

2438

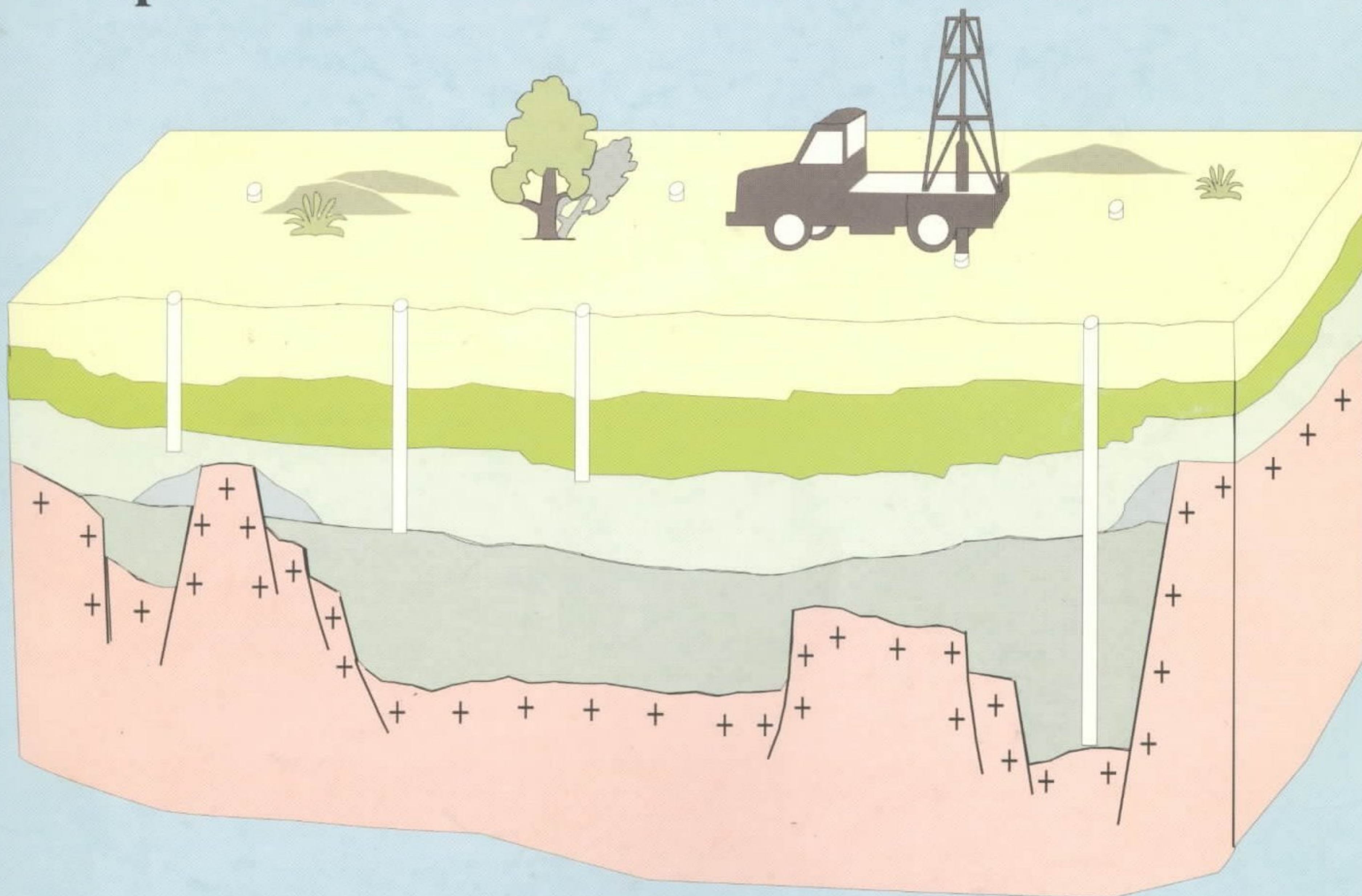
S

**PROGRAMA DE
ÁGUA SUBTERRÂNEA
PARA A
REGIÃO NORDESTE**



A EXPLOTAÇÃO DO AQÜÍFERO AÇU NA REGIÃO DE MOSSORÓ - RN

**Caracterização da Situação Atual e
Perspectivas de Atendimento da Demanda Futura**



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Raimundo Mendes de Brito
Ministro de Estado

Geovanni Toniatti
Secretaria de Minas e Metalurgia



Carlos Oití Berbert
Presidente

Idelmar da Cunha Barbosa
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Juarez Milmann Martins
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Augusto Wagner Padilha Martins
Diretor de Administração e Finanças

Gil Pereira de Souza Azevedo
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Frederico Cláudio Peixinho
Chefe do Departamento de Hidrologia

Humberto José T. R. de Albuquerque
Chefe da Divisão de Hidrogeologia e Exploração

Marcelo Soares Bezerra
Superintendente Regional de Recife

Thales de Queiroz Sampaio
Chefe da Residência de Fortaleza

PROGRAMA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA A REGIÃO NORDESTE



**A EXPLOTAÇÃO DO AQUÍFERO AÇU
NA REGIÃO DE MOSSORÓ - RN
Caracterização da Situação Atual e
Perspectivas de Atendimento da Demanda Futura**

Edilton Carneiro Feitosa

PHL
014426
2007

**SÉRIE HIDROGEOLOGIA
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
Volume 01**

 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil

ATEPE/LABHID/UFPE

**BRASÍLIA
1996**

COLABORADORES

Adib Leal da Conceição (SUREG-BE)
André Luiz Mussel Monsores (CPRM - Estag.)
Eduardo Araújo Monteiro (SUREG-MA)
Expedito Jorge de Souza Costa (SUREG-BE)
Felicíssimo Melo (REFO-CE)
Francisco C.L. Correia Filho (RESTE-PI)
Ivo Figueirôa (SUREG-RE)
João José Santos Costa (SUREG-SA)
João Olímpio de Souza (SUREG-GO)
Luiz Henrique M. Pereira (SUREG-SA)
Manoel Julio da T.G. Galvão (CPRM - Estag.)
Oderson Antônio de S. Filho (REFO-CE)
Paulo Roberto C. Morais (REPO-PV)
Roque Mauro Eckert (SUREG-PA)
Saulo de Tarso M. Pires (SUREG-RE)
Simeones Neri Pereira (SUREG-RE)
Vanderlei Antônio de Araújo (SUREG-GO)
Yoshitada Horikawa (SUREG-SP)

Convidados: Edmilson de Souza Rosa (EMATER-PE)
José Henrique A. Moita (UESPI-PI)

O presente trabalho corresponde ao relatório final integrado, previsto no programa do 2º Curso de Tecnologia Hidrogeológica Aplicada, realizado de 04.09 a 12.12.95.

Supervisão: Departamento de Exploração - DEXPO

Execução: Superintendência Regional de Recife

Coordenação Técnica: Edilton Carneiro Feitosa - ATEPE/LABHID/UFPE

Coordenação Geral: Albert Mente (Consultor)

Editoração eletrônica: José Alberto Ribeiro

Digitação: Maria Ednir de Vasconcelos Moura

Revisão do texto: Homero Coelho Benevides

Coordenação Editorial a cargo do
Serviço de Edição Regional - SER/REFO da
Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento

FEITOSA, Edilton Carneiro

Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste. A Exploração do Aquífero Açú na Região de Mossoró, RN - Caracterização da Situação Atual e Perspectivas de Atendimento da Demanda Futura. Brasília: CPRM, 1996 (Série Hidrogeologia: Pesquisa e Desenvolvimento, 1)
44 p. il

1. Hidrogeologia - Aquífero Açú. 2. Mossoró - Água Subterrânea. I. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. II. Título. III. Série.

CDD:

CDV: 5556.332.2

1. INTRODUÇÃO	1
2. ANTECEDENTES	3
3. OBJETIVOS DO ESTUDO	7
4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA E GENERALIDADES	9
5. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA	11
6. METODOLOGIA ADOTADA E SERVIÇOS REALIZADOS	13
7. ANÁLISE CRÍTICA DOS DADOS LEVANTADOS	15
8. AVALIAÇÃO DAS CONSTANTES HIDRODINÂMICAS	17
8.1. Modelo SUPES - Inversão Critério Poço	17
8.2. Modelo SUPES - Inversão Critério Bateria	21
9. PIEZOMETRIA REGIONAL	23
10. PREVISÃO DE NÍVEIS DINÂMICOS - MODELO BALTEX	25
11. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS POSSIBILIDADES DE DRENANÇA	29
11.1. Argumentos a Favor da Drenança	29
11.2. Argumentos Contra a Drenança	32
11.3. Postura Assumida no Presente Documento	32
12. O PROBLEMA DO ÓLEO EM MOSSORÓ	35
13. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	37
14. BIBLIOGRAFIA	43
15. ANEXOS	
15.1. Resultados do SUPES - Critério Poço	
15.2. Resultados do SUPES - Critério Bateria	
15.3. Perfis Geológicos	
15.4. Resultados de BALTEX	
15.5. Mapa de Transmissividades	
15.6. Piezometria Observada	
15.7. Piezometria Teórica	

1. INTRODUÇÃO

O presente documento constitui um relatório de integração dos trabalhos realizados pela CPRM na região de Mossoró, na fase denominada de estágio de campo, do 2º Curso de Tecnologia Hidrogeológica Aplicada, objeto do contrato nº 058/PR/95 CPRM/ATEPE.

A escolha da região de Mossoró para a realização do trabalho/treinamento dos alunos do curso, prendeu-se a três fatores:

- * A intensa e desordenada captação do aquífero Açú, hoje em curso;
- * A existência de uma boa estrutura da CPRM em Mossoró, o que facilitaria grandemente, como realmente aconteceu, as operações de campo.
- * O coordenador técnico dos trabalhos, autor do presente documento, vinha já realizando estudos hidrogeológicos na região, o que permitiria otimizar a programação do estudo/treinamento, no sentido de maximizar o aprendizado dos colegas alunos.

Queremos expressar, na oportunidade, nossos agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

- * Ao Superintendente da SUREG-RE, Dr. João de Castro Mascarenhas, pelo apoio às nossas sugestões, pelo empenho na concretiza-

ção do estudo e sobretudo pela confiança em nós depositada.

- * Ao Dr. Albert Mente, Coordenador Geral do 2º Curso de Tecnologia Hidrogeológica Aplicada, pelo enriquecimento técnico e pessoal que nos propiciou sua convivência e, sobretudo, pelas intervenções equilibradas e acertadas nos momentos certos.
- * Aos engenheiros de minas e colegas José Ubaldo de Sá e Josias Barbosa de Lima, o primeiro pelos dados de poços obtidos do programa SIAGAS e pela grande ajuda nos trabalhos de campo; o segundo pelo SIAGAS em si e pelo apoio computacional.
- * À UFPE nas pessoas do Prof. Antônio Carlos Maranhão de Aguiar, Diretor Presidente da ATEPE e do Prof. José Carlos da Silva Oliveira, Chefe do Departamento de Engenharia de Minas, pelo apoio administrativo e pela autorização para nosso afastamento durante o período do curso.
- * A todos os funcionários da CPRM que contribuíram para a realização do estudo, com uma menção especial à Ilmar Carneiro de Souza, pela eficiência diariamente demonstrada no apoio logístico.

* Aos colegas participantes do treinamento, pelo raro espírito de equipe e pelo excelente trabalho realizado, tanto no campo como no escritório. Queremos expressar nosso respeito e admiração por essa ótima equipe de profissionais, relacionados a seguir:

* Às diretorias da CAERN, Azevedo Travassos, MAISA, COPAM, Agrícola Cajazeiras e fazenda São João, pela acolhida dispensada aos técnicos da CPRM e pelo fornecimento de importantes informações, muitas vezes inéditas, de seus arquivos técnicos.

2. ANTECEDENTES

A cidade de Mossoró, no Rio Grande do Norte, situa-se na porção oeste da bacia Potiguar, 250 km a oeste de Natal, em pleno domínio de ocorrência da Formação Jandaíra. Embora banhada pelo rio Mossoró (ou rio Apodi), a litologia dominante (calcários sedimentares cretácicos) bem como as feições morfológicas dela decorrentes (extensas planícies suavemente onduladas), não favorecem a construção de reservatórios de regularização. Em face dessas características, a fonte de suprimento hídrico da cidade vem sendo, historicamente, mananciais subterrâneos.

O primeiro sistema de abastecimento público de Mossoró foi inaugurado em 1955, tendo sido construído pelo escritório Saturnino de Brito. Sua operação fica a cargo dessa mesma empresa, mediante convênio com a prefeitura municipal e o governo do estado. De início, o manancial utilizado eram águas subsuperficiais das aluviões do rio Apodi, captadas através de 11 poços (provavelmente cacimbões), construídos em suas margens. Nas estiagens, entretanto, diminuía a capacidade de produção das unidades construídas de modo que se passou a utilizar como reforço as águas dos calcários Jandaíra, através de poços tubulares mais profundos. A alta dureza da água deste novo manancial tornou necessária a instalação de uma estação de tratamento (filtros de zeólitos) de operação e manutenção excessivamente caras.

Decorridos dez anos a já então crônica insuficiência qualitativa e quantitativa do sistema, levou a municipalidade a trans-

ferir sua exploração, em 1965, à Companhia de Águas e Esgotos do Nordeste - CAENE, hoje inexistente, que era então uma subsidiária da SUDENE, criada com o objetivo de catalisar na região o desenvolvimento do saneamento básico. Uma das primeiras ações dessa subsidiária, à frente do sistema de abastecimento público de Mossoró, foi a contratação da Companhia de Sondagens e Perfurações do Nordeste - CONESP, outra subsidiária da SUDENE, para tentar pela primeira vez alcançar e testar os arenitos da Formação Açú, esperados a grandes profundidades. A entrada da CAENE em cena pode ser considerada, portanto, como o marco do início dos estudos do hoje denominado aquífero Açú, na região de Mossoró.

O poço pioneiro da CONESP foi perfurado à percussão nas vizinhanças do açude do Saco, cerca de 5 km a SSW da cidade de Mossoró, tendo atravessado 300 metros de calcários da Formação Jandaíra e penetrado 127 metros nas argilas, folhelhos e siltitos da Formação Açú Superior. Não foi possível prosseguir além dos 427 metros por deficiência do equipamento utilizado, de modo que esta primeira tentativa de alcançar os arenitos aquíferos da Formação Açú não obteve sucesso. Digno de nota, entretanto, é o registro de indícios de óleo no intervalo entre 320 e 340 metros de profundidade. Nesta mesma época, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS e o governo do estado do Rio Grande do Norte, este último através da sua Companhia de Águas e Solos - CASOL, também fracassaram na tentativa de alcançar os arenitos Açú com sondas per-

cussoras. O poço perfurado pela CASOL chegou a atingir a profundidade de 700 metros, tendo também registrado indícios de óleo.

Embora o objetivo imediato das tentativas acima citadas, ou seja, abastecer Mossoró, não tenha sido alcançado, a descoberta dos indícios de óleo representou um saldo altamente positivo, na medida em que serviu para atizar vivamente o interesse do Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Este, com efeito, havia iniciado nessa época um programa de perfurações na bacia Potiguar, tendo já concluído, até meados de 1966, quatro poços captando os arenitos Açú na porção oriental, mais rasa, da bacia (Carnaubais, Baixa do Meio, Trincheiras e Valbert Pereira). Na expectativa de descobrir petróleo, o DNPM deslocou sua Failling Holemaster 2.500 para Mossoró. O primeiro poço profundo nos arenitos Açú, com 931 metros de profundidade, foi concluído em 22.03.67 na fazenda Panela do Amaro, cerca de 12 km a WSW da cidade, tendo sido locado pela Petrobrás para testar provável estrutura favorável para óleo, por ela mapeada. Não se descobriu petróleo com este poço mas, sim, água boa e em grande quantidade, o que levou o DNPM a perfurar três novos poços na zona urbana de Mossoró, no período compreendido entre 20.05.67 e 09.06.68, com o objetivo de abastecer a cidade. O primeiro desses três poços, chamado naturalmente de P-1, foi designado de poço Costa e Silva, em homenagem ao então Presidente da República. O P-1, concluído no dia 12.08.67, foi perfurado até 908 metros e embora cortando 257 metros dos arenitos aquíferos, não foi totalmente penetrante como, aliás, os demais também não o foram.

A CAENE equipou os poços P-1 e P-2 e iniciou a operação dos mesmos em dezembro de 1967, desativando definiti-

vamente a antiga e precária fonte de abastecimento. Em dezembro de 1967, portanto data que assinala o início da exploração do aquífero Açú em Mossoró, já se podia falar na bateria de Mossoró, contando com três poços conforme abaixo indicado:

P-1	(Pres. Costa e Silva)
P-2	(Costa Cavalcanti)
P-3	(Moacyr Vasconcelos)

Os resultados obtidos com os poços acima foram considerados como altamente promissores, o que encorajou o DNPM a ampliar sua programação de perfurações na região, com o objetivo de esclarecer mais a estratigrafia e a hidrogeologia da bacia Potiguar, mantida agora em segundo plano a expectativa de encontrar novos indícios de hidrocarbonetos. Assim, foram perfurados, no período compreendido entre 06.06.68 e 01.09.71, sete novos poços na porção oeste da bacia Potiguar, os quais fogem aos objetivos mais imediatos desta nota. Desses novos poços, apenas um foi perfurado na zona urbana de Mossoró, destinado a abastecer a Escola Superior de Agricultura de Mossoró - ESAM. Este poço foi concluído em 16.07.69, passando a ser conhecido como o P-4 ESAM, o qual nunca foi integrado ao sistema de abastecimento da cidade.

A partir de 1971 sucederam-se as perfurações em Mossoró e áreas vizinhas, em função de um rápido crescimento demográfico e econômico, gerando demandas continuamente crescentes. Em 1986, por ocasião do nosso último contato com o problema⁽¹⁴⁾ a bateria de Mossoró contava com 21 poços bombeando uma descarga de 1.464 m³/h, a MAISA (Mossoró Agro-Industrial S/A) tinha cerca de 10 poços bombeando uma descarga que desconhecíamos e existiam também inúmeros outros

(14) Refer. Bibliog.

poços da CAERN e de usuários menores. Hoje, decorridos nove anos, o número de poços captando intensa e desordenadamente o aquífero Açú, é significativamente maior, como se verá adiante, caminhando para um regime de sobre-exploração o qual, persistindo, poderá comprometer a continuidade do suprimento d'água. O tema é portanto altamente relevante, exi-

gindo uma intervenção séria no sentido de minimizar o processo de exaustão ora em curso e maximizar, portanto, o alcance da exploração de água subterrânea na região. A CPRM, sensibilizada para esta questão, decidiu abordar o problema escolhendo a região de Mossoró para o treinamento prático dos alunos do 2º Curso de Tecnologia Hidrogeológica Aplicada.

4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA E GENERALIDADES

A área estudada tem formato bastante irregular e acha-se inserida entre os meridianos 37° 00' e 38° 00' WGr e os paralelos 04° 30' e 05° 30' S. Sua maior extensão é no sentido N-S, indo desde a cidade de Areia Branca-RN no litoral norte, até a cidade de Governador Dix-Sept Rosado-RN, sendo a cidade de Mossoró seu centro econômico.

O clima dominante é o semi-árido com regime de chuvas muito uniforme, sendo os meses de março e abril os mais chuvosos e os de setembro e outubro os de menores precipitações pluviométricas. A temperatura mantém-se normalmente elevada, com média anual em torno de 26 a 27 °C, e com baixa amplitude térmica (menos de 5 °C) entre o mês mais frio e o mais quente.

As atividades econômicas de maior importância na região estão representadas

pela extração do petróleo, agroindústria e extração de sal. A bacia Potiguar é considerada, atualmente, o maior campo produtor de petróleo, em terras emersas do Brasil.

A agroindústria é baseada na produção de polpas e sucos de frutas (caju, acerola, graviola, melão, manga etc.) e de castanha de caju, destinada principalmente ao mercado externo. Estas atividades desenvolvem-se em áreas irrigadas através da captação de água subterrânea, e tem na MAISA sua principal representante. A região norte da área é considerada o maior parque salineiro do país.

Existe em Mossoró uma incipiente indústria de turismo, resultante das águas termais extraídas através de um poço tubular profundo.

5. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

A bacia Potiguar, situada na região costeira norte do Rio Grande do Norte e Ceará, está inteiramente inserida no polígono das secas e ocupa uma área de aproximadamente 60.000 km², sendo 22.500 emersos.

Está limitada a NW pelo alto de Fortaleza, constituído por rochas do embasamento cristalino; a NE pelo alto de Touros, recoberto pelos sedimentos da Formação Barreiras; a N pelo oceano Atlântico; e a S pelas rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino.

O interesse pela bacia Potiguar, segundo SAMPAIO & SCHALLER (1968), teve início no século passado com BURLAMAQUI (1885) e WRITE (1887). Posteriormente foram realizados diversos trabalhos na região destacando-se os trabalhos de OLIVEIRA & LEONARDOS (1943) que denominaram de Grupo Apodi os sedimentos que constituem a bacia; e KREIDLER (1949) que dividiu o pacote em arenito Açú (na base) e calcário Jandaíra (no topo). Nas décadas de 60 e 70 a SUDENE desenvolveu alguns estudos^(1,2,4) que muito contribuíram para o conhecimento da geologia da bacia. A Petrobrás vem desenvolvendo a partir da década de 70, estudos geológicos e geofísicos, além da perfuração de muitos poços, sendo responsável pelo conhecimento geológico que se tem hoje da bacia.

Na área do presente trabalho ocorrem rochas terciárias da Formação Barreiras além das formações cretácicas acima citadas. Essas formações têm, resumidamente, as seguintes características:

Formação Barreiras: repousa discordantemente sobre a Formação Jandaíra, sendo constituída por depósitos clásticos, pouco consolidados, de granulação grosseira a argilosa. Sua composição mais frequente é uma mistura de argilas, siltes e areias, em proporções variáveis, com coloração predominantemente avermelhada.

Formação Jandaíra: caracteriza-se por carbonatos marinhos de águas rasas e agitadas. Ocorrem calcários clásticos e dolomíticos, calcilutitos bioclásticos, calcarenitos e calcilutitos com "bird eyes", indicativos de planície de maré. Estes sedimentos apresentam coloração predominantemente creme e cinza, são duros, finos, com intercalações de argilitos e com bancos ricamente fossilíferos (moluscos, algas verdes, briozoários e equinóides). Esta formação constitui um aquífero livre de circulação predominantemente cárstica e de espessura média de 250 a 300 metros. Suas águas apresentam sempre durezas superiores a 200 mg/l (CaCO₃), e às vezes são salgadas (concentração e sais entre 1 e 5 g/l), sendo nesses casos aproveitadas apenas para o consumo animal. Os sedimentos carbonatados da Formação Jandaíra são concordantes com os folhelhos e siltitos da Formação Açú Superior, sendo o contato gradativo.

(1,2,4) Refs. Bibliog.

Formação Açu: caracterizada por sedimentos clásticos em camadas relativamente espessas e de granulometria muito fina a conglomerática. É subdividida em dois membros sendo o superior de composição pelito-psamítica e o inferior essencialmente psamítico.

O membro superior tem espessura média em torno de 50 metros, sendo constituído no topo por folhelhos, argilitos e siltitos com intercalações de arenitos finos e raros bancos de calcários e margas, passando a arenitos finos a médios, argilosos, com intercalações de folhelhos e siltitos. Situam-se neste membro os reservatórios de hidrocarbonetos que tornam a região de

Mossoró a maior produtora de petróleo em área emersa, no Brasil

O membro inferior tem espessura média acima de 200 metros, apresentando na base arenitos grosseiros a conglomeráticos (seixos de quartzo de pequenos diâmetros), por vezes arcoseanos, mal selecionados, gradando na direção do topo para arenitos finos com delgadas intercalações de folhelhos e siltitos. Este membro constitui o denominado aquífero Açu, confinado entre o membro superior da Formação Açu e o embasamento cristalino. Suas águas são de ótima qualidade físico-química, sendo utilizadas para todos os fins.

6. METODOLOGIA ADOTADA E SERVIÇOS REALIZADOS

A metodologia adotada envolveu três etapas distintas, sendo uma inicial de escritório, uma de campo e uma etapa final de escritório. Essas etapas e os serviços nelas realizados são a seguir comentadas:

Etapa 1 - Escritório (09 a 11.11.95)

- * Levantamento bibliográfico, com ênfase na obtenção de informações de poços da região de Mossoró. O banco de dados da CPRM (SIAGAS) foi de fundamental importância nesta fase.
- * Plotação de todos os poços anotados em mapa topográfico, escala 1/100.000. Planejamento de uma visita de campo para fins de verificação do cadastramento existente e obtenção de informações específicas aos objetivos do estudo.

Etapa 2 - Visita de campo (12 a 25.11.95)

- * Visita a todos os poços obtidos do SIAGAS e cadastramento de novos poços, tanto no aquífero Açú (prioritários) como no Jandaíra (interesse secundário no momento). Obtenção ou confirmação das coordenadas UTM com o auxílio de GPS. Preenchimento de uma ficha específica, para cada poço, com dados sobre identificação da unidade, geologia/hidrogeologia, perfuração, instalação, operação e dados históricos de produção e níveis dinâmicos. Estes últimos podem ser considerados como o objetivo es-

sencial da visita de campo e, neste sentido, foram constatadas na própria região empresas governamentais (CAERN, CPRM, Petrobrás) e privadas (Azevedo Travassos, MAISA, COPAM, Agrícola Cajazeiras, fazenda São João etc.). Foi inventariado um total de 280 poços para água, sendo 99 no aquífero Açú, conforme mostrado na tabela a seguir:

QUADRO 1 - POÇOS PARA ÁGUA

AQUÍFERO / USUÁRIO		C/ DADOS	S/DADOS PÓS 94 AÇU SUP.	TOTAL	
FORM. AÇU	CAERN	35	-	35	9
	MAISA	20	-	20	
	F.S. JOÃO	4	-	4	
	INCRA	5	2	7	
	AG.CAJAZ	4	-	4	
	OUTROS	17	12	29	
AQ. JANDAÍRA		79	89	168	
DUVIDOSOS			13	13	
TOTAL		164	116	280	

- * Além dos 280 poços para água, acima indicados, foi anotada a existência de pelo menos 408 poços petrolíferos, conforme mostrado na tabela abaixo:

QUADRO 2 - POÇOS PETROLÍFEROS

CAMPO PETROLÍFERO	POÇO PRODUTOR	POÇO DE INJEÇÃO
Serraria	?	
Upanema	37	
Faz. Belém	321	
Riacho da Forquilha	18	
Baixa dos Algodões	21	
?		11
Total	397	11

Etapa 3 - Escritório (27.11 a 09.12.95)

* Manipulação e organização dos dados obtidos. As informações obtidas junto aos maiores usuários do aquífero Açu, CAERN e MAISA em particular, permitiram reconstituir na medida do possível o histórico de descargas e níveis dinâmicos em praticamente todos os poços, com um grau de confiabilidade aceitável.

* Tratamento dos dados em computador, utilizando modelos analíticos, com o objetivo de avaliar os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Açu e fazer previsões de níveis dinâmicos futuros. Esses modelos utilizam a linguagem Turbo-Basic, tendo sido desenvolvidos pelo LABHID/CTGEEP/UFPE. Sua utilização constitui a essência do trabalho realizado, sendo abordada detalhadamente nos itens 8 e 10 a seguir.

7. ANÁLISE CRÍTICA DOS DADOS LEVANTADOS

A montagem das séries históricas de descargas e níveis dinâmicos, como enfatizado no item 6 (Etapa 2), constituiu o objetivo essencial da fase de campo. Esta não foi uma tarefa fácil, uma vez que o monitoramento de poços ainda está longe de ser uma prática sistemática dos nossos usuários de água subterrânea. Assim, as informações são descontinuadas, muitas vezes pontuais, freqüentemente imprecisas ou, simplesmente, inexistentes. Julgamos importante discutir as dificuldades encontradas na reconstituição das séries históricas para que se possa, de um lado, avaliar suas confiabilidades e, de outro, enfatizar a importância do monitoramento de níveis e descargas.

A CAERN

A Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN pode ser considerada como o maior usuário do aquífero Açú na região de Mossoró (ver Quadro 1). Essa companhia tem mantido um controle da operação de seus poços que, embora muito distante do requerido, gerou o melhor e o mais confiável conjunto de dados da região. No que diz respeito às descargas, o preenchimento da série histórica admite os seguintes comentários:

* Período 68-74 (7 anos): Período inicial, sem qualquer informação, tendo sido o mais difícil de preencher. As descargas anuais por poço foram avaliadas em função da vazão horária conhecida e de informações disponíveis sobre a operação (regime de funcionamento, pa-

ralisações etc.). A bateria tinha um máximo de apenas oito poços em operação em 1974 e apenas dois em 68 e 69, o que deve minimizar o efeito de eventuais erros introduzidos.

* Período 75-80 (6 anos): Descargas globais da bateria medidas (somatório das descargas individuais dos poços). Essas descargas globais foram obtidas na sede da CAERN em Natal e separadas proporcionalmente por poço, em função das descargas horárias medidas ou inferidas.

* Período 81-85 (5 anos): Descargas mensais medidas sistematicamente por poço. Embora com algumas falhas e imprecisões ⁽¹⁴⁾, é o período mais confiável.

* Período 86-91 (6 anos): Idêntico ao período 75-80.

* Período 92-94 (3 anos): Descargas mensais medidas por poço, tendo sido entretanto necessário completar 6 meses em 92 e 5 meses em 93, onde não havia informações.

No que diz respeito aos níveis, as informações são rarefeitas, embora confiáveis. No período anterior a 1986 não existem registros, a menos de medições isoladas em testes de produção. Entre jan/81 e jan/86 a CAERN realizou medições men-

(14) Ref. Bibliog.

sais sistemáticas na bateria de Mossoró. A partir de jan/86 os níveis deixaram de ser medidos em função do crescente aprofundamento e, em consequência, da crescente dificuldade de operação dos medidores convencionais. Uma tentativa de instalar nos poços um sistema baseado em ar comprimido/manômetro, não foi levado adiante por falta de recursos financeiros. Foram realizadas, não obstante, medições convencionais em set/91, abr/92 e ago/95.

Bateria da MAISA e poços de outros usuários

Não se dispôs de descargas mensais medidas sistematicamente. As séries de descargas foram meticulosamente reconstituídas pela equipe CPRM a partir das des-

cargas horárias medidas ou nominais e dos regimes de operação. Foi levada em conta a variação sazonal das demandas das culturas irrigadas, bem como paralisações e desativações das unidades. É evidente que as séries obtidas são de confiabilidade muito inferior àquelas da CAERN. É evidente também, que erros incomparavelmente maiores seriam introduzidos ao não considerá-las no estudo.

Quanto aos níveis, foram utilizados freqüentemente níveis estáticos medidos durante o teste de produção, antes da entrada em operação da unidade. Esses níveis são muito confiáveis, representando no momento da medição o somatório das interferências de todos os outros poços. Registre-se uma interpolação de validade questionável feita no período 90-93 em alguns poços da MAISA.

8. AVALIAÇÃO DAS CONSTANTES HIDRODINÂMICAS

Considerando a série histórica disponível de descargas e níveis, simulou-se a operação de todos os poços, desde o início da exploração do aquífero até hoje. Esta simulação foi feita utilizando-se o modelo denominado de SUPES, com a finalidade de avaliar globalmente os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Açú.

O SUPES (SUPERposição de ESCoamento) é um modelo analítico de inversão que restitui os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero (transmissividade e coeficiente de armazenamento), reproduzindo o histórico de bombeamento de todos os poços da bateria e ajustando rebaixamentos teóricos aos rebaixamentos observados, através de um processo iterativo de aproximações sucessivas. Utiliza-se como critério de convergência o mínimo valor da soma dos quadrados das diferenças entre os rebaixamentos calculados e os observados. O aquífero Açú, no presente caso, foi considerado como confinado não drenante, homogêneo e isotrópico, sendo o cálculo dos rebaixamentos em presença de superposições de escoamento (vazões variáveis), efetuado através de séries de funções de Theis tais como a que vai exemplificada abaixo:

$$s = \frac{Q_0}{4\pi T} W(u_0) + \frac{\Delta Q_1}{4\pi T} W(u_1) + \frac{\Delta Q_2}{4\pi T} W(u_2) + \dots + \frac{\Delta Q_n}{4\pi T} W(u_n) \quad (1)$$

onde:

s = Rebaixamento ao final do tempo t_n .

Q_0 = Vazão constante do primeiro intervalo de tempo considerado. No caso presente os intervalos foram anos.

k = Índice que varia de 0 a n , sendo n igual ao número de intervalos menos um.

ΔQ_k = Diferença entre as vazões Q_k e Q_{k-1} tomada com seu sinal algébrico. Se $k = 0$ então $\Delta Q_0 = Q_0$

T = Transmissividade hidráulica do aquífero.

$U_k = (r_{i,j})^2 S / [aT(t_n - t_k)]$ sendo:

$r_{i,j}$ = Distância do poço bombeado i ao poço j onde se deseja conhecer o rebaixamento.

S = Coeficiente de armazenamento do aquífero.

t_n = Tempo total de bombeamento

t_k = Tempo final do k ésimo intervalo, sendo $t_0 = 0$, início da contagem dos tempos.

O modelo SUPES permite obter avaliações do par T, S segundo dois critérios distintos: (1) avaliação em cada poço da bateria; (2) uma avaliação única para toda a bateria. Esses dois critérios foram utilizados e serão discutidos nos itens 8.1 e 8.2 a seguir.

8.1 - Modelo SUPES - Inversão Critério Poço

Este processo de ajuste, por poço, conduz à obtenção de tantas transmissividades quantos são os poços da bateria com registro de rebaixamento. Nos cálculos destes últimos é mantida sempre, entre-

tanto, a condição básica de transmissividade e armazenamento do aquífero constantes, prevista na função analítica de Theis. O processo segue os seguintes passos:

- a) Calculam-se os rebaixamentos totais ($S_0+S_i+\Delta 4+J$) em todos os poços da bateria, utilizando-se um par T,S inicial introduzido. Preferencialmente, a razão T/S (difusividade hidráulica) deve ser previamente conhecida. Uma vez calculados os rebaixamentos, toma-se o primeiro poço e calcula-se aí a soma dos quadrados dos resíduos, de acordo com a expressão abaixo:

$$SQR = \sum_{k=0}^n (s_k - s^*_k)^2 \quad (2)$$

onde:

- n = tempo total de bombeamento menos um ou, o que é a mesma coisa, o número de intervalos menos um
 s_k = rebaixamento calculado no tempo k.
 s^*_k = rebaixamento observado no tempo k.
 Para s^*_k não observado, a rotina não considera s_k .

Como o par T,S inicial foi qualquer, a curva calculada geralmente não se ajusta bem à curva de campo, o que se traduz por um valor elevado da SQR, embora menor que o valor anterior, inicial, arbitrado em 1E30.

- b) Sendo o valor de SQR menor que o anterior, o par T,S utilizado é reajustado para repetir os cálculos. Considerando que nas funções analíticas de fluxo, tais como a equação de Theis, o rebaixamento varia na razão inversa da variação da transmissividade, para a condição de difusividade (T/S) constante, esta propriedade foi utilizada no reajuste da

transmissividade. Para tal, computa-se um fator de reajuste F abaixo definido:

$$F = \frac{\sum_{k=0}^n \left(\frac{s_{i,k}}{s^*_{i,k}} \right)}{n_i^*} \quad (3)$$

onde:

- n = tempo total de bombeamento menos um, ou, o que é a mesma coisa, o número de intervalos menos um.
 n^*_i = número de rebaixamentos observados no poço i considerado.
 $s_{i,k}$ = rebaixamento calculado no poço i e no tempo k.
 $s^*_{i,k}$ = rebaixamento observado no poço i e no tempo k
 Para $s^*_{i,k}$ não observado, a rotina não considera $s_{i,k}$.

A transmissividade é redefinida então, de acordo com a expressão abaixo:

$$T_{red} = T_{ant} \times F \quad (4)$$

Por outro lado considerando que a difusividade T/S do aquífero é mantida constante, o coeficiente de armazenamento é redefinido como:

$$S_{red} = T_{red} / (\text{difusividade}) \quad (5)$$

- d) O processo é então repetido a partir do item a, isto é, os rebaixamentos são novamente calculados em todos os poços da bateria, utilizando agora o novo par T_{red} , S_{red} . Uma nova SQR é obtida, a qual, sendo menor que a anterior, autorizará uma nova redefinição do par T,S e assim sucessivamente. As iterações continuam, com as SQR diminuindo até este parâmetro atingir um valor considerado mínimo. Neste momento considera-se que a curva de rebaixamentos

calculados está satisfatoriamente ajustada à curva de rebaixamentos observados no primeiro poço. O par T,S para o qual este ajuste ocorreu é considerado como representativo do aquífero, avaliado no primeiro poço mas levando em conta o bombeamento de todos os poços da bateria.

- e) Toma-se agora o segundo poço da bateria e repete-se o processo acima, ajustando uma curva de rebaixamentos calculados à curva de rebaixamentos observados deste segundo poço. O par T,S para o qual este ajuste ocorreu, é também considerado como representativo do aquífero, avaliado no segundo poço mas levando em conta o bombeamento de todos os poços de bateria. E assim, sucessivamente, até o último poço considerado no problema. Este procedimento constitui, em última análise, um gigantesco teste de aquífero, envolvendo praticamente todos os poços em operação ao longo de toda a história de bombeamentos da bateria.

Do acima exposto, percebe-se que teremos obtido ao final m pares T,S, sendo m o número de poços da bateria nos quais existem registros de rebaixamentos. Do ponto de vista teórico, em presença de um aquífero ideal homogêneo e isotrópico, obteríamos m pares T,S iguais, o que aliás foi confirmado em testes realizados com o modelo. Em presença de um aquífero real, é de se esperar naturalmente variações nos valores obtidos. A concepção de cálculo adotada no SUPES permite admitir que essas variações indicam efetivamente variações de transmissividade do aquífero, podendo entretanto incluir alguns valores anômalos, completamente falsos. Estes últimos ocorreram no presente estudo, ten-

do sido detectados e identificadas suas causas, como se verá a seguir.

Os resultados obtidos, mostrados no Anexo 15.1, mostram uma nítida variação nos valores dos pares T,S obtidos. Delineiam-se de sudeste para noroeste, com efeito, cinco faixas alinhadas grosseiramente NE-SW. Este zoneamento, mostrado no mapa do Anexo 15.5, admite os seguintes comentários:

- * A Faixa 1 compreende a quase totalidade da largura do *graben* de Boa Vista. Fica sugerida no extremo sudeste da área por valores de transmissividade provavelmente superiores a $14 \text{ hm}^2/\text{ano}$, sendo limitada a sul/sudeste pelo alto de Quixaba. O perfil geológico esboçado no Anexo 15.3 mostra, efetivamente, que o poço IN-3 (CIAGAS 40) tocou o embasamento cristalino a apenas 690 metros, evidenciando um desnível de 1.400 metros em relação ao poço CIAGAS 17, situado a apenas 4 km. O aquífero sofreu uma significativa redução de espessura sobre o alto de Quixaba e sua base foi alçada de cerca de 400 metros. Esta condição acarretou um sério comprometimento da continuidade lateral do meio poroso, o que ficou bem evidenciado na piezometria observada, como se verá adiante. Este comprometimento da continuidade lateral dificultou a propagação do cone de rebaixamento regional, amortecendo os rebaixamentos a sudeste da falha de Quixaba. As transmissividades de $24 \text{ hm}^2/\text{ano}$ e $20,5 \text{ hm}^2/\text{ano}$, avaliadas nos poços IN-3 e IN-4 são, assim, anômalas e muito superestimadas, não sendo certamente representativas do aquífero neste local.

* Praticamente todos os poços da bateria da CAERN em Mossoró mostraram-se fiéis à gama de 10 a 13 hm²/ano, caracterizando assim a Faixa 2, de valores inferiores a 14 hm²/ano. Se atentarmos aí mais acuradamente, entretanto, verificaremos que é possível individualizar uma zona de valores superiores a 12 hm²/ano na porção norte da cidade, ao passo que na porção sul/sudeste concentram-se valores inferiores a 12 hm²/ano. Ora, a cidade de Mossoró está situada na borda noroeste do *graben* de Boa Vista⁽¹⁷⁾, que se limita a norte/noroeste pela estrutura denominada de alto de Mossoró (Anexo 15.3). O aumento de transmissividade de sul/sudeste para norte/noroeste pode ser explicado pelo aumento de fração arenosa que deve ocorrer na direção do alto de Mossoró, condicionado pela maior energia deposicional que caracteriza as proximidades de falhamentos. O perfil mostrado no Anexo 15.3 tenta ilustrar esta situação, embora a configuração do alto de Mossoró seja especulativa por falta de informações mais específicas, só disponíveis na Petrobrás. Não podemos deixar de lembrar neste momento as palavras de Manassés Alves Bezerra, pioneiro dos estudos da bateria de Mossoró. Dizia Manassés em 1979, no relatório de conclusão do P-16 CAERN⁽⁹⁾:

“Sob o aspecto litológico têm-se indicações bem evidentes que no sentido do poço P-14 para o P-16 aumenta a porcentagem da fração mais fina no Arenito Açú Inferior...”

“... Fica desse modo comprovado que poços locados para norte da cidade de Mossoró devem apresentar melhor rendimento.”

E, nas conclusões:

“Uma comparação com os dois poços anteriores, acompanhados pela PLANAT, permitiu constatar duas tendências interessantes sobre a hidrogeologia da região: de sul para norte o aquífero utilizado mostra maior transmissividade e a água é menos mineralizada. Tal constatação sugere uma orientação sobre as futuras locações”.

- * É provável que as transmissividades tendam a ser menores sobre o alto de Mossoró em consequência de um menor teor de clásticos e/ou redução de espessura dos arenitos aquíferos.
- * A Faixa 3 aparenta ser bastante transmissiva, com valores de transmissividade freqüentemente superiores a 16 hm²/ano, mostrando um valor máximo de 27 hm²/ano no poço PEN 1. Poucos poços, relativamente, captam a zona de valores provavelmente superiores a 16 hm²/ano que desponta assim como atraente, em primeira aproximação, para futuras locações. Esta faixa parece estar associada a uma calha que bordeja o alto de Mossoró pelo seu lado noroeste. Nesta calha, os termos arenosos seriam mais desenvolvidos e, além disso, a espessura total da Formação Açú cresce indiscutivelmente na direção nordeste⁽¹⁷⁾. O alto valor de 27 hm²/ano, registrado no poço PEN-1, estaria associado à ocorrência de clásticos mais grosseiros nas vizinhanças do alto de Mossoró. As altas transmissividades obtidas em Baraúnas (BA-2 e BA-3) devem ser decorrentes de um efeito análogo àquele produzido pelo alto

(17) Ref. Bibliog.

(9) Ref. Bibliog.

(17) Ref. Bibliog.

de Quixaba. Esses valores sugerem a existência de um quebramento tal como indicado no mapa do Anexo 15.5, podendo ser descartados como anômalos, em face da reduzida espessura do aquífero (Anexo 15.3).

- * Os 21 poços da bateria da MAISA ocorrem de uma forma bem mais difusa, se comparados aos poços da bateria de Mossoró. Estão distribuídos entre as faixas 3, 4 e 5, exibindo assim transmissividades variando entre 17 e 7 hm²/ano. A partir da linha de isotransmissividade 16 para noroeste os valores decrescem de uma forma decidida e quase uniforme, em resposta à acentuada diminuição de espessura dos arenitos, na direção da borda noroeste da bacia.

Nos tópicos a seguir, teceremos algumas considerações importantes sobre o significado físico dos valores de transmissividade obtidos com o SUPES:

- * Os rebaixamentos observados nos poços situados nas faixas mais transmissivas tendem a ser maiores, em função do efeito de fronteira causado pelas faixas menos transmissivas adjacentes. As transmissividades ajustadas pelo SUPES tendem assim a ser menores que as reais.
- * Os rebaixamentos observados nos poços situados nas faixas menos transmissivas tendem a ser menores, em função do aparente efeito de recarga causado pelas faixas mais transmissivas adjacentes. As transmissividades ajustadas pelo SUPES tendem assim a ser maiores que as reais.

- * Esses efeitos, individualmente, não são provavelmente perceptíveis, sobretudo a nível de teste de aquífero ou de produção. Considerando entretanto o histórico de 27 anos de bombeamento no conjunto de poços da região e a conseqüente magnitude das interferências (116,0 metros calculados no P-1 de Mossoró, para exemplificar), é lícito admitir sua influência no ajuste das transmissividades, embora não possamos quantificá-la no momento.

- * Em função do acima exposto pode-se concluir que os contrastes das transmissividades fornecidas pelo SUPES tendem a uma suavização que, entretanto, não impede a manifestação do zoneamento acima descrito. É conveniente portanto considerar os valores obtidos, não como transmissividades reais mas sim como transmissividades equivalentes que levam em conta, localmente, as heterogeneidades regionais.

8.2 - Modelo SUPES - Inversão Critério Bateria

Este processo de ajuste, tal como concebido, considera a bateria como um todo, conduzindo assim à obtenção de um par T,S único, representativo, em princípio, da bateria.

A rotina ajusta, através de um processo iterativo, uma superfície virtual ao conjunto de pontos em um espaço tridimensional, representados pelos rebaixamentos observados de todos os poços ao longo do tempo de funcionamento da bateria. O critério de convergência adotado é o menor valor assumido ao longo do processo pela soma dos quadrados dos resíduos. Espaço tridimensional aqui, tem naturalmente uma conotação matemática não sen-

do, neste caso específico, o espaço em que nos movemos. Assim, se considerarmos os rebaixamentos observados como uma função discreta $s^* = f(P_j, t_k)$, pode-se dizer que a rotina define uma outra função discreta $s = g(P_j, t_k)^{(\#)}$, tal que a soma dos quadrados dos resíduos seja mínima. O processo segue passos idênticos àqueles indicados para o critério poço (item 8.1), com as particularidades a seguir indicadas:

* A soma dos quadrados dos resíduos é calculada de acordo com a expressão abaixo:

$$\text{SQR} = \sum_{i=1}^m \sum_{k=0}^n (s_{i,k} - s^*_{i,k})^2 \quad (6)$$

onde:

m = número de poços da bateria.

n = tempo total de bombeamento menos um ou, o que é a mesma coisa, o número de intervalos menos um.

$s_{i,k}$ = rebaixamento calculado no poço i e no tempo k .

$s^*_{i,k}$ = rebaixamento observado no poço i e no tempo k . Para $s^*_{i,k}$ não observado, a rotina não considera $s_{i,k}$.

* O fator de reajuste F é computado como abaixo definido, para considerar a bateria como um todo:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=0}^n \frac{s_{i,k}}{s^*_{i,k}}}{m \sum_{i=1}^m n_i} \quad (7)$$

onde:

m = número de poços da bateria.

n = tempo total de bombeamento menos um, ou, o que é a mesma coisa, o número de intervalos menos um.

n^*_i = número de rebaixamentos observados no poço i .

$s_{i,k}$ = rebaixamento calculado no poço i e no tempo k .

$s^*_{i,k}$ = rebaixamento observado no poço i e no tempo k . Para $s^*_{i,k}$ não observado, a rotina não considera $s_{i,k}$.

A transmissividade é redefinida então, de acordo com a expressão abaixo:

$$T_{\text{red}} = T_{\text{ant}} \times F \quad (8)$$

Os resultados obtidos são mostrados na tabela que constitui o Anexo 15.2. O confronto com os valores a que se chegou com a aplicação do critério poço (item 8.1), permite considerar o par T, S obtido a partir do critério bateria, como representativo do aquífero regional.

Serão assim adotadas nos cálculos subseqüentes as seguintes constantes hidrodinâmicas para o aquífero Açu, na região de Mossoró:

$$T = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \quad (12,07 \text{ hm}^2/\text{ano})$$

$$S = 1,7 \cdot 10^{-4}$$

(#) P = poço, j = variando de 1 a 73. t = tempo, k variando de 1 a 27 anos

9. PIEZOMETRIA REGIONAL

A reprodução com o SUPES do histórico de bombeamento dos 73 poços considerados, para os parâmetros hidrodinâmicos acima indicados, conduziu à piezometria regional teórica (1994) mostrada no mapa que constitui o Anexo 15.7. Os níveis estáticos que foi possível obter-se no período 93-95, por outro lado, levaram ao esboço da piezometria regional observada, mostrado no mapa do Anexo 15.6. A análise da piezometria real e sua comparação com a teórica, permite estabelecer os seguintes pontos:

- * Constata-se a existência de uma ampla depressão potenciométrica, alongada na direção NW-SE e condicionada essencialmente pelas baterias de Mossoró e da MAISA. Individualizam-se localmente o cone de depressão de Mossoró e o da MAISA. O primeiro é bem mais acentuado, exibindo cargas hidráulicas mínimas compreendidas entre -75 e -80 metros. O segundo é menos pronunciado, com cargas hidráulicas mínimas compreendidas entre -40 e -50 metros. Acha-se plenamente estabelecida uma nítida inversão de fluxo, isto é, ocorre fluxo proveniente das regiões do aquífero situadas na porção submarina da bacia.
- * Constatam-se fortíssimos gradientes hidráulicos ao sul e a oeste da área, não compatíveis com a hipótese de homogeneidade e continuidade lateral que embasa os cálculos teóricos. Este comportamento, coadjuvado pelo zoneamento de transmissividade (item

8.1) e por dados de subsuperfície, é atribuído à presença das seguintes descontinuidades:

- ** Pronunciado sistema de falhamentos ao sul, separando o *graben* de Boa Vista do alto de Quixaba. Embora o aquífero exista sobre o alto de Quixaba, suas drásticas reduções de espessura e a elevada abrupta da sua base (Anexo 15.3), comprometem seriamente a continuidade lateral. O fluxo proveniente das regiões ao sul do falhamento, na direção da bateria de Mossoró, sofre assim, neste trecho, excessivas perdas de energia.
- ** Descontinuidade semelhante à anterior (Anexo 15.3) porém mais discreta, nas vizinhanças de Barúnas, em pleno domínio da plataforma de Aracati. É possível que exista um quebramento aproximadamente N-S, tal como mostrado no mapa piezométrico do Anexo 15.6.
- * Se o cone de depressão regional esbarra em descontinuidade a sul e a oeste, sua propagação nas direções norte, nordeste, e leste, é pouco perturbada, aproximando de uma forma aceitável as previsões teóricas. Pode-se assim admitir que o aquífero exibe uma grande extensão lateral nessas direções.

10. PREVISÃO DE NÍVEIS DINÂMICOS - MODELO BALTEX

Conhecendo-se os parâmetros hidrodinâmicos, tidos como representativos regionalmente do aquífero, foi simulada a operação futura dos poços, utilizando-se o modelo analítico denominado de BALTEX, com a finalidade de fazer prognósticos de níveis dinâmicos. O modelo BALTEX, no presente caso, assumiu as seguintes características:

- * Considera o aquífero como homogêneo, isotrópico e confinado não drenante.
- * Considera os poços da bateria entrando em operação em diferentes épocas, em função do histórico de perfurações. O regime de bombeamento é sempre contínuo.
- * São propostas para a maioria dos poços, vazões de exploração tais que reproduzam aproximadamente, em regime contínuo, os volumes anuais efetivamente bombeados. Este procedimento visa minimizar os erros decorrentes de não se considerar os regimes alternados reais.
- * A estratégia de operação do modelo segue os seguintes passos:
 - ** Atribui-se a cada poço da bateria uma vazão inicial, como proposta de vazão de exploração.
 - ** É calculado, em cada poço, o rebaixamento total ($sw =$

$S_0 + S_i + \Delta 4 + J$), para o alcance considerado.

- ** Compara-se em seguida o rebaixamento total calculado, em cada poço, com seu respectivo rebaixamento disponível. Este último é definido como a profundidade da câmara de bombeamento menos a profundidade no nível estático, menos 5 metros (submergência da bomba).
- ** Se o rebaixamento disponível for maior ou igual ao rebaixamento calculado, a vazão inicial proposta é mantida. Em todos os poços em que esta condição não for satisfeita, entretanto, esta vazão é reduzida de 2%.
- ** O processo é reiniciado calculando-se novamente o rebaixamento total em cada poço, e prossegue até nenhum rebaixamento disponível ser excedido. As vazões finais que satisfazem esta condição são consideradas, em princípio, como vazões de exploração.

Foi simulada a operação de 68 poços na região de Mossoró, para alcances de dez anos (2006) e vinte anos (2016). Os resultados obtidos são mostrados nas tabelas que constituem o Anexo 15.4 e sintetizados na tabela mostrada na próxima página, cabendo fazer os seguintes comentários:

SÍNTESE DOS RESULTADOS DO BALTEX

Nº	POÇO	CP (m ⁴)	RD (m)	Ano 2006		Ano 2016	
				Q (m ³ /h)	ND (m)	Q (m ³ /h)	ND (m)
1	M-01	1098.6	288.11	200.00	207.61	200.00	215.17
2	M-02	16953.6	33.00	0.00	172.78	0.00	180.29
3	M-03	16107.7	90.00	0.00	143.32	0.00	150.18
4	M-04	19817.1	65.85	0.00	175.05	0.00	182.41
5	M-05	12359.0	56.00	0.00	154.09	0.00	161.93
6	M-06	16502.7	89.00	0.00	151.04	0.00	157.86
7	M-07	6362.3	95.00	0.00	203.51	0.00	210.70
8	M-08	6579.8	132.00	0.00	155.91	0.00	162.85
9	M-09	18055.1	77.00	0.00	189.55	0.00	196.67
10	M-10	2870.0	179.00	196.00	192.09	163.41	192.16
11	M-11	1039.6	191.00	200.00	176.87	200.00	183.91
12	M-12	659.3	260.00	100.00	174.04	100.00	181.51
13	M-13	573.9	245.00	100.00	164.27	100.00	171.77
14	M-14	503.7	255.00	150.00	169.01	150.00	176.92
15	M-15	1427.5	350.60	200.00	242.55	200.00	249.74
16	M-16	991.7	385.00	200.00	189.88	200.00	197.09
17	M-17	997.5	352.30	150.00	190.15	150.00	197.51
18	M-18	565.0	228.00	150.00	132.85	150.00	140.15
19	M-19	1226.6	106.00	0.00	108.32	0.00	115.48
20	M-20	7268.7	127.00	47.31	132.39	16.55	132.95
21	M-21	1772.4	298.00	150.00	192.40	150.00	199.38
22	P-01	15803.5	395.40	80.00	151.64	80.00	158.35
23	P-02	16427.2	379.10	100.00	156.31	100.00	162.99
24	P-03	17337.5	381.90	80.00	142.51	80.00	149.46
25	P-04	16899.1	397.00	60.00	133.00	60.00	139.97
26	P-5	23978.7	256.00	100.00	165.19	100.00	172.29
27	P-06A	5161.3	324.20	150.00	184.55	150.00	191.56
28	P-07	28036.8	208.50	100.00	175.05	100.00	181.93
29	P-08A	5196.8	220.98	100.00	142.62	100.00	149.68
30	P-09	21575.8	164.98	46.41	196.37	16.90	196.68
31	P-10	27688.5	111.20	0.00	134.11	0.00	141.36
32	P-11A	4644.0	334.66	100.00	187.24	100.00	194.15
33	P-12A	14281.4	296.40	100.00	197.59	100.00	204.55
34	P-13	29026.2	217.00	14.00	126.97	14.00	134.21
35	P-14	13281.9	119.50	0.00	178.61	0.00	185.58
36	P-15A	6797.3	294.80	100.00	191.22	100.00	198.20
37	P-17	3503.3	321.30	100.00	153.64	100.00	160.80
38	P-18	35035	272.81	100.00	195.70	100.00	202.70
39	P-19	4868.5	297.30	100.00	167.12	100.00	174.21
40	P-21	4993.4	313.04	100.00	154.97	100.00	162.40
41	P-22	3866.2	368.30	100.00	171.27	100.00	178.73
42	SJ-1	17187.5	123.00	0.00	143.47	0.00	150.56
43	SJ-2	4458.3	80.00	0.00	176.72	0.00	183.80
44	SJ-3	4731.1	90.00	0.00	146.22	0.00	153.26
45	SJ-4	6428.6	192.00	170.00	189.38	153.67	190.75

QUADRO 3 (continuação)

Nº	POÇO	CP (m ⁴)	RD (m)	Ano 2006		Ano 2016	
				Q (m ³ /h)	ND (m)	Q (m ³ /h)	ND (m)
46	SJ-5	1446.0	308.00	170.00	204.50	170.00	211.55
47	AP-1	1940.8	305.00	80.00	163.39	80.00	170.39
48	GR-1	22768.7	196.00	30.00	72.28	30.00	80.37
49	BA-2	28980.9	111.00	0.00	162.79	0.00	170.93
50	BA-3	12701.8	160.00	40.00	178.59	40.00	186.79
51	TB-1	31502.3	276.00	60.00	116.48	60.00	124.73
52	AB-3	6969.7	340.00	125.00	93.10	125.00	101.39
53	C-1	4509.6	260.00	100.00	137.35	100.00	145.32
54	C-2	4008.6	262.00	50.00	120.29	50.00	128.19
55	COP-1	14123.0	86.00	0.00	118.93	0.00	126.84
56	PEN-1	23114.7	157.00	30.00	174.24	30.00	181.58
57	IN-1	28040.2	266.00	50.00	250.03	50.00	258.15
58	IN-2	11542.6	104.00	11.44	147.98	0.00	153.65
59	IN-3	7142.6	245.00	80.00	144.20	80.00	152.78
60	IN-4	4934.3	299.00	80.00	144.67	80.00	152.94
61	IN-5	6832.5	203.00	100.00	245.90	100.00	253.45
62	SM-1	4067.3	237.00	60.00	327.06	60.00	335.41
63	CP-1	544576.5	230.00	8.00	119.74	8.00	127.48
64	SS-1	24945.0	127.00	40.00	91.52	23.66	94.33
65	SS-2	25678.0	130.00	50.00	79.00	50.00	87.12
66	ES-1	16340.4	154.00	43.41	181.44	21.84	183.55
67	RF-2	2591.6	290.00	100.00	130.42	100.00	137.96
68	AG-1	5381.7	234.00	50.00	129.22	50.00	137.66

CP = Coef. das perdas $\Delta 4$ Q = Vazão de Exploração (m³/h)

RD = Rebaix. Disponível (m)

ND = Nível Din. previsto (m)

* Os poços M-02 a M-07 e o poço M-9, na bateria da MAISA, exibem vazão nula em 2006, o que significa desativação ou redução drástica da capacidade de produção, por insuficiência de câmara de bombeamento. Ocorre o mesmo com o poço P-10 na bateria da CAERN em Mossoró e com o poço COP-1 no extremo norte da área. Na realidade esses poços já estão desativados hoje, fato este apenas ratificado pelo modelo.

* Além dos poços acima, é possível prever a desativação ou redução drástica da capacidade de produção, ao longo dos próximos dez anos, das seguintes unidades: poços M-08 e M-19 na MAISA; poço P-14 em Mossoró; e

os poços SJ-1, SJ-2 e SJ-3 na fazenda São João. Tais previsões dizem respeito sempre à insuficiência de câmara de bombeamento. Não são levadas em conta, naturalmente, eventualidades como contaminação por óleo, acidentes com bombas, filtros, ou outras.

* Estendendo-se o alcance para 20 anos (2016), verifica-se o comprometimento apenas do poço IN-2 no assentamento do INCRA em Mulunguzinho (ver tabela na página anterior). Se examinarmos entretanto as listagens do Anexo 15.4, verificaremos uma tendência de queda da descarga global da bateria, em função do aprofundamento dos níveis dinâmicos: 5.238 m³/h hoje, caindo para 5.000

m^3/h em 2006 e diminuindo para $4.843 \text{ m}^3/\text{h}$ em 2016.

- * A desativação já ocorrida de sete poços na MAISA, como acima indicado, serviu de alerta para este usuário e os perfuradores da região, de modo que os poços mais recentes vêm sendo dimensionados adequadamente. Em alguns casos parece-nos inclusive que as câmaras são superdimensionadas. No caso da CAERN, particularmente em Mossoró, as câmaras de bombeamento vêm sendo bem dimensionadas

há mais tempo, desde fins da década de 70, em função de um acompanhamento técnico mais efetivo. O dimensionamento mais adequado dos poços incluiu naturalmente a adoção de diâmetros de completação mais compatíveis com as profundidades dos poços e com as vazões produzidas, o que se reflete nos baixos valores do coeficiente CP, verificados nas unidades mais recentes. Esses fatos são já conhecidos e transparecem na análise dos resultados obtidos com o modelo BALTEX. Não é mais tão necessário hoje, insistir na importância do dimensionamento adequado dos poços.

11.- CONSIDERAÇÕES SOBRE AS POSSIBILIDADES DE DRENANÇA

Antes do início da exploração o fluxo do aquífero Açú dava-se em regime de equilíbrio, isto é, a recarga era igual à descarga natural. A intervenção humana rompeu este equilíbrio impondo, com as baterias de poços, uma descarga adicional que somou-se à descarga natural existente, tornando-a maior que a recarga natural. Ora, nos aquíferos confinados de porte regional, as condições de recarga não são facilmente alteradas, permanecendo sensivelmente as mesmas durante longo tempo após o início da exploração^(23,23). O desequilíbrio tende assim a persistir longo tempo, com a água retirada procedendo inteiramente ou quase inteiramente do armazenamento do aquífero, o que explica o rebaixamento dos níveis. Entretanto, como a natureza tende sempre a restaurar os equilíbrios rompidos, a tendência a longo prazo é a indução de uma recarga adicional que contrabalance a nova descarga imposta pelos poços.

A questão, hoje, é saber se esta recarga adicional, acima citada, já se manifesta significativamente no aquífero Açú, a partir dos calcários Jandaíra por drenança vertical descendente. A nosso ver, se de um lado os dados disponíveis não permitem comprová-la, do outro lado permitem menos ainda descartá-la. Em face do problema, duas posturas apresentam-se: a) admitir a existência de contribuição dos calcários; b) negar a existência desta contribuição e considerar o aquífero como confinado não drenante, funcionando em regime de exaustão. Os argumentos que

respaldam essas posturas bem como as implicações de cada uma delas, serão analisados a seguir.

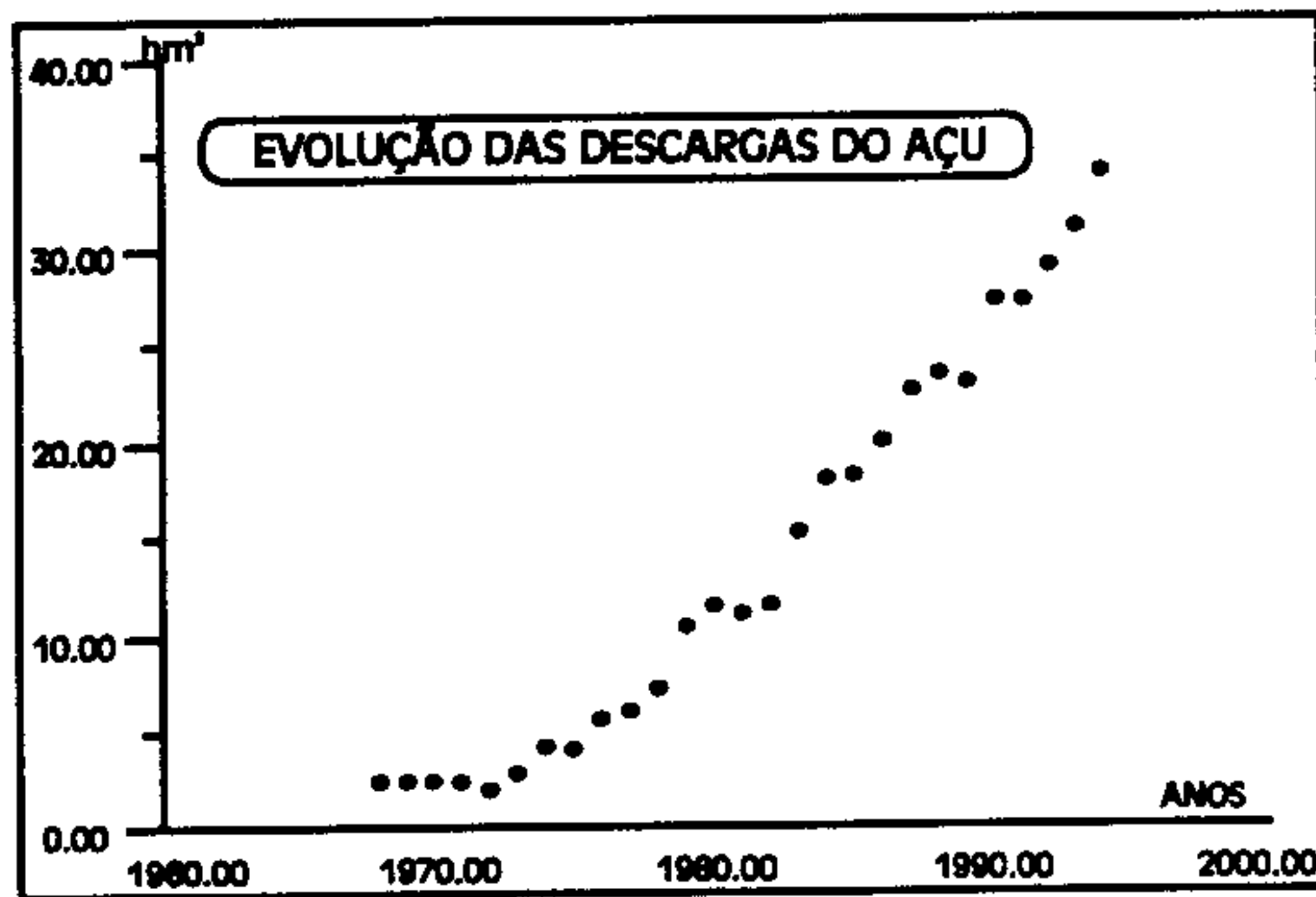
11.1 - Argumentos a Favor da Drenança

- * As condições requeridas estão presentes há bastante tempo, ou seja:
 - ** a existência do aquífero Jandaíra no topo da sequência.
 - ** uma substancial diferença de carga hidráulica entre o Jandaíra e o Açú, a favor do primeiro, prevalecendo hoje uma área da ordem de, pelo menos, 4.000 km².
 - ** 28 anos de exploração contínua do Açú.
- * O aumento decidido das descargas anuais de exploração do Açú, como mostrado no gráfico da figura 1, introduz certamente uma importante componente na evolução dos níveis dinâmicos. Os simpatizantes radicais de uma drenança generosa dirão com certeza - e podem estar certos - que a evolução dos rebaixamentos observados deve-se em grande parte ao aumento gradativo da descarga e em menor proporção à retirada do armazenamento, em presença de transmissividades reais significativamente menores que aquelas obtidas com o SUPES. Entretanto, os dados de rebaixamento disponíveis hoje e o tratamento que a eles foi dispensado,

(23,23) Ref. Bibliog.

não conferem a este argumento qualquer status superior ao de simples hipótese de trabalho.

Fig. 1



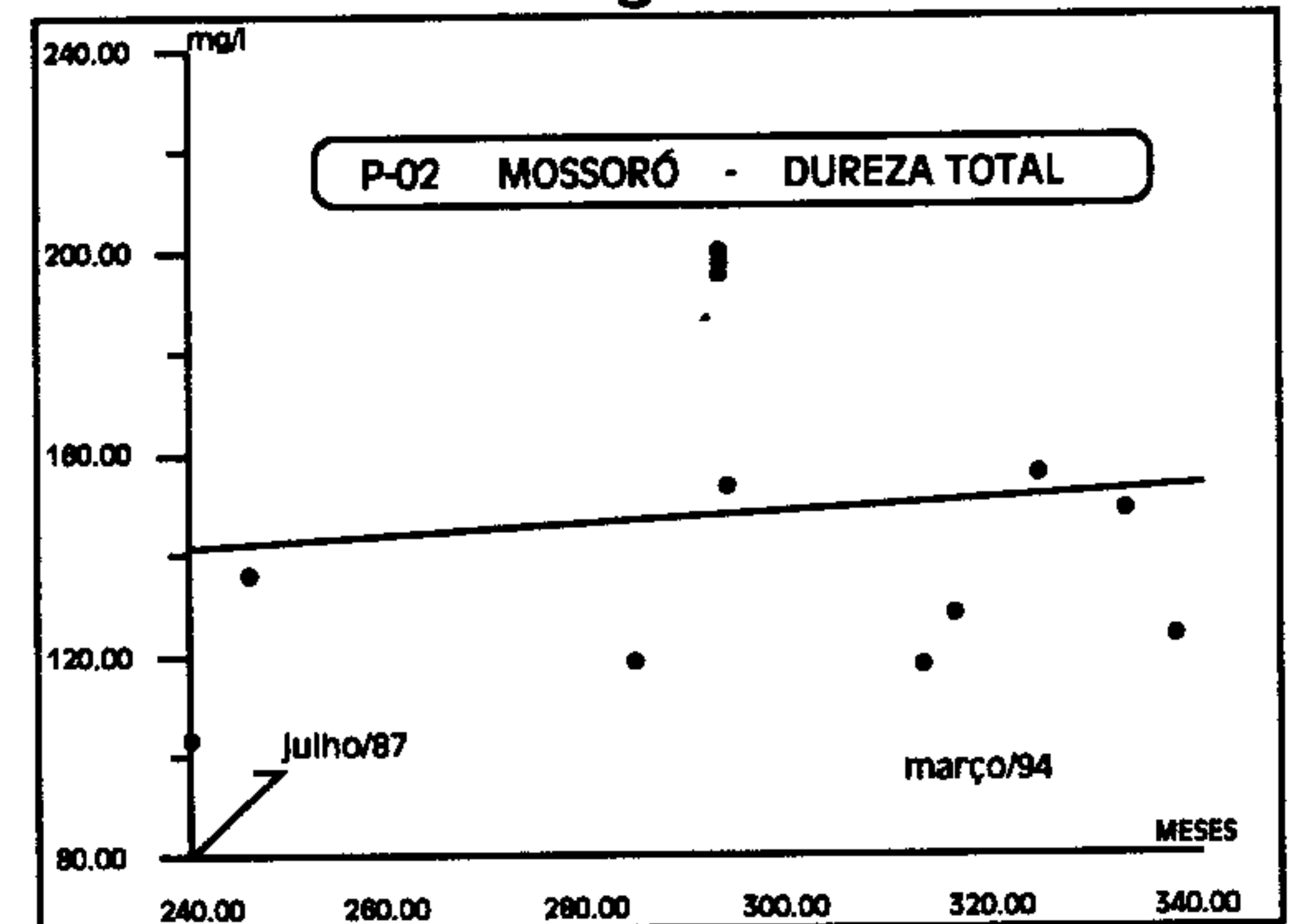
* No que diz respeito à evolução química da água do Açú, dizia Manassés em 1980⁽¹⁰⁾ :

“Com relação aos efeitos de drenança, convém esclarecer que, se tal fenômeno ocorresse hoje (depois de decorridos mais de 10 anos desde o início da exploração do aquífero), já deveria haver uma grande contribuição das águas dos calcários. Os dados disponíveis, relativos às análises químicas efetivadas no decorrer do tempo, mostram que a qualidade das águas captadas nos diversos poços praticamente não sofreu modificações, a não ser nos casos em que, comprovadamente, essa contribuição se processava através de orifícios existentes na parte superior dos revestimentos.”

* No presente trabalho, decorridos mais 15 anos, buscamos retomar esta questão, em busca de evidências hidroquímicas que pudessem levar a admitir, hoje, a manifestação de uma drenança. Para nosso desapontamento, entretanto, fomos informados no escritório central da CAERN em Natal, que todos os registros de análises químicas anteriores a 1986 haviam sido perdidos numa inundação que atingira os arquivos do laboratório. É possível que uma pesquisa mais mi-

nuciosa em relatórios antigos de poços possa ser bem sucedida. No momento, entretanto, só foi possível utilizar os dados disponíveis, de 1985 até hoje. Os resultados obtidos são

Fig. 2



mostrados na figura 2 acima e nas figuras 3 a 8 da página seguinte. Verifica-se uma tendência de aumento da dureza total na água proveniente do aquífero Açú, entre 1985 e o presente, nas amostras obtidas dos poços P-02, P-14, P-03, P-17 e P-09 (figuras 2, 3, 4, 5 e 6). A reunião dos dados dos poços P-02, P-03, P-9 e P-17 (figura 7) ratifica essa tendência, melhorando inclusive o coeficiente de correlação R^2 . No que diz respeito aos cloretos (figuras 3 e 8), não se percebe nenhuma tendência significativa de variação. A tendência de aumento da dureza, acima indicado, pode sugerir uma crescente e substancial participação das águas do Jandaíra via drenança mas, pode também ser decorrente dessa participação via falhas na cimentação das câmaras de bombeamento e rompimentos nos respectivos revestimentos. Esta última possibilidade é particularmente plausível no caso de poços mais anti-

(10) Refer. Bibliog.

Fig. 3

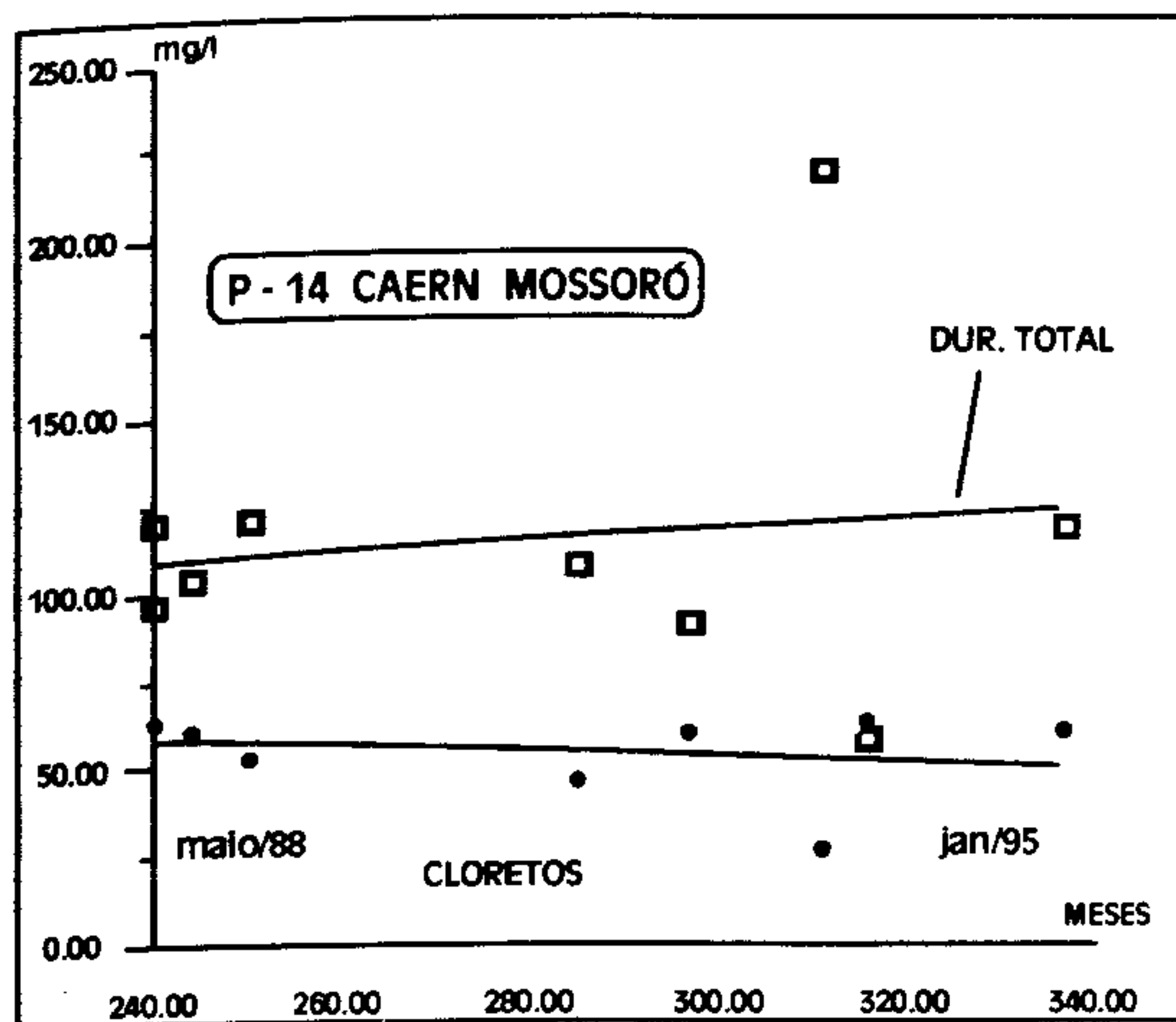


Fig. 4

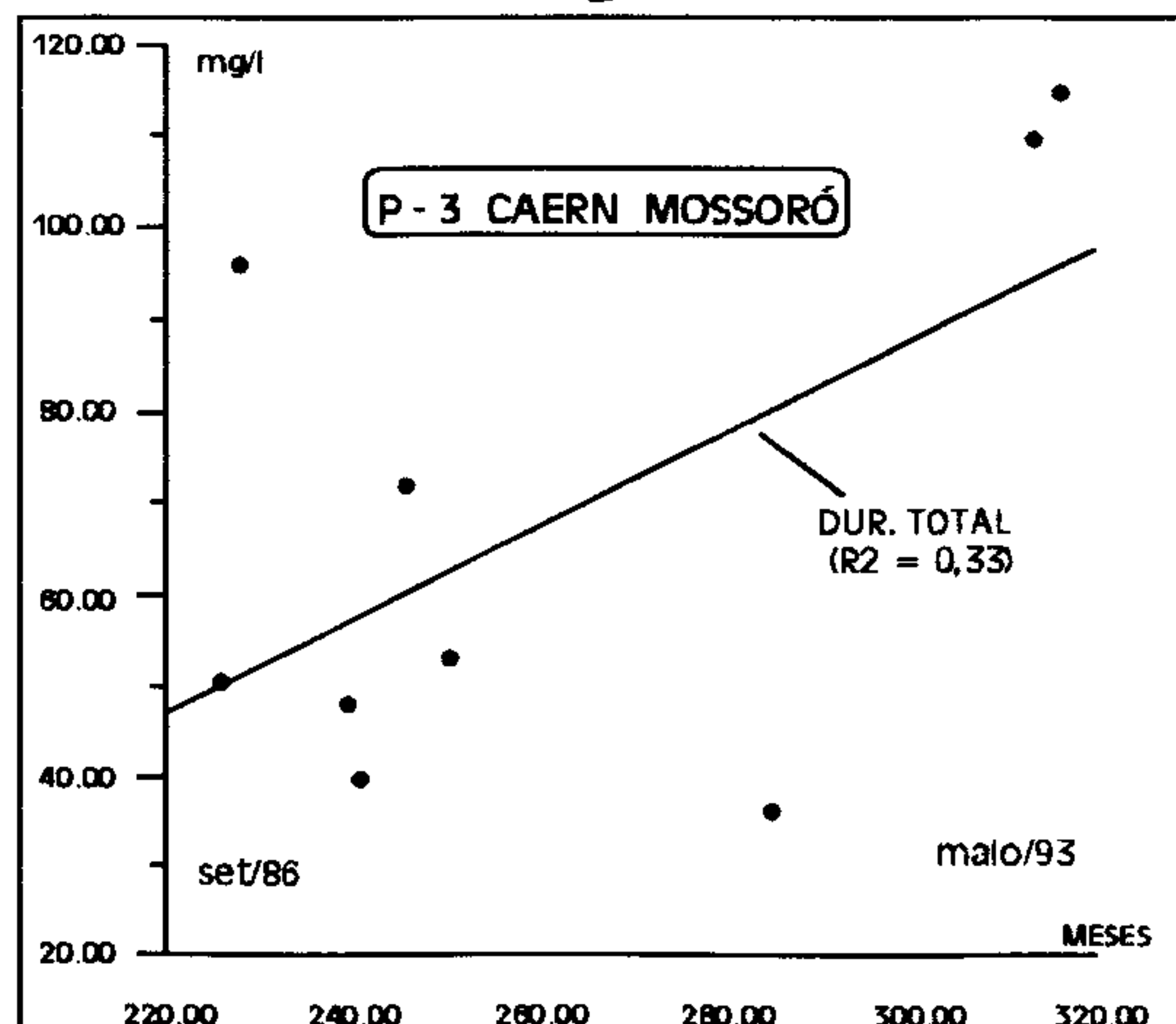


Fig. 5

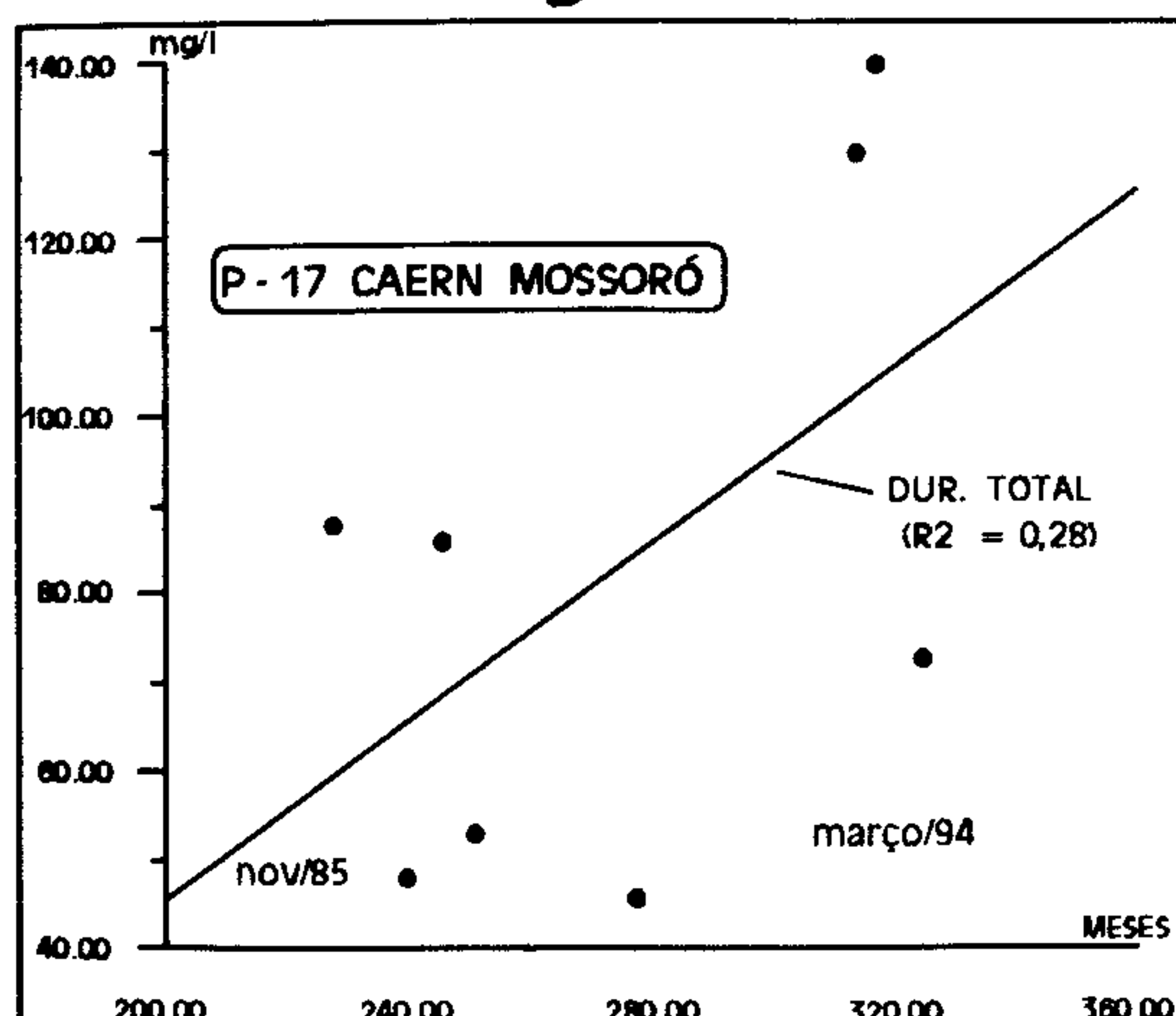


Fig. 6

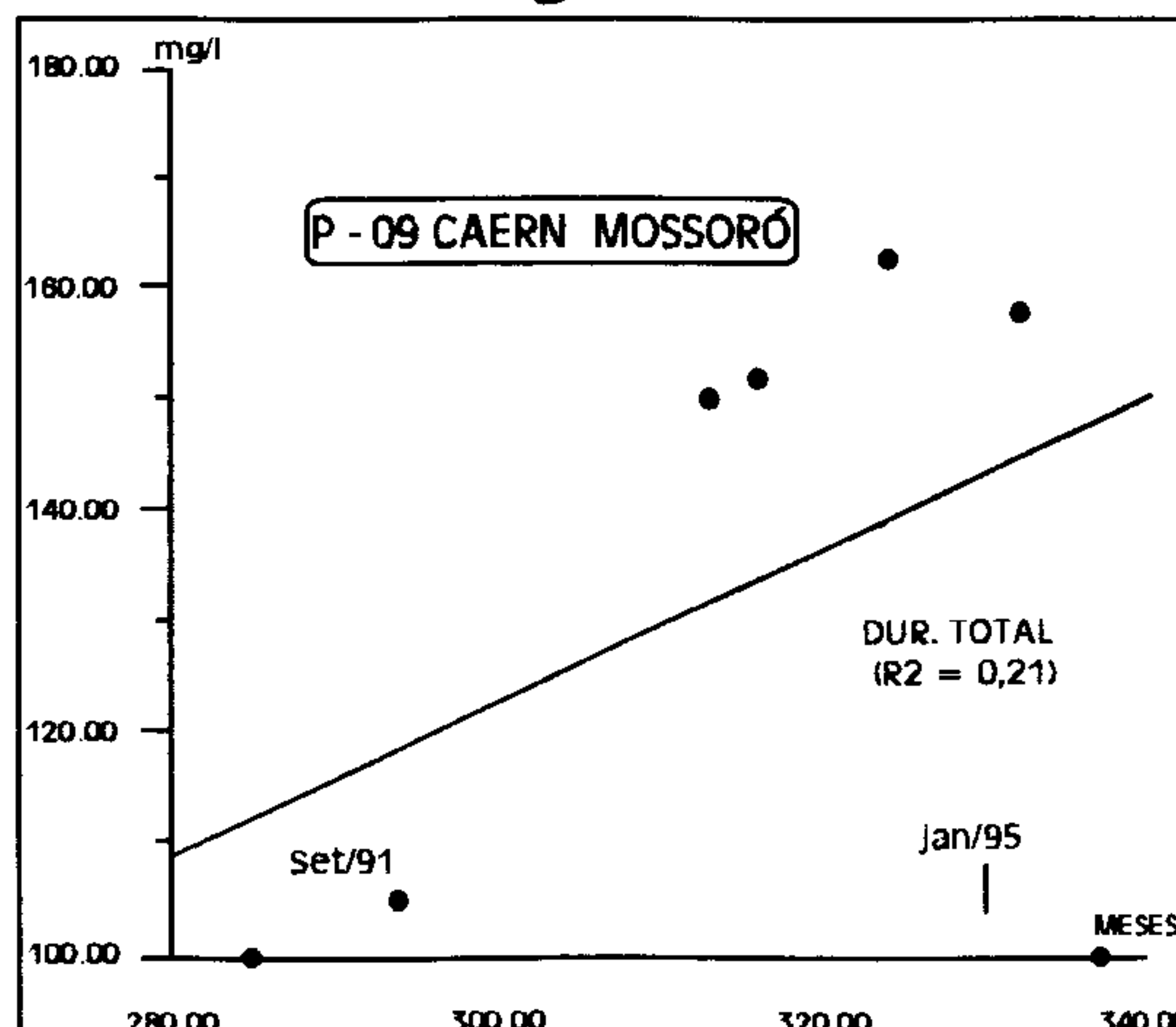


Fig. 7

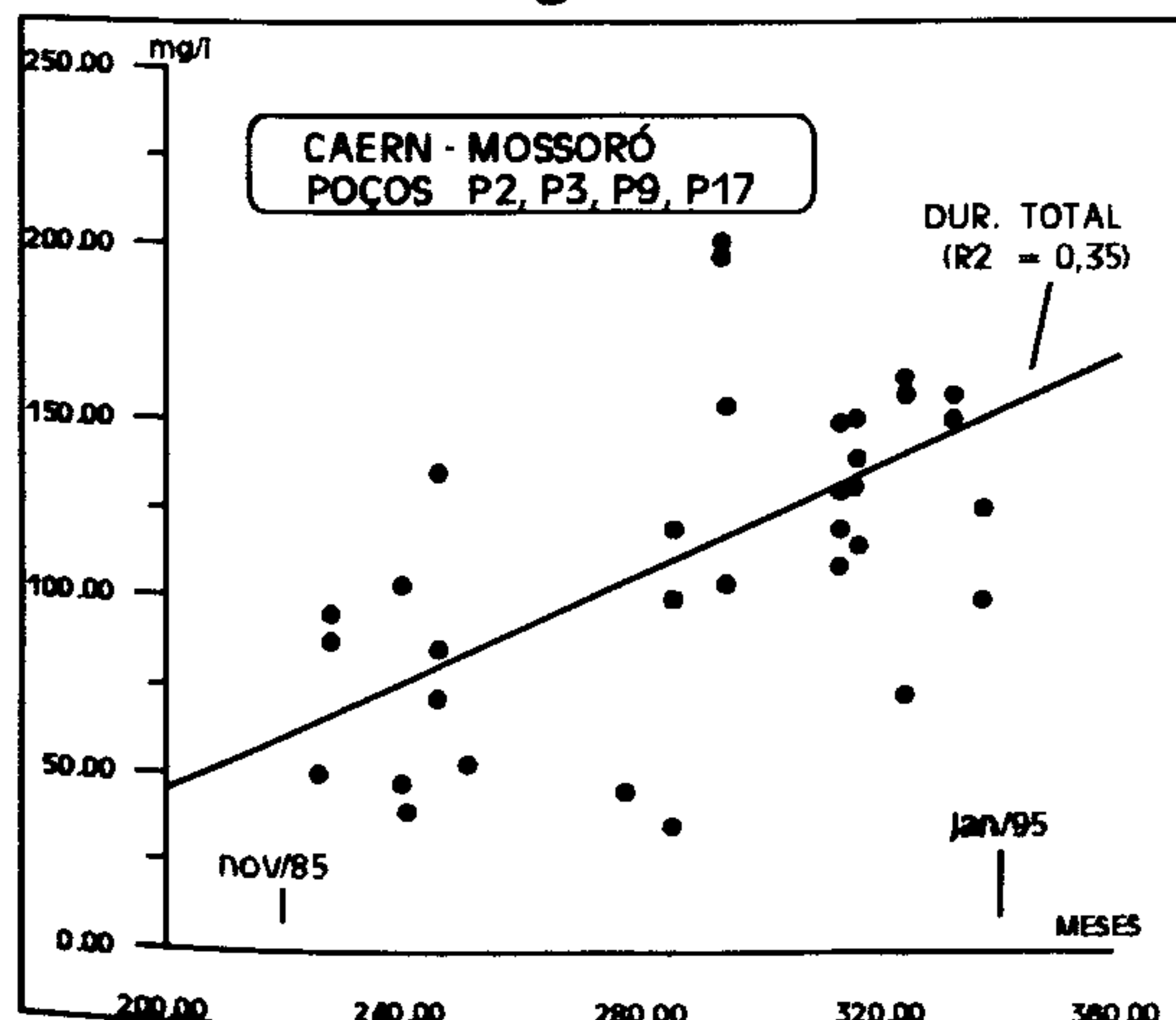
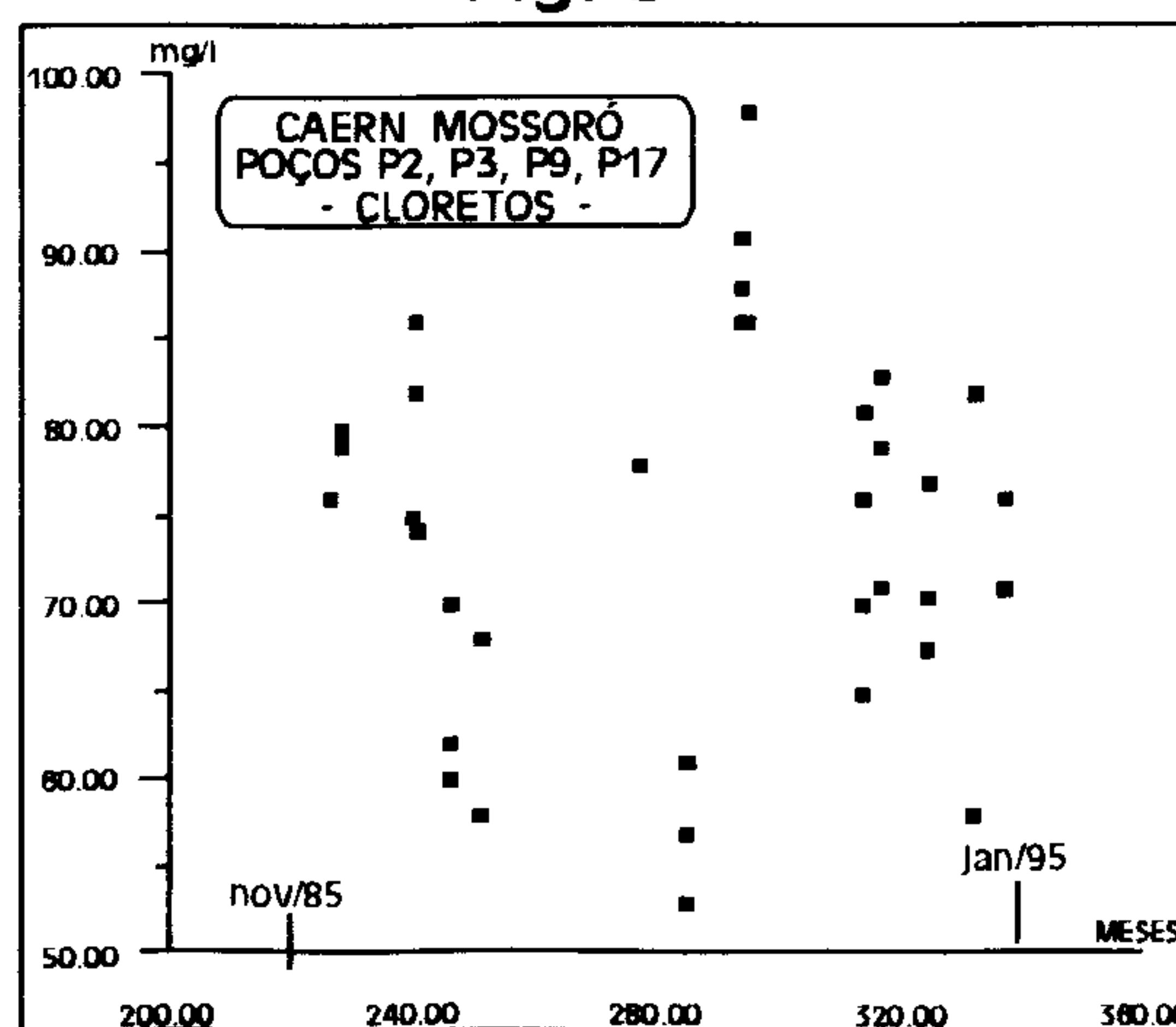


Fig. 8



gos, tendo sido comprovada várias vezes no passado, como bem atesta Manassés acima. Finalmente, embora não se possa aceitar o aumento de dureza como prova incontestável da drenança, deve-se considerá-lo como um incício importante e merecedor de uma investigação mais detalhada. Cabe lembrar neste momento algumas informações paralelas obtidas em Mossoró junto ao Dr. Cleice Paz de Lira, geólogo e gerente técnico regional da CAERN. Informa o Dr. Cleice que ocorrem na região norte da cidade de Mossoró e particularmente a oeste do rio Apodi, depósitos de carbonato de cálcio em tubulações e adutoras, chegando ao ponto de obstruir quase que completamente esses condutos. De acordo ainda com o informante, o fenômeno manifesta-se mais intensamente no P-19 e independeria de rompimentos nos revestimentos. Ora, considerando que este fenômeno ocorre nas vizinhanças e sobre o alto de Mossoró, somos tentados a admitir aí alguma relação de causalidade. Embora sem uma melhor compreensão do problema no momento, pode-se imaginar que um menor desenvolvimento dos níveis mais superiores da Formação Açu, confinantes do aquífero, estaria favorecendo localmente uma contribuição mais generosa das águas do Jandaíra. Essas idéias ficam aqui registradas como hipóteses de trabalho para orientar a programação de estudos posteriores.

11.2 - Argumentos Contra a Drenança

- * Na realidade, não se trata de ser contra a drenança mas, simplesmente, de não considerá-la formalmente no presente estágio de conhecimento do problema por falta de uma comprovação mais efetiva e por desconheci-

mento dos seus parâmetros hidrodinâmicos. Assumindo, com efeito, a postura favorável à existência de drenança, o profissional deveria, coerentemente, considerá-la formalmente nas simulações da operação da bateria de poços. Surge aí a questão crucial: que valor considerar para o coeficiente B de drenança? ora, como a drenança tem sido cogitada mas nunca demonstrada, este coeficiente nunca foi avaliado na região de Mossoró. Começamos aí a introduzir uma complicação operacional que nos conduziria fatalmente aos terrenos incertos da fantasia. Esse risco pode ser substancialmente minimizado, como será discutido no item 11.3 a seguir.

11.3 - Postura Assumida no Presente Documento

- * Em face do acima exposto, julga-se mais sensato no momento considerar o aquífero como confinado e não drenante. A utilização do SUPES e do BALTEX foi embasada nesta premissa mas tendo, pelas suas próprias naturezas, implicações distintas, como explicitado abaixo:
- ** Considerando que as transmissividades obtidas com o SUPES têm um caráter de transmissividades equivalentes (ver item 8.1), é evidente que elas assimilam, ao menos parcialmente, o efeito da drenança eventualmente existente. Em outras palavras, os valores obtidos via função de Theis, em presença de drenança, tendem a ser maiores que os reais.
- ** Considerando que o BALTEX assume a inexistência de drenança, os cálculos efetuados ficam sempre do lado da segurança.

* Os tópicos acima permitem admitir que, no presente estágio de conhecimentos do problema e do ponto de vista prático, a não consideração formal de recarga é irrelevante. As projeções realizadas com o BALTEX, para o par T,S obtido com o SUPES, já levam parcialmente em conta os

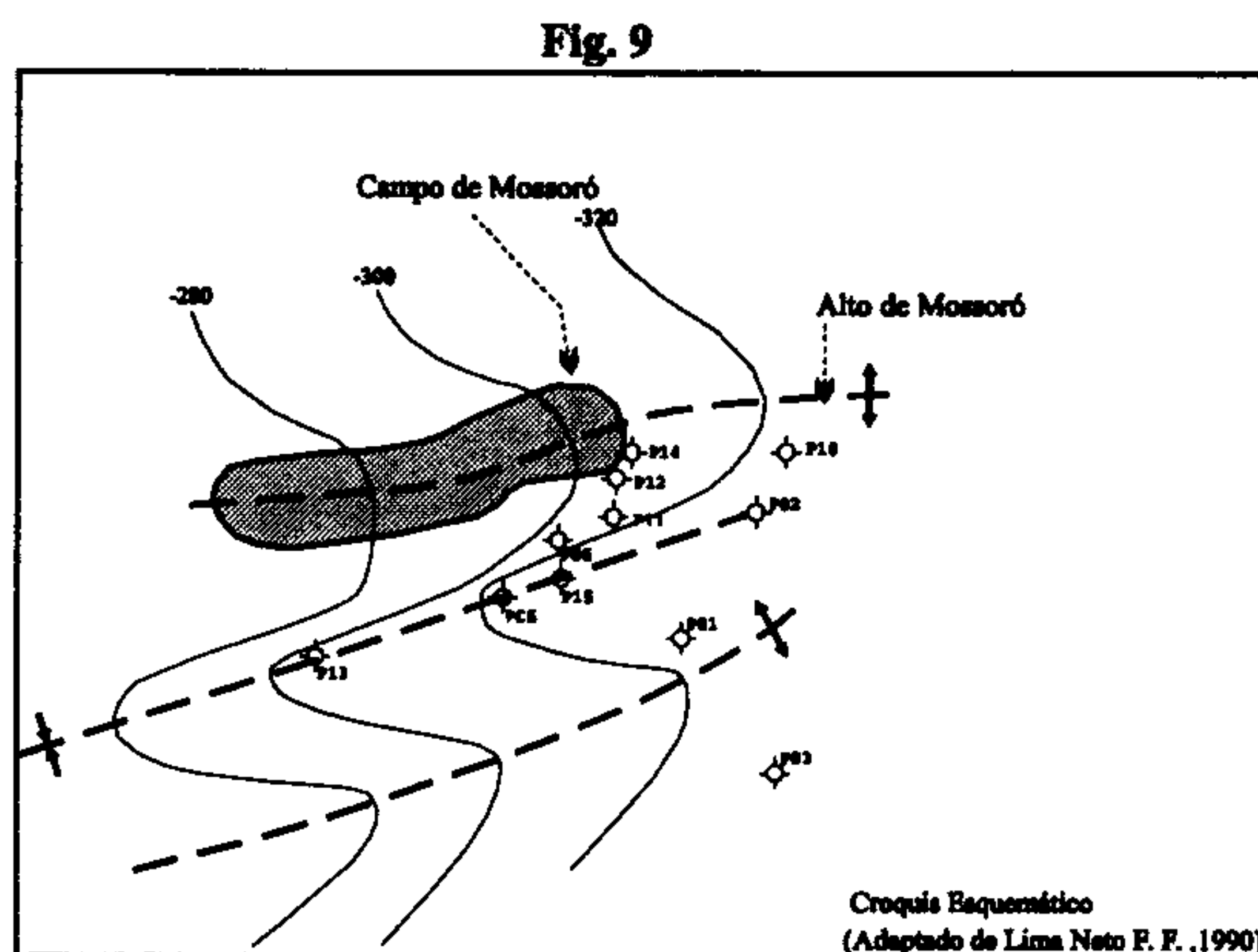
efeitos de uma eventual drenança que venha ocorrendo, ficando entretanto do lado da segurança. Os prognósticos de níveis futuros, feitos para aquífero confinado, são assim mais reais, mais confiáveis e mais seguros que se fossem feitos para aquífero semi-confinado. Esses últimos, aliás, seriam hoje impossíveis por total desconhecimento do fator de drenança.

12. O PROBLEMA DO ÓLEO EM MOSSORÓ

Dentre as bacias sedimentares brasileiras, a bacia Potiguar destaca-se pelo fato de ter a grande maioria das suas reservas de hidrocarbonetos em arenitos saturados de água doce⁽¹⁹⁾, ou seja, na Formação Açú. De acordo com estudos realizados pela Petrobrás⁽¹⁸⁾, o topo desta formação exhibe suaves ondulações que caracterizam altos e baixos estruturais. A cidade de Mossoró está situada entre duas garupas anticlinais, tal como mostrado na figura 9, ao lado. O eixo anticlinal E-W corresponde ao alto de Mossoró, ao longo do qual foram definidas importantes acumulações de óleo, entre as quais citam-se os campos produtores de Canto do Amaro, Alto da Pedra, Redonda e Mossoró. Este último desenvolve-se imediatamente a noroeste da cidade incluindo mesmo seus limites urbanos. Os poços da bateria da CAERN em Mossoró, em que foi registrada a presença de óleo (P-05, P-06, P-12 e P-14), situam-se no flanco sul do alto de Mossoró, nas proximidades da acumulação acima indicada, o que favoreceu a contaminação.

Verifica-se assim, em função do exposto, que a exploração de água subterrânea do aquífero Açú deve sempre levar em conta o risco de contaminação por óleo, uma vez que ambos os líquidos encontram-se intimamente associados. Cite-se, a propósito, a existência de um poço produtor de óleo, vizinho ao terreno do hotel Ther-

mas e a cerca de 100 metros do P-12A da CAERN, que supre hoje as piscinas térmicas do hotel.



Sugere a Petrobrás⁽¹⁶⁾, no que concordamos, que o problema pode ser contornado ou, pelo menos minimizado, evitando-se nas locações as estruturas favoráveis ao trapeamento do óleo. A análise das amostras de calha e a perfilagem dos poços, por sua vez, devem ser direcionadas no sentido de detectar vestígios de óleo e permitir o isolamento das seções potencialmente contaminantes. As maiores atenções devem ser voltadas naturalmente para as locações. Esta tarefa parece-nos hoje grandemente facilitada pelo grande detalhamento estrutural da região de Mossoró, efetuado pela Petrobrás ao longo das suas pesquisas de petróleo. Urge assim obter e utilizar nos estudos e locações subsequentes, este acervo de dados.

(19) Refer. Bibliog.

(18) Refer. bibliog.

(16) Refer. Bibliog.

13. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No período de 12 a 25.11.95, a CPRM executou o levantamento de 99 poços captando o aquífero Açú na região de Mossoró, extremo oeste da bacia sedimentar Potiguar, no estado do Rio Grande do Norte. A análise dos dados de descarga e níveis dinâmicos desses poços ao longo dos seus tempos de operação, permitiu estabelecer as seguintes conclusões sobre o comportamento regional do aquífero captado:

- * Do ponto de vista de fluxo subterrâneo e considerando a cidade de Mossoró como referencial, o aquífero Açú revela uma boa continuidade nas direções norte, este e nordeste. Para oeste e para sul, entretanto, a continuidade lateral é parcialmente comprometida por drásticas reduções de espessura e deslocamentos verticais, associados a altos estruturais do embasamento.
- * As transmissividades hidráulicas variam regionalmente como abaixo indicadas (Anexo 15.5).

ZONA	T (m ² /s)
Bateria CAERN/Mossoró	3,8.10 ⁻³ a 4,4.10 ⁻³
Bateria da MAISA	2,2.10 ⁻³ a 5,0 .10 ⁻³
Zona NNE de Mossoró	> 5,0. 10 ⁻³

- * O grande escalonamento de valores na zona da MAISA deve-se à grande área ocupada pelos seus poços. Os maiores ocorrem no extremo SE da bateria, onde os arenitos aquíferos são mais desenvolvidos. Para noroeste, as

transmissividades decrescem rapidamente, acompanhando a diminuição de espessura desses arenitos na direção da borda da bacia.

- * Para fins de definição de descargas explotáveis e projeção de níveis futuros, consideram-se como representativos do aquífero, regionalmente, os valores abaixo:

$T = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \quad (12,07 \text{ hm}^2/\text{ano})$ $S = 1,7 \cdot 10^{-4}$
--

- * Todos os valores acima indicados têm caráter de parâmetros equivalentes, em função da metodologia adotada para obtê-los. Isto significa dizer que os valores não são rigorosamente reais mas trazem embutidos os efeitos de áreas adjacentes e, particularmente, os efeitos de uma eventual drenança que venha ocorrendo.
- * Os rebaixamentos ($sw = S_0 + S_i + \Delta 4 + J$) observados hoje, após 28 anos de exploração do aquífero, são maiores em Mossoró, naturalmente, que na MAISA. A tabela abaixo sintetiza os valores máximos constatados e os respectivos níveis dinâmicos e cargas hidráulicas, bem como as interferências s_i devidas aos demais poços da região. Considera-se a carga piezométrica inicial na região como constante e igual a +40,0 metros, em relação ao nível do mar. Este valor diz respeito ao poço P-01 da bateria da CAERN

em Mossoró, tendo sido o único medido na região, em agosto/67, antes do início da exploração do aquífero:

BATERIA/ POÇO	Z (m)	sw (m)	ND (m)	h (m)	s _i
Mossoró - P-01	14,6	157	132	-117	115
MAISA - P 08	52,4	234	135	-82	85

Obs.: Em condições de surgência e não surgência, os rebaixamentos são calculados pela expressão:

$$sw = ND - (Z-40)$$

- * Acha-se plenamente estabelecida uma nítida inversão de fluxo, isto é, ocorre hoje fluxo proveniente das regiões do aquífero situadas na porção submarina da bacia, na direção das captações (Anexo 15.6). Deve-se admitir, portanto, que a cunha salina já esteja mobilizada na direção do continente. Embora não seja possível no momento quantificar esta mobilização, a experiência adquirida em casos semelhantes permite admitir como ainda muito remotos os riscos de salinização em Mossoró e na MAISA por este mecanismo, mesmo a longo prazo.
- * As informações levantadas apontam para uma descarga de 36,24 hm³/ano sendo captada em 1994 por 73 poços.
- * As simulações realizadas admitiram uma descarga de 45,9 hm³/ano em 1996 sendo captada em 68 poços. A projeção da operação desses 68 pontos para o ano 2016 (20 anos), autoriza uma descarga de 42 hm³/ano. Esses resultados permitem concluir que a descarga anual hoje bombeada pode ser mantida durante os próximos

vinte anos, podendo mesmo ser considerada um tanto conservadora.

- * A conclusão acima significa, em outras palavras, que o aquífero Açú pode suprir as atuais demandas de Mossoró, da MAISA e usuários menores, durante os próximos vinte anos, sem maiores problemas. Os níveis dinâmicos previstos ao final deste período ficariam entre 115,0 e 250 metros na MAISA e entre 130 e 205 metros em Mossoró, na dependência do poço considerado (Quadro 3).
- * Entretanto, a região de Mossoró vive hoje uma fase de acentuado desenvolvimento econômico calcado principalmente nas explorações de petróleo e sal e na agricultura irrigada. As crescentes demandas decorrentes desse desenvolvimento, resultam naturalmente uma crescente solicitação do aquífero Açú, como demonstrado no levantamento ora realizado. Mantido o ritmo de crescimento anual das descargas, tal como mostrado na figura 1, os níveis dinâmicos ao final de 20 anos deverão ser significativamente mais profundos que os acima indicados. Neste caso, mesmo que as câmaras de bombeamento atuais e futuras comportem esses níveis, é de se esperar condições de bombeamento bastante difíceis e onerosos, além da desativação de mais poços que os previstos no item 10 do presente relatório. Não consideramos exagero admitir que esta crescente solicitação possa mesmo, em futuro não muito distante, comprometer a continuidade do suprimento de água na região. Uma vez que a previsão de níveis em presença desse aumento gradativo da descarga anual exige o conhecimento de como e onde o aumento se dará,

deixamos de fazê-la no momento. Fica aqui registrada, entretanto, a extrema importância desta previsão em futuro próximo.

* Registra-se, em alguns poços de Mossoró amostrados, uma tendência de aumento da dureza total da água do Açú, no período 85-95 (figuras 2 a 6). É possível que esta tendência esteja associada à contribuição do aquífero Jandaíra via drenança vertical descendente. Considerando entretanto a sutileza dessa tendência bem como o desconhecimento de outras evidências, o aquífero Açú é ainda admitido no presente relatório como confinado não drenante. Foi utilizada portanto a função de Theis, tanto no modelo de inversão como no modelo de previsão de níveis. Em presença de uma eventual drenança que venha ocorrendo, entretanto, a severidade dessa condição é atenuada nas simulações, pela transmissividade equivalente utilizada (ver item 8.1).

* Os reservatórios de hidrocarbonetos da região de Mossoró ocorrem na Formação Açú, associados às suas águas doces e ocupando, naturalmente, altos estruturais. Para minimizar os riscos de contaminação dos poços produtores de água, as futuras locações devem evitar sistematicamente as proximidades desses altos.

As conclusões acima estabelecidas autorizam as seguintes recomendações:

* O panorama geral da exploração do aquífero Açú, acima caracterizado, deixa claro a extrema necessidade de serem adotadas medidas que conduzam, em futuro próximo, a uma efetiva gestão do manancial.

* Os estudos do aquífero Açú devem ser continuados, assumindo inclusive um caráter de acompanhamento permanente, a exemplo do que vem sendo feito pela COMPESA no aquífero Beberibe há cerca de vinte anos. Os mananciais subterrâneos, pela sua própria natureza, não têm seu comportamento tão prontamente elucidado como no caso dos mananciais de superfície. O conhecimento do comportamento dos mananciais subterrâneos, com efeito, evolui lentamente no tempo, a cada novo poço perfurado e testado, a cada novo nível ou descarga medida, a cada nova análise de dados efetuada, a cada novo relatório redigido. Nessas condições, é fundamental para a gestão racional dos aquíferos, sobretudo no caso daqueles aquíferos muito solicitados, a monitoração permanente do seu desempenho (descargas e níveis) e a análise permanente dessa monitoração. Esta afirmação torna-se perfeitamente aceitável se atentarmos para o fato de que a complexidade geológica dos reservatórios subterrâneos geralmente compromete as previsões feitas a partir das funções analíticas simplistas disponíveis. Assim, só a resposta dos aquíferos à exploração permite caracterizá-los em bases realísticas, o que justifica a importância da monitoração.

* Acreditamos que a CPRM, na qualidade de Serviço Geológico do Brasil, desponta naturalmente como o órgão mais indicado e mais capaz de assumir a iniciativa dos estudos que deverão conduzir à gestão do manancial. Desde que esta gestão é interesse comum de todos os usuários, dela dependendo a continuidade futura do suprimento d'água, a todos deve caber uma parcela de responsabilidade.

Fica aqui registrada, portanto, a sugestão de procurar reunir, como ponto de partida, CAERN, MAISA e alguns outros usuários, numa espécie de regime cooperativo, no sentido de viabilizar o monitoramento dos poços e a realização dos estudos.

* O programa de estudos deve contemplar inicialmente os seguintes pontos:

** Duração não inferior a três anos.

** É absolutamente imprescindível obter as informações geológicas da Petrobrás. Trabalhos publicados por essa empresa⁽¹⁷⁾ dão conta, por exemplo, da existência de 400 poços exploratórios na região de Mossoró. Mapas estruturais e de isópacas de diferentes unidades da Formação Açu, a nível de detalhe, são também disponíveis. A utilização dessas informações permitirá, de um lado, refinar a aplicação do modelo analítico de inversão (SUPES) e, de outro lado, tornará possível montar o primeiro numérico de fluxo, já com um extraordinário nível de detalhe.

** A ocorrência de água doce e óleo, partilhando o mesmo hábitat geológico, torna muito recomendável a presença de um especialista da Petrobrás na equipe hidrogeológica. A forma de participação desse especialista deverá ser definida oportunamente.

** Instalação de acesso para medidor de níveis e hidrômetros em todos os poços da região. As medições

de níveis e descargas devem ser mensais e de duração ilimitada.

** No presente trabalho foram inventariados 168 poços no Jandaíra. Este inventário deve ser ampliado e devem ser medidos níveis e cotas das bocas, para a elaboração da piezometria dos calcários. Esta deve fornecer importantes elementos para confirmar ou não as suspeitas de recarga do Açu por drenança vertical.

** As variações da razão isotópica O^{18}/O^{16} na água do Açu e suas relações com esta razão na água do Jandaíra, podem trazer informações valiosas sobre a eventual comunicação hidráulica dos dois reservatórios. Esta abordagem, juntamente com a piezometria do Jandaíra, podem esclarecer a questão da suposta drenança vertical. O Laboratório de Isótopos Estáveis do Departamento de Geologia da UFPE está aparelhado para efetuar as análises.

** A montagem das séries históricas de descargas e níveis dos poços do Açu constituiu a essência do trabalho de campo. Esta meta foi satisfatoriamente atingida, a nível do presente relatório, graças ao excelente desempenho da equipe CPRM. Considerando entretanto o curto prazo consignado a esta tarefa, muitas informações são ainda vagas, obscuras ou imprecisas. É recomendável uma revisão e ampliação deste trabalho.

** Devem ser realizadas imediatamente previsões de níveis futuros com o modelo analítico já disponível (BALTEX), levando-se em

(17) Refer. Bibliog.

conta projetos reais de ampliação da oferta, levantados principalmente junto à CAERN e MAISA. Devem também ser considerados usuários menores, como por exemplo o INCRA e a faz. São João. Esta tarefa visa de imediato, alertar os usuários para os eventuais efeitos indesejáveis que podem ocorrer.

** As informações levantadas e processadas nesta programação devem convergir para a elaboração de um primeiro modelo numérico de fluxo do aquífero Açú na região de Mossoró. Os modelos numéricos de fluxo permitem simulações mais reais que os modelos analíticos, pelo fato de levarem em conta as heterogeneidades do meio poroso. Este primeiro modelo será calibrado preliminarmente e serão realizadas as primeiras simulações da operação do conjunto de poços da região. O acompanhamento permanente do desempenho do aquífero, após a fase inicial dos estudos, irá fornecendo subsídios para um permanente refinamento do modelo.

* O objetivo último dos serviços acima

recomendados é a definição de mecanismos técnicos de gestão do manancial. Isto significa tomar as rédeas da exploração, estabelecendo como, onde e quanto se pode explorar, de modo a não comprometer a continuidade do suprimento dentro do alcance estabelecido, nem violar direitos de uso previamente adquiridos. O esforço dos especialistas neste sentido jamais surtiria efeitos práticos, entretanto, na ausência de dispositivos legais que fizessem os usuários cumprir as determinações técnicas. Hoje, tais dispositivos parecem estar próximos da realidade, personificados na Lei Federal de Águas Subterrâneas que tramita há dez anos no Congresso, mas com aprovação e promulgação previstas para este ano de 1996. O aquífero Beberibe, em Pernambuco, em face do volume de estudos técnicos já realizados, será certamente o primeiro manancial subterrâneo do Nordeste a ter sua gestão efetivada por esta lei. Esperamos que o aquífero Açú na região de Mossoró, seja o segundo.

* Finalmente, no que diz respeito à programação de treinamento da CPRM, grande parte dos estudos acima previstos pode ser realizada por geólogos da Companhia como temas de suas dissertações de mestrado, no âmbito do mestrado em Geociências da UFPE, opção hidrogeologia.

14. BIBLIOGRAFIA

- 1) REBOUÇAS, A.C. et alii - Bacia Potiguar: Estudo Hidrogeológico. SUDENE/DD/Bacia Escola de Hidrogeologia. Série Hidrogeologia nº 15, Recife, 1967.
- 2) MANOEL FILHO, J. et alii - Bacia Potiguar: Estudo por Analogia Elétrica das Condições de Exploração das Águas Subterrâneas do Arenito Açú na Região de Mossoró/RN. SUDENE, DD, Série Hidrogeologia nº 23, Recife, outubro/1968.
- 3) CAERN/HIDROSOLOS - Estudos Hidrogeológicos para Ampliação do Abastecimento d'Água da Cidade de Mossoró/RN. Recife, junho/1970 (relatório inédito).
- 4) MANOEL FILHO, J. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha 10 Jaguaribe NE. SUDENE, DD, Série Hidrogeologia nº 30, Recife, agosto/1971.
- 5) CAERN/ACQUAPLAN - Projeto de Abastecimento d'Água de Mossoró/RN: Estudo do Manancial Subterrâneo. Recife, 1972 (relatório inédito).
- 6) BEZERRA, Manassés A. - Captação de Mossoró: Dimensionamento das Condições de Exploração dos Poços Tubulares e Programa de Trabalho Complementar. CAERN/PLANAT, Natal, setembro/1977 (Relatório inédito).
- 7) CAERN/PLANAT - Relatório de Conclusão do Poço P-14 (CPRM 04-MO-11-RN). Natal, novembro/1977 (relatório inédito).
- 8) CAERN/PLANAT - Relatório de Conclusão do Poço P-15 (CPRM 04-MO-12-RN). Natal, junho/1978 (relatório inédito).
- 9) CAERN/PLANAT - Relatório de Conclusão do Poço P-16 (CPRM 04-MO-13-RN). Natal, fevereiro/1979 (relatório inédito).
- 10) BEZERRA, Manassés A. - Captação de Mossoró: Diagnóstico sobre a Situação do Manancial e o Dispositivo de Captação. CAERN/PLANAT, Natal, setembro/1980 (relatório inédito).
- 11) CAERN/PLANAT - Relatório de Conclusão do Poço P-17 (CPRM 04-MO-18-RN). Natal, dezembro/1981 (relatório inédito).
- 12) CAERN/PLANAT - Relatório de Conclusão (04) dos Poços P-6A (CPRM 04-MO-24-RN), P-8A (CPRM 04-MO-19-RN), P-18 (CPRM04-MO-26-RN), P-19 (CPRM 04-MO-25-RN). Natal, maio/1983 (relatório inédito).

- 13) CAERN/CPRM - Relatório de Conclusão do Poço P-21 (CPRM 04-MO-29-RN). Recife, janeiro/1986 (relatório inédito).
- 14) FEITOSA, E.C. - Captação de Mossoró: Perspectivas de Atendimento da Demanda Futura e Previsão de Níveis Dinâmicos CAERN/ATEPE, Natal, agosto/1986 (relatório inédito).
- 15) FEITOSA, E.C. - O Aquífero Cabeças no Vale do Gurguéia: Atualização dos Conhecimentos. Projeto de Irrigação do Gurguéia, Convênio DNOCS/ATEPE 058/86, LABHID, Recife, julho/1990 (relatório inédito).
- 16) LIMA NETO, F.F.; SOUZA, C.J. - Contaminação de Óleo em Poços de Água na Bacia Potiguar. In: Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, vol. 2, p. 1042-1053, Natal, outubro/1990.
- 17) VASCONCELOS, E.P.; LIMA NETO, F.F.; ROOS, S. - Unidade de Correlação da Formação Açú/bacia Potiguar. In: Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, vol. 1, p. 227-240, Natal, outubro/1990.
- 18) SOUTO, D.L.A.N.; PEDRA, W.N.; FARIAS, P.R.C. - Sistemas Depositionais e Geometria dos Reservatórios da Formação Açú no Alto de Mossoró, Bacia Potiguar. In: Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, vol. 1, p. 241-255, Natal, outubro/1990.
- 19) LIMA NETO, F.F. et alii - Atualização do Estudo Hidrodinâmico da Bacia Potiguar. In: Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, vol. 2, p. 1031-1041, Natal, outubro/1990.
- 20) CONTEP S.A. - Caracterização Hidrogeológica da Área da MAISA. Araraquara/SP, agosto/1993, (relatório inédito).
- 21) Van Der HEIJDE, Paul et alii - Groundwater Management: The Use of Numerical Models. Second Edition, Water Resources Monograph 5, American Geophysical Union, Washington, 1985.
- 22) DANIEL, J.M. - Étude des répercussions d'une exploitation de longue durée sur un système aquifère artésien: étude de l'évolution de Zarzis-Djerba. Chroniques d'Hydrogeologie, n. 11, p. 103-120. Paris, juin, 1967.
- 23) LOHMAN, S.W. - Groundwater hydraulics. Geological Survey Professional Paper., n. 70. p. 1-70. Washington, 1972.

15.1 - RESULTADOS DO SUPES - CRITÉRIO POÇO

15.2 - RESULTADOS DO SUPES - CRITÉRIO BATERIA

15.3 - PERFIS GEOLÓGICOS

15.4 - RESULTADOS DO BALTEX

15.5 - MAPA DE TRANSMISSIVIDADES

15.6 - PIEZOMETRIA OBSERVADA

15.7 - PIEZOMETRIA TEÓRICA

ANEXO - 15.1

AVALIAÇÃO DE TRANSMISSIVIDADES (INVERSÃO) - CRITÉRIO MIN. QUAD. P/POÇO

S MÉDIO = 0.000184 - T. MÉDIA = 13.08484 HECTOQUAD. P/ANO

POÇO	TRANS.	ARMAZ.	NOITER	SQR	MSQR	SRES.
m01	10.54314	0.000148	4	0.19491	97.45647	0.205565
m02	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
m03	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
m04	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
m05	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
m06	14.52531	0.000205	5	0.00394	1.97121	0.056153
m07	14.80417	0.000209	6	0.00000	0.00000	-0.000000
m08	13.06571	0.000184	5	0.09931	14.18684	0.519924
m09	16.89798	0.000238	5	0.00000	0.00000	0.000000
m10	14.37506	0.000202	5	0.07550	10.78509	0.414635
m11	14.01590	0.000197	5	0.12219	17.45593	0.581731
m12	10.16629	0.000143	7	0.02425	4.04174	-0.007606
m13	7.83215	0.000110	7	0.01395	2.32442	-0.011952
m14	7.32061	0.000103	4	0.03794	6.32250	0.068344
m15	13.13683	0.000185	4	0.02213	7.37683	0.036895
m16	12.28281	0.000173	4	0.01376	4.58547	0.051118
m17	10.32782	0.000145	4	0.06669	33.34289	0.087339
m18	7.35107	0.000104	4	0.29793	148.96722	0.285947
m19	15.28329	0.000215	4	0.00000	0.00000	0.000000
m20	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
m21	17.45429	0.000246	4	0.00000	0.00000	0.000000
p01	12.59921	0.000177	6	0.06001	7.50104	0.079342
p02	12.37775	0.000174	5	0.43684	87.36715	0.284124
p03	10.17097	0.000143	10	0.23209	46.41880	-0.080893
p04	11.33257	0.000160	7	0.00000	0.00000	0.000000
p05	10.57705	0.000149	8	0.20396	50.99004	-0.067965
p06a	12.61323	0.000178	8	0.14867	21.23904	-0.115779
p07	9.37844	0.000132	10	0.07647	25.48880	0.031646
p08a	9.20995	0.000130	7	0.6571	82.15131	0.304186
p09	9.95805	0.000140	9	0.30496	38.11970	-0.216206
p10	10.34957	0.000146	8	0.12873	21.45426	0.038959
p11a	13.75828	0.000194	8	0.00798	2.66146	-0.004351
p12a	14.89604	0.000210	5	0.31953	45.64673	0.942926
p13	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
p14	12.93575	0.000182	5	0.02416	2.68421	0.139341
p15a	13.70950	0.000193	4	0.00891	2.22873	0.055958
p16	12.36318	0.000174	3	0.00126	0.63088	-0.034248
p17	10.44230	0.000147	5	0.18779	26.82756	0.570012
p18	13.11965	0.000185	5	0.02958	4.93001	0.078321
p19	11.85177	0.000167	7	0.25379	42.29756	0.127732
p20	10.09570	0.000142	5	0.02201	4.40113	-0.053372
p21	11.42195	0.000161	5	0.17042	42.60407	0.301001
p22	11.00941	0.000155	7	0.00000	0.00000	0.000000
p23	11.35190	0.000160	4	0.08603	28.67723	0.050478
p24	10.76780	0.000152	9	0.00000	0.00000	0.000000
cl	10.05953	0.000142	4	0.01606	8.03186	0.036382

POÇO	TRANS.	ARMAZ.	NOITER	SQR	MSQR	SRES.
c2	8.52396	0.000120	6	0.00000	0.00000	0.000000
cop1	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
sj1	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
sj3	18.31199	0.000258	4	0.00000	0.00000	0.000000
sj4	4.69596	0.000066	4	0.00000	0.00000	0.000000
sj5	14.26791	0.000201	5	0.00000	0.00000	0.000000
pen1	27.69137	0.000390	4	0.00000	0.00000	0.000000
in4	20.55404	0.000289	5	0.00000	0.00000	0.000000
in3	24.34345	0.000343	4	0.00000	0.00000	0.000000
ag1	16.72283	0.000236	5	0.00000	0.00000	0.000000
sm1	10.73806	0.000151	4	0.00000	0.00000	0.000000
cp1	18.00031	0.000254	4	0.00000	0.00000	0.000000
ss1	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
es1	10.00832	0.000141	5	0.00000	0.00000	0.000000
ss2	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
rf2	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
ab1	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
AB-3	20.29928	0.000286	4	0.00000	0.00000	0.000000
AP-1	19.42797	0.000274	4	0.00000	0.00000	0.000000
GR-1	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
BA-1	*****	*****	s/ informação	*****	*****	*****
BA-2	13.98127	0.000197	4	0.00000	0.00000	0.000000
BA-3	18.73703	0.000264	4	0.00000	0.00000	0.000000
P-08	7.66224	0.000108	12	0.00000	0.00000	0.000000
P-11	10.93300	0.000154	10	0.11907	19.84554	-0.091276
P-15	13.53065	0.000191	5	0.03236	6.47136	0.101133
TB-1	17.84436	0.00251	5	0.00000	0.00000	0.000000

TRANS - Transm. Avaliada-NoInt. = N^o de Interações - SQR = Soma dos Quad. dos Resid.
 ARMAZ. = Coefic. de Armazenam. - MSQR = (SQR*1000)/No de Reb. Obs. - SRES = So-
 ma dos Res.

11-03-1996

14:58:34

BATERIA: a: moss. sup.

ANEXO - 15.2

AVALIAÇÃO DE TRANSMISSIVIDADES (INVERSÃO) - CRITÉRIO MIN. BATERIA

TRANS. 12.06655 - ARMAZ. 0.00016995 MINQ. 10.40027 No ITER. 6

POÇO	MSQR	RESP	RESN	SRES
m01	143.72	0.53023	-0.07938	0.45086
m02	*****	s/ informação	*****	*****
m03	*****	s/ informação	*****	*****
m04	*****	s/ informação	*****	*****
m05	*****	s/ informação	*****	*****
m06	6.00	0.00000	-0.06620	-0.06620
m07	39.12	0.00000	-0.19779	-0.19779
m08	6.17	0.11919	-0.03262	0.08656
m09	7.76	0.00000	-0.08809	-0.08809
m10	9.48	0.00222	-0.11285	-0.11063
m11	7.10	0.08112	-0.06924	0.01188
m12	26.70	0.15538	0.00000	0.15538
m13	203.50	0.45056	0.00000	0.45056
m14	258.03	0.49553	0.00000	0.49553
m15	13.21	0.04071	-0.13742	-0.0967
m16	3.94	0.04030	-0.08536	-0.04507
m17	75.74	0.19791	0.00000	0.19791
m18	632.21	0.65839	0.00000	0.65839
m19	0.26	0.00000	-0.01599	-0.01599
m20	*****	s/ informação	*****	*****
m21	40.37	0.00000	-0.20093	-0.20093
p01	7.21	0.05393	-0.09048	-0.03655
p02	86.63	0.17162	-0.52376	-0.35213
p03	43.64	0.17749	-0.11001	0.06748
p04	0.30	0.01741	0.00000	0.01741
p05	44.29	0.17854	-0.20628	-0.02774
p06a	27.40	0.14485	-0.13838	0.00647
p07	36.43	0.13602	0.00000	0.13602
p08a	156.12	0.35171	-0.02343	0.32828
p09	36.65	0.16598	-0.11337	0.05261
p10	27.77	0.14434	-0.05724	0.08710
p11a	33.23	0.00000	-0.17074	-0.17074
p12a	17.55	0.06802	-0.16750	-0.09947
p13	*****	s/ informação	*****	*****
p14	4.38	0.07472	-0.05555	0.01917
p15a	17.64	0.00000	-0.11931	-0.11931
p16	0.92	0.00000	-0.02617	-0.02617
p17	67.05	0.25621	-0.11872	0.13749
p18	7.73	0.02870	-0.08451	-0.05582
p19	42.57	0.23148	-0.15671	0.07477
p20	21.90	0.14336	0.00000	0.14336
p21	58.30	0.20468	-0.09133	0.11335
p22	15.33	0.12383	0.00000	0.12383
p23	35.55	0.20474	-0.14661	0.05813
p24	28.49	0.16879	0.00000	0.16879

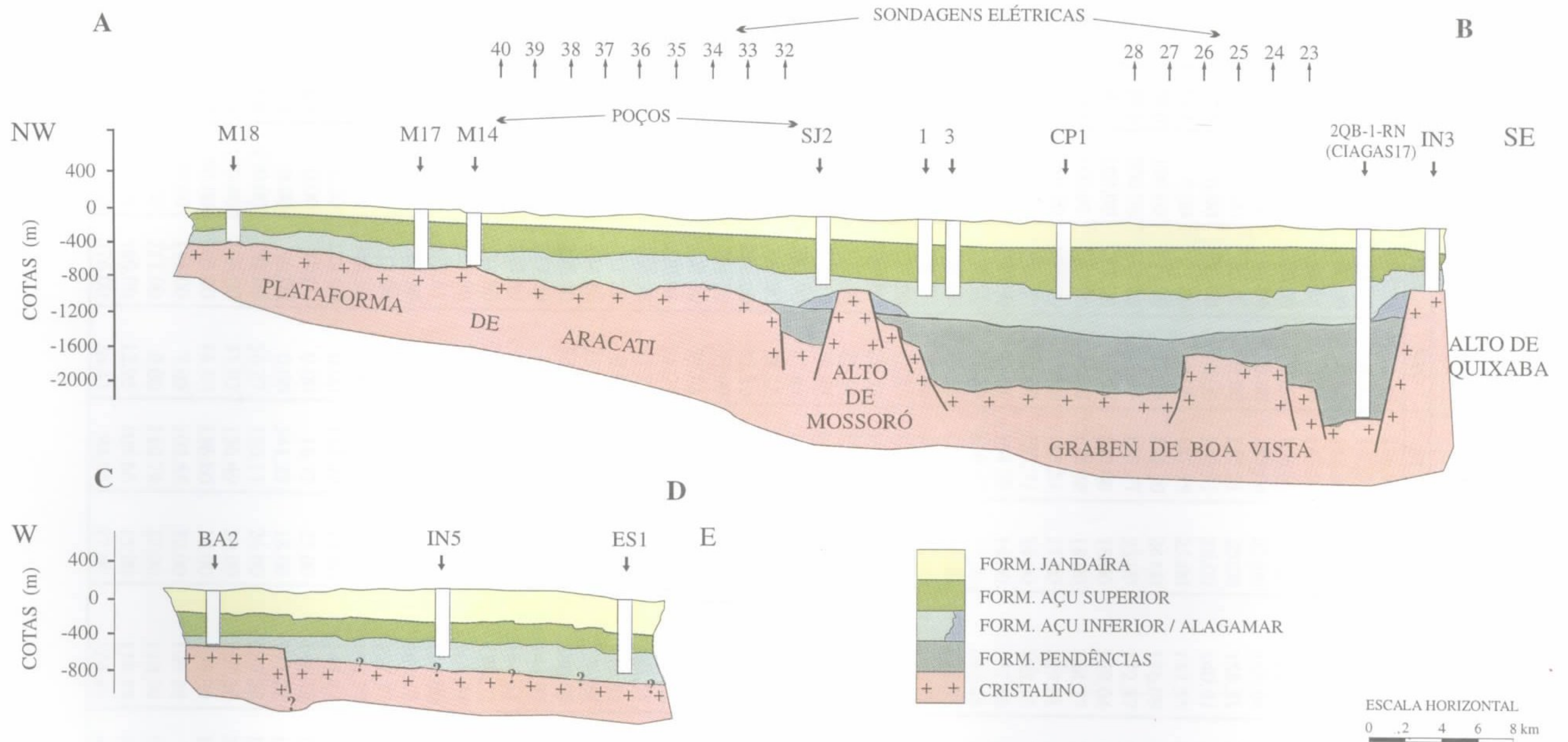
POÇO	MSQR	RESP	RESN	SRES
c1	37.00	0.16206	0.00000	0.16206
c2	111.49	0.33389	0.00000	0.33389
cop1	*****	s/ informação	*****	*****
sj1	*****	s/ informação	*****	*****
sj3	72.44	0.00000	-0.26914	-0.26914
sj4	188.09	0.43369	0.00000	0.43369
sj5	6.44	0.00000	-0.08027	-0.08027
pen1	6.04	0.00000	-0.07769	-0.07769
in4	87.28	0.00000	-0.29542	-0.29542
in3	59.63	0.00000	-0.24418	-0.24418
ag1	10.86	0.00000	-0.10419	-0.10419
sm1	4.66	0.06826	0.00000	0.06826
cp1	62.90	0.00000	-0.25079	-0.25079
ss1	*****	s/ informação	*****	*****
es1	0.71	0.02661	0.00000	0.02661
ss2	*****	s/ informação	*****	*****
rf2	*****	s/ informação	*****	*****
ab1	*****	s/ informação	*****	*****
AB-3	18.62	0.00000	-0.13646	-0.13646
AP-1	50.95	0.00000	-0.22573	-0.22573
GR-1	*****	s/ informação	*****	*****
BA-1	*****	s/ informação	*****	*****
BA-2	0.43	0.00000	-0.02063	-0.02063
BA-3	19.10	0.00000	-0.13820	-0.13820
P-8	45.81	0.21403	0.00000	0.21403
P-11	16.51	0.19607	-0.03931	0.15676
P-15	8.54	0.10275	-0.08621	0.01655
TB-1	1.12	0.00000	-0.03352	-0.03352

MSQR = (Soma dos Quad. dos Res. *1000) / (No de Rebaix. Obs.)
RESP = Res. Posit. Med. - RESN = Res. Negat. Med. - SRES = RESP + RESN

11-03-1996 15:04:45 BATERIA: a: moss. sup

PERFIS GEOLÓGICOS

ANEXO 15.3



ANEXO - 15.4

BATERIA: MOSSORÓ

DATA: 19-03-1996

HORA: 08:16:28

Nº	POÇO	CP	VAZ.	RD	SW	SI	T	SW+SI	ND
1	M-01	1098.6	200.00	288.11	36.43	126.97	14.00	163.41	207.61
2	M-02	16953.6	0.00	33.00	0.00	140.78	33.00	140.78	172.78
3	M-03	16107.7	0.00	90.00	0.00	143.32	32.00	143.32	143.32
4	M-04	19817.1	0.00	65.85	0.00	143.90	30.00	143.90	175.05
5	M-05	12359.0	0.00	56.00	0.00	126.09	30.00	126.09	154.09
6	M-06	16502.7	0.00	89.00	0.00	145.04	25.00	145.04	151.04
7	M-07	6362.3	0.00	95.00	0.00	155.51	25.00	155.51	203.51
8	M-08	6579.8	0.00	132.00	0.00	140.91	28.00	140.91	155.91
9	M-09	18055.1	0.00	77.00	0.00	147.55	25.00	147.55	189.55
10	M-10	2870.0	196.00	179.00	43.79	132.30	24.00	176.09	192.09
11	M-11	1039.6	200.00	191.00	42.71	130.17	23.00	172.87	176.87
12	M-12	659.3	100.00	260.00	16.96	132.08	18.00	149.04	174.04
13	M-13	573.9	100.00	245.00	16.89	127.38	18.00	144.27	164.27
14	M-14	503.7	150.00	255.00	5.50	113.51	17.00	139.01	169.01
15	M-15	1427.5	200.00	350.60	55.44	137.71	14.00	193.15	242.55
16	M-16	991.7	200.00	385.00	43.61	134.28	14.00	177.88	189.88
17	M-17	997.5	150.00	352.30	27.03	136.42	13.00	163.45	190.15
18	M-18	565.0	150.00	228.00	31.39	113.45	13.00	144.85	132.85
19	M-19	1226.6	0.00	106.00	0.00	118.32	28.00	118.32	108.32
20	M-20	7268.7	47.31	127.00	12.53	113.86	25.00	126.39	132.39
21	M-21	1772.4	150.00	298.00	28.33	140.06	18.00	168.40	192.40
22	P-01	15803.5	80.00	395.40	25.34	151.31	40.00	176.64	151.64
23	P-02	16427.2	100.00	379.10	33.43	149.98	40.00	183.41	156.31
24	P-03	17337.5	80.00	381.90	27.81	146.00	39.00	173.81	142.51
25	P-04	16899.1	60.00	397.00	18.15	146.85	35.00	165.00	133.00
26	P-05	23978.7	100.00	256.00	37.10	145.09	35.00	182.19	165.19
27	P-06A	5161.3	150.00	324.20	35.99	147.76	25.00	183.75	184.55
28	P-07	28036.8	100.00	208.50	39.52	148.02	33.00	187.55	175.05
29	P-08A	5196.8	100.00	220.98	21.73	145.09	25.00	166.82	142.62
30	P-09	21575.8	46.41	164.98	11.71	152.86	35.00	164.57	196.37
31	P-10	27688.5	0.00	111.20	0.00	145.31	27.00	145.31	134.11
32	P-11A	4644.0	100.00	334.66	23.66	152.58	19.00	176.24	187.24
33	P-12A	14281.4	100.00	296.40	30.02	150.97	27.00	180.99	197.59
34	P-13	29026.2	14.00	217.00	3.26	141.71	35.00	144.97	126.97
35	P-14	13281.9	0.00	119.50	0.00	156.61	25.00	156.61	178.61
36	P-15A	6797.3	100.00	294.80	27.82	150.71	16.00	178.52	191.22
37	P-17	3503.3	100.00	321.30	29.15	140.79	26.00	169.94	153.94
38	P-18	3503.5	100.00	272.81	22.61	146.99	23.00	169.60	195.70
39	P-19	4868.5	100.00	297.30	25.31	144.11	25.00	169.42	167.12
40	P-21	4993.4	100.00	313.04	24.02	133.15	21.00	157.17	154.97
41	P-22	3866.2	100.0	368.30	33.12	131.65	19.00	164.77	171.27
42	SJ-1	17187.5	0.00	123.00	0.00	145.47	14.00	145.47	143.47
43	SJ-2	4458.3	0.00	80.00	0.00	16.72	25.00	146.72	176.72
44	SJ-3	4731.1	0.00	90.00	0.00	141.22	18.00	141.22	146.22
45	SJ-4	6428.6	170.00	192.00	56.27	130.11	26.00	186.38	189.38
46	SJ-5	1446.0	170.00	308.00	31.02	136.49	20.00	167.50	204.50
47	AP-1	1940.8	80.00	305.00	16.80	136.60	18.00	153.39	163.39
48	GR-1	22768.7	30.00	196.00	7.03	102.55	32.00	109.28	72.28
49	BA-2	28980.9	0.00	111.00	0.00	110.79	27.00	110.79	162.79
50	BA-3	12701.8	40.00	160.00	12.95	105.65	15.00	118.59	178.59
51	TB.-1	31502.3	60.00	276.00	26.43	98.05	27.00	124.48	116.48

Nº	POÇO	CP	VAZ.	RD	SW	SI	T	SW+SI	ND
52	AB-3	6969.7	125.00	340.00	36.66	92.45	20.00	129.10	93.10
53	C-1	4509.6	100.00	260.00	37.00	107.36	12.00	144.35	137.35
54	C-2	4008.6	50.00	262.00	13.37	112.82	15.00	126.29	120.29
55	COP-1	14123.0	0.00	86.00	0.00	110.43	28.00	110.43	118.93
56	PEN-1	23114.7	30.00	157.00	7.29	133.95	29.00	141.24	174.24
57	IN-1	28040.2	50.00	266.00	17.85	101.19	11.00	119.03	250.03
58	IN-2	11542.6	11.44	104.00	2.94	101.04	11.00	103.98	147.98
59	IN-3	7142.6	80.00	245.00	18.39	85.81	13.00	104.20	144.20
60	IN-4	4934.3	80.00	299.00	19.85	103.83	11.00	123.67	144.67
61	IN-5	6832.5	100.00	203.00	23.61	130.28	10.00	153.90	24590
62	SM-1	4067.3	60.00	237.00	11.30	91.76	12.00	103.06	327.06
63	CP-1	544576.5	8.00	230.00	4.76	125.98	14.00	130.74	119.74
64	SS-1	24945.2	40.00	127.00	12.02	111.50	35.00	123.52	91.52
65	SS-2	25678.0	50.00	130.00	13.83	100.17	35.00	114.00	79.00
66	ES-1	16340.4	43.41	154.00	10.72	140.72	29.00	151.44	181.44
67	RF-2	2591.6	100.00	290.00	21.86	118.56	14.00	140.42	130.42
68	AG-1	5381.7	50.00	234.00	10.41	93.81	18.00	104.22	129.22

OBS: CP = coef. perd D4 VAZ = vazão (m³/s) RD = reb. disp. (m) SW = s₀+ds₀+D₄+J (m) SI = int. s₀ (m) T = Operação (anos) ND = nível din. (m)

BOMBEAMENTO CONTÍNUO

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO: S = 0.00017

TRANSMISSIVIDADE HIDRÁULICA: T = 0.003800

DESCARGA DA BATERIA: 5001.57 m³/h

ANEXO - 15.4

BATERIA: MOSSORÓ

DATA: 22-03-1996

HORA: 08:06:15

Nº	POÇO	CP	VAZ.	RD	SW	SI	T	SW+SI	ND
1	M-01	1098.6	200.00	288.11	34.98	108.36	4.00	143.33	187.53
2	M-02	16953.6	0.00	33.00	0.00	120.71	23.00	120.71	152.71
3	M-03	16107.7	0.00	90.00	0.00	123.74	22.00	123.74	123.74
4	M-04	19817.1	0.00	65.85	0.00	123.63	20.00	123.63	154.78
5	M-05	12359.0	0.00	56.00	0.00	105.74	20.00	105.74	133.74
6	M-06	16502.7	0.00	89.00	0.00	125.47	15.00	125.47	131.47
7	M-07	6362.3	0.00	95.00	0.00	135.48	15.00	135.48	183.48
8	M-08	6579.8	58.04	132.00	13.01	118.81	18.00	131.82	146.82
9	M-09	18055.1	0.00	77.00	0.00	127.50	15.00	127.50	169.50
10	M-10	2870.0	200.00	179.00	44.24	113.28	14.00	157.52	173.52
11	M-11	1039.6	200.00	191.00	42.04	111.16	13.00	153.21	157.21
12	M-12	659.3	100.00	260.00	16.48	112.74	8.00	129.22	154.22
13	M-13	573.9	100.00	245.00	16.42	108.18	8.00	124.60	144.60
14	M-14	503.7	150.00	255.00	24.73	94.10	7.00	118.83	148.83
15	M-15	1427.5	200.00	350.60	53.98	119.13	4.00	173.11	222.51
16	M-16	991.7	200.00	385.00	42.15	115.96	4.00	158.11	170.11
17	M-17	997.5	150.00	352.30	25.75	117.67	3.00	143.42	170.12
18	M-18	565.0	150.00	228.00	30.11	96.18	3.00	126.29	114.29
19	M-19	1226.6	35.69	106.00	7.79	98.20	18.00	105.99	95.99
20	M-20	7268.7	80.00	127.00	22.43	94.11	15.00	116.54	122.54
21	M-21	1772.4	150.00	298.00	27.63	121.09	8.00	148.72	172.72
22	P-01	15803.5	80.00	395.40	25.20	132.26	30.00	157.46	132.46
23	P-02	16427.2	100.00	379.10	33.26	131.07	30.00	164.33	137.23
24	P-03	17337.5	80.00	381.90	27.68	126.78	29.00	154.46	123.16
25	P-04	16899.1	60.00	397.00	18.03	127.63	25.00	145.66	113.66
26	P-05	23978.7	100.00	256.00	36.90	125.33	25.00	162.23	145.23
27	P-06A	5161.3	150.00	324.20	35.54	128.38	15.00	163.92	164.72
28	P-07	28036.8	100.00	208.50	39.31	128.83	23.00	168.14	155.64
29	P-08A	5196.8	100.00	220.98	21.43	125.65	15.00	147.08	122.88
30	P-09	21575.8	92.24	164.98	30.17	130.99	25.00	161.16	192.96
31	P-10	27688.5	0.00	111.20	0.00	125.66	17.00	125.66	114.46
32	P-11A	4644.0	100.00	334.66	23.23	133.39	9.00	156.62	167.62
33	P-12A	14281.4	100.00	296.40	29.75	131.46	17.00	161.21	177.81
34	P-13	29026.2	14.00	217.00	3.24	121.47	25.00	124.70	106.70
35	P-14	13281.9	0.00	119.50	0.00	136.91	15.00	136.91	158.91
36	P-15A	6797.3	100.00	294.80	27.24	131.54	6.00	158.78	171.48
37	P-17	3503.3	100.00	321.30	28.86	121.53	16.00	150.39	134.09
38	P-18	3503.5	100.00	272.81	22.28	127.66	13.00	149.94	176.04
39	P-19	4868.5	100.00	297.30	25.01	124.30	15.00	149.32	147.02
40	P-21	4993.4	100.00	313.04	23.64	113.69	11.00	137.34	135.14
41	P-22	3866.2	100.0	368.30	32.69	112.29	9.00	144.98	115.48
42	SJ-1	17187.5	0.00	123.00	0.00	125.15	4.00	125.15	123.15
43	SJ-2	4458.3	0.00	80.00	0.00	126.42	15.00	126.42	156.42
44	SJ-3	4731.1	0.00	90.00	0.00	120.72	8.00	120.72	125.72
45	SJ-4	6428.6	170.00	192.00	55.79	110.03	16.00	165.82	168.82
46	SJ-5	1446.0	170.00	308.00	30.33	117.02	10.00	147.35	184.35
47	AP-1	1940.8	80.00	305.00	16.42	117.36	8.00	133.78	143.78
48	GR-1	22768.7	30.00	196.00	6.96	82.13	22.00	89.09	52.09
49	BA-2	28980.9	15.00	111.00	4.18	89.70	17.00	93.89	145.89
50	BA-3	12701.8	40.00	160.00	12.69	85.63	5.00	98.32	158.32
51	TB.-1	31502.3	60.00	276.00	26.27	78.19	17.00	104.46	96.46

Nº	POÇO	CP	VAZ.	RD	SW	SI	T	SW+SI	ND
52	AB-3	6969.7	125.00	340.00	36.15	72.83	10.00	108.98	72.98
53	C-1	4509.6	100.00	260.00	35.95	88.47	2.00	124.42	117.42
54	C-2	4008.6	50.00	262.00	13.15	93.22	5.00	106.37	100.37
55	COP-1	14123.0	0.00	86.00	0.00	90.91	18.00	90.91	99.41
56	PEN-1	23114.7	30.00	157.00	7.22	113.29	19.00	120.51	153.51
57	IN-1	28040.2	50.00	266.00	17.15	82.41	1.00	99.56	230.56
58	IN-2	11542.6	50.00	104.00	13.89	80.81	1.00	94.69	138.69
59	IN-3	7142.6	80.00	245.00	17.71	66.85	3.00	84.56	124.56
60	IN-4	4934.3	80.00	299.00	18.73	84.74	1.00	103.47	124.47
61	IN-5	6832.5	100.00	203.00	20.93	112.24	0.10	133.18	225.18
62	SM-1	4067.3	60.00	237.00	10.67	72.82	2.00	83.49	307.49
63	CP-1	544576.5	8.00	230.00	4.70	106.07	4.00	110.77	99.77
64	SS-1	24945.2	40.00	127.00	11.94	91.33	25.00	103.27	71.27
65	SS-2	25678.0	50.00	130.00	13.73	80.08	25.00	93.81	58.81
66	ES-1	16340.4	50.00	154.00	12.64	120.44	19.00	133.08	163.08
67	RF-2	2591.6	100.00	290.00	21.13	99.0	4.00	120.33	110.33
68	AG-1	5381.7	50.00	234.00	10.17	74.30	8.00	84.47	109.47

OBS: CP = coef. perd.D4 VAZ = vazão (m³/s) RD = reb. disp. (m) SW = s₀+ds₀+D₄+J (m) SI = int. s₀ (m) T = Operação (anos) ND = nível din. (m)

BOMBEAMENTO CONTÍNUO

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO: S = 0.00017

TRANSMISSIVIDADE HIDRÁULICA: T + 0.003800

DESCARGA DA BATERIA: 5237.96 m³/h

ANEXO - 15.4

BATERIA: MOSSORÓ

DATA: 19-03-1996

HORA: 08:28:18

Nº	POÇO	CP	VAZ.	RD	SW	SI	T	SW+SI	ND
1	M-01	1098.6	200.00	288.11	37.06	133.91	24.00	170.97	215.17
2	M-02	16953.6	0.00	33.00	0.00	148.29	43.00	148.29	180.29
3	M-03	16107.7	0.00	90.00	0.00	150.18	42.00	150.18	150.18
4	M-04	19817.1	0.00	65.85	0.00	151.26	40.00	151.26	182.41
5	M-05	12359.0	0.00	56.00	0.00	133.93	40.00	133.93	161.93
6	M-06	16502.7	0.00	89.00	0.00	151.86	35.00	151.86	157.86
7	M-07	6362.3	0.00	95.00	0.00	162.70	35.00	162.70	210.70
8	M-08	6579.8	0.00	132.00	0.00	147.85	38.00	147.85	162.85
9	M-09	18055.1	0.00	77.00	0.00	154.67	35.00	154.67	196.67
10	M-10	2870.0	163.41	179.00	35.64	140.53	34.00	176.16	192.16
11	M-11	1039.6	200.00	191.00	43.13	136.78	33.00	179.91	183.91
12	M-12	659.3	100.00	260.00	17.21	139.30	28.00	156.51	181.51
13	M-13	573.9	100.00	245.00	17.15	134.62	28.00	151.77	171.77
14	M-14	503.7	150.00	255.00	25.90	121.02	27.00	146.92	176.92
15	M-15	1427.5	200.00	350.60	56.07	144.27	24.00	200.34	249.74
16	M-16	991.7	200.00	385.00	44.23	140.85	24.00	185.09	197.09
17	M-17	997.5	150.00	352.30	27.53	143.29	23.00	170.81	197.51
18	M-18	565.0	150.00	228.00	31.89	120.26	23.00	152.15	140.15
19	M-19	1226.6	0.00	106.00	0.00	125.48	38.00	125.48	115.48
20	M-20	7268.7	16.55	127.00	4.13	122.82	35.00	126.95	132.95
21	M-21	1772.4	150.00	298.00	28.72	146.66	28.00	175.38	199.38
22	P-01	15803.5	80.00	395.40	25.44	157.91	50.00	183.35	158.35
23	P-02	16427.2	100.00	379.10	33.56	15.53	50.00	190.09	162.99
24	P-03	17337.5	80.00	381.90	27.92	152.85	49.00	180.76	149.46
25	P-04	16899.1	60.00	397.00	18.24	153.74	45.00	17.97	139.97
26	P-05	23978.7	100.00	256.00	37.25	152.04	45.00	189.29	172.29
27	P-06A	5161.3	150.00	324.20	36.28	154.47	35.00	190.76	191.56
28	P-07	28036.8	100.00	208.50	39.68	154.75	43.00	194.43	181.93
29	P-08A	5196.8	100.00	220.98	21.98	151.96	35.00	173.88	149.68
30	P-09	21575.8	16.90	164.98	3.46	161.42	45.00	164.88	196.68
31	P-10	27688.5	0.00	111.20	0.00	152.56	37.00	152.56	141.36
32	P-11A	4644.0	100.00	334.66	23.91	159.24	29.00	183.15	194.15
33	P-12A	14281.4	100.00	296.40	30.20	157.75	37.00	187.95	204.55
34	P-13	29026.2	14.00	217.00	3.28	148.93	45.00	152.21	134.21
35	P-14	13281.9	0.00	119.50	0.00	163.58	35.00	163.58	185.58
36	P-15A	6797.3	100.00	294.80	28.10	157.41	26.00	185.50	198.20
37	P-17	3503.3	100.00	321.30	29.34	147.77	36.00	177.10	160.80
38	P-18	3503.5	100.00	272.81	22.82	153.78	33.00	176.60	202.70
39	P-19	4868.5	100.00	297.30	25.51	151.00	35.00	176.51	174.21
40	P-21	4993.4	100.00	313.04	24.25	140.36	31.00	164.60	162.40
41	P-22	3866.2	100.00	368.30	33.37	138.86	29.00	172.23	178.73
42	SJ-1	17187.5	0.00	123.00	0.00	152.56	24.00	152.56	150.56
43	SJ-2	4458.3	0.00	80.00	0.00	153.80	35.00	153.80	183.80
44	SJ-3	4731.1	0.00	90.00	0.00	148.26	28.00	148.26	153.26
45	SJ-4	6428.6	153.67	192.00	49.90	137.86	36.00	187.75	190.75
46	SJ-5	1446.0	170.00	308.00	31.42	143.13	30.00	174.55	211.55
47	AP-1	1940.8	80.00	305.00	17.00	143.39	28.00	160.39	170.39
48	GR-1	22768.7	30.00	196.00	7.07	110.29	42.00	117.37	80.37
49	BA-2	28980.9	0.00	111.00	0.00	118.93	37.00	118.93	170.93
50	BA-3	12701.8	40.00	160.00	13.06	113.72	25.00	126.79	186.79
51	TB.-1	31502.3	60.00	276.00	26.54	106.18	37.00	132.73	124.73

Nº	POÇO	CP	VAZ	RD	SW	SI	T	SW+SI	ND
52	AB-3	6969.7	125.00	340.00	36.95	100.43	30.00	137.39	101.39
53	C-1	4509.6	100.00	260.00	37.35	114.98	22.00	152.32	145.32
54	C-2	4008.6	50.00	262.00	13.62	120.56	25.00	134.19	128.19
55	COP-1	14123.0	0.00	86.00	0.00	118.34	38.00	118.34	126.84
56	PEN-1	23114.7	30.00	157.00	7.35	141.24	39.00	148.58	181.58
57	IN-1	28040.2	50.00	266.00	18.03	109.11	21.00	127.15	258.15
58	IN-2	11542.6	0.00	104.00	0.00	109.65	21.00	109.65	153.65
59	IN-3	7142.6	80.00	245.00	18.66	94.13	23.00	112.78	152.78
60	IN-4	4934.3	80.00	299.00	20.15	111.79	21.00	131.94	152.94
61	IN-5	6832.5	100.00	203.00	24.02	137.44	20.00	161.45	253.45
62	SM-1	4067.3	60.00	237.00	11.51	99.90	22.00	111.41	335.41
63	CP-1	544576.5	8.00	230.00	4.79	133.70	24.00	138.48	127.48
64	SS-1	24945.2	23.66	127.00	6.40	119.94	45.00	126.33	94.33
65	SS-2	25678.0	50.00	130.00	13.90	108.22	45.00	122.12	87.12
66	ES-1	16340.4	21.84	154.00	4.83	148.72	39.00	153.55	183.55
67	RF-2	2591.6	100.00	290.00	22.17	125.78	24.00	147.96	137.96
68	AG-1	5381.7	50.00	234.00	10.54	102.12	28.00	112.66	137.66

OBS: CP = coef. perd D4 VAZ = vazão (m³/s) RD = reb. disp. (m) SW = s₀+ds₀+D₄+J (m) SI = int. s₀ (m) T = Operação (anos) ND = nível din. (m)

BOMBEAMENTO CONTÍNUO

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO: S = 0.00017

TRANSMISSIVIDADE HIDRÁULICA: T = 0.003800

DESCARGA DA BATERIA: 4843.02 m³/h

650kmE 660kmE 670kmE 680kmE 690kmE 700kmE 710kmE 9.480

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

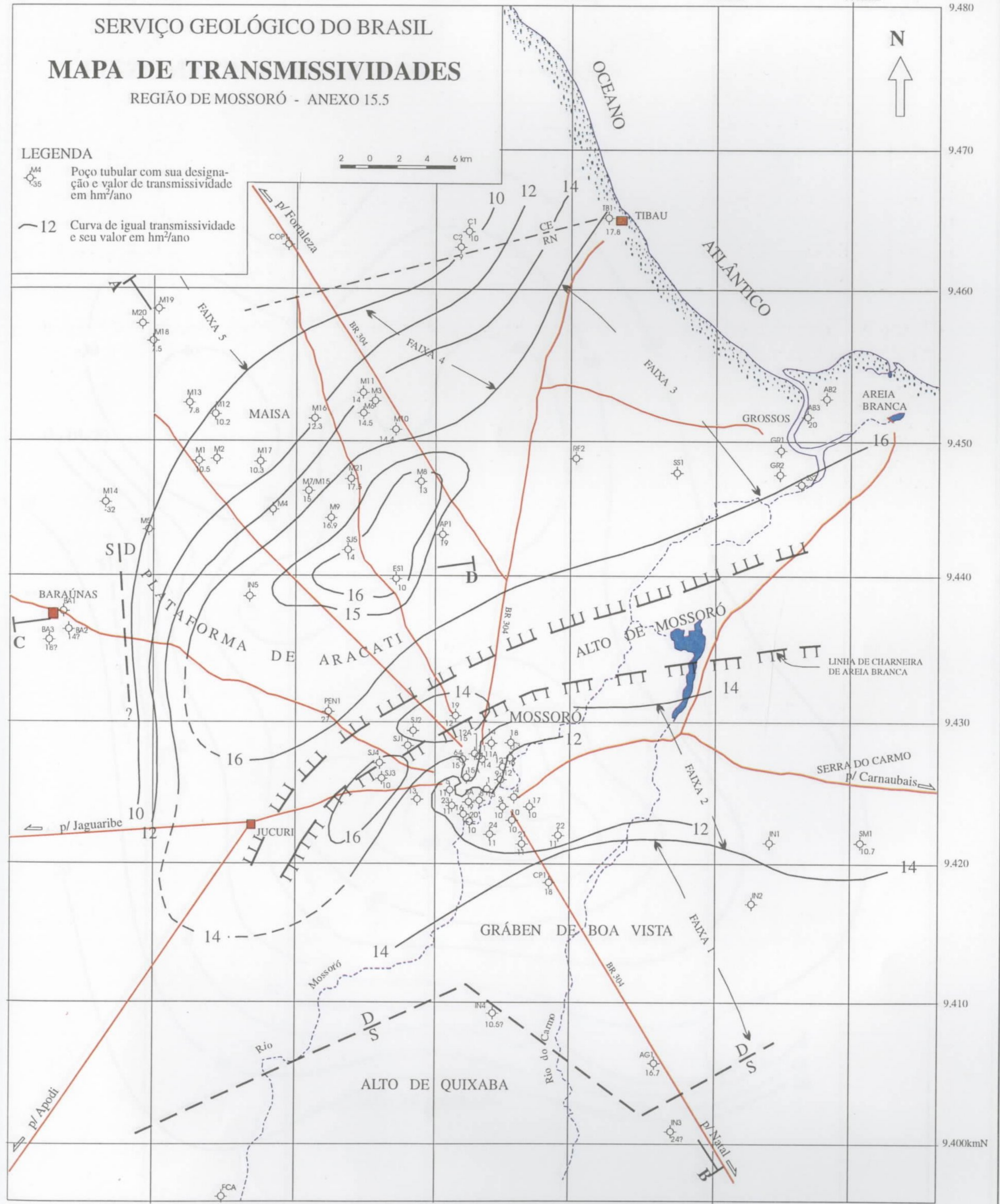
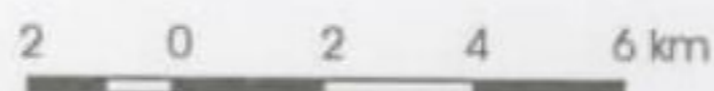
MAPA DE TRANSMISSIVIDADES

REGIÃO DE MOSSORÓ - ANEXO 15.5



LEGENDA

- Poço tubular com sua designação e valor de transmissividade em hm²/ano
- Curva de igual transmissividade e seu valor em hm²/ano



BASE PLANIMÉTRICA REDUZIDA A PARTIR DO MAPA TOPOGRÁFICO SUDENE 1:100.000. FOLHAS: ARACATI, A. BRANCA, MOSSORÓ E QUIXERÉ

650kmE 660kmE 670kmE 680kmE 690kmE 700kmE 710kmE 9.480 9.470 9.460 9.450 9.440 9.430 9.420 9.410 9.400kmN

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

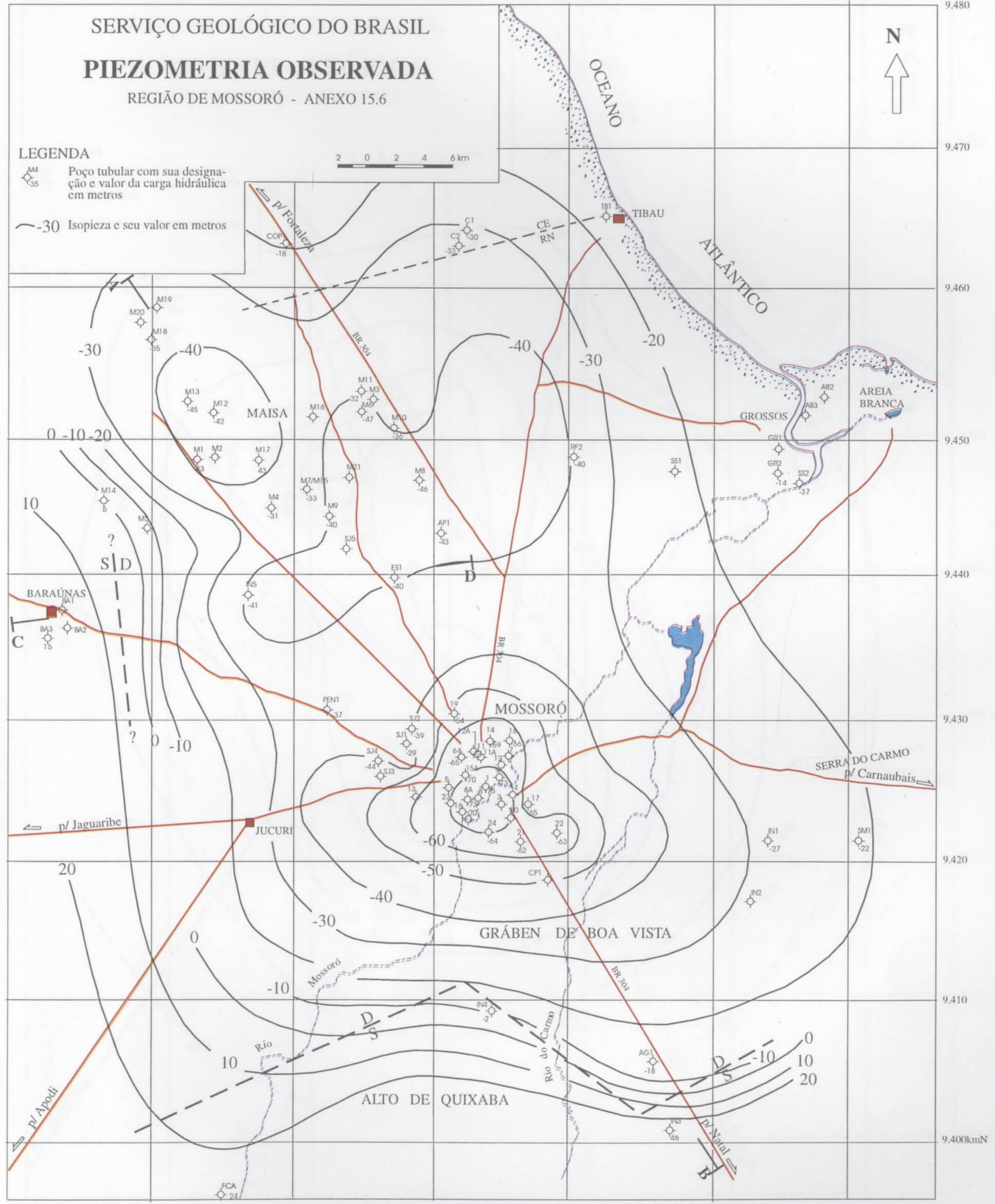
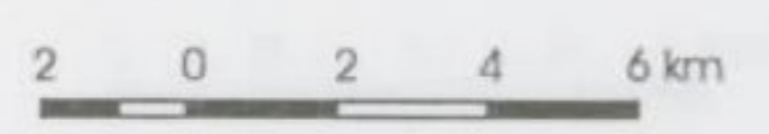
PIEZOMETRIA OBSERVADA

REGIÃO DE MOSSORÓ - ANEXO 15.6



LEGENDA

- Poço tubular com sua designação e valor da carga hidráulica em metros
- 30 Isopieza e seu valor em metros



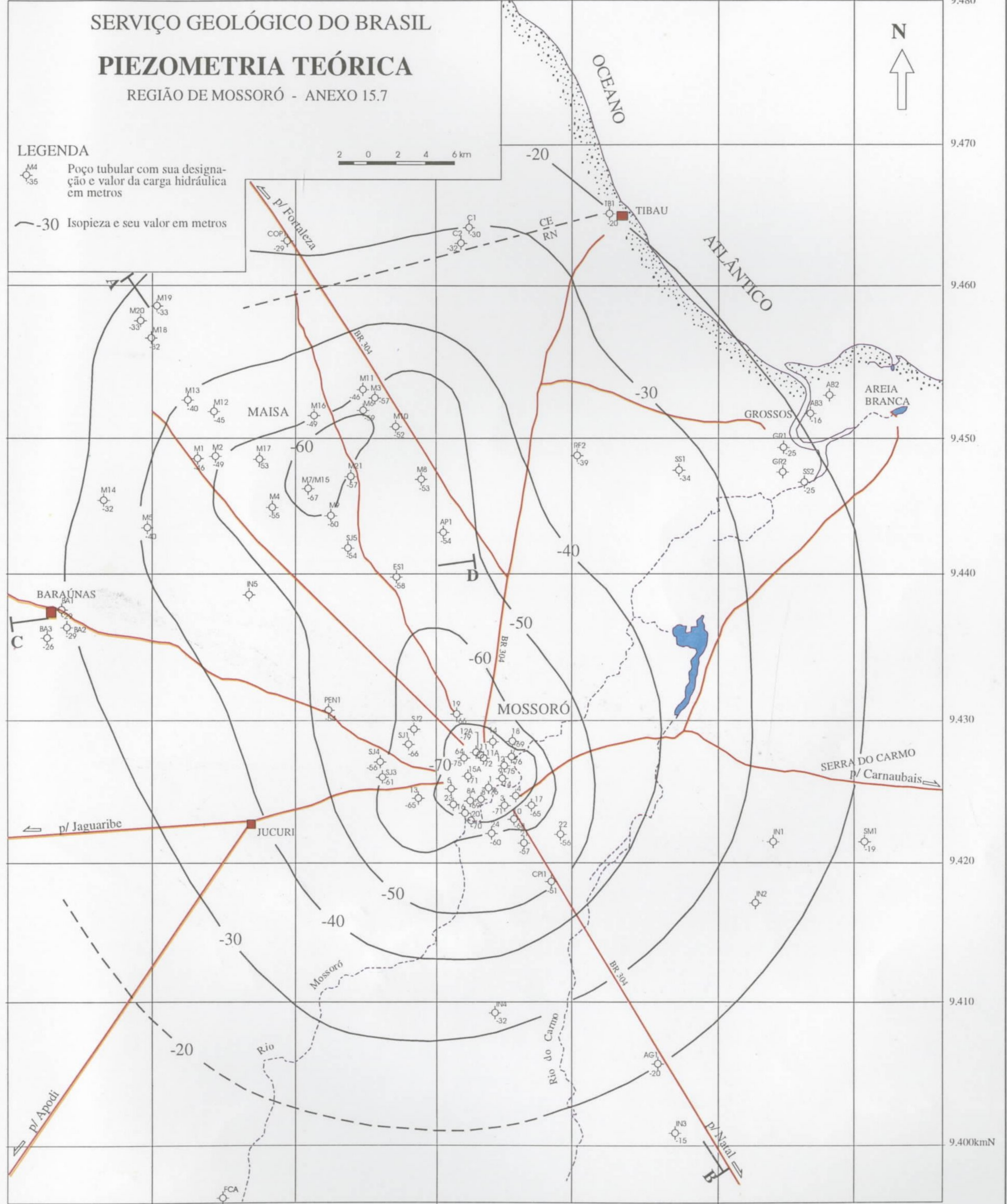
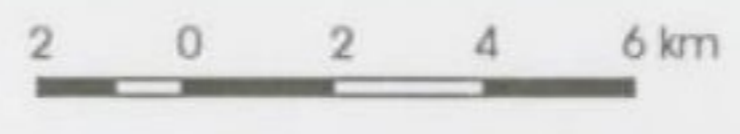
BASE PLANIMÉTRICA REDUZIDA A PARTIR DO MAPA TOPOGRÁFICO SUDENE 1:100.000. FOLHAS: ARACATI, A. BRANCA, MOSSORÓ E QUIXERÉ

650kmE 660kmE 670kmE 680kmE 690kmE 700kmE 710kmE

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
PIEZOMETRIA TEÓRICA
REGIÃO DE MOSSORÓ - ANEXO 15.7



LEGENDA
○_{M4}
○₃₅ Poço tubular com sua designação e valor da carga hidráulica em metros
— -30 Isopiezia e seu valor em metros



BASE PLANIMÉTRICA REDUZIDA A PARTIR DO MAPA TOPOGRÁFICO SUDENE 1:100.000. FOLHAS: ARACATI, A. BRANCA, MOSSORÓ E QUIXERÉ