

Notas sobre Geologia de Barragens**

Notes on Engineering Geology of Dam Sites

por
RICARDO OLIVEIRA*

RESUMO

Neste trabalho analisam-se alguns aspectos ligados à realização de estudos geológicos para locais de barragens.

Depois de se fazerem algumas considerações sobre a necessidade e a finalidade dos estudos geológicos com vista à caracterização geotécnica de locais de barragens dão-se algumas indicações quanto à maneira de conduzir esses estudos e quanto à forma de apresentar os seus resultados.

SYNOPSIS

In this paper some engineering geological aspects in relation with dam site studies are analysed.

After some consideration about the need and purpose of engineering geological studies in dam site problems, some information is given on the way how to carry out these studies and to present their results.

INTRODUÇÃO

Das obras de Engenharia são de um modo geral as barragens aquelas que necessitam de um mais completo esclarecimento das condições

*Geólogo, Chefe da Divisão de Prospeção do L.N.E.C., Professor de Geologia Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

**Palestra proferida na Universidade de Luanda em 12/2/71 por iniciativa do Laboratório de Engenharia de Angola.

geológicas das formações interessadas pela sua construção.

Isto deve-se, sobretudo, ao facto de a construção de barragens, em especial de certos tipos, induzir solicitações muito grandes nos maciços de fundação e modificar apreciavelmente as condições geotécnicas e hidrológicas iniciais.

É evidente que as solicitações variam com o tipo e dimensão da barragem. Antes de se referir os aspectos geológicos mais relevantes no estudo de um local de barragem cita-se os tipos de barragem mais comuns. A escolha do tipo mais apropriado depende das condições morfológicas locais, das características geotécnicas das formações e das possibilidades de material para construção da barragem. Esquemáticamente, pode considerar-se os seguintes tipos de barragens:

- Barragens de terra
- Barragens de enrocamento
- Barragens de alvenaria
- Barragens de betão (abóbada)
- Barragens de betão (gravidade)
- Barragens de betão (contrafortes)

Para barragens da mesma altura, as de terra e de enrocamento são em regra as que menos solicitam os respectivos maciços de fundação. Em geral as que exigem melhor qualidade dos maciços de fundação e de encontro são as barragens abóbada em virtude de serem as que conduzem, pela sua geometria, a uma maior concentração de solicitações.

Os órgãos principais e estruturas anexas de uma barragem são esquematicamente:

- fundação
- encontros
- corpo da barragem
 - central (no caso de barragens hidroeléctricas)
 - descarregador de fundo
 - descarregador de superfície (evacuador de cheias)

Muitas vezes para a construção da barragem é necessário desviar as águas do rio construindo-se, para o efeito, galerias de derivação provisória .

CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo geológico de qualquer local de barragem deve ter co-

mo finalidade fornecer elementos ao projectista que lhe permitam projectar o tipo de barragem mais adequado, da forma mais económica.

Deve iniciar-se por um estudo preliminar de superfície que permita ajuizar da viabilidade do local e, no caso afirmativo, do tipo de barragem em princípio mais adequado. O estudo deve incidir sobre o local de fundação e sobre a albufeira, tendo em atenção que no local de fundação o estudo visa sobretudo a definição das características do maciço rochoso mais relevantes (permeabilidade, resistência ao corte e deformabilidade) e que na albufeira visa especialmente a definição das características de permeabilidade e de zonas potenciais de escorregamentos nos seus taludes marginais.

Mesmo na fase de estudos preliminares, deve ainda ser dada atenção à localização de pedreiras ou zonas de empréstimo de terras nas imediações do local, capazes de fornecerem o necessário material para a construção da barragem.

Quando o estudo preliminar mostra a viabilidade de construção de determinado tipo de barragem, procede-se à elaboração de um plano de trabalhos de prospecção geotécnica, apenas dispensável em certos casos de barragens pequenas, onde exista quantidade apreciável de afloramentos que permitam formar uma ideia razoável sobre o local, somente a partir do estudo de superfície.

Esse plano de prospecção tem como finalidade ajudar a esclarecer as condições geológico-estruturais do local, nomeadamente a espessura das formações deslocadas ou muito alteradas, a existência de falhas ou outros acidentes tectónicos e sua importância geotécnica, a atitude e características das famílias de diaclases mais importantes e sua influência na permeabilidade das formações e a espessura dos sedimentos do leito do rio.

A escolha e localização dos trabalhos de prospecção deve ser a mais adequada tendo em vista também a obtenção do maior número possível de informações geotécnicas, em especial à custa de ensaios "in situ" de caracterização das formações. Alguns destes ensaios, como ensaios de permeabilidade ou de penetração dinâmica, são em regra realizados à medida que os trabalhos de prospecção vão avançando.

Os locais para a execução de outros ensaios "in situ" que muitas vezes são realizados em maciços rochosos (ensaios de deformabilidade, de corte, de deslizamento de diaclases, determinação do estado de tensão, velocidade de propagação de ondas sísmicas, etc.) deverão

ser escolhidos de forma a que os resultados que se obtêm sejam representativos do maciço.

CONDUÇÃO DO ESTUDO GEOLÓGICO DE UMA BARRAGEM

O estudo geológico de uma barragem deve iniciar-se por um estudo regional para que melhor se compreenda a história geológica do local. Se não existir, convirá elaborar um esquema geológico da região à escala 1/50 000 ou 1/100 000.

Relativamente ao local da barragem e da albufeira deverá ser preparada uma carta geológica onde figuram os elementos litológicos e tectónicos mais relevantes na escala 1/20 000, 1/10 000, 1/5000 ou até 1/1000, conforme a dimensão da barragem e da albufeira, permitindo obter-se uma ideia de conjunto e, quando se justifique, cortes geológicos esquemáticos ilustrativos das estruturas geológicas presentes. Relativamente às descontinuidades que ocorrem na zona em estudo (diaclasses, superfícies de xistosidade, etc.) deve desde logo procurar-se fazer um estudo estatístico das respectivas atitudes e assim ajuizar da sua influência no comportamento das obras. A análise de fotografias aéreas é de grande utilidade na elaboração prévia destas cartas e deverá ser realizada sistematicamente. Nesta fase, deverá procurar-se obter elementos relativos à sismicidade da região, à existência potencial de zonas kársticas, em especial na albufeira, e à existência de zonas potenciais de escorregamento.

É em geral após a realização desta fase dos estudos de superfície, ou simultaneamente com ela, que se inicia a execução dos trabalhos de prospecção geotécnica que vão permitir aprofundar os conhecimentos existentes e informar quanto à melhor localização da barragem e órgãos anexos.

Acontece por vezes que estes estudos iniciais e os primeiros trabalhos de prospecção visam a escolha entre dois ou três locais potencialmente com interesse. A primeira finalidade do estudo é pois nesses casos a selecção do melhor local.

Prepara-se assim com base nos elementos geológicos de superfície, um plano de prospecção geotécnica adequado às dimensões e tipo da barragem e à natureza e estrutura das formações. Convirá que este programa seja realizado por fases de modo a tirar-se dele o maior número de informações. Dentro da primeira fase será realizada, sempre que possível ou justificável, uma campanha de prospecção geofísica.

sica cujos resultados permitirão melhor orientar o programa da prospecção mecânica subsequente. Simultaneamente com a prospecção geofísica, ou mesmo antecedendo a sua realização, deverá levar-se a cabo alguns trabalhos de prospecção mecânica que permitam aferir os resultados dessa prospecção geofísica. Em regra o primeiro programa de prospecção visa apenas o eixo da barragem e em certos casos já também alguns órgãos acessórios como galerias de derivação, descarregadores, central, etc.

A interpretação destes resultados deve ir sendo feita pelo geólogo responsável pelo estudo, que vai ajustando o plano previamente elaborado de acordo com essa interpretação.

O número, natureza e profundidades dos trabalhos de prospecção são evidentemente função da altura e do tipo de barragem e do comprimento do seu coroamento. Convirá desde logo ficar com uma boa ideia da qualidade do maciço rochoso em profundidade pelo que será de prever em geral a realização de algumas sondagens e galerias. A abertura de trincheiras mostra-se muitas vezes de grande utilidade no estudo de acidentes tectónicos ou para definir a espessura de depósitos de cobertura, desde que esta não seja muito grande.

Relativamente à profundidade a atingir com as sondagens há algumas regras empíricas usualmente seguidas. Um dos critérios sugere que a profundidade a atingir com as sondagens realizadas junto ao rio seja da ordem de grandeza da altura da barragem e que as sondagens dos encontros atinjam a cota do leito do rio. Outro utiliza os valores obtidos nos ensaios de permeabilidade para definir a profundidade das sondagens, recomendando que elas sejam levadas até profundidades onde a permeabilidade seja inferior a 1 Lugeon (1 litro/minuto/metro à pressão de 10 kg.cm^{-2}) em 2 ensaios consecutivos realizados em troços de 5 metros cada um. As sondagens destinadas apenas a definir a espessura dos sedimentos que enchem o leito do rio devem penetrar na rocha "in situ" cerca de 5 a 10 metros. Como muitas vezes a base desses sedimentos é constituída por blocos de grandes dimensões bem compactados, só assim se obtém a confirmação de que a sondagem entrou de facto no terreno firme.

Quanto à orientação das sondagens há também que ter em conta algumas recomendações. Deve procurar-se que elas atravessem o maior número de acidentes e a maior espessura de formações possível. Assim convirá orientá-las de forma a intersectarem tão perpendicularmente

quanto possível as superfícies de descontinuidade que se suspeite o corram no maciço. O levantamento geológico de superfície é que deverá fornecer os elementos necessários à definição dessa orientação.

Em geral, deverá procurar-se cruzar duas sondagens sob o leito do rio porque muitas vezes o leito corresponde a uma zona de acidente tectónico importante. Essas sondagens permitem ainda, muitas vezes, esclarecer a espessura dos sedimentos do leito do rio, ou a topografia do firme rochoso.

A localização de galerias deve fazer-se nas zonas de maior concentração de esforços e de forma a intersectar também o maior número de zonas de acidentes do maciço. Muitas vezes procede-se à abertura de ramais a partir das galerias de acordo com a informação que se vai obtendo. As paredes e o tecto das galerias devem ser levantados cuidadosamente do ponto de vista litológico e estrutural. O levantamento de um número apreciável (da ordem das centenas) de diaclasses no interior de cada galeria permitirá fazer um estudo estatístico da compartimentação do maciço rochoso. O comprimento das galerias, que é em regra de algumas dezenas de metros, é função da qualidade do maciço rochoso e da espessura dos depósitos de cobertura mas também das dimensões e tipo da barragem a projectar.

Em grande número de barragens (em especial de terra e de enrocamento) as informações obtidas com os estudos aqui referidos como de primeira fase são suficientes para se proceder com segurança ao projecto das obras e muitas vezes não se procede mesmo à abertura de galerias. Noutros casos, terminada a primeira fase dos trabalhos de prospecção e a respectiva interpretação, deverá elaborar-se um relatório onde figure, de acordo com o projectista, o programa da segunda fase que deverá incluir ensaios de caracterização mecânica dos maciços de fundação e encontro (determinação do estado de tensão, amortagem integral, etc.).

A prospecção mecânica deverá ser programada de forma a esclarecer problemas levantados pelo trabalho da primeira fase (prospecção geofísica e mecânica) e estender-se-á aos órgãos da barragem onde não fora realizada prospecção previamente, à albufeira e às zonas de exploração dos materiais de construção.

A orientação dos trabalhos desta fase e a sua profundidade deverão ser estabelecidos tendo em atenção a eventual realização de ensaios "in situ" e a colheita de amostras para realização de ensaios

em laboratório.

Com base nos resultados do estudo geológico de superfície e de toda a prospecção deve pois proceder-se à elaboração de uma carta geológica do local da fundação da barragem e proximidades na escala 1/1000 ou 1/500 e à realização de cortes geológicos de pormenor interessando as estruturas da barragem, em geral na escala 1/200. Um desses cortes será segundo o eixo da barragem. Os elementos obtidos dos trabalhos de prospecção deverão ser apresentados sob a forma de gráficos, em geral na escala 1/100 ou 1/50.

Convirá ter em conta na elaboração do estudo geológico para uma barragem o aspecto da alterabilidade das rochas respectivas, à escala da vida de serviço da obra. A modificação das condições físicas e químicas a que a rocha fica sujeita com a construção da barragem podem conduzir ao colapso da própria obra. Idênticas considerações devem ser feitas relativamente às rochas que irão ser utilizadas como materiais de construção, especialmente no caso de barragens de enrocamento. Também deve ser dada atenção especial aos aspectos ligados a erodibilidade das formações da bacia de drenagem da barragem e suas implicações na siltagem da albufeira e na erodibilidade das formações que constituem os maciços de dissipação dos descarregadores.

Os resultados de todo o estudo devem ser apresentados num relatório final escrito em linguagem clara e concisa onde figurem, como anexos, todos os elementos gráficos atrás referidos e, sempre que se justifique, boas fotografias do local. Nesse relatório deverá referir-se, além da localização geográfica da barragem e dimensões da albufeira e da bacia de drenagem, elementos geomorfológicos, geológico-estruturais, petrográficos e sísmicos e as implicações que esses aspectos têm no comportamento geotécnico das formações. O relatório deverá finalizar por recomendações quanto ao tipo de obra mais adequado às características do local, quanto aos volumes de escavação necessários para se atingir um firme satisfatório, quanto às medidas destinadas a melhorar as características dos maciços (nomeadamente quanto à sua impermeabilização) e mesmo sugerir e justificar eventuais alterações quanto à localização prevista para certos órgãos anexos. A descrição pormenorizada de análises petrográficas, químicas ou físicas e a eventual descrição de fósseis só deverão ser apresentadas a título explicativo e em anexo do respectivo relatório -

rio.

Como nota final, que aliás se depreende do que atrás foi exposto, refere-se que se considera indispensável que ao longo da realização de todo o estudo geológico deverá ir havendo contactos permanentes com o projectista da obra para que deles resulte o melhor aproveitamento dos resultados dos trabalhos realizados e para que o estudo responda às questões importantes do projecto.

BIBLIOGRAFIA

- DUNCAN, N. — Engineering Geology and Rock Mechanics, vol. II.
Leonard Hill, London 1969.
- GIGNOUX, M. et BARBIER, R. — Geologie des Barrages et des aménagements hydrauliques. Masson & Cie. Paris 1955.
- KRYNINE, D. and JUDD, W. — Principles of Engineering Geology and Geotechnics. McGraw-Hill, New York 1957.
- LUGEON, M. — Barrages et Geologie. Librairie de l'Université. Paris, 1933.
- OLIVEIRA, R. — Geologia de Barragens. Lição integrada no curso de especialização nº 126 — Geologia de Engenharia. L.N.E.C. Lisboa 1970.