

7ambo 001959

PROGRAMA DE AVALIAÇÃO E APROVEITAMENTO
DOS RECURSOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
DO ESTADO DE PERNAMBUCO



~~NO~~ I 99

I/2004

- Sugestão de Projeto -

S U M Á R I O

- 1 - INTRODUÇÃO
- 2 - SUMÁRIO HIDROGEOLÓGICO
 - 2.1 - Bacia Sedimentar Costeira
 - 2.2 - Bacia do Jatobá
 - 2.3 - Região da Chapada do Araripe
 - 2.4 - Terrenos Cristalinos
 - 2.5 - Aluviões
- 3 - OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO PROGRAMA
- 4 - ASPECTOS RELATIVOS AO ABASTECIMENTO DE PEQUENAS E MÉDIAS COMUNIDADES INTERIOANAS
- 5 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA EXECUÇÃO DO PROJETO
 - 5.1 - Dimensionamento de projetos de captação de água subterrânea - Intensificação do aproveitamento dos recursos existentes através da perfuração de novos poços.
 - 5.1.1 - Terrenos sedimentares
 - 5.1.1.1 - Estimativa das demandas
 - 5.1.1.2 - Dimensionamento preliminar das baterias.
 - 5.1.1.3 - Utilização do modelo de simulação analítica
 - 5.1.1.4 - Acompanhamento das perfurações
 - 5.1.2 - Terrenos cristalinos
 - 5.1.3 - Aluviões
 - 5.2 - Aprofundamento dos estudos hidrogeológicos na

bacia sedimentar costeira.

5.2.1 - Considerações sobre a simulação matemática de aquíferos.

5.2.2 - Operações para a elaboração e utilização do modelo matemático do aquífero Beberibe.

5.2.2.1 - Fase de coleta e obtenção de dados.

5.2.2.2 - Fase de ajuste e calibração

5.2.2.3 - Fase de utilização e exploração do modelo.

6 - ESTIMATIVA DOS CUSTOS

7 - CRONOGRAMA

1 - INTRODUÇÃO

As condições de ocorrência e acumulação das águas subterrâneas dependem fundamentalmente das características geológicas e em particular dos aspectos litológicos dominantes. Pode-se distinguir dois grandes grupos de terrenos que se diferenciam amplamente do ponto de vista da vocação hidrogeológica. O primeiro corresponde às áreas de ocorrência das rochas cristalinas e metamórficas que apresentam em geral frcas possibilidades em função das condições peculiares de armazenamento no meio fissurado, e o segundo diz respeito aos terrenos sedimentares onde via de regra são bem mais amplas as perspectivas de exploração intensiva dos recursos hídricos subterrâneos.

Em Pernambuco os terrenos cristalinos ocupam a maior parte da área do Estado (cerca de 85%), enquanto que os depósitos sedimentares abrangem parte da bacia do Araripe na região de Araripina-Exu, uma parte da bacia Tucano-Jatobá na zona centro-sul do Estado, além da área abrangida pela importante bacia costeira envolvendo a região metropolitana do Recife e das manchas aluvionares que se distribuem e adquirem certo interesse hidrogeológico nas regiões ocupadas pelo embasamento cristalino.

A presente sugestão de projeto, elaborada à luz do quadro hidrogeológico dominante no Estado de Pernambuco, preconiza um maior desenvolvimento das atividades de Governo ligadas ao aproveitamento dos recursos hídricos do subsolo, de acordo com duas diretrizes fundamentais.

De um lado propõe uma utilização mais intensiva dos mananciais subterrâneos, mediante a perfuração sistemática de novos poços em bases tecnicamente consistentes e através do

prévio dimensionamento e elaboração de projetos de captação, de modo a constituir alternativas de abastecimento - em decorrência das crescentes demandas - tanto para os efetivos populacionais existentes na faixa costeira, como também para o atendimento de comunidades interioranas e do meio rural com vistas ao desenvolvimento agro-pecuário.

De outra parte o programa recomenda o aprofundamento e a intensificação dos estudos hidrogeológicos na região da bacia costeira, em função da indubitável importância dos recursos armazenados no abastecimento atual e futuro dos grandes contingentes populacionais existentes e ainda a serem fixados, tendo esses estudos por objetivo - mediante a utilização de metodologia adequada que permita o conhecimento preciso das condições de funcionamento hidráulico dos aquíferos - o estabelecimento de diretrizes básicas para nortear a ação governamental na exploração desses recursos, particularmente em vista da existência de problemas potenciais de intrusão marinha, ligados ao aproveitamento não planejado de aquíferos litorâneos.

2 - SUMÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Apresenta-se a seguir de forma sumária as principais feições dominantes em cada uma das regiões hidrogeologicamente distintas, existentes no âmbito do Estado de Pernambuco (Fig. I).

2.1 - Bacia Sedimentar Costeira

Na bacia sedimentar costeira de Pernambuco, distingue-se um pacote de sedimentos detriticos e marinhos de idade principalmente cretácea e terciária, cuja espessura aumenta gradativamente em direção ao mar a partir da linha de contato com o embasamento cristalino.

Esta sequência caracteriza-se pela ocorrência na parte basal de sedimentos arenosos, quartzosos ou calcíferos pertencentes a formação Beberibe. Sobrepostos a esses sedimentos ocorrem depósitos de caráter essencialmente carbonático correspondentes às formações Gramame do cretáceo superior e Maria Farinha do terciário inferior.

Completando a sequência ocorrem recobrando ora os calcários ora os arenitos da formação Beberibe, os sedimentos areno-argilosos do grupo Barreiras de idade terciária-quaternária.

As características litológicas, estruturais e as relações estratigráficas entre as diferentes formações controlam as condições de ocorrência, acumulação e circulação das águas subterrâneas.

Analisando os diferentes aspectos geológicos influentes, verifica-se que as rochas do embasamento cristalino

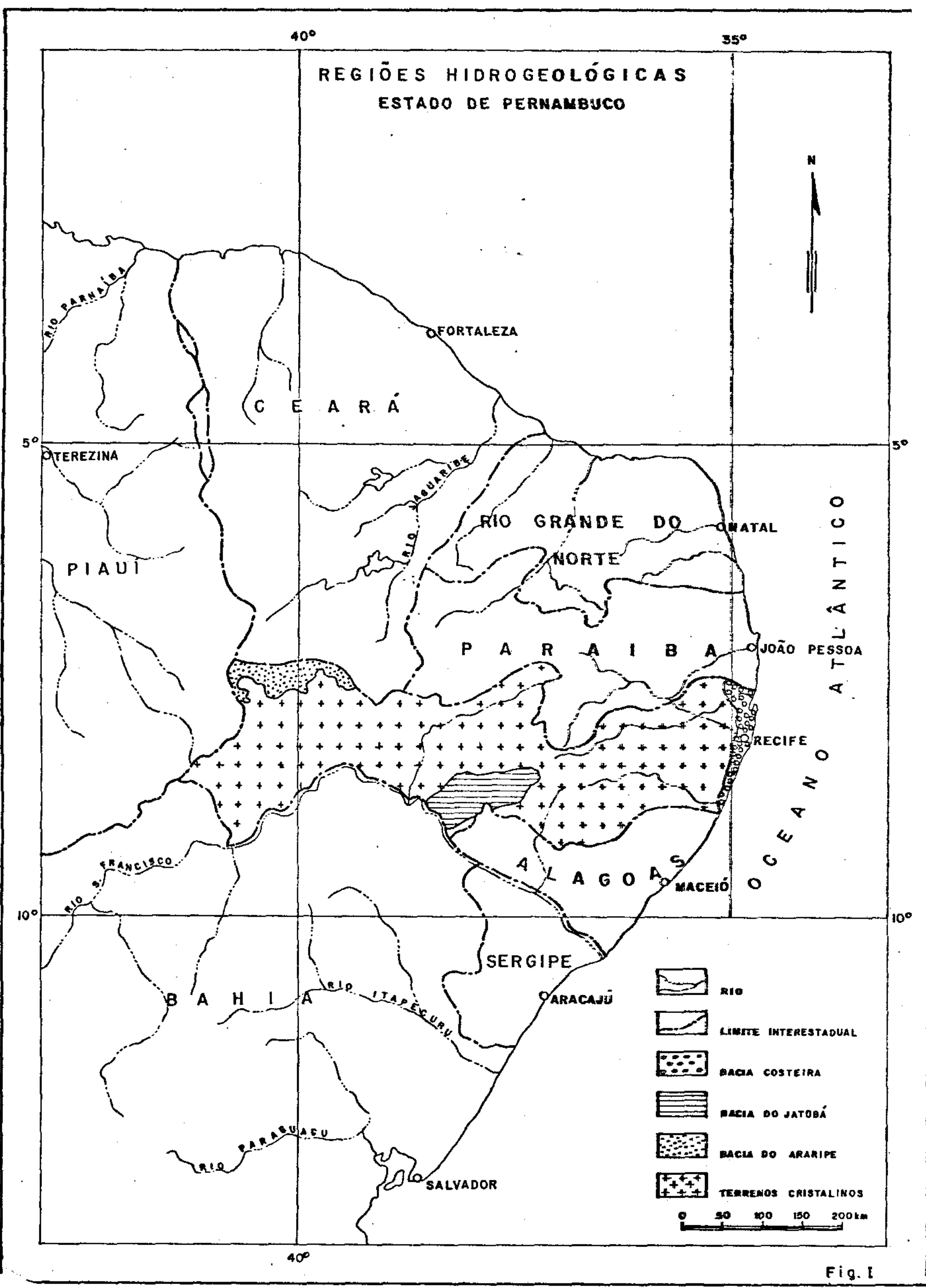


Fig. 1

funcionam como barreira impermeável ao fluxo subterrâneo da faixa sedimentar, em profundidade e lateralmente ao longo das bordas da bacia.

Sobre as rochas do embasamento, sobrepõe-se em discordância erosiva e tectônica, o espesso pacote de sedimentos da formação Beberibe, constituído principalmente por clásticos finos, médios e grosseiros de natureza silicosa na base, gradando progressivamente para um conteúdo mais calcífero no topo. Sua espessura aumenta continuamente para leste, alcançando nas proximidades do litoral valores em torno dos 320 metros.

A inexistência de falhamentos importantes na sequência sedimentar confere uma continuidade lateral ao sistema em toda a área. Mantém condições de aquífero livre ao longo da zona de afloramento e de aquífero semi-confinado a partir da linha de contato com as formações superiores, com progressivo aumento de carga artesianas em direção ao litoral. De todo o pacote sedimentar esta unidade apresenta os condicionamentos litológico, estratigráfico, morfológico e estrutural mais favoráveis a acumulação das águas subterrâneas sendo considerado o principal sistema aquífero da região, motivo pelo qual suas características hidrogeológicas particulares e condições atuais de exploração serão tratadas mais detalhadamente no item 2.2.1 a seguir.

As formações Gramame e Maria Farinha sobrepostas à formação Beberibe apesar de constituírem unidades estratigráficas distintas, compõem um único sistema hidráulico de caráter carbonático onde o meio aquífero acha-se representado pelas diaclases e canais de dissolução cárstica.

Apresenta entretanto regionalmente, uma permeabili

dade fraca em vista das frequentes intercalações margosas sendo reduzido seu interesse hidrogeológico sobretudo devido aos elevados índices de dureza apresentados pelas águas armazenadas. Pode entretanto desempenhar papel de importância no contexto hidrogeológico da área como fonte de recarga do aquífero Beberibe, através de processos de filtração vertical descendente. Constitui um meio aquífero do tipo livre podendo contudo apresentar condições de semi-confinamento nas áreas recobertas pelo Grupo Barreiras.

Os sedimentos de natureza clástica do grupo Barreiras, constituem um sistema do tipo livre embora possa conter em profundidade níveis sob pressão em face das frequentes intercalações argilosas. A litologia predominantemente argiloarenosa, as fracas espessuras e a conformação morfológica caracterizada por tabuleiros entalhados, comprometem a continuidade lateral e favorecem as restituições subterrâneas conferindo ao sistema um interesse hidrogeológico por demais restrito.

2.1.1 - Aquífero Beberibe - Síntese dos conhecimentos atuais.

Durante o ano de 1978 foi realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, para a Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA, um estudo hidrogeológico de âmbito regional envolvendo a área dominada pelos municípios de Olinda-Paulista-Igarassu e Itamaracá, visando estabelecer um diagnóstico preliminar das condições de exploração de água subterrânea do aquífero Beberibe, em face da extraordinária importância assumida por este manancial no abastecimento dos elevados efetivos populacionais e do grande número

de indústrias estabelecidas na região metropolitana norte do Recife. Os principais aspectos hidrogeológicos levantados no estudo em questão, bem como as principais conclusões assumidas e recomendações estabelecidas para o prosseguimento dos estudos hidrogeológicos na área são apresentados a seguir:

a) O principal sistema hidrogeológico da bacia é representado pelos arenitos da formação Beberibe. Em escala regional, todo o pacote de sedimentos predominantemente arenítico poderia em princípio ser considerado como um único sistema aquífero, caracterizado por forte anisotropia, com permeabilidade horizontal sensivelmente maior que a vertical. Localmente contudo as particularidades litológicas existentes entre as partes inferior e superior da formação, permitem estabelecer sua separação em dois subníveis aquíferos, identificados como aquífero Beberibe inferior, mais silicoso e aquífero Beberibe superior, mais calcífero.

b) Em geral ocorre entre as duas seções uma camada argilosa ou siltica de espessura variável, podendo ser bastante delgada ou mesmo faltar totalmente quando então se verifica maior conexão hidráulica entre os dois subníveis. Regionalmente esta seção siltico-argilosa funciona como aquitardo separando os dois subníveis aquíferos, de modo que a seção inferior constituída por arenitos normalmente friáveis de fraca consistência e granulação variável, constitui um sistema semi-confinado limitado na base pelo aquiclúde representado pelo embasamento cristalino e no topo pela referida camada ou nível semi-permeável. O subnível superior representado por arenitos mais compactos e calcíferos, constitui também um sistema semi-confinado separado do aquífero inferior pelo aquitardo intermediário e limitado no topo pelos calcários da unidade Gramame-Maria Farinha e pelos sedimentos do grupo Barreiras.

As relações hidráulicas entre os dois subníveis aquíferos estão comandadas pelas diferenças de carga existentes e pela permeabilidade vertical do aquitardo intermediário, ocorrendo transferências de água entre eles por processos de filtração vertical.

c) Em consequência das diferenças litológicas entre os dois subníveis, ocorre uma marcada estratificação química, com águas menos mineralizadas e mais agressivas na parte inferior e águas mais salinas e de maior dureza na seção superior do sistema Beberibe. Por esta razão, a utilização de água subterrânea para o abastecimento urbano, tem se restringido ultimamente à captação dos arenitos inferiores mais silicosos, constituindo atualmente pelo comportamento qualitativo, o principal manancial subterrâneo da bacia costeira de Pernambuco.

d) Em face dos fracos gradientes piezométricos ainda existentes entre a área de recarga e os níveis mais profundos da zona semi-confinada, o aquífero inferior comporta-se como transbordante rejeitando a maior parte das águas infiltradas a partir da pluviometria. Esses volumes assumem especial significação no regime hidrológico dos rios que cortam a área de recarga, constituindo os fluxos de base correspondentes às restituições subterrâneas.

e) Em condições naturais não influenciadas pelos bombeamentos, estima-se que os fluxos horizontais na zona semi-confinada do aquífero inferior eram quase estacionários com predominância dos fluxos verticais. O subnível inferior apresentava cargas hidráulicas mais elevadas condicionando transferências verticais ascendentes para o aquífero superior, o que explica a marcada estratificação química ainda hoje observada no sistema Beberibe.

Com o início e intensificação dos bombeamentos ocorreu em amplas áreas uma inversão no condicionamento hidráulico original, em face do rebaixamento generalizado da piezometria do aquífero inferior, com formação e desenvolvimento de extenso cone de depressão na região de Olinda. Em consequência o subnível superior funciona atualmente como importante fonte de recarga do aquífero inferior por processos de filtração vertical descendente.

f) As descargas por bombeamento no aquífero inferior sofreram substancial incremento a partir de 1975 com a implantação sistemática de projetos de abastecimento dos principais núcleos populacionais da área. Particularmente no município de Olinda, em face das elevadas e crescentes demandas, foram perfurados inúmeros poços que aumentaram sensivelmente as vazões bombeadas. As descargas por bombeamento evoluíram de $9,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ em 1975 para $15,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ em 1976, atingindo $22,7 \cdot 10^6$ em 1977 e totalizando em 1978 um volume extraído da ordem de 25,2 milhões de m^3 .

g) A evolução da piezometria do aquífero Beberibe inferior mostra-se intimamente relacionada e concordante com as descargas ocorridas, podendo-se constatar estreita correlação entre a evolução e desenvolvimento dos cones de depressão, com os centros de bombeamento e as áreas de maior densidade de exploração. Observa-se na região de Olinda (1978), a existência de extenso e profundo cone de depressão com cotas piezométricas na parte mais deprimida da ordem de 50 metros abaixo do nível do mar, correspondendo a um incremento de declínio em torno dos 30 metros em relação aos níveis piezométricos existentes no ano de 1975.

h) Os dados dos testes de bombeamento já realizados permitem estabelecer uma transmissividade média para o aquífero.

ro inferior da ordem de $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$. Ao longo da faixa costeira onde o aquífero apresenta as maiores espessuras, as transmissividades são mais elevadas especialmente na área de Olinda. Observa-se contudo um decréscimo dos valores para oeste em consonância com a diminuição de espessura, e para norte (Itamaracá) em vista da redução de permeabilidade devido a presença de um maior número de intercalações silticas e argilosas.

A permeabilidade vertical do nível semi-confinante foi estimada entre 10^{-8} e 10^{-9} m/seg, correspondendo a um fator de filtração vertical de 4.500 metros para uma espessura média de 10 metros e para a transmissividade média admitida.

i) Através da utilização de métodos analíticos foi possível comprovar o condicionamento hidrodinâmico do aquífero inferior, estimado a partir das características litológicas e estratigráficas, tendo-se obtido na maior parte da área um satisfatório ajuste entre os níveis piezométricos atualmente observados e os níveis calculados analiticamente pelo modelo. Os resultados evidenciaram a importância da recarga por filtração vertical na obtenção de uma correlação aproximada entre níveis observados e calculados, bem como os efeitos das variações de transmissividade do aquífero. O processo de correlação permitiu ainda estabelecer os parâmetros hidráulicos do sistema que melhor se ajustavam a evolução piezométrica observada.

j) As salinizações observadas em alguns poços litorrâneos perfurados no aquífero inferior, parecem decorrer de processos locais e não generalizados de contaminação, parecendo resultantes da penetração vertical de águas superiores mais salinizadas existentes especialmente nos calcários, devido a cimentações de isolamento deficientes nestes poços. Es

te mecanismo parece bem evidenciado em alguns poços rasos perfurados no aquífero superior nas proximidades do litoral. Apresentam um contínuo processo de salinização com valores bastante elevados de condutividade, cloreto e sódio. Cabe pensar que o processo resulta da penetração de águas salgadas afetadas pelos bombeamentos no aquífero superior, facilitada pela elevada permeabilidade dos calcários (canais de dissolução cársica), e pela sua conexão mais fácil e direta com o mar.

Os dados químicos disponíveis e os mapas de melhor caracterização da intrusão marinha (cloretos e relação $rCl^-/rHCO_3^-$) evidenciam que a interface água doce - água salgada no aquífero inferior, se posiciona ainda a leste das captações existentes, não sendo entretanto possível precisar qual o avanço ocorrido da zona de mistura na direção do continente e qual sua posição atual, em consequência dos bombeamentos realizados desde a década passada.

k) A utilização de métodos de simulação analítica, permitiu verificar em caráter preliminar as possibilidades de atendimento da demanda futura. O atendimento da demanda em 1980 na totalidade dos sistemas de abastecimento existentes mediante a perfuração de 29 novos poços proporcionando uma descarga suplementar de $44.000 \text{ m}^3/\text{dia}$, provocaria um declínio moderadamente acentuado na superfície piezométrica atual. Para o ano de 1990 o atendimento da demanda poderia ocorrer apenas para alguns dos sistemas de abastecimento, em vista das profundidades excessivas a serem alcançadas pelos níveis dinâmicos em parte dos poços, enquanto que para o ano 2000 o atendimento total das demandas com água subterrânea seria impraticável, em vista das profundidades proibitivas dos níveis de bombeamento a serem alcançados na quase totalidade dos poços.

A alternativa considerada definiu provisoriamente a possibilidade de exploração de um volume suplementar da ordem de 150.000 m³/dia, a ser captado de forma esparsa e bem distribuída na área abrangida pelos municípios de Olinda - Paulista - Igarassu e Itamaracá.

1) Os resultados dos estudos analíticos em consonância com as possibilidades do método, conferiram uma segurança apenas relativa na estimativa de evolução dos níveis piezométricos para o atendimento da demanda futura, e evidenciaram a conveniência de prosseguimento dos estudos hidrogeológicos a partir de técnicas mais sofisticadas (modelos matemáticos numéricos) e compatíveis com as complexidades hidrogeológicas da bacia costeira.

Ficou ressaltado o caráter apenas orientativo das estimativas realizadas com os métodos analíticos sobretudo para o caso das áreas próximas do litoral, cujos esquemas de exploração preconizados deverão se apoiar na contínua observação e vigilância de piezômetros a serem perfurados na linha de costa. Serão inevitáveis as modificações e ajustes futuros nas condições de exploração estabelecidas, na medida em que seja conhecido o posicionamento real da zona de mistura água doce - água salgada e que se disponha de maiores conhecimentos acerca do mecanismo de avanço da interface na direção do continente.

No quadro atual dos conhecimentos alcançados foram estabelecidas as recomendações seguintes:

a) Iniciar um processo sistemático de medições periódicas dos níveis d'água nos aquíferos, com o objetivo de registrar a evolução dos níveis piezométricos na área, visando

do a calibração e ajuste de um modelo matemático numérico que retrate com suficiente precisão as condições de funcionamento hidráulico dos sistemas. Uma rede de observação básica poderia ser constituída por poços existentes fora de operação, entre eles os seguintes poços já catalogados: OL-05, PC-01-IA, PC-01-IA, SN-01-IA, SN-02-IA e SN-04-IA, além dos piezômetros a serem perfurados nas proximidades do litroal. As medições deverão ser mensais ou quinzenais devendo ser instalados em alguns poços linígrafos para obtenção de registros contínuos da variação piezométrica.

b) Perfuração imediata das estações piezométricas ao longo do litoral de Olinda e Paulista, visando o controle e a vigilância da intrusão marinha nos aquíferos superior e inferiores (piezômetros múltiplos).

c) Paralelamente à campanha de medição de níveis, deverão ser procedidas medições periódicas (semestrais), de vazão nos poços existentes, tendo em vista a quantificação das descargas na área e o estabelecimento da correlação com os declínios dos níveis piezométricos na rede básica de observação. Estes dados terão fundamental importância nos estudos futuros, tendo em vista o controle das ações exteriores exercidas sobre o sistema, a serem utilizadas na fase de calibração do modelo matemático.

d) Face às complexidades da problemática hidrogeológica da bacia costeira, recomenda-se a continuidade dos estudos a nível de maior detalhe, visando a elaboração de um mode

lo digital do aquífero que deverá ser progressivamente ajustado e calibrado na medida em que se disponha dos registros piezométricos a serem obtidos continuamente por um período mínimo de 3 anos na rede básica de observação. Numa etapa posterior, o modelo preconizado poderá ser transformado em um modelo mais geral envolvendo a gestão conjunta das águas superficiais e subterrâneas, de forma a otimizar a exploração dos recursos hídricos disponíveis na área, levando em conta as interações e relacionamentos existentes entre todos os componentes do sistema hidrológico.

2.2 - Bacia do Jatobá

Corresponde a uma bacia sedimentar de afundamento bastante restrita e situada na zona centro-sul do Estado de Pernambuco, ocupando uma superfície de aproximadamente 7.000 km².

As formações Marizal, Inajá e Tacaratu constituem os principais sistemas aquíferos da bacia.

A formação Marizal do cretáceo médio ocupa as maiores extensões e consta de arenitos, siltitos e conglomerados com uma espessura média da ordem de 300 metros. Geralmente ocorre capeada por amplo manto eluvial resultante de energética desagregação mecânica. Consta de uma sequência de arenitos amarelos e róseos, finos a médios, além de siltitos e folhelhos cinza, ocorrendo na base bancos conglomeráticos. Constitue um aquífero livre, e em certas áreas um sistema de aquíferos repetidos em face das intercalações impermeáveis, às vezes frequentes. Nas áreas de altitudes mais elevadas os níveis d'água geralmente estão muito profundos dificultando a captação dos recursos armazenados.

A formação Tacaratú forma a base da sequência paleozóica da bacia do Jatobá, aflorando respectivamente ao longo das bordas orientais e meridionais geralmente sob o aspecto de morros isolados ou formando "serras", das quais se destaca a faixa alongada que vai desde o município de Tacaratú até o de Buique.

Esta formação repousa discordantemente sobre o cristalino e compõe-se de arenitos grosseiros e conglomeráticos cinza claros, ou arenitos finos, cinzentos, amarelos ou róseos. Em alguns trechos apresenta-se silicificado e mais fortemente na sua porção basal. Remanescentes dessa formação são encontrados, ao norte, em forma de várias bacias de importância subsidiária, entre as quais se destacam a de Mirandiba e a da Serra da Arara ou de Exu.

Constitui o aquífero de maior importância na bacia do Jatobá, especialmente na faixa compreendida entre Petrolândia e Buique, ocorrendo em condições de confinamento pelos sedimentos da Formação Inajá sobreposta, e apresentando espessuras máximas estimadas preliminarmente em 500-600 metros na área da bacia. Vários poços tubulares já perfurados têm apresentado condições de surgência com pressões e vazões elevadas refletindo as boas possibilidades hidrogeológicas deste aquífero, tendo sido quantificados pela SUDENE em caráter provisório, recursos exploráveis da ordem de 30 milhões de m³/ano.

As áreas de afloramento da formação Inajá do devoniano, ocorrem acompanhando a orla meridional da bacia do Jatobá recobrando a formação Tacaratú. Compõe-se principalmente de arenitos cinza e róseos e de folhelhos e siltitos castanhos, esverdeados ou avermelhados, com espessura máxima da

ordem de 300 metros. Desempenha papel de importância no quadro hidrogeológico da bacia, por constituir a sequência confinante dos arenitos e conglomerados da formação Tacaratú subjacente, possibilitando condições de artesianismo em amplas áreas da bacia especialmente no seu bordo meridional. Em face das frequentes intercalações mais impermeáveis, constitui um sistema de níveis aquíferos repetidos que pode localmente assumir certa importância para abastecimento de âmbito restrito.

2.3 - Região da Chapada do Araripe

Os arenitos da formação Feira Nova constituem um aquífero do tipo livre, caracterizado morfologicamente por extenso chapadão tendo seu limite inferior formado pelos folhelhos e margas da formação Santana. No contato com esta formação principalmente no Estado do Ceará, a água subterrânea aflora segundo uma linha de fontes, totalizando uma descarga apreciável estimada em 900 l/seg pela SUDENE, nos trabalhos do "Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste".

O escoamento das águas subterrâneas no aquífero Feira Nova, ocorre principalmente para norte e leste, com a maior parte da descarga natural dirigindo-se para o vale do Cariri no Estado do Ceará. Devido a sua situação topográfica o aquífero Feira Nova apresenta sérias restrições para a exploração de água subterrânea através de poços. Sobre a chapada os níveis d'água são muito profundos sendo as vazões obtidas em geral muito fracas.

2.4 - Terrenos Cristalinos

Correspondem as zonas de ocorrência de rochas grníticas, gnáissicas, migmatíticas, quartzíticas, etc., de porosidade intergranular praticamente nula. O meio aquífero está representado pelas fissuras e diaclases interconectadas resultantes dos esforços sofridos apresentando em geral potencial hidrogeológico reduzido, seja pelo aspecto quantitativo devido as condições deficientes de circulação, seja pelo lado qualitativo, onde apresenta via de regra taxas excessivas de salinização em decorrência das condições de fluxo dominantes e do elevado tempo de contato com a rocha armazenadora.

As vazões dos poços são em geral baixas com valores médios entre 1000 - 2000 l/h, enquanto que a salinidade pode alcançar índices elevados tornando muitas vezes inadequada a utilização da água para o consumo humano.

Dependendo entretanto de critérios de locação tecnicamente consistentes que levem em conta os aspectos influentes ligados aos esforços tectônicos, (tipo e distribuição dos fraturamentos), e os condicionamentos morfológico, hidrológico e litológico, poderá ser aumentada a probabilidade de obtenção de vazões razoáveis e de águas de potabilidade adequada, capazes de atender às necessidades do uso doméstico e do abastecimento de pequenas comunidades.

2.5 - Aluviões

Ocorrem ao longo dos vales dos cursos d'água sendo depósitos de sedimentação recente. Nas áreas de rochas cristalinas, assumem grande interesse em virtude das deficiências

qualitativas geralmente observadas nas águas armazenadas no meio fissurado , constituindo dessa forma muitas vezes a única fonte de abastecimento capaz de atender as necessidades hídricas do meio rural e de pequenos núcleos populacionais.

Afigura-se portanto recomendável, a realização de estudos e pesquisas dirigidas em particular para a determinação das áreas aluvionares de potencial explorável e para a avaliação das reservas utilizáveis, bem como a indicação dos critérios mais adequados de exploração (poços de grande diâmetro, galerias e drenos), visando a utilização racional dos recursos disponíveis nas manchas aluvionares selecionadas.

3 - OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO PROGRAMA

Os recursos hídricos armazenados no subsolo vem assumindo mais recentemente grande importância no desenvolvimento urbano, industrial e agrícola de amplas áreas do Nordeste, em parte devido as características climáticas dominantes na região, que restringem as disponibilidades de águas superficiais especialmente pela ocorrência muitas vezes de sucessivos períodos de reduzida aportação pluviométrica. Além disso, a utilização racional das águas subterrâneas vem requerendo dos governantes e da administração pública atenção cada vez maior em face dos substanciais incrementos de demanda, decorrentes da expansão demográfica e da ampliação do parque industrial, e também em consequência da degradação de fontes superficiais tradicionais de suprimento motivada pela ação de agentes poluidores resultantes do desenvolvimento industrial e agro-industrial não devidamente controlados, como se observa na região da bacia costeira de Pernambuco.

Estes fatores, ao lado da necessidade de se oferecer aos imensos contingentes rurais o insumo básico representado pela água, para desestimular as correntes migratórias que pressionam cada vez mais os grandes centros urbanos e possibilitar sua fixação e permanência no meio rural através da atividade agrícola produtiva durante os períodos de recessão pluviométrica, tem requerido uma maior pesquisa, avaliação e aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, visando o suprimento da demanda ou a complementação da oferta propiciada pelos recursos superficiais tradicionais.

Levando-se em conta os aspectos hidrogeológicos dominantes no Estado de Pernambuco, dependentes e fundamentados no quadro geológico descrito precedentemente de forma sumária

ria, foi estabelecido um programa para o desenvolvimento dos setores ligados ao aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, tendo-se considerado duas linhas básicas de ação:

a) Intensificação do aproveitamento dos recursos disponíveis através da perfuração de novos poços. - Dimensionamento de projetos de captação de água subterrânea.

b) Aprofundamento dos estudos hidrogeológicos na faixa sedimentar costeira.

No primeiro caso um maior aproveitamento das águas subterrâneas com base em estudos hidrogeológicos consistentes e bem conduzidos, afigura-se justificável não somente pela necessidade de um apoio técnico compatível com as complexidades que normalmente se apresentam, como também pela sua destacada ação social no que tange a implantação ou ampliação de sistemas de abastecimento tanto em cidades de médio e grande portes, como em comunidades interioranas onde ainda persistem condições precárias ou deficientes de atendimento da demanda. Na área rural a perfuração sistemática de poços em bases técnicas, deverá por outro lado propiciar o necessário apoio ao desenvolvimento agro-pecuário sobretudo nas épocas de menor pluviosidade, promovendo a sustentação dos rebanhos e mesmo de cultivos e pastagem em regiões potencialmente favoráveis à implantação de sistemas simplificados de irrigação, com seria o caso da bacia do Jatobá.

O programa em tela, prevê a prestação por parte da CPRM de serviços de consultoria e assessoria técnica aos órgãos ligados ao Governo do Estado que desenvolvem trabalhos no campo do aproveitamento das águas subterrâneas, através do dimensionamento de projetos de captação, envolvendo a definição do número de poços necessários, suas locações e caracte-

rísticas construtivas, além do estabelecimento dos critérios que devem nortear a exploração dos aquíferos, definindo-se as vazões de bombeamento e o dimensionamento de equipamentos de recalque.

Tanto as atividades de perfuração de poços como os trabalhos de elaboração de projetos de captação, devem ser conduzidos paralelamente de modo a se complementarem mutuamente. Quer dizer, os novos poços perfurados fornecerão dados e subsídios adicionais para os estudos hidrogeológicos específicos, enquanto estes deverão apoiar o programa de sondagem, através das locações propostas, dos projetos de construção e das especificações de exploração.

No que se refere a segunda parte do programa relativa ao aprofundamento das investigações hidrogeológicas na faixa costeira, esses estudos afiguram-se não somente recomendáveis como também imprescindíveis, por se tratar de uma área onde os recursos de água subterrânea vem se revestindo de extraordinária importância estratégica para o abastecimento dos grandes contingentes populacionais, existente e ainda a serem fixados em toda a região metropolitana norte do Recife.

No nível atual dos conhecimentos alcançados, a definição de uma estratégia de exploração dos recursos existentes tem se revelado tarefa extremamente delicada e difícil, em face do ainda impreciso conhecimento dos mecanismos de funcionamento hidráulico dos aquíferos, especialmente no que se refere as condições de avanço e penetração da interface água doce-água salgada e sobretudo pelo desconhecimento atual do início da zona de transição.

Os estudos até agora efetuados, fundamentados na utilização de métodos analíticos, permitiram tão somente estimar de forma genérica e preliminar as condições de evolução

piezométrica nos poços do sistema Beberibe inferior, influenciada por recargas provenientes de aquíferos superiores, em função do atendimento de demandas futuras.

Porém, as limitações inerentes aos métodos analíticos não permitiram a abordagem dos problemas relacionados a anisotropia do sistema e às variações de permeabilidade do aquífero intermediário - reguladora em essência dos importantes volumes aportados por filtração vertical - bem como não possibilitaram a quantificação do balanço entre entradas e saídas de água especialmente na área de recarga onde este aspecto mostra-se relevante em face da importância assumida pelas restituições subterrâneas no regime hidrológico dos rios existentes.

Daí resulta a necessidade de prosseguimento dos estudos hidrogeológicos mediante a utilização de técnicas de investigação compatíveis com as complexidades hidrogeológicas do problema em tela, de modo a permitir - a partir da compreensão dos mecanismos reguladores do equilíbrio água doce - água salgada e das condições de funcionamento hidráulico dos sistemas -, a planificação da exploração dos aquíferos costeiros, racionalizando a distribuição espacial das captações à luz dos volumes exploráveis e do zoneamento da demanda e definindo a possibilidade de contribuição de tais recursos, dentro de um compromisso a ser assumido entre o atendimento das crescentes demandas e o inevitável avanço da interface água doce - água salgada na direção do continente.

4 - ASPECTOS RELATIVOS AO ABASTECIMENTO DE PEQUENAS E MÉDIAS COMUNIDADES INTERIOANAS

Dentro da programação proposta, um dos aspectos de maior interesse e significação refere-se ao desenvolvimento de estudos específicos de pesquisa de mananciais e definição de captações, tendo em vista o equacionamento dos problemas de abastecimento urbano nas cidades interioranas de pequeno e médio portes susceptíveis de atendimento com os recursos disponíveis de água subterrânea.

Inegavelmente um dos problemas que mais têm angustiado os setores responsáveis pelo abastecimento público (COMPE SA), sobretudo nas regiões dominadas pelos terrenos cristalinos, diz respeito as condições precárias de funcionamento de sistemas de abastecimento que utilizam recursos hídricos subterrâneos, em consequência de uma série de fatores influentes e interdependentes dentre os quais merece destaque: (1) a quase sempre inexistência de estudos hidrogeológicos prévios para definição e caracterização dos mananciais e dimensionamento das captações; (2) a locação indiscriminada dos poços sem base tecnicamente consistente; (3) - a ocorrência frequente de defeitos construtivos que repercutam negativamente nas condições de funcionamento dos poços; (4) - os problemas de produtividade dos poços e de adequabilidade química das águas, que restringem fortemente a utilização dos recursos armazenados no meio fissurado dominante em amplas regiões do Estado de Pernambuco.

Nas áreas cristalinas portanto, em função de sua re conhecida baixa vocação hidrogeológica, preconiza-se a intensificação dos esforços no sentido de desenvolver as pesquisas e estudos dos mananciais alternativos representados pelas man

chas aluviais existentes em grande parte da rede de drenagem, através da identificação fotogeológica e caracterização dimensional dos reservatórios e da utilização de técnicas de análise hidrodinâmica para definição das possibilidades de exploração e dimensionamento das obras de captação, indicadas para cada caso particular.

Numa primeira etapa deverão ser analisados detalhadamente os dados disponíveis sobre os sistemas de abastecimento existentes, especialmente no que se refere às condições hidrogeológicas dos mananciais explorados, os critérios adotados de locação de poços, as técnicas de perfuração empregadas, e as condições atuais de exploração.

A análise das informações a serem coletadas, ao lado da realização de uma campanha sistemática de testes de bombeamento nos poços existentes, deverá possibilitar a elaboração de um diagnóstico das condições de funcionamento dos sistemas em operação, devendo-se enfatizar particularmente os aspectos relacionados às possibilidades hidrogeológicas dos mananciais captados, e as condições de aproveitamento futuro dos poços existentes. Com base no diagnóstico, serão estabelecidos os critérios e diretrizes para nortear os estudos subsequentes, especialmente no que tange a ampliação e/ou redimensionamento dos sistemas existentes, no caso de demonstrada sua viabilidade, e o desenvolvimento das pesquisas para utilização dos mananciais alternativos (manchas aluviais), ao lado da implementação paralela do programa de perfuração de poços de pesquisa e poços produtores.

5 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA EXECUÇÃO DO PROGRAMA

As diversas etapas enumeradas a seguir sintetizam os procedimentos metodológicos que deverão orientar o desenvolvimento da programação em tela. A sequência descritiva aqui utilizada não implica necessariamente em uma rígida separação do ponto de vista operacional, mas comporta naturais superposições ou supressões dependendo das características de cada setor e dos objetivos particulares a serem alcançados, a fim de ser obtido um maior rendimento dentro de uma objetiva sistemática de trabalho.

5.1 - Dimensionamento de projetos de captação de água subterrânea, para intensificação do aproveitamento dos recursos existentes através da perfuração de novos poços.

5.1.1 - Terrenos sedimentares.

5.1.1.1 - Estimativa das demandas

Para que seja realizado o dimensionamento dos projetos de captação de água subterrânea faz-se necessário conhecer previamente os volumes necessários ao abastecimento, os quais deverão ser indicados pelo órgão do Governo interessado na execução dos trabalhos. Conhecendo-se entretanto os efetivos populacionais a serem atendidos, as demandas poderão ser quantificadas utilizando-se as taxas de consumo normalmente adotadas no dimensionamento de projetos de abastecimento. No caso da área metropolitana do Recife, adotar-se-á para o cálculo da demanda média diária a taxa de $0,25 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{dia}$ normal

mente utilizada pela COMPESA, enquanto que a demanda ponta correspondente ao dia de máximo consumo, poderá ser estimada multiplicando-se a demanda média pelo fator 1,2.

5.1.1.2 - Dimensionamento preliminar das baterias de poços.

Antes de serem iniciadas as primeiras perfurações, e com base nas demandas fixadas, deverá ser realizado um dimensionamento preliminar das baterias de poços, visando definir o número de poços necessários, suas locações e os espaçamentos adequados entre eles, além das vazões de bombeamento e das características construtivas básicas.

Para o atendimento de uma determinada demanda os custos finais de captação de água subterrânea dependem de uma série de fatores influentes e interdependentes dentre os quais se destacam:

a) Características hidrodinâmicas - Os coeficientes de transmissividade e armazenamento do aquífero, comandam a evolução dos rebaixamentos de nível d'água nos poços exploratórios, em consequência das vazões bombeadas e das interferências sofridas pela descarga nos demais poços existentes.

Os níveis dinâmicos finais de bombeamento terão influências importantes nos custos de perfuração, pelo dimensionamento de uma maior ou menor camara de bombeamento que absorva os rebaixamentos previsíveis. Além disso, as profundidades de nível dinâmico determinarão os custos de aquisição dos equipamentos de recalque - em função das potências requeridas e dos comprimentos de coluna de bomba-, bem como os gastos com a energia necessária à captação dos volumes bombeados.

b) Comportamento geo-hidrocinâmico - A evolução ao longo do tempo dos níveis d'água nos poços, depende das condições de funcionamento hidráulico do aquífero. Para um determinado valor da transmissividade e do armazenamento os rebaixamentos dos níveis d'água em aquíferos totalmente confinados ocorrem de forma bem mais intensa, que para aquíferos semi-confinados capazes de receber recarga de outros sistemas por filtração vertical.

No caso da bacia costeira e de acordo com estudos recentes efetuados pela CPRM (1978) para a COMPESA, o aquífero Beberibe inferior deve ser considerado um sistema drenante (semi-confinado) realimentado por processos de filtração vertical através de um aquitardo intermediário de baixa permeabilidade (10^{-9} m/seg), que comanda a intensidade do processo de recarga.

c) Limites do aquífero - Na estimativa dos rebaixamentos futuros nos poços exploratórios, as condições de continuidade lateral do aquífero assumem especial significação. A presença de barreiras impermeáveis ou de limites de potencial constante influi fundamentalmente na evolução dos níveis d'água, devendo ser levados em conta no dimensionamento das obras de captação sobretudo se esses possíveis limites se posicionam nas proximidades das baterias.

d) Número de poços - A definição de um maior ou menor número de poços para o atendimento de uma determinada demanda tem implicações preponderantes nos custos finais da água bombeada, em face dos elevados investimentos iniciais em perfuração e na aquisição das bombas.

Regra geral quanto menor o número de poços menores serão os custos finais do m³ bombeado. Entretanto, na medida em

que se diminui o número de poços, as vazões por poço aumentam, e conseqüentemente maiores serão os rebaixamentos e as perdas de carga, condicionando a obtenção de níveis de bombeamento muito profundos, que podem se tornar inviáveis quer seja por razões econômicas, por motivos de segurança de funcionamento ou devido as próprias condições hidrogeológicas locais que impossibilitam a obtenção de rebaixamentos excessivos.

e) Espaçamento entre os poços - As distâncias a serem fixadas entre os poços exploratórios influenciarão em maior ou menor grau, a intensidade das interferências mutuas e conseqüentemente, os níveis dinâmicos de bombeamento.

Para maiores espaçamentos as interferências são menores e menos elevados os custos de captação. Este aspecto contudo poderá ter reflexos nos custos de adução até o reservatório central, sendo necessário compatibilizar os menores gastos resultantes de um maior distanciamento entre os poços com a elevação dos custos de adutoras de maior comprimento.

Com respeito a locação dos poços outros aspectos de verão ser levados em conta, especialmente a presença de poços existentes em operação nas proximidades, bem como as condições topográficas locais, e a disponibilidade de áreas desapropriáveis.

f) Características construtivas dos poços - Os poços a serem perfurados poderão obedecer a diferentes características construtivas no que se refere a diâmetros de perfuração, revestimentos e filtros. Diâmetros maiores proporcionarão menores perdas de carga secundárias e conseqüentemente menores rebaixamentos, porém os custos de perfuração e dos materiais de completação serão mais elevados.

g) Interferências de poços pertencentes a outros sistemas de abastecimento - No dimensionamento das baterias outro aspecto importante a ser considerado refere-se as interferências a serem provocadas por poços que no futuro venham a ser perfurados para o atendimento e o reforço dos sistemas de abastecimento já implantados. Essas interferências deverão ser estimadas a partir das projeções de demandas futuras a serem atendidas com água subterrânea, especialmente para os sistemas de abastecimento localizados nas proximidades dos núcleos residenciais para os quais se realiza o dimensionamento das obras de captação.

O dimensionamento das baterias será realizado considerando todos os aspectos influentes referidos precedentemente, levando-se especialmente em conta as possibilidades de obtenção de máximo rebaixamento dos níveis d'água nos poços, na medida em que permitam as condições hidrogeológicas dominantes em cada setor (condições piezométricas atuais; profundidade do topo do aquífero, caso esteja confinado), através da determinação dos custos da água bombeada, mediante a análise de diferentes alternativas de captação.

Para efeitos de dimensionamento preliminar serão utilizados os valores dos coeficientes de transmissividade e armazenamento determinados em estudos anteriores, para poços existentes nas proximidades da área a ser atendida. Para o caso da bacia costeira, na seleção desses parâmetros levar-se-á em conta especialmente as interpretações de testes de bombeamento e as considerações hidrogeológicas contidas no estudo "Diagnóstico preliminar das condições de exploração de água subterrânea do aquífero Beberibe na área de Olinda - Paulista-Itamaracá" - elaborado em 1978 pela CPRM, para a COMPESA.

O dimensionamento das baterias de poços e a análise das diferentes alternativas, será realizada mediante utilização de um modelo de simulação analítica - Modelo Simaq - elaborado por França e Gaytan (1975), o qual permite considerar conjuntamente todos os diferentes aspectos envolvidos no dimensionamento e avaliação econômica de projetos de captação de água subterrânea.

5.1.1.3 - Características do Modelo de Simulação Analítica.

O modelo SIMAQ consiste em um programa de computador que se baseia na utilização das funções analíticas de rebaixamento, aplicando a equação de Theis para aquíferos onde o comportamento geo-hidrodinâmico caracteriza-se por total confinamento, e utilizando a equação de Hantush para os sistemas semi-confinados capazes de receber recarga por processos de filtração vertical.

Suas características principais são as seguintes:

- O modelo supõe um aquífero homogêneo e isotrópico com limites hidrogeológicos retilíneos, podendo ser impermeáveis ou de potencial constante. Admite um máximo de quatro limites hidrogeológicos sendo o efeito dos limites tratado mediante aplicação de teoria dos poços imagens.

- O programa gera automaticamente os poços imagens que substituem os efeitos dos limites do aquífero, podendo se obter um sistema compensado fechado ou no caso de infinitas imagens, um conjunto de imagens que se afastam da área de bombeamento, até que as imagens são compensadas ultrapassam um raio de influência especificado como dado de entrada. Neste

particular poderão ser especificados diferentes raios de influência com respeito aos efeitos de bombeamentos a longo prazo, a curto prazo ou a bombeamentos de caráter intermitente.

- O programa admite regimes variáveis de demanda, computando os efeitos a longo prazo e os efeitos de bombeamento durante um período curto de máxima demanda, que corresponde no caso do abastecimento público ao dia de máximo consumo. Calcula ainda os efeitos de descargas intermitentes, segundo diferentes regimes de intermitência.

- Apresenta total flexibilidade quanto a definição espacial do conjunto de poços exploratórios considerados, podendo-se definir detalhadamente cada um dos poços através de suas coordenadas, ou proceder a uma simplificação do esquema de captação mediante baterias retilíneas de poços igualmente espaçados.

- Devem ser fornecidos projetos - padrão de poços e de bombas especificando-se suas características construtivas e técnicas, custos básicos totais e custos unitários adicionais. O programa corrige o custo total de cada poço em função das condições topográficas locais (aumento ou diminuição das diferentes seções com respeito ao projeto de poço-padrão especificado), e do nível dinâmico (aumento ou diminuição da camara de bombeamento).

- Procede também a correção nos custos finais da bomba dimensionada, devido a acréscimo ou diminuição de potencia e a variações no comprimento da coluna com respeito ao projeto - padrão especificado.

- O programa calcula os rebaixamentos e perdas de carga nos poços, inclusive separando componentes relativos a interferências dos demais poços e influências dos limites considerados. Finalmente são computados os custos totais e por

unidade de demanda de investimento inicial, bem como os custos totais e por unidade de demanda atualizados ao início do projeto, discriminados entre poços, bombas e energia, além do custo do m³ bombeado correspondente ao esquema de captação simulado.

5.1.1.4 - Projetos de perfuração dos poços.

Para a definição dos esquemas de captação mediante a utilização do modelo de simulação analítica, devem ser especificados projetos de poços - padrão para que, em função das condições geológicas e topográficas locais e dos níveis dinâmicos de bombeamento a serem calculados, o modelo efetue as devidas correções no projeto inicial, aumentando ou diminuindo as diferentes seções do poço de forma a dimensioná-lo e adaptá-lo às condições existentes na locação.

A elaboração dos projetos básicos de perfuração a partir de vazões de bombeamento previamente definidas para atendimento das demandas fixadas, envolverá a definição de uma série de parâmetros, muitas vezes ligados entre si, dentre os quais se destacam: profundidades das diferentes seções do poço, diâmetros de perfuração e revestimento, filtros (aberturas, comprimentos e diâmetros), envoltório de cascalho, cimentações, etc. Para efeito de dimensionamento dos projetos - padrão e em função do condicionamento geológico da área serão consideradas três seções características :

- Seção de captação - Refere-se a parte do poço que corresponde ao aquífero captado, onde será colocada a coluna de filtros e revestimentos de ligação.
- Seção intermediária - Parte revestida intermediária entre a seção de captação e a câmara de bombeamento.

- Câmara de bombeamento - Correspondendo a seção revestida destinada a receber a bomba e absorver os rebaixamentos do nível d'água provocados pelo bombeamento e pelas interferências dos demais poços.

A) - Dimensionamento estrutural dos poços-padrão.

A.1) - Seção de captação.

O primeiro aspecto a considerar no dimensionamento da seção de captação, refere-se aos filtros e envolve a escolha de uma das duas alternativas seguintes:

- Opção pelo desenvolvimento natural, ou seja colocação dos filtros diretamente em contato com o aquífero.
- Desenvolvimento artificial, com colocação de envoltório de cascalho (pré-filtro) no espaço anular.

No caso de grande heterogeneidade dos sedimentos, com granulometria bastante variável, desde muito fina até conglomerática, recomenda a opção pela colocação do pré-filtro, pela maior garantia assegurada no que se refere ao carreamento de materiais para o poço. Por outro lado a colocação de envoltório de cascalho permitirá o dimensionamento de maiores aberturas, que possibilitam menores velocidades na passagem da água pelos filtros, constituindo uma das medidas prevenivas no que se refere a ação muitas vezes agressiva da água especialmente nas áreas próximas da zona de recarga.

A.1.1)-Comprimento dos filtros-Em aquíferos confinados, recomenda-se normalmente a colocação de filtros (em seções espaçadas) em cerca de 70 a 80% de sua espessura. Porém em vista da presença frequente de intercalações mais finas e mesmo

sílticas, fica previsto no dimensionamento preliminar das baterias de poços, a colocação de filtros em 50% da espessura do aquífero. Após as primeiras perfurações e dispendo-se dos resultados das análises granulométricas poder-se-á ajustar o comprimento dos filtros às condições locais. O comprimento dos filtros depende também do diâmetro considerado e da vazão de bombeamento consignada, de tal modo que permita a entrada da água com velocidades ideais da ordem de 3 cm/seg.

A.1.2) - Abertura dos filtros e granulometria do envoltório - O dimensionamento da abertura dos filtros depende das características litológicas do aquífero, que são evidenciadas através de análises granulométricas. Nos projetos-padrão iniciais, serão utilizadas análises efetuadas em amostras coletadas de poços já construídos. No caso da bacia costeira as análises disponíveis recomendam aberturas de 1 mm com envoltório de cascalho de granulometria variando em 1 e 3 mm. Dado o caráter heterogêneo dos sedimentos da formação Beberibe, será especificado para maior garantia a colocação de filtros de 1 mm de abertura nos horizontes mais grosseiros e de 0,75 mm nas camadas de granulometria mais fina, ambos os casos com o envoltório no dimensionamento referido. Na medida em que forem perfurados os primeiros poços nas áreas a serem indicadas, as análises granulométricas possibilitarão ajustar essas especificações definidas preliminarmente. A espessura do encascalhamento varia normalmente entre 8 e 20 cm, devendo-se adotar uma espessura intermediária de 12-13 cm.

A.1.3) - Diâmetro dos filtros - O diâmetro dos filtros a ser especificado, deverá ser tal que não provoque perdas de carga excessiva no deslocamento da água ao longo da seção de captação, na direção da bomba posicionada na câmara de bombeamento.

Levando-se em conta uma velocidade máxima recomendada de 1,5 m/seg. e conhecendo-se a vazão de bombeamento (Q) o diâmetro do filtro será dado por:

$$\text{Velocidade} = \frac{\text{vazão}}{\text{Área}} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$D = \sqrt{\frac{2,66 Q}{\pi}}$$

A.1.4) - Velocidade de entrada nos filtros - A velocidade de entrada deverá ser tal que não provoque perdas de carga excessivas e nem favoreçam os processos de incrustação e corrosão.

Provas de laboratório têm demonstrado que para velocidade da ordem de 3 cm/seg. essas condições são satisfeitas. Para uma determinada vazão de bombeamento, a velocidade de entrada depende da percentagem de área aberta, a qual se relaciona com a abertura dos filtros, o diâmetro e o comprimento.

A velocidade de entrada será calculada pela fórmula:

$$V_e = \frac{Q}{2 \pi r_f h} \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{1-b} \cdot \frac{1}{c} \quad \text{onde:}$$

Q = vazão (m³/seg)

r_f = raio do filtro

h = seção de captação

a = percentual de área aberta

b = percentual de obstrução dos filtros.

c = relação entre o comprimento dos filtros e o comprimento da seção de captação.

A.2) - Seção intermediária

O comprimento da seção intermediária corresponde a diferença entre a profundidade do poço (especificada em função das condições geológicas locais) e a soma dos comprimentos da seção de captação e da câmara de bombeamento. Em princípio o diâmetro será idêntico ao utilizado para os filtros, entretanto poderá ser maior dependendo das perdas de carga a serem estimadas no deslocamento da vazão bombeada ao longo da seção intermediária.

A.3) - Câmara de bombeamento

A câmara de bombeamento constitui a seção mais superior do poço, devendo o revestimento ter diâmetro suficiente para receber a bomba com folga adequada e um comprimento capaz de absorver o rebaixamento do nível d'água em consequência do bombeamento, das interferências de outros poços e das perdas de carga secundárias no poço.

O diâmetro da bomba será definido a partir da vazão de exploração e de um valor recomendado de rotação específica entre 40 e 60. O diâmetro do revestimento da câmara, será dimensionado multiplicando-se o diâmetro da bomba por um fator entre 1,2 e 1,3.

A.4) - Diâmetros de perfuração

Os diâmetros de perfuração estarão condicionados pelos diâmetros adotados para os revestimentos e os filtros, bem como pela espessura do envoltório de cascalho e pelas cimentações de isolamento. Ao mesmo tempo esses diâmetros deverão

permitir uma folga suficiente para que seja realizada com eficiência as operações de colocação de cascalho e cimentação, através de tubo guia a ser descido no espaço anular.

A.5) - Tipos de filtros e dos revestimentos.

Os materiais dos filtros e dos revestimentos deverão ser selecionados em função do caráter químico da água a ser bombeada. As seções de revestimento cego que unirão as diversas seções de filtros, devem ser em princípio de aço galvanizado utilizando-se tinta anti-corrosiva ou resina Epoxi para maior proteção contra a corrosão eletrolítica. Os materiais dos revestimentos da seção intermediária e da câmara de bombeamento deverão levar também em conta as características químicas da água, podendo em princípio ser de aço tipo H-40 ou similar.

A.6) - Cimentações.

As cimentações de isolamento do aquífero a ser explorado deverão ser realizadas a partir do topo do envoltório de cascalho, ao longo do espaço anular da seção intermediária e da câmara de bombeamento.

4.1.1.5 - Dimensionamento dos poços exploratórios e das bombas utilizando-se o modelo de simulação analítica - SIMAQ.

Devem ser fornecidos ao modelo, vários projetos-padrão de poços, ajustados às vazões de bombeamento consideradas e às condições geológicas das áreas a serem abastecidas,

especificando-se para cada um deles, suas características técnicas construtivas (profundidade total, profundidade da seção revestida e profundidade da câmara de bombeamento), um custo básico total e custos unitários adicionais de cada seção. Especifica-se também a vida útil do poço para efeitos de cálculo dos custos atualizados, bem como um fator de perdas de carga (função dos diâmetros e comprimentos das diferentes seções), para ser utilizado no cálculo da perda de carga secundária no poço.

Para cada poço exploratório considerado na simulação, indica-se qual o correspondente projeto de poço-padrão a ser utilizado na correção do custo real, que é realizado em função das condições topográficas de cada locação (aumento ou diminuição das diferentes seções) e do nível dinâmico final calculado pelo modelo (aumento ou diminuição da câmara de bombeamento). Do mesmo modo, deverão ser fornecidos ao modelo diferentes projetos - padrão de bombas, correspondentes a diferentes vazões, especificando-se o custo total correspondente ao projeto básico e os custos unitários adicionais (por seção de coluna e por Kwa adicional) para que o programa proceda o redimensionamento da bomba, e conseqüentemente a correção dos custos finais, relativos a variações necessárias no comprimento da coluna e aumento ou diminuição de potência.

A figura II, ilustra o procedimento adotado pelo programa para o redimensionamento do poço exploratório e da bomba a ser instalada, a partir dos dados dos projetos básicos de poço-padrão e bomba-padrão. Uma vez calculada a profundidade do nível dinâmico no poço exploratório o modelo corrige o comprimento da coluna da bomba, aumentando ou diminuindo seções no projeto básico especificado, para permitir a absorção do rebaixamento de nível d'água calculado. A partir desta

Projetos de Poço e Bomba

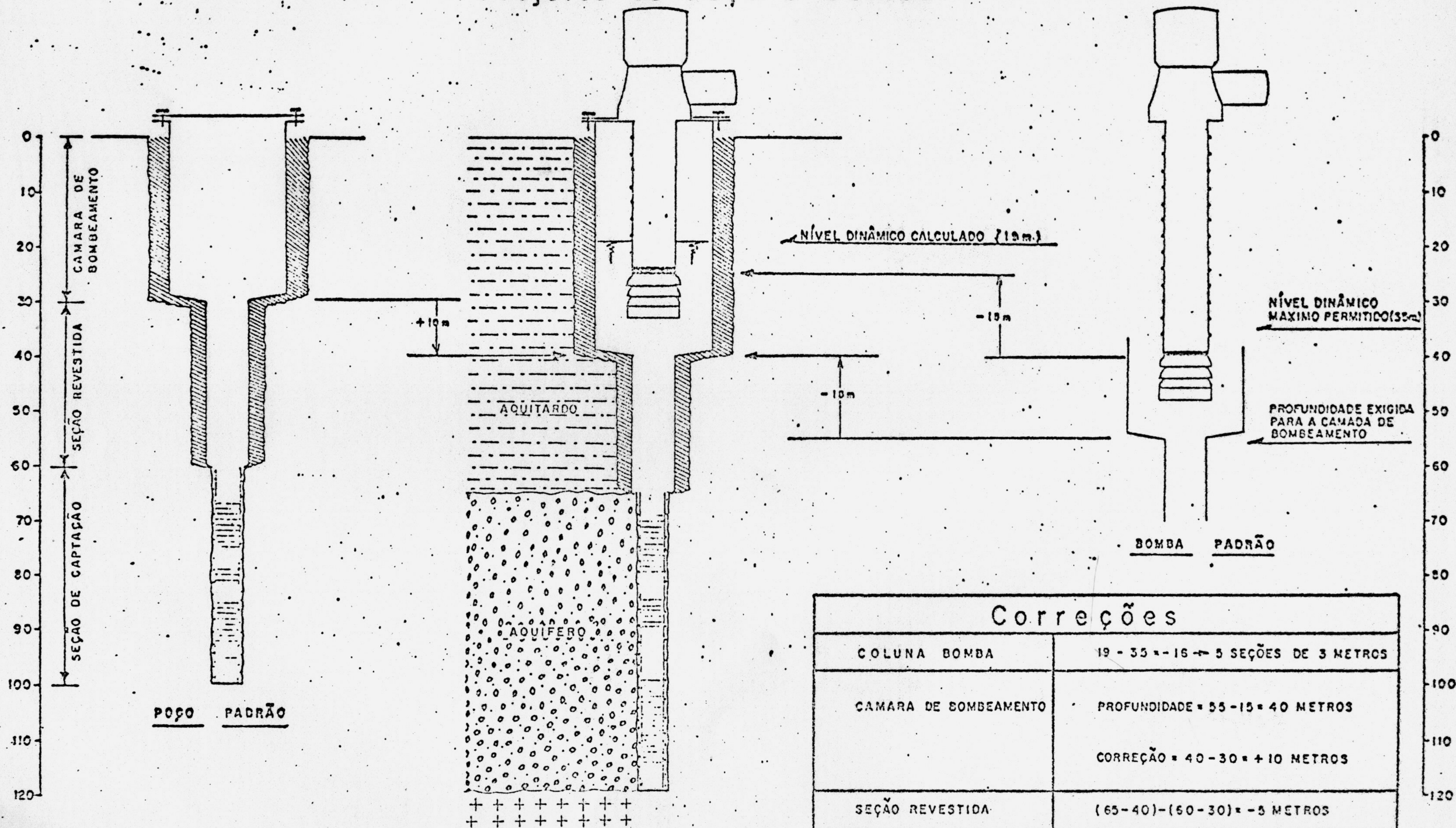


Fig. II

correção, o programa estabelece a profundidade necessária da câmara de bombeamento do poço real e finalmente corrige os comprimentos da seção intermediária e da seção de captação a partir dos dados especificados do projeto de poço-padrão.

Estabelecidas todas as correções, o modelo calcula os custos reais do poço exploratório e da bomba a ser instalada, utilizando os custos unitários adicionais especificados.

5.1.1.6 - Acompanhamento da perfuração dos poços.

As atividades de perfuração dos poços deverão ser acompanhadas detidamente, com o objetivo de permitir a coleta sistemática de todos os dados e informações, visando o dimensionamento das bombas a serem instaladas, bem como os possíveis ajustes que venham a ser necessários no dimensionamento dos poços subsequentes. Os seguintes aspectos deverão ser levados em conta no acompanhamento das perfurações.

- Amostras de calha - Deverão ser coletadas amostras de calha a cada dois metros perfurados. As amostras deverão ser detalhadamente descritas (cor, granulometria, litologia, cimento, etc.), com especial atenção para o conteúdo argiloso dos sedimentos a fim de permitir melhor identificação dos níveis de maior produtividade tendo em vista o posicionamento dos filtros.

- Análises granulométricas - Na perfuração do aquífero deverão ser coletadas amostras (500 g) a cada 20 metros, ou nos horizontes arenosos identificados pela amostragem de calha. Estas amostras serão utilizadas para análise granulométrica, tendo em vista confirmar o dimensionamento preliminar dos filtros e pré-filtro além de servir de subsídio para os projetos dos poços subsequentes.

- Perfil de tempo de penetração - Deverão ser anotados os tempos de penetração por metro perfurado, bem como as profundidades de mudança de broca. Esses dados servirão para a elaboração do gráfico de tempo de penetração, permitindo melhor identificação das litologias atravessadas. Outras informações de interesse tais como, tipo de broca, peso da coluna, características da lama, etc., deverão constar do relatório diário de perfuração a ser entregue quando da conclusão dos serviços, ou a qualquer momento quando requerido.

- Desenvolvimento dos poços - No desenvolvimento dos poços deverão ser utilizadas as técnicas usuais, envolvendo o uso de agentes dispersivos (hexametáfosfato de sódio), jatos horizontais de alta velocidade e bombeamento com ar comprimido pelo sistema de fluxo e refluxo. O sistema de bombeamento com compressor deverá estar corretamente dimensionado para provocar uma máxima solicitação do aquífero, através de bombeamento e paralisações alternadas a cada 10 minutos. Caso os testes de aquífero a serem realizados posteriormente, revelem perdas de carga excessivas e não compatíveis com o projeto de perfuração, o desenvolvimento deverá ser intensificado até a obtenção de uma adequada eficiência do poço. As perdas de carga secundárias não devem ultrapassar 20-30% do rebaixamento resultante das perdas de carga no aquífero.

- Perfilagem elétrica - Em alguns dos poços perfurados deverão ser eventualmente corridos perfis de raios gama, resistividade e potencial espontâneo, para correlação com o perfil litológico obtido pela descrição das amostras de calha e com o perfil de tempo de penetração, visando definir corretamente os contatos entre os diferentes horizontes litológicos, tendo em vista o posicionamento dos filtros.

- Testes de bombeamento - Após a conclusão de cada poço, deverão ser realizados testes de bombeamento com o objetivo básico de avaliar as características hidrodinâmicas do aquífero (transmissividade e armazenamento), bem como determinar as perdas de carga secundárias no poço através de vazões escalonadas e crescentes que permitam analisar a eficiência e obter a curva característica de funcionamento.

Para a determinação do coeficiente de armazenamento serão utilizados em princípio poços de observação existentes nas proximidades da área do projeto. Não se dispondo de poços de observação e não se tendo indicação segura do valor do armazenamento, preconiza-se a perfuração de piezômetros para permitir a efetiva determinação desse parâmetro.

Os ensaios deverão ser realizados com moto-bombas a serem fornecidas pelo órgão interessado do Governo, para obtenção de vazões constantes e com capacidade de efetuar descargas da ordem de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ para uma altura manométrica de recalque de 70-80 metros.

- Análise química de água - Durante a realização dos ensaios de bombeamento serão coletadas amostras d'água (5 litros) para a realização de análises, visando definir as características químicas da água a ser utilizada.

5.1.2 - Terrenos cristalinos.

A par das peculiaridades que caracterizam as condições de ocorrência de água subterrânea no meio fissurado, serão apresentados a seguir de forma orientativa os aspectos metodológicos a serem considerados no desenvolvimento da programação em tela.

Em virtude da vastidão ocupada pelos terrenos cristalinos, cobrindo a quase totalidade da superfície do Estado, os estudos de apoio a implantação de sistemas de abastecimento deverão se restringir a áreas previamente selecionadas onde se fizer necessário a perfuração de poços para o atendimento rural e urbano.

Os principais aspectos a considerar serão os seguintes:

a) Delimitação de áreas prioritárias a serem estudadas, a partir de critérios climáticos e sócio-econômicos.

b) Análise dos dados e informações disponíveis, visando verificar inicialmente as possibilidades de atendimento da demanda em função do quadro geológico e hidrogeológico local.

c) Análise do comportamento tectônico regional e de suas repercussões nas áreas selecionadas.

d) Delimitação dos tipos litológicos mais susceptíveis de transmitir os esforços tectônicos sofridos, a partir dos elementos da cartografia geológica disponível. Seleção de áreas mais favoráveis a acumulação de água subterrânea, pela superposição das zonas de tipos litológicos mais competentes, com as zonas de predominância dos esforços de tensão.

e) Análise das condições de fraturamento, do comportamento morfológico e dos padrões de drenagem e identificação através de fotografias aéreas das zonas onde se verifica conexão da rede de drenagem com as direções preferenciais de fraturamento.

f) Locação e perfuração de poços experimentais. Especificações e normas para a perfuração dos poços envolvendo: a definição de profundidades, diâmetros e revestimentos.

g) Realização de testes de produção com vazões escalonadas para otimização da produção máxima.

h) Especificações de exploração: vazão e previsão do nível dinâmico máximo a ser alcançado.

i) Dimensionamento do equipamento de recalque: tipo e características da bomba, altura manométrica total, potência requerida.

j) Estudos estatísticos a partir de dados disponíveis, envolvendo a produtividade e a qualidade das águas de poços existentes, visando a obtenção de subsídios adicionais para orientação do programa de perfuração de novos poços. O alcance desses estudos ficará na dependência da qualidade e quantidade dos dados a serem catalogados.

5.1.3 - Aluviões

Delimitação das manchas aluviais susceptíveis do aproveitamento a partir de fotografias aéreas e levantamento de campo.

- Realização de sondagens de reconhecimento de pequeno diâmetro, para determinação das características geométricas e especialmente de espessuras saturadas, e verificação das condições de heterogeneidade e anisotropia do sistema.
- Perfuração de poços experimentais para realização de testes de bombeamento visando a definição das características hidrodinâmicas do aquífero.

- Definição do esquema de captação dos volumes armazenados:

Poços tubulares

- Poços ponteira

- Poços de grande diâmetro (poços amazônicas)

- Poços com drenos radiais

- Quantificação das reservas e dos volumes susceptíveis de renovação anual e estabelecimento das vazões e condições de exploração dos recursos existentes.

5.2 - Aprofundamento dos estudos hidrogeológicos na bacia sedimentar costeira.

5.2.1 - Considerações gerais sobre a simulação matemática de aquíferos.

A utilização de modelos matemáticos como ferramenta indispensável à tomada de decisões sobre planificação e exploração de sistemas de recursos hidráulicos, vem se expandindo nos últimos anos em todo o mundo. Em particular, as decisões referentes à gestão de aquíferos costeiros intensamente explorados e existentes em áreas altamente dependentes desses recursos podem ser melhoradas de forma significativa, mediante o uso de modelos que permitam levar em conta conjuntamente grande número de dados e fatores que influem no seu comportamento.

Em geral pode se definir um sistema como um conjunto de elementos interrelacionados, de forma que o funcionamento de cada um deles vem condicionado pelos outros. Um aquífero é um caso particular de sistema cabendo portanto descrever os critérios de sua modelização de acordo com as ideias gerais que envolvem a análise matemática de sistemas.

Em geral sobre um sistema se exercem ações exteriores, que podem ser controláveis ou não controláveis. Estas últimas podem ser devidas ao meio exterior, podendo tão somente ser conhecidas ou estudadas, porém não controladas, sendo o caso das ações climáticas (temperaturas, precipitações pluviométricas, aportações de rios, etc.). Por outro lado, existem outras ações sobre as quais pode se exercer controle direto para se obter efeitos sobre o sistema, tendo-se como exemplo no caso de um sistema aquífero, a seleção de áreas de bombeamento e a forma e intensidade de exploração.

A exploração de um sistema vem definida pela finalidade a que se destina e esta finalidade vem refletida por uma série de variáveis que permitem qualificar seu funcionamento. Estas variáveis são chamadas variáveis-objetivo do funcionamento do sistema.

Modelar matematicamente um sistema consiste em criar um programa de computador, que utilizando como dados umas ações exteriores observadas no passado, permite reproduzir com suficiente aproximação os valores das variáveis-objetivo correspondentes ao mesmo intervalo de tempo. Desta forma, supondo-se uma lei de ações exteriores sobre o sistema, ao longo de um determinado período, a utilização do modelo matemático permite obter a lei de variação das variáveis-objetivo ao longo do referido período. Com estes elementos, se tem uma idéia precisa do funcionamento futuro do sistema para determi

nadas condições supostas, permitindo comparar quantitativamente diversas alternativas de gestão visando a tomada da decisão mais adequada.

Para modelizar um sistema é necessário portanto descrever matematicamente seus elementos e as relações de funcionamento entre eles e com base nestas estruturas matemáticas, utilizar um processo numérico que permita passar os valores das ações exteriores para os valores das variáveis-objetivo.

No caso particular de um aquífero, o sistema está constituído por infinitos elementos de um meio contínuo cujo funcionamento vem fixado pela lei física correspondente, que condiciona o estado de cada elemento em função do estado dos demais. As ações exteriores sobre o aquífero estão constituídas pelas extrações e recargas, algumas das quais são controláveis quando se trata de recargas artificiais ou bombeamentos, enquanto outras devidas a efeitos naturais tais como, precipitações e infiltrações de rios, são em geral não controláveis:

As variáveis - objetivo que permitem qualificar as condições de funcionamento do aquífero, são os níveis piezométricos em cada instante. A partir desses níveis, é possível controlar o balanço entre entradas e saídas de água localmente ou em diferentes zonas, e conseqüentemente obter a variação dos volumes armazenados, de especial importância e interesse na planificação do uso dos recursos disponíveis.

De acordo com as considerações estabelecidas, o modelo matemático de um aquífero consiste basicamente nos seguintes procedimentos:

- Descrição do meio contínuo que constitui o conjunto do aquífero, mediante um número finito de elementos discretos que retrate o sistema adequadamente de acordo com suas

características geométricas.

- Definição de um procedimento matemático de descrição da lei que regula o funcionamento do sistema.

- Definição de um processo numérico de cálculo que apoiando-se nas descrições físicas e geométricas do sistema e na descrição matemática da lei de funcionamento, permite passar os valores das ações exteriores em um instante dado, para valores de níveis d'água no aquífero.

5.2.2 - Operações a realizar para a construção e utilização do modelo matemático do aquífero Beberibe.

As operações básicas visando a elaboração e utilização de um modelo matemático do aquífero Beberibe, divide-se em três fases fundamentais.

a) Fase da coleta de dados e complementação das informações disponíveis.

b) Fase de calibração e ajuste do modelo.

c) Fase de operação do modelo para a simulação de casos significativos, tendo em vista a tomada de decisões sobre a exploração futura do aquífero modelado.

5.2.2.1 - Fase de coleta e obtenção de dados.

A primeira etapa corresponde a coleta, ordenação e uniformização dos dados com vistas a caracterização física e geométrica dos sistemas, e envolve a realização de detalhado inventário hidrogeológico para definição das condições piezométricas e quantificação dos volumes explorados pelos bombeamentos, e também a realização de trabalhos de campo (testes

de bombeamento, ensaios isotópicos, químicos, etc.), que permitam definir a geometria do aquífero e suas características hidrogeológicas.

Os dados obtidos sobre a variação dos níveis d'água e sobre as ações exteriores ocorridas sobre o sistema, permitirão estudar a validade do modelo durante a fase de ajuste e calibração.

Para a definição das ações exteriores torna-se necessário em primeiro lugar um registro histórico ao longo de um período de tempo suficientemente amplo (3 a 4 anos), das variáveis seguintes:

a) Quantidade das extrações realizadas no aquífero e sua distribuição espacial.

b) Descargas dos rios que influem diretamente no funcionamento do aquífero.

c) Medidas dos índices pluviométricos e térmicos nas zonas estudada durante o intervalo de tempo considerado.

A partir de um estudo hidrológico clássico pode-se estimar a infiltração no aquífero ocasionada pelas ações climáticas exteriores (chuva, rios), e mediante um balanço dessas infiltrações e das extrações medidas, pode ser obtida ao longo do tempo, uma lei histórica dos balanços instantâneos durante o período de medida, com o qual fica definida uma hipótese de ações exteriores sobre o sistema.

Para a definição do comportamento observado do aquífero, se precisa contar para o mesmo período das ações exteriores, com registros históricos de variações de níveis d'água em poços e piezômetros existentes, e em quantidade suficiente e com grau adequado de representatividade para as distintas zonas do aquífero.

Para a obtenção, atualização e complementação dos dados geológicos, hidrogeológicos, climatológicos e hidrológicos necessários à formulação do modelo matemático do aquífero Beberibe, deverão ser implementadas as seguintes atividades durante grande parte dos estudos propostos:

- Mapeamento geológico básico - Elaboração de uma carta geológica básica à escala de 1:50.000 a partir da integração dos mapeamentos geológicos disponíveis, e confecção de mapas complementares de isópacas e contorno estrutural com o objetivo de definir as características geométricas das unidades geológicas existentes. Estudos geológicos específicos de campo, bem como a análise e interpretação de fotografias aéreas poderão ser executados, visando dirimir dúvidas e complementar as informações obtidas dos mapeamentos existentes.

- Inventário Hidrogeológico - Prosseguimento das atividades de inventário hidrogeológico para atualização e complementação dos dados de poços existentes em operação, visando especialmente a definição das unidades exploradas, a quantificação dos volumes bombeados e o estabelecimento da configuração piezométrica dos aquíferos.

- Medições periódicas de nível d'água - Estabelecimento de uma rede básica de observação, a ser constituída por piezômetros e poços existentes já desativados, no propósito de registrar a variação e evolução dos níveis piezométricos na área, afetados pelos bombeamentos ocorridos. As medições de nível deverão ser quinzenais ou mensais, devendo ser instalados linígrafos para obtenção de registros contínuos da variação piezométrica, tendo em vista a etapa de ajuste e calibragem do modelo matemático.

- Quantificação das descargas bombeadas - Paralela-
mente às atividades de medição de níveis, deverá ser desenvol-
vida campanha de medições periódicas (semestrais), da vazão
dos poços existentes catalogados no inventário hidrogeológico,
visando a quantificação e a evolução das descargas na
área, e o estabelecimento de sua correlação com os declíneos
piezométricos detectados na rede básica de observação.

- Testes de bombeamento - Deverão ser realizados
testes de bombeamento bem conduzidos e de larga duração em po-
ços selecionados, para avaliação das características hidráulicas
e determinação dos parâmetros hidrodinâmicos (transmissi-
vidades, permeabilidades, coeficiente de armazenamento), nos
diferentes sistemas aquíferos identificados. Os testes deve-
rão ser localizados convenientemente para obtenção de uma dis-
tribuição tanto quanto possível homogênea dos valores, a fim
de possibilitar a elaboração de mapas de variação de transmis-
sividade.

- Perfuração de piezômetros - Perfuração imediata
de duas estações piezométricas ao longo do litoral de Olinda
e Paulista visando o controle e a vigilância da intrusão ma-
rinha nos aquíferos superior e inferior da formação Beberibe
(piezômetros múltiplos).

Recomenda-se também a perfuração de mais dois ou
três piezômetros a serem locados convenientemente na área de
recarga e nas proximidades de centros importantes de bombea-
mentos. Esses piezômetros juntamente com os poços de observa-
ção existentes fora de operação, deverão compor a rede básica
de observação sistemática da variação piezométrica na área,
sendo indicado a instalação de 2 a 3 linigrafos para obtenção
de registros contínuos.

- Estudos geofísicos e perfilagens - A utilização de métodos de investigação geofísica (eletro-resistividade) poderá se revestir de grande interesse para o alcance dos objetivos propostos, permitindo a obtenção de informações geológicas em áreas onde os dados de subsuperfície são insuficientes para a caracterização estrutural e dimensional dos horizontes aquíferos.

Em poços selecionados poderão ser realizados "logs" elétricos (raios gama, resistividade, potencial espontâneo etc.), tendo em vista a complementação dos dados estratigráficos e estruturais e em particular a definição de contatos e espessuras para caracterização geométrica dos sistemas aquíferos.

- Aplicação de técnicas isotópicas - A obtenção de dados isotópicos complementares deverá propiciar elementos de detalhe sobre o relacionamento hidráulico existente entre os sistemas aquíferos, através do estudo das condições de recarga (Tritio, Deuterio e Oxigênio-18), e da datação das águas subterrâneas (Carbono-14), fornecendo importantes informações, as quais juntamente com os demais dados climatológicos e hidrológicos deverão possibilitar o estabelecimento do balanço hídrico preliminar da bacia, tendo em vista a formulação das hipóteses de ações exteriores sobre o sistema.

- Estudos Climatológicos e Hidrológicos - Serão desenvolvidos a partir dos dados da rede pluviométrica implantada na área e secundariamente através de medições de descargas (métodos químicos e isotópicos), para complementação das informações disponíveis. Os estudos climatológicos visarão estabelecer os índices pluviométricos e térmicos, tendo em vista as estimativas de evapotranspiração para efeitos de

balanço hidrológico preliminar da bacia.

Os estudos hidrológicos serão desenvolvidos principalmente para a determinação dos rendimentos médios e vazões específicas nas diversas bacias que cortam a área sedimentar, e também permitir a estimativa das contribuições subterrâneas através da análise de curvas de recessão obtidas em postos fluviométricos já instalados.

- Estudos Hidroquímicos - Os estudos hidroquímicos se revestirão de especial importância para a compreensão do relacionamento hidráulico entre os sistemas e sobretudo para a análise dos processos de salinização constatados em poços existentes. Os pontos d'água catalogados no inventário hidrogeológico, permitirão o estabelecimento de uma rede geral de observação da salinidade através de coletas e análises periódicas e sistemáticas, inclusive e principalmente nos piezômetros propostos a serem perfurados nas proximidades da linha de costa.

5.2.2.2 - Fase de ajuste e calibração do modelo.

A segunda fase de elaboração do modelo consiste em verificar sua validade, através de processos de ajuste e calibração consistindo em resumo nos procedimentos seguintes:

a) Discretização adequada do meio contínuo representado pelo aquífero, em elementos prismáticos, com base nas características geométricas definidas pelo comportamento geológico do sistema.

b) Utilização de valores dos parâmetros hidrogeológicos que caracterizam as condições físicas existentes em cada um dos elementos finitos considerados (transmissividades e coeficientes de armazenamento).

c) Definição de uma hipótese sobre os parâmetros que caracterizam as ações exteriores sobre o sistema.

Uma vez definidos esses valores, a fase de ajuste e calibração do modelo consiste em comprovar se é possível reproduzir matematicamente a evolução dos níveis d'água no aquífero durante o período histórico considerado, com a aproximação suficiente ao problema tratado. Quando se consegue um satisfatório ajuste entre as variações de níveis observados e as variações calculadas, o conjunto de parâmetros considerados para cada um dos elementos da malha, junto com o programa de simulação empregado durante a calibração, constituem um modelo matemático representativo do comportamento do aquífero.

As operações a realizar durante a fase de ajuste e calibração seguem um ciclo lógico que consta essencialmente das seguintes etapas:

a) Introdução de uma hipótese de transmissividades e de coeficientes de armazenamento e de outros parâmetros hidrogeológicos necessários.

b) Fixação de uma hipótese das leis históricas de recargas e extrações ao longo do período considerado.

c) Simulação mediante programa de computador, introduzindo como dados as leis históricas do item b, e os parâmetros hidrogeológicos do item a, obtendo-se um conjunto de níveis d'água calculados para este período histórico.

d) Comparação entre os níveis calculados e os níveis observados no período considerado, e decisão de acordo com a qualidade do ajuste se são válidos os parâmetros ou se precisa de alguma correção.

As correções que podem ser realizadas referem-se principalmente a modificações nos parâmetros de infiltrações

e extrações, e nos parâmetros de transmissividades e coeficientes de armazenamento . Uma vez corrigidos esses valores volta-se ao item b, realizando-se este ciclo tantas vezes quantas necessárias até que seja conseguido um ajuste satisfatório. Concluída esta etapa o aquífero fica representado por uma malha de elementos prismáticos e um conjunto de parâmetros correspondentes, que refletem de acordo com o ajuste efetuado na fase de calibração, com suficiente qualidade, o funcionamento físico do sistema.

5.2.2.3 - Fase de utilização e exploração do modelo.

A terceira fase consiste na utilização dos parâmetros selecionados junto com o programa de simulação, para analisar o comportamento futuro do aquífero, ante distintas condições de bombeamento, e de ações exteriores (infiltrações a partir da pluviometria, dos rios, etc.). Nesta etapa a utilização do modelo tem por objetivo a tomada de decisões acerca do planejamento futuro da exploração, em função de uma série possível de variações de qualidade nas ações exteriores. Os seguintes procedimentos devem então ser considerados, no estabelecimento de um plano de gestão dos recursos existentes:

a) Definição de um conjunto de séries históricas de ações exteriores não controláveis, com o propósito de estudar o comportamento futuro sob distintas condições hidrológicas.

Para tanto define-se o número de anos do período a simular, bem como o caráter da série de aportações ao aquífero (pluviometrias, infiltrações, etc.). Pode se considerar série uniforme otimista (quer dizer, com superavits); uma série uniforme pessimista (com deficits); série uniforme sem deficits nem superavits; e séries não uniformes com distintos

graus de variabilidade, com a finalidade de analisar o comportamento regulador do aquífero.

b) Definição de um conjunto de ações exteriores controláveis (extrações e recargas), significativas.

c) Definição de um conjunto de simulações por combinação adequada das ações definidas nos itens a e b.

d) Simulação mediante o modelo de cada uma das hipóteses formuladas no item c.

e) Análise dos resultados de cada simulação e obtenção da evolução dos parâmetros significativos do comportamento do aquífero (variáveis-objetivo) e generalização dos resultados com o estabelecimento das diretrizes e normas para a exploração futura do aquífero.

Para a realização dos estudos hidrogeológicos propostos para a bacia costeira de Pernambuco, pretende-se utilizar o sistema de programas de computador desenvolvido pela Direção Geral de Obras Hidráulicas do Serviço Geológico de Obras Públicas da Espanha, publicados por Cuenca e Garcia em 1973 sob a denominação "Sistema General de Programas para Modelacion Matematica de Acuiferos".

Durante as fases de calibração e de operação do modelo visando planificar a utilização futura dos recursos existentes, preconiza-se também a colaboração de consultores externos de reconhecida experiência no tratamento de problemas hidrogeológicos de aquíferos costeiros intensamente explorados e sujeitos a processos potenciais de intrusão marinha.

Neste sentido deve-se ressaltar a larga experiência já acumulada pelos especialistas da "Comisaria de Aguas del Pirineo Oriental" no estudo desde muitos anos, da problemática hidrogeológica dos aquíferos costeiros do delta do rio

Llobregat na região de Barcelona -Espanha, cujo comportamento mostra ampla similitude com o condicionamento hidrogeológico do aquífero Beberibe na faixa costeira de Pernambuco.

6 - ESTIMATIVA DOS CUSTOS

Tendo em vista o caráter genérico da proposta técnica ora apresentada, e em face da dependência da análise a ser efetuada pelos órgãos de Governo ligados ao aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, para definição da amplitude tanto do programa de perfurações, como dos estudos hidrogeológicos a serem executados (particularmente no que se refere ao dimensionamento de projetos de captação para abastecimento urbano e agropecuário), serão quantificados nesta oportunidade de forma preliminar os custos envolvidos para a implementação do programa em tela.

Foram estimados os custos do pessoal técnico e auxiliar e demais serviços necessários para o desenvolvimento dos estudos hidrogeológicos na bacia costeira e realização dos estudos específicos de pesquisa e captação de mananciais subterrâneos que venham a ser definidos e solicitados pelo Governo, no âmbito de todo o Estado de Pernambuco durante o período de 36 meses.

No que se refere ao programa de perfuração de poços produtores, poços de pesquisa, piezômetros e sondagens de reconhecimento, as estimativas orçamentárias foram realizadas basicamente a partir dos projetos-padrão conforme apresentados nas figuras III a V, e também a partir de dados coligidos na bibliografia disponível, especialmente para poços e sondagens em terrenos aluvionares.

Demonstrativos detalhados de custos, são apresentados nos quadros do Anexo I.

A partir dos custos básicos considerados, as estima-

tivas globais para perfuração, foram efetuadas admitindo-se para cada região hidrogeológica um determinado número de poços a serem perfurados durante os 36 meses de vigência da programação, levando-se especialmente em conta na estimativa do número de poços, as perspectivas de substancial aporte financeiro pelo Governo Federal via SUDENE, visando incrementar as atividades de exploração das águas subterrâneas no período 1980-1985.

Os custos foram orçados considerando-se os níveis de preços de agosto de 1979, devendo-se prever reajustes de acordo com a variação das ORTNs, entre o mês citado e o mês em que forem efetivamente executados os serviços.

<u>a) ESTUDOS HIDROGEOLOGICOS</u>	<u>x Cr\$ 1.000</u>
I - Pessoal	Cr\$ 18.819
II - Materiais	Cr\$ 387
III - Serviços	Cr\$ 2.378
IV - Encargos	Cr\$ 237
V - Despesas Apropriadas	Cr\$ 1.199
VI - Custo Direto	Cr\$ 23.020
VII - Custo Indireto	Cr\$ 9.208
VIII - Consultoria Externa	Cr\$ 6.027
IX - Custos Totais	Cr\$ 38.255
X - Taxa de Administração	Cr\$ 7.651
XI - Valor dos Serviços	<u>Cr\$ 45.906</u>

b) PERFURAÇÃO DE PIEZOMETROS NA BACIA COSTEIRA

- Número de piezometros = 5	
- Custo Básico = Cr\$ 1.760.504,00 (Anexo I.1)	
- Custo Total	<u>Cr\$ 8.802</u>

- c) FUROS DE PESQUISA DE 10" EM ALUVIÕES x Cr\$ 1.000
- Número de Furos = 100
 - *Custo Básico = Cr\$ 44.100,00
 - Custo TotalCr\$ 4.410
- d) SONDAGENS DE RECONHECIMENTO DE 2" EM ALUVIÕES
- Número de Sondagens = 1000
 - *Custo Básico = Cr\$ 5.000,00
 - Custo Total =Cr\$ 5.000
- e) POÇOS COM DRENOS EM ALUVIÕES
- Número de Poços = 10
 - *Custo Básico = Cr\$ 1.386.000,00
 - Custo TotalCr\$ 13.860
- f) PERFURAÇÃO DE POÇOS PRODUTORES DE 10" EM ALUVIÕES
- Número de Poços = 150
 - *Custo Básico = Cr\$ 81.060,00
 - Custo TotalCr\$ 12.159
- g) PERFURAÇÃO DE POÇOS PRODUTORES NA BACIA COSTEIRA
- Número de Poços = 30
 - Custo Básico = Cr\$ 3.950.531,00 (Anexo I.2)
 - Custo TotalCr\$ 118.515

* FILHO, J.M - PESQUISA DE MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS E DEFINIÇÃO DE CAPTAÇÕES NO ESTADO DO CEARÁ - X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA - MANAUS, JAN 1979.

h) PERFURAÇÃO DE POÇOS PRODUTORES NA BACIA DO JATOBÁ

- Número de Poços = 15	x Cr\$ 1.000
- Custo Básico = Cr\$ 3.668.552,00 (Anexo I.3)	
- Custo Total	Cr\$ 55.028

i) PERFURAÇÃO DE POÇOS PRODUTORES EM TERRENOS CRISTALINOS

- Número de Poços = 450	
- Custo Básico = Cr\$ 263.944,00 (Anexo I.4)	
- Custo Total	Cr\$ 118.774

j) RESUMO DAS ESTIMATIVAS DE CUSTO

I - Estudos Hidrogeológicos	Cr\$ 45.906
II - Piezômetros Bacia Costeira	Cr\$ 8.802
III - Furos de Pesquisa de 10" Em Aluviões	Cr\$ 4.410
IV - Sondagens de Reconhecimento de 2" Em Aluviões	Cr\$ 5.000
V - Poços Com Drenos Em Aluviões	Cr\$ 13.860
VI - Poços Produtores De 10" Em Aluviões	Cr\$ 12.159
VII - Poços Produtores Na Bacia Costeira	Cr\$ 118.515
VIII - Poços Produtores Na Bacia Jatobá	Cr\$ 55.028
IX - Poços Produtores Em Terrenos Cristalinos...	Cr\$ 118.774
X - Custo Total Do Programa	Cr\$ 382.454

FILHO, J.M - PESQUISA DE MANANCIAS SUBTERRÂNEOS E DEFINIÇÃO DE CAPTAÇÕES NO ESTADO DO CEARÁ - X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA - MANAUS, JAN/1979 .

PROJETOS BÁSICOS DE POÇOS

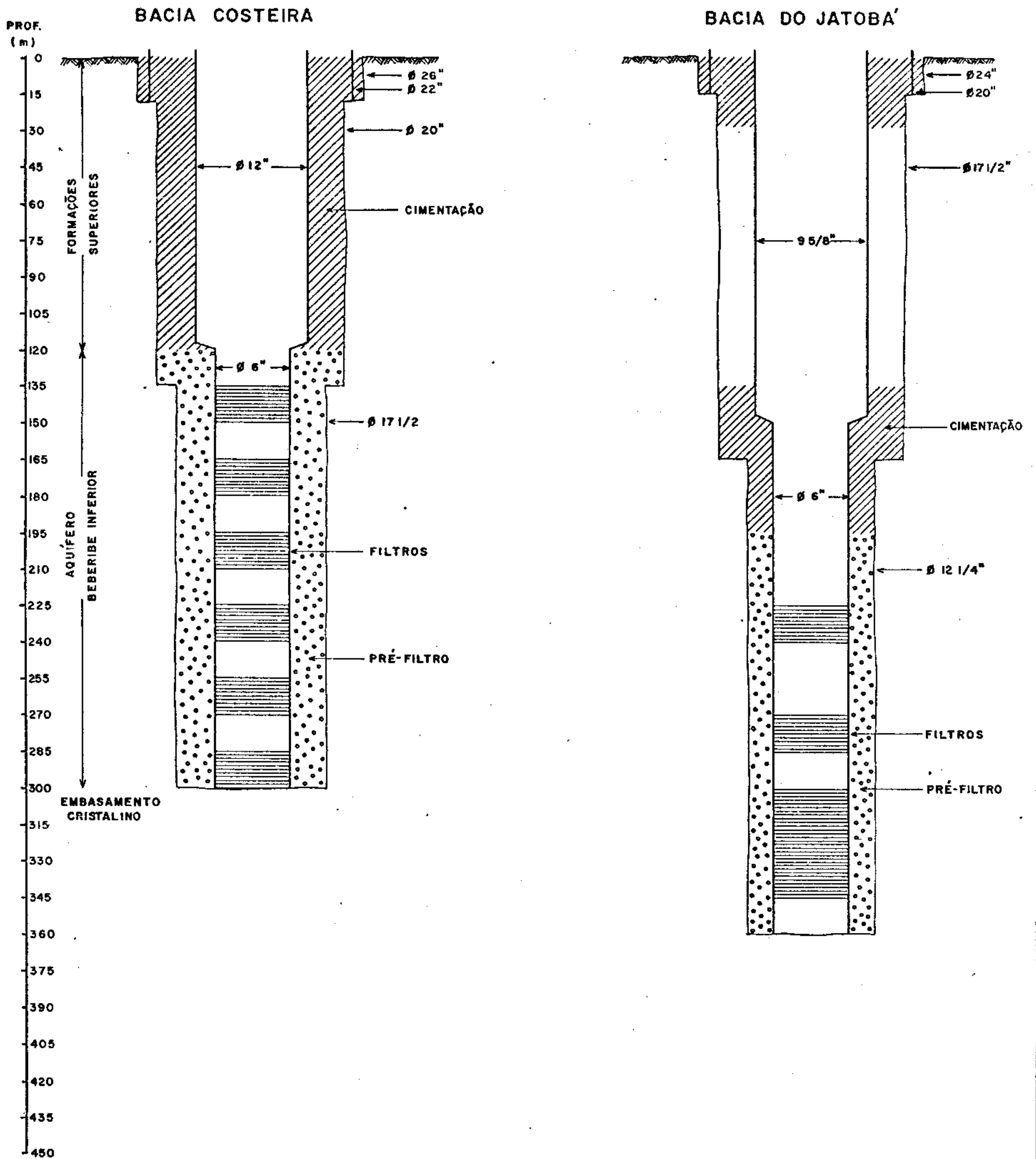


FIG. III

PROJETO BÁSICO DE PIEZOMETRO

BACIA COSTEIRA

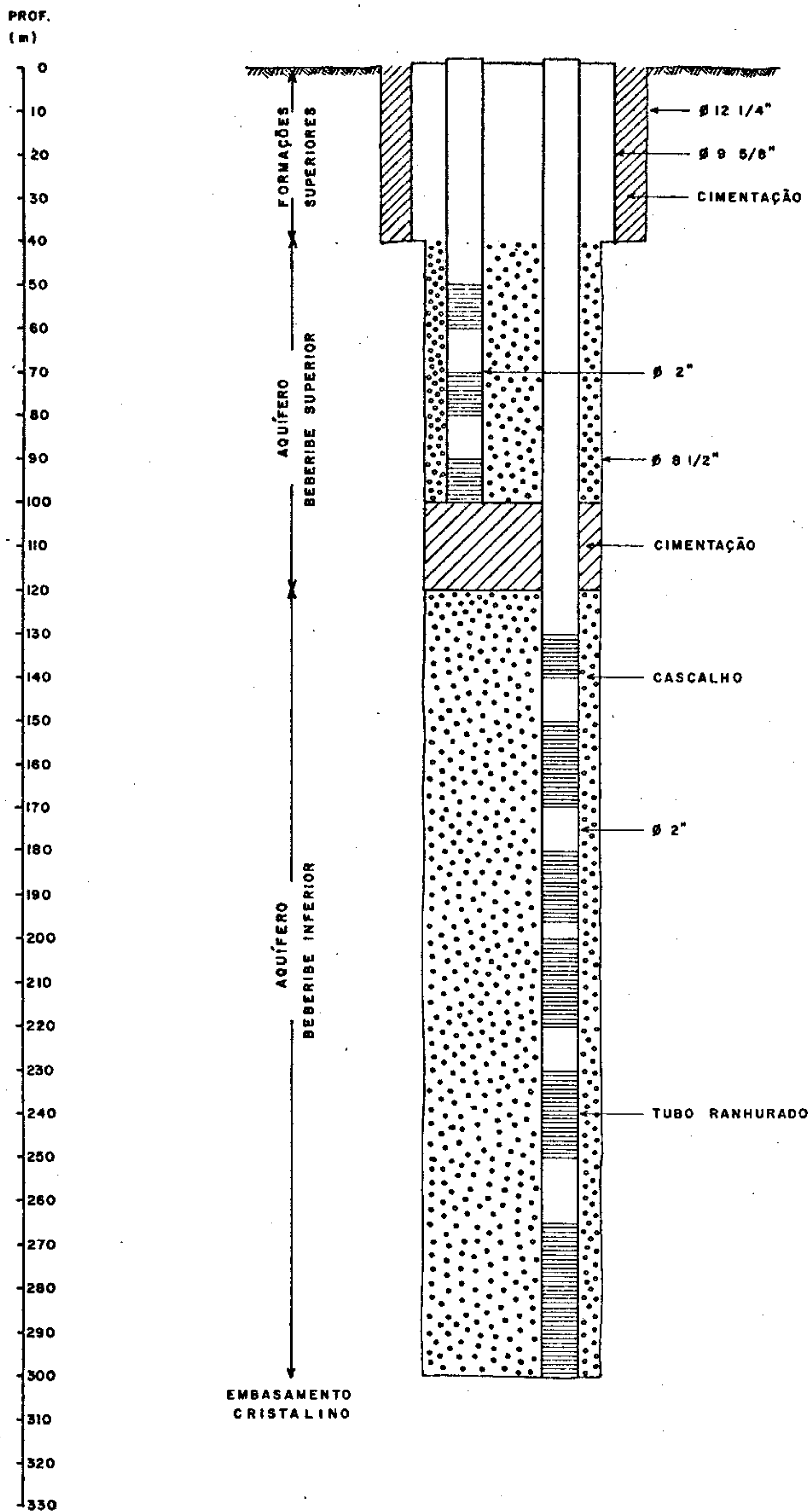


FIG. IV

PROJETOS BÁSICOS DE POÇOS

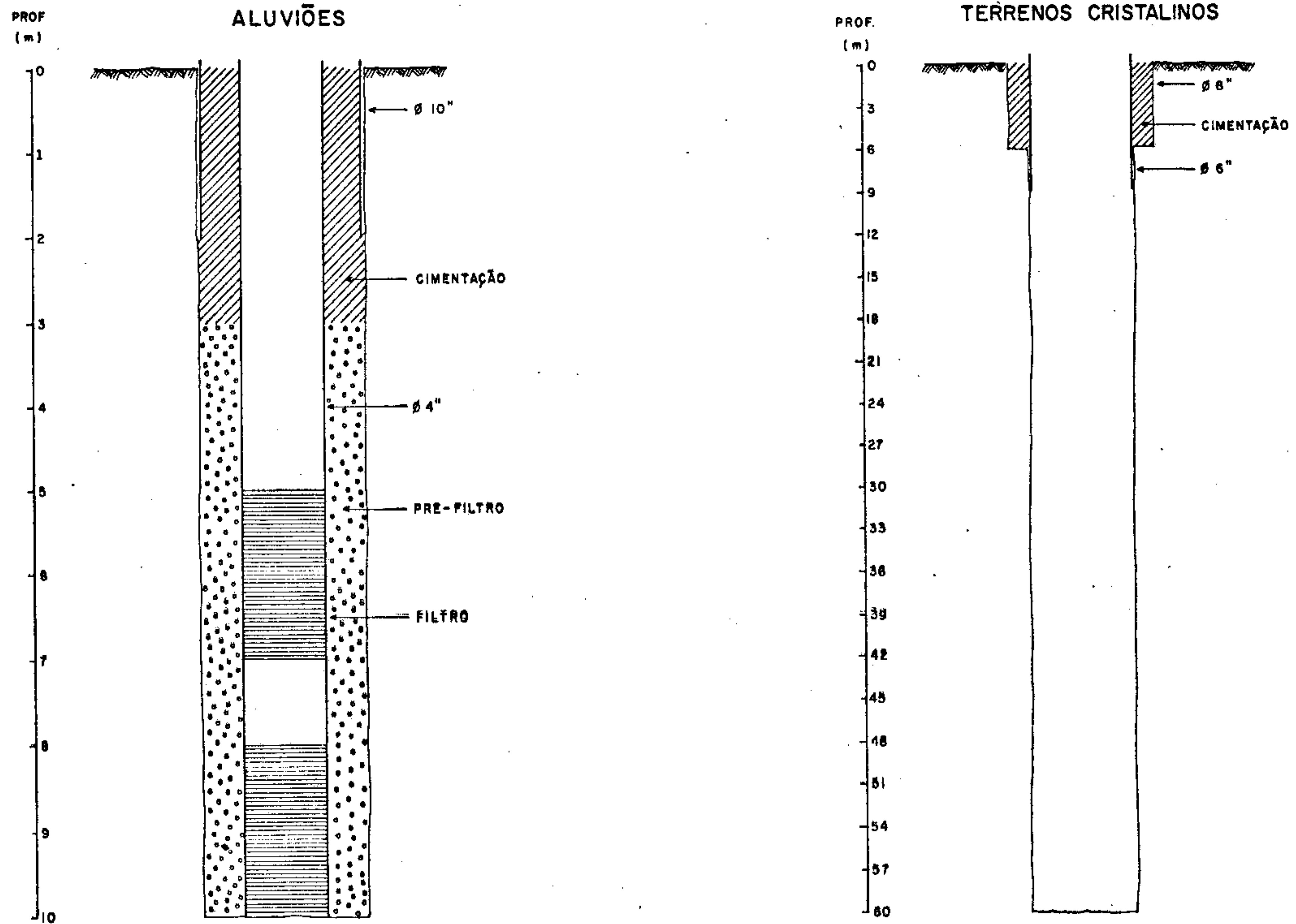


FIG. V

7 - CRONOGRAMA

C R O N O G R A M A

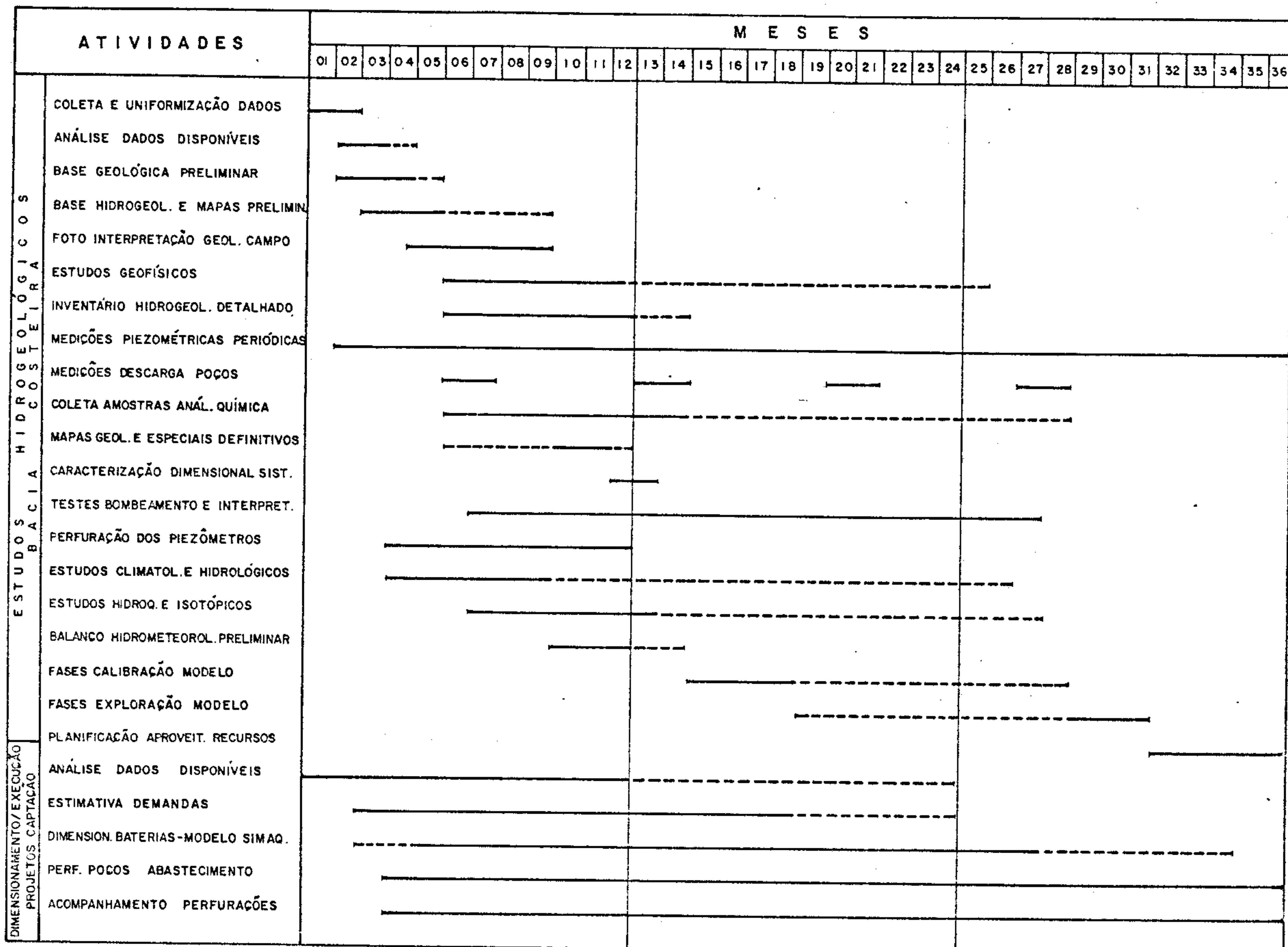


Fig. III

ANEXO - I

- ANEXO - 1. 2

ORÇAMENTAÇÃO PARA PERFURAÇÃO DE POÇO

Local: Bacia Costeira

Profundidade: 300 Metros

ATIVIDADES	INTERVALO (m)	AVANÇO (m)	MATERIAL	DIÂMETRO (pol.)	QUANT. (m)	TEMPO (horas)	VALOR UNITÁRIO (Cr\$)	SUBTOTAL (Cr\$)	
PERFURAÇÃO	0 - 15	15		26"			6.624,00	99.360,00	
	15 - 100	85		20"			5.770,00	490.450,00	
	100 - 135	35		20"			6.511,00	227.885,00	
	135 - 200	65		17 1/2"			5.326,00	346.190,00	
	200 - 300	100		17 1/2"			6.625,00	662.400,00	
COMPLETAÇÃO			Tubos 22" I.D.		20		3.255,00	65.100,00	
			Tubos 12" I.D.		120		1.805,00	216.600,00	
			Tubos 6" I.D.		90		1.351,00	121.590,00	
			Flt. Johnson Inox	6"	90		8.821,00	793.890,00	
			Plug Cimento		um		3.000,00	3.000,00	
			Redução		uma		3.000,00	3.000,00	
			Cimento (Sacos)		400		130,00	52.000,00	
			Desc. Revest/Filtros			12	4.278,00	51.336,00	
			Encasalhamento	Cascalho		26m ³		8.694,00	226.044,00
			Colocação Cascalho			24	2.760,00	66.240,00	
CIMENTAÇÃO e DESENVOLVI- MENTO			Descida Composição p/Cimentação			2	4.278,00	8.556,00	
			Preparo Pasta e Cimentação			1	4.278,00	4.278,00	
			Pega Cimento			24	2.760,00	66.240,00	
			Desenvolvimento com Sonda			24	4.278,00	102.672,00	
			Desenvolvimento com Compressor			10	2.070,00	20.700,00	
Taxa de Perfilagem								170.000,00	
Perfilagem					300		50,00	15.000,00	
Taxa de Mobilização								138.000,00	
Total								3.950.531,00	

ORÇAMENTAÇÃO PARA PERFURAÇÃO DE POÇO

Local: Bacia do Jatobá

Profundidade: 360 Metros

ATIVIDADES	INTERVALO (m)	AVANÇO (m)	MATERIAL	DIÂMETRO (pol.)	QUANT. (#)	TEMPO (horas)	VALOR UNITÁRIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
PERFURAÇÃO	0 - 15	15		24"			6.197,00	92.955,00
	15 -165	150		17 1/2"			5.326,00	798.900,00
	165 -360	195		12 1/4"			3.850,00	750.750,00
COMPLETAÇÃO			Tubos 20" I.D.		15		3.017,00	45.255,00
			Tubos 9 5/8" I.D.		150		2.122,00	318.300,00
			Tubos 6" I.D.		135		1.351,00	182.385,00
			Flt. Johnson Inox.	6"	75		8.821,00	661.575,00
			Plug Cimento		um		3.000,00	3.000,00
			Redução		uma		3.000,00	3.000,00
			Cimento (sacos)		300		130,00	39.000,00
		Desc.Revest/Filtros				12	4.278,00	51.336,00
		Encascalhamento	Cascalho		15m ³		8.694,00	130.410,00
		Colocação Cascalho				24	2.760,00	66.240,00
CIMENTAÇÃO E DESENVOLVI- MENTO	Descida Composição p/Cimentação					2	4.278,00	8.556,00
	Preparo pasta e Cimentação					1	4.278,00	4.278,00
	Peça Cimento					24	2.760,00	66.240,00
	Desenvolvimento com Sonda					24	4.278,00	102.672,00
	Desenvolvimento com Compressor					10	2.070,00	20.700,00
Taxa de Perfilagem								170.000,00
Perfilagem						300	50,00	15.000,00
Taxa de Mobilização do Equipamento								138.000,00
							Total	3.668.552,00

- ANEXO - I. 4

ORÇAMENTAÇÃO PARA PERFURAÇÃO DE POÇO

Local: Terrenos Cristalinos

Profundidade: 60 Metros

ATIVIDADES	INTERVALO (m)	AVANÇO (m)	MATERIAL	DIÂMETRO (pol.)	QUANT. (m)	TEMPO (horas)	VALOR UNITÁRIO (C\$)	SUB-TOTAL (C\$)
PERFURAÇÃO	0 - 6	6		8"			4.318,00	25.908,00
	6 - 60	54		6"			3.663,00	197.802,00
COMPLETAÇÃO			Tubos de 8"		6		1.982,00	11.934,00
			Cimento (sacos)		5		130,00	650,00
CIMENTAÇÃO E DESENVOLVI- MENTO	Desenvolvimento com Sonda (Plunge)					2	2.325,00	4.650,00
	Cimentação					2	1.500,00	3.000,00
Taxa de Mobilização do Equipamento								20.000,00
							Total	263.944,00