

2- Bimestre

INSTRUMENTAÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS

O interesse crescente pela segurança de barragens tem levado, em um número apreciável de países, à implementação de normas e critérios específicos para o projeto, construção, observação, inspeção e acompanhamento da operação de barragens e outras obras da engenharia geotécnica. Neste contexto, o monitoramento hidráulico-mecânico de barragens através da instalação de um adequado sistema de instrumentação desempenha um papel fundamental na avaliação do comportamento destas estruturas, tanto durante o período de construção quanto no regime de plena operação.

Através da leitura de valores de cargas de pressão, dos deslocamentos, vazões e tensões desenvolvidas no corpo da barragem propriamente dita, ou no maciço de fundação, é possível comparar-se quantidades experimentalmente medidas com aquelas previstas pelo projeto (fase de construção) ou estimadas para uma operação segura da barragem, sujeita, durante sua vida útil, a várias mudanças de carregamento causadas por flutuação do nível do reservatório, oscilações de temperatura, etc.



Objetivos básicos da instrumentação de barragens

Segundo o manual de instrumentação de barragens da U.S. Army Corps of Engineers (1995) os principais objetivos da instrumentação geotécnica podem ser agrupados dentro de quatro categorias, a saber: avaliações analíticas, previsão do desempenho futuro, avaliações legais e desenvolvimento e verificação de futuros empreendimentos. As avaliações analíticas consistem na análise dos dados obtidos a partir da instrumentação geotécnica para verificar parâmetros de projeto, hipóteses de modelagem e técnicas de construção, bem como estimar os efeitos de eventos adversos. As previsões de desempenho futuro referem-se às diversas formas de tratamento dos dados de instrumentação, executando-se previsões que podem confirmar condições normais de operação ou indicar riscos potenciais para a barragem. Os dados da instrumentação podem também ser bastante importantes no caso de avaliações legais e em litígios relacionados com a construção da barragem como, por exemplo, nas eventuais mudanças ocorridas nas condições de fluxo sub-superficial.

aspecto sobre o desenvolvimento e verificação de futuros empreendimentos se refere à análise do desempenho de uma barragem tanto na etapa de construção quanto na fase de operação, com o propósito de aperfeiçoar o estado-da-arte do projeto e da construção de barragens.

O Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (1996) estabeleceu como objetivos básicos da instrumentação os seguintes tópicos, agrupados de acordo com a etapa de desenvolvimento da barragem: construção, primeiro enchimento e operação.

Período de construção:

- Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias no comportamento da barragem como, por exemplo, condições térmicas que possam dar origem a fissuras em estruturas de concreto ou tensões de tração que possam causar fissuras transversais em aterros compactados

- Possibilitar soluções menos conservadoras, permitindo economia significativa para a obra. As barragens de Água Vermelha (entre Minas Gerais e Goiás) e Corumbá I (Goiás) foram construídas, totalmente a primeira e parcialmente a segunda, sobre espessas camadas de solo residual cuja remoção implicaria em elevados custos construtivos. Ambos os casos foram acompanhados da instalação de um abrangente programa de instrumentação para verificar o comportamento das obras sob tais maciços de fundação. Fornecer informações, por retro análise dos dados de instrumentação, a respeito dos valores dos parâmetros dos materiais que constituem a barragem e sua fundação.
- Possibilitar revisões do projeto durante o período construtivo, decorrentes, por exemplo, de análises térmicas do concreto versus intervalos de lançamento ou do acompanhamento do comportamento dos taludes de escavação

Período de enchimento:

- Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias que possam colocar em risco a segurança da estrutura como, por exemplo, desenvolvimento de pressões neutras elevadas indicando possíveis problemas com o sistema de drenos.
- Possibilitar avaliação do desempenho estrutural, geotécnico e hidráulico da obra, em função das comparações entre grandezas medidas “in-situ” e aquelas previstas por modelos teóricos ou experimentais de análise.
- Verificar a adequação das simplificações introduzidas nas hipóteses de projeto. Através de retro-análises com base nos dados de instrumentação é possível fazer-se uma análise dos modelos constitutivos selecionados para simular o comportamento dos materiais bem como verificar a eficiência da modelagem matemática e das técnicas numéricas empregadas para a sua solução.

Período de operação:

- Verificar se a barragem está apresentando um desempenho geral satisfatório, conforme previsto em projeto.
- Caracterizar o comportamento no tempo dos solos e/ou do maciço rochoso de fundação determinando o prazo necessário para a estabilização dos deslocamentos, tensões, supressões, vazões, etc.
- Caracterizar o comportamento no tempo das estruturas da barragem, levando-se também em conta os efeitos das condições termo ambientais.

Período de operação:

- Verificar se a barragem está apresentando um desempenho geral satisfatório, conforme previsto em projeto.
- Caracterizar o comportamento no tempo dos solos e/ou do maciço rochoso de fundação determinando o prazo necessário para a estabilização dos deslocamentos, tensões, supressões, vazões, etc.
- Caracterizar o comportamento no tempo das estruturas da barragem, levando-se também em conta os efeitos das condições termo ambientais.

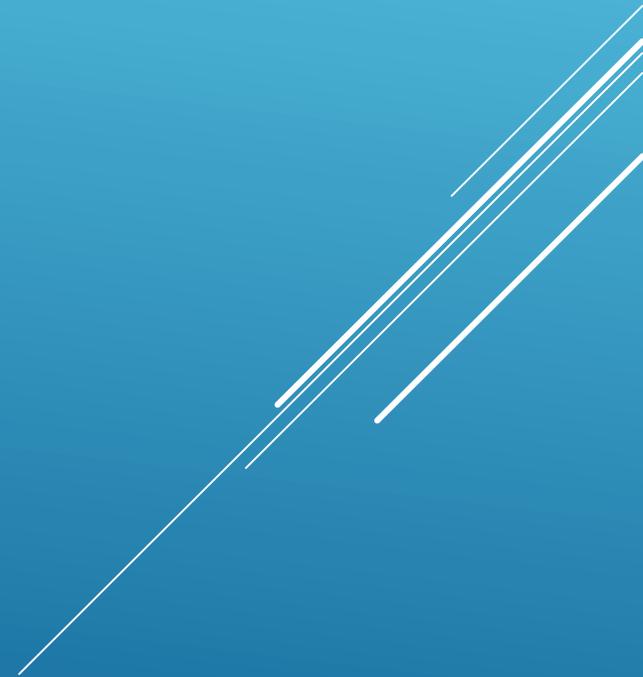
necessárias. É claro que por melhores que tenham sido o projeto de uma barragem e a fiscalização de sua construção, só será possível exercer um eficiente controle das condições de segurança da barragem se a mesma estiver sendo adequadamente inspecionada e monitorada através de instrumentação apropriada, operada por equipe treinada. Durante a vida útil da barragem, são necessárias obras periódicas de manutenção com a finalidade de preservar em bom estado as várias estruturas, assegurar superfícies hidráulicas satisfatórias e garantir a operacionalidade dos equipamentos eletromecânicos e dos instrumentos de auscultação. No caso de barragens de enrocamento, as obras de manutenção mais usuais são:

- Limpeza de canaletas de drenagem, de caixas de dissipação e poços de saída do sistema de drenagem interna.
 - Conservação do rip-rap e dos gramados de proteção dos taludes.
 - Tratamento das urgências d'água junto ao pé do talude de jusante.
 - Tratamento de trincas na superfície dos taludes ou na crista da barragem.
 - Recomposição do enrocamento de pé quando da ocorrência de erosões provocadas por condições extremas de operação do vertedouro.
 - Limpeza e manutenção dos instrumentos de auscultação.
- 

O planejamento da instrumentação de barragens de terra e/ou enrocamento é fundamentalmente influenciado pelas características dos materiais de construção e das fundações, bem como da geometria do núcleo impermeável, se espesso ou delgado, central ou inclinado. Os instrumentos devem ser localizados racionalmente para assegurar uma quantidade máxima de informações a um custo mínimo. Instrumentos mais complexos e dispendiosos somente devem ser instalados se eles forem realmente capazes de prever a ocorrência de eventos danosos à segurança, possibilitando assim uma intervenção antecipada para evitar ou minimizar seus efeitos. É usual localizar-se uma quantidade maior de instrumentos em uma ou mais seções principais, tais como a seção de altura máxima, seções em zonas de descontinuidades ou junto a ombreiras abruptas. As grandezas medidas são normalmente os deslocamentos, tensões, cargas de pressão (pressões neutras) e vazões de percolação.

Em alguns empreendimentos, os medidores de vazão são instalados em um ou mais locais para monitorar a percolação através e sob a barragem. Tais medidores, devido a sua indiscutível importância, podem ser equipados com dispositivos sensores e transmissores de dados via radio, micro-ondas ou cabos, encaminhando assim o fluxo de informações constantemente aos sistemas de aquisição de dados. Em muitos casos, os valores de vazão constituem-se em importantes evidências da ocorrência de problemas no comportamento geotécnico de barragens, sendo muito natural, portanto, que a instalação destes medidores seja uma prática de longa data na construção de barragens no Brasil e no exterior. Legislações de vários países, como Japão, Noruega e França, impõem a instalação de medidores de vazão como componente essencial de um projeto de instrumentação de barragens.

As medidas de poro-pressões são importantes no estudo de estabilidade de barragens, na avaliação da eficiência dos drenos (uma ascensão progressiva da linha freática pode indicar colmatação nos sistemas de drenagem) e na verificação da possibilidade da ocorrência de fraturamento hidráulico.



Análise dos dados de instrumentação

A previsão do comportamento de barragens a curto prazo (construção e primeiro enchimento do reservatório, tipicamente) geralmente é baseada em um método determinístico, analítico ou numérico, no qual um modelo matemático do comportamento da estrutura, incluindo relações constitutivas dos diferentes materiais, geometria do problema, condições iniciais e de contorno, etc., é selecionado a priori. As estimativas de comportamento hidráulico e mecânico são feitas com grau de precisão variável, dependendo da qualidade dos dados disponíveis e da complexidade do modelo utilizado, variando desde simples formulações empíricas a sofisticadas simulações numéricas.

A previsão do comportamento de barragens a longo prazo em geral envolve a análise de uma quantidade considerável de dados, provenientes das leituras da instrumentação ao longo de grandes períodos de tempo, cuja interpretação é mais convenientemente executada através de métodos estatísticos e/ou probabilísticos



CRITERIOS DE SEGURANÇA PARA A REABILITAÇÃO DE BARRAGENS

Na análise da segurança de uma barragem devem ser levados em consideração

os seguintes aspectos:

- Suficiência Hidrológica;
- Integridade Estrutural;
- Confiabilidade Operacional;
- Compatibilidade Ambiental;
- Viabilidade Econômica e Financeira.

DEFINICAO DA SEGURANCA DE BARRAGENS

Quando se discute o tema de segurança de barragens, a abordagem do assunto fica frequentemente limitado a segurança estrutural e hidrológica. A razão pela associação quase automática do termo segurança a passagem de cheias e integridade estrutural a certamente a consciência do perigo inerente a um possível acidente de barragem.

Conseqüentemente os esforços de aperfeiçoar a segurança se dirigem principalmente a otimização da estabilidade física e confiabilidade operacional, dos componentes estruturais e do equipamento mecânico, das próprias barragens e suas instalações conexas.

CONDICOES E CONDICIONANTES DE ENVELHECIMENTO

A grande variedade de forças e agentes que provocam o envelhecimento de uma barragem pode ser dividida em fatores materiais e não materiais. Os fenômenos resultantes da primeira categoria destes fatores se manifestam fisicamente e sua evolução pode ser observada e medida, como, por exemplo, a deterioração por intemperismo, o desgaste natural do equipamento, a fadiga sob solicitações externas, e alterações ambientais que afetam a integridade da barragens e suas fundações e ombreiras. A ação destes fatores pode, em grande parte, ser neutralizada ou, pelo menos postergada, por uma manutenção eficiente

Principalmente neste ponto eles se distinguem claramente dos fatores não materiais, como mudanças nos requisitos operacionais, a evolução tecnológica, critérios de segurança mais exigentes e outros, que levam a obsolescência mesmo se qualquer deterioração e desgaste material pudesse ser evitado por uma manutenção perfeita. Estruturas e equipamentos bem mantidos dificilmente chegam a um estado de envelhecimento que exige extensas obras de recuperação para corrigir defeitos provocados por deterioração material. Há, porém, circunstâncias que fogem do controle das entidades concessionárias, restringindo assim a liberdade de ação das mesmas, na manutenção das suas barragens. Varias barragens antigas nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro evidenciam estas circunstâncias

Além das causas físicas, a razão principal do envelhecimento e a queda em obsolescência e insuficiência operacional. Nos últimos 50 anos, tanto a evolução científica e tecnológica quanto a experiência prática acumulada na construção de bem mais da metade do número das barragens atualmente existentes no mundo, resultaram em grandes avanços em todas as disciplinas de engenharia envolvidas na concepção e implantação de obras hidráulicas. Novos conhecimentos teóricos, métodos aperfeiçoados na produção e no emprego de materiais, e alterações profundas nas técnicas de construção levaram a necessidade de revisar os critérios de segurança.

Em paralelo, tanto o enorme aumento da demanda de água e energia elétrica, quanto a crescente compreensão da necessidade de proteger e conservar o meio ambiente, levaram a alterações consideráveis dos padrões operacionais dos reservatórios que, de sua vez, requerem novos conceitos de segurança. Finalmente, o acelerado crescimento demográfico e sua concentração regional, especialmente nos vales dos grandes rios, obrigam a reformulação substancial das regras de operação das barragens ali existentes, das quais vários figuram entre as mais antigas do país.

ANALISE DE RISCO

Durante os últimos dez a quinze anos, esquemas de avaliação de segurança de barragens foram introduzidos em vários países, tanto por ação legal quanto por iniciativa dos proprietários de barragens e organizações profissionais de engenheiros especializados em obras hidráulicas. A maioria destes esquemas requer, como passo inicial, a avaliação da segurança das barragens existentes, em âmbito regional ou nacional, especificando diretrizes ou regras para classificação do potencial de risco de cada barragem. Os resultados desta classificação estão sendo usados para finalidades que variam de uma simples determinação de prioridade na sequência da recuperação de barragens não seguras, até a fixação do grau de reabilitação em dependência das consequências e da potencialidade de destruição, caso a barragem rompa.

No Brasil ainda não existe nenhuma legislação específica de segurança de barragens . Mais cedo ou mais tarde, porém, uma lei que regulamenta esta questão. tornar-se-á indispensável. Neste contexto parece indicado refletir sobre a utilidade e as vantagens, mas também sobre as limitações inerentes, da classificação do potencial de risco, em esquemas de avaliação da segurança de barragens e sua reabilitação. Basicamente deve ser distinguido entre a classificação de perigo e a avaliação de risco. Entende-se como classificação de perigo (em inglês: hazard rating) a quantificação da potencialidade da perda de vidas humanas , de danos materiais , de consequências indesejáveis ao meio ambiente, e dos prejuízos causados a terceiros, por queda de produção, no caso hipotético da ruptura da barragem.

A classificação de perigo se baseia na densidade demográfica e nas características socioeconômicas do vale do rio a jusante da barragem, sua topografia, geomorfologia e ecologia, e no tamanho da barragem e do reservatório. Entre estes elementos determinantes a população e a situação sócio-econômica são fatores variáveis cujo valor pode mudar rapidamente. Em regiões em desenvolvimento a implantação de uma barragem causa frequentemente um aumento de atividades econômicas, acompanhado por um aumento substancial da população, que pode perdurar por um período longo. Como mesmo alterações locais do uso de terra e número de habitantes podem causar a desatualização da classificação de perigo, será necessário verificar o resultado periodicamente

A classificação de perigo não leva em conta o estado em que se encontra a barragem, no que se refere a sua segurança estrutural e hidrológica ou, em outras palavras, a probabilidade da ocorrência da sua ruptura. A quantificação desta probabilidade, mediante a verificação da estabilidade estrutural e capacidade de descarga segura de cheias, o objeto de uma avaliação de risco. Apenas a combinação ponderada dos resultados desta com os da classificação de perigo atualizada fornece uma indicação quanto a ameaça relativa que uma determinada barragem representa a segurança pública.

Enquanto a classificação de perigo 6 recomendada para determinar a prioridade de realizar a avaliação de risco num numero elevado de barragens, e exclusivamente esta que indicara se a segurança de cada barragem individual e satisfatória ou não, e em que sentido uma barragem considerada não segura devera ser reformada. Dentro do processo de analise de risco, considerações econômicas devem ser levadas em conta apenas depois de se ter chegado a uma conclusão baseada em razoes técnicas. Se a insuficiência de recursos financeiros impedir a correção imediata de uma deficiência detectada de segurança, medidas não estruturais, por exemplo o abaixamento do nível máximo operacional do reservatório, podem ser adotadas ate se completarem as necessárias obras de reabilitação.

CRITERIOS PARA PROJETOS DE RECUPERAÇÃO

Segurança Hidrológica

A análise de trabalhos publicados durante os últimos anos, em congressos internacionais, bem como a consulta das normas técnicas de vários países com longa tradição na construção e operação de barragens, revela uma variedade muito grande de critérios que estão sendo adotados para definir a cheia de projeto, para a construção de barragens novas. Pouco, no entanto, foi publicado quanto a critérios de segurança hidrológica que devem governar projetos de recuperação de barragens existentes. Uma diferença básica já existe na metodologia: predominantemente nos Estados Unidos está sendo preferido o método de Cheia Máxima Provável (CMP), enquanto que na Europa se dá preferência a processos probabilísticos que definem os períodos de recorrência de cheias hipotéticas. Sem entrar na discussão dos méritos de cada método, sabe-se que os resultados de ambos dependem principalmente da escolha das fórmulas e/ou coeficientes.

que representam as características ambientais cuja influencia determina duração e pico das cheias. Dependendo desta escolha, os resultados podem variar consideravelmente. Mas mesmo com um ou outro método aplicado corretamente, permanecem as exceções e reduções pelas quais eventualmente se alteram os resultados obtidos, seguindo as normas que mudam, as vezes substancialmente, de um país ao outro. Para demonstrar as diferenças de critério na determinação da cheia de projeto, citam-se os seguintes exemplos. O Corps of Engineers, responsável pela reavaliação das barragens federais nos E.U.A., nos anos de 1972 a 1981, baseava as suas determinações na combinação da classificação de perigo (hazard rating) com a altura da barragem e o volume do reservatório. Já na União Soviética e na China, a cheia de projeto para uma usina hidrelétrica é determinada levando em conta o tamanho da barragem, o volume do reservatório e a importância da usina, isto é, a sua capacidade instalada. Na Índia, a maioria das barragens se destina ao armazenamento de água para irrigação.

Estas barragens são classificadas, inclusive para a determinação da cheia de projeto, não com base na sua altura e o volume de água armazenada, mas Segundo o tamanho da área irrigada servida pela barragem. Uma pesquisa bibliográfica de âmbito internacional revelou que as cheias de projeto determinadas para a reabilitação de barragens consideradas hidro logicamente não seguras, variam de 50% a 100% da CMP, e de 100 a 10.000 anos de recorrência.



Resta, portanto, apenas recomendar que a segurança hidrológica, quando considerada insatisfatória numa barragem existente, seja elevada até o nível mais alto compatível, em cada país ou região, com as normas e regulamentos em vigor. Convém, porém, destacar que devem ser sempre empregados métodos modernos na verificação da capacidade de descarga de um vertedouro para se formar uma imagem realista quanto ao comportamento da barragem na passagem de cheias, independentemente de eventuais exceções ou facilidades permitidas pelas normas em vigor, inclusive para providenciar uma base sólida que permite julgar se tais exceções são aplicáveis. Sem levar em conta quaisquer outras razões, a falta destas normas no Brasil é motivo suficiente para criar, sem perda de tempo, uma legislação que regulamenta a segurança de barragens e defina os critérios que, além dos aspectos puramente técnicos, também, dependem de decisões políticas.

Segurança Estrutural

Deficiência estrutural pode ser o resultado de manutenção insuficiente ou falta de reparos que, por qualquer razão deixaram de ser executados. Ela pode ser a consequência direta de danos causados por cheias ou sismos, ou da falta de correção de rotinas operacionais inadequadas. Certamente não há dúvida que qualquer deficiência estrutural, uma vez detectada, deve ser reparada sem demora, independentemente das circunstâncias que a têm causado. Uma questão frequentemente levantada neste contexto, e a dos critérios a seguir no projeto de reabilitação. Devem os defeitos meramente ser consertados para restabelecer o nível de segurança do projeto original, nível este que aparentemente provou sua suficiência pelo simples fato de que a barragem sobreviveu tantos anos desde a sua implementação? Ou deve a segurança ser elevada para corresponder a conceitos modernos que reflitam os atuais conhecimentos científicos e tecnológicos?

A restauração da estabilidade e das condições operacionais do projeto original e, com raras exceções, mais barata que a adaptação aos requisitos de segurança atuais. Um dos argumentos muito usados a que a diferença de custo poderia ser investida, com vantagem, em outros empreendimentos, para solucionar alguns dos muitos problemas de grandes necessidades e urgência. Em muitos casos este argumento é apoiado pelo fato inegável de que a restauração ao nível dos critérios do projeto original seria suficiente para garantir a operação sem grandes dificuldades, em condições normais, apesar da deficiência em relação aos requisitos de segurança atualmente considerados necessários.

Segurança Ambiental

Com a decisão a favor da implementação de uma barragem, depois de uma análise rigorosa dos problemas ambientais, o debate em torno dos mesmos deve terminar. No seu lugar deve ser iniciada a realização de medidas práticas destinadas para resolver ou, pelo menos, mitigar os problemas ecológicos inevitáveis.

Durante os primeiros anos de operação, as soluções adotadas devem ser objeto de observação e acompanhamento próximo, para possibilitar reajustes, caso estes se revelarem necessários.

Depois de uns dez anos de existência de um reservatório pode-se partir da hipótese de que o meio ambiente, no qual o mesmo tinha sido implantado, se adaptou as condições criadas pelo represamento, e atingiu um novo estado de equilíbrio. Este equilíbrio poderá ser afetado por alterações introduzidas por obras e medidas de reabilitação, especialmente se estas levam a modificações das regras de operação do reservatório. Perturbações ecológicas dificilmente resultam em problemas estruturais da barragem, mas o conceito que hoje inclui o meio ambiente nas considerações de segurança exige uma reanálise das condições ambientais, com ênfase nas consequências a serem esperadas das medidas de reabilitação. Os resultados desta análise devem ser compatíveis com os requisitos legais e os critérios geralmente considerados aceitáveis.

Caso estes não possam ser satisfeitos será indispensável reconsiderar o projeto e introduzir as precauções e medidas protecionistas necessárias.

Segurança Operacional , Econômica e Financeira

Segurança operacional e segurança econômica estão intimamente interligadas. Um retorno economicamente insuficiente afetara a segurança operacional e, vice-versa, a operação em condições não seguras dificilmente leva, a médio e longo prazo, a um resultado financeiramente satisfatório. Uma das exigências indispensáveis e, portanto, a remuneração por tarifas justas e realistas, ou seja, um retorno financeiro que, além de compensar os custos operacionais e uma boa manutenção, permite substituir as instalações depois de uma razoável período de depreciação, exigência vale tanto para a implantação inicial do empreendimento quanto a um projeto de reabilitação. Esta afirmação pode parecer trivial, mas a experiência em varias regiões do mundo demonstra que considerações deste tipo não são necessariamente entendidas como condição básica para a implementação e operação de uma barragem. Nestes casos, as consequências se manifestam quase sempre na insuficiência da segurança técnica.

Sem dúvida predomina o aspecto técnico quando se tratar da segurança de uma barragem. Ele é tão importante que se recomenda reservar, no orçamento da empresa operadora, uma quantia especial vinculada ao controle periódico da segurança técnica e operacional, pois a vigilância efetiva é a única forma de detectar em tempo, possíveis defeitos e deficiências que precisam ser corrigidos ou exigem, se por qualquer motivo a sua correção não for possível, a determinação de restrições operacionais. Um Rem muito importante para a execução segura de obras de recuperação de uma barragem é a disponibilidade pontual dos recursos financeiros necessários. Via de regra, obras desta natureza são dificultadas por restrições impostas pelas necessidades operacionais da empresa concessionária. É muito comum que a operação não possa ser interrompida durante o período de construção. Além destas imposições, as atividades na obra têm que obedecer a rigidez do cronograma ditada pelo regime hidrológico do rio.

A falta de recursos financeiros, mesmo se for apenas temporária, pode afetar a continuidade das atividades na obra. Qualquer atraso aumenta necessariamente o risco de não poder concluir fases essenciais da obra dentro dos períodos predeterminados pelos ciclos do regime fluvial. Se isto acontecer, a obra poderá ficar perigosamente despreparada para enfrentar a próxima estação de cheias. Infelizmente não faltam exemplos, inclusive no Brasil, em que circunstâncias desta natureza levaram ao insucesso e até acidentes sérios, de obras hidráulicas.



