

# Reservatórios subterrâneos de água potável escavados em rocha (\*)

ENG.<sup>o</sup> ANTONIO MARTINS (\*)  
ENG.<sup>o</sup> ZULNEY WALTER ANDREATTA (\*)  
ENG.<sup>o</sup> FERNANDO FUJIMURA (\*\*)  
ENG.<sup>o</sup> RUI BARBAS E LIMA SOBRINHO (\*\*)

## RESUMO

Das necessidades de reservação de água potável na Região Metropolitana de São Paulo, R.M.S.P., com uma população da ordem de 13,5 milhões de habitantes em 1982, onde a disponibilidade de áreas adequadas para ampliação ou implantação de novas unidades, cada vez mais é restringida, seja fisicamente ou ainda devido ao alto custo do solo urbano, surge uma solução alternativa, levando em conta principalmente as condicionantes técnicas, econômicas e financeiras a que estão e estarão sujeitas a execução de reservatórios convencionais.

Referido a um problema específico, representado pela ampliação da capacidade de reservação junto à Estação de Tratamento do Guaráu (máxima produção nominal de 33 m<sup>3</sup>/s), onde as condicionantes topográficas dificultavam a execução de reservatórios convencionais, a solução encontrada, consiste na implantação de uma rede de túneis escavados em rocha granítica, exatamente sob a elevação topográfica que res-

tringia os espaços disponíveis para ampliação das unidades de reservação anteriormente previstas.

Os índices de custos por metro cúbico armazenado resultaram em reduções totais da ordem de 57% nos custos das obras civis, em comparação com unidades de mesmas capacidades executadas em concreto armado.

A possibilidade de reservar-se grandes volumes a custos sensivelmente inferiores, levou inclusive à revisão nos conceitos de reservação anteriormente admitidos com relação ao Centro Produtor Guaráu, criando-se novo conceito de Reservação Integrada, aplicável ao Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo.

Tal conceito, projetado até os horizontes do ano 2000, quando a demanda média diária na R.M.S.P. atingirá cerca de 105 m<sup>3</sup>/s implicando em volumes armazenados superiores a 3,5 milhões de metros cúbicos, abastecendo uma população de 22,5 milhões de habitantes, introduz novas alternativas para a reservação setorial, permitindo inclusive a liberação ou destinação a outros usos de áreas previstas para ampliação ou implantação de novas unidades, mediante a execução de grandes reservatórios regionais escavados em rocha.

A utilização de reservatórios escava-

dos em rocha, apresenta uma série de vantagens sobre as unidades convencionais executadas em concreto armado, principalmente tangentes a custos; facilidades de execução; maximização de volumes armazenados; aproveitamento de áreas topograficamente acidentadas; preservação de equipamentos urbanos; geração de recursos com a comercialização do material escavado, entre outras.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de reservação de água potável em grandes centros urbanos, é continuamente majorada em função não somente da própria expansão populacional, muitas vezes em muito superior às projeções estatísticas, bem como das próprias variações incrementais com relação às quotas de abastecimento "per capita", referidas à população usuária.

Tais aspectos, implicando numa demanda sempre crescente, decorrem conseqüentemente na necessidade de maiores volumes de reservação requerida, de sorte a regular e regularizar as variações entre as vazões de produção e consumo, dentro de comportamentos periódicos.

A implantação das unidades de reservação encontram, dentro do espaço urbano das grandes cidades, cada vez mais, uma crescente gama de res-

(\*) Trabalho apresentado no XVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Ciudad Panamá - Agosto 1982.

(\*) Superintendência de Projetos Região I/ DC - SABESP

(\*\*) Themag Engenharia Ltda.

trições, que vão desde a dificuldade de obtenção de áreas adequadas, até a inviabilidade econômica, decorrente de custos proibitivos dos terrenos, causados pela especulação imobiliária, face à disponibilidade cada vez menor de áreas edificáveis.

Por outro lado, os índices de custo por metro cúbico armazenado de reservatórios convencionais, tem aumentado significativamente, encarecendo cada vez mais o empreendimento.

Da somatória de tais aspectos, resulta a necessidade de soluções de engenharia que se por um lado maximizem as capacidades de reservação localizada, por outro lado minimizem os custos relativos por metro cúbico armazenado. Justamente sob tal enfoque, a THEMAG Engenharia e a SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, desenvolveram um estudo específico, objetivando viabilizar a reservação de água potável em unidades subterrâneas escavadas em rocha, para atender as necessidades do Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo - R.M.S.P.

Tal conceito, aplicado ao problema específico de majorar a capacidade de reservação, junto à Estação de Tratamento de Água de Guaraú (capacidade nominal de 33 m<sup>3</sup>/s), onde as condicionantes topográficas dificultaram a implantação de reservatórios convencionais, conduziu à solução da execução de um sistema de túneis concorrentes escavados em rocha granítica, exatamente sob a elevação topográfica que restringia os espaços disponíveis para a ampliação dos reservatórios anteriormente previstos.

O objetivo do presente trabalho é justamente apresentar sucintamente, as condicionantes e diretrizes que nortearam a concepção do maior reservatório de água tratada do Brasil, com uma capacidade instalada prevista de 400.000 m<sup>3</sup>, com possibilidades de ampliação além de 1.000.000 m<sup>3</sup> armazenados; abrindo ainda a discussão sobre os conceitos de reservação, face à confiabilidade e operacionalidade das unidades de produção e distribuição de água e a reservação regional de grandes capacidades, a custos unitários reduzidos, em substituição a reservatórios setoriais convencionais, aproveitando-se para tal, áreas topograficamente acidentadas, com presença de rocha adequada<sup>1</sup>, inseridas dentro dos sítios urbanos.

1. Maciço granítico ou gnaiss de média qualidade (velocidade sísmica > 4.000 m/s).

## 2. CONSIDERAÇÕES SOBRE RESERVATÓRIOS ESCAVADOS EM ROCHA

A utilização do espaço subterrâneo para finalidades civis, outrora restrita a propósitos militares, vem aumentando consideravelmente nas últimas décadas, em conseqüência das vantagens técnicas e custos reduzidos em relação às obras de usos similares dispostas na superfície.

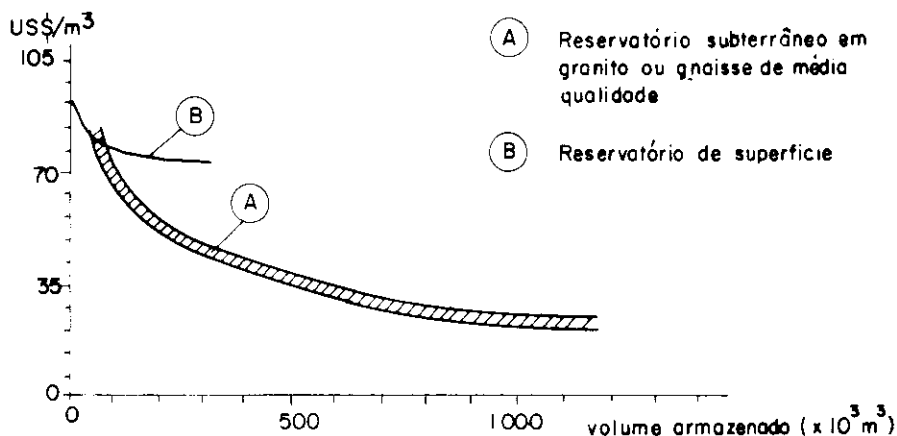
Somente na região metropolitana de Estocolmo-Suécia, as escavações subterrâneas ultrapassavam 10 milhões de metros cúbicos em 1977 (1), atendendo a múltiplas utilidades, tais como armazenamento de vinhos, licores, alimentos refrigerados ou ainda como depósito de resíduos industriais, etc.

Experiências obtidas em armazenamento de petróleo, revelaram que os reservatórios escavados em rocha, além de comprovadamente adequados, apresentam custos de manutenção bastante reduzidos.

Baseado no conhecimento sueco sobre as diversas relações de custos de escavação em granito e outras rochas semelhantes, em função das formas e capacidades volumétricas de diversas obras, Nilsson (1) levantou em 1977, os custos comparativos entre reservatórios de superfície e subterrâneos para produtos petrolíferos, apresentado no gráfico abaixo.

Os custos reduzidos obtidos nas construções subterrâneas suecas, refletem uma tradição mineira de mais de 50 anos, ao lado da disponibilidade de maciços rochosos de excelente qualidade em contrapartida com os elevados custos dos espaços superficiais em centros urbanos de alta densidade demográfica.

A experiência brasileira no setor, resumia-se até recentemente a poucas unidades subterrâneas de pequena capacidade, utilizadas para armazenamento de água tratada, como



por exemplo os reservatórios de "Pedra do Leme" e "Morro do Cantagalo", no Rio de Janeiro.

Com a execução pela SABESP, em Santos-SP, do Reservatório Túnel Santa Tereza-Voturuá, com capacidade útil de 110.000 m<sup>3</sup>, a reservação subterrânea através de escavação em rocha, atingiu novas conotações em relação aos sistemas convencionais constituídos por unidades apoiadas ou enterradas executadas em concreto armado.

O projeto do Reservatório Túnel Guaraú, permitiu confirmar a viabilidade técnico-econômica da solução proposta, abrindo novas perspectivas para reservação de grandes volumes a custos reduzidos, conforme estudo comparativo apresentado no presente trabalho.

## 3. CONCEPÇÃO DO RESERVATÓRIO TÚNEL GUARAÚ

As principais condicionantes que levaram a configuração final do Reservatório Túnel, decorreram dos seguintes aspectos:

- Indisponibilidade de áreas para implantação de unidades convencionais de superfície.
- Existência de maciço rochoso de boa qualidade mecânica.
- Contorno estrutural do topo rochoso.
- Revisões nos conceitos de reservação requerida, junto à E.T.A. Guaraú.
- Condicionantes operacionais da E.T.A. e das adutoras principais, limitando as lâminas úteis de reservação.

### 3.1. CAPACIDADES REQUERIDAS DE RESERVAÇÃO

#### 3.1.1. Antecedentes

A concepção original das unidades de reservação junto a E.T.A. Guaraú baseou-se no fato de que estas seriam

basicamente dimensionadas, para atender principalmente as variações de produção, objetivando compatibilizar as atividades operacionais da Estação de acordo com as fases de ampliação presupostas.

Desta maneira, foram inicialmente previstos três reservatórios de 40.000 m<sup>3</sup>/s cada, correspondendo respectivamente a cada fase sucessiva de produção nominal modular de 11 m<sup>3</sup>/s.

O reservatório existente denominado R<sub>1</sub>, corresponde exatamente ao primeiro módulo de produção de 11 m<sup>3</sup>/s. Com a ampliação da E.T.A. para 22 m<sup>3</sup>/s; o segundo reservatório (R<sub>2</sub>) foi concebido de acordo com o volume anteriormente definido ou seja 40.000 m<sup>3</sup> e disposto em área remanejada especificamente para tal fim, dentro do sítio da E.T.A. Por analogia, quando a E.T.A. atingisse a capacidade nominal de tratamento de 33 m<sup>3</sup>/s, dever-se-ia implantar nova unidade de reservação, de características semelhantes às anteriores.

Ocorre contudo, que a reservação requerida na área da E.T.A. para regular a produção, considerando-se apenas os reservatórios R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub>, representaria cerca de 7,8% da reservação total do Município de São Paulo ou ainda 5,4% em relação ao Sistema Integrado, abrangendo a Região Metropolitana de São Paulo. Tal fato impunha que a reservação para variações de consumo fosse obtida através dos reservatórios setoriais.

A falta de disponibilidade de áreas adequadas para implantação das novas unidades de reservação na área da E.T.A. Guaraú, que já havia levado a remanejar a estrada de Santa Inês para propiciar condições de implantação do R<sub>2</sub>, impôs restrições para a localização do reservatório à terceira fase de produção.

O principal elemento restritivo era uma elevação topográfica, constituída por um segmento da Serra da Cantareira, apresentando um maciço granítico de grandes dimensões, que inclusive impedia a utilização da parte inferior do morro, pois implicava no trabalho de estabilização de encosta, de grande vulto.

A concepção originalmente prevista evoluiu então para a concepção de um reservatório subterrâneo escavado em rocha sob o referido morro. Conseqüentemente, diante da possibilidade de obter-se grandes volumes de reservação a custos reduzidos através da escavação subterrânea, procedeu-se à revisão dos conceitos de reservação junto à E.T.A. Guaraú, admitindo-se a ampliação de um centro de reserva-

ção que, além das variações de produção, fosse suficiente para atender as variações de demanda dos centros consumidores abastecidos, conjuntamente com os demais reservatórios setoriais.

Desta maneira, efetuou-se um estudo visando definir os seguintes aspectos:

- Capacidades de reservação atualmente implantadas, em execução e previstas no Município de São Paulo e R.M.S.P.
- Capacidades de reservação requeridas isoladamente em função da produção da E.T.A. Guaraú.
- Capacidades de reservação requeridas dentro do Sistema Integrado de Distribuição de Água.
- Capacidades limites de reservação subterrâneas através de unidades escavadas em rocha, segundo os aspectos técnicos e econômicos pertinentes.

### 3.1.2. Reservação Atual

A tabela 3.1-A apresenta a situação atual de reservação de água tratada, dentro do Município de São Paulo e nos demais Municípios abastecidos pelo Sistema Integrado (Arujá, Barueri, Caieiras, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapeverica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira,

Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo, São Caetano, Suzano e Taboão).

### 3.1.3. Reservação Requerida em Função das Variações de Demanda E.T.A. Guaraú

Considerando-se unicamente o centro produtor Guaraú, pode-se determinar a reservação requerida em função das fases de produção nominal previstas.

Utilizando-se de vários métodos de dimensionamento, chegou-se aos resultados apresentados na tabela 3.1-B.

### 3.2. PRODUÇÃO E CONSUMO DE ÁGUA NA R.M.S.P.

Com base nos estudos do Relatório SAM-53 (5), que apresenta o planejamento e programação das obras de adução e distribuição de água na R.M.S.P., foi possível estabelecer-se as variações percentuais de consumo e suas correspondências com os acréscimos de produção da E.T.A. Guaraú, expressos na tabela 3.2-A.

Note-se que o acréscimo de consumo acumulado em relação à produção da E.T.A. Guaraú seria inferior teoricamente até pouco após o ano de 1995, quando assumiria valores superiores ao acréscimo acumulado de produção.

Tal aspecto atesta que a proporção-

Tabela 3.1-A — Reservação na R.M.S.P.

| LOCALIZAÇÃO                             | RESERVATÓRIOS EXISTENTES |                          | EM EXECUÇÃO |                          | EM PROGRAMAÇÃO |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
|   | Nº                       | VOLUME (m <sup>3</sup> ) | Nº          | VOLUME (m <sup>3</sup> ) | Nº             | VOLUME (m <sup>3</sup> ) |
| E.T.A. Guaraú                           | 1                        | 40.000                   |             |                          | 1              | 40.000                   |
| Município de São Paulo                  | 52                       | 924.000                  | 1           | 30.000                   | 2              | 60.000                   |
| Sistema Integrado (inclusive São Paulo) | 111                      | 1.374.500                | 5           | 47.500                   | 4              | 65.000                   |

Tabela 3.1-B — Reservação Requerida — E.T.A. Guaraú (m<sup>3</sup>)

| MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO   | RESERVAÇÃO P/PRODUÇÃO NOMINAL |                      |                      |
|---|-------------------------------|----------------------|----------------------|
|   | 11 m <sup>3</sup> /s          | 22 m <sup>3</sup> /s | 33 m <sup>3</sup> /s |
| 1. Curva de consumo assemelhada à senóide   | 151.200                       | 302.400              | 453.600              |
| 2. Analogia à curva observada por Thierry (2)                                       | 144.000                       | 288.000              | 432.000              |
| 3. Segundo vazões de alimentação previstas para o Sistema Aduutor Metropolitano (3) | 151.800                       | 303.550              | 455.330              |
| 4. Curva de consumo observada na E.T.A. Guaraú (4)                                  | 150.000                       | 300.000              | 450.000              |

Tabela 3.2-A – Acréscimos Acumulados – Consumo e Produção

| ANO  | ACRÉSCIMO ACUMULADO DO CONSUMO (%) | ACRÉSCIMO ACUMULADO DE PRODUÇÃO ETA-GUARAÚ(*) (%) |
|------|------------------------------------|---|
| 1981 | -                                  | -   |
| 1982 | 6,28                               | 57,14   |
| 1983 | 12,38                              | 57,14   |
| 1984 | 18,99                              | 57,14   |
| 1985 | 26,49                              | 57,14   |
| 1986 | 32,87                              | 135,71  |
| 1987 | 41,00                              | 135,71  |
| 1988 | 48,42                              | 135,71  |
| 1989 | 56,76                              | 135,71  |
| 1990 | 64,59                              | 135,71  |
| 1995 | 111,59                             | 135,71  |
| 2000 | 168,25                             | 135,71  |

(\*) Admitindo-se produção média de 14 m<sup>3</sup>/s em 1981

Tabela 3.2-B – Produção de Água Tratada na R.M.S.P.

| SISTEMA PRODUTOR  | VAZÃO MÉDIA ATUAL (m <sup>3</sup> /s) | VAZÃO MÁXIMA PREVISTA (m <sup>3</sup> /s) | OBSERVAÇÃO                  |
|---|---------------------------------------|---|-----------------------------|
| Cantareira  | 14                                    | 33  | a ser ampliada até 1987     |
| Alto Cotia  | 0,8                                   | 1,0                                       |                             |
| Baixo Cotia   | 0,5                                   | -   | a ser desativada até 1985   |
| ABV + T. Ramos  | 11                                    | 12  | aumento planejado para 1983 |
| Rio Grande  | 3,5                                   | 4,0                                       |                             |
| Ribeirão de Estiva                                      | 0,1                                   | -   | a ser desativada até 1983   |
| Rio Claro   | 3,7                                   | 4,0                                       |                             |
| TOTAL   | 33,6                                  | 54,0                                      |                             |
| Demanda máxima diária em 1981 = 39,35 m <sup>3</sup> /s |                                       |   |                             |

Tabela 3.2-C – Demandas Médias – R.M.S.P.

| ANO  | DEMANDA MÉDIA DIÁRIA SISTEMA INTEGRADO (m <sup>3</sup> /s) | DEMANDA TEÓRICA A SER SUPRIDA PELA ETA GUARAÚ (m <sup>3</sup> /s) | PRODUÇÃO NOMINAL DA ETA GUARAÚ (m <sup>3</sup> /s) |
|------|--|---|--|
| 1981 | 39,35  | 16,39   | 11   |
| 1982 | 41,81  | 22,00   | 22   |
| 1983 | 44,21  | 23,21   | 22   |
| 1984 | 46,81  | 24,20   | 22   |
| 1985 | 49,76  | 28,76   | 33   |
| 1986 | 52,26  | 31,26   | 33   |
| 1987 | 55,49  | 33,91   | 33   |
| 1988 | 58,40  | 35,69   | 33   |
| 1989 | 61,67  | 37,69   | 33   |
| 1990 | 64,74  | 39,56   | 33   |

nalidade direta entre produção e consumo não pode ser admitida sem que se defina um coeficiente de redução decrescente.

Por outro lado apenas o centro produtor Guaraú tem ampliações significativas previstas, o que significa que o aumento de consumo deverá ser suprido quase que exclusivamente pela E.T.A. Guaraú, do sistema produtor Cantareira.

Da análise da tabela 3.2-B pode-se verificar que em 1981 a E.T.A. Guaraú respondeu por 41,66% da produção total de todo o Sistema Integrado.

Conseqüentemente, quando todos os sistemas produtores atualmente previstos estiverem operando com suas capacidades máximas, a E.T.A. Guaraú deverá responder por 61,11% da produção total.

A tabela 3.2-C a seguir apresenta, segundo as previsões do Relatório SAM-53, os consumos teóricos a serem supridos pela E.T.A. Guaraú dentro do Sistema Integrado.

O consumo referente ao centro produtor Guaraú, deverá aumentar cerca de 141% no período de 1981 – 1990, contra um acréscimo acumulado de produção de 136% no mesmo período, o que leva a admitir que até o horizonte de 1990 pode ser considerada a hipótese de proporcionalidade entre produção e consumo em relação à E.T.A. Guaraú.

Mantido este conceito, as reservas requeridas em relação ao centro produtor Guaraú, seriam confirmadas de acordo com o item 4 da tabela 3.1-B, definidas através da análise do comportamento atual produção/demanda.

### 3.3. RESERVAÇÃO ADOTADA

Dois aspectos nortearam a definição da capacidade de reservação a ser implantada. O primeiro, referente às próprias condicionantes geológico-geotécnicas do maciço rochoso onde será escavado o reservatório, definindo uma envoltória de exploração e conseqüentemente um volume máximo de armazenamento de água, já que a altura útil do reservatório foi pré-fixada em analogia ao R<sub>1</sub> existente, ou seja cerca de 5 metros de lâmina útil.

O segundo aspecto considerado foi a inserção do reservatório R<sub>3</sub> dentro do sistema global de reservação do Sistema Integrado de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo (R.M.S.P.).

As investigações do maciço concluíram que os volumes de reservação de-

finidos no item 3.1 poderiam ser implantados segundo a projeção horizontal da envoltória definida pela conta 845, com uma área explorável de 150.000 a 200.000 m<sup>2</sup>.

O gráfico a seguir apresenta as reservas atuais, previstas e requeridas para a Região Metropolitana de São Paulo.

tada entre 1985 e 1987, elevando para 400.000 m<sup>3</sup> a capacidade do Túnel Reservatório Guaraú.

O conceito admitido para determinação das reservas requeridas para a E.T.A. Guaraú, baseou-se no binômio produção demanda e o conceito de reserva requerida para a R.M.S.P. está fundamentado no percentual de 1/3 da demanda total diária estimada.

no futuro, pois se admitidas as hipóteses atuais, as reservas totais requeridas em 1990 e no ano 2000 seriam de 2,2 e 3,5 milhões de metros cúbicos para atender a R.M.S.P.

### 3.4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

O Reservatório Túnel Guaraú<sup>2</sup> será executado num maciço granítico, existente junto ao sítio da Estação de Tratamento do Guaraú<sup>3</sup>, segmento da Serra da Cantateira, pertencente ao Planalto Paulistano (6). A região de implantação é representada por um granito intrusivo, cinza, leocrático de textura média a grossa, com fenocristais de feldspato da ordem de 3 cm, no geral hipidiomórfico (7).

Este granito é parte de um batólito com superfície da ordem de 300 km<sup>2</sup>, concordante com a estruturação NE da zona de Transcorrência de São Paulo (8).

Os solos superficiais e os de alteração, são constituídos por areias siltosa e argilosa, com blocos e matações de até 7 m de diâmetro.

As sondagens executadas, indicaram que o maciço rochoso é constituído por granito muito duro, pouco a medianamente fraturado, com um RQD (Rock-Quality Designation) mínimo de 80%, com perdas d'água insignificantes pelas fissuras.

### 3.5. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E CONSTRUTIVAS

#### 3.5.1. Condicionantes Hidráulicas

A principal condicionante hidráulica foi a fixação dos níveis de operação em função do Reservatório R<sub>1</sub> existente, através do qual as adutoras que abastecem o Sistema Adutor Metropolitano são alimentadas.

Tal aspecto limitou a lâmina útil de reserva a 5 metros, entre as cotas altimétricas 830 e 825.

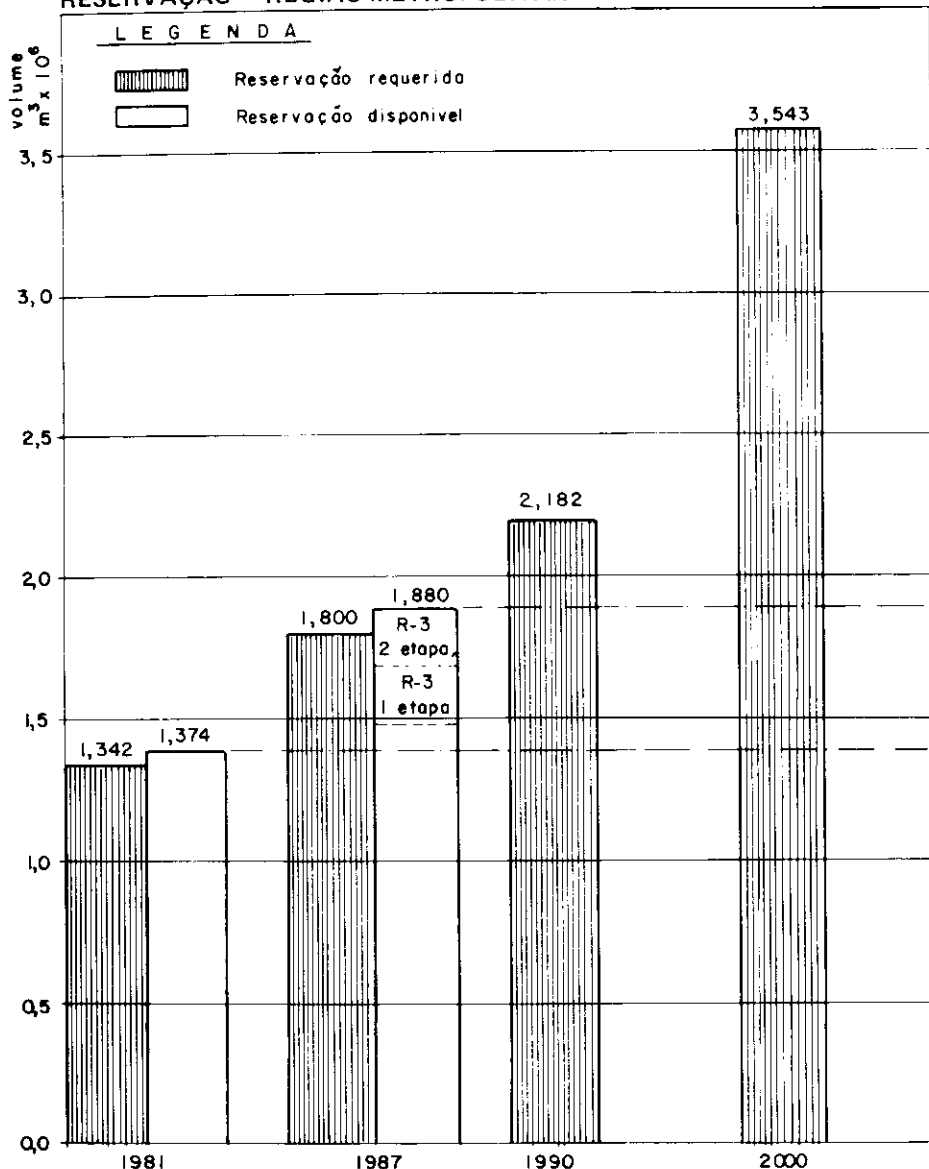
#### 3.5.2 Descrição Geral do Sistema Projetado

O Reservatório Túnel Guaraú é composto, além das células de reservação propriamente ditas, por uma série de unidades a montante e a jusante, que o interliga ao sistema existente.

A interligação de montante é feita

2. Também denominado Reservatório Túnel R<sub>3</sub>.
3. Localizada na zona norte da cidade de São Paulo, a uma distância de 12 km da região central (ver figura 4).

RESERVAÇÃO – REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO-R.M.S.P.



Observe-se que a situação em 1981 é relativamente equilibrada, implicando contudo num deficit de reservação de mais de 300.000 m<sup>3</sup> em inícios de 1987 ou quase 700.000 m<sup>3</sup> em 1990.

Diante de tal consideração e em função da reservação requerida para a E.T.A. Guaraú, admitiu-se implantar o reservatório com capacidade suficiente para suprir este deficit em primeira instância até 1987, em duas etapas de execução.

A primeira, de implantação imediata, terá um volume de cerca de 200.000 m<sup>3</sup> de reservação e a segunda, de igual capacidade, deverá ser implan-

Os dois conceitos, considerados isoladamente, levam a resultados diferentes, pois a adoção de 1/3 da demanda máxima diária como reservação requerida resulta em valores mais elevados no caso de uma unidade isolada. Contudo, em relação à própria confiabilidade do centro produtor Guaraú, não seria procedente admitir-se para o R<sub>3</sub> a mesma consideração estabelecida para o sistema global de reservação, sujeito a uma maior gama de interferências e eventuais interrupções de fornecimento.

Em conseqüência, os conceitos de reservação global deverão ser revistos

através de um conduto de concreto com diâmetro de 3,70 m, conectado na câmara de saída do canal de água filtrada da E.T.A., logo após o vertedor labirinto, onde são efetuadas as dosagens de produtos químicos.

Este conduto, com extensão de 50 m, dispõe de um medidor de vazão Venturi ( $Q_{max} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e alimenta a Unidade Divisora de Vazão, onde dispositivos mecânicos permitem manobras para operação das células do reservatório. Imediatamente a jusante desta unidade, está disposta a Central de Ventilação de montante, com função de manter a renovação de ar necessária, nas operações de limpeza e manutenção do reservatório.

A ligação da Unidade Divisora de Vazão com o corpo do reservatório é feita por um conduto de alimentação de montante, com extensão de 200 m, dos quais 100 m através de túnel escavado em solo com seção de  $35 \text{ m}^2$ .

O reservatório propriamente dito, será na 1ª etapa de implantação, composto por duas células isoladas, formadas cada uma por um túnel principal, ao qual convergem perpendicularmente, túneis secundários paralelos. A célula direita com capacidade útil de  $95.000 \text{ m}^3$  será executada em sua configuração final e a célula de reservação esquerda, cuja capacidade na 1ª etapa é de  $105.000 \text{ m}^3$ , terá arranques para interligação das obras de 2ª etapa, as quais elevarão em mais  $200.000 \text{ m}^3$  o volume armazenado.

A partir das células de reservação, um túnel bi-celular com extensão de 140 m, de seção e características semelhantes ao conduto de alimentação de montante, interliga o reservatório à Unidade de Reunião de Vazões, onde estão dispostas as estruturas de manobra, extravasão e descarga, além da Central de Ventilação de jusante.

O conduto efluente a jusante da Unidade de Reunião de Vazões, com extensão de 120 m e seção de  $19 \text{ m}^2$ , interliga esta à Câmara de Saída das Adutoras, estrutura que dispõe das unidades de manobra das linhas principais do Sistema Adutor Metropolitano, a partir do centro de produção Guarau.

A Câmara de Saída das Adutoras pode operar isoladamente ou em conjunto com as estruturas de saída do S.A.M., existentes no reservatório  $R_1$ .

As figuras 1 a 7 anexas, apresentam as características principais de implantação e detalhes das unidades que compõem o Reservatório

Túnel Guarau (9).

### 3.5.3. Aspectos Operacionais

O fluxo hidráulico ao atingir o corpo do reservatório através do conduto de alimentação de montante será dirigido em cada célula, a túneis periféricos de distribuição, através do fechamento parcial dos túneis principais com uma cortina, procurando-se evitar dessa forma ocorrência de curto-circuito hidráulico.

As operações de limpeza e manutenção deverão ser feitas periodicamente, isolando-se uma das células de reservação de cada vez e introduzindo-se equipamentos adequados (veículos e ferramentas) através de aberturas dispostas junto às unidades de divisão e reunião de vazões.

Um sistema de ventilação forçada subdividido em duas centrais respectivamente a montante e jusante do reservatório, garantirão a renovação de ar durante as operações de limpeza e manutenção.

Os resíduos coletados nestas operações serão dispostos em veículos transportadores que circularão pelo reservatório e retirados através de equipamentos móveis de elevação.

A unidade de extravasão e descarga, será interligada ao canal existente de drenagem do Guarau, através de uma estrutura disposta a partir da unidade de reunião de vazões.

A ventilação natural do reservatório, durante a operação normal será proporcionada através de poços de ventilação no caso da célula da esquerda, ou ainda através da própria janela de acesso à célula de reservação direita.

Os níveis operacionais serão análogos ao reservatório  $R_1$  existente, com N.A. máximo na cota 830,00 e N.A. mínimo na cota 826,00 aproximadamente, com pequenas variações em função da situação de operação adotada.

### 3.5.4. Aspectos Construtivos

As seções de túneis que compõem as células de reservação foram definidas considerando principalmente a capacidade final do reservatório . . . . . ( $400.000 \text{ m}^3$ ) e a pequena altura da lâmina útil (5,00 m).

Dentre as várias seções estudadas, a semi-circular de 12,0 m de diâmetro resultou mais indicada nos estudos técnico-econômicos, em razão da sua forma extremamente favorável à estabilidade de escavação minimizando as necessidades de suporte ou proteções além de permitir um aproveitamento de até 89,6% da área es-

cavada, para armazenar água.

A dimensão da seção garante a necessária flexibilidade de manobra de equipamentos de perfuração, carregamento de furos com explosivos, detonação e limpeza das rochas desmontadas.

A multiplicidade de túneis perpendiculares e concorrentes aos dois túneis principais, permitirá avanço simultâneo nas várias frentes o que reduzirá sensivelmente o prazo de conclusão da obra uma vez que em qualquer obra subterrânea, as escavações em subterrâneo representam o caminho crítico no cronograma das construções.

Considerando-se que o custo de construção e a segurança da obra estão diretamente relacionadas com as características de resistência do maciço rochoso e que 95% das escavações subterrâneas serão executadas em rocha, os parâmetros geotécnicos essenciais ao projeto foram intensivamente investigados.

O maciço rochoso foi subdividido em quatro categorias, denominadas de classes I, II, III e IV, segundo modelo de classificação especialmente elaborado para este fim pela THE-MAG. Os esquemas construtivos foram desenvolvidos para cada classe de maciço, para orientar a escavação, o avanço, a seqüência de aplicação de elementos de suporte e se necessárias, medidas adicionais de proteção.

Essas atividades além de garantir a segurança das escavações são realizadas de maneiras ordenadas e cíclicas para permitir o planejamento e o controle dos trabalhos.

## 4. ANÁLISES COMPARATIVAS ENTRE RESERVATÓRIOS SUBTERRÂNEOS E CONVENCIONAIS

Além das vantagens técnicas (sanitárias e construtivas) amplamente favoráveis aos reservatórios subterrâneos, os aspectos econômicos do empreendimento tornaram ainda mais atrativo a implantação de reservatórios de grande porte em subterrâneo.

Segundo os dados publicados no Dirigente Construtor de setembro/80 (10) o reservatório convencional construído em concreto armado custa em média 160 a 200 dólares/ $\text{m}^3$ , enquanto a solução em túneis situa-se ao redor de 100 dólares/ $\text{m}^3$ .

Essas previsões praticamente se confirmaram com os dois grandes reservatórios subterrâneos da SABESP, um construído no Morro Santa Teresa em Santos com  $110.000 \text{ m}^3$  e o outro previsto na área da Estação de Trata-

mento de Água do Guaraú, na região norte de São Paulo com 400.000 m<sup>3</sup> de reservação.

Embora os dois reservatórios subterrâneos apresentem concepções distintas e, conseqüentemente, características operacionais e construtivas diferentes, os custos unitários finais são bastante comparativos e significativamente menores do que o de reservatório convencional com estrutura apoiada em solo, também previsto na área de E.T.A. Guaraú.

A tabela a seguir apresenta as principais características e os valores unitários (US\$/m<sup>3</sup>) de cada um, todos eles corrigidos a uma data comum.

| CARACTERÍSTICAS GERAIS                                  | RESERVATÓRIOS |         |                             |
|---|---------------|---------|-----------------------------|
|   | VOTURUÁ       | GUARAÚ  | CONVENCIONAL R <sub>2</sub> |
| • Capacidade (m <sup>3</sup> )                          | 110.000       | 400.000 | 40.000                      |
| • Área de seção do túnel/reservatório (m <sup>2</sup> ) | 177           | 56,5    | 195                         |
| • Comprimento do túnel/reservatório (m)                 | 800           | 4.200   | 205                         |
| • Custo unitário (US\$/m <sup>3</sup> )                 | = 97          | = 91    | = 212                       |

Sabe-se que o custo unitário do reservatório convencional decresce com o volume armazenado e tende a se manter constante após 20.000 m<sup>3</sup>. Assim reservatórios maiores do que . . . . 40.000 m<sup>3</sup> terão custos unitários muito próximos aos verificados na tabela, podendo inclusive ocorrer majorações devido às dificuldades construtivas próprias de obras de maior porte e custos de desapropriação elevados, no caso de áreas industriais ou urbanizadas.

## 5. CONCLUSÕES

Confirmando a longa experiência internacional e mais recentemente a experiência brasileira, a solução alternativa de reservatórios de água tratada, escavados em rocha, demonstram praticidade e considerável economia, em relação a obras de usos semelhantes, executadas por processos convencionais em concreto armado.

A redução percentual de custo atingiu com relação ao Túnel Reser-

vatório Guaraú, cerca de 57% e os prazos requeridos para execução puderam ser minimizados mediante a possibilidade de ataque simultâneos em várias frentes de trabalho.

Tais aspectos somados à liberação dos espaços urbanos superficiais, visto que os reservatórios podem ser implantados em regiões de topografia acidentada, muitas vezes até inviáveis para a ocupação urbana, aumentam a atratividade da solução. No caso específico da Região Metropolitana de São Paulo, onde a presença de maciços graníticos é significativa em vários pontos de sua extensão (11) (ver figura 4), a implantação de reservató-

rios subterrâneos escavados em rocha pode ser uma solução não apenas para o armazenamento de água tratada, mas também servir a uma gama de utilizações com propósitos civis, tais como, reservatórios de combustíveis, gás, alimentos, depósitos de resíduos industriais, etc.

De uma maneira geral, as principais vantagens dos reservatórios subterrâneos escavados em rocha resumem-se a:

- custos reduzido.
- facilidades construtivas.
- maximização dos volumes úteis de reservação.
- aproveitamento de áreas topograficamente acidentadas.
- geração de recursos com a comercialização de material escavado.
- preservação de equipamentos urbanos.

Com relação à região Metropolitana de São Paulo, que no ano 2000

deverá ter uma população de 22,5 milhões de habitantes, consumindo 105 m<sup>3</sup>/s de água e implicando em volumes de reservação da ordem de 3,5 milhões de m<sup>3</sup>, a implantação de grandes reservatórios regionais escavados em rocha granítica, deverá ser uma solução viável, a ser estudada com maior profundidade.

Os conceitos de reservação setorial, deverão portanto, ser revistos, sob o aspecto de reservação integrada, referido ao Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NILSSON, S.O., 1977 - Feasibility of Underground Storage Plants in Metropolitan Areas - A Study of Important Economic Factors. Proc. of the First Inst. Symposium of Storage in Rock Caverns, in Stockholm - Vol. 1.
2. YASSUDA, E. R. & NOGAMI, P.S., 1973, Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água, São Paulo, Centro Tecnológico de Saneamento Básico (Programa de Publicações Técnicas) Vol. I - Cap. 4,87-97.
3. São Paulo - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 1981, Análise do Relatório da Themag, SPG-015/81, item 5.
4. Themag Engenharia, 1981, Reservatório Túnel R<sub>3</sub>, Relatório Técnico Complementar, TRG-RE-004/CO.
5. CNEC, Consórcio Nacional de Eng.<sup>os</sup> Consultores, 1980, Planejamento e Programação das Obras de Adução (SAM-53) e Distribuição de Água da R.M.S.P. correspondente à Etapa Jaguari do Sistema Cantareira - Fase II, CNEC-A-090-RT-1-02/05.00.
6. ALMEIDA, F. F. M. de, 1964 - Fundamentos Geológicos do Relévo Paulista. Boletim do Instituto de Geografia e Geologia, São Paulo 41:169-273. il.
7. MORAES Rego, F. de SANTOS, T.D. S., 1938 - Contribuição para o Estudo de Granitos da Serra da Cantareira. Boletim do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 18, p. 1-62 il. perfis.
8. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978 - Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo.
9. Themag Engenharia, 1982 - Reservatório Túnel R<sub>3</sub>, Detalhamento Técnico.
10. 1980, Um Túnel Escavado na Rocha. A Solução de Santos para Armazenar Água, Dirigente Construtor, Vol. XVI, 8,20-25.
11. São Paulo. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria dos Negócios Metropolitanos, Emplasa, São Paulo, 1980, Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo, Cartográfica Cruzeiro do Sul S.A., Fl. 1 e 2.

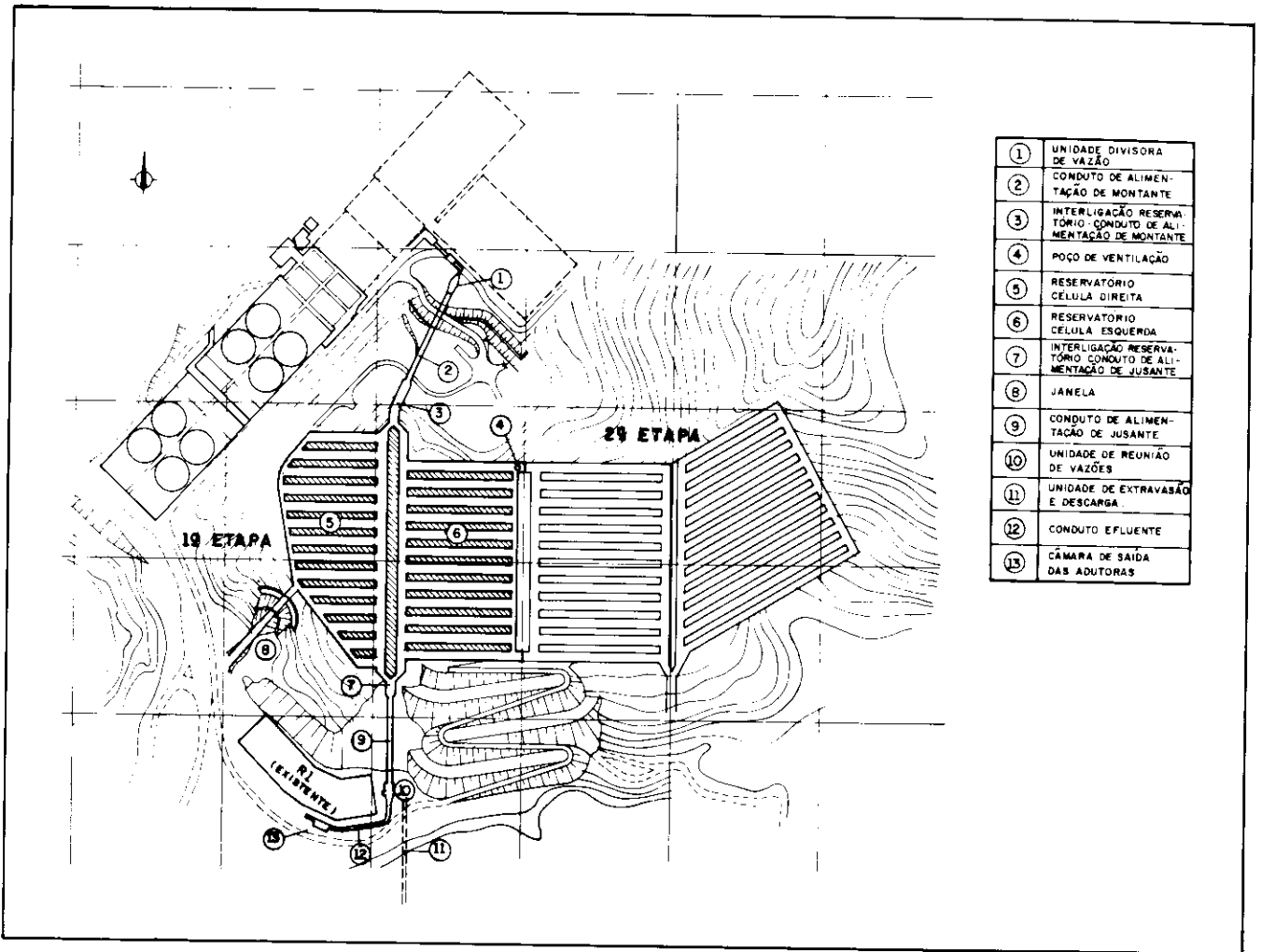


FIGURA 1 – ARRANJO GERAL

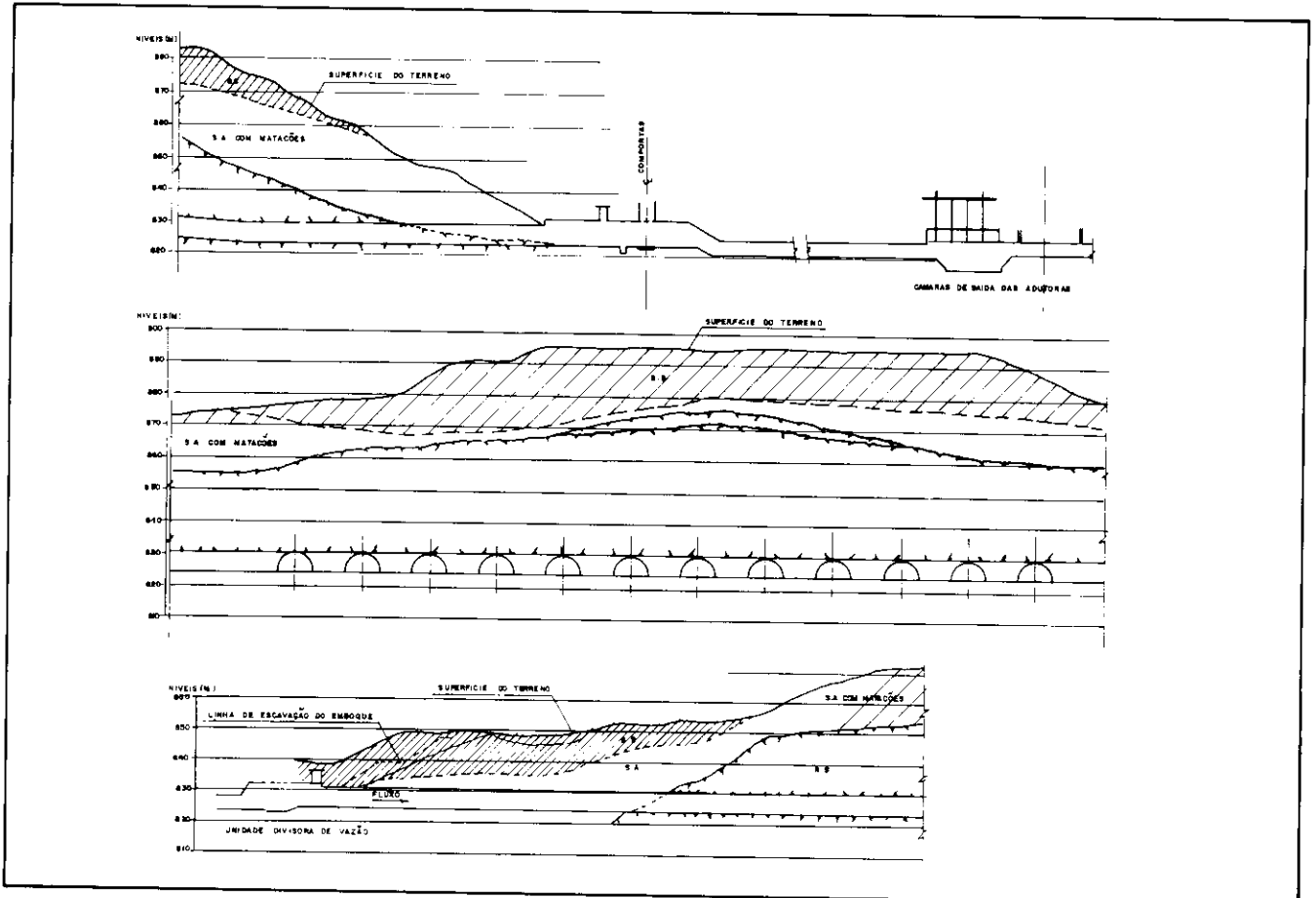


FIGURA 2 – CORTE LONGITUDINAL



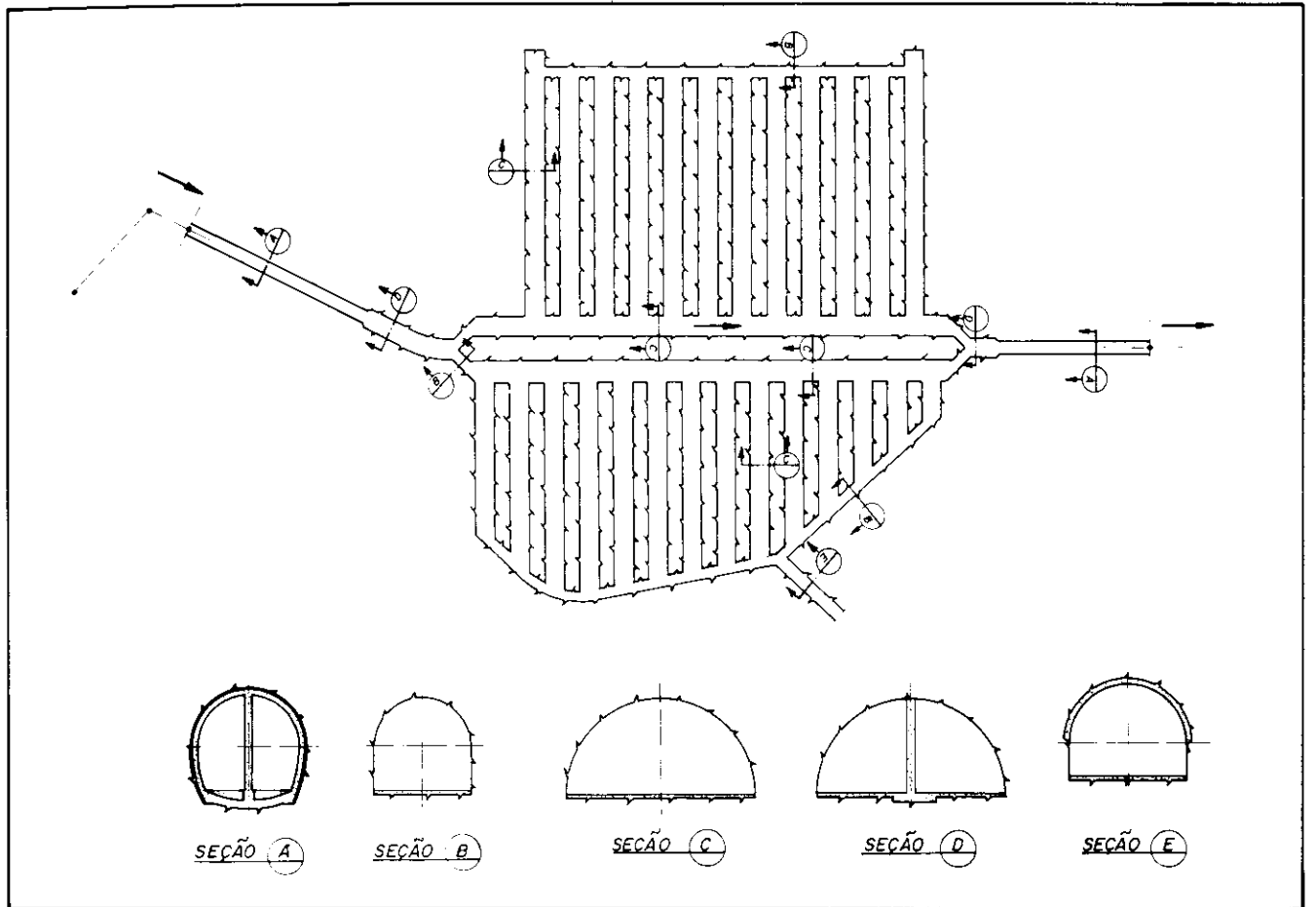


FIGURA 3 – CÉLULAS DE RESERVAÇÃO

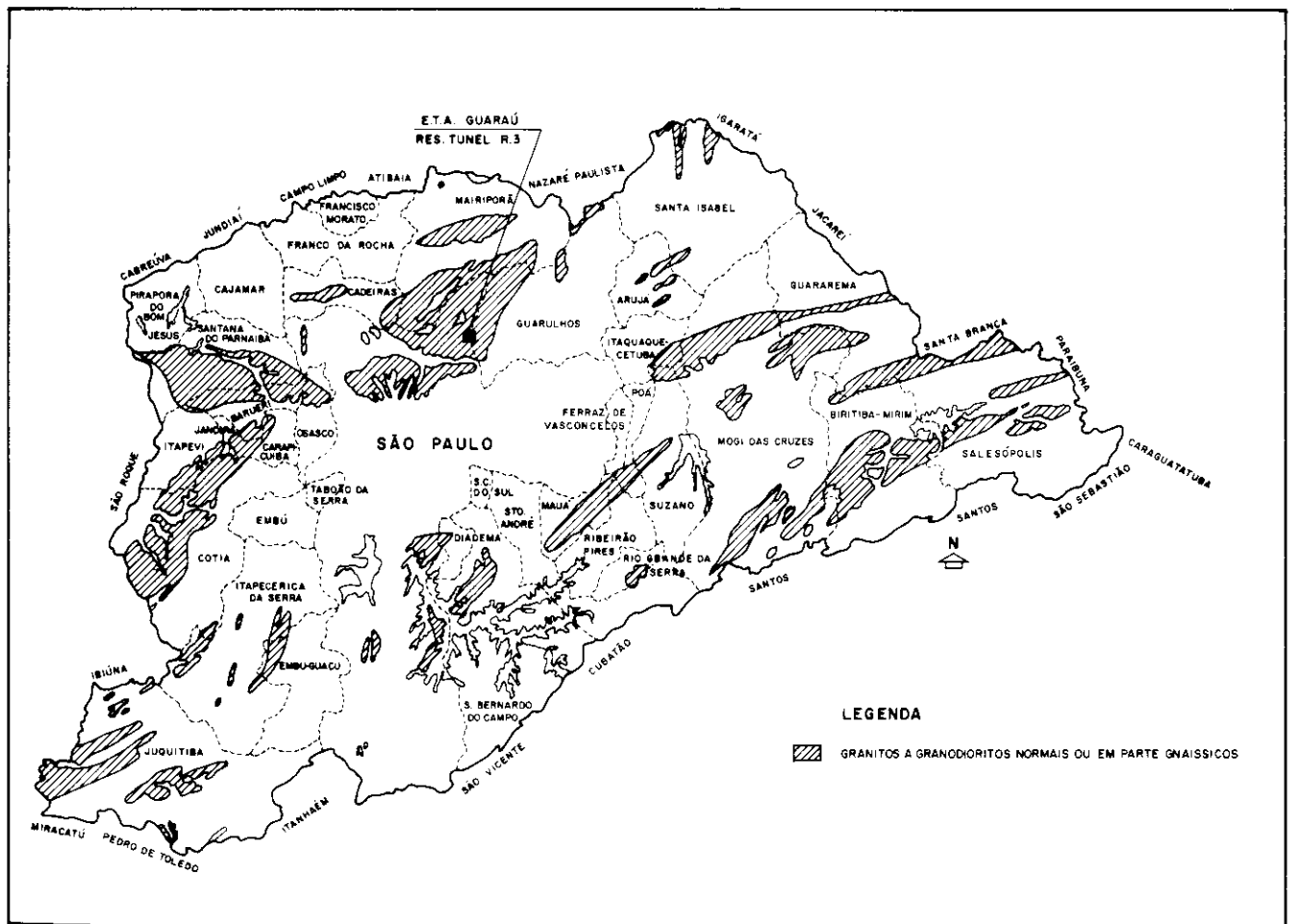


FIGURA 4 – OCORRÊNCIA DE MACIÇOS GRANÍTICOS NA RMS