

MINISTÉRIOS DA DEFESA NACIONAL, DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA, DA AGRICULTURA, DA INDÚSTRIA E ENERGIA, DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES E DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS.

Portaria n.º 846/93

de 10 de Setembro

O Regulamento de Segurança de Barragens dispõe, com vista à sua boa execução, a elaboração de normas relativas ao projecto, à construção, à exploração e à observação e inspecção de barragens.

As Normas de Projecto de Barragens dão resposta, na parte que lhes cabe, a esta disposição legal, estabelecendo princípios e critérios gerais de projecto de barragens, numa perspectiva de garantir a segurança das obras com o máximo de economia.

Na elaboração destas Normas foram tidas em conta as orientações recentes definidas pelos organismos internacionais competentes, com as adaptações convenientes aconselhadas pela experiência portuguesa.

Assim:

Manda o Governo, pelos Ministros da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações e do Ambiente e Recursos Naturais, ao abrigo do disposto no artigo 46.º do Regulamento de Segurança de Barragens, que integra o Decreto-Lei n.º 11/90, de 6 de Janeiro, que sejam aprovadas as Normas de Projecto de Barragens, que se publicam em anexo e fazem parte integrante da presente portaria.

Ministérios da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações e do Ambiente e Recursos Naturais.

Assinada em 9 de Junho de 1993.

O Ministro da Defesa Nacional, *Joaquim Fernando Nogueira*. — O Ministro da Administração Interna, *Manuel Dias Loureiro*. — O Ministro da Agricultura, *Armando Marques da Cunha*. — O Ministro da Indústria e Energia, *Luís Fernando Mira Amaral*. — O Ministro das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Joaquim Martins Ferreira do Amaral*. — O Ministro do Ambiente e Recursos Naturais, *Carlos Alberto Diogo Soares Borrego*.

Anexo à Portaria n.º 846/93

Normas de Projecto de Barragens

CAPÍTULO I

Introdução

Artigo 1.º

Objecto das Normas

1 — As presentes Normas de Projecto destinam-se a garantir a boa execução do Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) no cumprimento do disposto no artigo 46.º e têm por objecto estabelecer princípios e critérios gerais que devem presidir à elaboração dos projectos.

2 — Por projecto entende-se o conjunto de documentos que permite a conveniente definição e dimensionamento das obras e o esclarecimento das suas condições de execução e exploração.

3 — No RSB e nestas Normas, a segurança da obra deve ser verificada analisando o seu comportamento para cenários correntes e para cenários de ruptura, preferindo-se este procedimento, preconizado pela Comissão Internacional das Grandes Barragens, à utilização do conceito de estado limite.

4 — As obras devem satisfazer as exigências de comportamento, adoptando as soluções de maior economia de conjunto e tendo em atenção que:

- a) Não devem sofrer deteriorações apreciáveis para condições normais de exploração (cenários correntes);
- b) Não devem sofrer ruptura mesmo na eventualidade de situações de baixa probabilidade (cenários de ruptura).

Artigo 2.º

Âmbito de aplicação

As presentes Normas aplicam-se às barragens abrangidas pelo artigo 2.º do RSB.

Artigo 3.º

Fases dos estudos de uma barragem

1 — Os estudos para a realização de uma barragem desenvolvem-se, geralmente, nas fases a seguir discriminadas:

- a) Programa base — consta da apresentação dos esquemas das obras de forma a proporcionar uma compreensão clara das soluções propostas;
- b) Estudo prévio — é constituído por peças escritas e desenhadas e outros elementos de informação resultantes do desenvolvimento das propostas do programa base, de modo a possibilitar a apreciação das soluções preconizadas, a sua comparação com as do programa base e a tomada de decisões;
- c) Anteprojecto — é constituído por peças escritas e desenhadas e outros elementos que contenham, de maneira sumária, a definição, dimensionamento, modo de construção da obra, medições e um orçamento nestas baseado;
- d) Projecto — é constituído por peças escritas e desenhadas e outros elementos de estudo, tais como resultados de ensaios de laboratório ou de campo, que contenham a definição final, o dimensionamento definitivo, uma proposta de estaleiro com o modo de construção das obras, as medições e orçamento finais e os cadernos de encargos, de maneira a poder iniciar-se a construção da obra;
- e) Projecto de execução — é constituído por um conjunto de informações escritas e desenhadas, de fácil e inequívoca interpretação por parte das entidades intervenientes na execução da obra, tendo em vista a pormenorização da informação contida no projecto e a sua adaptação às condições reais que forem sendo encontradas durante a construção.

2 — Algumas das fases anteriormente referidas poderão ser suprimidas na sua apresentação formal por acordo entre o dono da obra e o autor do projecto.

CAPÍTULO II

Normas gerais

Artigo 4.º

Localização

Independente do que adiante é normalizado relativamente às peças do projecto nas suas várias fases, devem ser incluídos, nas quatro primeiras fases, os elementos a seguir discriminados:

- a) Localização da bacia hidrográfica e zona a jusante da barragem até à foz do curso de água, em escala adequada, na qual se deverão indicar a localização das barragens existentes na região, com indicação do tipo, altura, desenvolvimento, volume armazenado, finalidade e potência instalada e as povoações existentes junto ao rio;
- b) Plantas do local da barragem e da bacia hidrográfica, com o contorno da albufeira;
- c) Descrição da orografia da zona referida na alínea a), com o traçado, quando possível, da curva hipsométrica;
- d) Descrição geral das condições climáticas da região, com indicação das temperaturas médias mensais, obtidas com base num número significativo de anos, da insolação, da radia-

ção solar média mensal, dos ventos dominantes (velocidade e direcção), etc.;

- e) Descrição dos tipos de ocupação humana, agrícola, industrial e vias de comunicação da zona referida na alínea a);
- f) Análise das características do local e da zona a jusante da barragem que possam ter influência nas soluções encaradas para a derivação provisória e para os descarregadores de cheias.

Artigo 5.º

Perfil longitudinal do rio

O perfil longitudinal do rio deve ser apresentado no projecto, desde a nascente até à foz, assim como os perfis dos principais afluentes, assinalando-se neles as barragens existentes, com indicação das suas principais características e localização dos aglomerados populacionais ribeirinhos, em conformidade com o previsto na alínea a) do artigo 4.º

Artigo 6.º

Estudos hidrológicos

1 — Os estudos hidrológicos devem basear-se na seguinte informação:

- a) Características fisiográficas (morfologia, geologia, pedologia e rede hidrográfica), climáticas, de cobertura vegetal e de ocupação da bacia hidrográfica própria do aproveitamento;
- b) Distribuição estatística da precipitação anual e das precipitações mensais sobre a área da bacia hidrográfica do aproveitamento, utilizando os registos disponíveis;
- c) Distribuição estatística das precipitações extremas associadas a períodos de curta duração (até setenta e duas horas) sobre a área da bacia hidrográfica;
- d) Caudais integrais anuais e mensais afluentes à albufeira;
- e) Caudais instantâneos máximos anuais ou, na falta destes, caudais diários máximos anuais;
- f) Registos adicionais sobre caudais de cheia (informação histórica), incluindo marcas de cheia, testemunhos verbais, registos escritos, etc.;
- g) Valores dos parâmetros caracterizadores da qualidade da água e inventário de fontes poluidoras;
- h) Registos de medições do transporte sólido afluente à albufeira ou, na sua falta, valores obtidos pela aplicação de modelos.

2 — Os estudos hidrológicos visam obter os seguintes elementos:

- a) Caudais fornecidos pelo aproveitamento e probabilidade de garantia desses caudais, de acordo com a distribuição no tempo das necessidades a satisfazer;
- b) Hidrogramas das cheias naturais e modificadas, para dimensionamento dos órgãos de segurança, definitivos e provisórios;
- c) Curva de vazão no local da obra;
- d) Volume de sedimentos afluentes à albufeira, para fixação da capacidade morta;
- e) Qualidade da água, tendo em vista as suas utilizações.

3 — Os estudos hidrológicos devem ser realizados utilizando as metodologias mais adequadas face à informação disponível e às finalidades do aproveitamento, adoptando-se os seguintes procedimentos:

- a) Os caudais fornecidos na secção em estudo devem ser determinados, sempre que possível, recorrendo à análise estatística de séries homogêneas, da ordem de pelo menos 30 anos, de registos de caudais integrais mensais e anuais;
- b) Na falta de séries de registos suficientemente longas ou na ausência de quaisquer registos de caudais, deverá a informação disponível ser completada com dados deduzidos das precipitações;
- c) Os caudais fornecidos pelo aproveitamento devem ser determinados pela análise da exploração prevista da albufeira, utilizando técnicas de simulação e recorrendo à série histórica ou a séries sintéticas que reproduzam as características estatísticas das séries de caudais a que se refere a alínea a);
- d) As perdas por evaporação e por percolação através da fundação e do corpo da barragem devem ser avaliadas e incluídas na análise;
- e) A cheia de projecto deve ser fixada recorrendo a métodos estatísticos incorporando a informação histórica disponível, de simulação hidrológica (modelos precipitação-escoamento) e fórmulas empíricas, com a análise crítica dos valores obtidos pelas diferentes vias de cálculo;
- f) Os caudais de dimensionamento dos descarregadores devem ter em conta o amortecimento das cheias na respectiva albufeira e nas albufeiras a montante;

- g) Os períodos de retorno a adoptar no dimensionamento dos órgãos de descarga e protecção contra cheias devem ser fixados de acordo com uma análise dos riscos potenciais, designadamente em função da ocupação do leito a jusante da barragem e de acordo também com o tipo de descarregador e folga disponível;
- h) Os períodos de retorno da cheia de projecto devem ser estabelecidos de acordo com o quadro do anexo I;
- i) É recomendável que a cheia de projecto seja comparada com a cheia máxima provável, nos casos em que, de acordo com o anexo I, o período de retorno seja superior a 1000 anos, isto é, no caso de risco potencial elevado, para barragens de betão com $h \geq 50$ m e de aterro com $h \geq 15$ m e no caso de risco potencial significativo, para barragens de betão com $h \geq 100$ m e de aterro com $h \geq 50$ m.

4 — Os estudos hidrológicos devem ser completados com:

- a) A avaliação das áreas inundáveis e do tempo de propagação das cheias provocadas por cenários de ruptura da barragem, recorrendo a modelos hidrodinâmicos adequados;
- b) O estudo de sistemas de aviso e previsão de cheias em tempo real;
- c) A previsão da qualidade da água na albufeira e no trecho da linha de água a jusante.

Artigo 7.º

Estudos geológicos e hidrogeológicos

1 — Os estudos geológicos e hidrogeológicos apoiam-se em informações já existentes e em observações do local, mediante limpeza do terreno, trincheiras, galerias, sondagens e prospecção geofísica.

2 — Os estudos geológicos e hidrogeológicos devem conduzir à definição dos seguintes elementos:

- a) Geologia da região e do local da barragem, com indicação das principais características relevantes para o projecto;
- b) Características hidrogeológicas da região e do local da obra, com indicação dos níveis piezométricos, ressurgências, infiltrações, cavernas, qualidade da água e solubilidade das rochas.

3 — Os resultados dos estudos devem constar de um relatório contendo plantas e perfis geológicos suficientemente pormenorizados.

Artigo 8.º

Estudos sismológicos

1 — Os estudos sismológicos abrangerão o local da obra, a região (algumas dezenas de quilómetros em torno do local) e a província tectónica (algumas centenas de quilómetros em torno do local) e devem conter, nomeadamente, os elementos a seguir indicados:

- a) A tectónica, com indicação dos acidentes relevantes para o projecto e especial incidência quanto a falhas e sistemas de falhas potencialmente geradoras de sismos, nas três escalas acima referidas;
- b) As falhas activas existentes no local da obra, as quais devem ser analisadas com especial cuidado;
- c) A história sísmica, designadamente a relação dos sismos registados com indicação de datas, profundidade dos focos, epicentros, magnitudes, sismogramas e durações;
- d) Indicações relativas ao local, designadamente as características dos terrenos que interessam ao estudo da propagação entre os potenciais focos e o local em consideração, o levantamento das escarpas e taludes e o tipo das formações geológicas, com a indicação da sua eventual susceptibilidade a acções sísmicas (fenómenos de amplificação local, liquefacção e queda de grandes volumes de terreno);
- e) A possibilidade de ocorrência de sismos induzidos, devendo analisar-se esta possibilidade sempre que a obra tenha mais de 1000 hm³ de armazenamento ou mais de 100 m de altura.

2 — Os estudos sismológicos devem conduzir à definição das acções sísmicas, em particular da grandeza, forma e duração das vibrações sísmicas no local da obra, havendo a considerar:

- a) O sismo máximo expectável (SME), que deve ser estimado por via determinística ou probabilística, sendo, neste último caso, o SME considerado como um sismo com um longo período de retorno;
- b) O sismo máximo de projecto (SMP), que em obras de risco potencial elevado se deverá tomar como sendo o SME, mas que noutros casos poderá ter grandeza inferior;
- c) O sismo base de projecto (SBP) menos intenso que o SMP, com um período de retorno fixado de acordo com o risco potencial envolvido.

3 — O Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes contém informação que pode ser adaptada aos estudos sísmológicos dos locais da barragem, quer para sismos distantes quer para sismos próximos.

Artigo 9.º

Estudos geotécnicos

1 — Os estudos geotécnicos completam a informação referida nos artigos 7.º e 8.º e apoiam-se em observações, sondagens e ensaios *in situ* no local da barragem, bem como na albufeira, nas zonas de empréstimo e pedreiras e ainda em ensaios de laboratório.

2 — Os estudos geotécnicos devem conduzir à definição dos seguintes elementos:

- a) Zonamento do maciço de fundação da barragem, com vista à definição de zonas do maciço com características aproximadamente homogéneas;
- b) Compartimentação do maciço de fundação da barragem, com definição e caracterização das principais famílias de diaclases, devendo as principais falhas ser caracterizadas individualmente;
- c) Tensões instaladas no maciço de fundação;
- d) Permeabilidade das formações que constituirão o maciço de fundação da barragem e da albufeira, bem como os escoamentos que nele se poderão instalar;
- e) Propriedades mecânicas do maciço de fundação da barragem, dos taludes da albufeira e dos situados imediatamente a jusante;
- f) Propriedades mecânicas e hidráulicas dos materiais disponíveis nas zonas de empréstimo e pedreiras;
- g) Injectabilidade dos maciços de fundação;
- h) Zonamento e avaliação dos volumes dos diversos materiais disponíveis para a construção da barragem.

Artigo 10.º

Características gerais e finalidades da barragem

O projecto deve conter uma síntese das características gerais da barragem e das finalidades a que se destina, nomeadamente controlo de cheias, regularização de caudais, abastecimento de água, hidroelectricidade, rega, navegação, pesca, actividades turísticas e desportivas.

Artigo 11.º

Peças do programa base

Os elementos a apresentar na fase do programa base, referida no artigo 3.º, são os seguintes:

- a) Objectivos da obra e suas características gerais, com referência ao plano geral em que a obra eventualmente se insere;
- b) Dados sobre a localização do aproveitamento;
- c) Elementos topográficos e cartográficos;
- d) Dados básicos relativos às exigências de comportamento, funcionamento, exploração e conservação da obra;
- e) Limites de custo e, eventualmente, indicações relativas ao funcionamento da obra;
- f) Indicação geral dos prazos para a elaboração do projecto e para a execução da obra.

Artigo 12.º

Peças do estudo prévio

Os elementos a apresentar na fase de estudo prévio, referida no artigo 3.º, são os seguintes:

- a) Esquema da obra;
- b) Definição dos critérios gerais de dimensionamento das diferentes partes da obra;
- c) Peças escritas e desenhadas necessárias para o perfeito esclarecimento do programa base, incluindo as que porventura se justifiquem para definir as alternativas de solução propostas pelo autor do projecto e comprovar a sua viabilidade;
- d) Estimativa geral do custo da barragem, tomando em conta os encargos mais significativos com a sua realização, bem como as despesas com os estudos e projectos e com a administração;
- e) Estimativa de custo da exploração, manutenção e conservação da obra na solução ou soluções propostas;
- f) Descrição e justificação das exigências de comportamento, funcionamento e conservação da obra;

- g) Informação sobre a necessidade de obtenção de elementos topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos ou de qualquer outra natureza que interessem ao estudo do problema, bem como sobre a realização de modelos, ensaios, trabalhos de investigação ou de quaisquer outras actividades ou formalidades que possam ser exigidas, quer para a elaboração do projecto, quer para a execução da obra;
- h) Estudo sumário das transformações ambientais e ecológicas operadas pela barragem.

Artigo 13.º

Peças do anteprojecto

Os elementos a apresentar na fase de anteprojecto, referida no artigo 3.º, são os seguintes:

- a) Memória descritiva e justificativa das soluções estudadas, incluindo capítulos respeitantes a cada um dos objectivos indicados no estudo prévio;
- b) Elementos elucidativos das soluções estudadas;
- c) Dimensionamento aproximado e características principais da solução adoptada;
- d) Definição geral dos processos de construção e da natureza dos materiais e dos equipamentos de construção;
- e) Estimativa do custo da obra e justificação discriminada das eventuais diferenças entre esta estimativa e a constante do estudo prévio;
- f) Declaração de impacte ambiental.

Artigo 14.º

Peças do projecto

Os elementos a apresentar na fase do projecto, referida no artigo 3.º, são os seguintes:

- a) Memória descritiva e justificativa, evidenciando os aspectos seguintes: definição e descrição geral da obra, indicando a sua localização e interligações com outras obras, análise da forma como se deu satisfação às exigências do programa base, descrição da natureza e condições do terreno, justificação da implantação da obra, descrição do equipamento hidromecânico, indicação das origens e características dos materiais, das instalações e do equipamento, descrição dos métodos de dimensionamento;
- b) Cálculos estruturais e hidráulicos relativos às diferentes partes da obra (barragem, descarregador de cheias, descarga de fundo, tomadas de água, circuito hidráulico e obras de derivação provisória, etc.), apresentados de modo a defini-las e a justificar as soluções adoptadas;
- c) Cálculos da onda de cheia para determinação das áreas inundadas no caso de ruptura da barragem;
- d) Estudo das expropriações e restabelecimento das comunicações afectadas;
- e) Medições, dando a indicação da quantidade e qualidade dos trabalhos necessários para a execução da obra, devendo ser adoptadas as normas portuguesas em vigor ou, na sua falta, as especificações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- f) Orçamento, baseado nas quantidades e qualidades de trabalho das medições, incluindo os custos resultantes da observação da obra e do sistema de aviso e alerta;
- g) Peças desenhadas com indicações numéricas indispensáveis e a representação de todos os elementos necessários à perfeita compreensão da obra;
- h) Condições técnicas gerais e especiais do caderno de encargos ou o próprio caderno de encargos;
- i) Anteplanos de observação e de primeiro enchimento da albufeira e estudo do sistema de aviso e alerta.

Artigo 15.º

Peças do projecto de execução

Os elementos a apresentar na fase do projecto de execução, referida no artigo 3.º, são os seguintes:

- a) Peças escritas com a actualização dos cálculos apresentados no projecto, resultante da sua adaptação às condições reais que se forem encontrando durante a execução da obra;
- b) Peças desenhadas resultantes da pormenorização dos desenhos do projecto e da sua adaptação às condições reais de execução da obra.

Artigo 16.º

Impacte ambiental

1 — O projecto deve conter o estudo do impacte ambiental que visa identificar, descrever e avaliar as alterações no ambiente provocadas directa ou indirectamente pela barragem, albufeira e obras anexas, a curto, médio e longo prazos, e apresentar as medidas preconizadas para eliminar ou mitigar as alterações adversas.

2 — A nível de estudo prévio deve ser apresentado um relatório de apreciação preliminar do impacte ambiental que englobe o seguinte:

- a) Identificação e justificação do empreendimento com referência às finalidades das obras, alternativas analisadas, razões que determinaram a localização proposta, relação do empreendimento com outras obras e sua compatibilização com os planos de desenvolvimento e de ocupação do solo;
- b) Descrição sumária das obras;
- c) Descrição sumária do ambiente existente, com destaque para as relações funcionais entre as várias componentes ambientais;
- d) Identificação dos principais impactes e avaliação preliminar da importância respectiva;
- e) Proposta de directivas para a elaboração da declaração de impacte ambiental do empreendimento.

3 — A nível de anteprojecto o estudo de impacte ambiental é apresentado em volume próprio e constituirá a declaração do impacte ambiental da barragem, albufeira e obras anexas, que se destina a ser apreciada pelos organismos oficiais que cuidam do ambiente, pelas autarquias locais e pelas demais entidades que têm de ser consultadas de acordo com a regulamentação própria dos estudos de impacte ambiental.

4 — A declaração de impacte ambiental deve incluir:

- a) Memória sumária, dirigida aos responsáveis pela aprovação e financiamento das obras e ao público em geral, em que se identificam as finalidades do empreendimento, se descrevem as obras e se focam os impactes ambientais mais significativos, bem como as medidas preconizadas para eliminar ou mitigar os impactes ambientais adversos;
- b) Identificação e justificação do empreendimento, com referência às finalidades das obras, às alternativas possíveis, às determinantes da localização das obras e compatibilização com os planos de desenvolvimento e ocupação do solo na área em que o empreendimento se insere;
- c) Descrição das obras e do programa da sua execução, incluindo a localização de pedreiras, áreas de empréstimo de materiais, locais de depósito de produtos sobantes, estaleiros, etc., e indicação dos planos de exploração do empreendimento;
- d) Descrição do ambiente existente e da utilização dos recursos naturais e sua evolução previsível sem o empreendimento, com referência aos seguintes aspectos: condições topográficas, geológicas e pedológicas, realçando os recursos minerais e as formações geológicas e geomorfológicas com especial valor cultural ou paisagístico; condições climáticas; condições hidrológicas e hidrogeológicas da bacia hidrográfica; qualidade das águas superficiais e subterrâneas; vegetação, com realce para as espécies com especial valor cultural ou paisagístico; *habitats*, com destaque para os *habitats* mais produtivos ou com funções únicas (a nível regional) para o suporte das faunas terrestre e aquática; distribuição e variação sazonal da população das diferentes espécies de fauna, incluindo a caracterização de migrações e a identificação dos períodos críticos dos ciclos vitais das principais espécies; espécies da flora e da fauna raras ou em perigo de extinção; características demográficas, culturais e económicas das populações; património arqueológico e histórico-cultural;
- e) Identificação, descrição e avaliação dos impactes no ambiente provocados directamente ou induzidos pelas obras, a curto, médio ou longo prazos, com destaque para os principais impactes, devendo ser analisados em particular os impactes resultantes de: obstáculo que a barragem constitui ao transporte de sedimentos, nomeadamente o assoreamento da albufeira e a degradação do leito a jusante; alteração do regime de caudais de cursos de água a jusante da barragem; alteração dos níveis freáticos; retenção dos nutrientes na albufeira; alteração das características físico-químicas da água retida na albufeira que é lançada no curso de água a jusante; introdução de novas espécies nos novos *habitats* criados; desenvolvimento da população de espécies da flora e da fauna nocivas, em particular para a saúde humana; alteração da paisagem e aspectos estéticos das obras, proporcionando factores de atracção de actividades de lazer e turismo; beneficiação da rede viária e de acessibilidade ao local das obras; alterações do povoamento e da economia regional;
- f) Descrição das medidas propostas para eliminar ou mitigar os impactes negativos ou adversos das obras e indicação dos im-

pactes residuais que não possam ser eliminados e dos recursos naturais que sejam irreversivelmente afectados pelas obras;

g) Rastreio dos impactes das obras e plano de observação da sua evolução ao longo dos anos.

CAPÍTULO III

Normas para barragens de betão

Artigo 17.º

Estruturas

1 — As barragens de betão podem ser dos seguintes tipos básicos: gravidade, gravidade aligeirada, contrafortes, abóboda simples e abóbodas múltiplas, estes dois últimos de simples ou dupla curvatura.

2 — A estrutura é caracterizada, essencialmente, pela sua forma, dimensões e materiais utilizados.

3 — Do projecto devem constar, fundamentalmente, os seguintes elementos:

- a) Justificação da solução adoptada, devendo ser considerados como parâmetros principais a forma do vale, a natureza da fundação, os materiais disponíveis, os meios existentes para a construção e os caudais de cheia;
- b) Definição das formas das barragens, que podem ser obtidas por meios experimentais ou por cálculos, devendo em princípio ter expressão analítica;
- c) Condicionamentos impostos às formas pela fase de construção, citando-se a título de exemplo, as curvaturas verticais e as inclinações das barragens-abóboda como consequência do efeito do peso próprio, a existência de mais ou menos juntas como consequência do desenvolvimento e dissipação do calor de hidratação do cimento, a eventual eliminação de juntas e uso de maiores espessuras em consequência da utilização de técnicas de arrefecimento artificial e a necessidade ou não de deixar blocos baixos para a passagem de cheias maiores do que as que podem ser descarregadas pela derivação provisória;
- d) Valor do caudal de cheia adoptado no dimensionamento das obras de derivação provisória, valor que é fixado tendo em atenção os estudos referidos no artigo 6.º e em que se adopta um período de recorrência que tem em conta o risco de galgamento, as alternativas auxiliares para a passagem das cheias não comportáveis pela derivação provisória e os programas de trabalho;
- e) Estudo das obras de derivação provisória que devem ser projectadas, tendo em atenção, além do caudal anteriormente citado, o tipo de estrutura, o programa de construção e os condicionamentos topográficos, geológicos e geotécnicos.

Artigo 18.º

Fundações

1 — As fundações das barragens constituem uma unidade com a estrutura que suportam, devendo ser efectuado o estudo do conjunto barragem-fundação, já que a experiência tem mostrado que a segurança do conjunto é consideravelmente condicionada pela fundação.

2 — Como consequência dos estudos referidos nos artigos 7.º, 8.º e 9.º, devem ser escolhidos os elementos definidores das características geométricas e físicas (mecânicas, hidráulicas, térmicas, etc.) do maciço de fundação e programadas as operações necessárias para melhorar o comportamento.

Artigo 19.º

Propriedades dos maciços de fundação

1 — Na caracterização dos maciços rochosos de fundação devem ser considerados fundamentalmente o grau de alteração, compartimentação, permeabilidade, deformabilidade, resistência e estado de tensão inicial.

2 — Na definição dos parâmetros referentes à permeabilidade devem ser tidos em conta os seguintes aspectos:

- a) Permeabilidades preferenciais, sendo de lembrar que a percolação, quando a rocha não é muito alterada, se processa através dos planos de compartimentação, incluídos nestes os planos permeáveis das falhas;
- b) Os ensaios referidos no artigo 9.º permitirão a caracterização da permeabilidade nas diferentes zonas da fundação, de-

finindo as direcções preferenciais, os caudais para as diferentes pressões e os regimes de escoamento (turbulento, laminar ou misto), devendo estes parâmetros ser tomados probabilisticamente a partir do seu estudo estatístico;

- c) Variação dos coeficientes de permeabilidade com o estado de tensão.

3 — Na definição dos parâmetros referentes à deformabilidade devem ser tidos em conta os seguintes aspectos:

- a) Deformabilidade do maciço rochoso, que é obtida por ensaios *in situ* e em laboratório ou pela correlação com parâmetros de classificação do maciço e de acordo com a sua variação em profundidade;
- b) Tratamento estatístico dos resultados da deformabilidade, quando o seu número o permitir;
- c) Efeito de tempo, quando significativo, revelado por ensaios de fluência;
- d) Caracterização da anisotropia.

4 — Na determinação dos parâmetros relativos à resistência devem ser tidos em conta os seguintes aspectos:

- a) A resistência à compressão simples obtida em ensaios de amostras que, atendendo ao facto de as compressões impostas pelas obras serem em geral baixas, praticamente só interessa para efeitos de classificação da qualidade dos maciços rochosos;
- b) A resistência ao escorregamento das diferentes famílias de diaclasas e falhas, determinada tendo em atenção o seu eventual preenchimento, rugosidade das superfícies e estado de humidade, de importância primária para a segurança nos casos em que os cenários de ruptura interessem sólidos limitados apenas por aquelas famílias;
- c) A resistência ao corte do material rochoso, considerada nos casos em que os cenários de ruptura interessem sólidos limitados por superfícies que cortem esse material;
- d) As resistências, caracterizadas pela coesão e pelo ângulo de atrito interno, grandezas determinadas por ensaios *in situ* e em laboratório, embora em certos casos possam ser estimadas a partir da classificação do maciço rochoso;
- e) O tratamento estatístico dos resultados, sempre que existam determinações das resistências em número suficiente.

Artigo 20.º

Tratamento dos maciços de fundação

1 — O projecto do tratamento da fundação incluirá, no caso geral, cortinas de impermeabilização e drenagem e injeções de ligação, devendo basear-se em:

- a) Estudos de percolação, tendo em conta a variação da permeabilidade com o estado de tensão e, portanto, a abertura ou fecho das diaclasas e outras descontinuidades;
- b) Estudos da erosão devida à passagem da água;
- c) Estudos de estabilidade da fundação.

2 — Para julgar da necessidade de cortina de impermeabilização usa-se o critério de Lugeon.

3 — A cortina de drenagem deve ser sempre realizada para minimizar a subpressão, e o projecto deve conter indicação do modo como são conduzidas para o exterior as águas infiltradas.

4 — Os resultados de estudos de estabilidade da fundação poderão mostrar a necessidade de medidas suplementares para garantir a segurança, tais como consolidações, pregagens e ancoragens.

Artigo 21.º

Materiais, fabrico e colocação do betão

1 — A escolha dos betões para barragens exige que se proceda em cada caso a estudos de natureza técnica e económica, pois, apesar de a tecnologia do seu fabrico estar já hoje bem estabelecida e haver grande número de normas, há ainda investigações em curso relativas ao uso de possíveis substitutos do cimento (por exemplo, pozolanas naturais ou artificiais), de adjuvantes e de processos novos de colocação e compactação.

2 — No projecto devem ter-se em conta os seguintes aspectos:

- a) Existência e origem dos materiais inertes para o fabrico do betão na quantidade necessária;
- b) Processo de obtenção dos inertes — extracção, britagem, selecção, lavagem, etc.;
- c) Propriedades físicas e químicas dos inertes, tal como preconizado pelas normas oficiais;
- d) Existência e origem da água para o fabrico do betão, e sua composição e qualidade, de harmonia com as normas oficiais;

- e) Cimentos, produtos de substituição e adjuvantes, de harmonia com as normas oficiais;
- f) A opção por cimentos especiais e produtos de substituição, tais como pozolanas, cinzas volantes e adjuvantes, deve ser justificada para cada tipo de obra;
- g) Composição e características do betão, para cada zona da obra, de harmonia com as normas oficiais;
- h) Os betões para barragens devem ter as mais baixas dosagens compatíveis com a segurança;
- i) O betão deve ter características térmicas, mecânicas e de trabalhabilidade que garantam as melhores condições de segurança e de construção da obra;
- j) A qualidade do betão é determinada por meio de ensaios em laboratório, sendo de prestar atenção especial às suas características reológicas e à possibilidade de alterações ou deteriorações de qualquer origem;
- l) Previsão da agressividade da água da albufeira ao betão, aos materiais da fundação e aos produtos de injeção;
- m) Nas regiões mais frias do País, a resistência do betão ao gelo.

3 — Do projecto devem constar também elementos sobre:

- a) Estaleiro e tipo de equipamento para execução das obras, meios de armazenamento dos inertes, cimento e água, fabrico, transporte e colocação do betão, programa de trabalhos, ritmos de betonagem, espessuras de camadas, tipos de cofragens, etc.;
- b) Laboratório de estaleiro, com indicação da aparelhagem e máquinas de ensaio para controlo dos materiais e do betão, assim como das instalações de apoio ao trabalho de observação da obra (escritório, armazém de aparelhos, etc.).

Artigo 22.º

Ações a considerar

1 — As acções internas, ambientais ou criadas pelo processo construtivo e pela exploração da obra originam:

- a) Forças e deformações nas estruturas, designadamente forças mássicas ou de superfície, variações de volume de origem térmica ou outras, e cedências de apoio;
- b) Outros efeitos físicos e químicos que, além dos efeitos mecânicos directos, eventualmente se reflectem nas propriedades estruturais.

2 — As principais acções a considerar são:

- a) Na fase de construção: as gravíticas devidas à colocação dos materiais e dos equipamentos ao longo do processo construtivo; as térmicas, higrométricas e autogéneas, associadas à colocação, presa e arrefecimento do betão; as térmicas ambientais; as devidas à injeção de juntas de contracção, ao tratamento das fundações e eventual aplicação de pré-esforços;
- b) Na fase de primeiro enchimento e durante a exploração: as da água, estáticas e dinâmicas, devidas à formação e exploração da albufeira; as térmicas, ambientais e associadas à exploração da albufeira; as devidas à ocorrência do sismo base de projecto (SBP) e eventualmente sismos induzidos; as devidas aos depósitos sólidos na albufeira; as associadas à formação de gelo e sua fusão, na albufeira e na estrutura;
- c) De carácter excepcional: as correspondentes ao sismo máximo de projecto (SMP); as resultantes de cheias com período de retorno superior ao da cheia de projecto, tendo em atenção o disposto no artigo 6.º; as devidas a grandes deslocamentos impostos na fundação, provocados por movimentos do vale, sismos, etc.

3 — Para além das acções a considerar no projecto que ficaram apontadas podem ocorrer outras, tais como as variações de volume associadas a fenómenos de alteração dos materiais, acções que devem ser evitadas adoptando disposições adequadas.

4 — As acções referidas nos números anteriores são caracterizadas por diversos parâmetros, aos quais se associam valores de referência e dispersões.

Artigo 23.º

Ações devidas à construção

1 — Em relação às acções gravíticas devidas à colocação dos materiais e à actuação dos equipamentos há a notar que:

- a) Evoluem, ao longo da sequência da construção, de acordo com o processo construtivo e a geometria da obra;

- b) Geram forças mássicas que dependem dos pesos volumicos dos materiais de construção e do peso dos equipamentos;
- c) A dispersão associada aos pesos volumicos é muito pequena.

2 — Durante e após a colocação do betão em obra ocorrem variações de volume que resultam do calor libertado pelas reacções que acompanham a hidratação do cimento, das reacções que se dão entre os próprios inertes e entre estes e certos componentes do cimento, com especial relevo para as reacções alcalis-inertes, fenómenos com as particularidades que a seguir se apontam:

- a) O calor libertado depende do tipo e dosagem do cimento e das características térmicas do betão;
- b) A dissipação do calor inicia-se pouco tempo após a colocação do betão, prolonga-se durante os primeiros anos de vida da obra, originando frequentemente o desenvolvimento de tracções e em alguns casos fissurações;
- c) No betão em massa, que é o caso corrente das barragens, a hidratação do cimento processa-se como se o betão estivesse isolado da atmosfera, sem perda nem ganho de água, resultando uma ligeira variação de volume a que se dá o nome de variação autogénea de volume;
- d) A secagem do betão em massa é essencialmente superficial e normalmente não considerada como acção;
- e) As reacções no seio dos inertes são devidas à oxidação, carbonatação e hidratação de certos componentes, reacções essas que são acompanhadas de expansões;
- f) As reacções entre os componentes do cimento e certas substâncias existentes neste ou nos inertes geram compostos expansivos, sendo as principais reacções deste tipo: reacções entre os silicatos, aluminatos e hidróxido de cálcio do cimento com sulfatos, como o gesso por vezes existente em excesso no cimento ou nos inertes; reacções entre os alcalis do cimento e certas formas de sílica existentes em alguns inertes;
- g) As variações de volume atrás referidas podem originar deteriorações do betão e devem ser evitadas mediante a adopção de medidas, tais como: o estudo da composição do betão e das características dos materiais que o constituem; o uso de materiais pozolânicos ou aditivos; o uso de técnicas construtivas adequadas, designadamente juntas de contracção.

3 — As pressões de injeção e pré-esforço são em regra bem definidas e podem ser representadas por forças mássicas no volume da barragem ou da fundação, por forças superficiais nas juntas ou por forças distribuídas ao longo dos cabos e das amarrações, sendo em geral de ter presente que as forças correspondentes a pré-esforços dependem do próprio comportamento da estrutura.

Artigo 24.º

Acções da água

1 — As acções da água resultam das diferenças de níveis impostas entre montante e jusante pela criação e exploração da albufeira, havendo a atender aos seguintes factos:

- a) Podem considerar-se níveis médios da água a montante e a jusante e variações em torno destes níveis médios;
- b) A diferença de níveis entre montante e jusante origina escoamentos através dos poros e fissuras dos materiais, designadamente da fundação, instalando-se assim campos de velocidades e de pressões a que estão associados caudais, forças mássicas, forças superficiais e variações de volume;
- c) Para análise do comportamento das fundações de obras importantes, o estudo dos escoamentos e a determinação dos gradientes de pressões deve ser feito por intermédio de modelos hidráulicos, planos ou tridimensionais;
- d) Os efeitos mecânicos da água são em regra estudados em termos de tensões efectivas, sendo tais efeitos representados por forças mássicas proporcionais aos gradientes das pressões.

2 — Para análise da estabilidade da barragem, ou da barragem e de uma zona da fundação da sua vizinhança, as forças mássicas podem ser substituídas por forças de superfície distribuídas sobre as fronteiras, com igual resultante, definidas por:

- a) Pressões hidrostáticas sobre os paramentos;
- b) Pressão sobre as cortinas de impermeabilização, tendo em conta a possibilidade de abertura das fissuras do maciço;
- c) Subpressão na superfície de fundação da barragem, considerando a influência da cortina de drenagem;
- d) Subpressão nas fronteiras do maciço considerado.

3 — No que se refere a acções da água há ainda que ter em consideração:

- a) As pressões actuando sobre os equipamentos hidromecânicos que devem ser aplicadas nas estruturas através das superfícies de apoio destes equipamentos;

- b) A passagem de grandes caudais pelos órgãos de segurança e exploração que gera pressões hidrodinâmicas e pode originar erosão, abrasão e cavitação, batimentos e vibrações do equipamento, efeitos que podem afectar aqueles órgãos e eventualmente o maciço de fundação da barragem na vizinhança imediata do pé de jusante;
- c) A queda na albufeira de grandes volumes de gelo ou de terreno, devida a instabilização de taludes, apesar de estes fenómenos serem em regra de pequena probabilidade de ocorrência, pode originar ondas de grande altura, provocando pressões dinâmicas elevadas sobre as barragens e eventualmente o seu galgamento;
- d) As vibrações provocadas por sismos que originam pressões dinâmicas da água em contacto com as barragens.

Artigo 25.º

Acções térmicas ambientais

1 — As acções térmicas ambientais desenvolvem-se, durante e após a construção, designadamente em consequência das variações de temperatura do ar e da água e da radiação solar, havendo a atender aos seguintes factos:

- a) Num período inicial, sobrepõem-se às devidas ao processo construtivo referidas no artigo 23.º, mas após a criação da albufeira e dissipados os efeitos térmicos provocados pela construção, atinge-se a estabilização do regime térmico e a barragem fica apenas sujeita às acções ambientais;
- b) O projecto deve prever a época de referência para avaliação da evolução futura das acções térmicas e dos seus efeitos estruturais, porque os efeitos das variações de temperatura entre a situação correspondente ao estado de estabilização da temperatura da barragem e o seu estado térmico na época de referência ficarão permanentemente instalados;
- c) No caso das estruturas tridimensionais, a época de referência deve ser aquela em que se executam as injeções das juntas, correspondendo a um estado de baixas temperaturas no corpo da barragem.

2 — As variações de temperatura do ar e da água associadas à exploração normal são geralmente caracterizadas pelos seguintes aspectos:

- a) As oscilações periódicas em torno da temperatura de estabilização, caracterizadas por ondas de período anual e outras;
- b) As características das ondas térmicas do ar podem ser consideradas uniformes enquanto as das ondas térmicas da água devem ter em consideração o nível na albufeira, variando a sua amplitude e diferença de fase com a profundidade;
- c) Os efeitos da radiação solar devem também ser considerados, tendo em conta a localização da obra, a orientação e as características das superfícies expostas.

3 — As variações de temperatura no corpo da barragem, devidas às ondas térmicas e outras causas referidas nos números anteriores, são caracterizadas da seguinte forma:

- a) Às variações de temperatura referidas na alínea b) do n.º 1 correspondem diagramas lineares entre os dois paramentos;
- b) As ondas térmicas anuais originam distribuições não uniformes de temperatura em torno dos diagramas lineares referidos na alínea anterior;
- c) As ondas térmicas diárias e a radiação solar originam variações de temperatura que são máximas à superfície, onde atingem valores elevados, mas que se anulam a curta distância, razão pela qual a zona da barragem onde se fazem sentir deve ser considerada como zona de protecção térmica do corpo da barragem.

4 — As variações de temperatura no corpo da barragem originam variações de volume dependentes do coeficiente de dilatação linear do betão e, no caso de estruturas importantes, a sua determinação deve ser efectuada por meio de modelos de condução de calor, havendo a notar que:

- a) Podem ser usados modelos tridimensionais, planos, ou, para estruturas delgadas, modelos de placas, considerando neste último caso apenas o fluxo do calor na direcção montante-jusante;
- b) A propagação do calor por condução depende da difusibilidade térmica do betão.

Artigo 26.º

Acções sísmicas

1 — Os sismos, naturais ou induzidos pela formação de albufeiras, originam vibrações nos locais das barragens, variáveis com as

características dos sismos e dos terrenos, com a distância ao epicentro e a profundidade do foco, sendo de notar, relativamente àquelas vibrações, que:

- a) Podem ser caracterizadas a partir de fórmulas empíricas pelos valores máximos das acelerações, velocidades e deslocamentos e respectivas durações, ou aproximadamente representadas apenas pelas acelerações impostas na base do conjunto barragem-fundação-albufera;
- b) No caso de estruturas pouco extensas, pode aceitar-se que as vibrações estão em fase ao longo de toda a base de apoio, mas para estruturas em que a base de apoio tem a extensão de várias centenas de metros, convém que sejam consideradas diferenças de fase ao longo da base.

2 — Na caracterização das vibrações deve ter-se em atenção que:

- a) Podem ser utilizados espectros de potência definidos a partir dos valores máximos referidos no número anterior, ou espectros de resposta, sendo de notar que os espectros indicados no Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes constituem uma adequada aproximação;
- b) Para estruturas com comportamento não linear devem ser usados acelerogramas, quer observados quer obtidos por modelos aleatórios a partir dos espectros;
- c) As vibrações segundo o eixo do vale são em regra as mais importantes, mas em algumas estruturas tem interesse considerar também vibrações verticais e transversais;
- d) Para duração dos sismos distantes deve considerar-se trinta segundos e para duração dos sismos próximos deve tomar-se dez segundos.

3 — O estudo do comportamento das obras deve fazer-se tendo em conta o seguinte:

- a) Os sismos a considerar no projecto são: o sismo máximo de projecto (SMP) e o sismo base de projecto (SBP), tal como referido no artigo 8.º;
- b) As acelerações impostas na base de apoio do conjunto barragem-fundação-albufera originam vibrações que dependem das formas das estruturas e da albufera, da deformabilidade dos materiais e da água, devendo assim, pelo menos para obras vultosas, fazer-se o estudo do comportamento dinâmico global daquele conjunto;
- c) Para pequenas obras, as acções sísmicas podem ser representadas: por forças mássicas actuando nos elementos de volume, com intensidades linearmente variáveis ao longo da altura da barragem, sendo o valor da força, ao nível do centro de gravidade da estrutura, de 1,5 vezes o valor fixado ao nível da base de apoio; por pressões hidrodinâmicas sobre os paramentos, determinadas por soluções existentes para estudo de vibrações de reservatórios com formas geométricas simples.

4 — Além das vibrações, as acções sísmicas podem ter outros efeitos sobre as obras, nomeadamente:

- a) No caso de existência, na fundação da barragem, de falhas importantes a que se associe um risco potencial de movimento, designadamente após a criação da albufera, o comportamento das estruturas e das fundações deve também ser analisado para deslocamentos impostos, correspondentes a esses movimentos;
- b) Os sismos podem originar grandes ondas nas albufeiras, tal como foi referido na alínea c) do n.º 3 do artigo 24.º

Artigo 27.º

Acções do gelo e do caudal sólido

1 — Em regiões frias, devem considerar-se as acções:

- a) Devidas à formação de uma camada de gelo na superfície da albufera que origina pressões contra a parte superior do paramento de montante da barragem;
- b) Devidas ao gelo e degelo da água nos poros do betão, juntas e fissuras, o que provoca importantes variações de volume na vizinhança das superfícies expostas.

2 — Os sedimentos acumulados na albufera, junto do paramento de montante, podem ter influência no comportamento da obra, sendo de notar que:

- a) Originam pressões na parte inferior da obra, dependentes do nível atingido pelos sedimentos, do seu peso volumico saturado e resistência ao corte;
- b) Podem interferir com o funcionamento de alguns órgãos de segurança e exploração.

Artigo 28.º

Aspectos gerais do dimensionamento

1 — O dimensionamento das barragens consiste na determinação das suas formas e definição das suas dimensões e outras características, com vista a satisfazer as condições de funcionalidade e de segurança para cenários correntes e de ruptura a que se associam riscos potenciais de incidentes e de acidentes, sendo de atender ao seguinte:

- a) Para verificação dos cenários, definem-se hipóteses de dimensionamento que, através da conveniente especificação dos parâmetros representativos das acções e suas combinações, dos materiais da estrutura e da fundação e das técnicas de construção e exploração, envolvam estrategicamente as diferentes situações que se irão verificar ao longo da vida das obras;
- b) As estruturas e suas fundações devem ser consideradas como um conjunto e, nesse contexto, devem considerar-se as interacções entre as diversas estruturas, designadamente entre a barragem, os órgãos de segurança e exploração e os taludes da albufera;
- c) A diminuição do risco associado à construção e exploração das obras pode originar um acréscimo do custo destas, pelo que há que procurar o menor custo compatível com a segurança.

2 — Para cada cenário, a quantificação da segurança das obras, por intermédio da probabilidade de não ocorrência de incidentes ou acidentes, é difícil ou mesmo impossível, devendo essa quantificação fazer-se, no actual estado de conhecimentos, por intermédio de coeficientes de majoração das acções e de minoração das resistências.

3 — No dimensionamento das obras devem considerar-se os seguintes passos:

- a) Identificação dos principais cenários correntes e de ruptura e definição das hipóteses de dimensionamento;
- b) Definição dos modelos das acções e dos modelos estruturais ou conjuntos e sua análise, com vista a obter as respectivas respostas;
- c) Verificação das condições de funcionalidade e de segurança.

4 — Os erros humanos são de importância capital da ocorrência de acidentes, que não devem ser evitados por sobredimensionamento, mas por medidas adequadas de garantia de qualidade no projecto, na construção, na exploração e no controlo de segurança, sendo de destacar, na fase do projecto, como mais relevantes, os erros cometidos:

- a) Na identificação dos cenários, na definição e escolha dos modelos e dos métodos de dimensionamento;
- b) Na definição das disposições do projecto;
- c) No estudo da caracterização e do tratamento das fundações;
- d) No estudo dos materiais e dos processos construtivos;
- e) Na elaboração do antepiano de observação.

Artigo 29.º

Cenários correntes e de ruptura — situações de dimensionamento

1 — A identificação dos principais cenários, correntes e de ruptura, para cada tipo de obra, deve ter em consideração, além da experiência anterior com obras do mesmo tipo, aspectos específicos da obra em causa, relacionadas, nomeadamente:

- a) Com as características hidrológicas, geológicas, hidrogeológicas, sismológicas e geotécnicas do local da obra e com as finalidades do aproveitamento, definidas tal como especificado nos artigos 6.º a 10.º;
- b) Com as características da estrutura e da fundação e as propriedades dos materiais definidas tal como especificado nos artigos 17.º a 21.º;
- c) Com os métodos de construção, a forma de proceder ao primeiro enchimento e o tipo de exploração do reservatório;
- d) Com as condições de manutenção e observação.

2 — Para além de outros cenários correntes e de ruptura cuja consideração se julgue necessária em face das características do projecto, devem, em princípio, analisar-se cenários dos tipos seguintes:

- a) Associados ao comportamento do maciço de fundação, designadamente a fissuração, deslocamentos provocados pela abertura e fecho das superfícies de compartimentação, corte e esmagamento das formações, escorregamento por superfícies de menor resistência, conjugado com mau funcionamento das cortinas de impermeabilização e drenagem, erosão nas fissuras, erosão interna, dissolução dos minerais das formações e erosão a jusante devida aos descarregamentos ou ao galgamento das obras;

- b) Relacionados com o comportamento do betão, designadamente deslocamentos reversíveis e permanentes, fissuração e corte de zonas localizadas ou de grandes volumes e derrubamento de blocos.

3 — Para verificação das condições de funcionalidade e de segurança para os cenários correntes e de ruptura devem definir-se situações de dimensionamento, tal como foi referido no n.º 1 do artigo 28.º, representativas da construção, do primeiro enchimento e da exploração.

4 — Para além de outras situações de dimensionamento que se julguem necessárias, devem, em princípio, considerar-se as seguintes:

- a) Peso próprio dos materiais e dos equipamentos; sobreposição desta acção com as referidas na alínea a) do n.º 2 do artigo 22.º;
- b) Sobreposição dos efeitos correspondentes à situação final da construção com os decorrentes das acções da água e da temperatura devidas à formação da albufera; sobreposições desta última situação com variações do nível da água e da temperatura ambiente e com pressões do caudal sólido e do gelo, de modo a enquadrar a fase de exploração; sobreposição de situações de exploração da albufera com o sismo base de projecto;
- c) Sobreposição de situações de exploração, referidas na alínea anterior, com cada uma das acções de carácter excepcional indicadas na alínea c) do n.º 2 do artigo 22.º ou as mesmas situações de exploração conjugadas com valores extremos, quer da resistência ao escorregamento ao longo de superfícies de compartimentação do maciço rochoso, quer da resistência do betão.

Artigo 30.º

Modelos e métodos da análise

1 — O estudo das situações de dimensionamento será efectuado por intermédio de modelos das acções e estruturais ou de modelos conjuntos, devendo atender-se:

- a) Na definição dos modelos das acções, ao disposto nos artigos 23.º a 27.º;
- b) Na definição dos modelos estruturais, ao disposto nos artigos 17.º a 21.º, nomeadamente: à continuidade e homogeneidade dos materiais em face da escala da obra, definindo-se zonas formadas por materiais supostos contínuos e homogéneos, separadas por superfícies; aos vários aspectos do comportamento dos materiais em cada uma das zonas e ao longo das referidas superfícies; à forma e dimensões das peças que compõem a estrutura, podendo adoptar-se, quando justificado, as aproximações de peças laminares ou peças com secção transversal uniforme ao longo de um eixo recto, e às ligações exteriores nas fronteiras dos modelos.

2 — Para estudo das diversas situações referidas no artigo 29.º podem ser utilizados modelos dos tipos seguintes:

- a) Para situações de construção, modelos da estrutura completa, contínua e de comportamento elástico linear; modelos em que são tomados blocos independentes, de comportamento elástico linear; para estruturas importantes, modelos com sucessivas geometrias, em regra com juntas de contracção, formadas por materiais de comportamento elástico linear ou elasto-viscoplástico, com idades diferentes;
- b) Para as situações de primeiro enchimento e exploração da albufera, modelos em que se supõe a estrutura contínua e formada por materiais de comportamento elástico linear, com características médias para o período em estudo mas que tenham em consideração os efeitos da fluência ou da relaxação;
- c) Para as situações extremas, modelos formados por materiais de comportamento não linear.

3 — Na análise dos modelos referidos nos números anteriores devem ser utilizados métodos matemáticos, analíticos ou numéricos e experimentais confirmados pela prática, designadamente:

- a) Em estudos preliminares e de anteprojecto, os métodos numéricos de elementos finitos, diferenças finitas, elementos de fronteira e outros;
- b) Em estudos de projecto, os métodos anteriormente referidos, conjuntamente com métodos experimentais, em particular modelos reduzidos, tridimensionais, para cenários correntes e de ruptura.

4 — A fiabilidade dos métodos e dos modelos de análise estrutural deve ser avaliada:

- a) Confrontando as previsões dos métodos matemáticos e experimentais para o mesmo modelo, para algumas situações

de dimensionamento, designadamente no caso de obras importantes e em particular para modelos não lineares;

- b) Confrontando as previsões dos modelos com resultados da observação de obras com características e em situações semelhantes.

Artigo 31.º

Verificação da segurança para cenários correntes e de ruptura

1 — A verificação da segurança para cenários correntes ou de ruptura deve ser feita por intermédio de modelos, para as diferentes situações de dimensionamento, atribuindo valores extremos de majoração ou de minoração aos parâmetros característicos do respectivo cenário associados às acções e às propriedades estruturais, até se verificar a ocorrência do incidente ou do acidente.

2 — Na avaliação da segurança para cenários correntes, quer incluam ou não acções dinâmicas, recomenda-se:

- a) Que a resposta dos modelos seja essencialmente elástica, não ponha em risco o funcionamento da obra e que, na vizinhança da fundação, não provoque perturbações significativas do maciço de fundação nem a perda de eficiência da cortina de impermeabilização;
- b) Que as tensões na barragem, quer em elementos volumétricos quer em juntas, embora podendo eventualmente provocar rupturas em zonas localizadas, respeitem o critério de Mohr-Coulomb, definido para resistências de pico, à tracção e compressão, com coeficientes de segurança mínimos entre 2,5 e 4;
- c) Que as tensões na fundação, quer em elementos volumétricos quer em juntas e superfícies de menor resistência, embora podendo eventualmente provocar rupturas em zonas localizadas, respeitem o critério de Mohr-Coulomb, definido para valores de pico da coesão com coeficientes de segurança mínimos entre 3 e 5, e do coeficiente de atrito interno entre 1,5 e 2;
- d) Que os caudais drenados na fundação, embora podendo atingir valores mais elevados em zonas muito localizadas, correspondam a valores médios da permeabilidade na zona da cortina de impermeabilização não superiores a 1 lugeon;
- e) Que as subpressões na base das barragens, designadamente no caso de barragens gravidade ou abóbada espessa, na secção correspondente à cortina de drenagem, sejam da ordem de um terço da pressão a montante.

3 — Na avaliação da segurança para cenários de ruptura, quer incluam ou não acções dinâmicas, recomenda-se:

- a) Que os movimentos de blocos fissurados não conduzam ao seu derrubamento nem originem passagens de água, em grande volume e com grandes velocidades, através da fundação;
- b) Que as tensões nas superfícies de ruptura global, tendo em conta as subpressões, satisfaçam o critério de Mohr-Coulomb definido para a coesão nula e valores residuais do coeficiente de atrito interno, com coeficientes de segurança mínimos entre 1,2 e 1,5;
- c) Que, no caso de barragens delgadas, as tensões no betão satisfaçam a segurança em relação ao esmagamento das secções com coeficientes mínimos globais não inferiores a 4;
- d) Que os caudais drenados na fundação correspondam a valores médios de permeabilidade na zona da cortina de impermeabilização não superiores a 5 lugeons.

Artigo 32.º

Outras disposições do projecto

1 — A experiência tem evidenciado a conveniência de outras disposições do projecto em relação à fundação e às características do betão e das estruturas.

2 — Em relação à fundação e às características do betão recomenda-se:

- a) Criteriosa escolha do local, adequada implantação da obra e cuidada preparação da superfície de fundação;
- b) Realização de trabalhos de consolidação na fundação e de dispositivos de impermeabilização e de drenagem;
- c) Estudo do betão e uso de técnicas adequadas para o seu fabrico, transporte e colocação;
- d) Utilização de betão de pequena permeabilidade, de armaduras de pele a montante e de sistemas de drenagem no interior.

3 — Em relação às características das barragens recomenda-se:

- a) Evitar formas angulosas e reentrâncias acentuadas, descontinuidades e heterogeneidades, utilizando armaduras nestas zonas quando não evitáveis, assim como na vizinhança de aberturas;

- b) Utilizar, sempre que possível, estruturas curvas, quer em planta quer na vertical;
- c) Evitar coroaamentos excessivamente rígidos;
- d) Considerar, no caso de barragens-abóbada, arcos com curvatura decrescente para as margens e espessuras constantes ou aumentando para as nascentes e, sempre que possível, estruturas simétricas, com socos e, se necessário, com encontros artificiais;
- e) Deixar nas obras e suas fundações um sistema de galerias que, além de facilitarem a drenagem, premitam o acesso às diferentes zonas e, designadamente, à vizinhança da superfície de apoio.

CAPÍTULO IV

Normas para barragens de aterro

Artigo 33.º

Estruturas

- 1 — As barragens de aterro podem classificar-se como segue:
 - a) De terra, com perfil homogéneo ou com perfil zonado;
 - b) De enrocamento, com órgão de estanquidade e montante ou com órgão de estanquidade interno;
 - c) Misturas, com perfil constituído por dois maciços, um de terra e outro de enrocamento.
- 2 — A estrutura é essencialmente caracterizada pela sua forma, dimensões e materiais utilizados.
- 3 — Do projecto devem constar, fundamentalmente:
 - a) Justificação da solução adoptada, levando em conta, como parâmetros principais, a forma do vale, a natureza da fundação, a quantidade e qualidade dos materiais naturais disponíveis, os meios existentes para a construção e as precipitações e caudais de cheia;
 - b) Articulação das formas e zonamento com as fases de construção, sendo de preconizar o sincronismo de construção que deve ser imposto no que se refere ao desenvolvimento dos aterros em altura, a fixação da oportunidade mais conveniente das escavações, de forma a poder utilizar nos aterros os materiais escavados, a conjugação dos avanços de construção de maciços com propriedades mecânicas muito diferentes, procurando-se assim minimizar posteriores transferências prejudiciais de tensões;
 - c) Estudo da derivação provisória, que deve ser projectada tendo em vista o tipo de estrutura, os caudais a derivar, os condicionamentos topográficos, geológicos e geotécnicos, o programa de construção, o valor do caudal de cheia a considerar, valor que deve ser fixado tendo em vista o que ficou consignado no artigo 6.º, o período de recorrência que deve ter em conta o risco de galgamento, as alternativas auxiliares para a passagem de cheias excepcionais e os programas de trabalho.

Artigo 34.º

Fundações

- 1 — No estudo de fundações de barragens de aterro, como aspectos gerais, há a considerar que:
 - a) A fundação constitui uma unidade com a barragem que suporta, pelo que deve ser sempre efectuado o estudo do conjunto barragem-fundação;
 - b) São bastante diferentes os problemas levantados pelas fundações quando constituídas ou por maciços rochosos ou por maciços terrosos, acontecendo também ser frequente que a fundação de uma barragem interesse aos dois tipos de maciços, ou ainda a um terreno de transição que, conforme as circunstâncias, tem de ser tratado como solo ou como rocha.
- 2 — No caso de fundações em rocha, são de realçar os seguintes aspectos:
 - a) Estudo da percolação, para o que se torna necessário caracterizar a permeabilidade dos maciços e as condições de fronteira;
 - b) Estudo da resistência ao corte e da deformabilidade, nos casos de terrenos de muito fraca qualidade, fundações de galerias ligadas a órgãos de impermeabilização no paramento de montante e estudos de estabilidade dos encontros durante a fase de construção;
 - c) Acções resultantes da percolação, tendo em conta as cortinas de injeção;
 - d) Consideração de cortinas de drenagem, dispositivos que só são normalmente utilizados quando associados às fundações dos órgãos de segurança e exploração;

- e) Se o aterro se apoiar directamente sobre a fundação rochosa, o contacto deve ser objecto de tratamento para evitar fenómenos de erosão interna provocados por percolações através das descontinuidades do maciço rochoso, sendo de prever, no caso de fundações de núcleos, a regularização da superfície da rocha e o preenchimento de descontinuidades, e nas fundações de um maciço estabilizador, a eventual necessidade de recorrer a filtros e drenos;
- f) Se entre o aterro e a fundação rochosa ocorrer solo ou rocha muito alterada, a fundação deve ser submetida apenas a tratamentos muito localizados e relacionados com eventuais órgãos de estanquidade que atravessem a fundação em solo (paredes moldadas, cortinas de injeção, etc.).

3 — No caso de fundações em solos importa considerar os seguintes aspectos:

- a) O conhecimento da permeabilidade é importante para calcular os caudais escoados através dos maciços de fundação e pode revelar-se decisivo na escolha do sistema a adoptar para dominar esses caudais, incluindo na fase de construção, por razões de eficiência e de economia;
- b) Nos solos arenosos raramente a permeabilidade pode ser medida em laboratório, dada a extrema dificuldade em colher amostras indeformadas, devendo-se por isso realizar ensaios *in situ*, interessando volumes representativos de maciço em causa;
- c) Nos maciços com permeabilidade elevada, o domínio total ou parcial dos caudais percolados e dos gradientes hidráulicos pode efectuar-se recorrendo a tapetes impermeáveis, cortina-águas, injeções, filtros e poços de alívio;
- d) Os maciços terrosos drenantes podem ser susceptíveis de liquefacção devido a acções sísmicas ou sofrerem colapso por alterações da sua estrutura;
- e) Nos maciços terrosos relativamente impermeáveis devem ter-se em consideração os efeitos dos gradientes hidráulicos e das deformações e assegurar a estabilidade mecânica;
- f) A caracterização dos maciços referidos na alínea anterior pode ser efectuada em laboratório ou *in situ*, com vantagens e inconvenientes para ambas as vias;
- g) Nas fundações em solos os efeitos prejudiciais dos gradientes hidráulicos são normalmente anulados por intermédio de sistemas de filtragem e de drenagem;
- h) O controlo dos efeitos das deformações e a obtenção de adequada resistência mecânica podem ser conseguidos por conveniente definição geométrica da barragem e melhoria das propriedades mecânicas dos solos (drenagem, vibro-flutuação, compactação dinâmica, saturação prévia e pré-carga).

4 — O projecto deve conter a justificação de que é suficientemente reduzida a probabilidade de as situações analisadas poderem conduzir à ruptura ou à perda de funcionalidade, designadamente apresentando os seguintes elementos:

- a) Análise, em termos de equilíbrio limite, do comportamento mecânico da fundação relativamente a qualquer superfície potencial de deslizamento, interessando a fundação e o conjunto fundação-barragem;
- b) Análise das deformações resultantes das consolidações (imediate, hidrodinâmica e secular) e ainda as associadas à presença eventual de solos expansivos e colapsíveis;
- c) Análise do comportamento hidráulico baseada no estudo do escoamento da água e das características físicas do meio, designadamente situações de ruptura hidráulica generalizada da fundação, tais como o levantamento da fundação adjacente ao pé de jusante da barragem e a instabilidade interna do solo (sofusão), e ainda a ruptura pontual (erosão interna).

Artigo 35.º

Filtros e drenos

1 — Os filtros e drenos desempenham papel fundamental nas barragens de aterro, pois controlam os escoamentos através do corpo da barragem e da sua fundação, sendo essencial que conduzam os caudais afluentes sem afogamento e que retenham os materiais adjacentes.

2 — No projecto devem ser explicitadas as regras que garantam o funcionamento dos filtros e drenos referido no número anterior e ainda a manutenção a longo prazo, sem colmatação.

3 — Os materiais para filtros e drenos devem ser prospectados e estudados de acordo com as disposições destas Normas relativas a materiais.

Artigo 36.º

Tipos de materiais

1 — Os materiais usados nas barragens de aterro são solos e enrocamentos, podendo também em certos tipos de barragem ser utilizados outros materiais, tais como betão, solo-cimento, aço, betão betuminoso, geomembranas e geotêxteis.

2 — Os solos caracterizam-se por granulometrias mais ou menos extensas, com larga predominância de elementos com dimensões inferiores a 2 mm-6 mm, admitindo-se a presença de elementos mais grosseiros, desde que não formem uma estrutura; a matriz dos elementos finos governará assim o comportamento do maciço dos pontos de vista de compactabilidade, deformabilidade, resistência mecânica e permeabilidade.

3 — Os enrocamentos exibem, em regra, dimensões com larga gama de variação, sendo o limite superior fixado por aspectos técnicos construtivos e podendo o limite inferior atingir a dimensão argila; a presença de dimensões inferiores a 0,074 mm pode ser prejudicial para o comportamento mecânico dos enrocamentos compactados, pelo que estes devem exibir permeabilidade superior a 10^5 m/s; sendo os aterros construídos por camadas de enrocamento compactado, uma granulometria extensa favorecerá a obtenção de uma acentuada diminuição do índice de vazios, com o consequente aumento da resistência e a redução da deformabilidade.

4 — Há ainda materiais de transição entre os solos e enrocamentos nos quais a percentagem de elementos grosseiros, embora suficiente para que estes formem estrutura, não determina por si só o comportamento tensão-deformação do aterro, já que a parte fina desempenha também papel influente.

Artigo 37.º

Estudos dos materiais

1 — Apesar de a tecnologia das barragens de aterro estar já bem estabelecida e haver normas que ajudam o projectista, há ainda necessidade de investigações sobre o comportamento dos materiais, devendo a sua escolha basear-se em considerações de natureza tecnológica e económica que o projecto deve mencionar.

2 — O projecto deve incluir elementos relativos a:

- a) Estudos dos empréstimos dos materiais com a respectiva localização, zonamento, avaliação dos volumes disponíveis, informação sobre os níveis freáticos sazonais ou resultantes do enchimento parcial da albufera e condições de escavação dos solos e desmonte dos materiais rochosos, devendo, sempre que possível, os materiais resultantes das escavações para a construção da barragem e órgãos anexos ser usados nos aterros da barragem;
- b) Estudos sobre a compartimentação do maciço das pedreiras de modo a adoptar o processo de desmonte mais adequado à obtenção da granulometria desejada;
- c) Características físicas, propriedades índice e composição mineralógica dos materiais naturais, devendo ter-se presente que, em princípio, todos estes materiais servem para construir barragens de aterro, com excepção dos solos com teor inconveniente em matéria orgânica, das argilas muito sobreconsolidadas e dos solos e rochas alteráveis ao contacto com o ar ou com a água, nomeadamente os que contenham materiais solúveis;
- d) Estudo sobre amostras representativas do solo das zonas de empréstimo, com vista à determinação das características de compactação — teor em água óptimo e peso volúmico aparente seco — para energias de compactação específicas previstas para a construção;
- e) Ensaios de laboratório sobre amostras com compactidade e teor em água previsíveis nas várias fases da obra, para determinação de características de corte, deformabilidade e permeabilidade;
- f) Modalidade de realização dos ensaios referidos na alínea e), de modo a permitir uma caracterização em termos de tensões totais e efectivas e medição dos parâmetros de pressão neutra ou grandezas que permitam obter informação equivalente;
- g) Tensões ou deformações a impor nos ensaios de laboratório, que devem ter em conta, na medida do possível, as trajectórias de tensão e deformação reais;
- h) Previsão de aterros experimentais a executar com os materiais e os equipamentos que irão ser efectivamente usados na construção, para comprovação das características mecânicas e hidráulicas determinadas em laboratório e para estudo da compactabilidade, eficiência de equipamentos, humedificação e rendimentos;
- i) Sistemas de escavação, transporte, colocação, humedificação e compactação dos materiais dos aterros;

- j) Prospecção de materiais para filtros, caracterização da granulometria e permeabilidade e estudos sobre a alterabilidade granulométrica e mineralógica durante o período de vida da obra;
- l) Materiais para filtros, obtidos por operações de mistura, crivagem e lavagem de finos, quando tenham havido dificuldade em encontrar materiais susceptíveis de utilização directa;
- m) Especificações sobre geotêxteis, havendo a notar que a experiência existente não aconselha ainda a sua utilização em obras importantes;
- n) Estudos e especificações para a protecção dos paramentos e do coroamento;
- o) Estudos e especificações relativos aos betões, aços, caldas de injeção, betuminosos, materiais a usar em paredes moldadas e geomembranas.

Artigo 38.º

Ações a considerar

1 — As acções a considerar nas barragens de aterro são as devidas à gravidade, aos sismos, à água, a outras forças e deslocamentos impostos e, com menor relevância e de consideração eventual, as devidas à temperatura, à ondulação e ao gelo.

2 — As acções a considerar na análise do comportamento das barragens de aterro devem ter em atenção as situações críticas da obra durante a construção, o primeiro enchimento, o pleno armazenamento e os esvaziamentos rápidos da albufera, sendo prática corrente que, na análise da segurança relativamente à ruptura por escorregamento, as acções a considerar se relacionem apenas com as fases de construção, pleno armazenamento e esvaziamento rápido da albufera.

3 — As acções dão origem a forças mássicas e de superfície e a deformações volumétricas e distorcionais, havendo a notar:

- a) Além dos seus efeitos mecânicos directos, as acções têm também, ao longo do tempo, outros efeitos físico-químicos, que eventualmente se reflectem nas propriedades dos materiais e em alterações estruturais;
- b) Os efeitos mencionados na alínea a) são particularmente importantes no que respeita a fenómenos de consolidação e de colapso.

4 — Como aspectos particulares relativos a acções há a notar:

- a) As acções devidas aos sismos devem ser fixadas tendo em atenção o disposto no artigo 8.º;
- b) Relativamente aos órgãos de segurança e de exploração das barragens de aterro e aos revestimentos de betão armado das barragens de enrocamento, as acções a considerar são as referidas no artigo 22.º

Artigo 39.º

Ações a considerar na fase de construção

1 — As acções a considerar nesta fase são as devidas:

- a) À gravidade e aos sismos;
- b) À água existente nos aterros quando da sua compactação e que se devem ao estabelecimento de pressões na água e a forças de percolação;
- c) À temperatura e que dão origem a fenómenos de retracção.

2 — Todas estas acções podem ser consideradas ao longo da construção se se pretender conhecer a consequente evolução dos estados de tensão e deformação, sendo normalmente a combinação de acções mais desfavoráveis a correspondente ao final da construção.

Artigo 40.º

Ações a considerar nas situações de primeiro enchimento e pleno armazenamento da albufera

1 — As acções a considerar nestas situações são as devidas:

- a) À gravidade e aos sismos;
- b) À água da albufera que se traduzem em pressões neutras e forças de percolação actuando nos maciços da barragem e nos terrenos de fundação, pressões hidrostáticas actuando na barragem e nas estruturas anexas e variações volumétricas devidas a expansão ou colapso dos aterros e terrenos de fundação e à água existente nos aterros quando da sua compactação (fundamentalmente durante o primeiro enchimento);
- c) À temperatura, ondulação na albufera e variações de pressão atmosférica.

2 — No caso de barragens de aterro com revestimento impermeável a montante, as acções a considerar na barragem (fundação excluída) são as referidas nas alíneas a) e c) do n.º 1 e ainda as resultantes da pressão hidrostática no paramento de montante.

Artigo 41.º

Acções a considerar durante um esvaziamento rápido

1 — As acções a considerar são as devidas:

- a) À gravidade;
- b) À água da albufeira, que se traduzem em pressões neutras e forças de percolação actuando nos maciços da barragem e nos terrenos de fundação e em pressões hidrostáticas actuando na barragem e nas estruturas anexas.

2 — Devem ser considerados esvaziamentos totais ou parciais.

Artigo 42.º

Acções sísmicas

1 — Os sismos, naturais ou induzidos pela formação de albufeiras, originam vibrações nos locais das barragens, variáveis com as características dos sismos e dos terrenos, com a distância ao epicentro e a profundidade do foco, em relação às quais é de notar que:

- a) Podem ser caracterizadas a partir de fórmulas empíricas, pelos valores máximos das acelerações, velocidades e deslocamentos e respectivas durações ou, aproximadamente, representadas apenas pelas acelerações impostas na base do conjunto barragem-fundação-albufeira;
- b) No caso de estruturas pouco extensas, tomam-se as vibrações como estando em fase ao longo de toda a base de apoio; no caso de estruturas de grandes dimensões (em especial de grande comprimento) e de elevado risco, pode interessar que sejam consideradas diferenças de fase ao longo da base.

2 — Na caracterização das vibrações deve ter-se em atenção que:

- a) Podem ser utilizados espectros de potência, definidos a partir dos valores máximos referidos no número anterior, ou espectros de resposta, sendo de notar que os espectros indicados no Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes constituem uma adequada aproximação;
- b) Para estudo de estruturas de comportamento não linear devem ser usados acelerogramas, quer observados, quer obtidos por modelos aleatórios a partir dos espectros;
- c) Para duração dos sismos distantes deve considerar-se trinta segundos e, para duração dos sismos próximos, deve tomar-se dez segundos.

3 — O estudo do comportamento das obras deve fazer-se tendo em conta o seguinte:

- a) Os sismos a considerar no projecto são o sismo máximo de projecto (SMP) e o sismo base de projecto (SBP), tal como referido no artigo 8.º;
- b) As acelerações impostas na base de apoio do conjunto barragem-fundação-albufeira originam vibrações que dependem das formas das estruturas e da albufeira e da deformabilidade dos materiais e da água, devendo assim pelo menos para obras importantes, fazer-se o estudo do comportamento dinâmico global daquele conjunto;
- c) Para obras de risco baixo, as vibrações provocadas por sismos podem ser representadas por forças mássicas actuando nos elementos de volume, forças que resultam da aplicação de acelerações horizontais variáveis ao longo da altura da barragem; a lei de variação estabelece-se por métodos empíricos ou por análise dinâmica da resposta da barragem às vibrações transmitidas pelas fundações;
- d) Para obras com taludes muito inclinados, em especial barragens de enrocamento, pode haver interesse em considerar as componentes verticais das vibrações e as pressões hidrodinâmicas da água da albufeira.

4 — Além das vibrações, as acções sísmicas podem ter outros efeitos sobre as obras, nomeadamente:

- a) No caso de existirem na fundação da barragem falhas importantes a que se associa um risco potencial de movimento, designadamente após a criação da albufeira, o comportamento das estruturas e das fundações deve também ser analisado para deslocamentos impostos, correspondentes a esses movimentos;
- b) Os sismos podem originar grandes ondas nas albufeiras, tal como foi referido na alínea c) do n.º 3 do artigo 24.º

Artigo 43.º

Acções devidas ao gelo

Em regiões frias deve ter-se em atenção as acções devidas ao gelo nos materiais do revestimento do talude de montante, quer pelo impacto de blocos de gelo flutuando na albufeira, quer pela alteração que os ciclos de gelo-degelo possam provocar nesses materiais.

Artigo 44.º

Aspectos gerais de dimensionamento

1 — O dimensionamento das barragens tem por finalidade a justificação das suas formas, dimensões e outras disposições adoptadas para verificação das condições de segurança em relação aos vários cenários previsíveis, sendo de atender ao seguinte:

- a) Os cenários correspondem a formas de comportamento a que se associam riscos potenciais de incidentes e acidentes;
- b) Admitidos os cenários, definem-se condições de dimensionamento que, através da conveniente especificação dos parâmetros representativos das acções e suas combinações, dos materiais da estrutura e da fundação e das técnicas de construção e exploração, envolvem estrategicamente as diferentes situações que se irão verificar durante a vida da obra;
- c) O corpo da barragem e suas fundações devem ser considerados como um conjunto e, neste mesmo contexto, devem ter-se em atenção as interações entre as diversas estruturas, designadamente entre a barragem, órgãos de segurança e exploração e os taludes da albufeira;
- d) A diminuição do risco associado à construção e exploração das obras pode originar um acréscimo do seu custo, pelo que há que procurar o menor custo compatível com a segurança.

2 — Para quantificação da segurança das barragens em relação a cada cenário deve ter-se presente:

- a) A quantificação em termos de probabilidade de ruptura por deslizamento é difícil, pois embora existam estimativas das ordens de grandeza desta probabilidade, obtidas a partir de estudos estatísticos, não se dispõe em regra de informação adequada sobre as distribuições estatísticas das acções e das características dos materiais;
- b) Atendendo ao que ficou exposto na alínea a), resulta que a quantificação da segurança em relação à ruptura de barragens de aterro deve fazer-se, de acordo com a prática actual, por intermédio de um coeficiente de segurança único;
- c) O mencionado coeficiente de segurança é o factor que deve afectar as forças resistentes que se desenvolvem ao longo de uma superfície de deslizamento potencial crítica para que estas igualem as forças instabilizadoras ao longo da referida superfície;
- d) A segurança relativamente à ruptura hidráulica, quer em análise do tipo pontual quer global, também se quantifica através de um coeficiente de segurança único;
- e) É também muito difícil a quantificação probabilística da ocorrência de incidentes por deformações excessivas, razão pela qual, de acordo com a prática habitual, o nível de segurança exigido em relação à ruptura assume valores tais que garantem também a funcionalidade da obra deste ponto de vista.

3 — No dimensionamento das barragens devem considerar-se os seguintes passos:

- a) Identificação dos principais cenários e definição das situações de dimensionamento;
- b) Caracterização das acções, materiais e estruturas e análise destas últimas com vista a obter as respectivas respostas;
- c) Verificação das condições de funcionalidade e segurança, tendo em particular atenção as prescrições do projecto que, complementarmente a este dimensionamento, contribuem para as satisfazer.

4 — Os erros humanos são de importância capital na ocorrência de acidentes e não devem ser anulados por sobredimensionamento, mas por medidas adequadas de garantia de qualidade no projecto, na construção, na exploração e no controlo de segurança, sendo de destacar como mais relevantes, na fase de projecto, os erros cometidos:

- a) Na identificação dos cenários, na definição e escolha dos modelos e dos métodos de dimensionamento;
- b) Na definição das disposições do projecto;
- c) No estudo da caracterização e do tratamento das fundações;
- d) No estudo dos materiais e dos processos construtivos;
- e) Na elaboração do antepiano de observação.

Artigo 45.º

Situações de dimensionamento para os diferentes cenários

1 — A identificação dos principais cenários para cada tipo de obra deve ter em consideração, além da experiência anterior com obras análogas, aspectos específicos da obra em causa, relacionados, nomeadamente:

- a) Com características hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas, térmicas, sismológicas e geotécnicas do local da obra, definidas tal como especificado nos artigos 6.º a 10.º e com as finalidades do aproveitamento;
- b) Com as características da estrutura e as propriedades dos materiais da construção;
- c) Com os processos de construção, o plano do primeiro enchimento e o tipo de exploração da albufeira, designadamente com a possibilidade do seu esvaziamento total ou parcial;
- d) Com as condições de manutenção e observação.

2 — Para verificação das condições de segurança para os cenários referidos no n.º 1 e tendo em linha de conta o seu carácter corrente ou excepcional, devem definir-se situações de dimensionamento que permitam verificar a estabilidade mecânica e hidráulica, podendo ainda quantificar-se os estados de tensão e deformação instalados durante as fases de construção, primeiro enchimento e exploração (incluindo esvaziamentos rápidos).

3 — Para além de outras situações de dimensionamento que se julgue necessárias, deve também contemplar-se a sobreposição do sismo base de projecto (SBP) com situações de exploração corrente, designadamente a de pleno armazenamento.

Artigo 46.º

Modelos e métodos de dimensionamento

1 — Para uma determinada solução estrutural, o estudo das diferentes situações de dimensionamento deve ser efectuado tendo em atenção as características dos materiais (artigo 37.º), os modelos das acções (artigos 38.º a 43.º) e a natureza das fundações (artigo 34.º).

2 — Na definição dos modelos estruturais das barragens de aterro deve ter-se em consideração que:

- a) O comportamento mecânico dos materiais dos aterros e das fundações pode considerar-se elástico (linear ou não linear), rígido-plástico ou ainda elasto-plástico (eventualmente com endurecimento ou amolecimento); para certas situações haverá ainda necessidade de se considerar comportamento visco-elástico ou mesmo elasto-visco-plástico;
- b) Certos materiais incoerentes a usar na barragem ou constituintes da fundação podem sofrer liquefacção;
- c) A escolha da reologia mais adequada para os materiais depende do tipo de dimensionamento em causa, bem como do risco potencial e envergadura da obra;
- d) A percolação nos materiais dos aterros e das fundações pode ser descrita considerando escoamentos laminares (caso mais frequente) ou turbulentos;
- e) A análise da segurança dos sistemas de filtros e drenos deve basear-se em critérios de comparação de granulometrias.

3 — Sempre que o grau de conhecimento das pressões neutras o justifique, os métodos de dimensionamento devem ser aplicados em termos de tensões efectivas.

4 — Os métodos usados para estudo dos modelos referidos serão normalmente métodos matemáticos (analíticos ou numéricos), devendo a fiabilidade dos métodos e dos modelos de análise estrutural ser julgada confrontando as previsões deles deduzidas com resultados da observação de obras.

Artigo 47.º

Verificação da segurança relativamente ao colapso e à funcionalidade para os diversos cenários

1 — Na quantificação da segurança relativamente ao colapso para situações de dimensionamento associadas a condições de exploração normal deve ter-se em conta que:

- a) Em análise de estabilidade ao deslizamento empregando métodos de equilíbrio limite, os coeficientes de segurança devem ser, pelo menos, de 1,4 para a fase de construção, de 1,5 para a fase de pleno armazenamento e de 1,3 para as situações de esvaziamento rápido;

b) Em análises de estabilidade hidráulica relacionadas com gradientes de saída, a razão entre forças devidas ao peso próprio e forças de percolação deve estar compreendida entre 3 e 5;

c) No dimensionamento de filtros críticos (filtros adjacentes ao paramento de jusante dos núcleos), a relação entre o caudal a considerar no dimensionamento da capacidade colectora do filtro e o caudal deduzido da análise do escoamento através do núcleo, na situação de pleno armazenamento, deve ser 100, pelo menos.

2 — Na quantificação da segurança usando métodos de equilíbrio limite para situações de ocorrência excepcional (como é o caso de esvaziamentos rápidos em certas circunstâncias), os coeficientes de segurança devem ser pelo menos de 1,1, mas quando se considerem acções sísmicas, o coeficiente de segurança pode ser inferior à unidade, tendo porém de verificar-se condições especificadas para as deformações admissíveis.

3 — Na avaliação da funcionalidade para os cenários correntes, quantificar-se-ão os assentamentos nos aterros e nas fundações, verificando se são compatíveis com o comportamento pretendido para a estrutura, suas fundações e órgãos anexos, averiguando-se também se as eventuais alterações dos revestimentos dos paramentos, dos órgãos de estanquidade, dos filtros e dos drenos são de molde a não afectar a funcionalidade da obra.

4 — Como aspectos gerais deve-se ainda ter em conta que:

- a) Para cenários de ocorrência excepcional podem ser consentidas deformações apreciáveis e até deteriorações, desde que a obra fique em condições de assegurar a retenção da água da albufeira até que as necessárias reparações sejam efectuadas;
- b) Devem considerar-se combinações dos parâmetros relevantes de forma a obter os efeitos mais desfavoráveis, assegurando-se que tais efeitos não comprometem o comportamento da barragem relativamente ao colapso ou à funcionalidade, consoante o caso, devendo ter-se em conta a dispersão dos parâmetros em causa.

Artigo 48.º

Outras disposições do projecto

1 — Entre o nível de máxima cheia e a cota do coroamento da barragem deve existir uma folga, fixada em função do regime de ventos, do *fetch* e do grau do conhecimento das condições hidrológicas, devendo ainda, em regiões sísmicas, a folga ser aumentada, para fazer face a assentamentos adicionais.

2 — O coroamento deve ser adequadamente sobreelevado para compensar os assentamentos que os aterros sofrerão, durante a vida da barragem, em consequência de consolidação hidrodinâmica, fluência ou de alteração brusca da estrutura do solo.

3 — A largura do coroamento, em regra não inferior a 3 m, deve ser justificada em função da altura e importância da obra, do risco sísmico do local, da natureza dos materiais a empregar, da configuração da linha de saturação com a albufeira cheia, das condições práticas de construção e das exigências da circulação viária prevista.

4 — No que se refere aos paramentos há a notar que:

- a) O paramento de montante deve ser protegido da acção das vagas tendo para isso de se levar em conta o regime de ventos e o *fetch* da albufeira;
- b) O paramento de jusante deve ser adequadamente protegido em relação à acção erosiva da chuva e do vento e também de danificações causadas por animais;
- c) Ainda em relação ao paramento de jusante, é de recomendar, se ele for extenso, que seja dotado de bermas, com as respectivas valetas.

CAPÍTULO V

Normas para os órgãos de segurança e exploração

Artigo 49.º

Descarregador de cheias

1 — O descarregador de cheias tem por finalidade assegurar a descarga da cheia de projecto, sem auxílio de outros órgãos, para garantir a segurança da barragem de modo a não afectar as populações, as vias de comunicação e outras obras.

2 — O descarregador é caracterizado essencialmente pelas suas formas, implantação e materiais de que é construído, devendo do seu projecto constar:

- a) A justificação da solução adoptada, em função do tipo da barragem, das condições hidrológicas, topográficas, geológicas, sismológicas e geotécnicas do local, dos caudais a descarregar e dos condicionamentos impostos a esses caudais e à sua restituição a jusante;
- b) Os critérios, modelos e métodos de análise que presidiram ao dimensionamento hidráulico do descarregador de cheias, podendo ser tidos em consideração os procedimentos seguintes: dispor de uma reserva adicional do volume da albufeira para encaixar parte da cheia, quando a exploração o permitir; atender aos condicionamentos quanto ao nível máximo permitido na albufeira; ter em conta o risco de sucessão de cheias em intervalos pequenos; prever a existência de descarregador fusível, sempre que as condições topográficas e geotécnicas o permitirem, sobretudo quando a hidrologia for mal conhecida;
- c) Os critérios, modelos e métodos de análise que presidiram ao dimensionamento estrutural dos vários elementos do descarregador de cheias, devendo ser indicados os cenários correntes e de ruptura e as situações consideradas no dimensionamento;
- d) A demonstração de que não se produzirão, em caso algum, erosões, deteriorações dos revestimentos e vibrações que ponham em perigo a estabilidade da obra;
- e) A descrição dos órgãos de obturação e regulação e justificação das soluções adoptadas;
- f) As soluções para obturações de emergência, reparações, manutenção e inspecções de rotina.

Artigo 50.º

Descargas de meio fundo e de fundo

1 — As descargas de meio fundo e de fundo destinam-se a esvaziar a albufeira até aos respectivos níveis, sendo ainda de notar que:

- a) As descargas de fundo, colocadas a níveis baixos, também permitem descarregar materiais sólidos finos;
- b) Em barragens de grande altura, e quando tal se justifique, devem existir descarregadores de superfície, descargas de meio fundo e de fundo.

2 — Do projecto das descargas de meio fundo e de fundo devem constar:

- a) A justificação das soluções adoptadas para o número, localização e dimensionamento destes órgãos em função do tipo de obra, dos caudais a descarregar e das condições topográficas, geológicas, sismológicas e geotécnicas do local;
- b) Os critérios, modelos e métodos de análise adoptados para o dimensionamento hidráulico destes órgãos;
- c) Os critérios, modelos e métodos de análise adoptados para o dimensionamento estrutural destes órgãos, devendo ser indicados os cenários correntes e de ruptura e as situações consideradas no dimensionamento estrutural;
- d) A descrição dos órgãos de obturação e regulação (comportas e válvulas) e justificação das soluções adoptadas;
- e) As soluções para a restituição dos caudais a jusante em condições de segurança;
- f) As soluções para protecção das entradas (grades ou grelhas);
- g) As soluções para obturações de emergência, reparações, manutenção e inspecções de rotina.

Artigo 51.º

Tomada de água

1 — A tomada de água destina-se a retirar caudais da albufeira, devidamente controlados, e pode situar-se na barragem ou fora dela.

2 — Do projecto da tomada de água devem constar:

- a) A justificação da solução adoptada, de acordo com os caudais a derivar, com o caudal sólido, com o tipo de barragem e central e com condições hidrológicas, topográficas, geológicas, sismológicas e geotécnicas do local;
- b) Os critérios, modelos e métodos de análise que presidiram aos dimensionamentos hidráulico e estrutural deste órgão, devendo ser indicados os cenários correntes e de ruptura e as situações consideradas no dimensionamento estrutural;
- c) As soluções adoptadas para a restituição dos caudais;

- d) As soluções para protecção das entradas (grades e grelhas);
- e) As soluções para obturações de emergência, reparações, manutenção e inspecção de rotina.

Artigo 52.º

Central e circuito hidráulico associados à barragem

1 — Quando a central está junto da barragem ou integrada no corpo desta, a central e o circuito hidráulico devem obedecer às mesmas disposições de segurança exigidas para a barragem.

2 — Do projecto devem constar:

- a) A justificação da solução adoptada em função do tipo de barragem, tipo da central, condições topográficas, geológicas, geotécnicas e sismológicas do local e caudais a turbinar ou a elevar;
- b) Os critérios, modelos e métodos de análise que presidiram ao dimensionamento energético, hidráulico e estrutural, devendo ser indicados os cenários correntes e de ruptura e as situações consideradas no dimensionamento estrutural;
- c) As soluções adoptadas para as condutas envolvidas pelo betão, amarrações para evitar a encurvadura, reforços para tensões de tracção e de compressão, bem como o dimensionamento das armaduras do betão envolvente;
- d) As soluções adoptadas para atender aos efeitos das possíveis vibrações provocadas pelo funcionamento dos equipamentos;
- e) As soluções para obturações de emergência, enchimento e esvaziamento das condutas forçadas, reparações, manutenção e inspecções de rotina.

Artigo 53.º

Restituição

1 — Deve ser garantida a segurança da restituição efectuada pelos descarregadores de cheias, descargas de meio fundo e de fundo e tomadas de água.

2 — Do projecto devem constar:

- a) A justificação dos dispositivos de dissipação da energia proveniente dos descarregamentos e de defesa do leito e margens do curso de água a jusante contra erosões inconvenientes;
- b) A previsão das erosões e seu tipo para se poderem projectar os dispositivos de protecção adequados;
- c) A definição dos dispositivos adequados para evitar danos significativos na bacia de dissipação, nas margens e no leito;
- d) Os critérios, modelos e métodos de análise que presidiram ao dimensionamento hidráulico e estrutural da restituição dos vários órgãos, com indicação dos cenários correntes e de ruptura e das situações consideradas no dimensionamento estrutural;
- e) As soluções para reparações, manutenção e inspecções de rotina.

Artigo 54.º

Equipamentos de regulação e de obturação

1 — Estes equipamentos destinam-se à regulação de caudais e obturação dos órgãos referidos neste capítulo, sendo de notar que:

- a) Os órgãos de comando e a energia disponível para a operação desses equipamentos são de primordial importância pelas implicações que têm na segurança da barragem;
- b) Os equipamentos dos descarregadores de cheias poderão ser manobrados automaticamente com base em indicações fornecidas por sistemas de previsão.

2 — Do projecto devem constar:

- a) A justificação dos equipamentos de regulação e de obturação adoptados em função do tipo da barragem a que se destinam e da estrutura do local onde vão actuar e a indicação das leis de abertura e fecho das comportas;
- b) A previsão da manobra dos órgãos de regulação e de obturação por meios manuais e mecânicos, estes alimentados com energia proveniente de duas fontes diferentes e totalmente independentes;
- c) Os meios que garantem o acesso aos mecanismos de manobra dos equipamentos de regulação e de obturação;
- d) A previsão de situações de funcionamento para cenários correntes e de ruptura, designadamente avarias, bloqueamentos,

- falta de acesso, rupturas de comportas, pelas implicações na segurança da barragem e das zonas a jusante e a montante;
- e) As soluções para reparações, manutenção e inspecções de rotina.

CAPÍTULO VI

Normas relativas à albufeira

Artigo 55.º

Aspectos gerais

1 — O projecto deve conter a planta da albufeira a uma escala que permita fazer o cálculo das superfícies inundadas e dos volumes armazenados e traçar as curvas respectivas, que também devem figurar no projecto.

2 — Do projecto devem constar:

- Os limites da zona de protecção da albufeira e os condicionamentos a observar na construção de edifícios, no estabelecimento de indústrias e no exercício de actividades nessa zona;
- As utilizações secundárias compatíveis com as finalidades principais da albufeira e as condições em que podem ser exercidas;
- O estudo do impacte produzido pela albufeira nos seus variados aspectos, designadamente ambiental, ecológico, climático, hidroológico e histórico-cultural;
- O estudo da desmatização da albufeira;
- A previsão das características da água da albufeira.

Artigo 56.º

Estudos da albufeira

1 — Os estudos referidos no artigo 7.º devem abranger a zona da albufeira, com especial atenção para as formações mais permeáveis, solúveis ou erodíveis, o que permitirá fazer a previsão dos caudais perdidos por infiltração, inclusive para vales colaterais, e tomar as medidas necessárias para evitar ou diminuir essas perdas.

2 — Os estudos referidos no artigo 9.º devem também abranger a albufeira, nomeadamente as zonas que ofereçam dúvidas.

3 — A estabilidade das margens deve ser calculada com base nos estudos referidos no número anterior, adoptando-se medidas para assegurar por meio de drenagem, ancoragem, pregagem e desmonte de blocos ou de zonas instáveis.

4 — Do projecto devem constar:

- O estudo do assoreamento da albufeira baseado na avaliação da quantidade de materiais sólidos transportados pela água em suspensão e por arrastamento;
- A previsão dos movimentos horizontais e verticais do vale provocados pelo peso da água e sua infiltração no maciço das margens da albufeira, devido à sua repercussão no comportamento da obra;
- O estudo do regime de ventos, essencial para avaliação da altura das ondas geradas e portanto para fixação da folga;
- A previsão das perdas por evaporação.

Artigo 57.º

Cadastro

1 — Do projecto deve constar um cadastro da zona da albufeira que permita fornecer elementos necessários aos estudos referidos no artigo 4.º e avaliar o custo das expropriações.

2 — Deste cadastro devem constar os elementos adiante indicados e caracterizados de forma a poder-se avaliar o seu valor de reposição:

- Rede de comunicações, com as respectivas obras de arte;
- Outro equipamento social além do referido na alínea a), tal como escolas, hospitais, quartéis, serviços públicos, igrejas e cemitérios;
- Ocupação agrícola ou industrial, a montante da barragem e a jusante;
- Ocupação populacional, isto é, povoações, habitações e outros bens imóveis.

Artigo 58.º

Área inundável em caso de ruptura

1 — O projecto deve conter o estudo da zona inundável a jusante em caso de ruptura da barragem, considerando as hipóteses da ruptura súbita e progressiva, parcial ou total, conforme o modo de ruptura mais provável.

2 — Com os elementos do artigo 57.º deve ser feita a avaliação dos prejuízos materiais e da eventual perda de vidas humanas, avaliação essa que permitirá calcular o risco potencial que a barragem representa.

3 — Devem ser indicadas e assinaladas as zonas de segurança, os seus acessos, um sistema de aviso e alerta a instalar na zona e o plano de evacuação da área inundável.

4 — Este estudo deve ter em conta a possível existência de barragens em cascata.

ANEXO I

Quadro referido na alínea h) do n.º 3 do artigo 6.º

Período de retorno da cheia de projecto, em anos

Barragem		Risco potencial	
Betão	Aterro	Elevado	Significativo
$h \geq 100$	$h \geq 50$	10 000 a 5 000	5 000 a 1 000
$50 \leq h < 100$	$15 \leq h < 50$	5 000 a 1 000	1 000
$15 \leq h < 50$	$h < 15$	1 000	1 000
$h < 15$	—	1 000	500

h — altura da barragem, em metros.

Portaria n.º 847/93

de 10 de Setembro

O Regulamento de Segurança de Barragens dispõe, com vista à sua boa execução, a elaboração de normas relativas ao projecto, à construção, à exploração e à observação e inspecção de barragens.

As Normas de Observação e Inspeção de Barragens dão cumprimento, na parte que lhes cabe, àquela disposição legal, estabelecendo os princípios gerais que devem orientar a execução das correspondentes actividades, de modo a permitir a aferição dos critérios de projecto e a avaliação das condições de segurança ao longo da vida das obras.

Na elaboração destas Normas foram tidas em conta a experiência portuguesa e as orientações recentes definidas pelos organismos internacionais competentes.

Assim:

Manda o Governo, pelos Ministros da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações e do Ambiente e Recursos Naturais, ao abrigo do disposto no artigo 46.º do Regulamento de Segurança de Barragens, que integra o Decreto-Lei n.º 11/90, de 6 de Janeiro, que sejam aprovadas as Normas de Observação e Inspeção de Barragens, que se publicam em anexo e fazem parte integrante da presente portaria.

Ministérios da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações e do Ambiente e Recursos Naturais.

Assinada em 9 de Junho de 1993.

O Ministro da Defesa Nacional, *Joaquim Fernando Nogueira*. — O Ministro da Administração Interna, *Manuel Dias Loureiro*. — O Ministro da Agricultura, *Arlindo Marques da Cunha*. — O Ministro da Indústria e Energia, *Luís Fernando Mira Amaral*. — O Ministro das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Joaquim Martins Ferreira do Amaral*. — O Ministro do Ambiente e Recursos Naturais, *Carlos Alberto Diogo Soares Borrego*.