

INSPEÇÕES REALIZADAS NAS USINAS DE FURNAS PARA DETECTAR REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

Agenor Antônio Bailão Galletti (*)

João Francisco Alves Silveira (**)

Moacir Alexandre Souza de Andrade (*)

Rogério Gama Peres (*)

(*) FURNAS Centrais Elétricas S.A.

(**) Consultor Independente

RESUMO

Este trabalho é um resumo das investigações de campo das Usinas em operação de FURNAS e estudos de laboratório, com ênfase na avaliação da reação álcali-agregado nas estruturas de concreto. Serão analisados aspectos como a inspeção visual, instrumentação, monitoração dos equipamentos eletromecânicos e ensaios de laboratórios.

INTRODUÇÃO

Este trabalho registra as observações relativas às inspeções das estruturas de concreto das Usinas Hidroelétricas Furnas, Peixoto (Mascarenhas de Moraes), Estreito (Luiz Carlos Barreto de Carvalho), Porto Colômbia e Marimbondo, realizadas durante o mês de abril de 1996.

O objetivo básico das inspeções foi analisar o comportamento das estruturas de concreto destas Usinas, sob o enfoque da reatividade álcali-agregado (RAA), no sentido de detectar eventuais indícios de fissuração, deformações, deslocamentos diferenciais, distorções, etc, que pudessem caracterizar este tipo de reatividade, assim como orientar a monitoração futura das estruturas.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS EMPREENDIMENTOS

A UHE Furnas foi construída no período 1958 a 1963, tendo integrado, juntamente com a Usina Três Marias, da CEMIG, as duas primeiras usinas de grande porte construídas no país.

Localiza-se no rio Grande, no Estado de Minas Gerais, a jusante da futura UHE Funil e a montante da UHE Mascarenhas de Moraes, em região de rochas quartzíticas.

A dosagem do concreto empregado na UHE Furnas apresentou teor de cimento médio da ordem de 180 kg/m³ a 200 kg/m³, tendo o teor de álcalis do cimento sido limitado a 0,60%, por ocasião da construção. Certificado emitido pelo IPT, por ocasião do período construtivo, apresenta o valor de 0,23% como teor de álcalis equivalente, não se sabendo se este representa um valor médio. De qualquer forma, verifica-se que o teor de álcalis dos concretos empregados na construção da UHE Furnas deve ter variado entre 0,5 kg/m³ a 0,8 kg/m³, sendo este último valor para a dosagem de 350 kg/m³, que foi o traço médio do concreto utilizado nos pilares do Vertedouro. Tratam-se, portanto, de teores de álcalis bastante baixos, quando comparados aos de outras obras.

A UHE Mascarenhas de Moraes, inicialmente denominada Peixoto, teve sua construção iniciada em 1953, pela CPFL "Companhia Paulista de Força e Luz", entrando em operação em 1957. Posteriormente, em 1966, sua capacidade instalada foi ampliada para 475 MW. Localiza-se a jusante da UHE Furnas e a montante da UHE Estreito, em região de rochas quartzíticas. Não se dispõe de informações sobre os traços do concreto empregado nesta obra, sobre o tipo de cimento utilizado e o seu teor de álcalis.

A UHE Estreito, atualmente designada UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho, com potência de 1.050 MW, foi construída entre 1965 e 1969, possuindo 28 anos de idade. Localiza-se a jusante da UHE Mascarenhas de Moraes e a montante da UHE Jaguará (640 MW), em região de rochas quartzíticas.

A dosagem do concreto empregado na UHE Estreito apresentou teor de cimento médio da ordem de 230 kg/m³ a 256 kg/m³, tendo o teor de álcalis do cimento sido limitado a 0,60%, por ocasião do período construtivo. Verifica-se que o teor de álcalis dos concretos empregados na construção desta barragem deve ter sido inferior a 1,5 kg/m³, podendo ter atingido 2,1 kg/m³

nos pilares do Vertedouro (admitindo-se consumo de cimento de 350 kg/m³), o que representa valores relativamente baixos.

A UHE Porto Colômbia localiza-se no Rio Grande, nos municípios de Planura (MG) e Guaíra (SP). Teve suas obras iniciadas em março/70 e o início da operação comercial em Junho de 1973, estando em operação há 24 anos. O comprimento total da barragem é de 1.960 m, com altura máxima da ordem de 40 m, sendo o volume total das estruturas de concreto de 430.690 m³ e potência gerada de 320 MW.

Os cimentos utilizados na construção da UHE Porto Colômbia foram provenientes das fábricas Itaú e Ponte Alta. O consumo médio acumulado de cimento foi de 266 kg/m³. Como agregado miúdo foram utilizadas areia natural e a composição desta com areia artificial, proveniente da central de britagem, em teores que variaram de 15% a 20%. Foram utilizados como agregado graúdo o basalto e o cascalho (proveniente de jazida natural), assim como a combinação de ambos. O cascalho, com dimensões máximas características de 19 mm a 38 mm e o basalto, com dimensões máximas características de 19 mm, 38 mm, 76 mm e 152 mm.

A UHE Marimbondo localiza-se no Rio Grande, municípios de Fronteira (MG) e Icém (SP). Teve suas obras iniciadas em maio/71 e o início da operação comercial em outubro/75, estando em operação há 22 anos. O comprimento total da barragem é de 3.630 m (530 m de barragem de concreto), com altura máxima da ordem de 90 m, sendo o volume total das estruturas de concreto de 1.115.370 m³ e potência gerada total de 1.440 MW.

Como agregado miúdo foi utilizada a areia natural, dragada do rio Grande, com módulo de finura médio de 2,10. O agregado graúdo utilizado nos concretos de Marimbondo foi obtido por britagem do basalto denso e são.

A UHE Itumbiara localiza-se no Rio Paranaíba, municípios de Itumbiara (GO) e Tupaciguara (MG). Teve suas obras iniciadas em novembro/73 e o início da operação comercial em março/80, estando em operação há 17 anos. O comprimento total da barragem é de 6.517 m, com altura máxima de 106 m, sendo o volume total das estruturas de concreto de 2.080.789 m³ e potência gerada de 2.100 MW.

Na construção da UHE Itumbiara utilizou-se o fly ash, com teor de substituição em relação ao cimento de 25% em volume sólido.

O consumo médio de cimento das Usinas de FURNAS está apresentado na Figura 1, exceto para a UHE Mascarenhas de Moraes, que não foi construída por FURNAS.

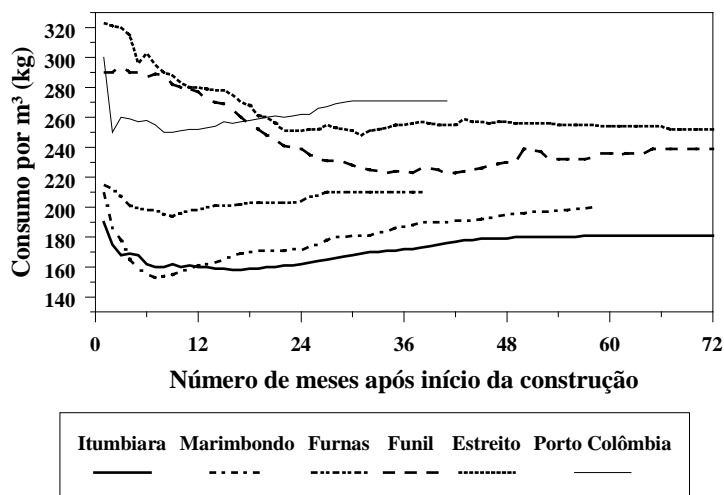


Figura 1 - Consumo de Médio de Cimento

PRINCIPAIS ASPECTOS DAS INSPEÇÕES DE CAMPO

UHE Furnas

Os seguintes locais das estruturas de concreto apresentam um quadro de fissuras superficiais característico da RAA: topo dos pilares do Vertedouro, a montante; lateral dos pilares do Vertedouro, a jusante; blocos defletores dos condutos forçados; superfície do salto de esqui. Tratam-se de fissuras tipo "mapa", interligadas geralmente entre si e superficiais. Nas Galerias de drenagem da fundação observam-se fissuras entre camadas de concretagem, típicas da RAA, devido provavelmente a expansão diferencial entre estas camadas.

No topo do Pilar 2 do Vertedouro, a montante, observa-se o deslocamento do concreto no encontro de duas vigas longitudinais do tabuleiro, provavelmente originadas por tensões de compressão transmitidas pela estrutura da Tomada d'água, através do Muro Central. A superfície rompida do concreto mostra que se trata de um deslocamento relativamente recente,

o que vem corroborar com a hipótese da mesma ter sido provocada pelo empuxo transmitido pela expansão da estrutura da Tomada d'água, descartando a possibilidade da mesma ter tido a sua origem em tensões de origem térmica.

Na região das juntas de contração entre blocos, na crista da barragem, não há evidências de deslocamentos diferenciais significativos entre blocos. O alinhamento do guarda-corpo, assim como dos trilhos do pórtico, também não evidenciam deslocamentos diferenciais entre blocos, visíveis à olho nu.

Ao longo das paredes e teto das galerias de drenagem, assim como das galerias de acesso às escotilhas do poço e tubo de sucção, existem inúmeras ocorrências de exsudação superficial de gel, com características de produtos da RAA.

No piso da sala de geradores, na Casa de Força, existem fissuras dispostas ao longo da direção longitudinal da Usina, com abertura geralmente inferior a 0,5 mm, que ocorrem tanto nas paredes do octógono (passantes), quanto na laje de piso, que podem estar relacionados à RAA. Esta observação decorre do fato dos estudos em modelo matemático, de usinas afetadas pela RAA, revelarem normalmente tensões de tração ao longo da direção montante-jusante, que explicariam a origem destas fissuras.

UHE Mascarenhas de Moraes

Na crista da Tomada d'água as juntas de contração entre blocos apresentam-se abertas, à exceção da junta entre a Tomada D'Água e o Bloco de Apoio esquerdo, que apresenta-se fechada, porém sem indícios de compressão elevada. Não se observam indícios de desalinhamento ao longo dos guarda-corpos de montante e de jusante. O aspecto visual do concreto do paramento de jusante é muito bom.

Na região da barragem em arco o aspecto geral do concreto é também muito bom. Na crista observam-se algumas áreas com fissuração tipo "mapa", característico da RAA, porém com fissuras fechadas e de pequena expressão. Não há indícios de movimentação diferencial entre blocos, apresentando-se as juntas de contração fechadas, a montante e a jusante. Deve-se atentar para o fato de que barragens em arco afetadas pela RAA tendem a apresentar

deslocamentos significativos da crista para montante, o que tende a provocar o fechamento das juntas a jusante e abertura a montante.

Na crista do Vertedouro constatou-se que as juntas de contração entre blocos apresentam-se bem abertas, não havendo nenhuma evidência de compressão no sentido longitudinal da estrutura. Na crista dos muros divisórios das calhas do Vertedouro constatou-se a ocorrência de fissuras transversais generalizadas, porém com profundidade da ordem de 0,5 m a 0,8 m.

Na galeria de drenagem da Tomada d'água constatou-se que o concreto apresenta-se em bom estado superficial, tendo sido observadas várias ocorrências de exsudação de gel, nas paredes e teto. Na Casa de Força constatou-se várias fissuras passantes nas paredes dos octógonos, que podem ter sua origem em tensões de origem térmica. Entretanto, a ocorrência de fissuras longitudinais no piso da sala dos geradores, assim como no teto, fazem crer que pode se tratar de manifestações da RAA. A fissuração dos octógonos aparentou ser mais intensa nas Unidades GR-5 a GR-10, que são as mais recentes.

UHE Estreito

A estrutura da Tomada d'água, que apresenta-se confinada entre um aterro, na margem esquerda, e rocha na margem direita, apresenta-se com as juntas de contração entre blocos fechadas na crista, sem evidência de deslocamentos diferenciais entre blocos. Ao longo dos guarda-corpos de montante e jusante, não se observou nenhuma evidência de desalinhamento.

No topo, a jusante dos blocos da Tomada d'água, onde saem os condutos forçados, observaram-se (a partir da crista) algumas regiões com fissuras tipo "mapa", que podem estar associadas à RAA.

Nos pilares do Vertedouro, tanto a montante, quanto a jusante, na região das vigas de munhão, não se observaram fissuras ou outras evidências da RAA. O aspecto geral do concreto é muito bom. Nas galerias de drenagem da Tomada d'água e do Vertedouro constatou-se que o estado geral do concreto é muito bom, não havendo evidências de fissuras ou juntas abertas entre camadas de concretagem.

Nas paredes dos octógonos ocorrem várias fissuras passantes, algumas com abertura da ordem de 0,5 mm, como da Unidade 5, lado direito hidráulico. Também na Unidade 4 ocorrem algumas fissuras similares aquelas da Unidade 5, ocorrendo também uma fissura no teto da galeria de acesso à tampa da turbina. Na parede jusante da sala dos geradores ocorrem várias fissuras com desenvolvimentos subverticais.

Nas galerias inferiores de acesso à escotilha do poço de sucção ocorrem várias exsudações superficiais de gel, sintoma este típico da RAA.

UHE Porto Colômbia

Na crista da Transição Direita ocorre uma fissura longitudinal ao longo dos blocos 1 a 5. Não se observam indícios de desalinhamento ao longo dos guarda-corpos de montante e de jusante. O aspecto visual do concreto dos paramentos e da crista é bom.

Enquanto alguns dos pilares do Vertedouro, a montante, não evidenciam qualquer tipo de fissuração, outros mostram um quadro de fissuras tipo "mapa", típico da RAA. Na lateral dos pilares fissurados pode-se observar que se tratam de fissuras superficiais, com profundidade variando entre 5 cm e 50 cm, aproximadamente.

Nas galerias de drenagem da fundação não foi observada nenhuma evidência de fissuração ou exsudação de gel.

Na Casa de Força constatou-se algumas fissuras passantes nas paredes dos octógonos, que podem ter se originado de tensões de origem térmica. Entretanto, a ocorrência de fissuras com abertura da ordem de 0,3 mm a 0,5 mm, nas paredes alinhadas com a direção montante-jusante (Unidade 2), constituem indícios da RAA.

Na galeria inferior das comportas da Casa de Força, assim como nas galerias de acesso às escotilhas do poço de sucção das unidades geradoras, foram observadas várias exsudações de gel, possivelmente associados à RAA.

UHE Marimbondo

Na crista do Muro de Transição Direito foram observadas algumas evidências de fissuração tipo "mapa", como no bloco 7, por exemplo, e fissuras com deslocamento recente do concreto, junto às bordas. Nos locais onde ocorreu o deslocamento do concreto foram observados alguns agregados com borda esbranquiçada de reação, na periferia.

Na crista do Vertedouro não se observaram fissuras significativas, porém o topo dos pilares, a montante, não é visível a partir da crista. Na região das vigas-munhão nada de especial foi observado.

Nas galerias de drenagem da Tomada d'água e do Vertedouro constatou-se que o estado geral do concreto é muito bom, não havendo nenhuma evidência de fissuração ou exsudação de gel.

Nas galerias inferiores de acesso à escotilha, do poço de sucção, não se observou qualquer evidência de exsudações superficiais de gel.

ENSAIOS DE LABORATÓRIO

UHE Furnas

Foram realizados furos de sondagem rotativa vertical, a partir do topo dos pilares do Vertedouro, objetivando a extração de testemunhos de concreto, para a realização de ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração simples, módulo de elasticidade do concreto e ensaios petrográficos do concreto.

Os resultados dos ensaios e análises estão registrados no trabalho "Estudo Comparativo de Propriedades do Concreto Afetado pela Reação Álcali-Agregado", apresentado neste Simpósio.

As análises de microscopia eletrônica de varredura (EDS) confirmaram a ocorrência de reações do tipo álcali-silicato, com a presença de gel maciço na interface agregado-argamassa (zona de reação) e de seus produtos cristalizados, na forma acicular, arredondada ou rosácea, típicos da

RAA. Tanto o gel maciço quanto suas fases cristalizadas, apresentaram composição química semelhante, sendo constituídos por silício, cálcio e potássio.

Da análise dos resultados com testemunhos, observa-se o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto, quando comparado à sua resistência à compressão, que apresenta-se com um valor que pode ser considerado satisfatório. Esta observação está em sintonia com os resultados das análises petrográficas em microscópio, que revelaram que o concreto da barragem da UHE Furnas apresenta-se praticamente sem microfissuras. Para as demais Usinas os estudos com testemunhos encontram-se em progresso.

Quanto aos ensaios acelerados (ASTM C-1260) com os agregados, as amostras de quartzito das UHE's Furnas, Mascarenhas de Moraes e Estreito apresentaram valores aproximados entre si, o que decorre do fato de pertencerem à uma mesma formação geológica, indicando que o grau de metamorfismo (deformação do quartzo) da rocha foi semelhante. Das várias litologias ensaiadas, foram aquelas que indicaram as maiores taxas de expansão, ou seja, a maior reatividade potencial do agregado (0,22% a 0,30% aos 16 dias e 0,48% a 0,69% aos 30 dias).

Os basaltos de Marimbondo e Itumbiara revelaram-se reativos, particularmente para a idade de 30 dias, o que vem indicar que os mesmos apresentam um certo efeito de expansão retardada.

ANÁLISE DA INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO

UHE Furnas

Em 05/09/63, ao final do período construtivo, foi implantada uma linha de marcos superficiais ao longo da crista, para a medição dos deslocamentos verticais da barragem.

Na Tabela 1 apresentam-se as deformações calculadas para o período inicial de expansão e para o período total dos 19 anos de observação.

Tabela 1 - Deformações do Concreto Calculadas a Partir dos Marcos Superficiais

Marco	Estrutura	Posição	Expansão (x 10 ⁻⁶)	
			Inicial	No período
N117	Vertedouro	Jusante	38	16
N118	MC esquerdo	Jusante	11	9
N121	MC esquerdo	Montante	26	16
N119	MC direito	Jusante	8	7
N122	MC direito	Montante	26	14
N110	Tomada d'água	Jusante	18	13

Em termos médios, as taxas de expansão do concreto, ao longo da vertical, apresentaram uma redução de 21 para 12,5 microdeformações (40%), comparando-se a taxa inicial à taxa média nos 19 anos de observação.

O início da medição dos deslocamentos foi em 05/09/74, sendo que no período de dois anos, compreendido entre esta data e 27/05/76, não foram observados deslocamentos verticais. Caso se possa extrapolar esta informação para o período entre a implantação dos marcos e esta última data, verifica-se que durante os 13 primeiros anos não foram observados deslocamentos verticais. A explicação para tal constatação estaria no fato que o gel tenderia, na fase inicial, a preencher os vazios do concreto, para só então causar efetivamente expansão.

Os medidores triortogonais instalados nas juntas de contração entre blocos, na crista da barragem, estão indicando deslocamentos diferenciais não reversíveis entre blocos, particularmente na região do Muro Central esquerdo (MCE). Trata-se de uma característica típica das barragens com RAA, a ocorrência destes deslocamentos permanentes, até que a reação expansiva venha a cessar.

A instrumentação das demais barragens (Estreito, Mascarenhas de Moraes e Porto Colômbia) está sendo implantada.

MONITORAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELETROMECAÑNICOS

UHE Furnas

Os equipamentos de geração não estão apresentando problemas em termos operacionais. Medições de rotina realizadas nos equipamentos, tais como medições de folga dos anéis de desgaste e do entreferro, controle de verticalidade do eixo, etc. são efetuadas regularmente.

Mesmo não tendo sido detectados até aqui problemas com a operação destes equipamentos, as distorções das estruturas de concreto decorrentes da RAA poderão implicar ainda em problemas operacionais, até que as mesmas se apresentem completamente estabilizadas.

Apesar da elevada reatividade potencial do quartzito utilizado como agregado na barragem de Furnas, as estruturas de concreto não evidenciam sinais de grande movimentação, conforme indicação das observações de campo e dos deslocamentos apresentados pelos marcos superficiais.

UHE Mascarenhas de Moraes

A máquina 3 teve que ser recentrada, sendo que o mancal necessitou de alguns ajustes. O anel de desgaste da turbina apresentava indícios de rolamento. As folgas iniciais do anel, que eram da ordem de 0,016 mm, por ocasião do comissionamento não apresentavam variações significativas na direção Direita-Esquerda, porém na direção Montante-Jusante, as mesmas haviam aumentado para 0,080 mm / 0,090 mm.

UHE Estreito

A máquina 6 apresenta problemas frequentes de vibração, porém os mesmos são antigos, ocorrendo desde a fase de comissionamento da unidade.

Com relação ao controle de verticalidade do eixo da turbina, informou-se que o limite admissível é de 0,06 mm/m (deslocamento angular) e que o mesmo não tem sido ultrapassado. Na última medição realizada encontrou-se o valor de 0,048 mm/m, inferior, portanto, à inclinação admitida como limite.

UHE Porto Colômbia

As primeiras inspeções realizadas nas Unidades Geradoras (UG's) de Porto Colômbia evidenciaram marcas de rolamento nos anéis de blindagem, abrangendo toda a sua periferia, porém mais acentuados na parte inferior. Foram provavelmente provocados por detritos de construção visto que, por ocasião das primeiras inspeções, observou-se grande quantidade de detritos tais como pedras, pedaços de vergalhão, arames, areia, etc., no interior da caixa espiral.

A partir de 1985 foram constatados sinais acentuados de rolamento das pás das turbinas das UG's 1 e 4, a jusante, sendo necessário esmerilhar o anel da UG-4 em aproximadamente 1,0 mm, nesta região. Com o decorrer do tempo estes rolamentos foram se tornando cada vez mais acentuados a jusante, chegando mesmo a "azular" o anel de descarga, devido às altas temperaturas ocasionadas pelo atrito. Atualmente, todas as máquinas já tiveram seus anéis esmerilhados, sendo a UG-4 a que apresenta menor evidência de roçamento.

A redução das folgas, a jusante, e aumento, a montante, vem indicar uma nítida tendência de translação do eixo da turbina para jusante, o que constitui um forte indício de RAA. Esta observação decorre da constatação de que usinas com turbina tipo Kaplan, afetadas por RAA, tenderem a apresentar roçamento nos quadrantes jusante ou jusante/direita hidráulica, decorrentes da translação do equipamento.

A análise da medição de folgas das pás da turbina número 4, realizadas antes do esmerilhamento, mostravam uma nítida ovalização, com o eixo maior orientado na direção montante-jusante, o que pode constituir indício de RAA. A diferença entre os eixos maior e menor, na época, era da ordem de 2,5 mm, o que só pode ser explicado pela ovalização da estrutura de concreto do cone central da caixa espiral, uma vez que a turbina não se deforma.

A constatação de que não estão ocorrendo deslocamentos diferenciais permanentes, entre blocos da Casa de Força, conforme indicação dos medidores triortogonais, associada ao fato de que a máquina 4 não está mais apresentando evidências acentuadas de roçamento, parecem indicar que a expansão do concreto desta Usina, decorrente da RAA, estaria tendendo rapidamente para um processo de estabilização.

UHE Marimbondo

As medições de entreferro dos geradores, realizadas nas posições inferior e superior, não estão indicando nenhuma tendência de ovalização do estator. Exceção se faz para a UG-6, onde as medições realizadas entre julho/79 e julho/91, indicaram certa ovalização, com o eixo maior orientado na direção Jus-Dir / Mont-Esq, mas que por constituir um caso isolado (dentre as oito unidades da Usina), não estaria associado à RAA.

De acordo com informações dos responsáveis pela operação e manutenção dos equipamentos de geração da UHE Marimbondo, a mesma vem apresentando um desempenho normal, não havendo problemas significativos com a verticalidade do eixo do conjunto turbina-gerador, ou com as medições de folga dos anéis de desgaste das turbinas.

CONCLUSÕES

O principal aspecto a ser ressaltado com relação às estruturas de concreto da UHE Furnas, diz respeito à ocorrência de reações expansivas do concreto, provocadas pela reatividade álcali-agregado, porém com taxas de expansão extremamente baixas, ou seja, de 13 microdeformações/ano. Estas são as mais baixas já observadas em barragens tipo gravidade, representando apenas 1/4 da taxa média revelada para estruturas deste tipo (60 microdeformações/ano). A explicação para taxas tão baixas está provavelmente ligada ao baixo teor de álcalis do cimento utilizado no concreto.

Outro aspecto importante a ser ressaltado, é o fato da expansão do concreto só ter começado a se manifestar a partir de 1976, ou seja, cerca de 13 anos após o final de construção. Isto se atribui à elevada porosidade do concreto empregado na barragem, cujos vazios passaram a absorver inicialmente o gel produzido pela reatividade, para só então, após o preenchimento completo dos mesmos, se manifestar a expansão das estruturas de concreto da barragem.

As estruturas de concreto das UHE's Mascarenhas de Moraes e Estreito estão apresentando sintomas da reatividade álcali-agregado, tais como fissuração tipo "mapa", em determinados locais das estruturas, e exsudação superficial de gel em algumas galerias. Tal constatação confirma o fato de os quartzitos que foram utilizados como agregados nas UHE Furnas, UHE Mascarenhas de Moraes e UHE Estreito apresentarem geologicamente a mesma origem, apresentando praticamente o mesmo potencial reativo; o que foi constatado por ensaios de reatividade acelerada. Não há, entretanto, sinais de distorção ou desalinhamento das estruturas na região da Tomada d'água e do Vertedouro, não havendo também nenhum sinal aparente de deterioração superficial na região de ancoragem das comportas.

O arranjo geral das estruturas de concreto destas duas Usinas é favorável sob o aspecto da RAA, uma vez que as estruturas da Tomada d'água e do Vertedouro não são justapostas, mas sim separadas por elementos flexíveis. No caso de Mascarenhas de Moraes, a barragem em arco, e no caso de Estreito, a barragem de enrocamento. Desta forma, as estruturas isoladas têm mais liberdade para se expandir, sem que uma transfira esforços à outra.

O sintoma mais sério da RAA na UHE Mascarenhas de Moraes está ocorrendo aparentemente na Casa de Força, na estrutura da máquina 3. Esta teve que ser recentemente recentrada. Seu anel de desgaste apresentava evidências de roçamento e suas folgas indicavam uma nítida tendência de ovalização, com o eixo maior da elipse orientado na direção montante-jusante. Todos estes sintomas constituem evidências da RAA, e estão sendo provocados provavelmente pelas distorções das estruturas de concreto, sob o efeito da expansão do concreto, o que poderá ser investigado através de modelos matemáticos de análise. Não há, entretanto, conforme experiência de outras barragens e usinas afetadas pela RAA, qualquer preocupação com as condições gerais de segurança das estruturas de concreto, pois normalmente a queda de resistência do concreto ocorre de maneira muito lenta.

A constatação de que a expansão do concreto vem se manifestando de forma efetiva há 40 anos (1957-1997) na UHE Mascarenhas de Moraes, e 28 anos (1969-1997) na UHE Estreito, sem que tenham ocorrido distorções acentuadas das estruturas da Tomada d'água e Vertedouro, vem aparentemente indicar que as taxas de expansão do concreto não estão sendo elevadas.

As estruturas de concreto da UHE Porto Colômbia estão apresentando alguns sintomas típicos da reatividade álcali-agregado, tais como fissuração tipo "mapa", em determinados locais das estruturas, exsudação superficial de gel, em algumas galerias internas e problemas de ovalização do poço da turbina e roçamento das pás da turbina no anel de descarga, a jusante. Devido a baixa reatividade potencial do cascalho utilizado como agregado, julga-se que o principal responsável pela reatividade seja o basalto.

Não há, entretanto, sinais de distorção ou desalinhamento das estruturas na região da Tomada d'água, Vertedouro ou Muro Central, não havendo também nenhum sinal aparente de deterioração superficial na região das vigas-munhão.

A constatação de que não estão ocorrendo deslocamentos diferenciais permanentes entre os blocos da Casa de Força, conforme indicação dos medidores triortogonais, associada ao fato de que a máquina 4 não está mais apresentando evidências acentuadas de roçamento, parecem indicar que a expansão do concreto desta Usina, decorrente da RAA, estaria tendendo rapidamente para um processo de estabilização.

Já as estruturas de concreto da UHE Marimbondo não estão apresentando nenhuma evidência marcante da RAA, a não ser a observação de bordas de reação em torno do agregado, na região da crista da barragem, o que deverá, entretanto, ser encarado com certa reserva, até que ensaios de microscopia em laboratório venham esclarecer a questão. Na Casa de Força desta Usina não está havendo nenhum problema com os equipamentos de geração, que possam constituir indícios da RAA.

BIBLIOGRAFIA

- |1| Relatório FR-01/96-R0 - Parecer Técnico sobre as estruturas de concreto da UHE Furnas.
- |2| Relatório FR-02/96-R0 - Parecer Técnico sobre as estruturas de concreto das UHE's Mascarenhas de Moraes e Estreito.
- |3| Relatório FR-03/96-R0 - Parecer Técnico sobre as estruturas de concreto das UHE's Porto Colômbia e Marimbondo.
- |4| Relatório LABC.T-192A - Registros históricos dos concretos das UHE's de FURNAS Centrais Elétricas S.A.