

BARRAGENS SUBTERRÂNEAS: UMA ALTERNATIVA PARA SUPRIMENTO DE ÁGUA NA
REGIÃO SEMI-ÁRIDA

POR

L. C. C. MONTEIRO¹

RESUMO -- As barragens subterrâneas são obras de engenharia implantadas no interior de depósitos aluvionares constituídas por um diafragma impermeável, assentado em horizonte também impermeável, que intercepta o fluxo de água subterrânea. Sua implantação requer a análise de determinadas características hidrogeológicas de aluviões em situações propícias para criação de um aquífero.

INTRODUÇÃO

O fenômeno do êxodo rural das populações nordestinas durante as secas, não obstante a diversos fatores sociais e econômicos, é causado de modo decisivo pela carência absoluta dos recursos hídricos para a realização das atividades agrícolas e, principalmente, para o próprio consumo humano.

A necessidade de se garantir o suprimento de água nestes períodos críticos é de vital importância para evitar que o homem abandone sua terra.

Existem diferentes alternativas para a criação de reservas hídricas na região semi-árida.

Os reservatórios de superfície são mais usados, devido as condições geológicas que favorecem um elevado escoamento superficial. Como a evaporação média anual (2.000 mm) é sempre superior a precipitação média anual (800 mm) estes reservatórios sofrem grandes perdas de água, chegando até mesmo a secarem completamente.

Os reservatórios de maior porte conseguem ultrapassar um ou mais anos de seca garantindo as necessidades hídricas das populações locais, mas a maioria deles, que são de menor porte, não resistem a um ano sem chuvas.

Outra alternativa para o suprimento é a extração de água subterrânea. Desde que o lençol freático não seja muito profundo, esta solução pode ser técnica e economicamente satisfatória.

Entretanto, a água obtida apresenta com frequência diversos graus de salinização.

A criação de aquíferos artificiais pode ser uma alternativa capaz de armazenar água de boa qualidade por extenso período de tempo.

¹Engenheiro Civil, Secretaria de Obras e Serviços Públicos do Ceará.

Uma das características mais importantes dos aquíferos artificiais é que as perdas por evaporação podem ser reduzidas a valores praticamente nulos.

A maior desvantagem destes aquíferos se deve a sua pequena capacidade de armazenamento. Tal limitação restringe os usos quando são requeridos grandes quantidades de água. Eles não são adequados para a utilização concentrada na irrigação ou para grandes vazões em curtos períodos de tempo.

Eles atendem de modo satisfatório as necessidades de uso doméstico ou de pequenas comunidades.

Embora estes aquíferos tenham uma capacidade de armazenamento limitada, seu aproveitamento é quase total, devido as insignificantes perdas por evaporação.

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

Aspectos climáticos

A região semi-árida do Nordeste Brasileiro, com aproximadamente 860.000 Km², é caracterizado por um regime de chuvas mal distribuídas no tempo e no espaço.

A pluviometria média anual varia numa faixa de 800 mm mas, em certos locais, pode chegar a 250 mm. Há, por outro lado, locais cujos microclimas elevam a média para 1.000 mm. A temperatura média anual é da ordem de 27°C com amplitude média diária de 10°C. A umidade relativa anual é igual a 50% e a taxa anual de evaporação excede os 2.000 mm.

Os solos são, em geral, pouco desenvolvidos, rasos e pedregosos com baixa capacidade de armazenamento de água. O relevo é suave destacando-se áreas acidentadas que condicionam a formação de microclimas.

Os rios e riachos do semi-árido apresentam um regime temporário permanecendo secos a maior parte do ano. Contudo, na estação chuvosa, se tornam torrenciais alcançando elevados vazões.

Aspectos hidrogeológicos

A água subterrânea encontra-se principalmente nas formações sedimentares e aluviões dos rios. Somente o fluxo subterrâneo é contínuo durante o ano.

Os depósitos aluvionares são unidades de captação e acumulação de água muito comuns nas bacias de base cristalina do semi-árido. Numa seção típica de um vale, como mostra a figura 1, pode-se observar os terraços aluvionares constituídos de areias finas com pequenas quantidades de silte e argila. Na calha encontram-se sedimentos grosseiros (areia grossa e cascalho) que se estendem sob os terraços até o embasamento rochoso. Observa-se assim, em várias ocorrências de aluvião, uma tendência de aumento de granulometria

dos sedimentos à medida que se aprofunda no depósito.

Os aquíferos aluvionares são recarregados através das chuvas que caem diretamente sobre o leito aluvionar, da contribuição lateral das águas de escoamento superficial proveniente da bacia de captação e da contribuição das surgências de águas infiltradas na mesma bacia.

As duas primeiras formas, superficiais, são predominantes e produzem uma recarga em águas de baixo teor salino, favorecendo a qualidade dos aquíferos aluvionares.

A contribuição das surgências pode se dar com alto teor em sais, comprometendo a qualidade das águas armazenadas.

BARRAGENS SUBTERRÂNEAS

Generalidades

O escoamento superficial dos rios depende do volume precipitado e cessa após o final do período de chuvas, enquanto o escoamento subterrâneo permanece. Durante o período seco este escoamento diminui e o nível freático desce gradualmente.

Uma solução para o armazenamento desta água e a manutenção do nível freático em níveis elevados é a construção de barragens subterrâneas como forma de aquífero artificial.

Estas barragens consistem de um diafragma impermeável construindo transversalmente ao leito do rio para interceptar o fluxo subterrâneo. O depósito aluvionar do local escolhido deve ser confinado e se constituir de solos com boa porosidade e permeabilidade e dimensões adequadas para garantir uma satisfatória capacidade de armazenamento.

O diafragma impermeável deve ser construído sobre uma camada impermeável e resistente do subsolo (em geral, camada rochosa) se elevando até a superfície do aluvião. As ombreiras devem também se assentar em solo impermeável em cada lado. O material a ser empregado no diafragma depende do custo e disponibilidade na área.

As águas superficiais e subterrâneas que escoam para a bacia escolhida devem ser de boa qualidade.

ELEMENTOS DE PROJETO

Investigações geotécnicas

Nas barragens subterrâneas as investigações geotécnicas não se restringem ao eixo da barragem. O plano investigativo deve abranger também a bacia de acumulação a fim de se avaliar a capacidade de armazenamento do aluvião.

A aplicação dos métodos de investigação dependem das caracte

rísticas geológicas e topográficas do local.

As sondagens devem ser convenientemente distribuídas pela área a ser estudada, permitindo o mapeamento geológico das diversas camadas do aluvião e da base rochosa bem como a determinação da profundidade atual do nível freático.

As amostras de solos e água recolhidas devem ser encaminhadas ao laboratório para definição dos seguintes elementos:

- granulometria, porosidade, permeabilidade, para os solos;
- cor, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, sais dissolvidos (bicarbonatos, carbonatos, cloretos e sulfatos) e sólidos totais, para a água.

As investigações devem proporcionar os seguintes dados para a concepção do projeto:

- Localização do eixo da barragem, determinando-se o perfil rochoso para o assentamento da fundação.
- Estratigrafia, espessura e distribuição em área do aluvião.
- Avaliação da capacidade de armazenamento de água.
- Exame da qualidade da água.
- Definição do tipo de material a ser empregado no diafragma.

Capacidade de armazenamento

A capacidade mínima requerida de um aquífero artificial é mencionado em função do consumo mínimo diário de água e da duração do período crítico de seca.

O atendimento da demanda de água para consumo humano na zona rural do semi-árido nordestino deve requerer no mínimo 50 litros/ha bitante/dia.

Admitindo que uma barragem subterrânea, cujo aquífero seja formado de uma areia com porosidade efetiva de 10%, tenha 100 metros de largura, 1000 metros de comprimento e 5 metros de espessura, o volume armazenado é de $5 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ de água, que seria possível abastecer uma comunidade de 1.370 pessoas por um período de 2 anos de seca.

Considere-se que as perdas nestes aquíferos são bastante reduzidas e que não houve recarga durante o período mencionado.

ASPECTOS CONSTRUTIVOS

As fases construtivas mais usuais para a implantação de barragens subterrâneas são: escavação do aluvião, construção do diafragma impermeável e construção de obras de captação.

Escavação do aluvião

A escavação do aluvião deve ser em taludes, adotando-se inclinações compatíveis com o ângulo crítico do material, garantindo-

lhes a estabilidade. É necessário que ao se atingir a camada im permeável haja espaço para se iniciar a construção do diafragma, como mostra a figura 2.

Quando a escavação é realizada abaixo do nível freático, se exige a utilização de bombas de recalque para esgotar a água. Esta é a solução menos dispendiosa mas requer cuidados especiais com a estabilidade dos taludes. Eles devem ser protegidos com a colocação de filtros invertidos para evitar o carreamento de material do aluvião devido o fluxo de água, como mostra a figura 3.

A escavação em taludê é a que envolve maior volume de material a ser removido, porém quando devidamente dimensionada com relação à estabilidade dos taludes e ao rebaixamento do nível de água, pode se tornar a mais viável, técnica e economicamente, permitindo garantir uma perfeita execução do diafragma.

A escavação e construção do diafragma pode ser realizada em etapas ou trechos, de modo a se controlarem as vazões a serem bombeadas, em vez de abertura total da escavação.

A escavação mecânica com o uso de lama bentonítica, dispensa o rebaixamento do nível freático. É uma solução mais dispendiosa pois requer a utilização de equipamentos especiais e técnicas pouco usadas na região, além de obrigar a construção do diafragma de concreto ou alvenaria. Esta alternativa deve ser considerada quando o aluvião é muito espesso e requer um grande volume de escavação.

Construção do diafragma impermeável

O material mais recomendado para a construção do diafragma é a argila compactada. As argilas são abundantes na região e tem um custo muito baixo. Em alguns casos, o uso de alvenaria de pedra pode ser uma alternativa melhor. Mas, a utilização de material rígido sobre fundações compressíveis não é recomendada, pois haveria o risco de recalques que provocariam fissuração e consequentemente perda de água. A compactação do material argiloso e do reaterro da escavação deve ser executado simultaneamente. Durante esta fase, uma transição granulométrica deve ser feita entre a face jusante do diafragma e o aluvião, com o objetivo de se evitar o fenômeno da erosão interna.

O problema se agrava quando o aluvião possui um percentual exagerado de material grosseiro. A transição pode ser obtida pelo enriquecimento do próprio material do aluvião. Esta fase é mostrada na figura 4.

O bombeamento deve ser mantido enquanto o serviço estiver sendo feito abaixo do nível freático.

Se o diafragma for de alvenaria, a sua construção independe do reaterro que pode ser executado posteriormente.

Construção de obras de captação

O acesso a água deve ser permitido através de cacimbas cons

truídas à jusante da barragem e devem ser localizadas de acordo com a topografia, forma e dimensões da bacia.

Para evitar o efeito da salinização é recomendável que se faça a renovação da água durante o período de chuvas, de modo a diminuir a concentração de sais no aluvião. Um tubo de descarga deve ser colocado na seção de altura máxima do diafragma, possibilitando a remoção quase total da água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de barragens subterrâneas, capazes de interceptar o fluxo de água no subsolo e, conseqüentemente, provocar o armazenamento de volumes ou condições favoráveis de captação e controle, frequentemente se enuncia como uma solução técnica e economicamente adequada para o problema de recursos hídricos na região semi-árida do Nordeste.

Contudo, até o presente, muito pouco efetivamente se conhece sobre a real potencialidade e eficácia do uso de barragens subterrâneas no meio físico do semi-árido nordestino; vantagens e desvantagens são confrontadas a um nível ainda especulativo, devido a ausência de conhecimentos técnico-científicos mais consistentes, somente obtidos através de pesquisas práticas sobre unidades implantadas e continuamente observadas.

Com o objetivo de adquirir e consolidar tais conhecimentos, mesmo que em condições específicas e caráter preliminar, a Universidade Federal do Ceará, através do Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, está desenvolvendo um trabalho de pesquisa fundamentado no acompanhamento do projeto, construção e comportamento posterior de uma barragem subterrânea a ser implantada na calha e aluviões do rio Palhano, no município de Morada Nova, Ceará.

De forma global, a pesquisa visa satisfazer dois objetivos gerais:

- Estabelecer normas e procedimentos básicos para implantação de barragens subterrâneas.
- Avaliar a potencialidade e restrições associados à utilização de barragens subterrâneas no semi-árido.

O primeiro será alcançado com o acompanhamento e controle tecnológico da construção da barragem-piloto, enquanto o segundo se obterá através do desenvolvimento de campanhas sistemáticas de coleta e análise dos parâmetros necessários à definição e interpretação dos principais fenômenos de interesse. Especificamente, buscar-se-á estudar:

- potencialidade de acumulação e rendimento, em função das condições geológicas e granulométricas do meio poroso e condições hidrológicas de reabastecimento;
- fluxo sub-superficial e condições de recarga do aquífero aluvial, quando submetido a diferentes graus de aproveitamento;

- influência da evaporação sobre as reservas sub-superficiais acumuladas;
- influência sobre o processo de salinização das camadas saturada e superficial.

Com base nos resultados obtidos se fará uma análise das técnicas existentes, visando se apresentar uma proposta mais consistente para projeto e construção de barragens subterrâneas na região semi-árida.

Esta experiência de construção pode se tornar um ponto de referência no aproveitamento da água, favorecendo o desenvolvimento de uma tecnologia voltada para a realidade regional que possa ser aplicada em condições semelhantes a outras regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENEVUTO, C. e POLLA, C. - "Aspectos Geotécnicos de Projeto e Construção de Barragens Subterrâneas no Nordeste". São Paulo, 1982.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - IPT - "Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterrâneas no Nordeste Brasileiro, bacias dos rios Piranhas (RN) e Jaguaribe (CE)". São Paulo, 1980.
- POÇANO, W. - "Barragens Subterrâneas no Ceará e Rio Grande do Norte: Uma alternativa tecnológica para o abastecimento d'água no Semi-Árido" - 3ª CBGE, Itapema, 1981.
- SANTOS, J.P. e FRANGIPANI, A. - "Barragens submersas: Uma alternativa para o Nordeste Brasileiro" - 2ª CBGE, São Paulo, 1978.

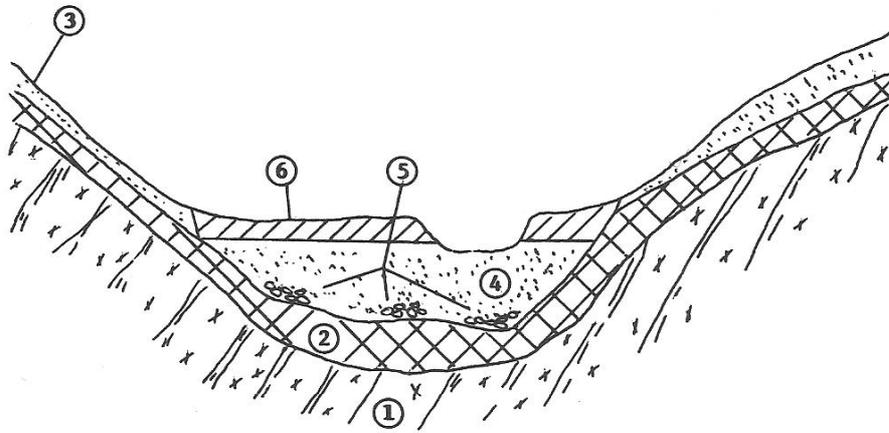


Figura 1. Seção Típica

- 1 - Gnaise alterado
- 2 - Solo residual jovem
- 3 - Solo residual maduro
- 4 - Sedimentos grosseiros depositados na calha
- 5 - Lentes de pedregulhos
- 6 - Sedimentos finos depositados na planície de inundação



Figura 2. Escavação

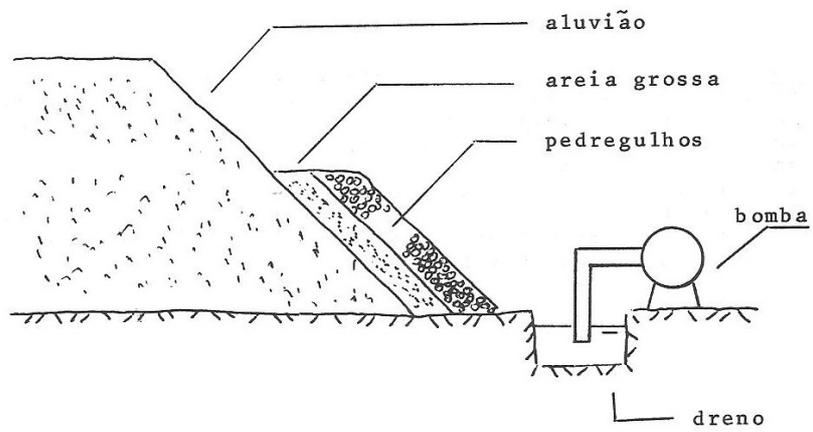


Figura 3. Filtro invertido

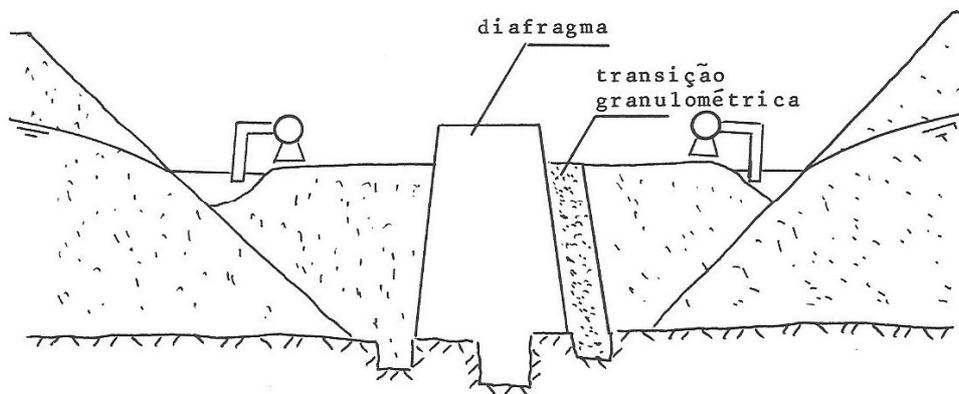


Figura 4. Execução do diafragma

UNDERGROUND DAMS: AN ALTERNATIVE FOR WATER SUPPLY IN SEMI-ARID
REGIONS

ABSTRACT -- Underground dams are engineering works in alluvial deposits, composed by impervious diaphragm, set also on an impervious layer, intercepting the ground water flow. The implantation of those dams requires the analysis of certain hydrogeologic characteristics of alluvia in adequate situations for aquifers formation. This paper deals with definition of a methodology for an experimental project of an underground dam in the semi-arid region of Northeastern Brazil.