda Conceição

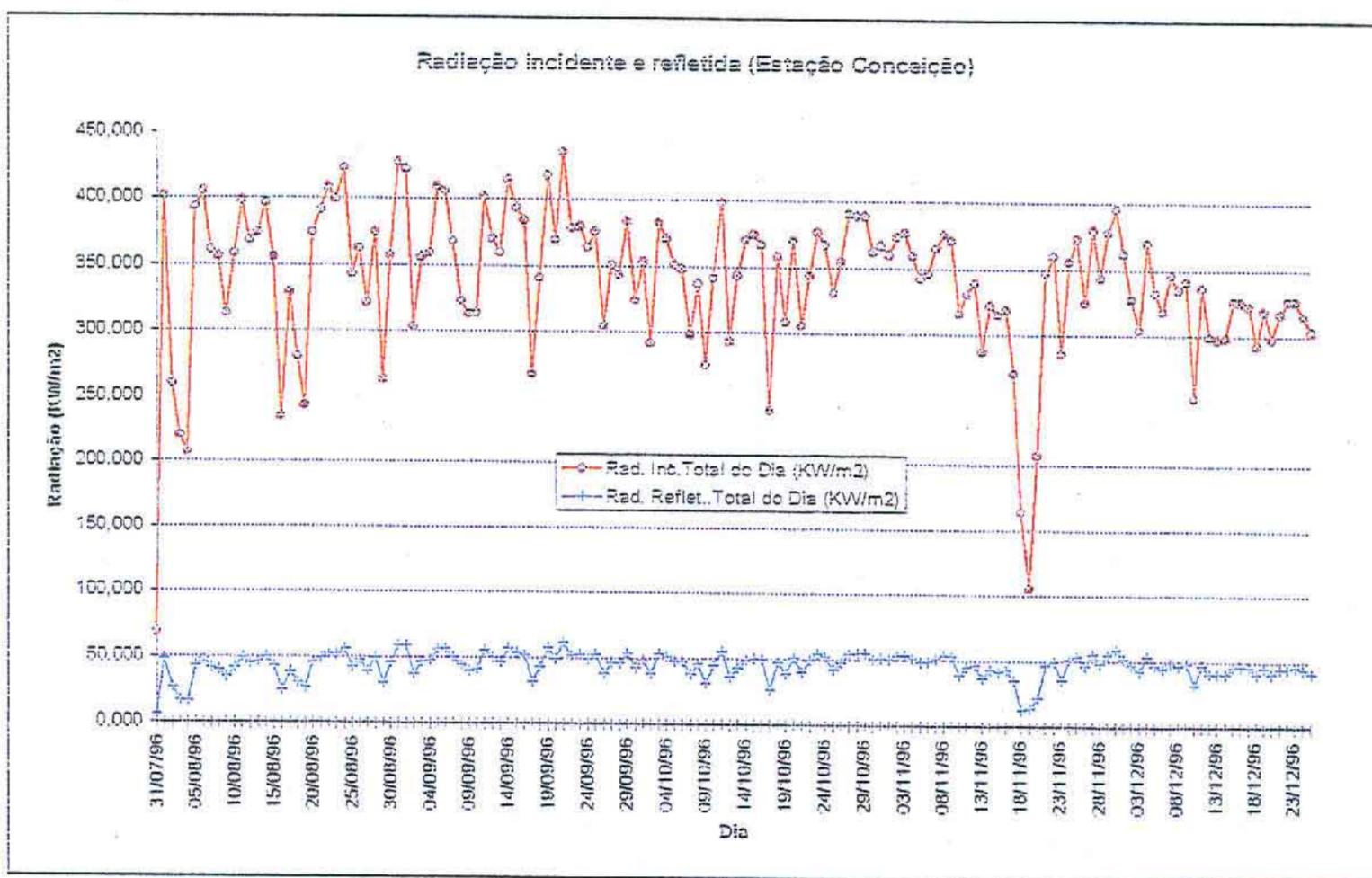


Figura 2.11 - Radiação incidente e refletida em Fazenda Conceição

Análise mensal dos principais parâmetros

Um análise dos principais parâmetros climáticos da região em estudo foi realizada na primeira fase do Estudo Integrado da Bacia do Rio Mundaú - Estudos Básicos Tomo I, onde se utilizou a estação meteorológica de Sobral como representativa da região em estudo.

Considerou-se aqui que as análises feitas para esta estação, por ser a mais próxima ao local e bem mais antiga que as instaladas atualmente na bacia, servirão de base de comparação dos dados obtidos até então com as estações instaladas. Como as estações foram instaladas somente a partir de 31 de julho de 1996, apenas uma análise para 5 meses de dados for possível de ser realizada.

Apresenta-se a seguir uma análise comparativa dos dados climatológicos das estações da bacia (Fazenda Conceição e Mundaú) e a estação de Sobral.

a) Temperatura

Na estação Sobral, a temperatura média apresenta uma pequena variação de 2,6 °C, isso para os meses de abril (27,5 °C) e junho (24,9 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de Outubro (35,9 °C) e Julho (21,2 °C), conforme se observa na Tabela 2.3 e Figura à Figura 2.14 - Temperaturas mínima nas estações.

Observa-se que a estação de Sobral tem temperaturas muito próximas às da região de estudo podendo ser utilizada para representar, na ausência de informações mais precisas, sem muito erro a bacia em foco. Desta forma, espera-se que com uma série maior de dados as novas estações tenham este parâmetro bem próximo aos valores daquela estação.

Tabela 2.3 - Temperaturas máximas, mínimas e média (°C) nas estações de Sobral, Mundaú e Fz. Conceição

Temp. Máxima												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sobral	33,8	32,9	30,1	31,1	31,2	31,6	33,0	34,8	35,8	35,9	35,6	34,0
Fz.Conc.	—	—	—	—	—	—	—	41,0	41,4	41,0	41,2	39,3
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	36,6	37,1	37,2	37,5	36,3
Temp. Compensada												
Sobral	26,7	27,1	26,2	27,5	26,2	24,9	26,4	27,2	26,3	26,7	27,1	27,1
Fz.Conc.	—	—	—	—	—	—	—	29,2	30,1	30,0	30,0	30,1
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	26,5	27,2	27,1	27,2	27,6
Temp. Mínima												
Sobral	23,6	22,0	22,5	22,6	21,3	21,5	21,2	21,4	21,5	21,5	22,0	23,3
Fz.Conc.	—	—	—	—	—	—	—	21,9	22,3	22,7	21,4	22,2
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	21,3	21,7	22,5	22,8	22,5

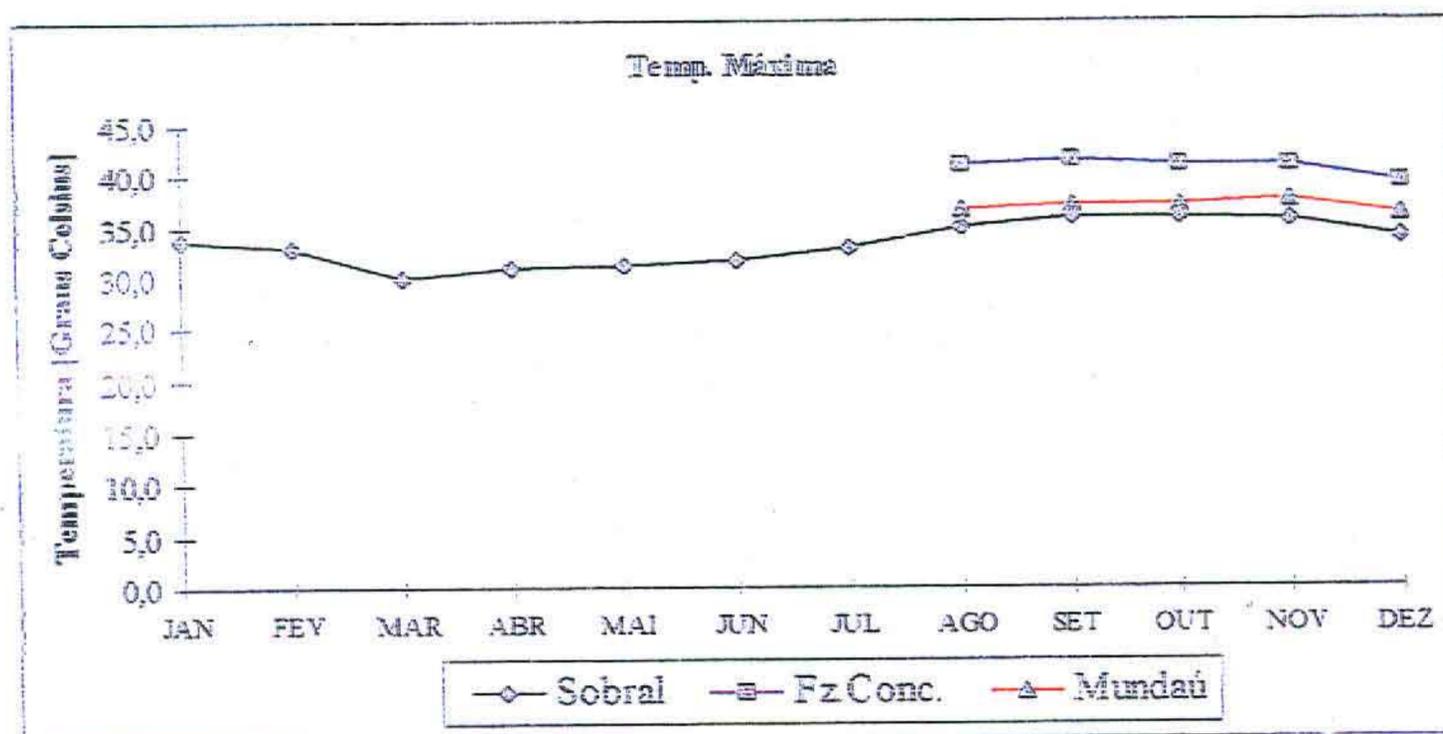


Figura 2.12 - Temperaturas máximas nas estações

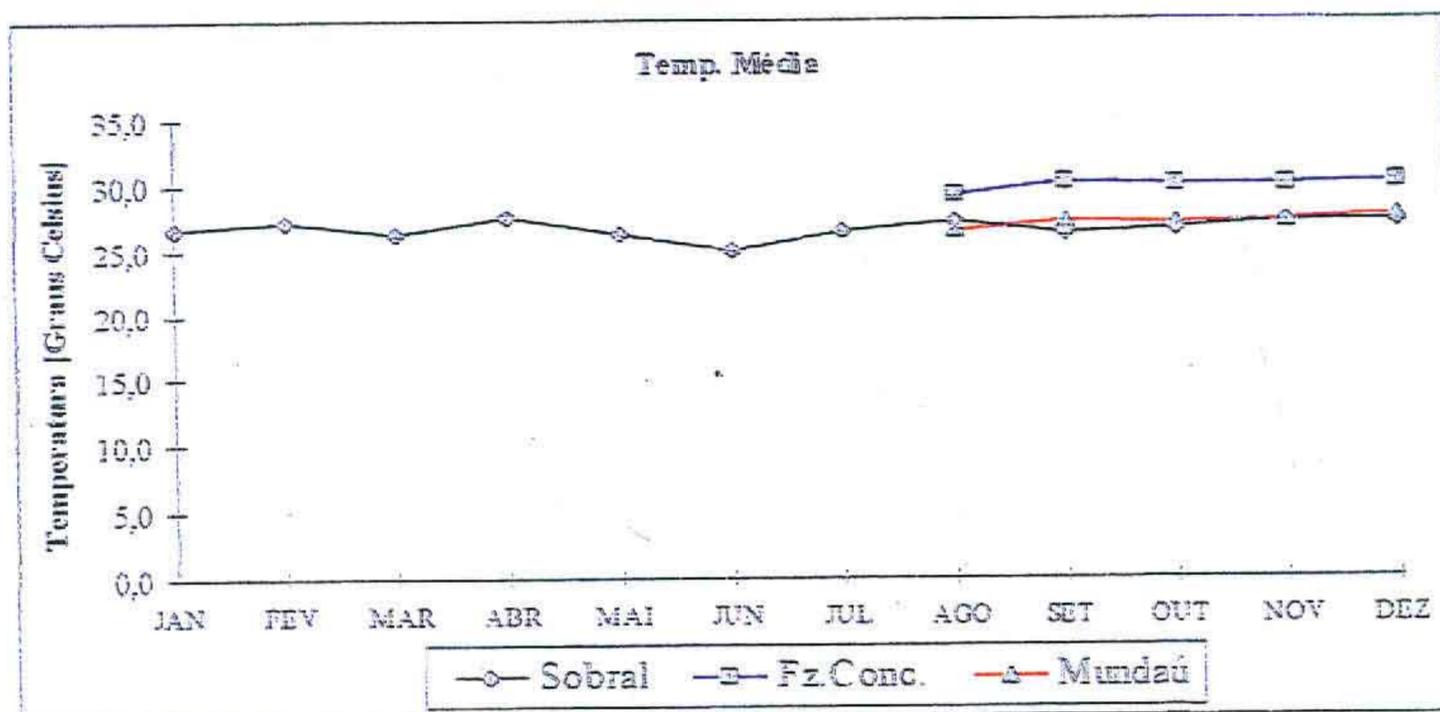


Figura 2.13 - Temperaturas médias nas estações

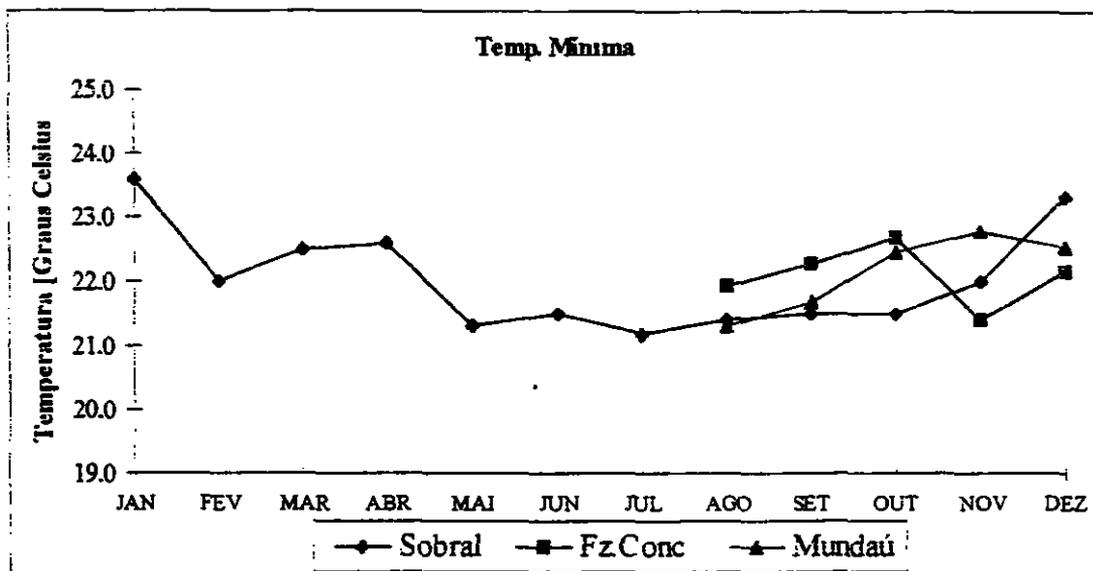


Figura 2 14 - Temperaturas mínima nas estações

b) Umidade Relativa do ar

Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a umidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

Para a estação Sobral, a umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 30%, referente aos meses de Abril (85%) e Agosto/Setembro (55%), como pode-se verificar na Tabela 2 4 e Figura

Vê-se que para este parâmetro, as observações na bacia são bem superiores aos da estação Sobral, em virtude da influência que a proximidade que litoral exerce sobre o fenômeno. Esta influência se traduz em valores para Fazenda Conceição e Mundaú em média 20% e 11% superiores, respectivamente que os de Sobral.

Tabela 2 4 - Umidade relativa nas estações

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sobral ¹	69	74	81	85	80	74	66	55	55	58	57	61
Fz. Conc	—	—	—	—	—	—	—	78	78	82	84	85
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	74	72	76	78	78

¹ FONTE INEMET (1991)

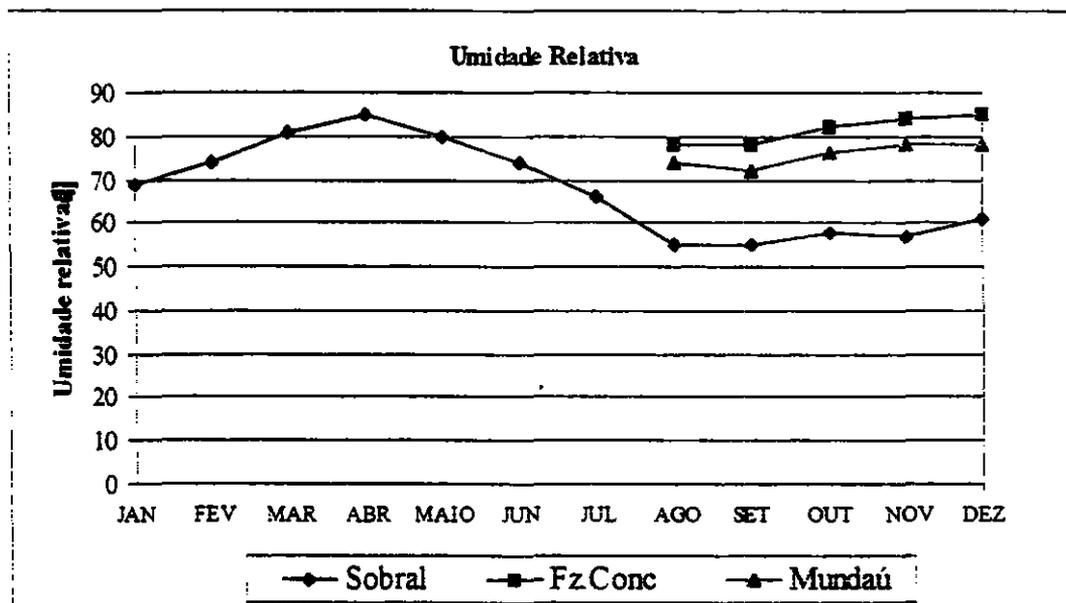


Figura 2.15 - Umidade relativa nas estações

c) Insolação Média

A Tabela 2.5 e a Figura mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local das três estações e sua distribuição mensal. Em termos anuais, tem-se 2416,6 horas de exposição para a estação de Sobral, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 55% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/abril, apresenta os menores valores.

Vale salientar que, os valores apresentados para as duas outras estações da bacia, não foram medidos diretamente na região, mas estimados com base nos registros horários de radiação incidente para as duas estações. A uso de tal metodologia justifica-se pelo fato de, até o momento, não haver heliógrafo instalado na área.

Tabela 2.5 - Insolação média nas estações

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sobral	188	144	155	152	189	196	235	268	232	233	222	203
Fz Conc	—	—	—	—	—	—	—	329	354	353	345	363
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	303	296	314	303	316

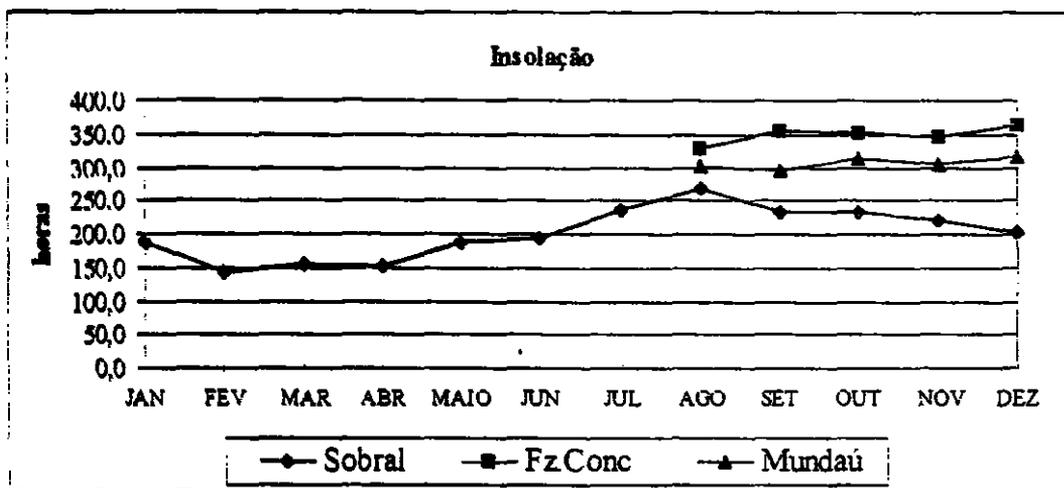


Figura 2.16 Insolação média nas estações

d) Ventos

Para a estação Sobral a intensidade do vento é medida nos horários sinóticos de observação, a uma altitude de 10 m em relação a estação. Para as estações da bacia em estudo, os valores horários de velocidade a 2 m e 5 m de altura são coletados diariamente.

Os dados de velocidade de vento para as estações encontram-se apresentados na Tabela 2.6 e Figura. Para efeito de comparação, os dados de velocidade do vento de Sobral obtidos a 10m de altitude foram transformados para 2m de altura, através da equação de transformação descrita anteriormente.

Tabela 2.6 - Velocidade de vento nas estações

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sobral ¹	2,2	2,1	1,8	1,4	1,4	1,6	2,0	2,1	2,9	2,6	2,8	2,6
Fz Conc.	—	—	—	—	—	—	—	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	1,5	1,8	1,9	1,8	1,8

¹ Fonte: INEMET (1991)

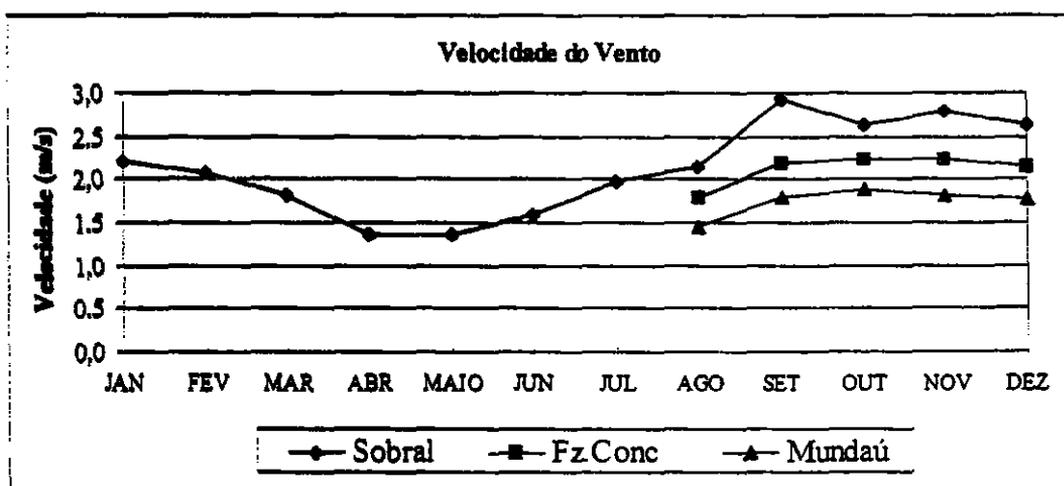


Figura 2.17 - Velocidade de Vento Média nas estações

e) Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe "A" para Sobral é de 1914,7 mm, distribuída ao longo dos meses segundo a Tabela 2.7 e Figura

Os dados de evaporação mensal referentes a bacia em estudo ainda não se acham disponíveis devido ao tanque classe "A" não ter sido completamente instalado. Para efeito de estudo e comparação, seus valores de das estações da bacias, foram estimadas com base na evapotranspiração de referência (ET_o), segundo metodologia descrita anteriormente.

Tabela 2.7 - Evaporação média nas estações

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sobral	157	125	95	102	100	117	158	191	221	225	220	205
Fz Conc	—	—	—	—	—	—	—	202	225	229	218	221
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	186	195	205	195	198

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (224,7 mm). Deve-se ressaltar, entretanto, que para adotar estes valores como representativos da evaporação em açudes, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente entre 0,70 e 0,80.

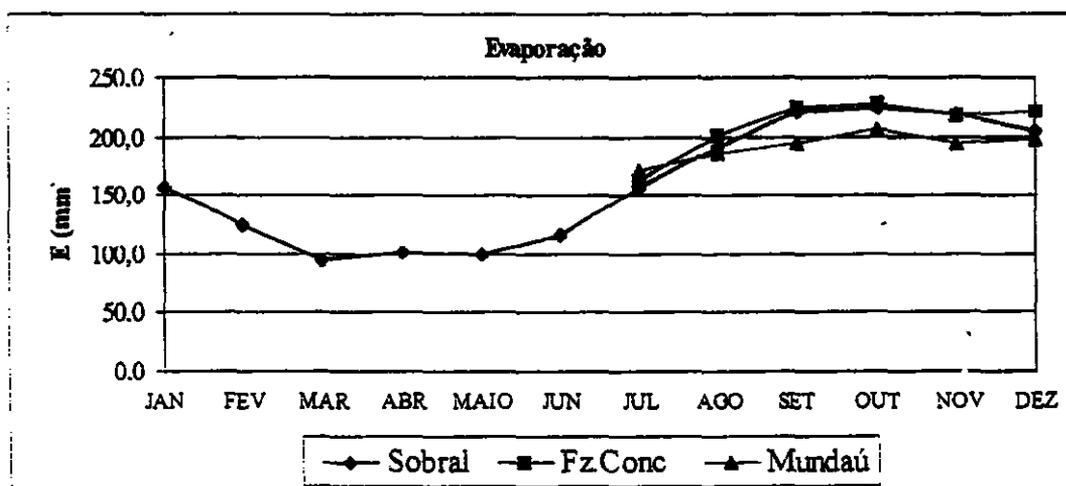


Figura 2 18 - Evaporação Média nas estações

Estimativa da evapotranspiração potencial

Finalmente, a Tabela 2 8 apresenta uma comparação entre a evapotranspiração potencial mensal das três estações. Para a estação Sobral, código 82392 do INEMET, foi usado o método de Hargreaves. Para as estações da bacia do Mundaú usou-se a equação de Penman-Monteith já apresentada anteriormente.

Tabela 2.8 - Evapotranspiração Potencial nas estações de Sobral, Mundaú e Fz Conceição

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sobral	168,3	141,9	129,4	108,2	115,8	118,0	147,6	175,7	178,9	192,8	187,8	189,4
Fz Conc	—	—	—	—	—	—	—	161,2	180,0	182,9	174,0	176,7
Mundaú	—	—	—	—	—	—	—	148,8	156,0	164,3	156,0	158,1

2.4 BANCO DE DADOS DOS USUÁRIOS DE ÁGUA BRUTA

2.4.1 CONCEITUAÇÃO GERAL

Um banco de dados consiste de um ou mais tabelas, onde cada tabela contém uma série de colunas dispostos em registros (as linhas). Cada registro é idêntico em estrutura. Sendo assim, a interseção de uma coluna única com uma linha chama-se campo que, em última análise, contém um valor propriamente dito

As tabelas, com nomes de colunas e restrições destas colunas, são definidas num banco de dados relacional. Várias operações especiais estão disponíveis como recortar e juntar tabelas segundo critérios específicos, com a finalidade de construir tabelas adicionais. Tais operações incluem a seleção (extrair certas linhas), projeção (extrair certas colunas) e junção (emparelhar as linhas através das tabelas e depois extrair certas linhas). Pela utilização de tais operações, os relacionamentos entre linhas não têm que ser predefinidos (como em um gerenciamento de arquivo simples)

Cada linha deve ser identificável univocamente. Pode-se utilizar uma ou mais colunas como chave primária - o identificador único para cada linha da tabela. Também é permitido o uso de chaves externas em uma ou mais colunas para facilitar o acesso a linhas correspondentes em outras tabelas.

As tabelas e suas colunas podem ser reorganizadas para reduzir o nível de redundância de dados e diminuir, conseqüentemente, o número de etapas necessárias para modificar consistentemente os dados. A disciplina para conseguir isto é chamada normalização. O grau de eliminação da redundância de dados é definido pelo termo "formas normais". A primeira forma normal é o nível mais baixo de remoção da redundância de dados e a quinta forma normal é o nível mais alto de remoção da redundância de dados.

2.4.2 O BANCO DE DADOS DE USUÁRIOS DE ÁGUA DO MUNDAÚ

O gerenciamento de dados sobre uso de águas brutas é parte essencial e indissociável da coleta, compilação e análise do cadastro de usuários desenvolvido para a bacia. A automatização cuidadosa facilitará o uso da informação durante um longo tempo com um mínimo de esforço, enquanto que, se feita sem o devido critério pode levar à inutilização da informação logo após a coleta. Um bom banco de dados de Usuários de Água deve possuir principalmente uma boa organização, acessibilidade e principalmente, uma estrutura que reflita com a máxima fidelidade a realidade pesquisada. A escolha do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados a ser utilizado no trabalho seguiu os seguintes critérios:

- facilidade de intercâmbio dos dados com outros sistemas - Leitura e Escrita em formatos de arquivo diferentes do formato proprietário do sistema escolhido;

- capacidade de armazenamento dos dados em microcomputadores, sem grande perda de performance;
- o SGBD escolhido deve fornecer uma interface amigável com o usuário - pressupõe-se um sistema que explore uma GUI ("Graphical User Interface") padrão, por exemplo: MS Windows (plataforma PC), Motif (plataforma UNIX),
- integridade referencial de dados, isto é, verificação automática de inconsistências nas entradas de dados nas tabelas relacionadas,
- eficiência e produtividade na elaboração do programa e facilidade para a realização de consultas pelo usuário final, com possibilidade de criação de relatórios personalizados,
- sistema com linguagem de programação integrada para criação do programa tanto interativamente como pela digitação de código,
- compatibilidade com outros padrões da Indústria de Software, como, por exemplo, a linguagem ANSI SQL ("Structured Query Language") para a consulta e atualização de bancos de dados relacionais,
- facilidade de desenvolvimento através de protótipos

Para cada categoria de usuário de água, i.e.: Irrigantes, Pescadores, Concessionárias e Agroindústrias, existem grupos essenciais que se aplicam a todos e dão significado hierarquizado à informação. Estes grupos são: (1) Identificação, (2) Localização ou Geografia, (3) Hidrologia; (4) Volume ou vazão utilizada.

Os dados sobre identificação incluem o nome, endereço, código de identificação único para cada usuário que pode ser utilizado juntamente com códigos de outros órgãos (ex.. IBGE). Os dados geográficos são importantes caso a base de dados seja utilizada num ambiente de Sistema de Informações Geográficas. Estes devem incluir, além da latitude e longitude, o contexto geográfico (sub-bacia, unidade da balanço, município, distrito, etc.). As informações hidrológicas identificam os mananciais superficiais e subterrâneos afetados (rios, açudes, aquífero, etc). As informações quanto ao volume ou vazão fazem parte do quarto grupo, sendo que a metodologia de coleta e a estruturação dos registros no banco de dados é particular de cada categoria de usuário.

A Figura 2.19 apresenta um esquema simplificado da estrutura do subsistema Irrigantes do banco de dados relacional idealizado para a bacia do Mundaú. As caixas contêm os nomes das tabelas na parte superior e o nome da chave primária logo abaixo e as linhas representam a relação entre elas (um-um ou um-muitos). A seguir são mostradas algumas das telas do sistema de banco de dados desenvolvido para armazenar informações a respeito dos diversos usuários de água bruta do rio Mundaú. Este banco de dados acha-se em fase adiantada de implementação sendo necessários alguns testes amostrais antes da sua utilização na apropriação dos dados reais. Na Figura 2.20 e na Figura 2.21 são mostrados exemplos das telas tipo formulário que fazem o papel de interface entre o usuário do programa e a estrutura interna do banco de dados

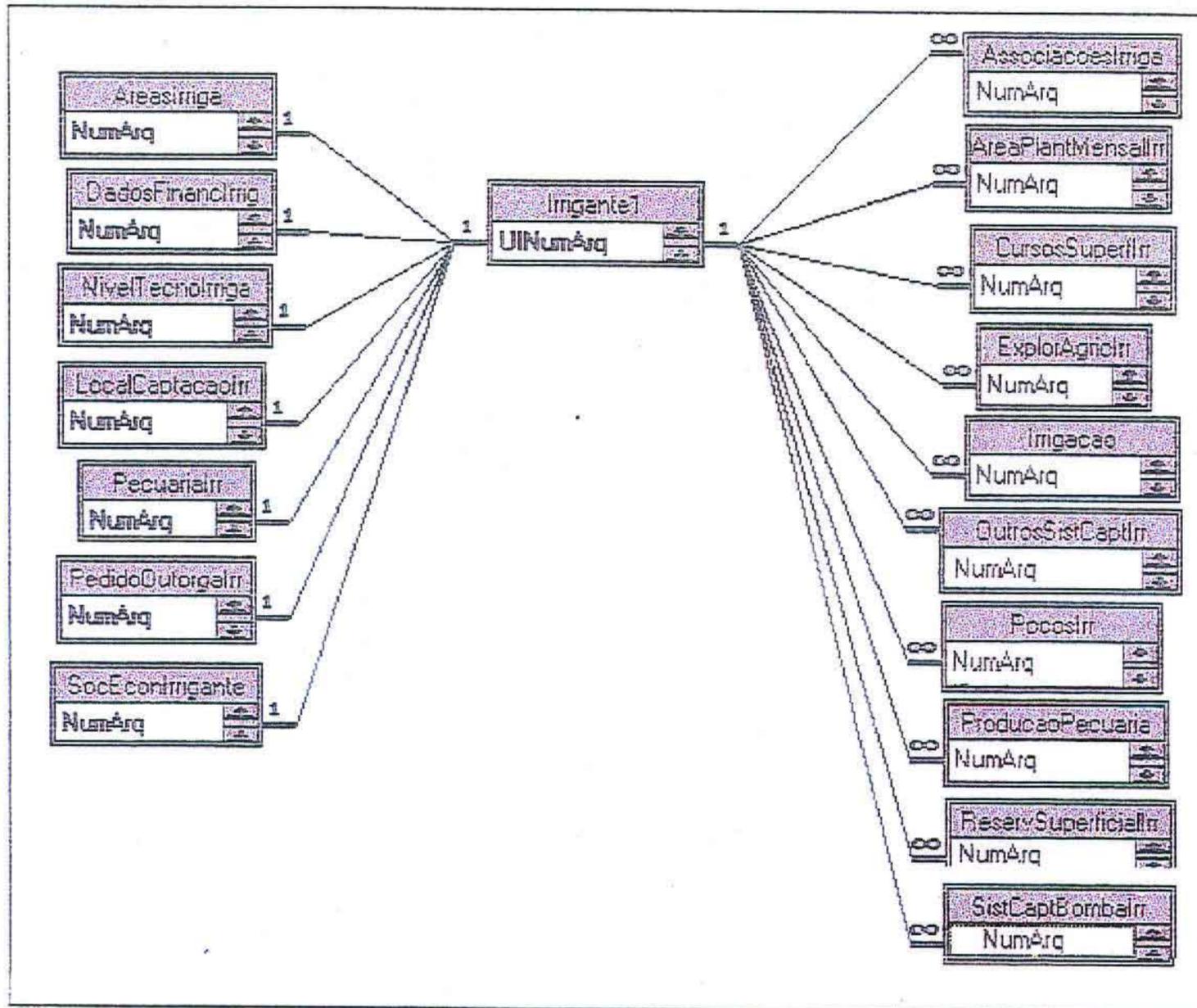


Figura 2.19 - Estrutura das tabelas relacionadas do subsistema Irrigantes

Id	Regist	de	Potência (KW)	Quantidade	Energia (KWh)	Preço (R\$)
1	1	1	7.5	420	880.000	0.00
2	0	0	0.000	0	0.000	0.00

Figura 2.20 - Exemplo de entrada de dados sobre o sistema de captação

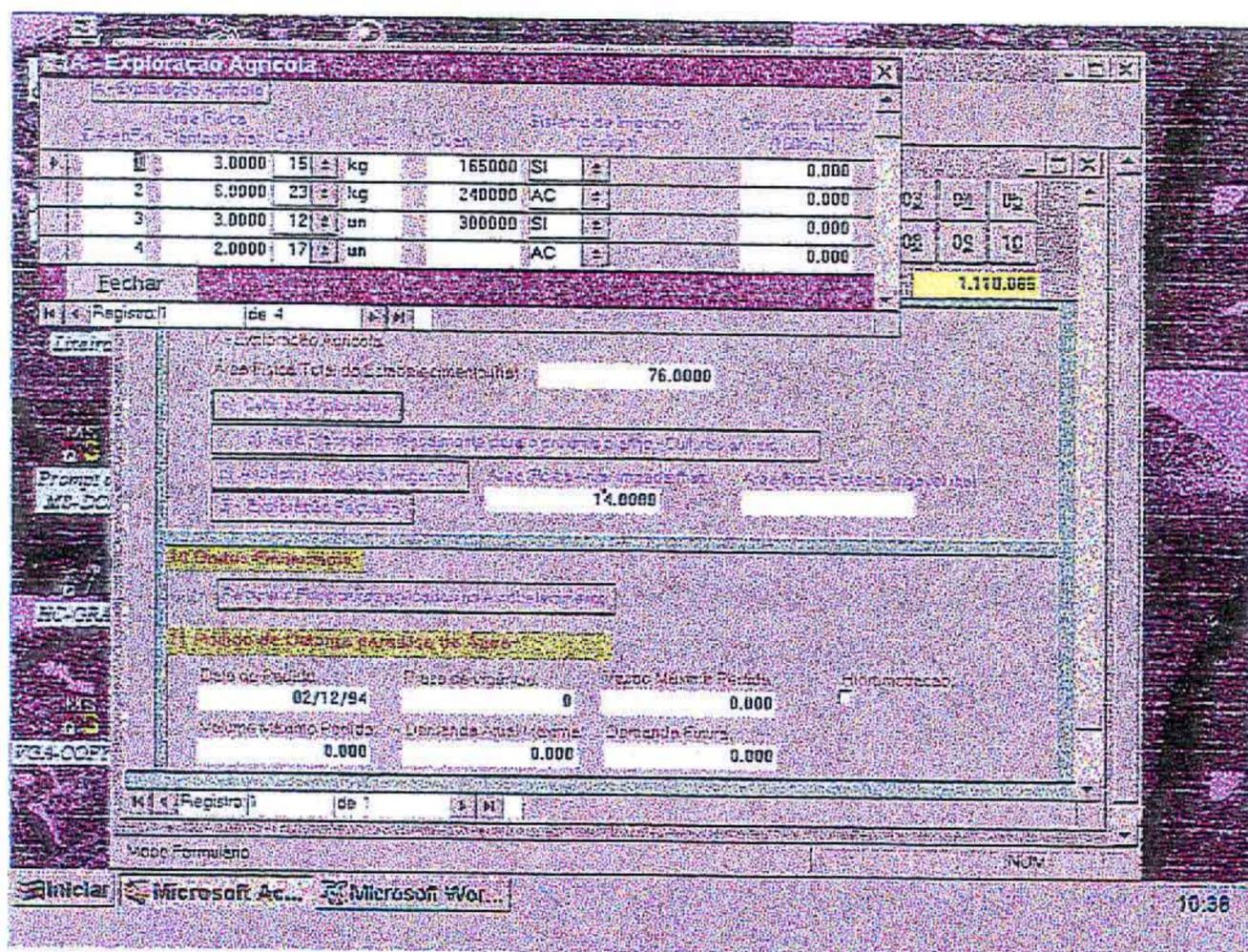


Figura 2.21 - Exemplo de entrada de dados sobre a exploração agrícola

2.5 INSTRUMENTAÇÃO PARA MONITORAMENTO DO ESCOAMENTO NO RIO MUNDAÚ

2.5.1 INSTALAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Na escolha das seções para instalação dos postos, com espaçamento variando de 10 a 15 km, procurou-se adotar os critérios recomendados pela bibliografia específica, entretanto, os fatores preponderantes na maioria dos casos recaíram sobre a facilidade de acesso e existência de um controle artificial que proporcionasse condições para uma correspondência unívoca das descargas em relação aos níveis de água.

No açude Mundaú, na torre de comando das comportas de tomada d'água, instalou-se limnómetro para monitoramento do armazenamento nesse reservatório.

Estação limnimétrica do açude Mundaú

Essa estação está constituída por um linígrafo (bóia e contrapeso), localizado na torre de comando das comportas de montante da tomada d'água do açude, e por uma bateria de réguas limnimétricas (réguas graduadas fixadas em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto), localizada nas proximidades da ombreira esquerda.

Linígrafo e poço tranquilizador foram fixados à estrutura de concreto da torre de controle através de suportes metálicos. A Figura 2.22 mostra o linígrafo dessa estação.

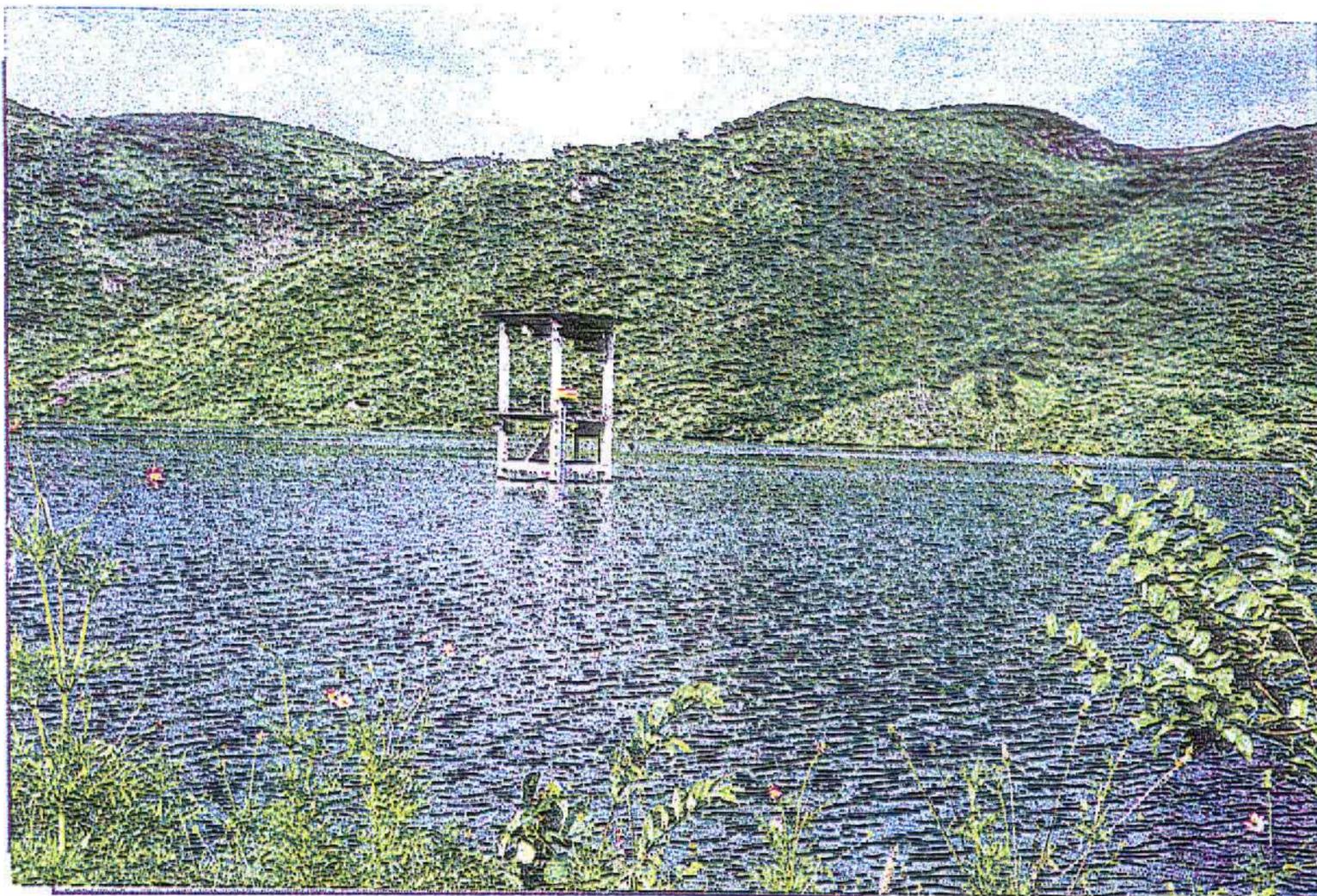


Figura 2.22 - Estação açude Mundaú/linígrafo na torre de comando

Estação fluviométrica Itacolomí

Essa estação, localizada à montante do açude Mundaú, está constituída por um linígrafo (bóia e contrapeso), e por uma bateria de réguas limnimétricas (réguas graduadas fixadas em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto). O linígrafo está instalado na estrutura de um pontilhão e a bateria de réguas está localizada na margem direita do rio, também próximo ao pontilhão.

Linígrafo e poço tranquilizador foram fixados à estrutura da ponte através de suportes metálicos.

Sob o pontilhão foi construído um controle artificial, em alvenaria de pedra, constituído de um vertedouro composto (retangular + triangular). Em águas rasas (período de estiagem) o escoamento se dará através do vertedouro triangular, em águas profundas (período de chuvas) o escoamento se dará também sobre o vertedouro retangular. Pretende-se determinar a curva-chave que nos dê uma correspondência unívoca das descargas com relação aos níveis. A Figura 2.23 mostra o vertedouro da estação Itacolomí operando em águas rasas.

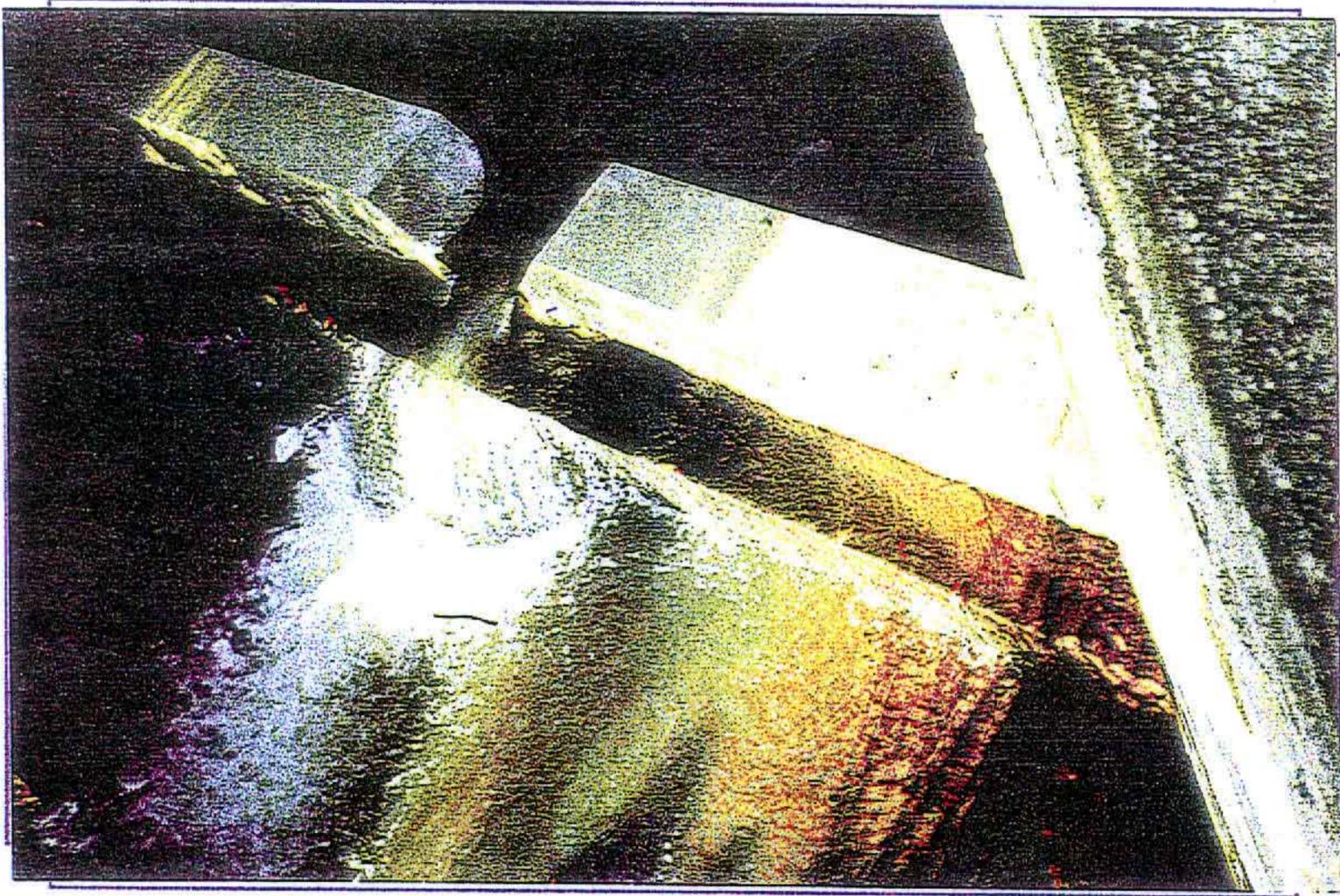


Figura 2.23 - Vertedouro de Itacolomí

Estação fluviométrica Uruburetama

Essa estação, localizada em pontilhão sobre o rio Mundaú, a primeira seção monitorada à jusante do açude, na cidade de Uruburetama, está constituída por um linígrafo (bóia e contrapeso), e por uma bateria de réguas limnimétricas (réguas graduadas fixadas em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto). O linígrafo está instalado na estrutura de um pontilhão e a bateria de réguas está localizada no mesmo ponto.

Linígrafo e poço tranquilizador foram fixados à estrutura da ponte através de suportes metálicos.

No período de estiagem, quando o escoamento deve-se somente às liberações pelas comportas do açude, as profundidades nessa seção tornam-se excessivamente pequenas com relação à largura, prejudicando o monitoramento das pequenas vazões, pois fica muito difícil a determinação de uma curva-chave para um intervalo de variações tão pequenas. Para solucionar esse problema optou-se pela realização da obra de estreitamento da seção, atualmente em andamento. A Figura 2.24 mostra uma vista dessa estação.

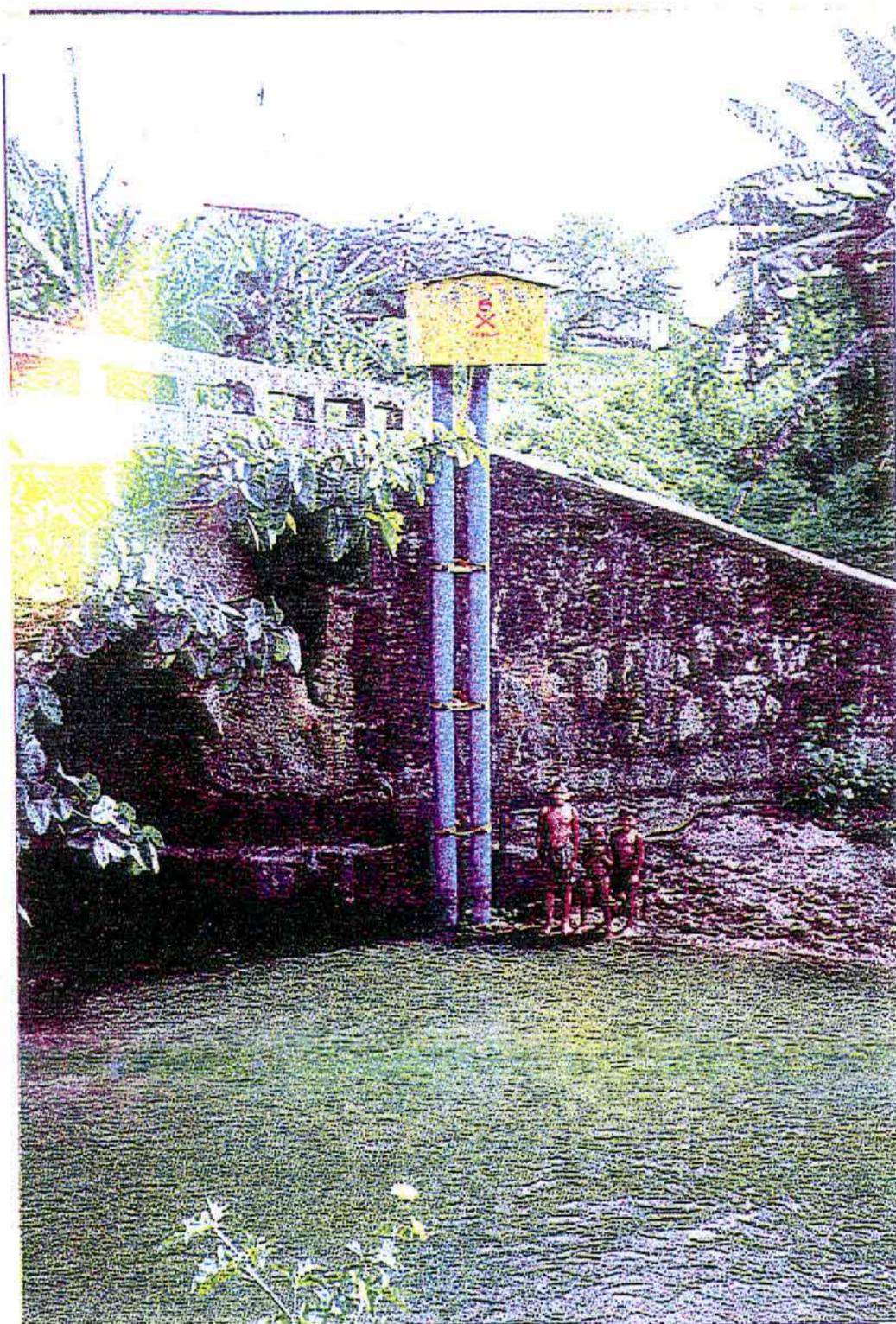


Figura 2.24 - Linígrafo na seção Uruburetama

Estação fluviométrica Angeline

Essa estação, localizada em seção no riacho Angeline (afluente do rio Mundaú), próximo à junção com o rio Principal, no perímetro urbano da cidade de Uruburetama. Está constituída por um linígrafo (bóia e contrapeso), e por uma bateria de régua limnimétricas (régua graduadas fixadas em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto). Aqui, devido a não existência de uma estrutura de apoio à instalação do linígrafo, adotou-se o sistema de vasos comunicantes: O linígrafo fica instalado à margem do rio, em barranco firme e em cota livre de enchente, tendo como estrutura anéis de cacimba. A comunicação entre os vasos é realizada por tubos em PVC. A Figura mostra uma vista dessa estação.



Figura 2.25 - Linígrafo na seção Angelim

Estação fluviométrica Fazenda CBR

Essa estação, localizada na fazenda CBR, teve a sua escolha justificada pela existência de um controle no rio (barragem vertedoura). Está constituída por um linígrafo (bóia e contrapeso), e por uma bateria de réguas limnimétricas (réguas graduadas fixadas em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto). O linígrafo está instalado na estrutura da barragem e a bateria de réguas está localizada nas proximidades.

Linígrafo e poço tranquilizador foram fixados à barragem através de uma estrutura metálica. Essa estação é do tipo mostrado na Figura 2.26 (estação Rio do Inácio).

A barragem da fazenda CBR, feita em alvenaria de pedra, embora seja rústica contém várias comportas tipo "stop-log" no nível do coroamento para controle das baixas vazões. Pretende-se determinar as equações (curvas-chave) que relacionem as vazões escoadas sobre a barragem com níveis registrados.

Estação fluviométrica Fazenda Conceição

Essa estação está situada em local próximo à fazenda Conceição. Está constituída por um linígrafo (bóia e contrapeso), e por uma bateria de réguas limnimétricas (réguas graduadas fixadas em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto). Essa seção foi escolhida devido a facilidade de acesso e a um relativo bom comportamento da seção, entretanto, também ali não existe controle nem qualquer estrutura que sirva de apoio à instalação do linígrafo, adotou-se o sistema de vasos comunicantes, tipo ao apresentado na estação Angelim.

Estação fluviométrica Rio do Inácio

Essa estação, situada em trecho do rio Mundaú conhecido como Rio do Inácio, teve a sua escolha justificada pela existência de um controle no rio (barragem vertedoura). Está constituída por um linígrafo (bóia e contrapeso), e por uma bateria de réguas limnimétricas (régua graduada fixada em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto). O linígrafo está instalado na estrutura da barragem e a bateria de réguas está localizada no mesmo ponto do rio, na margem esquerda. Linígrafo e poço tranquilizador foram fixados à barragem através de uma estrutura metálica, como está mostrado na Figura .

Esta barragem, feita em alvenaria de pedra, teve sua ombreira direita (em terra) rompida em consequência da última estação chuvosa. Encontra-se em andamento a obra de sua recuperação. Pretende-se determinar as equações (curvas-chave) que relacionem as vazões escoadas sobre a barragem com níveis registrados.

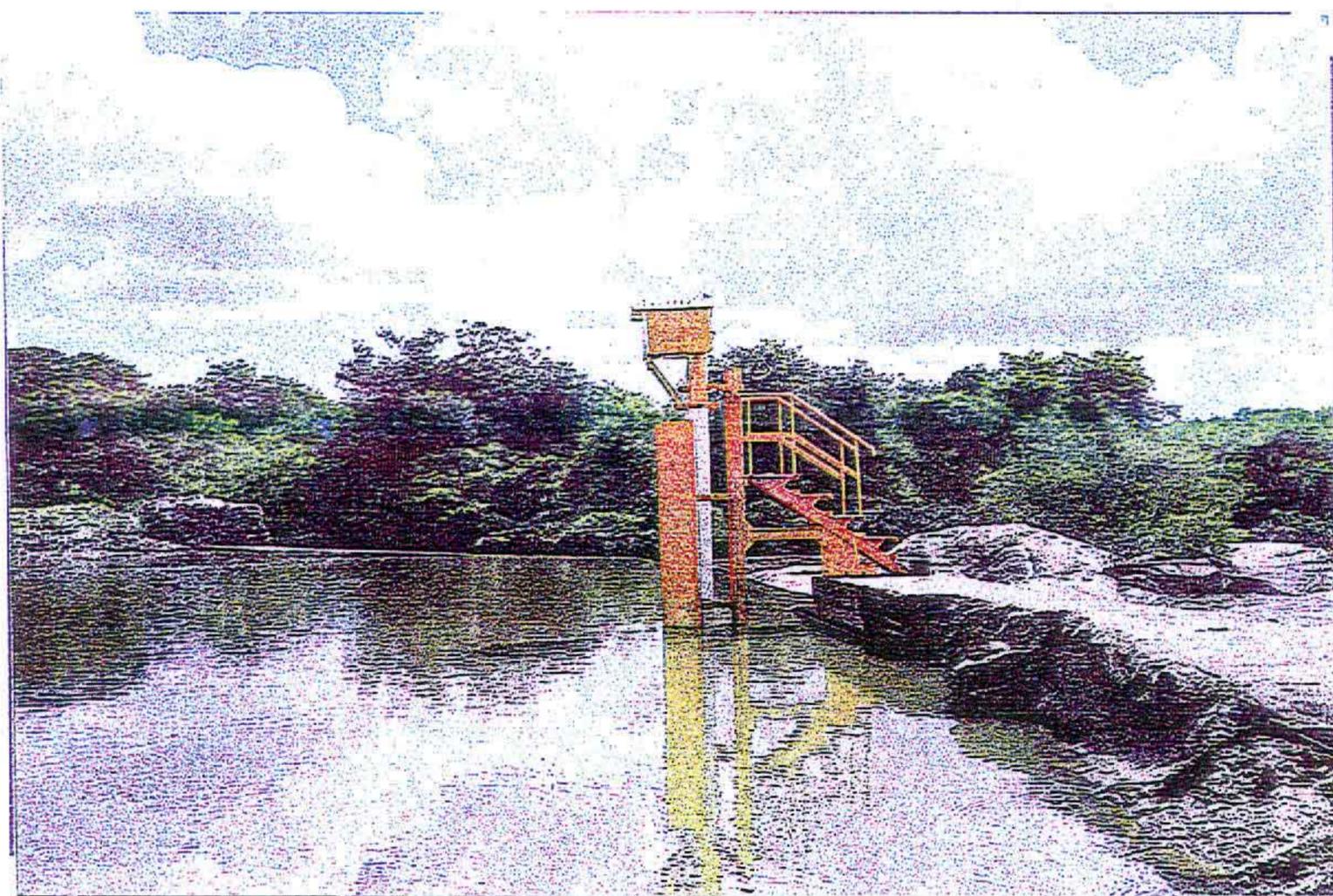


Figura 2.26 - Estação Rio do Inácio

Estação Fluviométrica Barrento

Essa estação, última seção de observação no trecho monitorado, situa-se na localidade barrento (distrito de Itapipoca). A estrutura de fixação do linígrafo está pronta e a instalação do linígrafo deverá acontecer nos próximos dias. A estação será constituída por um linímetro digital (sensor de pressão), e por uma bateria de réguas limnimétricas (régua graduada fixada em suportes de madeira apoiados em blocos de concreto).

Linígrafo e poço tranquilizador foram fixados à estrutura da ponte através de suportes metálicos, como está mostrado na Figura 2.27.



Figura 2.27 - Estação Barrento

Parte 3

MEIO AMBIENTE

000673

3.1 - ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

3.1.1 - INTRODUÇÃO

O governo do Ceará, ciente dos problemas que afetam o abastecimento de água às populações do estado, tem procurado desenvolver programas, cujo objetivo maior é promover uma distribuição mais uniforme dos recursos hídricos, corrigindo, assim, as distorções existentes.

Dentro desta visão, o projeto "Estudo Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú", fruto de um convênio celebrado entre a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), foi concebido visando contemplar o estudo detalhado da bacia do rio Mundaú, enfocando não só os seus aspectos característicos, mas também os dinâmicos. Foi elaborado dentro da ótica do programa de desenvolvimento do estado, com a finalidade de gerar, adequar e colocar à disposição do Sistema de Gestão dos Recursos Hídricos, tecnologias adaptadas às condições do semi-árido.

Neste sentido, os estudos formulados neste projeto, incluindo, entre outros, estudos hidrológicos, hidrogeológicos, geofísicos, sedimentométricos, geoambientais e de qualidade da água, foram selecionados por critérios de relevância e em coerência com as perspectivas de desenvolvimento estipuladas para o estado do Ceará

Este documento constitui-se num relatório parcial das atividades conduzidas na área de qualidade da água, dentro de referido projeto. Procurou-se vincular, nas abordagens aqui feitas, a qualidade da água aos seus principais usos na região

Vêm sendo realizadas campanhas mensais de coletas de dados, pesquisa e observações em campo, com a finalidade de se conhecer a situação atual da qualidade dos recursos hídricos da bacia e avaliar com maior precisão a importância dos diferentes fatores que a influenciam. As informações obtidas serão de grande valia para, posteriormente, subsidiar a elaboração de normas de controle e preservação da qualidade deste recurso.

Nesta etapa do projeto, procurou-se, a partir da análise dos dados coletados, fazer uma avaliação de parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água na bacia, classificação da água para fins de irrigação e, por fim, a descrição de alguns trabalhos específicos que vêm sendo conduzidos no açude Mundaú.

3.1.2 - IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

A água constitui-se num elemento essencial a todas as atividades desenvolvidas pelo homem. A formação de grandes aglomerados urbanos e industriais, com crescente necessidade de água para abastecimento, irrigação, pesca e lazer, faz com que hoje a quase totalidade das atividades humanas sejam cada vez mais dependentes da disponibilidade das águas. Paralelamente, no entanto, o que se observa é o surgimento de problemas relacionados com a sua qualidade.

No estado do Ceará a água representa um dos principais fatores de desenvolvimento econômico e a questão de sua qualidade vem ganhando importância cada vez maior. O estudo dos problemas decorrentes da redução da qualidade da água, tem despertado o interesse do governo nos últimos anos, constituindo-se no principal campo de atuação de muitas instituições que tratam de recursos hídricos e ocupando um lugar de destaque nas preocupações dos planejadores.

Na verdade, muitos açudes do Estado encontram-se em processo de eutrofização devido ao excesso de nutrientes e matéria orgânica, afetando, em muito, a sua utilização na atividade pesqueira, no abastecimento, irrigação e lazer. Problemas como a redução da taxa de infiltração da água, manchas nas folhas e frutos, obstrução de equipamentos, podem estar associados a uma baixa qualidade da água para irrigação. Baixos teores de oxigênio dissolvido na água podem conduzir a um aumento na mortalidade de peixes. Por outro lado, o aspecto sanitário, especialmente aqueles relacionados às doenças de veiculação hídrica, não podem deixar de ser considerados

Assim é que, os diversos usos da água numa bacia passa a configurar como fator determinante das suas características qualitativas. Por exemplo, uma água de rio que pode ser considerada de boa qualidade para irrigação, pode, por sua carga de sedimentos, ser inaceitável para uso urbano, sem antes ser tratada para extrair tais sedimentos

BRANCO (1991) in PORTO (1991), salienta que cada um dos usos da água requer características diferentes, isto é, as exigências quanto ao grau de pureza variam com o emprego que será feito da água. Assim, para os processos biológicos em geral, irrigação e alimentação do homem e animais, as exigências são intermediárias. Não se prestam, a essa utilização, as águas com elevado grau de pureza química, uma vez que os seres vivos necessitam de vários tipos de sais e gases em solução que, normalmente, são fornecidos pela própria água. Além disso, a água em contato com o corpo deve possuir um valor osmótico tal que não comprometa a manutenção das concentrações internas nos tecidos do organismos

A compreensão dos processos e mecanismos existentes em meios aquáticos assume, então, papel fundamental no estabelecimento de indicadores físicos, químicos e biológicos para o controle da qualidade da água, contribuindo para a melhoria do nível de vida da população

Estudo da qualidade da água em reservatórios

A natureza dos problemas de qualidade da água em reservatórios difere substancialmente daqueles que se observa em rios. A construção de um açude muda completamente as características da biota aquática, pois o ambiente passará de um estado lótico para o estado lêntico, onde a profundidade é grande e a velocidade pequena. Alguns organismos que viviam no rio não se adaptarão ao novo sistema e outros novos organismos se desenvolverão. Aos poucos a biota vai se transformando e adquirindo características próprias, muito parecidas com ambientes lacustres.

Nos reservatórios, de modo geral, o seu tamanho e profundidade, fazem com que as vazões exerçam influência reduzida, possibilitando que a análise de fenômenos físicos, químicos e biológicos se dê ao longo da direção vertical, sem consideração detalhada da hidrodinâmica. Segundo ESTEVES (1988), nestes ambientes, diferenças na temperatura geram camadas de água com densidades diferentes, formando uma barreira física que impede as camadas de se misturarem. Se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente ao longo da coluna d'água, criando a condição de estratificação térmica. Os estratos formados, geralmente, são diferenciados física, química e biologicamente.

Problemas com a qualidade dos lagos e reservatórios têm merecido a atenção das autoridades e despertado a sensibilidade da sociedade para com os impactos ambientais negativos associados a sua construção. Alguns anos atrás, quando as preocupações com o ambiente ainda eram incipientes, não era exigido o desmatamento da área inundada por ocasião da construção de um reservatório. Assim, a decomposição da vegetação inundada consumia grandes quantidades de oxigênio dissolvido, afetando não só a sobrevivência de peixes e outros animais, mas também estabelecendo um processo anaeróbico de decomposição que leva à produção de gás sulfídrico, tóxico e corrosivo.

Ainda como resultado da decomposição da matéria vegetal, formam-se compostos de nitrogênio e fósforos, que estimulam a proliferação de plantas aquáticas. Todo este processo pode provocar a eutrofização do corpo d'água, comprometendo seu uso.

No que tange à sua salubridade ou poluição, existem várias observações e relações ecológicas que podem ser utilizadas na caracterização de um ambiente de águas interiores. Uma delas diz respeito às atividades de microorganismos em relação à capacidade energética do meio.

Uma relação proposta por PATRICK (1950) sobre sistemas indicadores, é a da relação entre o número de espécies e o de indivíduos, segundo a qual um ambiente não poluído se caracteriza quase sempre por um grande número de espécies representadas por pequeno número de indivíduos, enquanto que no meio poluído se dá o contrário, em decorrência do próprio processo de seleção, provocado pelas modificações físico-químicas do meio. As águas segundo o mesmo podem ser classificadas como salubres, semi-salubres ou com poluição moderada, poluída (poluição acentuada), muito poluídas (tóxicas para a vida animal e vegetal). Além dessas existem aquelas consideradas atípicas, que não se enquadram em nenhuma das referidas acima. Entretanto para classificação ter maior embasamento é necessário se conhecer as características químicas, biológicas e bacteriológicas.

3.1.3 - METODOLOGIA

Descrição da área de abrangência do estudo

A bacia hidrográfica do rio Mundaú, com 650 km², está inserida em uma região classificada como clima seco, tipo B, segundo Köppen e clima semi-árido, tipo D, segundo Thornthwaite. Como no restante dos postos pluviométricos do semi-árido cearense, existe uma forte concentração de chuva, sendo que a nível mensal, março e abril são os meses mais chuvosos. A distribuição da precipitação média ao longo do ano pode ser visualizada na figura 3.1.

A água na bacia é utilizada para o abastecimento humano, piscicultura e pequenas irrigações. O saneamento básico e educação sanitária quase inexistem e a economia é exclusivamente agrícola. Conforme o PERH (1990), o consumo da água para a irrigação foi estimado em 6,8 hm³/ano.

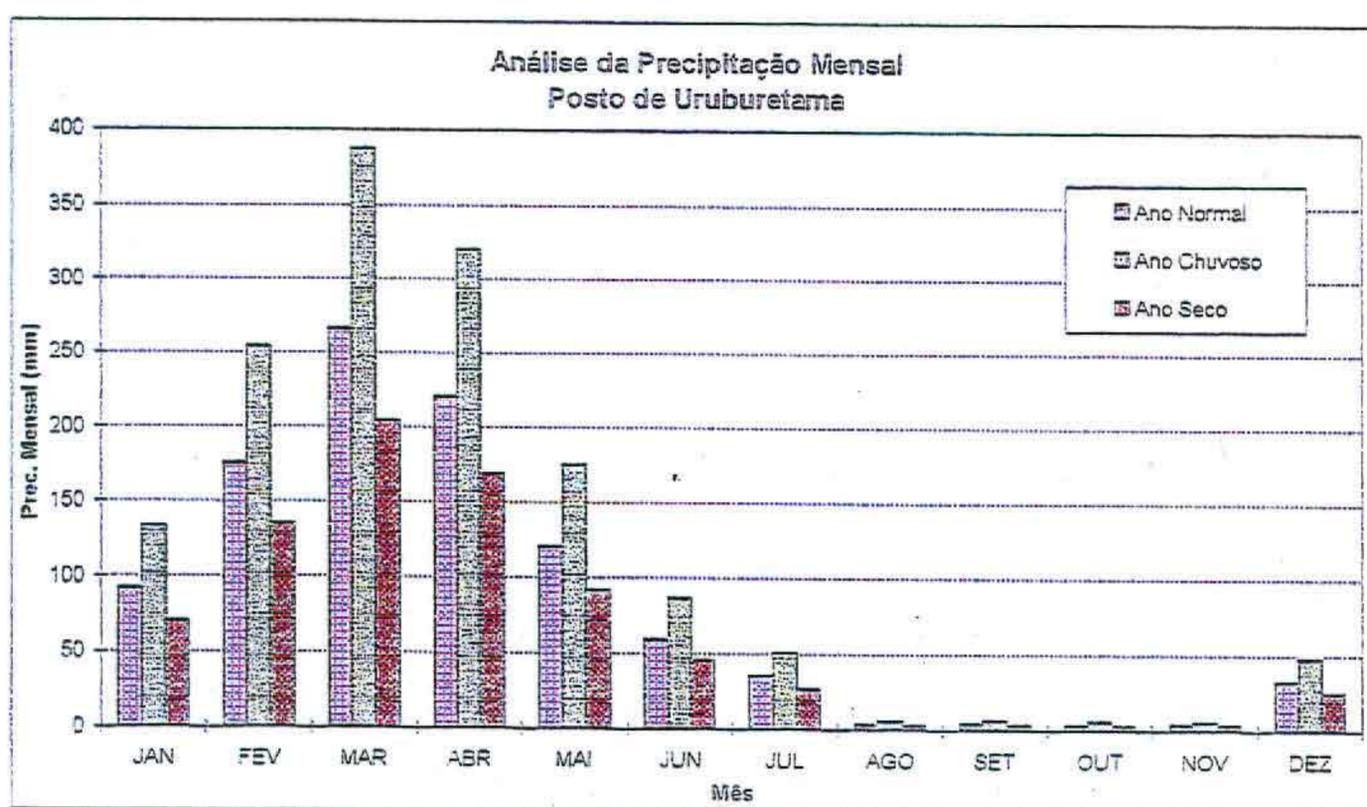


Figura 3.1- Distribuição da precipitação média da bacia hidrográfica do rio Mundaú, posto Uruburetama

A bacia está assentada sobre dois grandes domínios geológicos cristalino e sedimentar (grupo Barreiras e aluviões) As rochas cristalinas apesar da vocação reduzida em termos quantitativos e qualitativos é importante pela extensão que ocupa na região Os sedimentos do grupo Barreiras apresentam um bom potencial de armazenamento e são bastante explorados como fornecedores de água As aluviões, formadas por depósitos fluviais, não apresentam quantidade muito expressiva na região de estudo, mas constituem-se em importante unidade hidrogeológica, pois suas águas são utilizadas para o abastecimento e irrigação de pequenas culturas pelas comunidades locais

O açude Mundaú, principal estrutura hidráulica da bacia, apresenta uma capacidade de aproximadamente 21 milhões de m³, profundidade máxima de 31m, drenando uma área de 36,3 km² e uma vazão regularizada, com garantia de 90%, de 3,90 hm³/ano A liberação de água do açude é feita através de uma válvula dispersora cônica, a qual, atualmente, é operacionalizada pela COGERH- Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado Seus principais usos são o abastecimento humano dos municípios de Tururu e Uruburetama e a pesca No entanto, estas atividades estão sendo prejudicadas pela qualidade da água deste reservatório

O açude Mundaú vem mostrando alguns sinais visuais de eutrofização Em campanha recente (julho/95) observou-se altos valores de pH (9,0 a 12,0) na coluna d'água, indicando a presença de fitoplâncton em excesso Na verdade, o gasto com o tratamento da água tem aumentado significativamente, devido a presença de grandes quantidades de algas, o que pode ser justificado pelo aumento de nutrientes como o fósforo e nitrogênio, os quais são liberados para o corpo d'água após o período chuvoso

Verificou-se, também que a bacia de contribuição do açude é completamente utilizada para o cultivo da banana, em uma região montanhosa, que chega a 600 m de altitude No entanto o plantio nesta região não vem sendo praticado de forma a evitar a erosão (em curvas de nível), o que favorece o assoreamento do açude

Coleta de dados ao longo do rio Mundaú

Para a programação das campanhas de coleta de dados fez-se, inicialmente, um levantamento de informações, de modo a caracterizar os aspectos relacionados com os principais usos da água na bacia Assim, com relação à irrigação procurou-se identificar principais culturas, pontos de captação de água, caracterização dos tipos de solos predominantes, relevo e vegetação Estas informações mostraram ser de extrema importância na identificação da textura e composição química dos solos, das áreas de utilização de fertilizantes e agrotóxicos, fatores estes que permitem avaliar a tendência do solo para erosão e, conseqüentemente, transporte de sedimentos e componentes químicos para o rio Outras informações como fontes pontuais e não pontuais de poluição, concentrações populacionais, etc, também foram identificadas

Esta pesquisa foi complementada com uma viagem à região, objetivando obter informações mais precisas sobre a irrigação na bacia e de como esta tem sido praticada Estas informações foram de grande utilidade na definição do número e locais de coleta de amostras de água

Em função das informações obtidas selecionou-se, inicialmente, 08 pontos de coleta Com o desenvolvimento dos estudos tornou-se necessária uma reavaliação dos pontos selecionados, optando-se por fazer amostragens mensais em 16 pontos definidos para estudo (Figura 3.2) As coletas de amostras de água iniciaram-se em outubro/95 prosseguindo-se até o momento Em campo eram feitas medidas da temperatura, CE, pH, bem como das condições ambientais remanescentes no período das coletas, as quais eram anotadas em planilha No Laboratório de Solos da Universidade

Federal do Ceará foram feitas análises para identificação e quantificação dos principais íons presentes nas águas.

BACIA HIDROGRAFICA DO RIO MUNDAU-CE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS

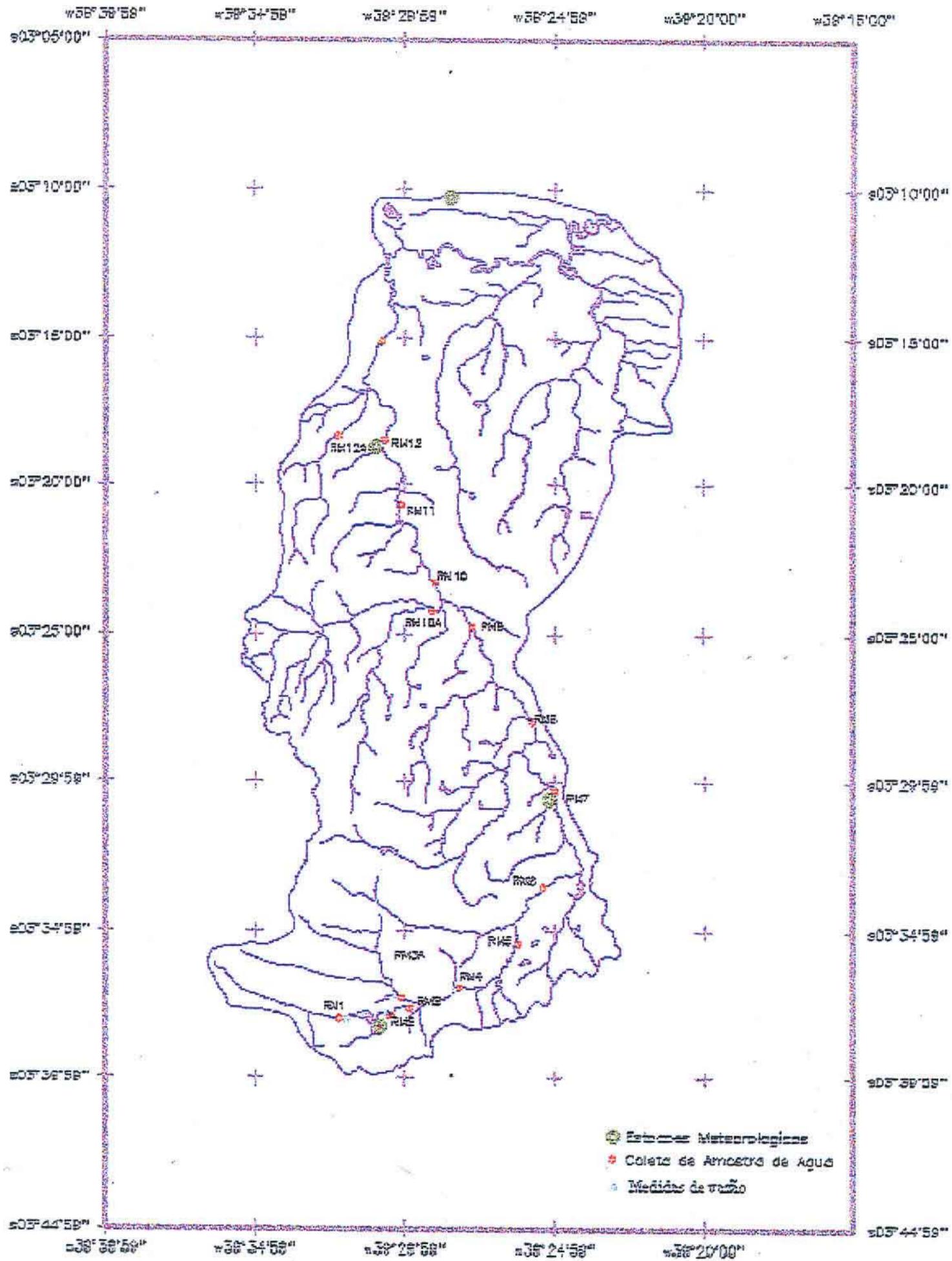


Figura 3.2 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água na bacia hidrográfica do rio Mundau

Em alguns pontos específicos: entrada e saída do açude Mundaú, saída do município de Uruburetama, saída do município de Tururu, Cemoaba e Barrento, pontos coincidentes com as principais concentrações populacionais da bacia, foram coletadas amostras nos meses de setembro e novembro de 1996, para determinação de alguns parâmetros importantes na avaliação da carga poluidora do rio. Estas amostras foram encaminhadas ao Laboratório da SEMACE para análise dos teores de oxigênio dissolvido, D.B.O, Fósforo, Silica, Sulfito, Amônia e coliformes (fecal e total).

Em virtude de problemas relacionados com a quebra do equipamento para medição de vazões, adquirido pelo projeto, não foi possível fazer um acompanhamento desta variável ao longo de todas as coletas. Somente por intermédio de uma solicitação de empréstimo do molinete pertencente à COGERH é que foi possível, nos meses de outubro e novembro, obter-se medidas de vazões coincidentes com coleta de amostras de água. Os valores de vazão ao longo do rio nestes meses, encontram-se na figura 3.3.

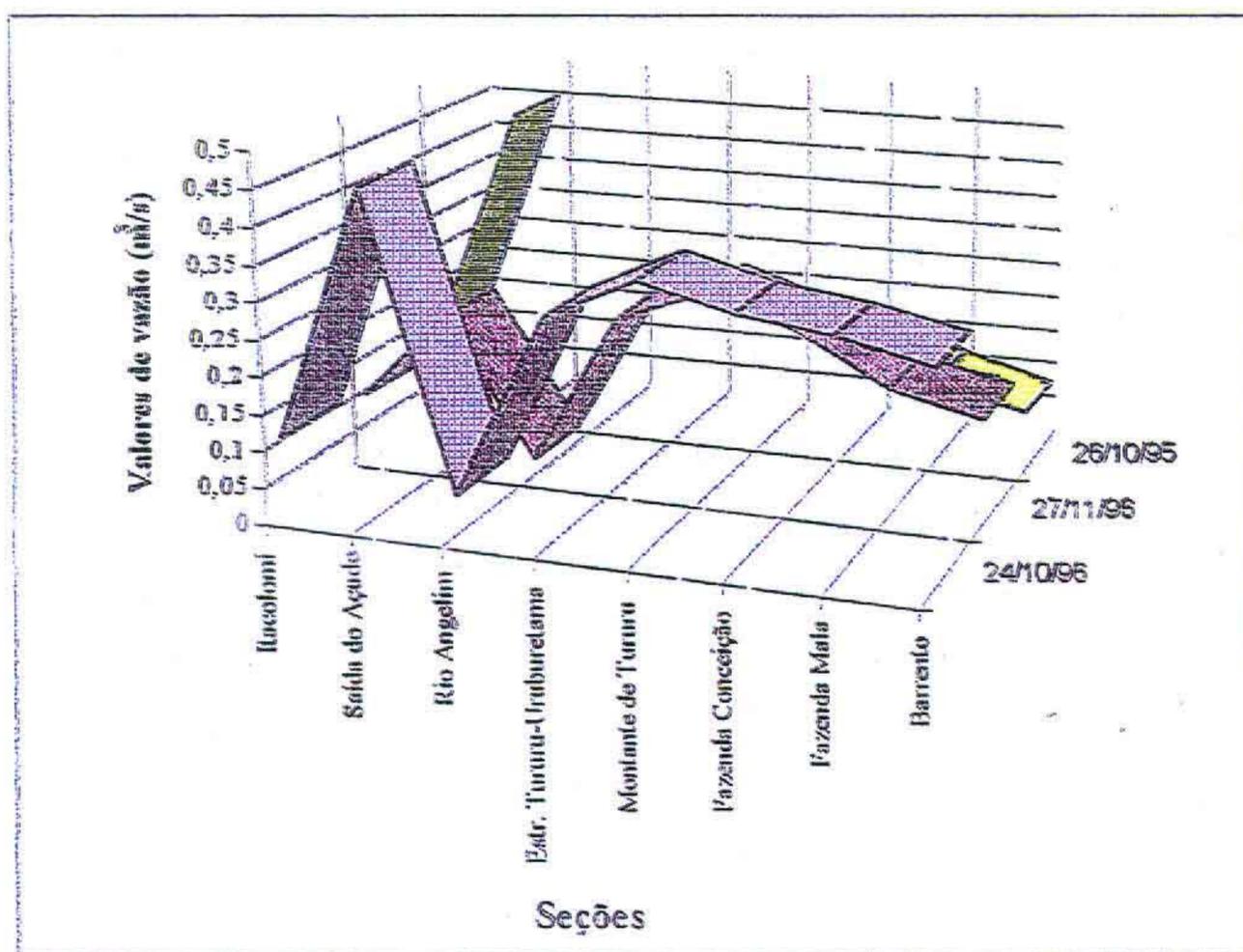


Figura 3.3 - Valores de vazão em seções ao longo do rio Mundaú (outubro e novembro de 1996)

Tão logo instalou-se as estações meteorológicas na bacia, previstas no projeto, estes dados passaram a ser periodicamente anotados.

Em escritório procedeu-se os cálculos necessários para classificação das águas para irrigação, segundo metodologia proposta pelo Comitê de Consultores do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos. Foram, também, realizadas correlações entre os diversos parâmetros de qualidade da água, elaboração de mapas, gráficos e diagramas para análise dos resultados obtidos.

Coleta de dados em poços na bacia do rio Mundaú

Inicialmente foram realizadas campanhas de coleta de dados em poços tubulares e cacimbas. Nestes foram obtidos valores de pH e Condutividade Elétrica. As medidas foram realizadas "in situ"

e tiveram como objetivo ter-se uma visão geral das águas subterrâneas na Bacia e dar base para a seleção de pontos de monitoramento futuro.

Numa segunda etapa foram coletadas amostras dos poços de pesquisa e piezômetros perfurados na área (vila dos Prascianos e de Tabocal). Nos poços foram coletadas águas após um tempo mínimo de bombeamento, garantido assim ser estas águas de circulação. Nos piezômetros foi empregado compressor de ar (processo "air lift") para a extração das amostras. Foram analisados os principais cations e anions, pH, sólidos totais e Condutividade Elétrica.

Coleta de dados no açude Mundaú

Em função das características do açude, sua batimetria, zonas de entrada de contribuintes e locais com cultivos, selecionou-se quatro pontos de coleta: dois próximos aos contribuintes principais, um na tomada d'água e o último nas imediações do vertedouro (Figura 3.4).

Para obtenção dos parâmetros físicos de qualidade d'água no reservatório, utilizou-se uma sonda de profundidade. Para tal, foi realizada uma campanha de medição no mês de setembro de 1996. Em cada um dos pontos selecionados, descia-se a sonda a cada metro de profundidade, permanecendo a mesma no local até que as leituras dos parâmetros se estabilizassem. As condições ambientais, durante o período das coletas, foram anotadas em planilha. Com os valores dos parâmetros obtidos nesta campanha, foram determinados perfis de temperatura, OD, CE, TDS, pH e Eh, (Figura 3.5) durante 24 horas, a intervalos de 2 em 2 horas.

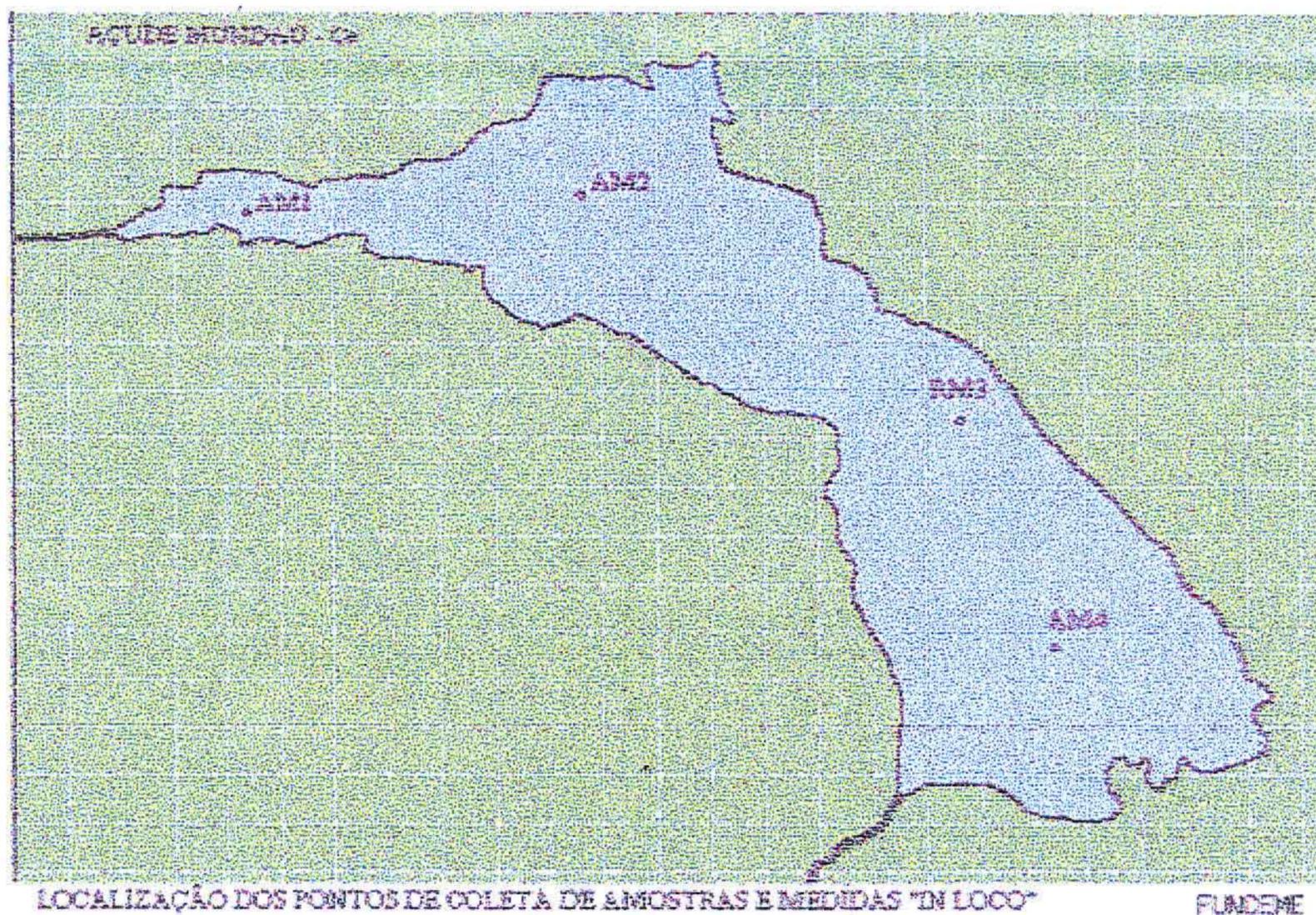


Figura 3.4- Localização dos pontos de coleta de amostras no açude Mundaú

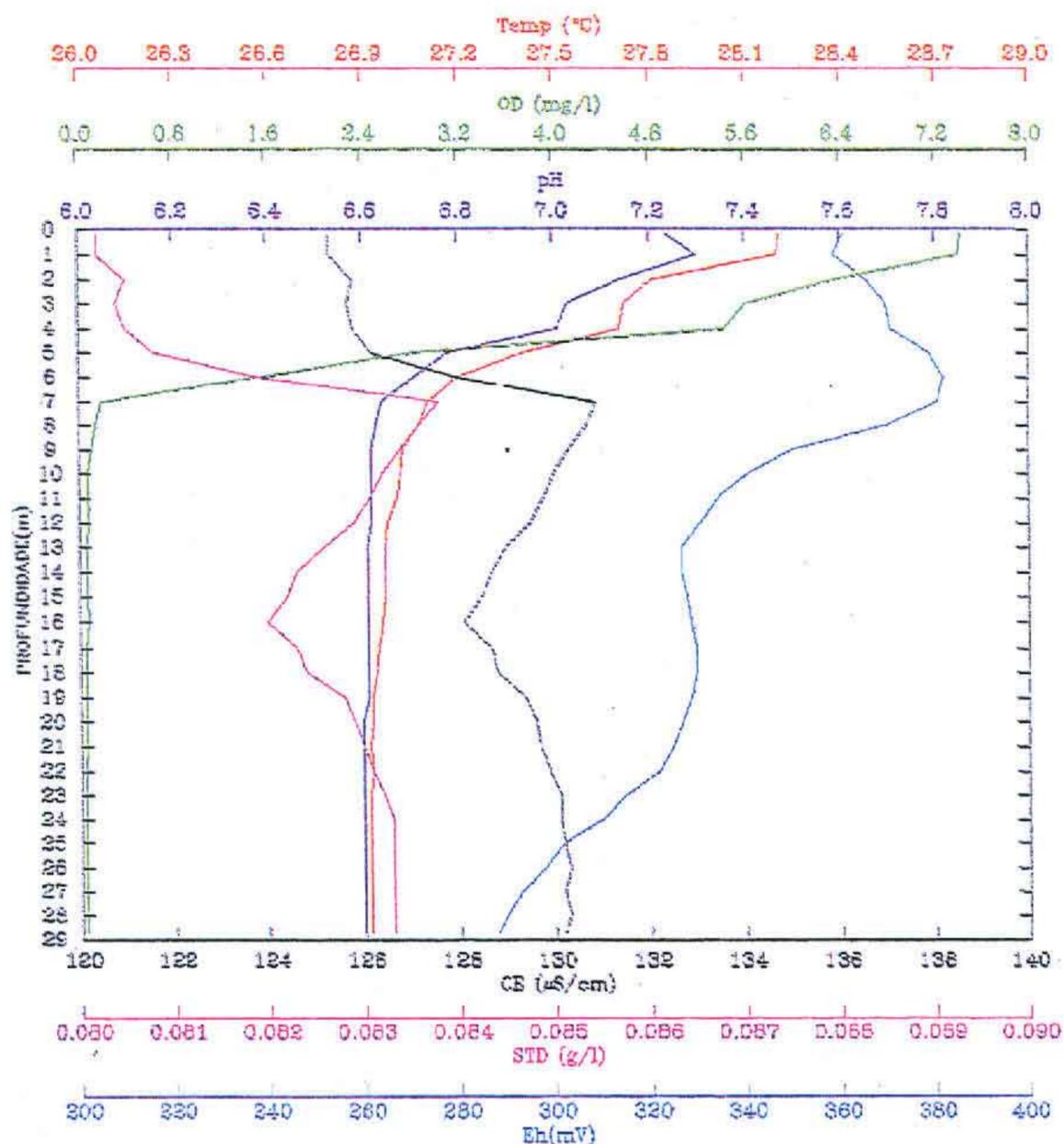


Figura 3.5-Perfil de temperatura, OD, Condutividade Elétrica, pH, Eh e sólidos totais dissolvidos no ponto 01 da campanha realizada em 17 a 18/05/95.

Amostras ao longo da coluna d'água foram obtidas empregando-se um coletor tipo Van Dorn. As amostras, após correta preservação, foram encaminhadas a laboratório para determinação de parâmetros químicos e bacteriológicos. Os Laboratórios contactados nesta etapa do projeto foram o Laboratório de Solos da Universidade Federal do Ceará e o Laboratório da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE). Na tabela 3.1, são mostrados os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados no açude. Alguns parâmetros de importância para a condução dos estudos propostos, como o gás sulfídrico, não foram analisados, uma vez que a determinação dos mesmos não faz parte da rotina normal dos Laboratórios existentes no Estado.

Com um emprego de uma draga tipo EACKMAN, coletou-se amostras do sedimento de fundo, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes e encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Federal do Ceará, para tentativa de determinação dos teores de nitrogênio e fósforo presentes nas mesmas. Apesar da importância da determinação do perfil do sedimento de fundo e análise de nutrientes como ferro, sulfato, presentes no mesmo, estas atividades não puderam ser executadas, primeiro por falta de equipamento específico para este tipo de coleta, segundo pela ausência, no estado, de um laboratório que fizesse tais análises.



Tabela 3 1 - Parâmetros de qualidade da água determinados ao longo da coluna do açude Mundaú (Setembro de 1996)

Parâmetro	Laboratórios	
	UFC	SEMACE
OD (mg/l)		x
Fósforo (mg/l)		x
Sílica (mg/l)		x
Sulfito (mg/l)		x
NH ₃ (mg/l)		x
Nitrato (mg/l)		x
Nitrato (mg/l)		x
Ferro (mg/l)		x
Condutividade Elétrica	x	
pH	x	
Ca	x	
Mg	x	
K	x	
SO ₄	x	
CO ₃	x	
HCO ₃ (meq/l)	x	
Cl (meq/l)	x	

Coleta de plânctons no açude Mundaú

O material utilizado para análise da comunidade planctônica no açude Mundaú, foi coletado no mês de setembro de 1996, no ponto AM2 situado próximo à galeria de tomada d'água. Coletou-se amostras em tres profundidades superfície, região da termoclina e próximo ao fundo. Na coleta de superfície empregou-se uma rede padrão de plâncton com abertura de malha de 85 µm, em arrasto horizontal durante 10 minutos. Após coletado, o material foi fixado em formol a 4%. Nas demais profundidades as amostras de água foram coletadas com garrafa de Van Dorn, sendo também fixados com formol a 4%

As amostras foram encaminhadas, para análise, ao Laboratório de Limnologia da Universidade Federal do Ceará. Em virtude do pequeno volume de água coletada, o material foi decantado por 24 horas sendo centrifugado a seguir Foram examinadas 30 lâminas de cada.

3.1.4 - AVALIAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NO AÇUDE MUNDAÚ

Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

• Temperatura

Segundo ESTEVES (1988) em ecossistemas aquáticos com níveis de temperatura mais elevados (>20°C) não há necessidade de grandes diferenças de temperatura, para que se processe a estratificação térmica da coluna d'água.

Observa-se na figura 3.6 que, no açude Mundaú, apesar da pequena variação da temperatura entre a superfície e o fundo, forma-se nitidamente uma termoclina entre as profundidades de 7 e

11m, indicando a estratificação térmica do corpo d'água. Observa-se, também, que a variação da temperatura condiciona a estratificação de outros parâmetros de qualidade da água.

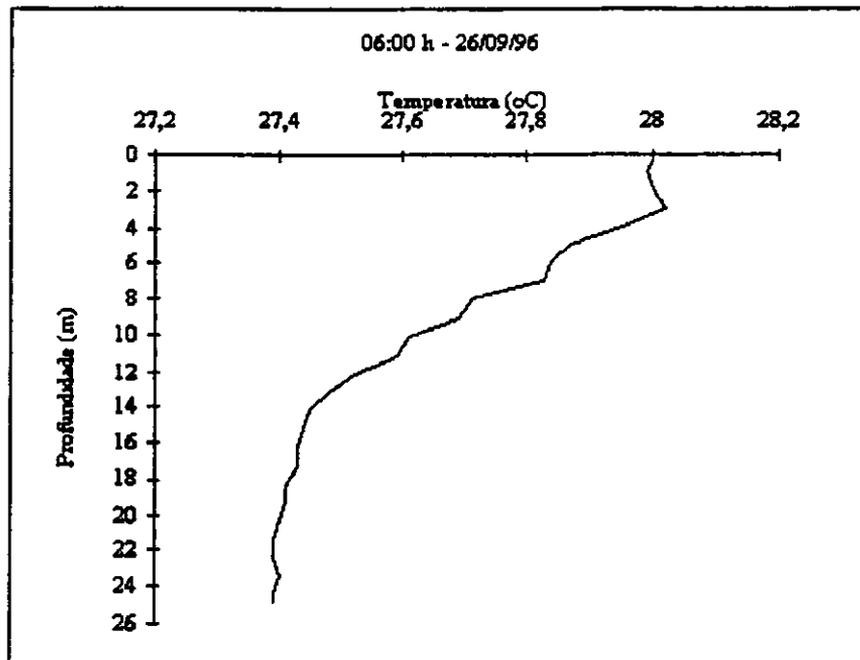


Figura 3 6 - Perfil de variação da Temperatura (°C) no açude Mundaú- Ce.

Esta estratificação térmica pode ser causada pelo aquecimento diferencial ao longo da coluna d'água, ocasionado pela radiação solar. A radiação aquece as camadas superiores do açude, gerando um perfil térmico com águas mais quentes e leves na superfície, e águas mais frias e densas nas profundidades maiores.

Apesar de não estarem inseridos, neste relatório, os perfis dos parâmetros analisados no açude, referentes aos vários horários de coleta, verificou-se que ocorria um deslocamento da termoclina ao longo do dia.

• Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido na água é fundamental para a existência da vida aquática. No açude Mundaú observou-se que a partir de 7 m, profundidade onde se forma a termoclina, o OD cai de aproximadamente 6,0 ppm à praticamente zero, na profundidade de 11 m.

Os baixos teores de oxigênio no hipolímnio é um forte indicativo da presença de organismos decompositores. No seu metabolismo, estes microorganismos produzem CO_2 e consomem O_2 . O gás formado pode ser liberado para a camada superior da coluna d'água favorecendo o desenvolvimento de algas, as quais o utilizam para a fotossíntese, liberando, assim, oxigênio na água. Este processo pode justificar os altos teores de OD nas camadas superficiais do açude, como mostra a figura 3 7

A falta de oxigênio favorece a ação de microrganismos anaeróbicos. Na respiração destes há formação de gases como o metano e o gás sulfídrico. No açude Mundaú existe evidência da formação do gás sulfídrico, devido ao odor que se percebe ao abrir a válvula dispersora de descarga de fundo.

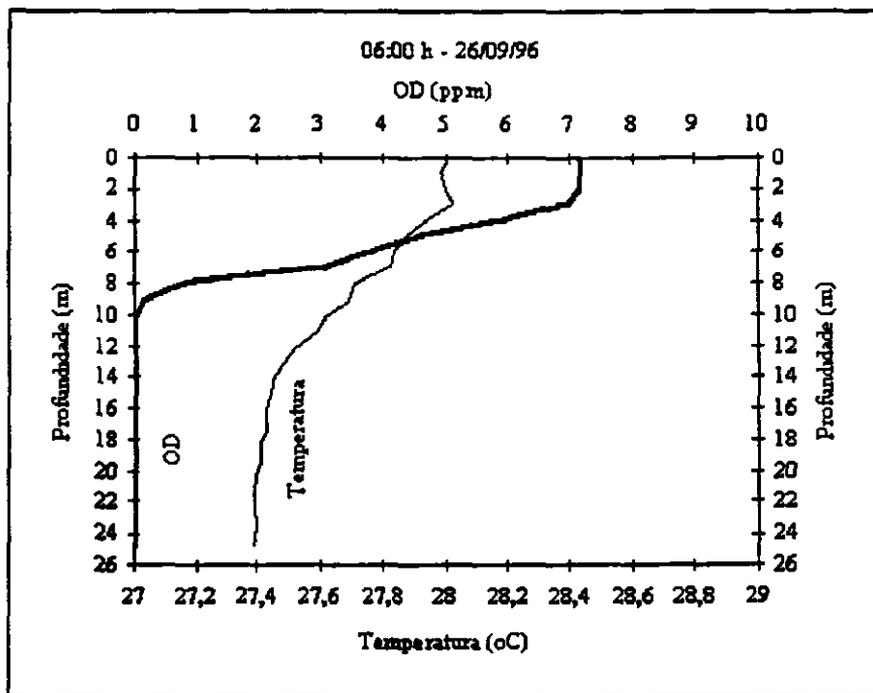


Figura 3 7 - Perfil de variação do teor de oxigênio dissolvido (ppm) com a temperatura

- **Condutividade Elétrica (CE) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)**

A condutividade elétrica da água é a sua capacidade em transmitir a corrente elétrica, determinada pela presença de substâncias dissolvidas dissociadas em ânions e cátions. A variação da condutividade elétrica pode fornecer informações a respeito de processos importantes que possam ocorrer nos ecossistemas aquáticos, como produção primária (redução de valores) e decomposição (aumento dos valores)

De modo geral, a CE apresenta uma relação direta com o TDS. Usualmente a parte fixa dos sólidos dissolvidos é considerado como salinidade. Assim, o excesso de TDS na água pode causar alterações de sabor, problemas de corrosão e de salinização do solo. Para águas de abastecimento, permite-se um valor máximo de 500 mg/l de TDS (resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86), (PORTO, et al, 1991)

No açude Mundaú observou-se que os valores de CE variam de aproximadamente 130 a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que os maiores valores foram observados na região do hipolimnio, como mostra a figura 3.8. Verifica-se, ainda, a existência de uma relação inversa entre este parâmetro e a temperatura. Os valores de TDS encontram-se entre 80 e 100mg/l, portanto dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA (1986)

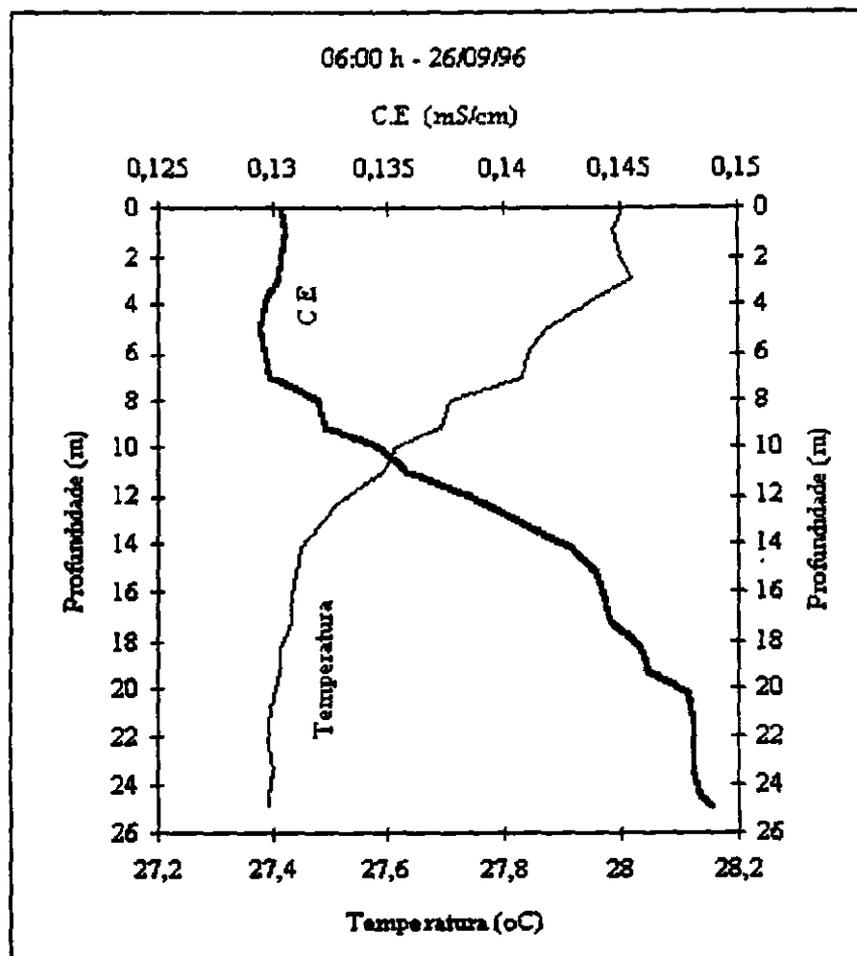


Figura 3.8 - Perfil da variação da Condutividade Elétrica (mS/cm) no açude Mundaú - Ce

• **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH é considerado um dos parâmetros mais difíceis de interpretação. Valores mais baixos de pH são encontrados em corpos d'água com elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos, que são formados, principalmente, através da atividade metabólica de microorganismos aquáticos. Já ecossistemas com elevados valores de pH, são característicos de corpos d'água com balanço hídrico negativo (precipitação é menor que a evaporação), comum em açudes de regiões semi-áridas. Estes açudes podem apresentar pH maior que 9,0 em épocas de prolongada estiagem. Neste caso, os carbonatos e bicarbonatos são os grandes responsáveis por este aumento.

No açude Mundaú, o pH da camada epilimétrica apresentou valores entre 8 e 9,5. Nesta camada, foi observado a floração de algas, que prejudica o processo de tratamento da água para abastecimento. Pode-se concluir que os altos valores de pH observados nesta região são resultantes da fotossíntese da biomassa aquática durante a assimilação do CO₂. Por outro lado, na região da termoclina observa-se uma queda brusca nos valores de pH, chegando a atingir valores próximos de 7,0 (Figura 3.9). Possivelmente isto se deva a processos de decomposição e respiração, resultando na liberação de CO₂ e, conseqüentemente, formação de ácido carbônico e íons hidrogênio, baixando o pH.

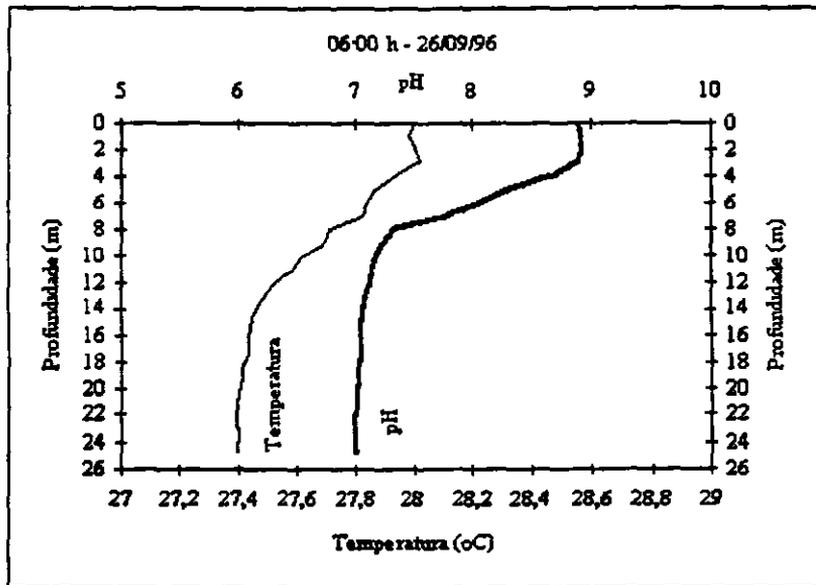


Figura 3 9 - Perfil de variação dos valores de pH com a temperatura

•- **Potencial Redox (Eh)**

A variação da concentração de oxigênio na água tem consequências diretas sobre o potencial de oxidação-redução. Valores de Potencial redox (Eh) mais elevados indicam condições redutoras, enquanto que valores mais baixos, indicam condições oxidantes.

No açude Mundaú-Ce o potencial redox varia de 80 mV, no hipolimnion à 330 mV, no epilimnion, sendo que na posição da termoclina, o mesmo sofre um acréscimo e logo cai bruscamente, como mostra a figura 3 10. Esta situação indica a ação de microrganismos decompositores no fundo do reservatório, favorecendo reações oxidantes.

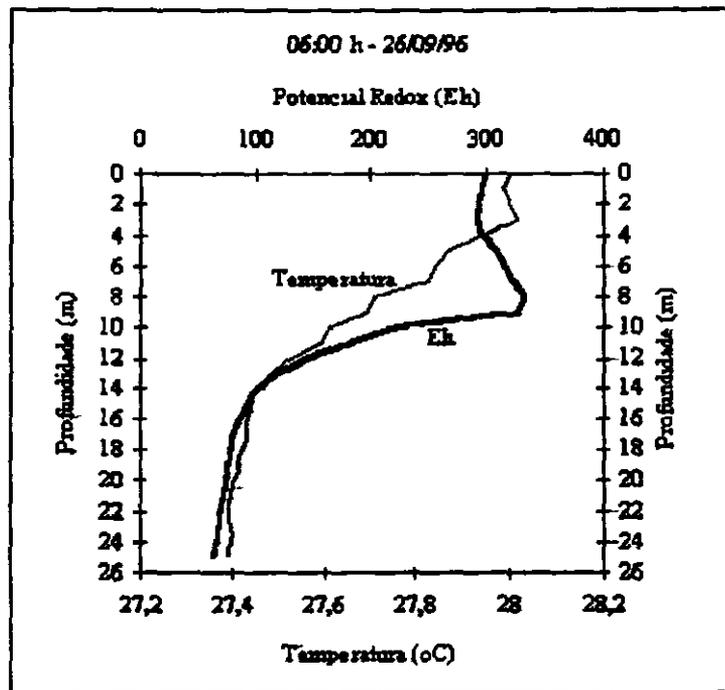


Figura 3 10 - Perfil da variação do Potencial Redox (mV) no açude Mundaú - Ce

• Cátions e Ânions

De acordo com a tabela 3 2, observa-se que os ions predominantes no açude Mundaú, em coleta realizada na estação seca (setembro de 1996), foram os bicarbonatos, os cloretos e em quantidades menores o sódio. Verifica-se, ainda, que não há grandes variações entre os valores destes elementos nos três pontos amostrados nem ao longo da coluna d'água.

Com relação ao uso da água para irrigação, os valores destes ions mantiveram-se dentro dos limites aceitáveis, podendo, a mesma, ser usada nesta atividade sem maiores implicações. A água foi classificada para este fim como C1S1, o que significa que ela representa um baixo risco de salinização e alcalinização para o solo.

Considerando o aspecto da potabilidade da água, em todas as amostras coletadas os teores de cloretos e sódio enquadram-se dentro dos padrões recomendados pela Organização Mundial de Saúde, não afetando, portanto, a sua qualidade organoléptica.

Quanto aos teores de sulfato, uma das principais formas de enxofre presentes na água, observa-se que os valores encontrados não representam nenhuma restrição à sua potabilidade, estando, também, dentro dos padrões de qualidade proposto pelo CONAMA, resolução nº 20/86, para águas de abastecimento.

Quando o sulfato aparece em concentrações elevadas, sob condições aneróbias, pode ser reduzido à gás sulfídrico. O acúmulo deste gás proporciona condições desfavoráveis à vida aquática, podendo levar à morte de peixes.

Tabela 3 2 - Teores dos ions (meq/l) presentes no açude Mundaú-Ce (setembro, 1996)

ponto de coleta	Prof.	Cátions (meq/l)				Anions (meq/l)				
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁻	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	Classe
AM1	1	0,150	0,250	0,700	0,060	0,800	0,080	0,920	1,56	C1S1
	2	0,250	0,250	0,550	0,070	0,600	0,080	0,960	1,10	C1S1
	3	0,150	0,200	0,740	0,100	0,800	0,060	0,980	1,77	C1S1
AM2	1	0,200	0,200	0,720	0,120	0,800	0,060	0,920	1,61	C1S1
	2	0,200	0,300	0,550	0,070	0,800	0,050	0,880	1,10	C1S1
	3	0,200	0,250	0,550	0,070	1,000	0,110	0,800	1,17	C1S1
AM3	1	0,250	0,200	0,700	0,100	1,000	0,060	0,860	1,48	C1S1
	2	0,250	0,250	0,550	0,070	0,800	0,060	0,900	1,10	C1S1
	3	0,300	0,250	0,580	0,060	1,000	0,070	0,880	1,11	C1S1

• Amônia

O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, sendo que as principais são: amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico. A oxidação da amônia pode gerar, em condições aeróbias, o nitrito, que ao oxidar-se produz o nitrato.

Altas concentrações do ion amônio pode influenciar não só a dinâmica do oxigênio dissolvido no meio, uma vez que para oxidar 1,0 mg de NH₄⁺, são necessários 4,3 mg de oxigênio, mas também a comunidade de peixes, pois em pH básico o ion amônio se transforma em amônia, que dependendo

da sua concentração, pode ser tóxica para estes organismos. Concentrações superiores a 0,25 mg/l afetam o crescimento de peixes; valores maiores que 0,5 mg/l podem ser considerados letais. Para atingir estes níveis deve ocorrer simultaneamente, elevados valores de pH (> 9,0), temperatura (>26 °C) e baixos valores de potencial de oxiredução.

No açude Mundaú, observa-se (Figura 3.11) que, na maioria dos pontos de coleta, há um aumento nos teores de amônia ao longo da coluna d'água, variando de aproximadamente 0,21 até 2,24 mg/l. Este comportamento está de acordo com ESTEVES (1988), segundo o qual, durante o período de estratificação térmica, observa-se baixas concentrações no epilímnio e altas no hipolímnio, o que sugere o consumo do íon amônio no epilímnio pelo fitoplâncton e altas taxas de amonificação de nitrato no hipolímnio. Salienta-se, ainda, que os altos valores encontrados na região do hipolímnio estão fora dos padrões de qualidade propostos pelo CONAMA, para águas de classe 2 e 3, que são águas utilizadas para o abastecimento público.

Exceções ocorreram no ponto AM3, onde os menores teores de amônia foram encontrados em profundidades maiores, o que requer maiores investigações para explicar tal fato.

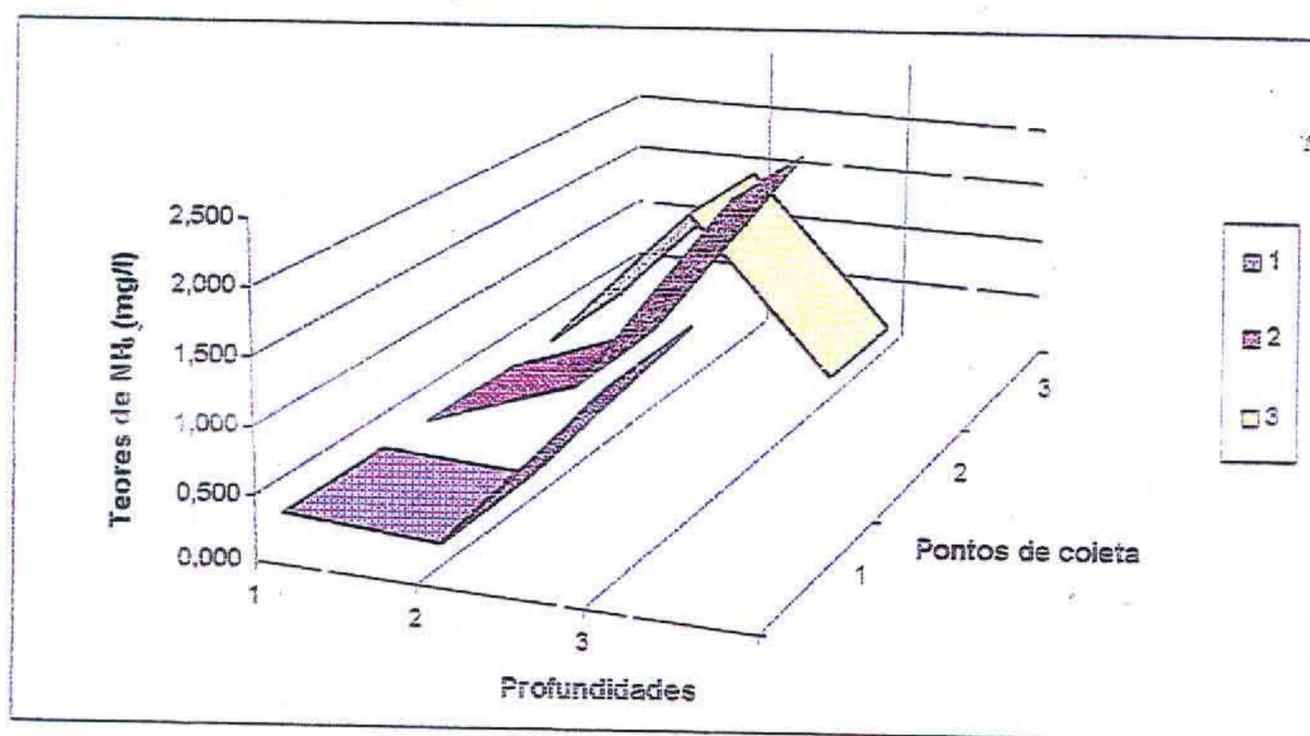


Figura 3.11- Teores de amônia (mg/l) ao longo da coluna d'água do açude Mundaú-Ce (set/96)

e Nitrito

Em ambientes oxigenados, o nitrito é encontrado em baixas concentrações, já em ambientes anaeróbios como o hipolímnio de lagos eutróficos em período de estratificação, pode-se encontrar altas concentrações deste íon. O nitrito representa uma fase intermediária entre a amônia (forma mais reduzida) e nitrato (forma mais oxidada). Em caso de escassez do íon amônio e nitrato, o nitrito é reduzido a amônio. Em altas concentrações, o nitrito é extremamente tóxico à maioria dos organismos aquáticos.

Na maioria das amostras coletadas, não detectou-se valores de nitrito no açude. Nas amostras em que conseguiu-se determinar este parâmetro, os valores encontrados (0,003 mg/l), estavam abaixo do padrão recomendado de 1,0 mg/l.

• Nitrato

Os valores de nitrato encontrados no açude Mundaú (Figura 3.12) variaram de 3,08 a 3,52 mg/l, portanto abaixo do limite de 10 mg/l, recomendado para águas potáveis segundo resolução do CONAMA; uma vez ingerido acima deste valor, o nitrato pode levar a uma doença chamada Metemoglobinemia.

Quanto à distribuição deste parâmetro ao longo da coluna d'água, não se evidencia nenhum padrão definido. Sabe-se que a sua distribuição pode ser fortemente influenciada pela atividade de bactérias nitrificantes e desnitrificantes que atuam simultaneamente na coluna.

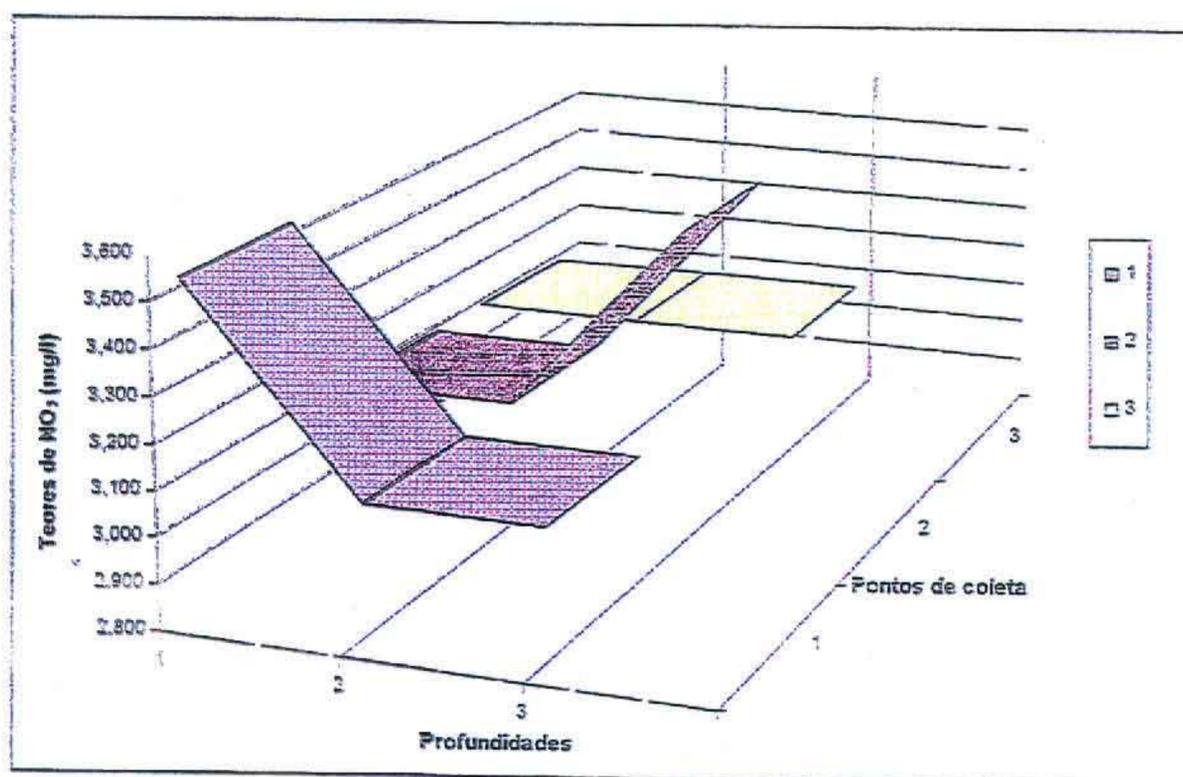


Figura 3.12 - Valores de nitrato (mg/l) ao longo da coluna do açude Mundaú (set/96)

• Fósforo

Este elemento é de grande importância nos sistemas biológicos. Tem participação fundamental em processos do metabolismo dos seres vivos, como: armazenamento de energia e estruturação da membrana celular. Na maioria das águas continentais, o fósforo é o principal fator limitante da produtividade. Além disso tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização destes ecossistemas (ESTEVES, 1988).

Na avaliação da qualidade da água, as formas de maior interesse são o fósforo particulado e dissolvido. O dissolvido pode ser absorvido pelos organismos planctônicos e incorporados a sua biomassa, enquanto que o particulado pode ser adsorvido por partículas de sedimento e precipitar, sendo liberado à coluna d'água quando ocorrerem condições ambientais favoráveis.

No açude Mundaú, os valores de fósforo variaram de 0,01 a 0,16 mg/l (Figura 3.13), sendo que, de modo geral, os maiores valores foram observados nas maiores profundidades. Exceção, faz-se ao ponto AM3, o qual apresentou comportamento diferenciado. Os altos teores de fósforo pode ser um dos fatores responsáveis pela presença de grandes quantidades de algas, observada neste açude.

e Silica

No ambiente aquático a sílica é um composto de fundamental importância, pois é utilizada como nutriente para o desenvolvimento de certos tipos de organismos, como as algas diatomáceas. Estas são indicadores de águas de boa qualidade, pois são facilmente digeríveis pelo zooplâncton e animais, aumentando e equilibrando a diversidade de espécies aquáticas.

Com relação a distribuição vertical deste elemento, pode ocorrer, em períodos de estratificação térmica, um empobrecimento no epilímnio e acúmulo no hipolímnio, comportamento, este, observado no açude Mundaú, como mostra a figura 3.14.

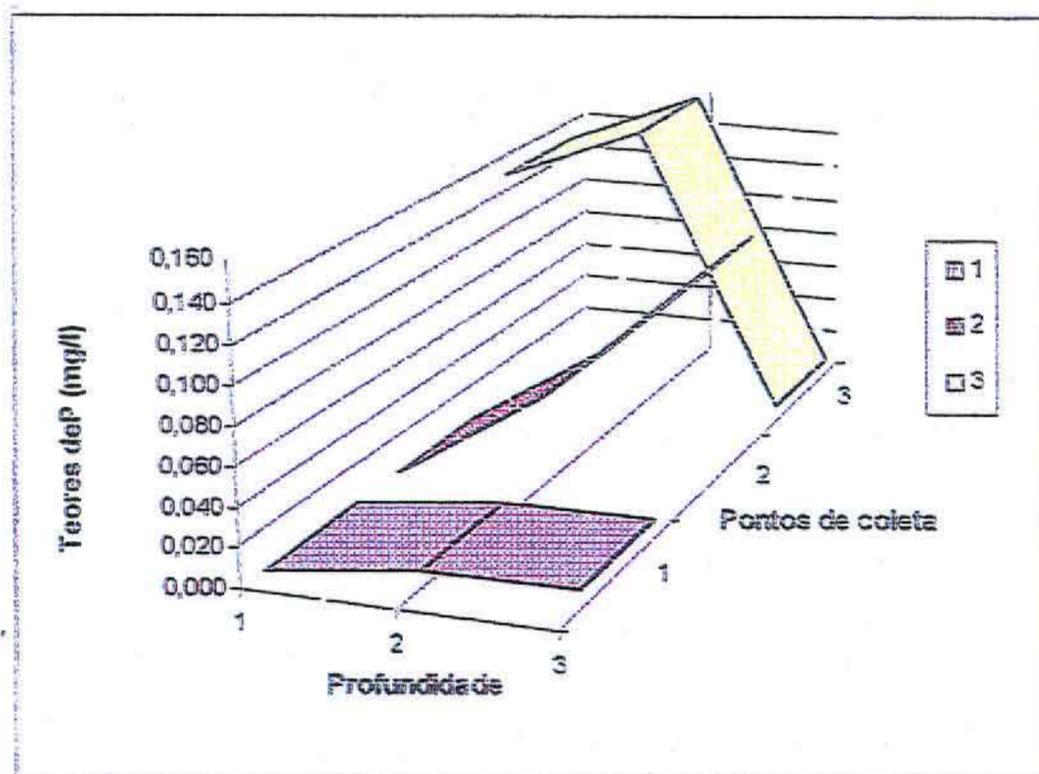


Figura 3.13 - Teores de fósforo (mg/l) ao longo da coluna d'água do açude Mundaú-Ce (set/96)

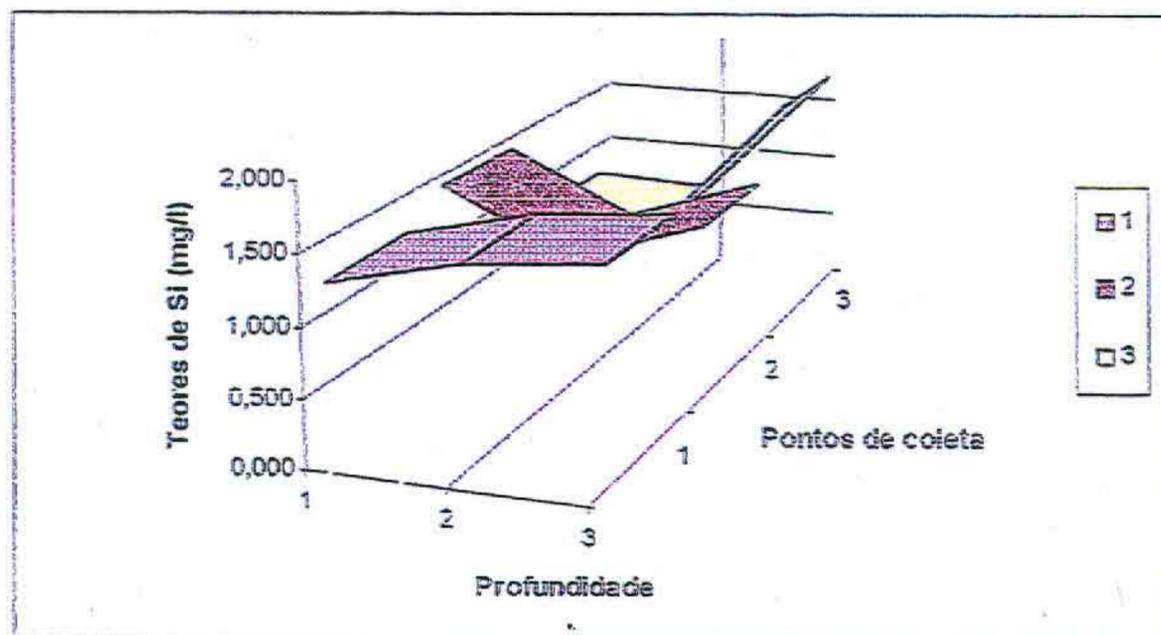


Figura 3.14 - Teores de sílica (mg/l) ao longo da coluna d'água do açude Mundaú-Ce (set/96)

Comunidade Planctônica no Açude Mundaú

Na amostra de superfície, foi identificada apenas uma pequena variedade de organismos planctontes, sendo que a mesma era composta de 77,46% de fitoplâncton e 22,46% de zooplâncton. A figura 3.15 mostra, a relação fito-zooplâncton existente no açude Mundaú.

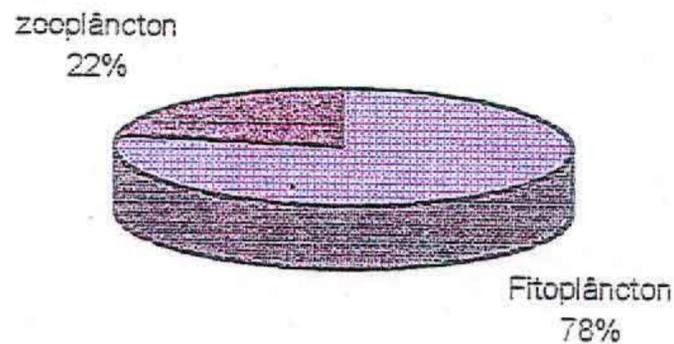


Figura 3.15 - Relação fito-zooplâncton no açude Mundaú em amostra coletada em setembro de 1996

O fitoplâncton foi representado pelas classes Bacillariophyceae, com os gêneros *Asterionella* e *Nitzschia*; Myxophyceae, com os gêneros *Spirulina*, *Anabaena* e *Microcystis* e Chlorophyceae, com gênero *Closteriopsis* (Figuras 3.16 e 3.17).

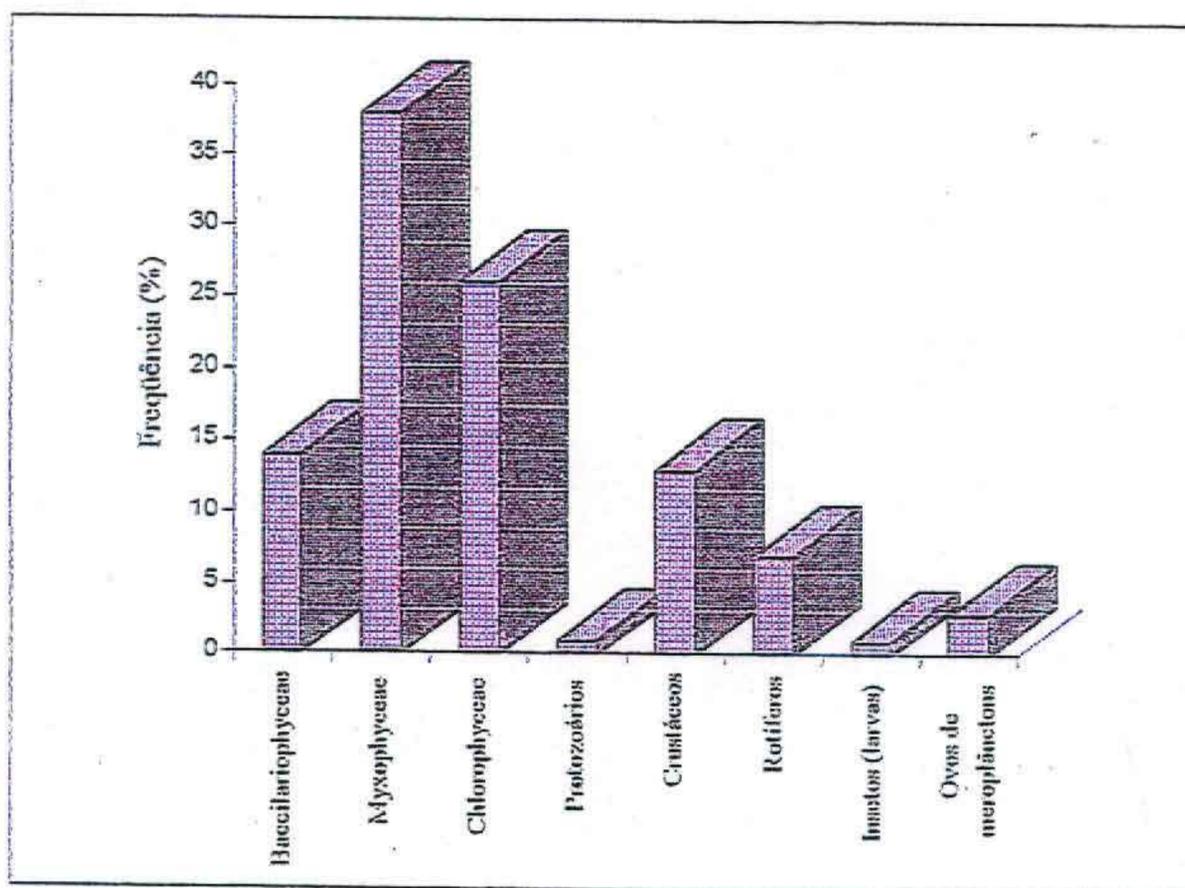


Figura 3.16 - Distribuição dos principais elementos do plâncton do açude Mundaú, em amostra coletada em setembro de 1996

As Bacillariophyceae ou diatomáceas são um dos principais integrantes do grupo de Chrysophytas. São algas unicelulares ou filamentosas, desprovidas de flagelos. Uma das suas

características mais típicas é a presença de parede celular constituída, principalmente, por compostos de sílica. O gênero *Asterionella*, encontrado no açude, adaptam-se à flutuação através da sua união em colônias.

As Myxophyceae são algas que possuem grande capacidade adaptativa, o que explica a sua distribuição em todos os biótipos do ecossistema lacustre (interface água-ar, ao longo da coluna d'água, sedimento, etc.). Alguns gêneros como *Microcystis* e *Anabaena*, quando em condições favoráveis, crescem em altas densidades, fenômeno este conhecido como floração de algas. Durante a floração, estas algas localizam-se, principalmente, nas camadas superficiais (ESTEVES, 1988).

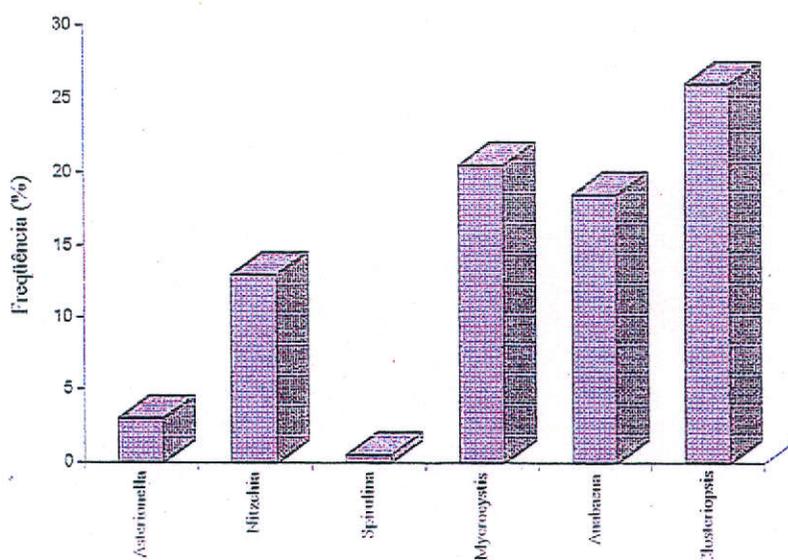


Figura 3.17 - Composição do fitoplâncton do açude Mundaú, em amostra coletada em setembro de 1996

As Chlorophyceae fazem parte do grupo das chlorophytas ou algas verdes. A grande maioria habita lagos eutróficos e são cosmopolitas, sendo que a dispersão pelo vento é o fator decisivo para o caráter cosmopolita deste grupo.

O zooplâncton encontrado no açude Mundaú, foi composto de Protozoários (*Endosphaera engelmanni*), Rotíferos (*Brachionus sp.*, *B. bidentata*, *B. calyciflorus*, *Ploesoma triacanthum*, *Pompholix sulcata*), Cladocera, Ostracoda, Copepoda (adultos e náuplios), larvas de insetos e ovos meroplânctônicos (Figuras 3.16 e 3.18).

Os protozoários são os organismos zooplânctônicos menos estudados. Os ciliados são os maiores e mais frequentes, tendo papel fundamental na transferência de energia nesses ecossistemas, pelo fato de transformarem matéria orgânica de tamanho reduzido em biomassa, possibilitando que a mesma seja ingerida pelos rotíferos, cladóceros e copépodos.

Nos rotíferos, assim como nos protozoários, as dificuldades de coleta e preservação, restringem as pesquisas sobre estes organismos. Sabe-se que muitas espécies são cosmopolitas, fato este devido à sua grande capacidade de dispersão sob a forma de ovos e presos a aves aquáticas e peixes. A sua distribuição ao longo da coluna d'água é heterogênea, sendo que a máxima densidade populacional ocorre no epilímnio, que, em geral, corresponde à região de maior densidade fitoplânctônica. Abaixo desta região verifica-se uma redução acentuada da população de rotíferos.

Os cladóceros e os copépodos são os organismos mais típicos do chamado plâncton de rede. Os cladóceros são filtradores, portanto sua alimentação básica consiste de fitoplâncton e detritos.

Um aspecto muito interessante nos cladóceros é o fenômeno da sua migração e distribuição vertical, que a maioria realiza diariamente. Geralmente observa-se, à noite, um forte aumento da densidade destes organismos na superfície. Por outro lado, durante a madrugada inicia-se o processo de retorno às camadas mais profundas.

Algumas espécies de copépodos são parasitas de peixes, sendo facilmente reconhecidos pelo seu corpo alongado. Sua distribuição ao longo da coluna d'água ocorre de maneira muito heterogênea, o que pode ser explicado pelos mesmos fatores que afetam a distribuição dos cladóceros, isto é, pH, temperatura, Concentração de O₂ e fatores biológicos como predação e competição.

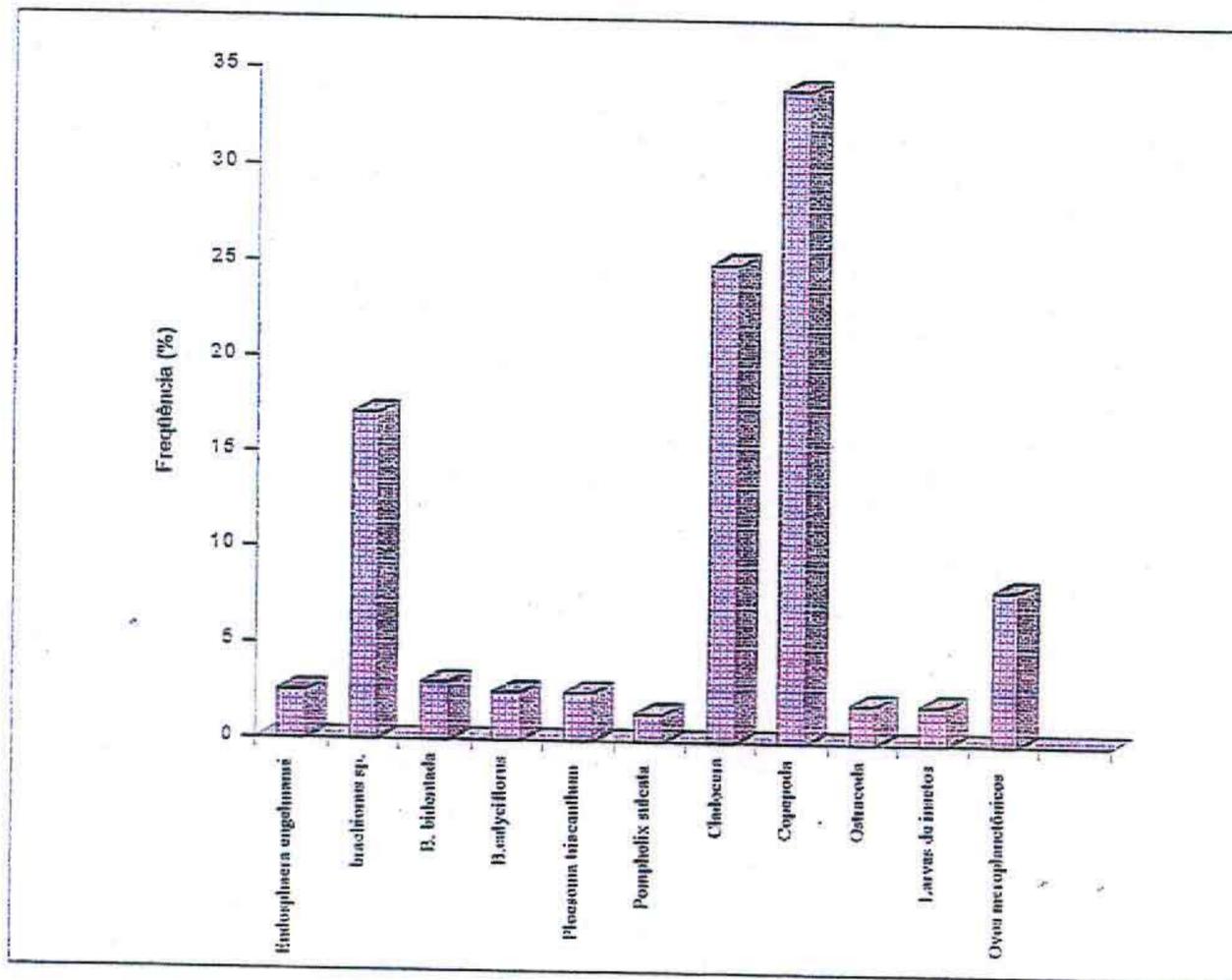


Figura 3.18 - Composição do zooplâncton do açude Mundaú, em amostra coletada em setembro de 1996

Pelas características da população planctônica em que existem indicadores tanto de águas limpas como de águas contaminadas, sugere-se tratar-se de um ambiente classificado como atípico, fato este reforçado pela pobreza de nutrientes encontrados, referido por HOLANDA (1995), o qual justificaria a pequena densidade de indivíduos presentes aliado a uma variedade de espécies também pequena.

3.1.5 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RIO MUNDAÚ

Classificação da água para irrigação

A partir da análise dos dados da tabela 3.3 pode-se verificar que na maioria dos pontos amostrados na bacia as águas permanecem na classe S1, o que corresponde a uma baixa probabilidade de surgimento de problemas de alcalinização do solo. No entanto, nos pontos 12 e 13, correspondentes, respectivamente, às localidades Barrento e Várzeas do Mundaú, as classes evoluem de C1 para C2 durante o ano, passando a apresentar, nestes pontos, um certo risco de salinização.

Este fato é perfeitamente justificável, devido a maior proximidade da foz e, conseqüentemente, maior influência dos efeitos da maré, implicando no aumento da concentração de sais

Considerando a evolução temporal, verifica-se que o comportamento da água permaneceu constante ao longo do ano, ou seja, não observou-se mudanças significativas na sua classificação nos diversos pontos amostrados, mantendo-se em C1S1. Isto significa que a mesma pode ser utilizada para irrigação da maioria das culturas em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de surgimento de problemas de sais e alcalinização do solo

Tabela 3.3 - Classificação da água para irrigação ao longo do rio Mundaú - Ce (out/95 a set/96)

pontos de coleta	27/10/95	12/01/96	15/03/96	16/04/96	24/05/96	26/06/96	24/07/96	28/08/96	24/09/96
RM1	C1S1								
RM2	C1S1								
RM3		C1S1			C1S1	C1S1	C1S1	C1S1	C1S1
RM3A			C1S1						
RM4	C1S1								
RM5	C1S1								
RM6	C1S1								
RM7	C1S1								
RM8	C1S1								
RM9		C1S1							
RM10	C2S1	C1S1			C1S1	C1S1	C1S1	C1S1	C1S1
RM10A			C1S1		C2S1	C2S1	C3S1		
RM11		C1S1	C1S1		C1S1	C1S1	C1S1	C1S1	C1S1
RM12	C2S1	C1S1							
RM12A		C3S1	C2S1	C2S1	C3S1	C2S1	C3S2	C3S1	C3S2
RM13		C1S1	C2S1		C1S1	C1S1	C2S1	C2S1	C2S1

Exceções foram observadas nos pontos 10A e 12A, afluentes do rio Mundaú, onde as classes variaram de C1S1 a C3S2. No ponto 10A constatou-se que a qualidade da água piorou com a evolução da estação seca, chegando a C3S1, o que pode ser explicado pelas altas taxas de evaporação, provocando maior concentração de sais, sem aumento significativo nos teores de sódio que provocassem alteração na sua classe. Por outro lado, o ponto 12A apresenta comportamento completamente diferente dos demais. É o ponto onde foram observados maiores valores de condutividade e baixos valores de pH. Esta situação pode ser resultante de alguma atividade a jusante do ponto de coleta ou das características do próprio solo da região. Constatou-se que, com relação ao perigo de salinização, a classificação variou de C2 para C3 (alto risco) e, em relação ao perigo de sodificação, variou de S1 a S2.

Para melhor visualização dos resultados, plotou-se no mapa da bacia (Figuras 3.19 e 3.20), as classes de água para irrigação, em duas épocas distintas: em maio de 1996, estação chuvosa, e em setembro de 1996, estação seca.

CLASSIFICACAO DA AGUA PARA IRRIGACAO (MAIO/96)
 SEGUNDO LABORATORIO DE SALINIDADE DOS EUA

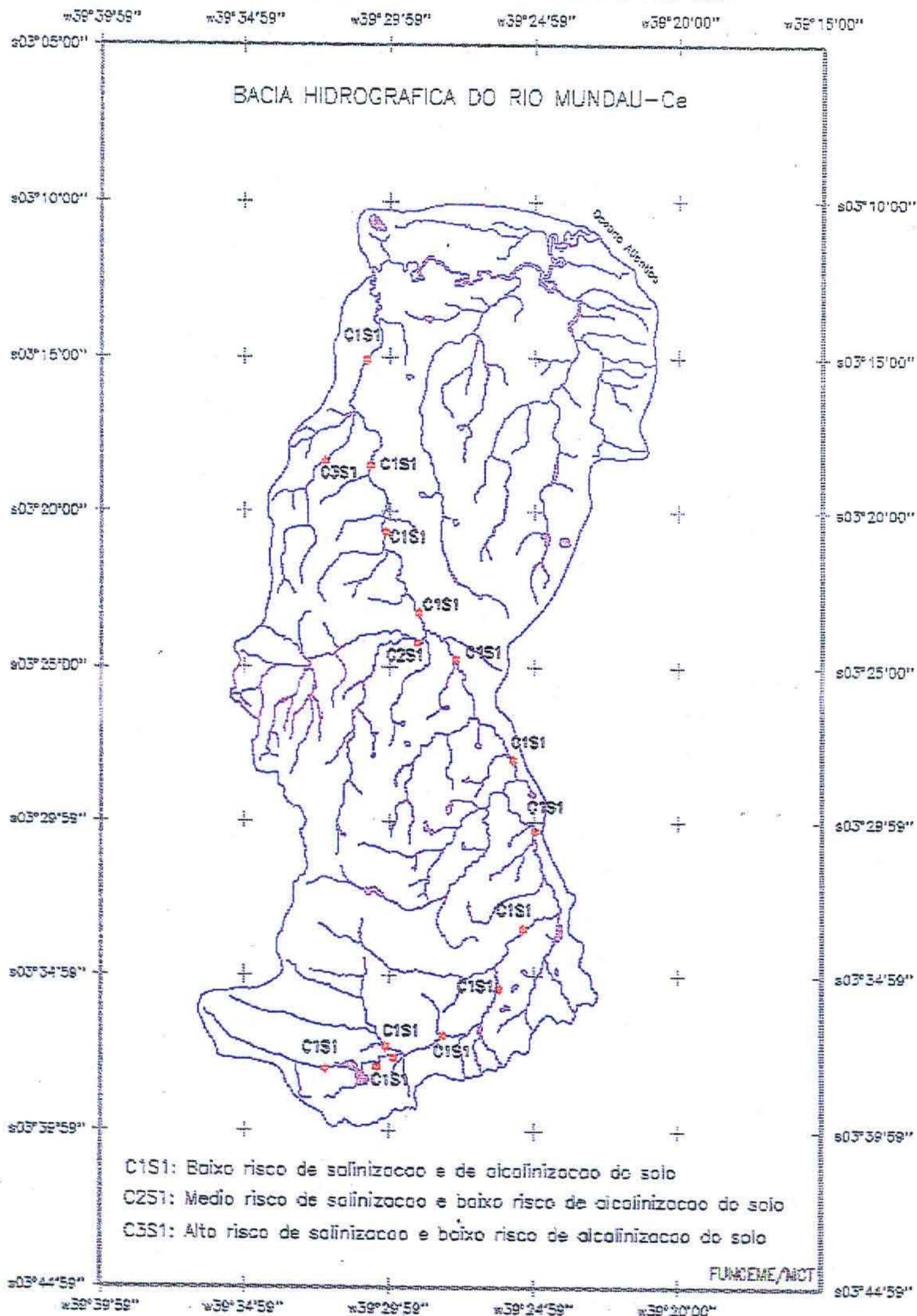


Figura 3.19 - Mapa da classificação da água para irrigação na bacia do rio Mundaú-Ce (maio/96)

CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO (SETEMBRO/96)
 SEGUNDO LABORATORIO DE SALINIDADE DOS EUA

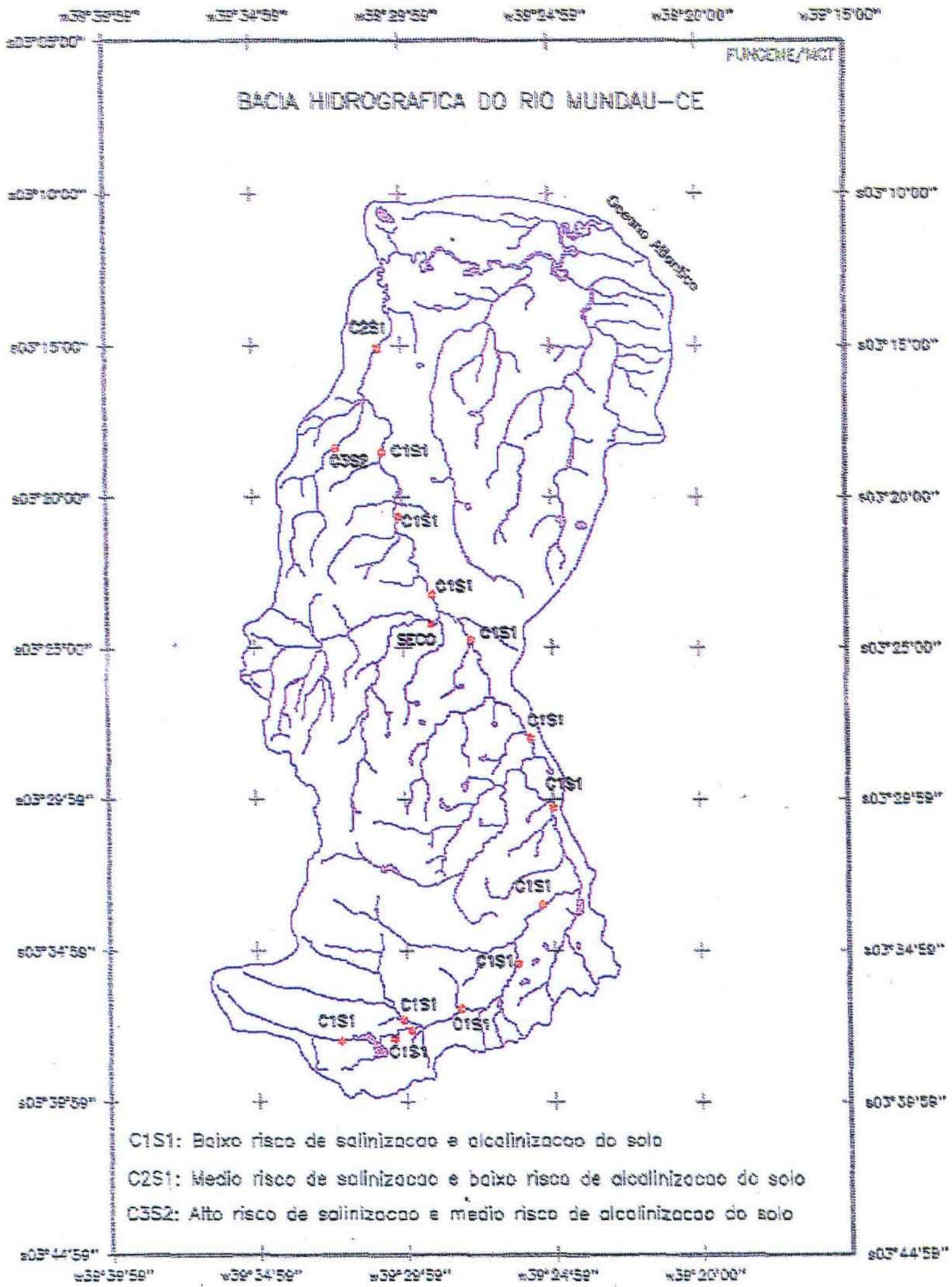


Figura 3.20 - Mapa da classificação da água para irrigação na bacia do rio Mundau-Ce (set/96)

Caracterização geoquímica das águas do rio Mundaú

Na tentativa de se determinar os aspectos geoquímicos das águas do rio Mundaú e acompanhar suas variações durante a estação seca e chuvosa, posicionou-se os resultados das análises das amostras coletadas, nos diagramas triangulares de PIPER. Estas informações serão úteis, numa etapa posterior, para deduzir as possíveis reações químicas que possam ocorrer nas águas da Bacia.

Salienta-se que as análises aqui feitas representam apenas uma primeira aproximação. Para resultados mais conclusivos, seria necessário a consideração de uma série de fatores como a geologia da bacia, química dos solos, entre outros, que não serão levantados nesta abordagem.

Observa-se na figura 3.21 que, na estação chuvosa (maio/96), na maioria dos pontos amostrados ao longo do rio, predominam águas alcalinas, muito cloretadas e pobres em sulfatos. Na estação seca (setembro/96) (Figura 3.22), as águas continuam alcalinas, mas verifica-se um enriquecimento nos teores de bicarbonatos, passando para bicarbonatadas cloretadas. Isto significa que a evaporação pode provocar um fenômeno de concentração das águas, que resulta, provavelmente, em precipitações de gipsita.

Evidencia-se, ainda, pelos diagramas, que as concentrações dos íons decrescem na seguinte ordem: $Cl > HCO_3 > SO_4$ e $Na > Ca$ e Mg .

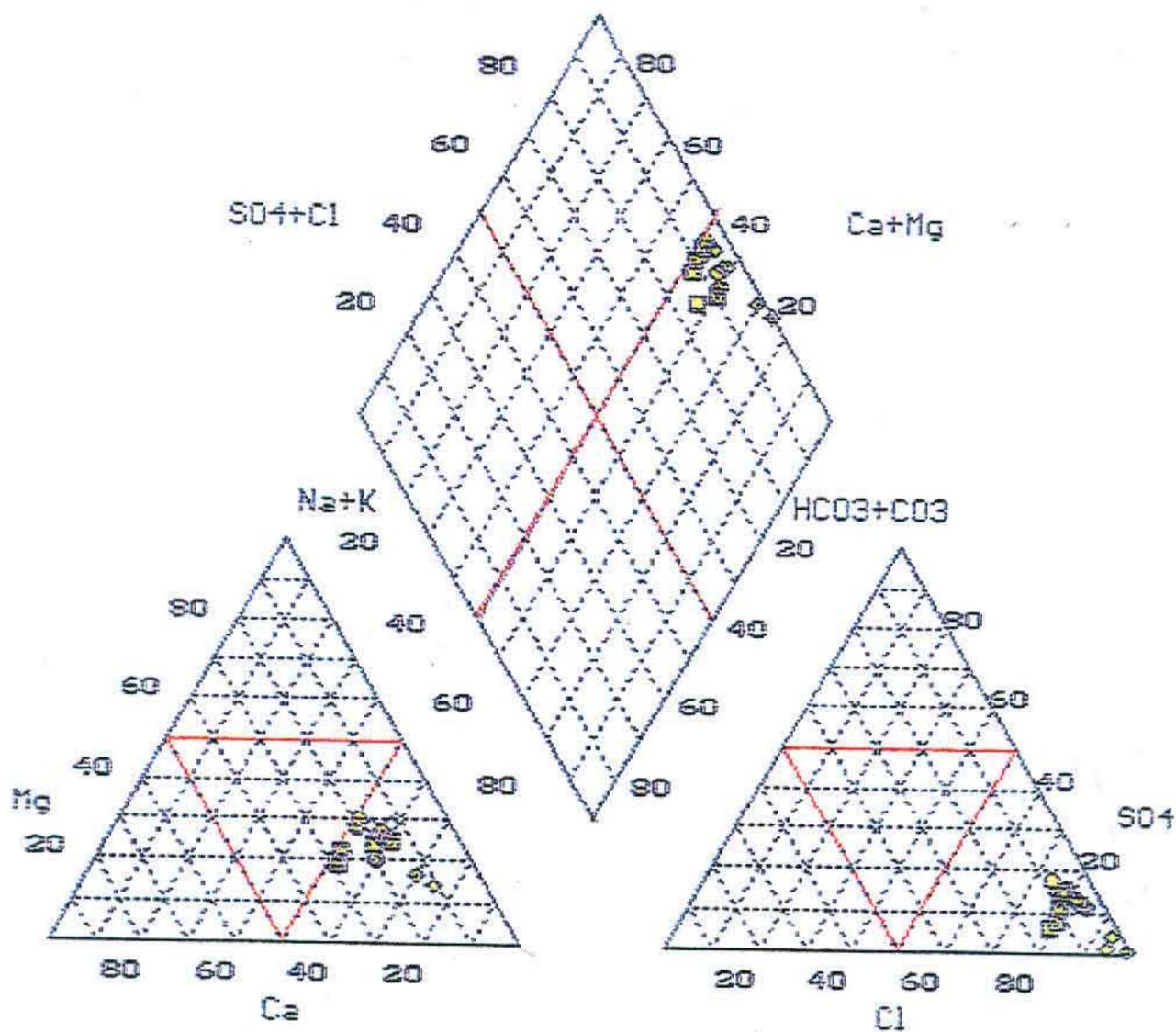


Figura 3.21- Características químicas das águas do rio Mundaú (Diagrama de Piper), maio/96

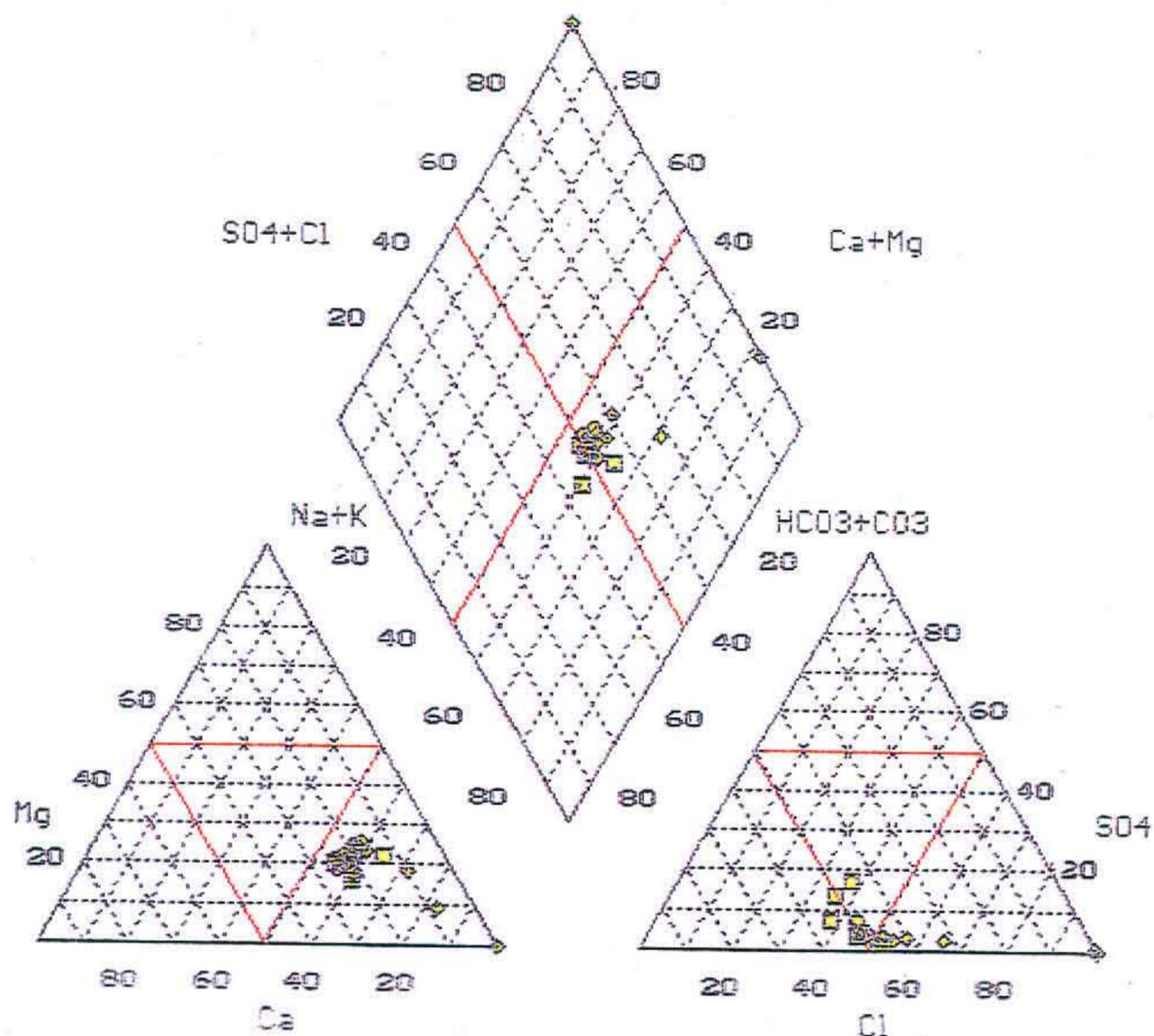


Figura 3. 22 - Características químicas da águas do rio Mundaú (Diagrama de Piper), set/96

Caracterização geoquímica das águas subterrâneas

As primeiras campanhas de campo, cujo objetivo era fornecer uma visualização prévia da distribuição das águas subterrâneas na Bacia, encontraram um grande impecílio, que foi a falta de acesso às águas de circulação, pois a maioria dos poços tubulares cadastrados (59 poços) estavam ora obstruídos e abandonados, ora com equipamento de bombeamento quebrado, como mostra a figura 3.23.

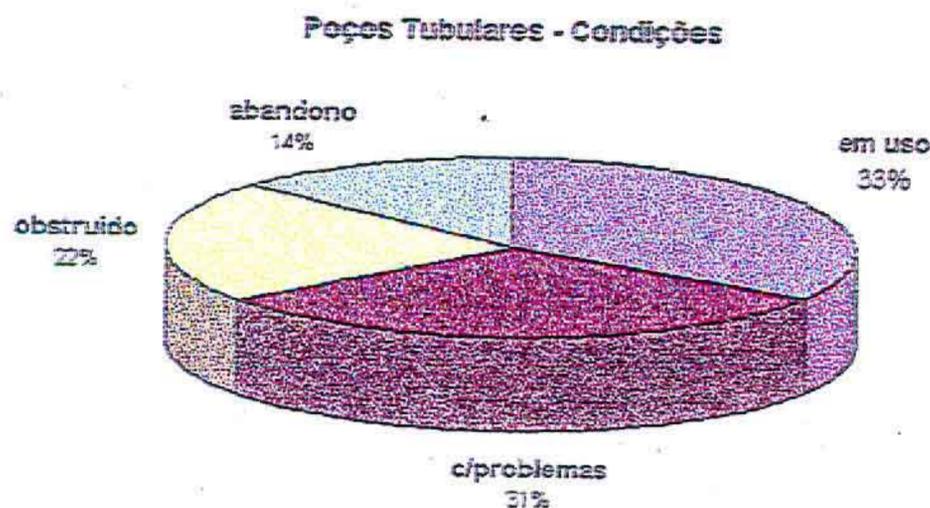


Figura 3.23 - Condições dos poços tubulares na bacia do rio Mundaú-Ce.

Os valores de pH amostrados nos poços tubulares não indicaram nenhuma anomalia, como também não permitiram um zoneamento das águas por esta propriedade. A figura 3.24 mostra a distribuição dos valores (por intervalo) obtidos nas campanhas. Já os valores de pH nos poços escavados manualmente apresentaram um amplo intervalo de variação. Isto é justificado por ter-se amostras de água estancas e sujeitas a "contaminação" do meio, uma vez que estavam normalmente expostas (maioria das cacimbas não apresentavam qualquer tipo de proteção e o acesso de animais nas proximidades do poço era total. Aparentemente não houve interferência do meio aquífero nas anomalias observadas.

As condutividades elétricas (C.E.) medidas "in situ" nos poços tubulares (Figura 3.25) mostraram-se coerentes com o padrão esperado, ou seja, em poços perfurados na região cristalina sem cobertura de material sedimentar os valores superaram os 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, caracterizando-se como águas impróprias para o consumo humano. Já os poços perfurados em áreas do cristalino mas com cobertura de um pacote sedimentar expressivo (sedimentos do Grupo Barreiras) apresentaram valores de C.E. mais brandos, função da contribuição das águas do aquífero sedimentar. A seguir são apresentados os gráficos de distribuição percentual desse parâmetro, tanto em poços tubulares como em cacimbas.

Já nas cacimbas (72 cacimbas e 02 amostras de água de córrego) raros foram os valores acima de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mesmo em terrenos rasos, sob o cristalino, os valores obtidos foram na sua maioria inferiores a 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

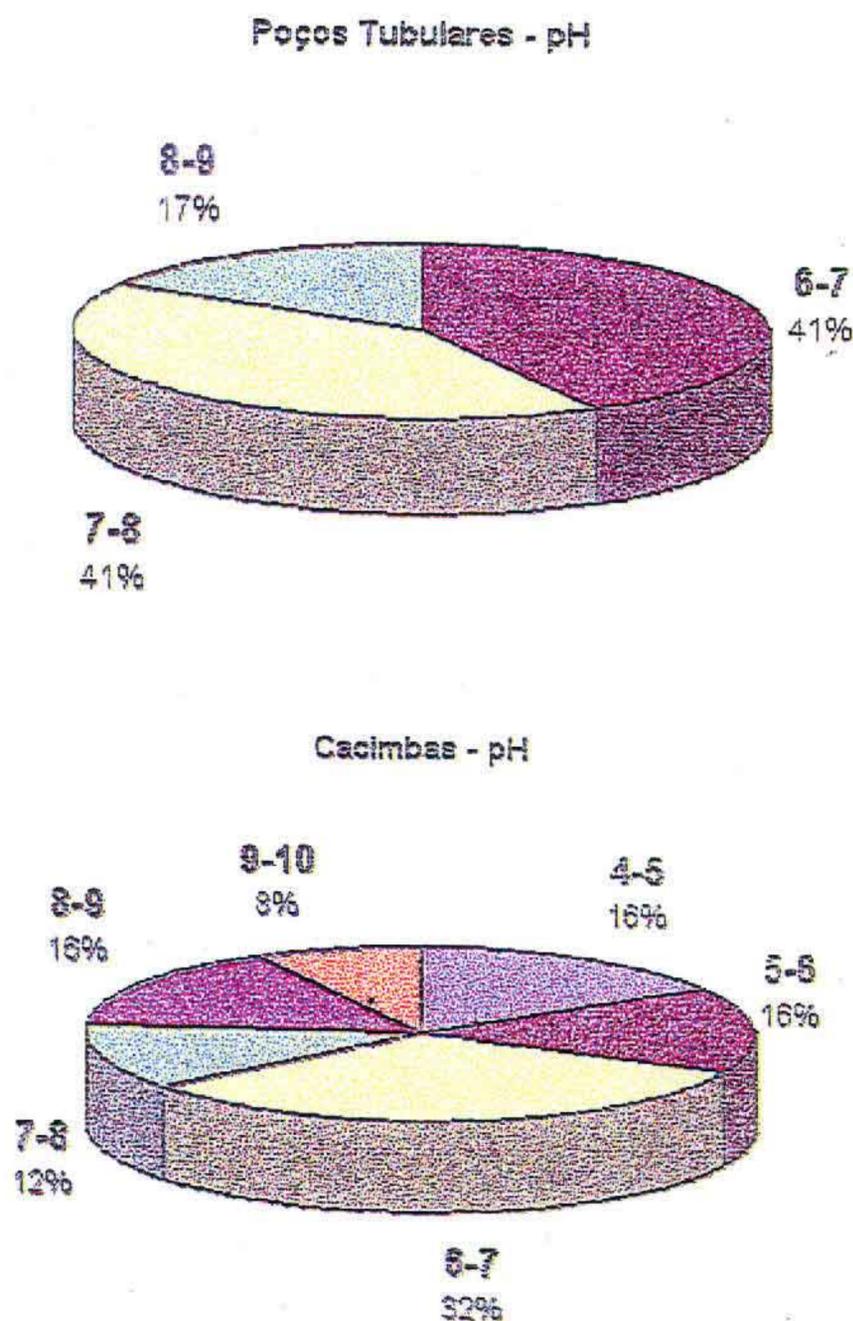
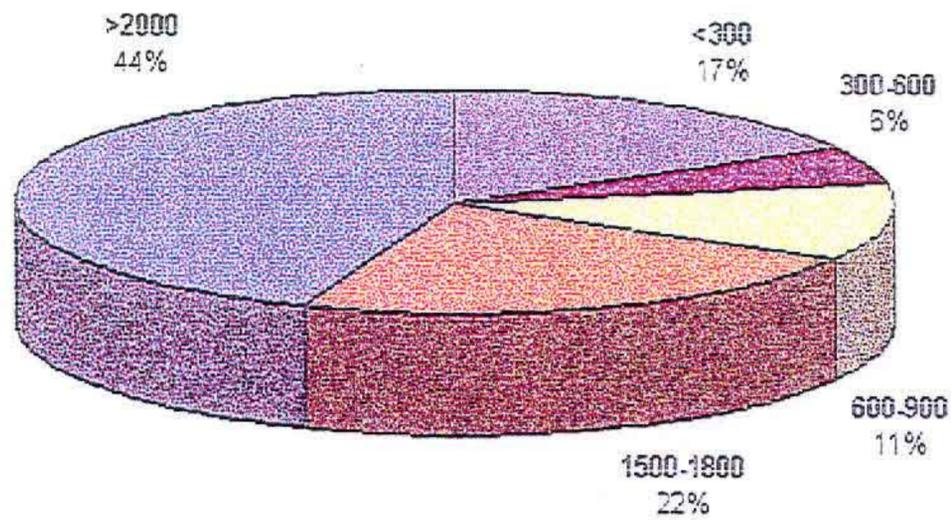


Figura 3.24 - Intervalos de pH obtidos em poços tubulares e cacimbas na bacia do rio Mundau-Ce.

Poços Tubulares - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$)



Cacimbas - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$)

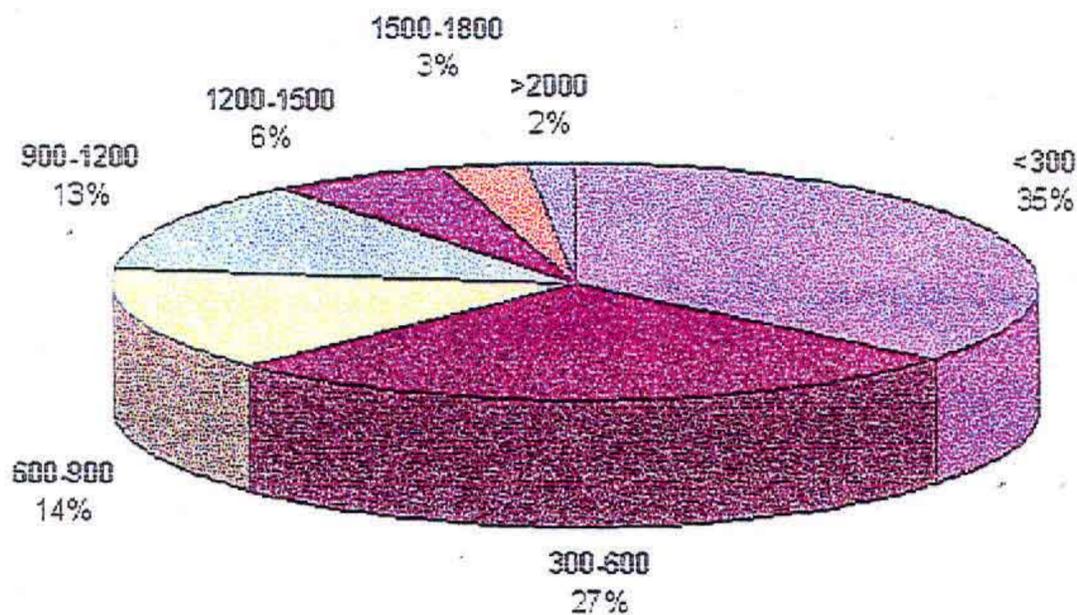


Figura 3.25 - Intervalos de condutividade elétrica observados em poços tubulares e cacimbas na bacia do rio Mundaú-Ce.

Ressalta-se que, aqui, os poços (tubulares e escavados) cadastrados e amostrados estão sendo alvo de estudos para a eleição dos pontos de monitoramento da águas subterrâneas da Bacia em estudo.

Como foram perfurados três conjuntos de poços-piezômetros para pesquisa das características hidrogeológicas da região de ocorrência do pacote sedimentar do Grupo Barreiras (aquífero confinado), foram também amostradas as águas nessas estruturas hidráulicas. Em mãos tem-se atualmente somente os resultados das análises de água do poço e dos piezômetros da Vila dos Prascianos. As amostras da Vila de Tabocal estão ainda em análise laboratorial. No poço da Vila de Vieira dos Carros ainda esta por se realizar os ensaios de bombeamento e, conseqüentemente, as coletas de amostras.

Na vila dos Prascianos o poço foi amostrado a duas profundidades (98 e 123 m) após prolongado bombeamento. O mesmo ocorreu para o poço que explota o freático no local. Para os

piezômetro empregou-se compressor para a coleta de amostra. Lembra-se que o piezômetro multinível monitorava os níveis à 70 m (PZ-23), à 88 m (PZ-22) e à 110 m (PZ-21). A Figura 26 mostra o diagrama de Piper com a distribuição das amostras pelos íons dominantes, para fins de classificação geoquímica das águas subterrâneas.

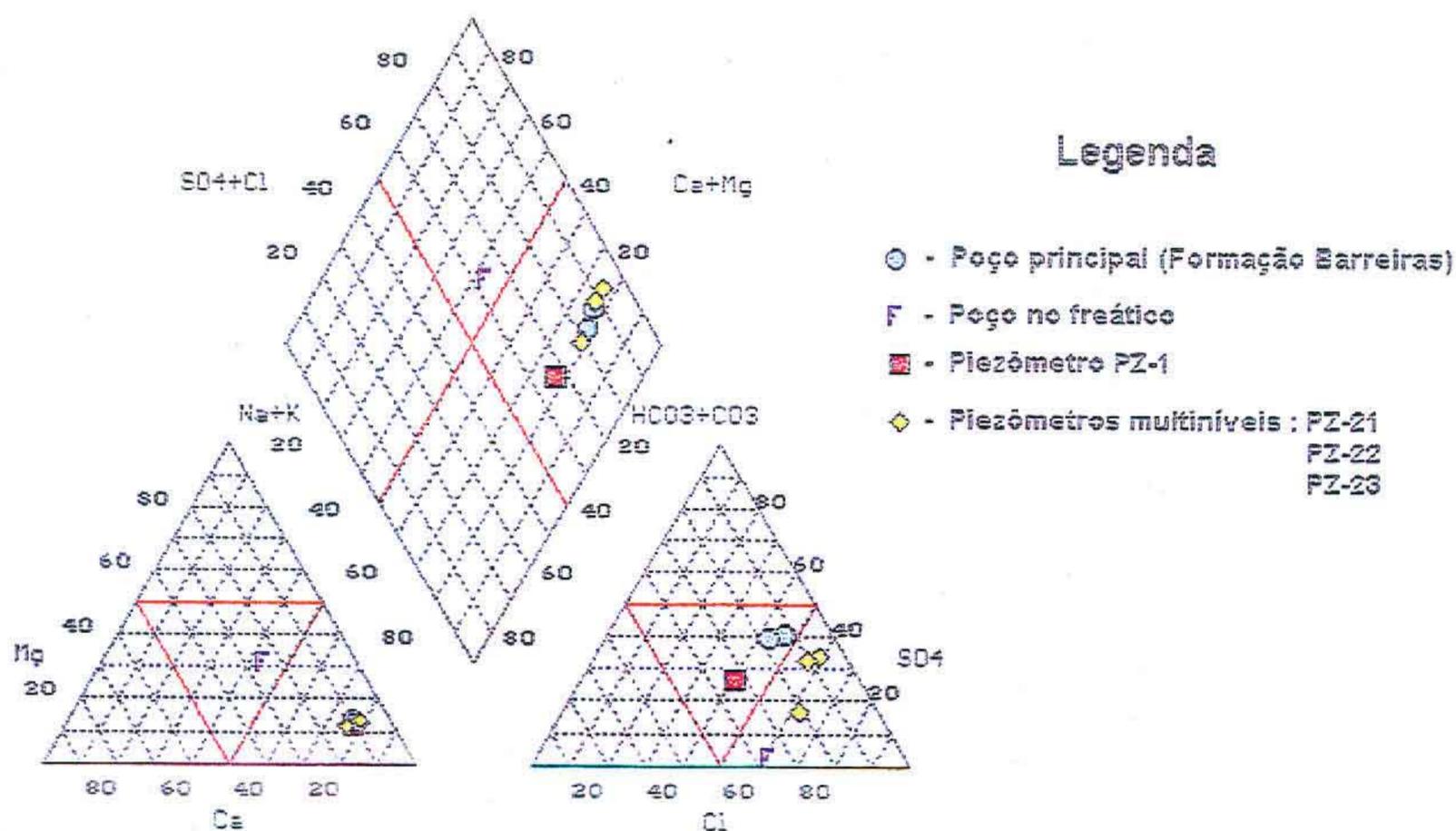


Figura 3.26 - Características geoquímicas das águas subterrâneas da bacia do rio Mundaú-Ce.

Por leitura direta do gráfico acima tem-se:

- Amostras do poço (a 98 e 123 m) e do piezômetro PZ-1: águas mistas sódicas de ambiente cloretado sódico;
- Amostras do piezômetro multinível (PZ-21, 22 e 23): águas cloretadas sódicas de ambiente cloretado sódico e
- Amostra do poço no freático: água cloretada mista de ambiente cloretado cálcico magnésiano.

Pelo apresentado pode-se concluir que os níveis monitorados pelo piezômetro multinível são de águas de semelhante origem, e que também não diferem significativamente da do poço e do piezômetro PZ-1. Deve-se lembrar que tanto o poço principal como o piezômetro PZ-1 possuem zonas de captação nas porções mais profundas do poço, zona esta de contato com a rocha cristalina (sã e alterada), o que confere o caráter misto de suas águas, mas predominando o fluxo do aquífero do Grupo Barreiras. Não foram observados valores anômalos dos elementos analisados.

As águas do lençol freático, que em teste de bombeamento verificou-se não ter conexão hidráulica com o aquífero confinado, mostram-se com mais altos teores de cálcio (proporcionalmente aos outros elementos) que as demais, possivelmente dado a origem dos sedimentos que constituem este aquífero, ou seja, sedimentos de origem praial recente.

Apesar dos testes de bombeamento atestarem o baixo potencial desse aquífero, não recomendando a exploração do mesmo para fins outros que não seja à níveis de pequeno consumo, foi realizado a classificação RAS (razão de absorção de sódio) para fins de uso das águas para

irrigação Os resultados obtidos para as águas do aquífero confinado indicaram sempre o mesmo resultado C3S2 Isto caracteriza em águas de alta salinidade e com médio teores de sódio, e traduz num emprego reduzidíssimo das mesmas para fins agrícola, somente passível de irrigar em solos com boa drenagem e em culturas com alta tolerância a sal (ex gramíneas em geral e algodão)

Os valores obtidos para sólidos dissolvidos encontram-se entre 600 a 1200 mg/l, portanto abaixo da concentração máxima permitida pela Organização Mundial de Saúde A água do freático apresentou valor menor que 100 mg/l Somente uma amostra (PZ-1) mostrou um valor de pH anômalo (9,9), possivelmente condicionado pelo produto usado para desinfecção do poço

Avaliação de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos no rio Mundaú

A partir da análise das amostras coletadas ao longo do período (out/95 a out/96) observa-se que, de modo geral, os íons que mais predominam nas águas da bacia são cloro, bicarbonato e sódio, entretanto nos meses de maio/96 e junho/96 observou-se predominância do magnésio sobre os bicarbonatos, os teores de sulfato e potássio, presentes na água, foram bastante inexpressivos No entanto estes íons, segundo AYRES & WESTCOT (1985) encontram-se dentro dos limites aceitáveis para a irrigação, não oferecendo restrição ao seu uso nesta atividade Para melhor visualização, plotou-se os resultados em três pontos selecionados ao longo do rio entrada do Açude, Fazenda Conceição e Barrento, respectivamente, os pontos mais à montante, meio e jusante da bacia (Figura 3 27)

Uma exceção ocorreu em alguns afluentes do rio Mundaú, como é o caso do Corrego dos Cajueiros, onde foram encontrados altos valores de concentração de íons, restringindo o seu uso na irrigação (Figura 3 28) A tabela 3 4 apresenta a faixa de variação da Condutividade Elétrica, pH, RAS, Cl, Na e HCO₃, no decorrer do período e ao longo do rio

Tabela 3 4 - Valores máximo e mínimo de parâmetros de qualidade da água observados ao longo do rio Mundaú - Ce (out/95 a set/96)

Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,09	0,34
RAS	0,13	3,07
pH	6,4	7,8
Na (meq/l)	0,07	2,13
Cl (meq/l)	0,40	2,40
HCO ₃ (meq/l)	0,06	1,52

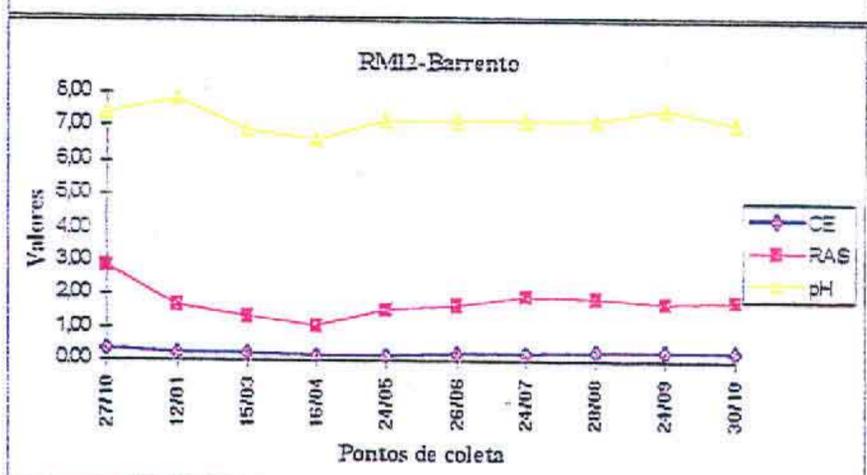
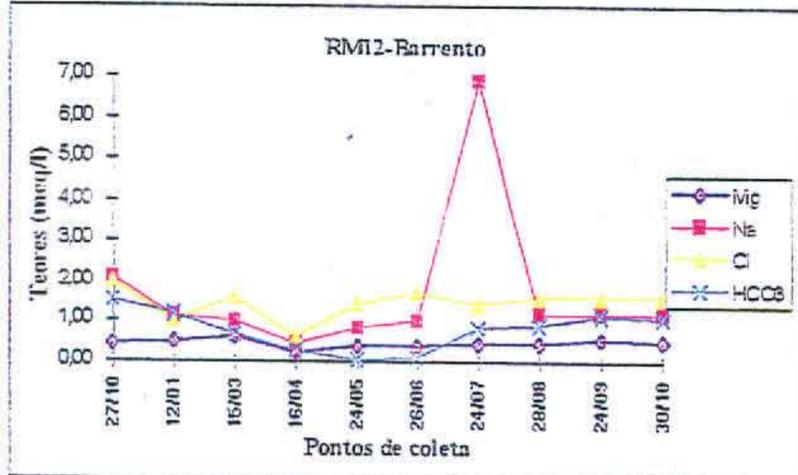
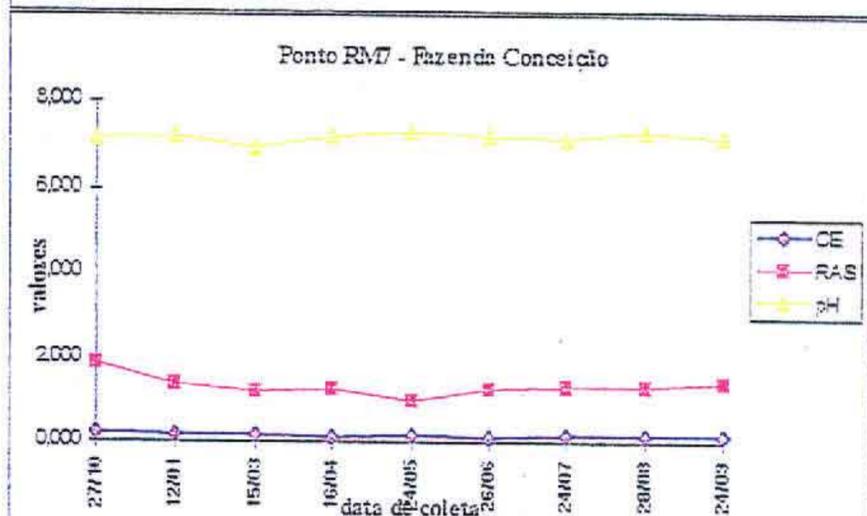
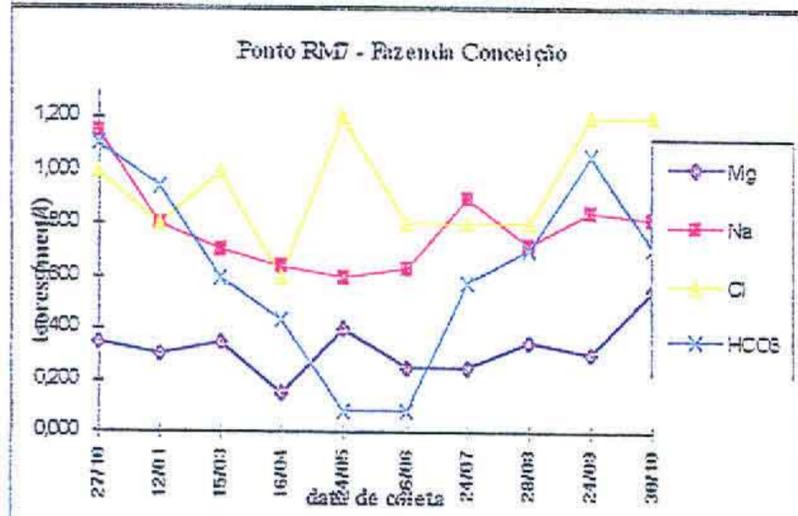
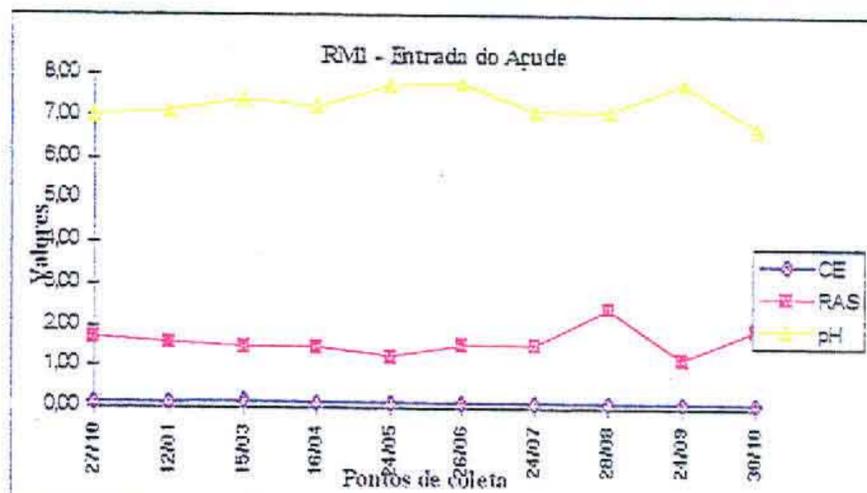
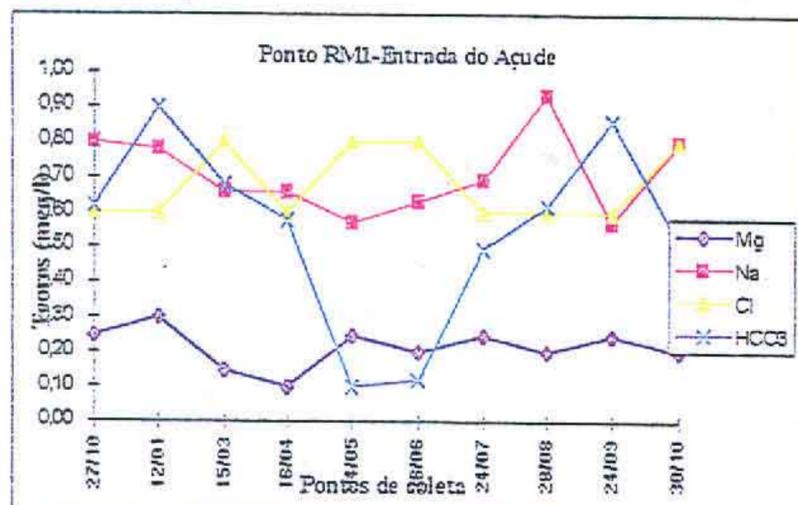


Figura 3.27 - Variação Temporal dos ions predominantes no rio Mundaú-Ce

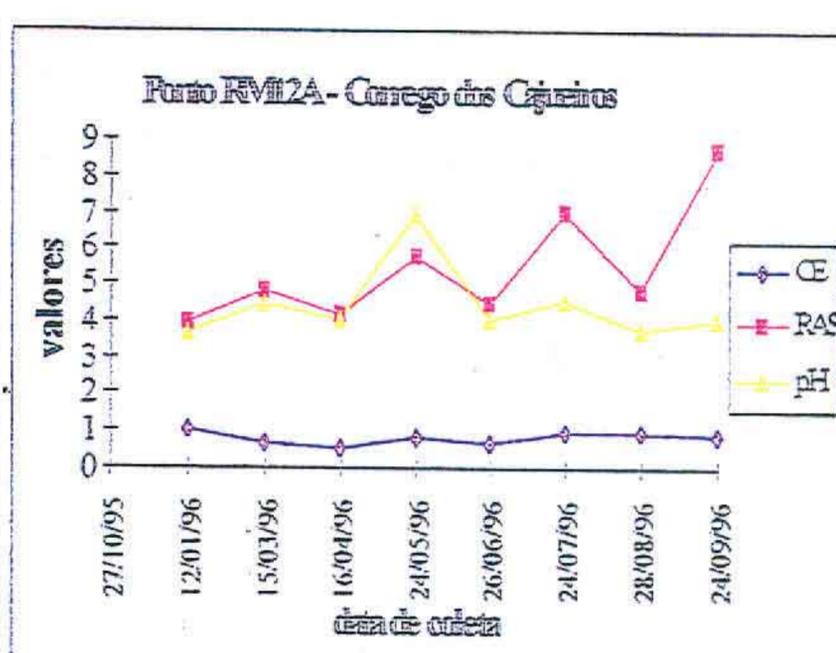
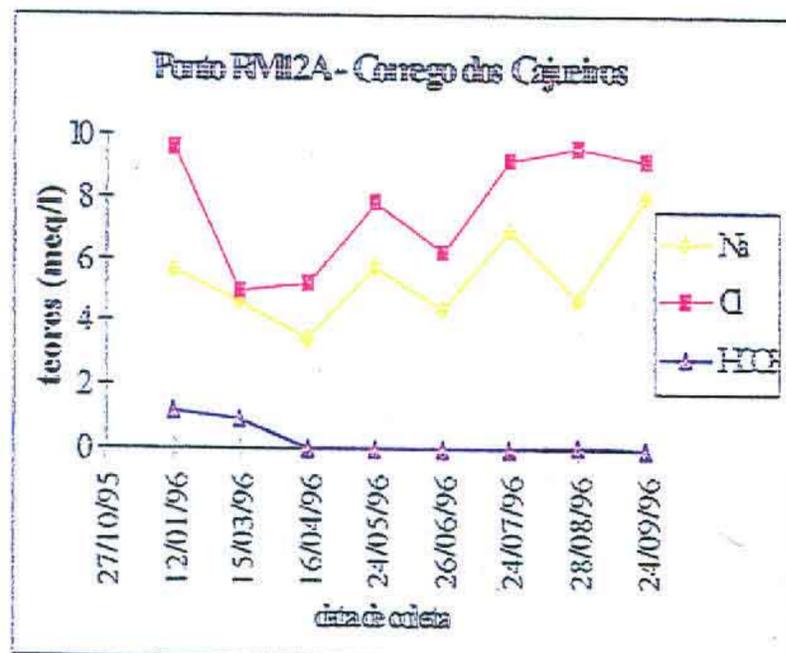


Figura 3.28 - Variação Temporal dos ions predominantes em um afluente do rio Mundaú-Ce.

Verifica-se, também, que no meio da estação seca (out/95), na maioria dos pontos estudados na bacia, geralmente existe uma forte concentração de íons dissolvidos na água acompanhado por um aumento da CE, do RAS e da alcalinidade (HCO_3^-) (Figura 3.29) Este fato pode ser justificado pelo aumento nas taxas de evaporação, acompanhada pela escassez de precipitação na região durante o período observado. Comportamento semelhante foi observado por LARAQUE (1989), ao realizar estudos de salinização em açudes do nordeste.

Por outro lado constata-se que a partir de jan/96 (fim da estação seca), época que coincide com as primeiras precipitações, ocorre redução nos valores dos parâmetros, enfatizando o poder de diluição das chuvas, provocando diminuição da concentração dos íons. Exceções foram observadas com relação ao íon cálcio, o qual apresenta maiores valores neste período, o que pode ser justificado pelo seu carreamento do solo para o rio. Em junho/96, início da nova estação seca, observa-se que os valores dos parâmetros voltam a aumentar.

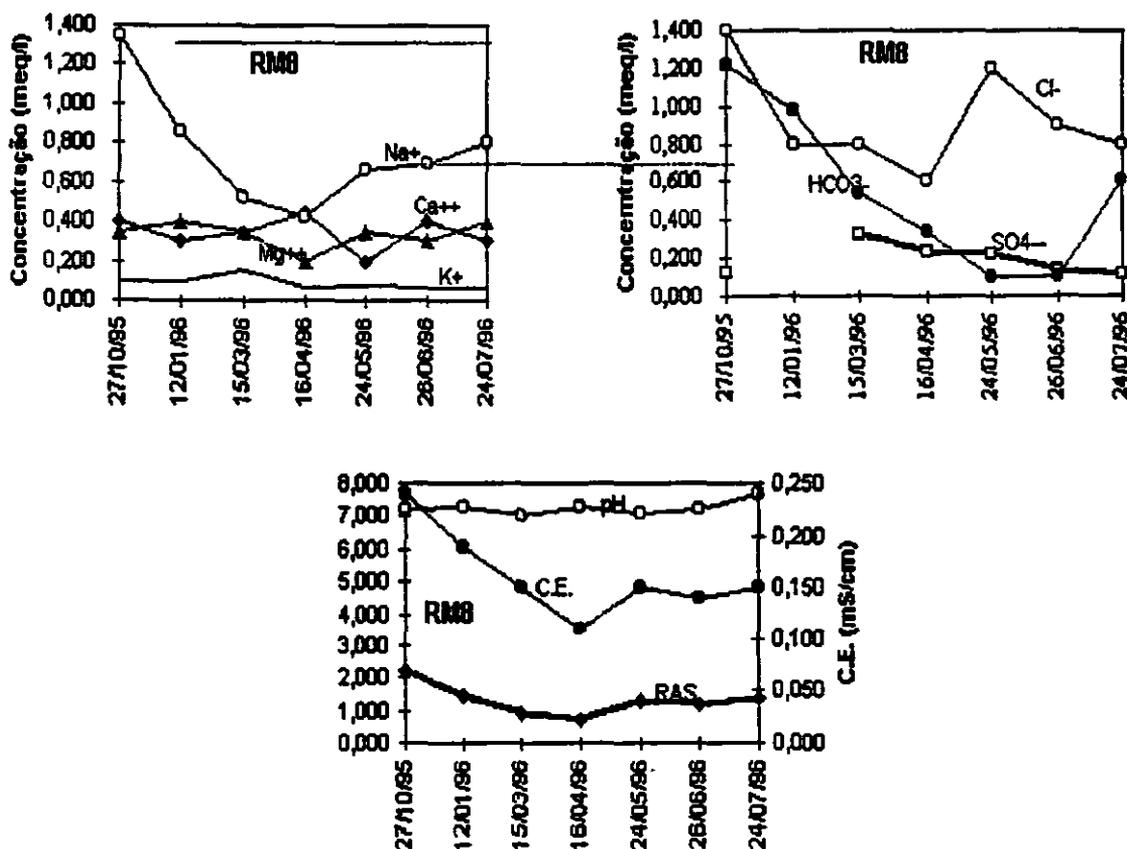


Figura 3.29 - Gráficos da variação da concentração de parâmetros de qualidade da água em um ponto da bacia hidrográfica do rio Mundaú - Ce

Foram feitas correlações estatísticas entre os íons, o RAS e a Condutividade Elétrica. Constatou-se que o Cl, Na, Ca e Mg apresentaram melhores correlações, com coeficientes elevados, variando de 0,985 a 0,925. Isto indica que a condutividade elétrica medida em campo pode fornecer, imediatamente, uma boa estimativa dos íons presentes na água, como mostra a tabela 3.5, onde se vê as principais equações de regressão linear. Não foram obtidas correlações satisfatórias entre o bicarbonato, pH, sulfato e potássio com a condutividade elétrica.

Tabela 3 5 - Equações de regressão entre os íons dominantes no rio Mundaú - Ce e a Condutividade Elétrica (CE)

Parâmetro	Nº de análises	Equação de regressão	Coefficiente de correlação
Na (meq/l)	96	6,563*CE - 0,219	0,985
Cl (meq/l)	96	9,728*CE - 0,546	0,985
Ca (meq/l)	96	1,249*CE + 0,104	0,925
Mg (meq/l)	96	1,736*CE + 0,053	0,926
RAS	96	4,955*CE + 0,641	0,906

Ainda com a finalidade de se avaliar a qualidade da água do rio Mundaú, de modo a enquadrá-la dentro dos padrões do CONAMA (1986), determinou-se a concentração de alguns parâmetros, cujos teores ao longo do rio, em coleta realizada no mês de setembro de 1996, encontram-se na tabela 3 6

Tabela 3 6 - Valores de parâmetros de qualidade da água no rio Mundaú-Ce (set/96)

Ponto	Parâmetros							
	OD (mg/l)	DBO (mgO2/l)	Fósforo (mg/l)	Sílica (mg/l)	Sulfito (mg/l)	NH3 (mg/l)	Colif. (NMP p/100ml)	
							Total	Fecal
RM1	7,37	0,77	0,080	1,594	0,008	0,230	930	930
RM2	6,11	7,21	0,010	1,624	0,003	1,310	930	930
RM3	8,23	3,32		1,346	0,004	0,610	24000	24000
RM5	5,03	2,10		1,337	0,018	0,580	24000	24000
RM8	7,96	1,03		1,243	0,006	0,170	40	40
RM12	8,90	4,17		0,863	0,003	0,180	230	230

• Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido na água é um elemento essencial para a dinâmica do ecossistema aquático. A sua ausência pode ser um indicativo de excesso de matéria orgânica e consequentemente de alta atividade biológica.

Observa-se (Figura 3 30) que os teores de oxigênio no rio Mundaú, encontram-se acima de 5,0 mg/l Estes altos valores podem ser explicados pela baixa profundidade dos locais onde foram coletadas as amostras, o que facilita a sua aeração. Exceção ocorreu na coleta do dia 26/10/95, onde obteve-se, no ponto RM8 (Cemoaba), valores próximos a 4 mg/l. No entanto, estes valores encontram-se dentro dos limites aceitáveis para águas das classes 1 a 3, destinadas ao abastecimento doméstico com restrições ao tipo de tratamento, à irrigação e preservação do ambiente aquático.

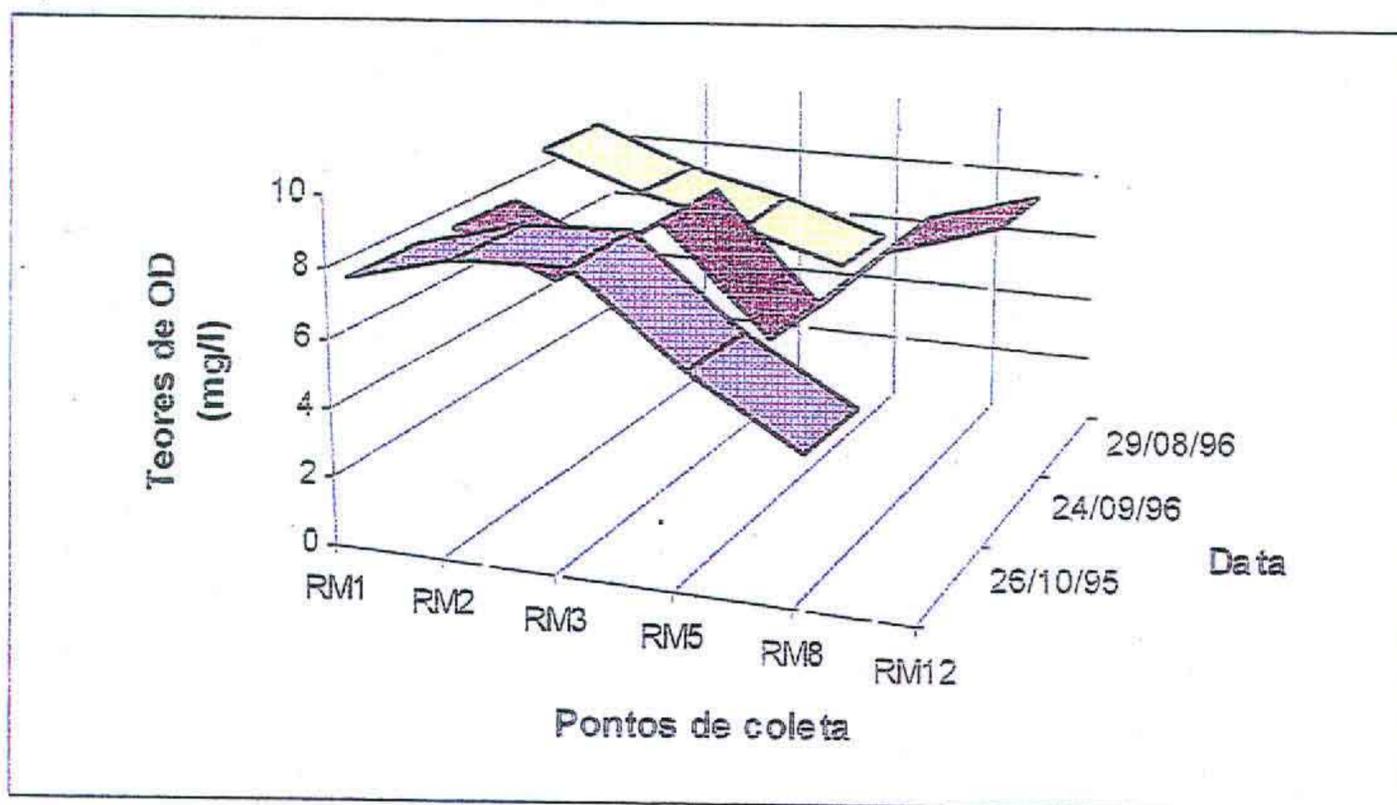


Figura 3.30 - Variação temporal dos teores de oxigênio dissolvido (mg/l) ao longo do rio Mundaú-Ce

• DBO

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO), avalia a quantidade de oxigênio dissolvido, em mg O₂/l, que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. O comportamento da DBO ao longo do rio Mundaú, em duas datas de coleta, é mostrado na figura 3.31. Verifica-se que seus valores são relativamente baixos, variando de 0,5 mg/l no ponto RM8 (coleta do dia 26/10/95) a 7,21 mg/l no ponto RM2 (coleta do dia 24/09/96). Este aumento acentuado pode ser explicado pela presença de grandes quantidades de matéria orgânica no rio e, conseqüentemente, alto consumo de oxigênio neste ponto.

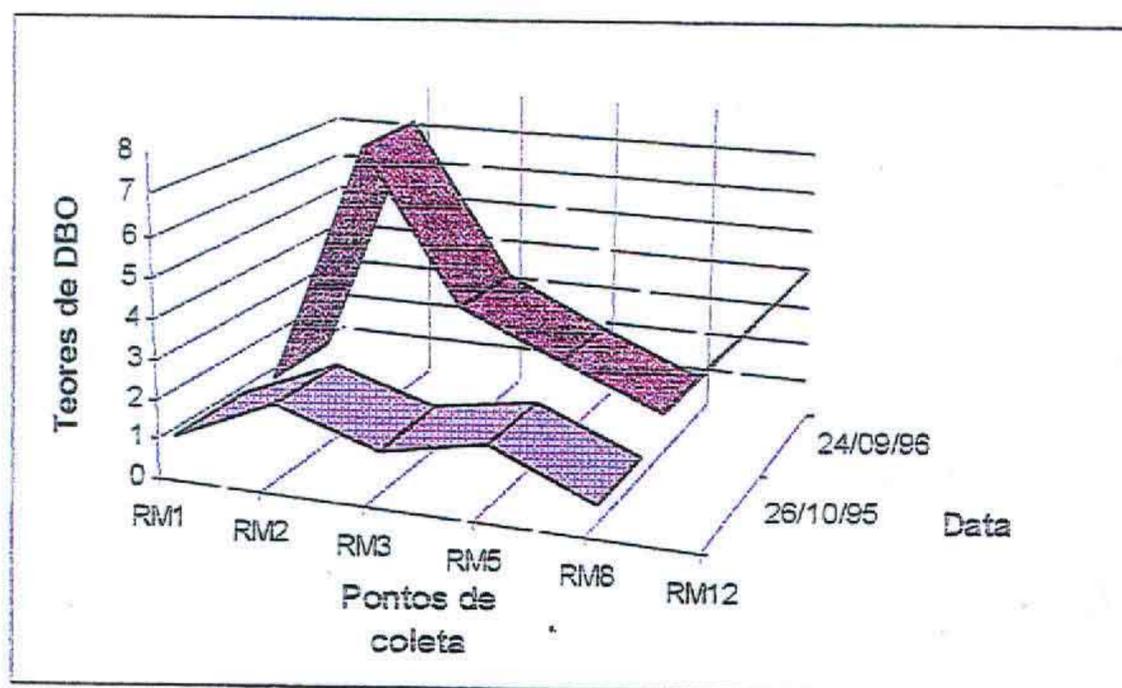


Figura 3.31- Variação temporal dos teores de DBO (mg O₂/l) ao longo do rio Mundaú-Ce

• Amônia

A presença, em corpos d'água, de amônia em níveis superiores aos recomendados, é um indicativo de risco de poluição por bactérias causadoras de doenças. Este elemento pode ser

originário da decomposição de esgotos domésticos por organismos saprófitos, onde convertem a uréia em amônia.

Em todas as coletas realizadas ao longo do rio Mundaú, observa-se que os teores de amônia mostraram-se acima do padrão recomendado de 0,5 mg/l. Verifica-se, ainda, que os maiores valores foram encontrados no ponto RM2 (saída do açude) (Figura 3.32). Salienta-se que na coleta do dia 29/08/96, obteve-se, neste ponto, valores na ordem de 2,3 mg/l. Estes altos teores podem ser explicados pelo uso da uréia como fertilizante, uma vez que este ponto situa-se próximo a uma concentração de propriedades agrícolas.

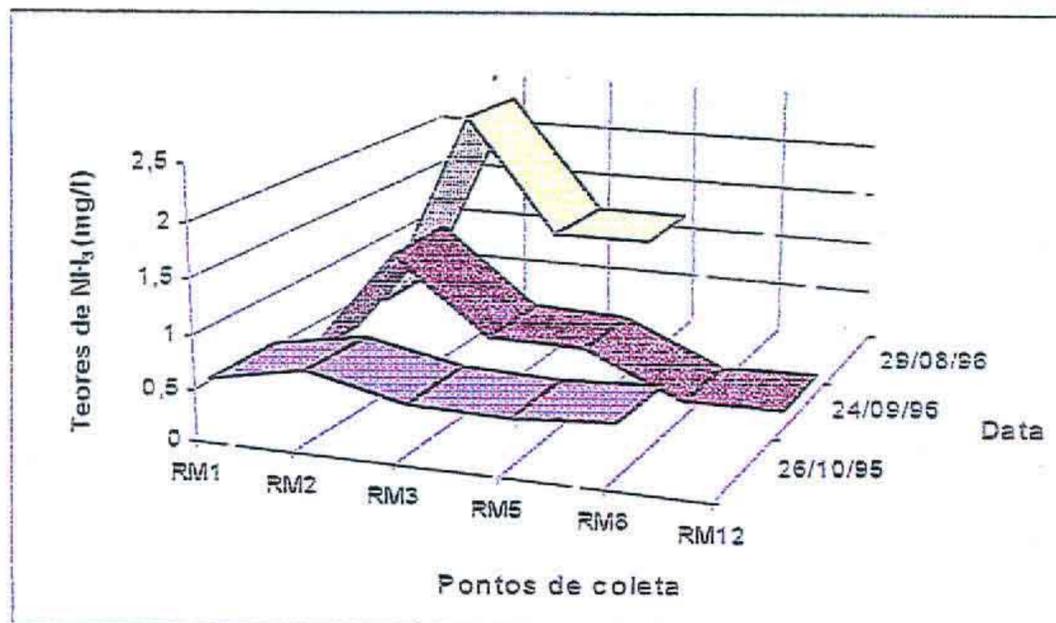


Figura 3.32 - Teores de amônia (mg/l) ao longo do rio Mundaú-Ce

• Silica

A sílica é um elemento fundamental para o desenvolvimento de determinados tipos de organismos, sendo considerada um micronutriente. Concentrações consideráveis deste elemento podem ser encontradas na água, o que deve-se, provavelmente, à sua abundância nos solos tropicais, decorrentes da frequência de aluminossilicatos.

No caso do rio Mundaú, percebe-se, na coleta do dia 26/10/95, que ocorre uma redução nos teores de sílica da nascente para foz (Figura 3.33). O ponto RM2 apresentou elevado teor deste elemento, o que pode ser resultante do seu acúmulo no sedimento de fundo do açude Mundaú, sendo carregado para o rio através da descarga d'água. Na coleta do dia 24/09/96, os valores foram bem menores, não sendo constatado grande variações na sua concentração ao longo do rio.

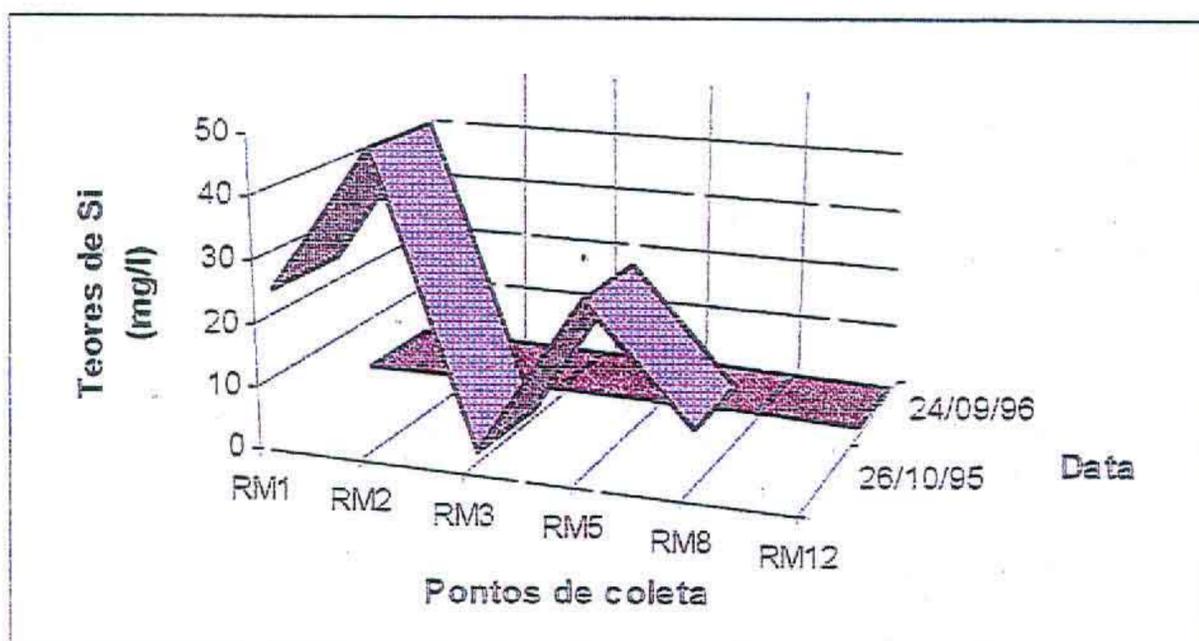


Figura 3.33 - Teores de sílica (mg/l) ao longo do rio Mundaú-Ce

• Número mais provável de bactérias coliformes (NMP)

Segundo BRANCO (1991) in PORTO (1991), este parâmetro visa avaliar o potencial de contaminação da água por patogênicos de origem fecal. As bactérias do grupo coliforme não são, normalmente, patogênicas, mas têm presença obrigatória nos intestinos humanos e, portanto, na matéria fecal.

Quando destinadas à balneabilidade e consumo humano sem prévia desinfecção, estes organismos devem estar ausentes na água. Através da análise bacteriológica realizada em amostras coletadas no rio Mundaú, detectou-se, em todos os pontos ao longo do rio e nas duas datas de coleta, a presença de coliformes, restringindo, assim, o uso da água nestas atividades. Nos pontos coincidentes com as saídas dos municípios de Uruburetama (RM3) e Tururu (RM5), observou-se valores da ordem de 24000 bactérias p/100ml (Figura 3.34).

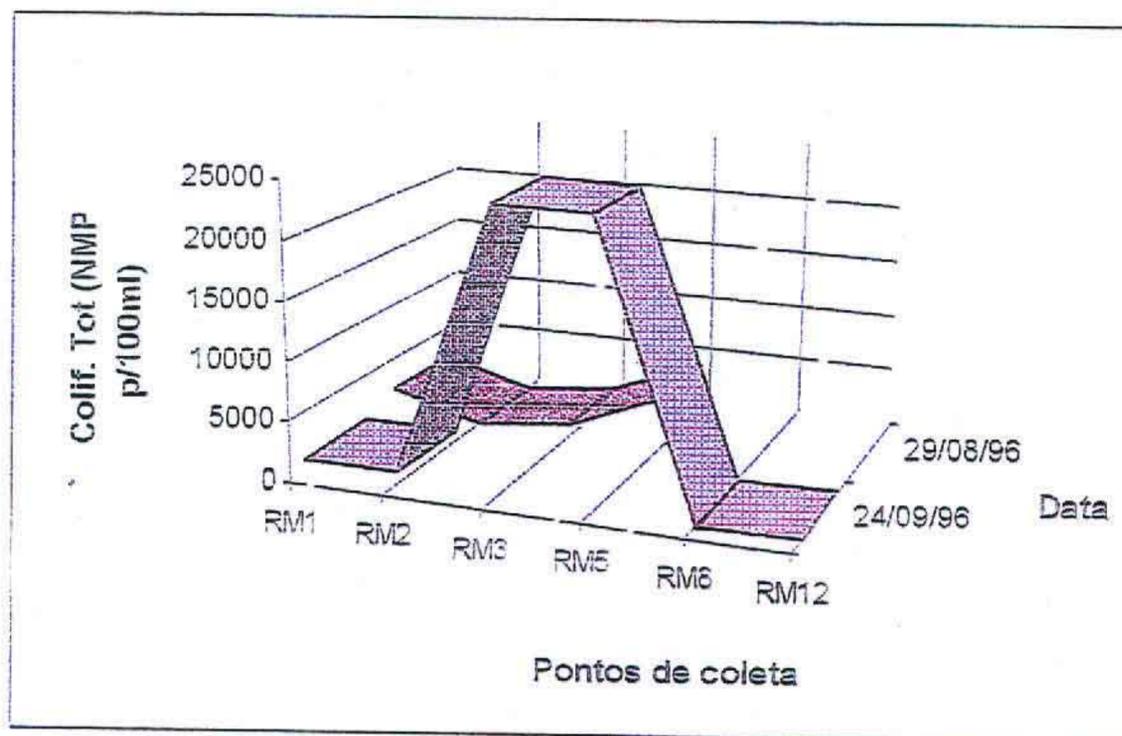


Figura 3.34 - Teores de Coliformes Totais (NMP p/100ml) ao longo do rio Mundaú-Ce

3.1.6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A água da bacia hidrográfica não apresentou restrição ao seu uso na irrigação. Exceção ocorre em alguns afluentes do rio que apresentam comportamento diferenciado, como é o caso do córrego dos Cajueiros: altos valores de condutividade elétrica, baixos valores de pH e ausência de oxigênio dissolvido, durante todo o período estudado. É necessário, no entanto, maiores investigações para detectar as causas de tais alterações;
- Os íons predominantes são o cloro (Cl^-), sódio (Na^+), bicarbonatos (HCO_3^-) e magnésio (Mg^{++}), sendo que, do total dos íons presentes na maioria das amostras, o cloro e o sódio representam maior percentual, significando que são os maiores responsáveis pelo aumento ou diminuição da condutividade elétrica;
- O açude Mundaú apresentou, no mês de setembro, estratificação térmica, condicionando outros parâmetros de qualidade da água: teores de oxigênio dissolvido próximos a zero no hipolímnio, favorecendo o aparecimento de gases tóxicos para a biota aquática;
- Altos valores de pH e OD no epilímnio indicando grande atividade da biomassa aquática, comprovada pela floração de algas, podendo indicar excesso de nutrientes na água. É fundamental

a análise de fósforo e nitrogênio nas três camadas da coluna d'água e no sedimento de fundo, bem como nas afluições e efluências do açude,

- Existe a necessidade de avaliar variações sazonais dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água no açude, sendo necessário medidas durante o início, meio e fim das estações chuvosa e seca
- Recomenda-se a realização de um estudo limnológico no açude Mundaú, para conhecer os processos e transformações que nele ocorrem, de forma a se avaliar a qualidade da água deste açude e propor medidas de preservação ou melhoria da mesma

3.1.7 - ATIVIDADES EXECUTADAS

- Campanhas de coleta de amostras de água ao longo do rio e medidas de parâmetros físicos "in loco",
- Cadastramento de poços tubulares e escavados (cacimbas) existentes na bacia do rio Mundaú, com plotagem dos mesmos em mapa, e levantamento "in situ" de algumas características físico-químicas dos mesmos,
- Análise físico-químicas laboratoriais em poços e piezômetros de pesquisa
- Campanhas de medidas de parâmetros físico-químicos no açude Mundaú, avaliação diária da variação de parâmetros ao longo da coluna d'água;
- Armazenamento dos dados, coletados em campo e analisados em laboratório, em planilha EXCEL,
- Elaboração de gráficos e estatísticas,
- Elaboração de mapas,
- Elaboração dos artigos científicos "Avaliação de parâmetros de qualidade de água no açude Mundaú - Ce" e "Avaliação da qualidade da água para irrigação na bacia hidrográfica do rio Mundaú - Ce"
- Preparação dos processos de licitação para compra de materiais de consumo e para contratação de serviços de terceiros, de modo a dar continuidade aos trabalhos relativos à qualidade das águas na bacia (termo aditivo ao projeto);
- Relatório parcial - janeiro de 1997

3.1.8 - ATIVIDADES PREVISTAS

- Estudo da variação diária de parâmetros físico-químicos ao longo da coluna d'água do açude Mundaú. Será feita uma campanha no mês de maio e outra no mês de setembro,
- Através do termo aditivo ao projeto, pretende-se dar prosseguimento aos trabalhos necessários à análise da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na bacia. Para isto, estão previstas

campanhas de coleta de água, medidas "in loco" de parâmetros físicos e análises físico-químicas em 344 amostras. Deverão ser feitas, também, análises bacteriológicas (184 amostras) e de pesticidas (144 amostras) em pontos selecionados ao longo do rio e dentro do açude Mundaú. As coletas no açude deverão ser realizadas trimestralmente. De modo a atender as exigências do trabalho, fez-se um levantamento, junto aos laboratórios do estado, sobre os parâmetros cujas metodologias de determinação poderiam ser incluídas nas rotinas dos mesmos,

- Campanhas de monitoramento em pontos pré-selecionados, em períodos de regime climáticos distintos, para subsidiar estudos sobre a evolução geoquímica das águas subterrâneas, principalmente na área do aquífero contínuo, constituído pelos sedimentos do Grupo Barreiras
- Implantação dos dados em um banco e associação dos mesmos num SIG,
- Modelagem matemática,
- Relatório final

3.1.9 - BIBLIOGRAFIA

- 1 AYRES, R. S. & WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. FAO 1985, 1987 Versão em Português - Departamento De Eng. Agrícola, UFPB 218 p;
2. CONAMA, 1986. Resolução CONAMA, número 20 de 18/06/86
3. ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia** - Rio de Janeiro; FINEP, 1988, 575 p;
- 4 HOLANDA, M. V. S. Pesquisas limnológicas, comparativas em sete açudes do Estado do Ceará, Brasil IBAMA/PAPEC. Documento nº 16, dezembro de 1995
5. LARAQUE, Alan. Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro Recife, SUDENE/DPG/PRN/Grupo de trabalho de Hidrometeorologia, 1989 95 p ;
6. PATRICK, R. Biological measure of stream conditions *Sewage and Industrial Wastes*, 22. 926-938. E.U A., 1950
- 7 PORTO, Mônica F. A. Porto; BRANCO, Samuel M. e DE LUCA, Sérgio J. . **Hidrologia Ambiental**. cap. 2. Edit. da USP ABRH 1991 (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v 3) p. 27-66,
8. SALASSIER, B. **Manual de Irrigação**. 3ª ed. Viçosa, UFV, Impr. Univ 1984, 463 p.

3.2 ESTUDOS DE SOLOS

3.2.1 - INTRODUÇÃO

Com relação aos estudos de solos, os serviços de campo encontram-se quase concluídos. No momento processa-se as análises de laboratório dos perfis coletados, as quais são necessárias para a definição da classificação dos solos.

A classificação dos solos feita atualmente está apresentada na seção seguinte.

3.2.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Os solos encontrados até agora na Bacia do Mundaú podem ser classificados da seguinte maneira:

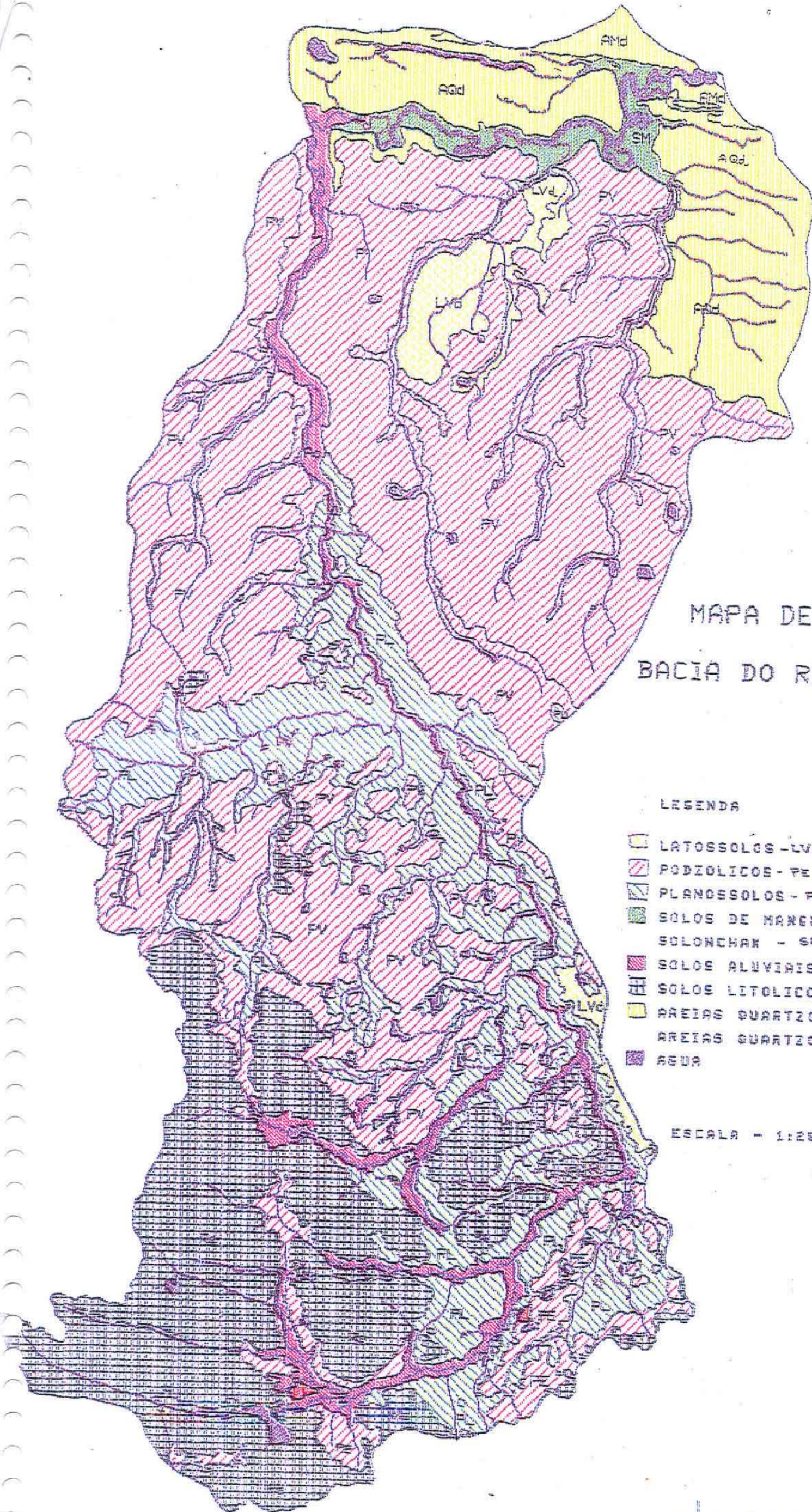
- LV_d** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO
a moderado, fase transição floresta/caatinga, relevo plano
- PV₁** PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO
a moderado, textura média/argilosa, fase transição floresta/caatinga, relevo suave ondulado
- PV₂** PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO
plíntico a moderado, textura média/argilosa, fase transição floresta/caatinga, relevo suave ondulado.
- PE₁** PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO
abrupto a fraco, textura média/argilosa, fase hipoxerófila, relevo suave ondulado
- PT** PLINTOSSOLO
a fraco, textura média/argilosa, fase transição floresta/caatinga, relevo suave ondulado.
- PE₂** PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO
a moderado, textura média/argilosa, fase floresta subcaducifólia, relevo suave ondulado
- PE₃** PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO
a moderado, textura média/argilosa, fase floresta subcaducifólia, relevo montanhoso, associado a SOLO LITÓLICO EUTRÓFICO a moderado, textura argilosa, relevo montanhoso, substrato granito gnaisse.
- PL₁** PLANOSSOLO SOLÓDICO
a fraco, textura arenosa/argilosa, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano a suave ondulado.
- PL₂** PLANOSSOLO SOLÓDICO
a fraco, textura arenosa/argilosa, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano a suave ondulado mais SOLO LITÓLICO EUTRÓFICO a fraco, textura média cascalhenta, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave a ondulado, substrato granito gnaisse
- SM** SOLOS INDISCRIMINADOS DE MANGUE

- Ae SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS**
a moderado, textura indiscriminada, fase floresta higiófila de várzea, relevo plano
- Re₁ SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS**
a moderado, textura média, fase rochosa, caatinga hipoxelófila, relevo suave ondulado e ondulado, substrato granito-gnaisse
- Re₂ SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS**
a fraco, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato granito-gnaisse
- Re₃ SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS**
a moderado, textura média, fase caatinga hipoxerófila, relevo forte ondulado, substrato granito-gnaisse, associado a **PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO** a moderado, textura média/argilosa, fase floresta subcaducifólia, relevo forte ondulado
- Aqd AREIAS QUARTZOSAS DISTRÓFICAS**
a fraco, transição floresta/caatinga, relevo plano
- Amd AREIAS QUARTZOSAS MARINHAS (DUNAS)**

Parte 4

GEOPROCESSAMENTO

000113

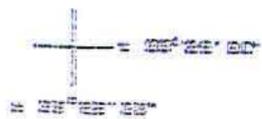


MAPA DE SOLOS
BACIA DO RIO MUNDAU

LEGENDA

-  LATOSSOLOS - Lva
-  PODZOLICOS - Fe, Py
-  PLANOSSOLOS - Pl
-  SOLOS DE MANEIO e
SOLOCHAK - Sm
-  SOLOS ALUVIAIS - Al
-  SOLOS LITOLICOS - Lc
-  AREIAS QUARTZOSAS DISTROFICAS +
AREIAS QUARTZOSAS MARINHAS - Ad, Am
-  AGUA - A

ESCALA - 1:200.000



000114

4.1 GEOPROCESSAMENTO NO PROJETO MUNDAU

4.1.1 - INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos ambientais requer a manipulação de uma grande massa de dados cujas interações ainda não estão totalmente decifradas em suas complexidades, sendo necessário nas avaliações, o desenvolvimento de modelos empíricos que devem ser calibrados posteriormente. No entanto a evolução dos métodos computacionais no desenvolvimento de sistemas de informações geográficas e o processamento digital de imagens de satélites permitem a extração, tratamento e manipulação de dados que traduzem a realidade ambiental com bastante confiabilidade, em termos de suas potencialidades e limitações.

Tendo como característica básica a capacidade de armazenar, integrar e manipular em uma mesma base de dados informações mapeáveis, dados tabulares, imagens de satélite e modelos numéricos de terreno os SIGs vem sendo usados grandemente na sistematização de informações apoiando tarefas de avaliações, monitoramento e gerenciamento, fornecendo informações fundamentais para a formulação de políticas e tomada de decisões.

Todo o trabalho até agora efetivado e a ser feito neste estudo, contará com o suporte metodológico do geoprocessamento. Por definição, o geoprocessamento é “um conjunto de procedimentos computacionais que operando sobre uma base de dados geocodificada, executa análises, reformulações e síntese sobre os dados ambientais tornando-os utilizáveis em um sistema de processamento automático” (XAVIER, J)

As principais características dos sistemas de informações geográficas (SIGs) são a possibilidade de (CÂMARA, 1993)

- integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e MNTs,
- combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados.
- consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados geocodificados

DANGERMOND (1990) apresenta como as principais vantagens da utilização dessa metodologia os seguintes aspectos

- custo menor para manutenção e extração dos dados manipulados,
- formato digital dos dados,
- possibilidades de análises temporais,
- simulação e previsão de cenários possíveis ou prováveis

Concertuamente os fenômenos ou processos da realidade são tratados em um sistema de informações geográficas em três níveis

- o fenômeno ou processo, como variáveis, classes, nomes, valores, etc,
- a localização espacial dentro do espaço geográfico,
- o tempo.

BULHÕES (1996) observa que “O manejo efetivo das informações geográficas requer que as três dimensões, temporal, localização e atributos, componentes conceituais da informação

geográfica, sejam variáveis independentes, ou seja, os atributos podem mudar suas características e manter a mesma posição geográfica” e acrescenta:

“Tomando como exemplo a representação da realidade em estrutura em grade, a área em estudo é dividida em uma grade regular de elementos ou células da seguinte maneira:

- cada célula contém um único atributo
- qualquer posição da área de estudo corresponde a uma única célula;
- um conjunto de células, e seus respectivos atributos, definem um plano de informação”.

As informações pertinentes à área de estudo podem ser representadas através de numerosos planos de informações (solo, relevo, vegetação, uso do solo, etc).

A manipulação desses planos de informações em um Sistema de Informações Geográficas associada à técnicas de processamento de imagens constitui poderosa metodologia de geração de informações que irão apoiar sistemas de monitoramento e gerenciamento dos recursos naturais bem como apoiar sistemas de tomadas de decisão.

A figura abaixo ilustra o procedimento de extração de informações através da sobreposição monitorada no geoprocessamento, (Figura 4.1):

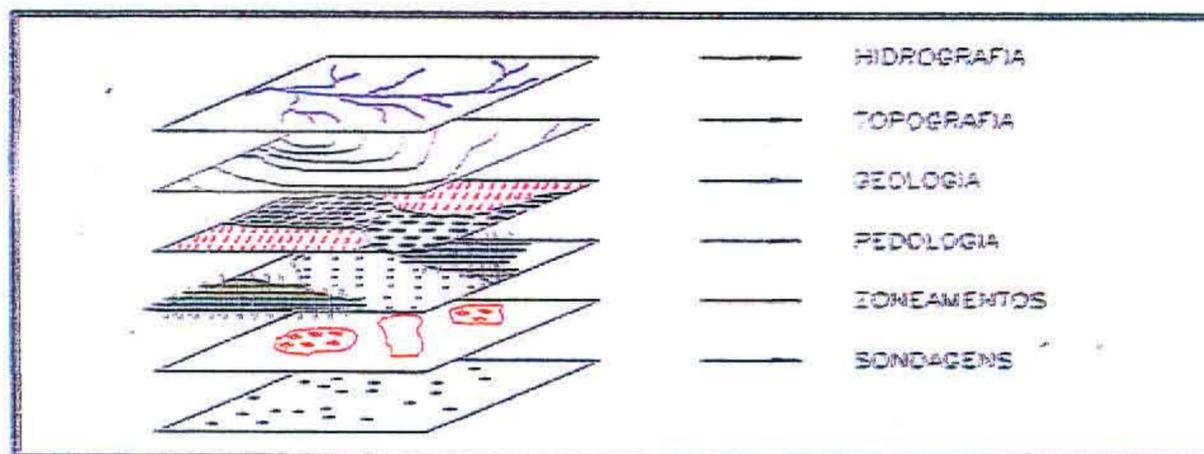


Figura 4.1 - “Superposição de Planos de Informação - Layers”

Estes procedimentos permitirão o desenvolvimento de modelos empíricos para caracterização a nível macro de assinaturas ambientais para riscos de erosão, salinização, mapas de aptidão agrícola e outros. O processo de construção desses modelos consiste na atribuição de pesos e notas aos vários fatores ambientais, aqui tratados como planos de informação, e suas respectivas classes e daí realizam-se operações de cruzamentos, superposições e outras técnicas inerentes aos sistemas de informações geográficas.

4.1.2 - METODOLOGIA

Bases Metodológicas

A concepção metodológica do projeto baseia-se fundamentalmente na geração de um banco de dados digital capaz de suportar análises através de um Sistema Geográfico de Informações compreendendo as seguintes operações

- Geração de Mapas Observacionais - referentes aos dados gráficos e relatórios sobre o meio físico, compreendendo os seguintes planos de informações drenagem, rede viária, topografia,, limites municipais e estaduais, mapas geológicos, solos, geomorfologia, etc
- Geração de Mapas Analíticos - mapas resultantes de pré-processamento e processamento digital de mapas observacionais tais como Modelos Digitais de Terreno, mapas de declividade, de lineamentos, de uso e ocupação do solo e produtos de processamento de imagens de satélite.
- Geração de Mapas Integrados - são mapas resultantes do cruzamento de vários planos de informações mas que ainda guardam relação com os mapas geradores, aqui se utilizará operações algébricas não-cumulativas através de operadores do tipo "buffers", operações booleanas, etc
- Geração de Mapas Fundidos - mapas derivados de operações algébricas cumulativas, operações de soma, subtração e multiplicação. Apresentam como produto mapas que não guardam semelhanças com os mapas geradores.

De acordo com a metodologia aplicável aos trabalhos de geoprocessamento, demos início aos procedimentos preliminares de prospecção e coleta de informações tanto em forma de mapas quanto em formato digital

Após a análise detalhada do material levantado pela equipe do projeto procedeu-se a busca de dados complementares a cerca dos aspectos físicos de modo a transformá-los em arquivos digitais e integrá-los a uma mesma base georeferenciada.

Foram levantados também os produtos de sensoriamento remoto disponíveis para a área: fotografias aéreas (escala 1:32.500), imagens Landsat em papel colorida bandas 3,4,5, (escala 1.250 000), e imagens Landsat preto e branco nas bandas 3 e 5 (escala 1 100 000), ambas com passagem de 1990

Elaboração da base cartográfica na escala de 1:100.000 .

Considerando-se que as folhas da SUDENE/DSG escala 1 100 000, consistem na base mais confiável e disponível, elaborou-se a base cartográfica na escala de 1 100.000, a partir das folhas de Itapipoca, Paracuru, São Luís do Curu e Irauçuba, tendo sido posteriormente atualizada quanto aos dados de infra-estrutura (sistemas viários, rede de drenagens, sistemas de açudagem), através das imagens em papel pancromática escala 1 100 000, do satélite LANDSAT5 sensor TM e fotografias aéreas escala 1 32.500.

Interpretação visual das imagens.

A Interpretação visual foi realizada à partir das imagens do satélite LANDSAT5 sensor TM, em papel composição colorida nas bandas 3,4 e 5 na escala 1 250 000, imagens pancromáticas nas bandas 3 e 5 na escala de 1 100 000 e fotografias aéreas preto e branco na escala de 1 32.500

A geomorfologia foi extraída através da interpretação visual das imagens coloridas quando foram produzidos "overlays" das principais formas de relevo auxiliado por mapeamento já existentes em menor escala porem essencial na compreensão e identificação das mesmas

No mapeamento da temática vegetação, foram utilizadas as informações contidas no trabalho realizado pelo PNUD/IBAMA/FAO/ GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ "Mapeamento da Cobertura da Vegetação Lenhosa do Estado do Ceará", o qual teve como elemento base a interpretação visual das imagens pancromáticas na escala de 1 100 000 associado a um intenso trabalho de campo e complementadas com o mapa de unidades fitoecológicas do projeto "Áridas"

Com relação à atualização dos dados sobre recursos hídricos superficiais, estes foram obtidos através da interpretação de imagens pancromáticas sendo que o mapeamento e a atualização dos espelhos d'água do sistema de açudagens e lagoas da bacia hidrográfica do Rio Mundaú, contou com o apoio do programa de monitoramento dos espelhos d'agua da FUNCEME.

Para a confecção do "overlay" da temática geologia e dos fotolineamentos utilizou-se das fotografias aéreas na escala de 1 32.500, através da fotointerpretação realizada pela equipe de Água Subterrânea da FUNCEME.

Interpretação digital para identificação da geologia e formas de relevos.

Esta etapa objetiva a checagem da interpretação visual na forma digital, cujo recurso técnico será a aplicação da técnica de registro associada a metodologias anteriormente utilizadas e que estão sendo testadas portanto encontra-se em fase de andamento.

Digitalização dos dados geológicos, geomorfológicos e os recursos hídricos levantados.

Esta etapa encontra-se concluída, conforme consta nas figuras dos mapas anexos, devendo os mesmos seguirem no seu formato final, que é na escala de 1 100 000 ao término do projeto.

Integração, manipulação e quantificação dos Recursos Hídricos superficiais e subterrâneos.

No que concerne a integração e manipulação dos dados não foi possível concluí-la dado a problemas técnicos, do tipo perda de arquivos de imagens digital por 2(duas) vezes fato que impediu-nos de realizar a esta tarefa onde a mesma tem uma relação direta através da técnica de registro. Quanto a quantificação pode ser visto na tabela 01 o resultado parcial da área dos espelhos d'água da bacia hidrográfica do Rio Mundaú, para os açudes e lagoas de até 5ha (cinco hectares) de área em relação aos recursos hídricos superficiais, para os recursos subterrâneos não foi possível, estando previsto após a etapa de elaboração do mapa de potencialidades hidogeológica previsto na segunda etapa do projeto

Atualmente estamos promovendo a migração do projeto para o software Spans Explorer e Spans GIS em virtude do maior potencial de processamento e análise espacial oferecido pelos softwares citados.

No Spans Explorer as informações mapeáveis são armazenadas em forma de "layers" com seus respectivos atributos. Cada plano de informação (layer) representa somente um tipo de dado geográfico quer sejam pontos, linhas ou áreas. A composição dos mapas é feita superpondo-se os diversos planos de informação.

Após o levantamento dos dados, digitalização e edição dos mesmos, estes foram convertidos ao formato DXF e importados para o SPANS EXPLORER v11 da TYDAC em formato VEH/VEC, em seguida estes foram transformados em arquivos vetoriais do SPANS (TOP/VTX). O SPANS Explorer cria automaticamente um arquivo de tabela de atributos do vetor importado com formato *tbb associado ao vetor. Os layers ajustados foram então poligonalizados e seus atributos registrados em banco de dados automaticamente disponibilizado.

Os arquivos disponibilizados tem seus atributos registrados em bibliotecas (*rep) e bancos de dado (*tbb) e podem ser importados e usados de maneira a se transformarem em informações utilizáveis, objetivo de toda a metodologia dos SIG's.

Quase todos os mapas observacionais já foram confeccionados com exceção dos mapas de solo e uso do solo. O mapa de solos, cuja versão preliminar já se encontra disponível (escala 1:200.000), está sendo produzido pelo Departamento de Recursos Ambientais numa escala de 1:32.500 através da interpretação das fotografias aéreas, trabalho de campo e análises laboratoriais dos perfis para definição dos tipos de solo. O mapa de uso do solo está dependendo da aquisição de imagens Landsat5 recentes.

Grande parte do trabalho a ser desenvolvido no Spans carece dos mapas de solos e de uso dos solos e diz respeito à produção das seguintes informações: Mapa de Conflito de Usos atuais, Mapa de Conflito de Usos Futuros, Mapa de Demografia, Produção Econômica, Mapa de Uso das Águas, Macrozoneamento. Além destas outras informações referentes a base de dados sócio-econômica estão sendo mapeadas.

Com relação à geografia física da bacia serão produzidos mapas de Declividades, Aspecto, Iluminação, e outros resultantes dos processamentos. Estão previstos o desenvolvimento de modelos empíricos para caracterização a nível macro de assinaturas ambientais, como nos referimos anteriormente.

4.1.3 - CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

Recursos Hídricos Superficiais

O rio Mundaú nasce na Serra de Uruburetama, tendo como principais afluentes o rio Cruxati, riacho Salgado, riacho do Ipú, córrego do Bacuximá, e o córrego do Tamanduá. Seu curso d'água é barrado próximo a sua nascente, formando o maior e principal açude da bacia com uma capacidade de 21.308.000 m³, tem uma profundidade máxima de 29 m, com área do seu espelho d'água de 124ha (Tabela 4.1) com base nas informações de 1990. A bacia hidrográfica tem no total de 05 açudes 11 lagoas com área do espelho d'água superior a 5 ha totalizando 468.4 ha ao todo.

Tabela 4 1 - Área dos espelhos d'água dos açudes e lagoas da bacia hidrográfica do rio Mundaú

Nome dos açudes/lagoas	Área(ha)	Perímetro (m)
Açude Mundaú	124	6665
Açude da Velha	14 4	1865
Açude Salgado	13 2	2094
Açude Porão	11 6	1865
Açude Ipú Narzagão	33 5	3045
La. da Varzea	14 0	1749
La. das Carnaúbas	9 5	1373
La. da Onça	25.7	3122
La. da Melancia	14 4	1744
La. Boa Esperança	9.5	1246
La. da Batalha	30 5	2271
La. da Cajazeiras	25.9	2120
La. Curralinho	38.3	5235
La. do Vieira	25 3	2219
La. Grande	70 1	3849
La. Sindonha	8.5	1270
Total	468.4	

Geologia

A área da bacia hidrográfica quanto a geologia é composta basicamente pelas seguintes unidades litológicas.

Pré-Cambriano Complexo Tamboril/Santa Quitéria. Representado pelo Complexo Nordeste, individualiza-se litologicamente por ser constituído predominantemente por granitos migmatitos

Esta unidade ocupa extensas áreas da bacia estudada, com o predominância de rochas migmatíticas e graníticas, podendo ser observados no mapa geológico anexo

Proterozóico: Grantóides Pereiro

Cenozóico domínio dos depósitos sedimentares Cenozóicos é constituído pelas exposições do Terciário-Quaternárias do Grupo Barreiras e pelas ocorrências sub-atuais e atuais das paleodunas, colúvios sedimentos de praias e aluviões (SOUZA, 1988) cuja áreas representativas está apresentada na tabela.4 2.

Cenozóico Coberturas Sedimentares pertencentes a Formação Barreiras.

• **Complexo Tamboril/Santa Quitéria - incluído dentro do Complexo Nordeste**

Tabela 4 2 - Área das unidades geológicas que compreendem a bacia hidrográfica do rio Mundaú

Unidade geológica	Área (km ²)
Dunas	39 2
Aluviões	30 4
Grupo Barreira Indiviso	50 3
Rochas de Composição Granítica	125 6
Complexo Nordestino	257 7

Geomorfologia

A Geomorfologia da área representada no “Mapa de Geomorfologia” anexo, depende da ação combinada de diversos fatores, tais como condições litoestruturais, paleoclimáticas, eustáticas e a morfodinâmica atual.

De acordo com a compartimentação geomorfológica do Ceará (SOUZA, 1983 e 1988) a área integra parte do domínio dos depósitos sedimentares Cenozóicos e do domínio dos escudos e os maciços antigos onde se incluem as depressões sertanejas e os planaltos residuais. As unidades geomorfológicas encontradas na bacia hidrográfica estão representadas na tabela 4 3 com as formas de relevo sua classificação e suas respectivas áreas.

Tabela 4 3 - Área e classificação das formas de relevo da bacia hidrográfica do rio Mundaú

Formas de relevo	Classificação das formas	Área (km ²)
Faixa Praial	Formas de Acumulação	8.15
Planície Flúvio-Marinha	Formas de Acumulação	12.7
Planície Fluvial	Formas de Acumulação	35.2
Tabuleiro Litorâneo em Interflúvios	Formas Dissecadas com Fraco Entalhe da Drenagem	387 3
Tabulares	Formas Deprimidas com Superfície Erosiva Plana ou Ligeiramente Dissecadas	400 8
Depressão Sertaneja		
Inselbergs	Formas Residuais Dissecadas	28
Maciços Residuais	Formas Residuais Dissecadas	83 8

Vegetação

A vegetação da bacia está constituída preponderantemente por plantas xerófilas das caatingas, o complexo vegetacional litorâneo onde se incluem a vegetação de dunas e os mangues, e floresta úmida. Levando-se em consideração a estrutura geológica, a litologia, a compartimentação topográfica e os tipos de solos, foram identificados os tipos de vegetação representado na figura do “Mapa de Vegetação” anexo e na tabela 4 4, com sua respectivas áreas de representação na bacia hidrográfica do rio Mundaú.

Tabela 4 4 - Área dos tipos de vegetação da bacia hidrográfica do rio Mundau

Tipos de vegetação	Área (km²)
Mangue	13,8
Vegetação de Tabuleiro Litorâneo	608,2
Caatinga Arbustiva Aberta	175,9
Caatinga Arbustiva Fechada	15,5
Caatinga Arborea	30,3
Floresta Úmida Aberta	53,2
Floresta Úmida Densa	19,9

4.1.4 - ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

A apresentação dos dados obtidos nesse primeiro ano de execução do projeto, permitiu a formação de um banco de dados georreferenciado onde será amplamente utilizado na segunda fase do mesmo. Os referidos dados encontram-se na forma de figura de representação dos seguintes mapas (ANEXO B)

- Mapa Planialtimétrico
- Mapa de Geologia
- Mapa de Geomorfologia
- Mapa de Vegetação
- Mapa de Solos
- Mapa de Fotolineamentos

4.1.5 - BIBLIOGRAFIA

Silva, J X. *et alli* **Análise Ambiental da APA de Cairuçu - RJ**, In: *Revista Brasileira Geográfica*, Rio de Janeiro, 1988, 42p

Burrough, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment** Oxford, Clarendon Press, 1989 193p

Câmara Neto, G , Souza, R C M , Alves, D.S. **O Desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica e de Processamento de Imagens no INPE**. In *Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*, São Paulo, SP, 23- 25 maio, 1990 ANAIS. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 1990, v 1.p.168-173

Souza, M.J.N **Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-estruturais do Estado do Ceará**. *Revista de Geologia*, 1 73.93, 1988

_____ **O Estado do Ceará; Geomorfologia, Ambiente e Problemas Conservacionais**
Fortaleza, MEC/UFC. 1983 139p.

Bulhões, C.A.M. **Integração de Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informações Geográficas: Fundamentos** In *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* v 1. 1996

Parte 5

HIDRÁULICA

000123

5.1 ESTUDO PRELIMINAR DO ASSOREAMENTO DO AÇUDE MUNDAÚ

5.1.1 - INTRODUÇÃO

O processo de assoreamento dos reservatórios, é um fenômeno natural é inevitável. Ele consiste do acúmulo dentro do lago de sedimentos trazidos pelos afluentes, tendo como consequência a perda de volume armazenável.

Dependendo da severidade da erosão na bacia de contribuição, o processo de assoreamento de um reservatório pode levar de séculos a até períodos inferiores a uma década. Portanto, é necessário que ao construir reservatórios, fazer-se a previsão do assoreamento, a qual só poderá ser realizada com precisão, se houver disponibilidade de dados de campo. Estes dados, principalmente o de afluência de sedimentos, são raramente coletados no Brasil, especialmente no Nordeste.

A previsão do assoreamento do Açude Mundaú que ora apresenta-se, foi realizada a partir de dados estimados devido a falta de dados de campo. Em seção específica, será apresentada toda metodologia empregada e a que resultados chegou-se empregando-se tais dados.

Espera-se que nos futuros passos do Projeto Mundaú, tenha-se em mãos dados reais para realizar-se novo estudo de assoreamento que substitua este preliminar.

5.1.2 - CARACTERIZAÇÃO SUMÁRIA DO RESERVATÓRIO

O Açude Mundaú é um reservatório de médio porte, localizado no município de Uruburetama, a cerca de 110km de Fortaleza. O maciço está construído nos sopés da serra de Uruburetama aproximadamente a 2km da cidade de mesmo nome.

O afluente é o Rio Mundaú que nasce a cerca de 10km acima da barragem, que está construída praticamente no último boqueirão da bacia antes do Mundaú tornar-se um rio de planície. Anterior ao reservatório, ele tem um traçado de rio de montanha, e esta parte é perene todo o ano. Isto deve-se ao seu percurso estar em um dos enclaves úmidos do Ceará, recebendo sua bacia uma precipitação bem acima da média do estado, como também percorre uma região de solos bastante espessos. A bacia de contribuição tem 36km².

A tabela (5.1) mostra os dados das curvas-chave do reservatório. Na segunda coluna, tem a profundidade do açude que vem a ser a diferença entre a cota atual e a menor cota, ou cota de área e volume nulos e acota da soleira do sangradouro. Na última coluna estão as profundidades relativas, p , adimensionais, que calculam-se dividindo a profundidade atual pela maior profundidade. A tabela dá apenas valores até a cota 166.38, que é a cota da soleira do sangradouro.

As profundidades servem para classificar o reservatório pelo método de estimativa da vida útil utilizado, bem como durante os cálculos da distribuição de sedimentos dentro do reservatório.

Tabela 5 1 - Valores para as Curvas Cota-Área e Cota-Volume do Açude Mundaú

Cota (m)	Profundidade (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	p
132,30	0	0	0	0
137,30	5	22 200	55 600	0,147
142,30	10	293 400	844 500	0,293
147,30	15	610 800	3 105 000	0,441
152,30	20	928 000	6 702.000	0,587
157,30	25	979 200	11 220 000	0,733
162,30	30	1 140 600	16 519 500	0,880
164,38	34,08	1 232 645	21 403 260	1,000

5.1.3 - METODOLOGIA

Afluência de Sedimentos

Como já mencionado, a absoluta falta de dados de campo, tanto para o reservatório Mundaú como para o seu afluente, força a largar-se mão da geração de dados

Há dezenas de métodos distintos de se gerar afluência de sedimentos a um reservatório, entre eles, a estimativa de perdas de solos anual para dada bacia. Entre as equações de perda de solos, ou seja de erosão, as de Fournier (*apud* Veiga (1993)) são bastante utilizadas

As equações de Fournier são três, sendo que cada uma é para dado tipo de relevo e clima. A que mais se adequa às características da bacia de contribuição do Mundaú, eq. (5.1), é para relevo acidentado e clima úmido

Os dados utilizados para aplicação da eq. (5.1) foram $P=1200mm$ e $p=420mm$. O valor de P é o aproximado da média pluviométrica nas regiões úmidas no Ceará. O valor de p , $420mm$, foi calculado retirando-se 35% de P , que é a chuva esperada para maio, o mês mais chuvoso. Assim, a afluência média anual de sedimentos ao Mundaú é de $7\,202,82t/km^2 \times ano$

$$E = 52,49 \frac{p^2}{P} - 513,21 \quad (5.1)$$

onde E é a erosão específica em $t/km^2 \times ano$, p é a precipitação em mm no mês mais chuvoso e P é a precipitação anual em mm

Composição dos Sedimentos Afluentes

Os estudos ainda preliminares dos solos da Bacia do Rio Mundaú em execução pela equipe de pedologia da FUNCEME, mostram sua composição apresentada na tabela (5.2) na qual apresentam-se também as frações médias constituintes de cada tipo de solo encontrado na bacia.

Tabela 5 2 - Composição dos Solos Podzólicos e Litólicos do Alto Mundaú

Tipos de Solos	Cobertura da Bacia	Frações		
		Areia	Silte	Argila
Solos Litólicos Eutróficos de Textura Média e Argilosa	60%	30%	30%	40%
Solos Podzólicos Vermelhos-amarelos, Eutróficos com Textura Arenosa/Argilosa	40%	40%	20%	40%

Usando-se os dados da tabela (5 2), adotou-se o seguinte critério para estimativa da composição dos sedimentos afluentes ao Mundaú Sabendo-se que os solos Podzólicos (Pod) são 40% e os Litólicos (Lit) são 60% da composição total, C_T , respectivamente, então pode-se dizer que

$$C_T = 0,40 \times \text{Pod} + 0,60 \times \text{Lit} \quad (5.2)$$

sendo que

$$\text{Pod} = 0,40_{\text{areia}} + 0,40_{\text{argila}} + 0,20_{\text{silte}} \quad (5.3)$$

$$\text{Lit} = 0,30_{\text{areia}} + 0,40_{\text{argila}} + 0,30_{\text{silte}} \quad (5.4)$$

Substituindo-se as expressões (5.3) e (5.4) em (5.1) e efetuando-se as multiplicações, ter-se-á:

$$C_T = 0,34_{\text{areia}} + 0,40_{\text{argila}} + 0,26_{\text{silte}} \quad (5.5)$$

As expressão (5.5) será utilizada mais à frente quando será necessária as frações de cada constituinte dos sedimentos afluentes.

Peso Específico dos Sedimentos Depositados

Os sedimentos depositados nos reservatórios sofrem uma compactação ao longo do tempo e a grandeza desta compactação é muito difícil de ser avaliada com precisão para cada reservatório Para o cálculo do volume dos depósitos de sedimentos, tem-se assim de lançar mão da equação de Miller (1962) (ap. Borland (1971)), equação (5.6), para o peso específico de sedimentos depositados em reservatórios

$$\rho_t = \rho_i + 0,4343K \left[\frac{t}{t-1} \ln t - 1 \right] \quad (5.6)$$

onde ρ_t é o peso específico médio do depósito após t anos de operação do reservatório, ρ_i é o peso específico inicial do depósito e K é uma constante que depende da composição fracionária dos sedimentos (silte, argila, areia). Os valores de ρ_i e K iniciais são experimentais e encontram-se na literatura para quatro tipos de operação de reservatórios O Açude Mundaú enquadra-se no tipo de reservatório com pequena ou moderada depleção, segundo a classificação do US Bureau of

Reclamation A tabela abaixo dá os valores iniciais de ρ_i e K dados pelo USBR para os reservatórios do tipo do Mundaú, ρ_i em t/m^3

Areia		Silte		Argila	
ρ_i	K	ρ_i	K	ρ_i	K
1,554	0	1,137	0,029	0,561	0,135

Da expressão (5.5) sabe-se que a composição dos sedimentos afluentes têm 34% de areia, 26% de silte e 40% de argila. O K para ser aplicado à eq (5.6) deve ser calculado por (5.7)

$$K = \% \text{ areia} \times K_{\text{areia}} + \% \text{ argila} \times K_{\text{argila}} + \% \text{ silte} \times K_{\text{silte}} \quad (5.7)$$

Usando-se esta expressão, o valor de K para o Mundaú é igual a 61,54. Com expressão análoga calculou-se o ρ_i , substituindo-se K_i na equação (5.7) pelos valores de ρ_i . Assim o ρ_i para o Mundaú é $1\,048,38 \text{ t/m}^3$

Com os dados calculados, ter-se-á a equação (5.8) para o peso específico médio do depósito de sedimentos dos Mundaú ao longo do tempo

$$\rho_t = 1\,048,40 + 26,727 \left[\frac{t}{t-1} \ln t - 1 \right] \quad (5.8)$$

Eficiência de Retenção De Sedimentos

A eficiência de retenção de sedimentos de um reservatório, é o percentual de sedimentos afluentes que ficam retidos

Esta eficiência é calculada medido-se as descargas de sedimentos afluentes e efluentes ao reservatório, e calculando-se o percentual retido. Na ausência destes dados, há curvas experimentais ajustadas a partir das características dos reservatórios e suas eficiências de retenção. Dentre as dezenas de curvas, usou-se para o Mundaú a curva de Heinnemam (1982), equação (5.9), que é baseada em dados de reservatórios com bacias de contribuição menores que $38,85 \text{ km}^2$, que é o caso do Mundaú.

$$E_r = -22,0 + \frac{119,6C / I}{0,012 + 1,02C / I} \quad (5.9)$$

Estimativa da Vida Útil

A estimativa da vida útil dos reservatórios é feita simulando as suas operações da seguinte forma. De posse do volume afluente médio anual, da descarga de sedimentos média anual e do volume inicial do reservatório, procede-se aos cálculos como mostrado na tabela (5.3). A sétima coluna da tabela mostra a quantidade de sedimentos acumulada no reservatório em um período Δt . Ela é obtida pela multiplicação da E_r vezes Δt vezes a descarga de sedimentos média anual. Na oitava coluna, estão os sedimentos acumulados ao longo do tempo. Daí, calcula-se o peso específico do depósito, e corrige-se o volume inicial, valor mostrado na última coluna da tabela. Então, procede-se novamente estes cálculos para o Δt seguinte. No Açude Mundaú, o Δt utilizado é de dez anos. Portanto a coluna C_c é a capacidade corrigida a cada dez anos.

Com os dados da tabela (5.3), construiu-se um gráfico mostrado na seção dos resultados, o qual apresenta a variação do volume do açude ao longo da sua vida útil

Tabela 5.3 - Estimativa da Vida Útil do Açude Mundaú

T (anos)	ΔT	I (hm^3/ano)	C/I	Q_s ($\times 10^3 t/ano$)	E_r	Q_w		ρ_s (kgf/m^3)	V_s (hm^3)	C_c (hm^3)
						no período	acumulado			
10	10	7,105	3,012	2,61	94,80	2,474	2,474	1 090,0	2,270	19,13
20	10	7,105	2,692	2,61	94,75	2,473	4,947	1 105,9	4,473	16,93
30	10	7,105	2,383	2,61	94,68	2,471	7,418	1 115,7	6,649	14,75
40	10	7,105	2,076	2,61	94,59	2,469	9,887	1 122,8	8,806	12,60
50	10	7,105	1,773	2,61	94,48	2,466	12,353	1 128,4	10,948	10,45
60	10	7,105	1,471	2,61	94,09	2,462	14,815	1.133,0	13,076	8,32
70	10	7,105	1,171	2,61	94,09	2,456	17,271	1 136,9	15,191	6,20
80	10	7,105	0,873	2,61	93,70	2,446	19,717	1 140,3	17,291	4,11
90	10	7,105	0,578	2,61	92,91	2,425	22,142	1 143,3	19,367	2,03
10	10	7,105	0,286	2,61	90,62	2,365	24,507	1 146,0	21,385	0,015

Estimativa da Distribuição dos Sedimentos

O método utilizado neste relatório, é o da Redução de Área proposto por Borland e Miller (1958), revisado por Lara (1962) (ap. Borland (1971))

Os autores classificam os reservatórios em quatro tipos baseados em suas características geométricas. Para saber em que tipo se encaixa um reservatório a ser estudado, faz-se um gráfico em escala bilogarítmica tendo no eixo-x os volumes e no eixo-y as profundidades. Estas profundidades estão na coluna 2 da tabela (5.1). De posse dos pontos marcados no gráfico, procede-se ao ajuste de uma reta ou duas retas que representem os pontos. Depois calcula-se o inverso da declividade da reta, valor m e consulta-se a tabela de classificação. A figura (5.1) contém o gráfico do Mundaú, que dividiu-se em dois tramos. Como pode ser visto no gráfico, em ambas partes m cai no intervalo 1,5-2,5 que são os reservatórios de regiões montanhosas segundo Borland e Miller

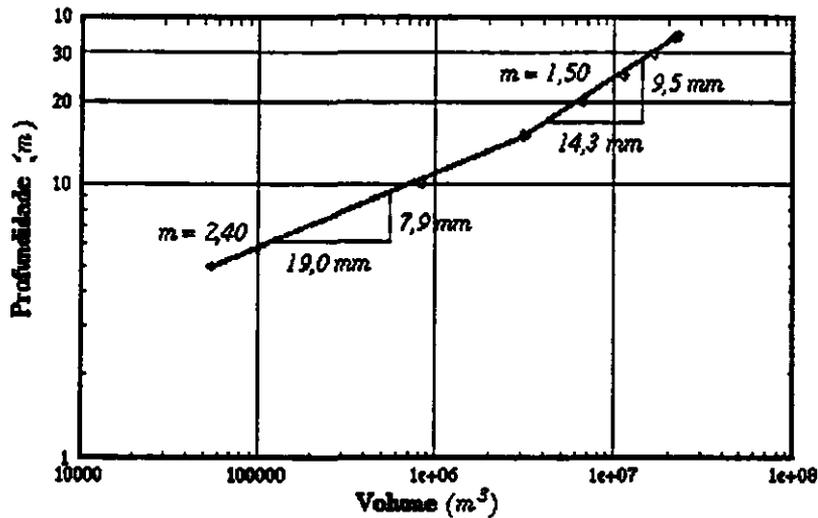


Figura 5 1 - Gráfico Volume x Profundidade do Açude Mundaú

Esta classificação serve para tipificar a curva das áreas relativas, A_p , para o reservatório, segundo o método Para o Mundaú, a curva é do tipo II, eq (5 10)

$$A_p = 2,487 p^{0,57} (1 - p)^{0,41} \quad (5 10)$$

onde p é a profundidade relativa retirada da última coluna da tabela (5.1)

Agora, para encontrar-se o valor p_0 que é a cota do depósito de sedimentos no pé da barragem, calculam-se os valores positivos da função do reservatório, h_p , eq. (5 11), formando pares (h_p, p) .

$$h_p = \frac{V_s - C}{H \cdot A} \quad (5.11)$$

onde V_s é o volume total de sedimentos retidos pelo reservatório no período (neste caso, dez anos), A e C são a capacidade e a área do reservatório na cota de profundidade relativa p e H é a profundidade total. Os valores positivos de h_p para dez anos do Açude Mundaú, estão na tabela (5 4)

Traça-se então uma curva ligando estes pontos sobre o gráfico (5.2) dado pelo método. A abcissa do ponto de intercessão da função do reservatório com a curva h_p tipo II, é a cota do depósito de sedimentos no pé da barragem.

Tabela 5 4 - Pontos da Função do Açude Mundaú para 10 Anos

Cota	p	h_p
137,30	0,147	2,953
142,30	0,293	0,143

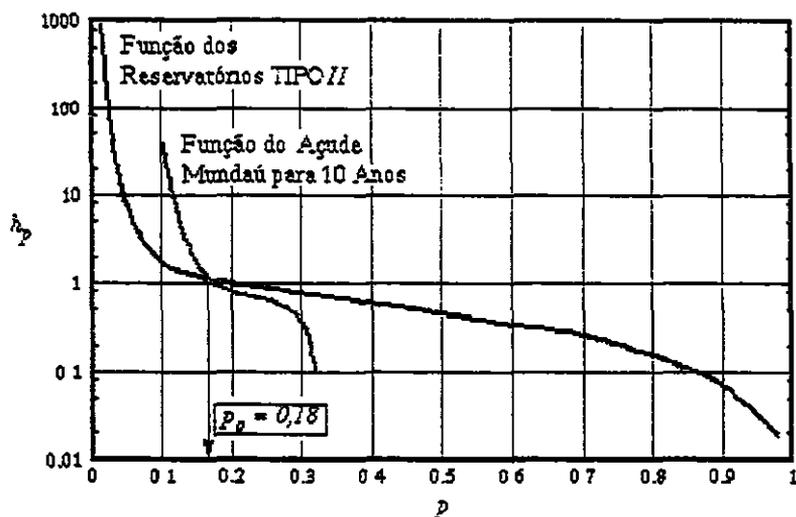


Figura 5 2 - Função do Açude Mundaú e Profundidade p_0 do Depósito no Pé da Barragem para 10 Anos

5.1.4 - RESULTADOS

Os principais resultados deste estudo do assoreamento do Açude Mundaú, foram

- A Curva de variação do volume do Mundaú ao longo do tempo, figura (5 3), e
- A Curva Cota x Volume e Cota x Área corrigidas do açude apos dez anos de operação, figuras (5 4) e (5 5)

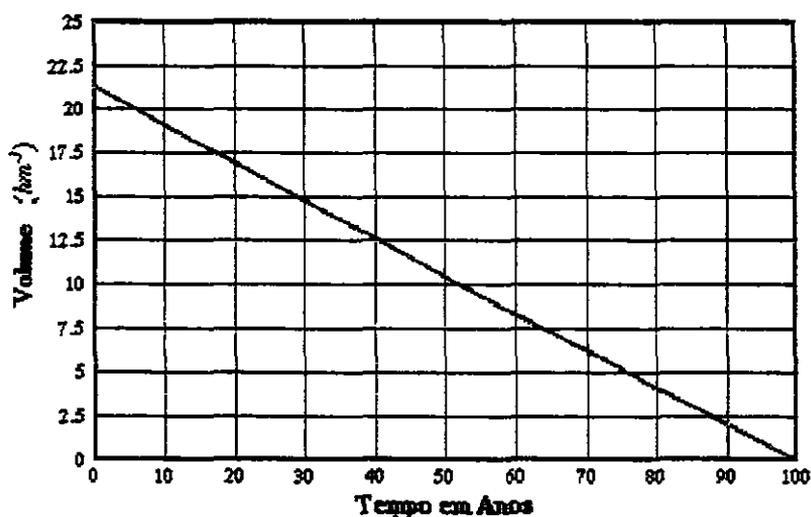


Figura 5 3 - Variação do Volume do Mundaú ao Longo do Tempo

Um fato curioso é que o uso dos dados estimados para o Mundaú, resultou em um volume de quase zero ao fim de exatos cem anos. Isto é uma mera coincidência. No gráfico o ano zero, é o primeiro ano de operação do reservatório e corresponde ao volume de projeto.

Como já dito, o método de distribuição de sedimentos no reservatório é o da redução de área. A aplicação do método está na tabela (5 5) que mostra apenas a última tentativa (a quarta) de

interação Na coluna A_p estão as áreas relativas calculadas com a equação (5.10). A partir daí o ajuste da distribuição dos sedimentos nas cotas é feita por tentativas, seguindo o método. A coluna A_s é o produto de $K_1 = A/A_p$, onde A é a área original. O volume de sedimentos ΔV_s entre duas cotas consecutivas é o produto da diferença entre as cotas e a média das áreas de sedimentos. A soma dos ΔV_s tem que ser igual a V_{st} , tolerando-se um erro de 1%. Caso o erro seja maior que isso, faz-se $K_2 = K_1 (V_{st} / \sum \Delta V_s)$ e procede-se aos cálculos de novas colunas de A_s e ΔV_s . Este passo será repetido até que haja convergência satisfatória. A coluna V_s é os valores acumulados de ΔV_s . A coluna $A_c = A - A_s$, a área corrigida e $V_c = V - V_s$, o volume corrigido, será a nova curva-chave do açude após dez anos de operação.

Tabela 5.5 - Cálculo da Distribuição de Sedimentos no Açude Mundaú

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	p	A _p	4ª Tentativa		V _s (hm ³)	A _c (km ²)	V _c (hm ³)
					A _s	ΔV _s			
166,38	1,233	21,403	1,000	0,00	0,000		2,26	1,233	19,143
						0,14			
162,30	1,141	16,520	0,880	0,97	0,068		2,12	1,073	14,400
						0,38			
157,30	0,979	11,220	0,733	1,21	0,085		1,74	0,894	9,480
						0,44			
152,30	0,928	6,702	0,587	1,28	0,090		1,30	0,838	5,402
						0,44			
147,30	0,611	3,105	0,441	1,23	0,086		0,86	0,525	2,245
						0,40			
142,30	0,293	0,844	0,293	1,07	0,075		0,46	0,218	0,384
						0,32			
137,30	0,022	0,056	0,147	0,78	0,055		0,14	0,000	0,000
						0,14			
132,30	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000		0,00	0,000	0,000

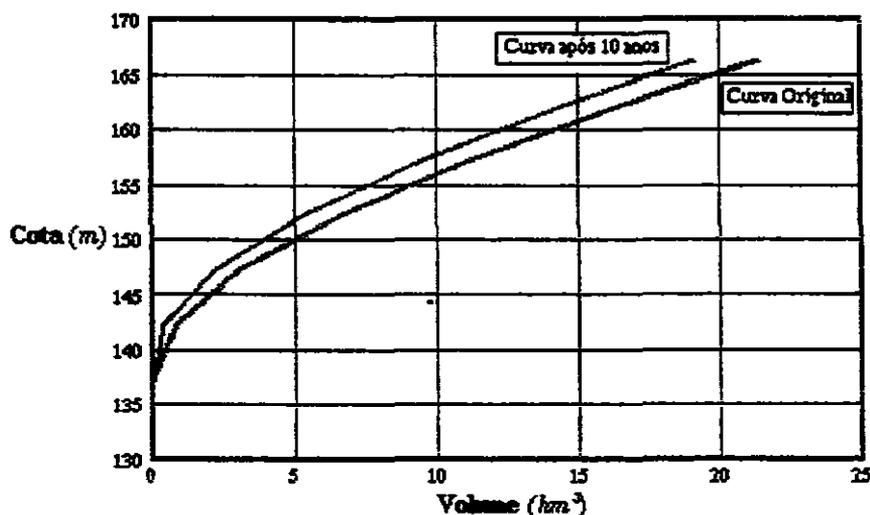


Figura 5.4 - Curvas Cota x Volume Original e Corrigida para Dez Anos do Açude Mundaú

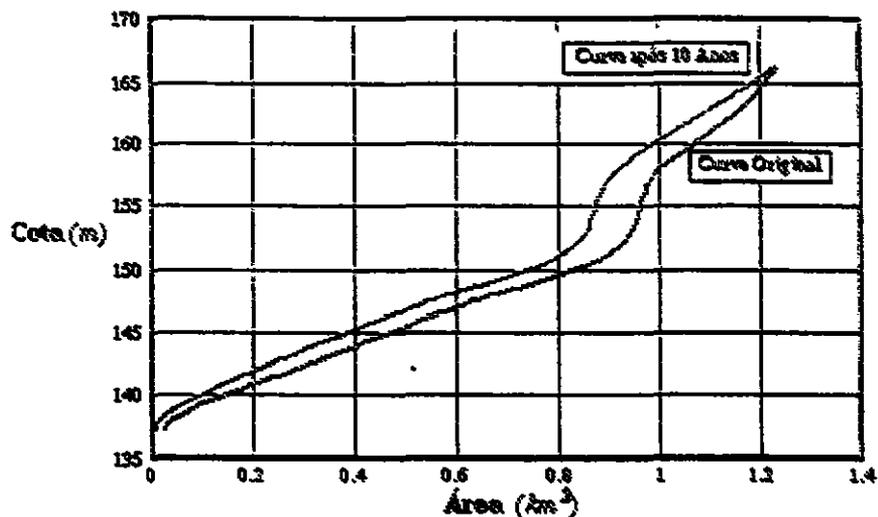


Figura 5.5 - Curvas Cota x Área Original e Corrigida para Dez Anos do Açude Mundaú

5.1.5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Açude Mundaú apresentou uma vida útil curta, de aproximadamente 100 anos. Portanto, é necessário que seja feito um trabalho preventivo na bacia, tal como uma maior conscientização para o uso de técnicas de conservação dos solos prevenindo a erosão.

De qualquer forma, chama-se atenção para o fato de este trabalho ter sido realizado a partir de dados estimados. Portanto recomenda-se que para maior precisão em estudos posteriores, bem como para monitorar-se o processo de assoreamento do Mundaú, proceder-se a realização de campanhas de coleta de dados hidro-sedimentométricos e batimetrias periódicas.

5.1.6 - BIBLIOGRAFIA

Borland, W. M., *Reservoir Sedimentation*, cap. 29, River Mechanics, WRP, Forth Collins, Colorado, 1971.

Campos, R., *Estudo do Assoreamento e da Qualidade D'Água do Reservatório de Cariobinha*, Tese de Mestrado, FEC, UNICAMP, 1993.

Veiga, A., *Aplicação de Métodos de Previsão de Assoreamento de Reservatórios*, Tese de Mestrado, FEC, UNICAMP, 1993.

5.2 PLANEJAMENTO DA CALIBRAÇÃO DA VÁLVULA CÔNICA DO AÇUDE MUNDAÚ

5.2.1 - INTRODUÇÃO

Em grande parte dos açudes do Ceará, estão instaladas em suas galerias válvulas dispersoras cônicas. Estas válvulas têm por fim controlar as vazões liberadas dos açudes para a perenização dos rios.

As válvulas cônicas têm uma grande vantagem sobre as demais por tornarem possível um preciso controle das vazões. Esta diferença é muito importante em um reservatório construído numa zona de alta evaporação, caso do Mundaú, porque permite aos gestores liberarem com precisão as vazões mais próximas possíveis do real necessário requerido pela demanda, evitando desperdícios.

O Açude Mundaú tem instalada em sua galeria uma válvula cônica a qual terá calibrado seu coeficiente de descarga, com os recursos do aditivo do Projeto Mundaú firmado em 1996.

5.2.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA VÁLVULA CÔNICA DO AÇUDE MUNDAÚ

As válvulas cônicas são dispositivos cilíndricos, ôcos, com um mecanismo de controle que movimenta as partes móveis. A parte móvel é uma peça em forma de cone que desliza na extremidade externa da parte cilíndrica, regulando as aberturas, e por conseguinte as vazões.

Como citado, o Açude Mundaú tem uma válvula cônica instalada em sua galeria, de fabricação da SERMEC. A válvula está em funcionamento desde 1988 e está montada na extremidade da tubulação de 800mm da galeria que passa sob o maciço da barragem. Antes da válvula, há uma redução de 800 para 500mm, o diâmetro daquela.

5.2.3 - COEFICIENTE DE DESCARGA DAS VÁLVULAS CÔNICAS

O coeficiente de descarga das válvulas cônicas, é de fácil demonstração, originando-se da foronomia.

A vazão, Q , de um orifício é.

$$Q = \mu A (2gh)^{1/2} \quad (5.12)$$

onde A é a área da seção do escoamento, h é a carga hidráulica a montante do orifício e μ o coeficiente de descarga. Isolando-se μ , tem-se

$$\mu = Q [A(2gh)^{1/2}]^{-1} \quad (5.13)$$

Por analogia, o coeficiente das válvulas cônicas podem ser definidos da mesma forma.

5.2.4 - MEDIÇÃO DA PRESSÃO E DA DESCARGA NA VÁLVULA DO MUNDAÚ

Como visto acima, é necessário conhecer-se com precisão a carga hidráulica, h , na entrada da válvula e a vazão para a calibração do coeficiente de descarga.

Para a medida das pressões na entrada da válvula do Mundaú será construída uma bateria de manômetros de mercúrio que serão ligados a duas tomadas de pressão instaladas através de furos na

parede do tubo, seguindo as normas internacionais ISSO, recomendadas para estes tipos de medições

Também de acordo com aquela norma, será medida a vazão liberada a cada abertura da válvula com um vertedor retangular de soleira deigada, a ser construído no leito do Rio Mundaú a jusante do açude.

5.2.5 - CONCLUSÃO

Com os dados coletados no campo, derterminar-se-ão os coeficientes de descarga da válvula do Mundaú para suas várias aberturas

A convite da FUNCEME, orientará as medidas a serem realizadas no Açude Mundaú o Prof. Dr José Roberto Bonilha da EPUSP e da Fac. De Eng. Civil da UNICAMP, único especialista do Brasil neste assunto O Prof. Bonilha aceitou gentilmente o convite e virá ao Ceará sem cobrança de honorários, ficando sob responsabilidade da FUNCEME o custeio das despesas de transporte e estadia

Os trabalhos propostos neste relatório estão previstos para serem realizados na segunda quinzena de fevereiro

Anexo A

HIDROGEOLOGIA

000136

POÇO BOMBEADO: PB	PROF. (m): 130 m	Q (m³/h): 4,3
POÇO OBSERV: o mesmo	R (m): 0,076	AQUÍFERO: Barreiras
LOCAL: Marinheiros	MUNIC./ESTADO: Itapipoca/CE	EXECUTOR: FUNCEME
TEMPO BOMB.(min): 2.915	NE (m): 19,835	ND (m): 50,50
CRIVO BOMBA (m): 66	INÍCIO: 26/06/96	TÉRMINO: 28/06/96

HORA	REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
	t (min)	ND (m)	Sw (m)	Q (m ³ /h)	Q/Sw (m ³ /h/m)	t' (min)	ND (m)	Sw (m)	tb/t' + 1
13.17	1	26,602	6,767	4,3	0,64	1	45,226	25,391	2,916,00
13.18	2	29,451	9,616	4,3	0,45	2	42,314	22,479	1,458,50
13.19	3	31,040	11,205	4,3	0,38	3	39,807	19,972	972,66
13.20	4	32,387	12,552	4,3	0,34	4	37,728	17,893	729,75
13.21	5	33,472	13,637	4,3	0,32	5	36,000	16,165	584,00
13.22	6	34,329	14,494	4,3	0,30	6	34,480	14,645	486,83
13:24	8	35,695	15,860	4,3	0,27	8	32,688	12,853	365,37
13.26	10	36,703	16,868	4,3	0,25	10	31,527	11,692	292,50
13.28	12	37,470	17,635	4,3	0,24	12	30,713	10,878	243,92
13.31	15	38,358	18,523	4,3	0,23	15	29,990	10,155	195,33
13.36	21	39,882	20,047	4,3	0,21	20	29,334	9,499	146,75
13.41	25	40,206	20,371	4,3	0,21	25	28,973	9,138	117,60
13.46	30	troca	-			30	28,764	8,929	98,17
13.56	40	40,734	20,899	4,3	0,21	40	28,510	8,675	73,87
14.06	50	41,112	21,277	4,3	0,20	50	28,253	8,418	59,30
14:16	60	41,415	21,580	4,3	0,20	60	28,012	8,177	49,58
14:26	70	41,666	21,831	4,3	0,20	70	27,797	7,962	42,64
14:36	80	41,829	21,994	4,3	0,20	80	27,626	7,791	37,44
14:56	100	42,196	22,361	4,3	0,19	100	27,347	7,512	30,15
15:16	120	42,466	22,631	4,3	0,19	120	27,100	7,265	25,29
15:46	150	42,851	23,016	4,3	0,19	150	26,784	6,949	20,43
16:16	180	43,175	23,340	4,3	0,18	180	26,552	6,717	17,19
17.16	240	43,670	23,835	4,3	0,18	240	26,135	6,300	13,14
18:16	300	44,315	24,480	4,3	0,18	300	25,825	5,990	10,72
19:16	360	44,775	24,940	4,3	0,17	360	25,549	5,714	9,10
20,16	420	45,100	25,265	4,3	0,17	420	25,321	5,486	7,94
21,16	480	45,364	25,529	4,3	0,17	480	25,115	5,280	7,07
22,16	540	45,683	25,848	4,3	0,17	540	24,917	5,082	6,40
23,16	600	45,893	26,058	4,3	0,17	600	24,685	4,850	5,86
00,16	660	46,224	26,389	4,3	0,16	660	24,500	4,665	5,42
01.16	720	46,350	26,515	4,3	0,16	720	24,315	4,480	5,05
03.16	840	46,728	26,893	4,3	0,16	840	24,185	4,350	4,47
05:16	960	47,080	27,245	4,3	0,16	960	23,978	4,143	4,04
07.16	1080	47,640	27,805	4,3	0,15	1080	23,774	3,939	3,70
09:16	1200	47,910	28,075	4,3	0,15	1200	23,645	3,810	3,43
11.16	1320	48,162	28,327	4,3	0,15	1320	23,427	3,592	3,21
13.16	1440	48,540	28,705	4,3	0,15	1440	23,265	3,430	3,02

POÇO BOMBEADO:	PROF. (m): 71 m	Q (m³/h): 4,3
POÇO OBSERV: Pz 2-3	R (m): 10	AQUÍFERO: Barreiras
LOCAL: Marinheiros	MUNIC./ESTADO: Itapipoca-CE	EXECUTOR: FUNCEME
TEMPO BOMB.(min): 2.915	NE (m): 19,742	ND (m): 23,20
CRIVO BOMBA (m): 66	INÍCIO: 28/06/96	TÉRMINO: 28/06/96

REBAIXAMENTO						RECUPERAÇÃO			
HORA	t (min)	ND (m)	Sw (m)	Q (m ³ /h)	Q/Sw (m ³ /h/m)	t' (min)	ND (m)	Sw (m)	tb/t' + 1
13.17	1	19,718	-0,024	4,3	179,167	1	23,180	3,438	2.916,00
13.18	2	19,782	0,040	4,3	107,500	2	23,185	3,443	1.458,50
13.19	3	19,829	0,087	4,3	49,425	3	23,151	3,409	972,67
13.20	4	19,877	0,135	4,3	31,852	4	23,130	3,388	729,75
13.21	5	19,905	0,163	4,3	26,380	5	23,115	3,373	584,00
13.22	6	19,947	0,205	4,3	20,976	6	23,080	3,338	486,83
13.24	8	20,005	0,263	4,3	16,350	8	23,030	3,288	365,37
13.26	10	20,067	0,325	4,3	13,231	10	22,985	3,243	292,50
13.28	12	20,122	0,380	4,3	11,316	12	22,940	3,198	243,92
13.31	15	20,195	0,453	4,3	9,492	15	22,878	3,136	195,33
13.36	20	20,300	0,558	4,3	7,706	20	22,795	3,053	146,75
13.41	25	20,373	0,631	4,3	6,815	25	22,722	2,980	117,60
13.46	30	20,446	0,704	4,3	6,108	30	22,665	2,923	98,17
13.56	40	20,568	0,826	4,3	5,206	40	22,565	2,823	73,87
14.06	50	20,660	0,918	4,3	4,684	50	22,478	2,736	59,30
14.16	60	20,733	0,991	4,3	4,339	60	22,418	2,676	49,58
14.26	70	20,815	1,073	4,3	4,007	70	22,355	2,613	42,64
14.36	80	20,874	1,132	4,3	3,799	80	22,300	2,558	37,44
14.56	100	20,978	1,236	4,3	3,479	100	22,193	2,451	30,15
15.16	120	21,060	1,318	4,3	3,263	120	22,115	2,373	25,29
15.46	150	21,183	1,441	4,3	2,984	150	22,000	2,258	20,43
16.16	180	21,277	1,535	4,3	2,801	180	21,916	2,174	17,19
17.16	240	21,442	1,700	4,3	2,529	240	21,783	2,041	13,14
18.16	300	21,566	1,824	4,3	2,357	300	21,676	1,934	10,72
19.16	360	21,702	1,960	4,3	2,194	360	21,610	1,868	9,10
20.16	420	21,785	2,043	4,3	2,105	420	21,490	1,748	7,94
21.16	480	21,889	2,147	4,3	2,003	480	21,432	1,690	7,07
22.16	540	21,965	2,223	4,3	1,934	540	21,370	1,628	6,40
23.16	600	22,010	2,268	4,3	1,896	600	21,306	1,564	5,86
00.16	660	22,095	2,353	4,3	1,827	660	21,242	1,500	5,42
01.16	720	22,153	2,411	4,3	1,783	720	21,178	1,436	5,05
03.16	840	22,240	2,498	4,3	1,721	840	21,115	1,373	4,47
05.16	960	22,355	2,613	4,3	1,646	960	21,046	1,304	4,04
07.16	1080	22,460	2,718	4,3	1,582	1080	20,990	1,248	3,70
09.16	1200	22,425	2,683	4,3	1,603	1200	20,950	1,208	3,43
11.16	1320	22,500	2,758	4,3	1,559	1320	20,900	1,158	3,21
13.16	1440	22,565	2,823	4,3	1,523	1440	20,870	1,128	3,02

POÇO BOMBEADO: PB	PROF. (m): 124 m	Q (m³/h): 4,3
POÇO OBSERV: Pz - 1	R (m): 10,04	AQUÍFERO: Barreiras
LOCAL: Maranhãos	MUNIC./ESTADO: Itapipoca/CE	EXECUTOR: FUNCEME
TEMPO BOMB.(min): 2.915	NE (m): 19,960	ND (m): 23,70
CRIVO BOMBA (m): 66	INÍCIO: 26/06/96	TÉRMINO: 28/06/96

REBAIXAMENTO						RECUPERAÇÃO			
HORA	t (min)	ND (m)	Sw (m)	Q (m ³ /h)	Q/Sw (m ³ /h/m)	t' (min)	ND (m)	Sw (m)	tb/t' + 1
13:17	1	20,104	0,144	4,3	29 861	1	23,615	3,655	2.916,00
13:18	2	20,229	0,269	4,3	15.985	2	23,585	3,625	1.458,50
13:19	3	20,302	0,342	4,3	12.573	3	23,545	3,585	972,67
13:20	4	20,370	0,410	4,3	10.488	4	23,500	3,540	729,75
13:21	5	20,435	0,475	4,3	9.053	5	23,455	3,495	584,00
13:22	6	20,495	0,535	4,3	8.037	6	23,411	3,451	486,83
13:24	8	20,580	0,620	4,3	6.935	8	23,330	3,370	365,37
13:26	10	-	-	4,3	-	10	23,262	3,302	292,50
13:28	12	-	-	4,3	-	12	23,204	3,244	243,92
13:31	15	-	-	4,3	-	15	23,130	3,170	195,33
troca ní	21	20,915	0,955	4,3	4.503	20	23,035	3,075	146,75
13:41	25	20,980	1,020	4,3	4.216	25	22,960	3,000	117,60
13:46	30	21,040	1,080	4,3	3.981	30	22,900	2,940	98,17
13:56	40	21,141	1,181	4,3	3.641	40	22,802	2,842	73,87
14:06	50	21,268	1,308	4,3	3.287	50	22,720	2,760	59,30
14:16	60	21,301	1,341	4,3	3.207	60	22,656	2,696	49,58
14:26	70	21,375	1,415	4,3	3.039	70	22,595	2,635	42,64
14:36	80	21,405	1,445	4,3	2.976	80	22,540	2,580	37,44
14:56	100	21,497	1,537	4,3	2.798	100	22,444	2,484	30,15
15:16	120	21,573	1,613	4,3	2.666	120	22,365	2,405	25,29
15:46	150	21,666	1,706	4,3	2.521	150	22,268	2,308	20,43
16:16	180	21,753	1,793	4,3	2.398	180	22,175	2,215	17,19
17:16	240	21,893	1,933	4,3	2.225	240	22,032	2,072	13,14
18:16	300	22,039	2,079	4,3	2.068	300	21,930	1,970	10,72
19:16	360	22,131	2,171	4,3	1.981	360	21,865	1,905	9,10
20:16	420	22,225	2,265	4,3	1.898	420	21,763	1,803	7,94
21:16	480	22,305	2,345	4,3	1.834	480	21,700	1,740	7,07
22:16	540	22,380	2,420	4,3	1.777	540	21,640	1,680	6,40
23:16	600	22,445	2,485	4,3	1.730	600	21,575	1,615	5,86
24:16	660	22,558	2,598	4,3	1.655	660	21,520	1,560	5,42
01:16	720	22,572	2,612	4,3	1.646	720	21,472	1,512	5,05
03:16	840	22,680	2,700	4,3	1.593	840	21,402	1,442	4,47
05:16	960	22,772	2,812	4,3	1.529	960	21,327	1,367	4,04
07:16	1080	23,840	3,880	4,3	1.493	1080	21,275	1,315	3,70
09:16	1200	22,920	2,960	4,3	1.453	1200	21,236	1,276	3,43
11:16	1320	22,985	3,025	4,3	1.421	1320	21,170	1,210	3,21
13:16	1440	23,049	3,089	4,3	1.392	1440	21,123	1,163	3,02

POÇO BOMBEADO: PB	PROF. (m): 89 5	Q (m³/h): 4,3
POÇO OBSERV: Pz 2-2	R (m): 10	AQUÍFERO: Barreiras
LOCAL: Marinheiros	MUNIC./ESTADO: Itapipoca/CE	EXECUTOR: FUNCEME
TEMPO BOMB.: 2.915	NE (m): 19,860	ND (m): 23,33
CRIVO BOMBA (m): 66	INÍCIO: 26/06/96	TÉRMINO: 28/06/96

HORA	REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
	t (min)	ND (m)	Sw (m)	Q (m ³ /h)	Q/Sw (m ³ /h/m)	t' (min)	ND (m)	Sw (m)	tb/t' + 1
13:17	1	19,889	0,029	4,3	148,276	1	23,278	3,418	2.916,00
13:18	2	19,945	0,085	4,3	50,588	2	23,248	3,338	1.458,50
13:19	3	19,998	0,138	4,3	31,159	3	23,225	3,365	972,67
13:20	4	20,054	0,194	4,3	22,165	4	23,200	3,340	729,75
13:21	5	20,107	0,247	4,3	17,409	5	23,174	3,314	584,00
13:22	6	20,150	0,290	4,3	14,828	6	23,152	3,292	486,83
13:24	8	20,226	0,366	4,3	11,749	8	23,075	3,215	365,37
13:26	10	20,294	0,434	4,3	9,908	10	23,024	3,164	292,50
13:28	12	20,358	0,498	4,3	8,635	12	22,969	3,109	243,92
13:31	15	20,432	0,572	4,3	7,517	15	22,900	3,040	195,33
13:36	20	20,541	0,681	4,3	6,314	20	22,806	2,946	146,75
13:41	25	20,625	0,765	4,3	5,621	25	22,730	2,870	117,60
13:46	30	20,698	0,838	4,3	5,131	30	22,663	2,803	98,17
13:56	40	20,813	0,953	4,3	4,512	40	22,568	2,708	73,87
14:06	50	20,908	1,048	4,3	4,103	50	22,485	2,625	59,30
14:16	60	20,983	1,123	4,3	3,829	60	22,415	2,555	49,58
14:26	70	21,051	1,191	4,3	3,610	70	22,355	2,495	42,64
14:36	80	21,114	1,254	4,3	3,429	80	22,296	2,436	37,44
14:56	100	21,224	1,364	4,3	3,152	100	22,196	2,336	30,15
15:16	120	21,307	1,447	4,3	2,972	120	22,123	2,263	25,29
15:46	150	21,422	1,562	4,3	2,753	150	22,015	2,155	20,43
16:16	180	21,520	1,660	4,3	2,590	180	21,938	2,078	17,19
17:16	240	21,680	1,820	4,3	2,363	240	21,798	1,938	13,14
18:16	300	21,825	1,965	4,3	2,188	300	21,687	1,827	10,72
19:16	360	21,928	2,068	4,3	2,079	360	21,665	1,805	9,10
20:16	420	22,015	2,155	4,3	1,995	420	21,454	1,594	7,94
21:16	480	22,100	2,240	4,3	1,920	480	21,485	1,625	7,07
22:16	540	22,170	2,310	4,3	1,861	540	21,400	1,540	6,40
23:16	600	22,260	2,400	4,3	1,792	600	21,344	1,484	5,86
00:16	660	22,304	2,444	4,3	1,759	660	21,288	1,428	5,42
01:16	720	22,361	2,501	4,3	1,719	720	21,232	1,372	5,05
03:16	840	22,450	2,590	4,3	1,660	840	21,175	1,315	4,47
05:16	960	22,535	2,675	4,3	1,607	960	21,096	1,236	4,04
07:16	1080	22,615	2,755	4,3	1,561	1080	21,045	1,185	3,70
09:16	1200	22,692	2,832	4,3	1,518	1200	21,000	1,140	3,43
11:16	1320	22,760	2,900	4,3	1,483	1320	20,955	1,095	3,21
13:16	1440	22,810	2,950	4,3	1,458	1440	20,910	1,050	3,02

Anexo B

GEOPROCESSAMENTO

000150



Foto 1.1 - Vista geral do local do teste de bombeamento na Vila dos Prascianos. Em primeiro plano pode-se ver o poço principal e o aferidor de vazão. Presente estão também técnicos de outras instituições (CPRM, DNPM, etc...).



Foto 1.2 - Vista, em primeiro plano, do piezômetro PZ-1 e, ao fundo, o poço principal.



Foto 1.3 - Realização de medidas no piezômetro multinível na Vila dos Prascianos.

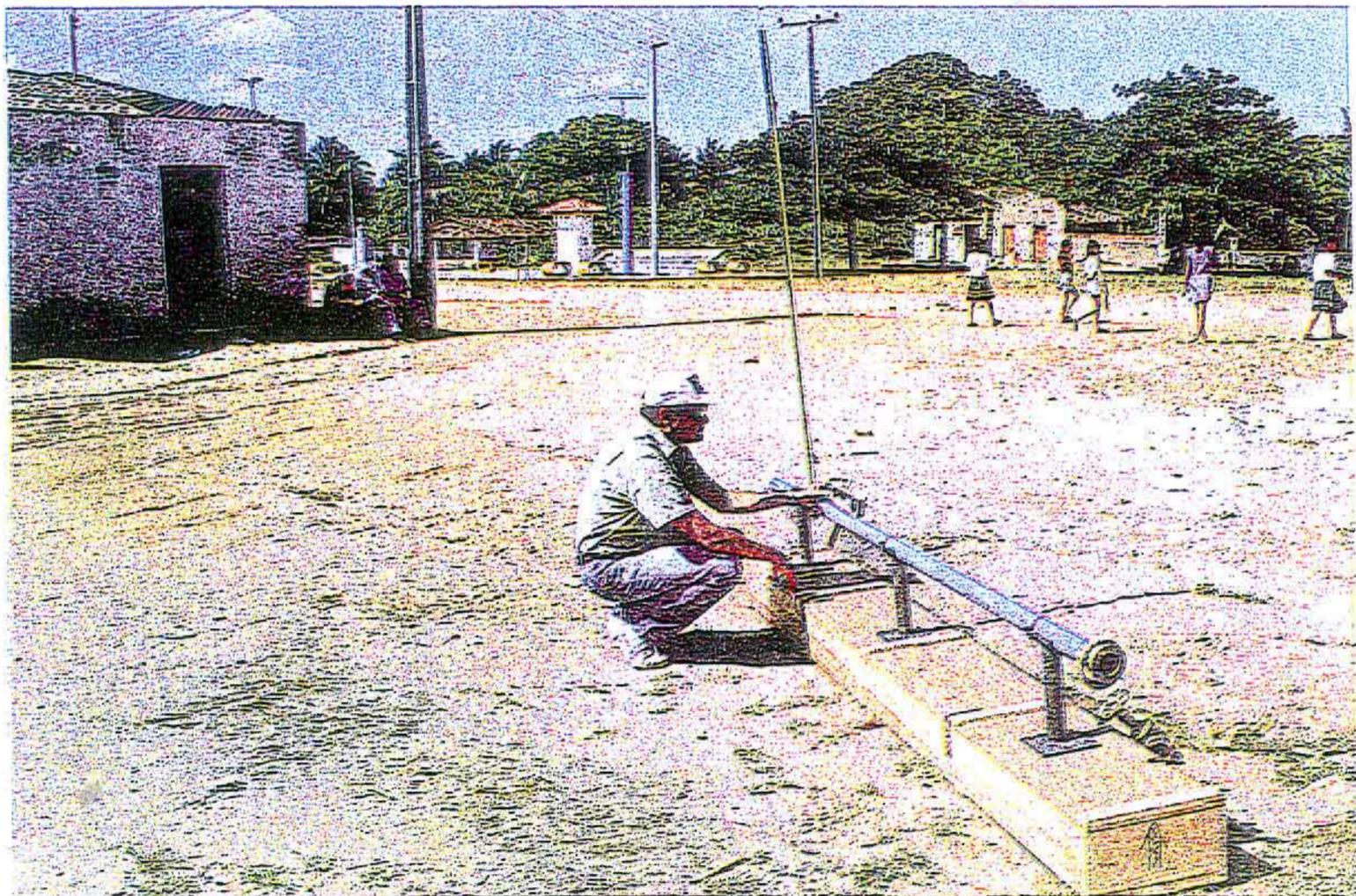


Foto 1.4 - Medidor de vazão de orifício circular

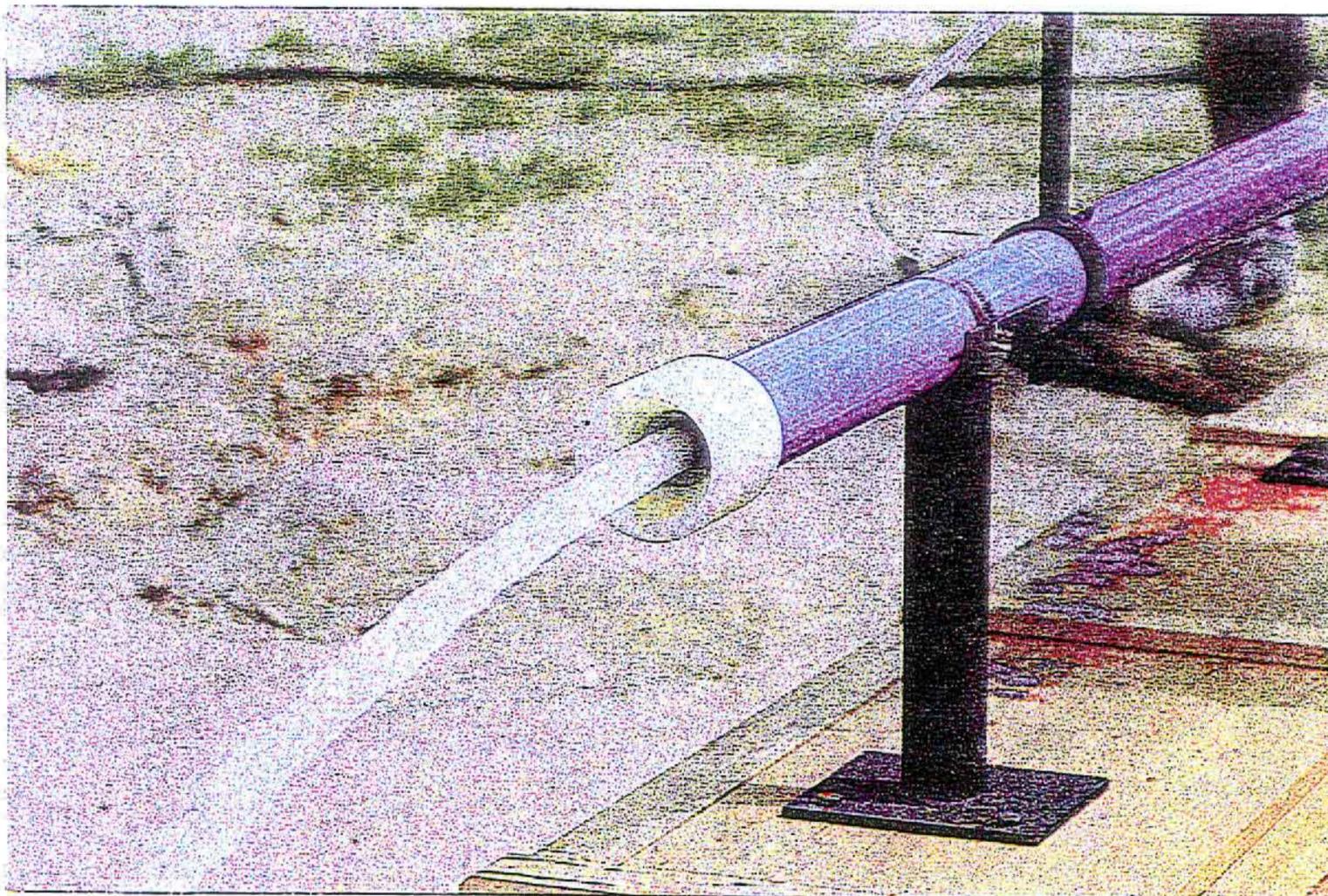
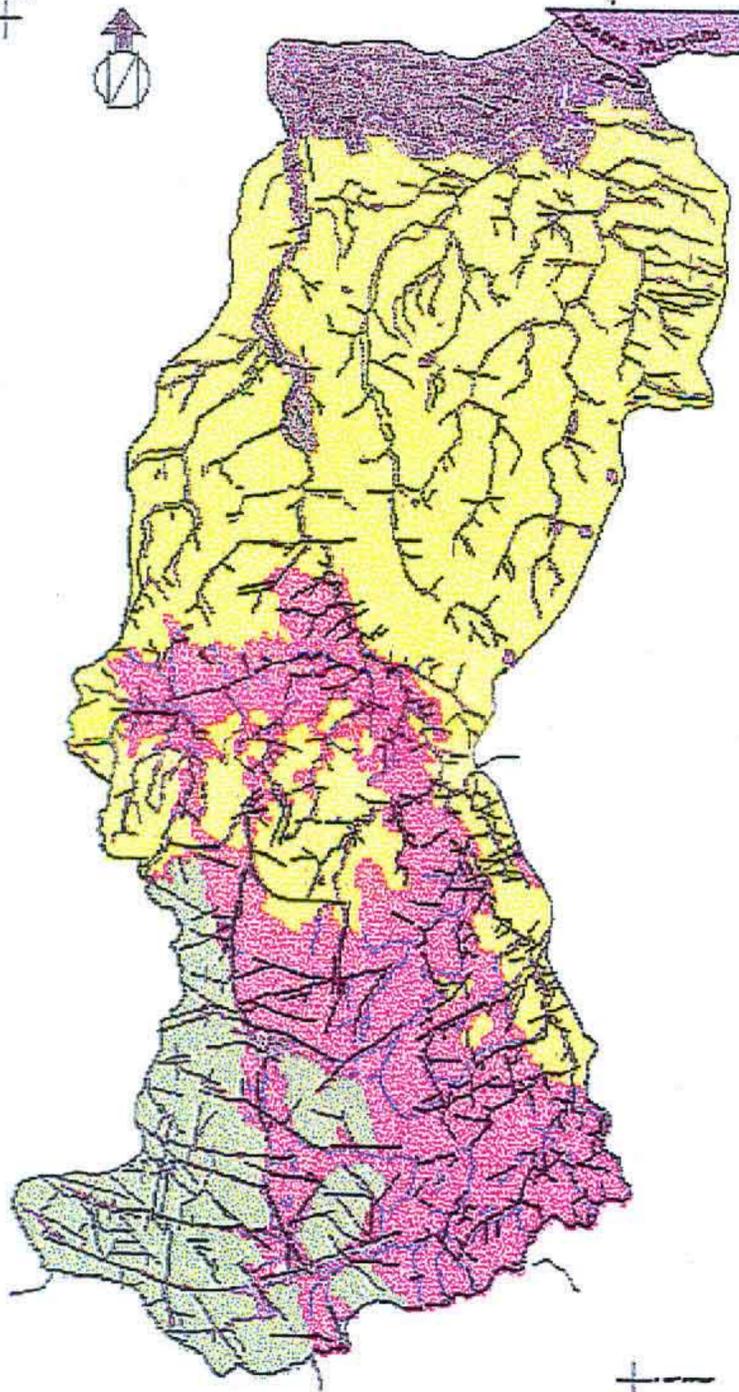
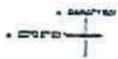


Foto 1.5 - Medidor de vazão de orifício circular (detalhe)



BACIA DO RIO MUNDALU - CE

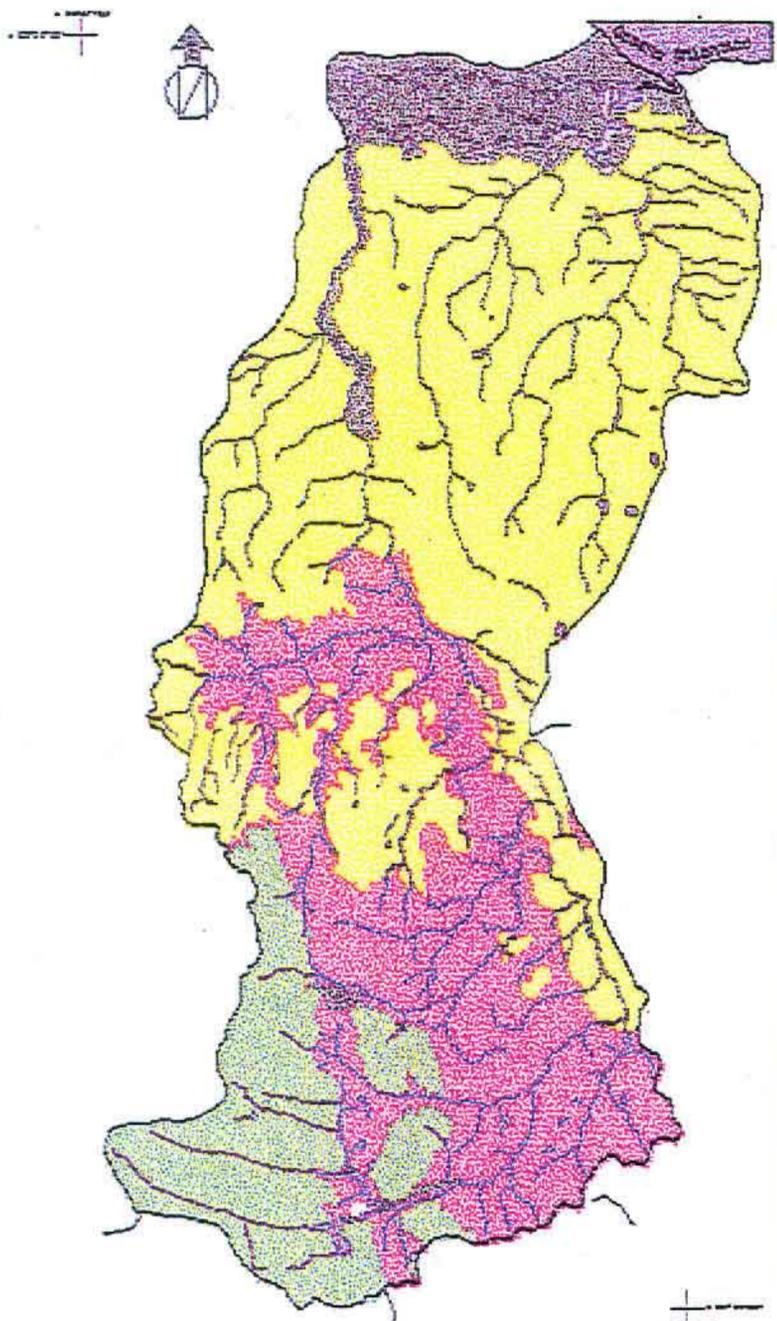
MAPA DE FOTOLINEAMENTOS

SINIS CONVENCIONAIS

- DEBENHA
- RUDE E LAGONS
- CIDADE
- ESTRADA
- FOTOLINEAMENTOS
- LENGE ADMINISTRATIVO

COLUNA CRONOLITOESTRATIGRAFICA

UNIDADE GEOGRAFICA	UNIDADE LITOLOGICA	INDICES	LITOLOGIA	
CENOZOICA	BARTEIRAZO	<ul style="list-style-type: none"> o1c o2c o3c 	<ul style="list-style-type: none"> Aluviais o1c, o2c e o3c - Dunas Moais/fixas 	<ul style="list-style-type: none"> Areias Quartzosas Areias e sedimentos fluvio-marinho e marinhos
	TIREMAZ	TIc	<ul style="list-style-type: none"> Tubi-Grupo Barreiras Induzido 	<ul style="list-style-type: none"> Conchas arenitas argilosas
PALEOZOICA	CIMBRIANO	PET	PSY - Granulitos	Rochas de composicao granitica e granodioritica
PRE-CAMBRIANO	NOO	PIc	Alta-Lowland	Granitos
DIFFERENCIADO			Isotopico	Migmatitos e gnaisses diversos

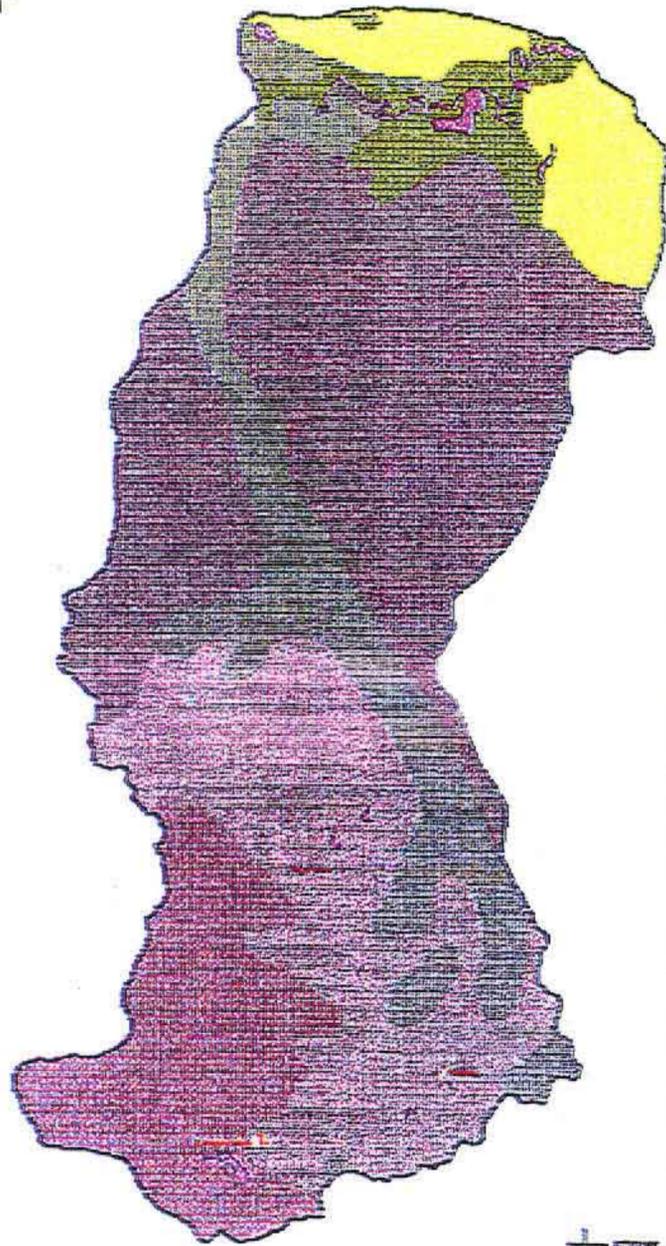


BACIA DO RIO MUNDAU - CE

MAPA DE GEOLOGIA

COLUNA CRONOLITOESTRATIGRAFICA

UNIDADES GEOCRONOLÓGICAS		CONVENÇÕES LITOESTRATIGRÁFICAS	UNIDADES	LITOLÓGIAS
CENOZOICA	QUATERNÁRIO		Qh - Aluviões Qm - QHE e Qf - Dunas Noveis/Fixas	Areias Quartzosas Argilas e sedimen- tos fluvio-marinho e marinhos
	TERCIÁRIO	Teb1	Teb1 - Grupo Barreiras Indiviso	Conglomerados Arenitos Argilosos
PALEOZOICA	CAMBRIANO	PSY	PSY - Grani- toides	Rochas de composi- ção granítica e granodiorítica
PRE-CAMBRIANO NÃO DIFERENCIADO		PEb	PEb - Complexo Tanberil Santa Quitéria	Granitos Migmatitos e gnaiesses diversos

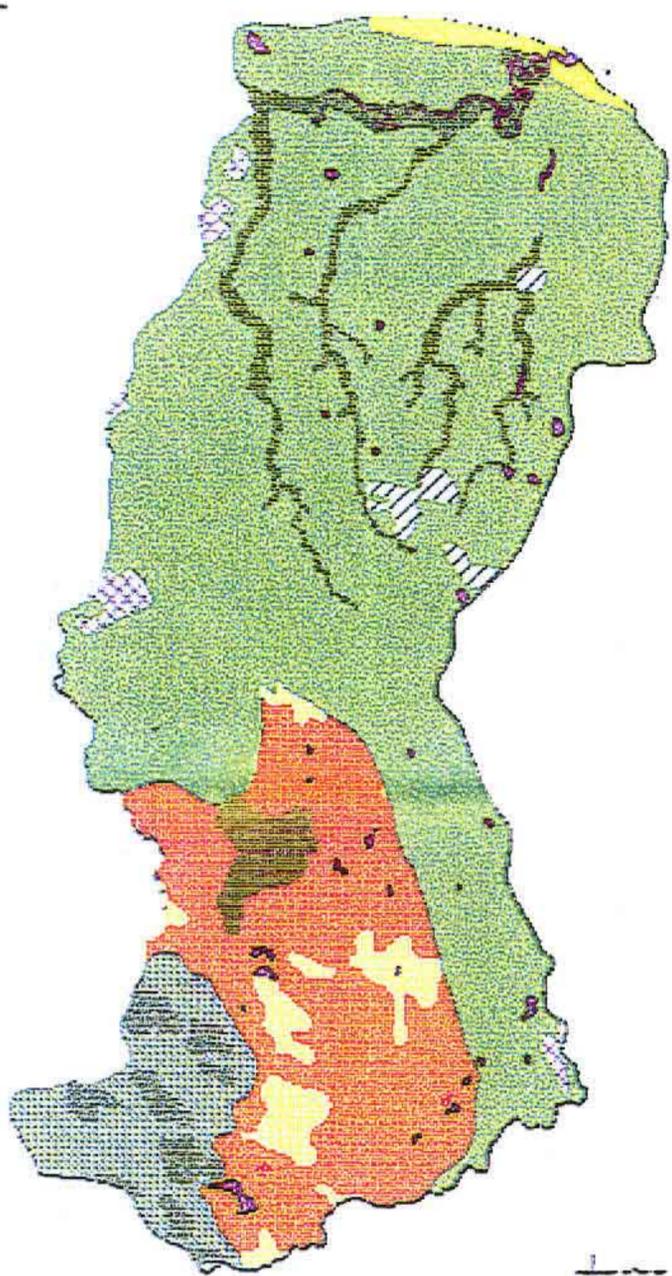


MINISTERIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA - MCT
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARA
 SECRETARIA DE CIENCIA E TECNOLOGIA-SECTEC
 PROJETO - ESTUDOS INTEGRADOS DA BACIA
 HIDROGRAFICA DO RIO MUNDAU

MAPA DE SOLOS

LEGENDA

-  Areias Quartzosas Distroficas marinhas
-  Solos Indiscriminados de Mangue
-  Solochak
-  Planossolo Solodico
-  Podzolitico Vermelho-Amarelo Distrofico
-  Podzolitico Vermelho-Amarelo
-  Podzolitico Vermelho-Amarelo Eutrofico
-  Area Urbana
-  Agua



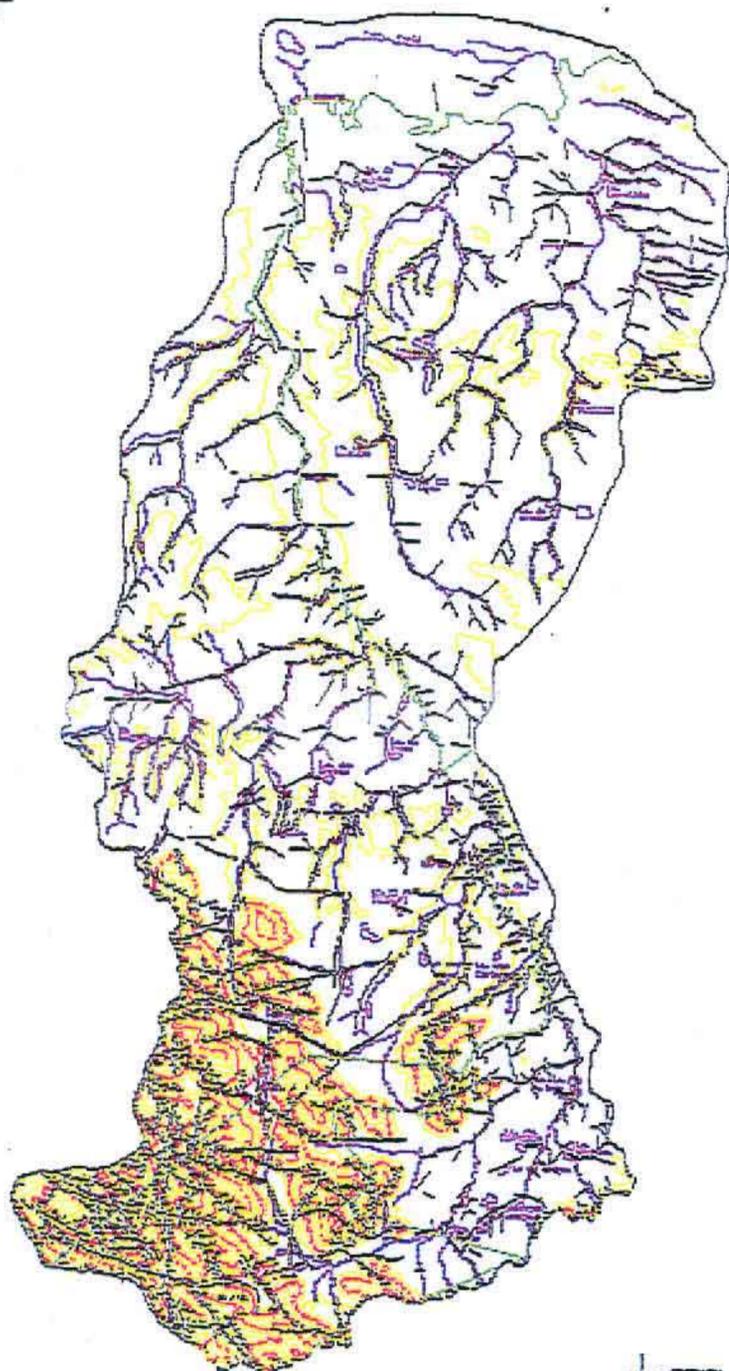
MINISTERIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA - MCT
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARA
 SECRETARIA DE CIENCIA E TECNOLOGIA-SECITEDE
 PROJETO - ESTUDOS INTEGRADOS DA BACIA
 HIDROGRAFICA DO RIO NUNDAU

MAPA DE VEGETACAO

LEGENDA

-  Mangue
-  Dunas
-  Vegetacao de Tabuleiro
-  Caatinga Arbustiva Aberta
-  Caatinga Arbustiva Densa
-  Caatinga Arborea
-  Floresta Umida Aberta
-  Floresta Umida Densa
-  Mata Ciliar
-  Agua
-  Area Urbana
-  Pouco densa
-  Densa





MINISTERIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA - MCT

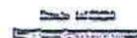


GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DE CIENCIA E TECNOLOGIA-SECITECE



PROJETO - ESTUDOS INTEGRADOS DA BACIA
HIDROGRAFICA DO RIO MUNDAU



MAPA PLANIALTIMETRICO

SINAIS CONVENCIONAIS

DRENAGEM



ACUDE E LAGOAS



CIDADE



ESTRADA



FOTOLINEAMENTOS



LIMITE ADMINISTRATIVO



CURVA DE NIVEL

