

ANÁLISE DAS PATOLOGIAS EXISTENTES NO CONCRETO COMPACTADO COM ROLO E JUNTAS DE CONTRAÇÃO DA BARRAGEM DE PASSAGEM DAS TRAIRAS E SUAS SOLUÇÕES

Débora Rodrigues Soares¹
Fábio Sérgio da Costa Pereira²

RESUMO

Diante da quantidade de patologias evidenciadas e agravadas ao longo dos quase 25 anos de uso da barragem de Passagem das Traíras, situada entre os municípios de Jardim do Seridó e São José do Seridó, surgiu a possibilidade de realização desse estudo. Embasado na visita técnica da pós-graduação do UNI-RN, do dia 18 de maio de 2019, e no estudo e elaboração do projeto executivo para recuperação/manutenção da barragem Passagem das Traíras, esse trabalho tem por objetivo expor a situação atual da barragem por meio de relatos, fotografias e ensaios de análise, identificando as patologias, suas causas e as soluções cabíveis no processo de recuperação. Seu desenvolvimento será dividido entre análises de projeto, execução e patologias do Concreto Compactado com Rolo e das Juntas de Contração, seguido dos resultados demonstrados nos ensaios e nas análises feitas na visita técnica e no material disponibilizado para elaboração dos projetos executivos para recuperação e manutenção da barragem. Por fim, serão relatadas as soluções para os problemas vigentes na barragem acompanhado da conclusão geral do artigo.

Palavras-chave: Barragem Passagem das Traíras, RN. Concreto Compactado com Rolo. Juntas de Contração- Patologias.

-
- 1 Engenheira Civil, pós-graduanda do curso de pós-graduação em Dimensionamento, Terapia, Patologia e Tecnologia de Estruturas de Concreto - Centro Universitário do Rio Grande do Norte - UNI-RN. E-mail: e.deborasoares@gmail.com; debora-r-s@hotmail.com
 - 2 Professor PhD, coordenador do Curso de pós-graduação de Dimensionamento, Terapia, Patologia e Tecnologia de Estruturas de Concreto - Centro Universitário do Rio Grande do Norte - UNI-RN. E-mail: engecal.fabio@gmail.com

ANALYSIS OF EXISTING PATHOLOGIES IN THE ROLLER CONCRETE CONCRETE AND JOINTS OF THE TRAÍRAS PASSAGE DAM AND ITS SOLUTIONS

ABSTRACT

Considering the number of pathologies evidenced and aggravated during the almost 25 years using the passage of Traíras Passage, located between the municipalities of Jardim do Seridó and São José do Seridó, the possibility of accomplishing this article arose. Based on the technical visit of the UNI-RN postgraduate course, on May 18, 2019, and in the study and elaboration of the executive project for recovery / maintenance of Passage of the Traíras dam, this work aims to expose the current situation of the dam by means of reports, photographs and analysis tests, identifying the pathologies, their causes and the appropriate solutions in the recovery process. Its development will be divided between analysis of design, execution and pathologies of Rolled Compacted Concrete and Contraction Boards, followed by the results demonstrated in the tests and analyzes made in technical visit and in the material made available for elaboration of the executive projects for the recovery and maintenance of the dam. Finally, the solutions to the problems in the dam along with the general conclusion of the article will be reported.

Keywords: Dam Passagem das Traíras, RN. Concrete Compacted with Roller. Contraction Joints. Pathologies.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE, as regiões semiáridas do Nordeste brasileiro possuem hidrografia frágil, sendo insuficiente para sustentar rios caudalosos que permaneçam perenes durante os longos períodos de estiagem. Para contornar essa situação, são realizadas obras de barragens, como a da Passagem de Traíras, possuindo o objetivo de represar e estocar as águas de rios.

Se tratando da Barragem de Passagem das Traíras, sua capacidade gira em torno de 48.000.000 m³, represando água do rio Seridó, situando-se entre os municípios norterio-grandenses de Jardim do Seridó e São José do Seridó. Possui 15 metros de altura até a crista do vertedouro e 22,8 metros até o coroamento do parâmetro seco, tendo extensão total do corpo da barragem de 424,6 metros, executada em Concreto Compactado com Rolo (CCR).

A barragem, construída por iniciativa do governo estadual do Rio Grande do Norte nos anos de 1994 e 1995 e, conseqüentemente, pertencendo ao Patrimônio Público do Estado do RN, é de responsabilidade direta desse governo. E, como o governo estadual tem o dever de realizar a manutenção e reparação dos reservatórios de sua propriedade, a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) inseriu no Projeto RN Sustentável, uma proposta objetivando efetivar a reabilitação e manutenção dessa estrutura, repondo sua operação e seu atendimento.

Para pôr em prática a manutenção da Barragem de Passagem de Traíras e minimizar os riscos incidentes a vidas humanas, foi realizada a contratação e emissão da Ordem de Serviço, dos estudos e elaboração dos projetos executivos para manutenção e recuperação da barragem, que posteriormente teve seus resultados descritos em um memorial descritivo e de cálculo. O mesmo, datado em março de 2019 e envolvendo relatórios de 2005 e 2015, será utilizado para embasar o presente artigo. Além de usar uma base nos conhecimentos pessoais referentes ao assunto de barragens, referenciados na visita técnica realizada no dia 18 de maio de 2019.

No memorial, determinou-se que a barragem se encontra na Categoria 2 do nível de perigo geral das estruturas, colocando a estrutura em condição de alerta. Ou seja, foi constatado que o funcionamento inadequado da drenagem interna, a ocorrência de falhas estruturais e os desgastes da estrutura, tornaram imprescindível que as anomalias fossem sanadas rapidamente, apesar da estrutura não representar risco iminente de ruptura.

O estudo de estabilidade constado no memorial levou em consideração que a estabilidade da barragem dependia dos efeitos dos intemperismos e infiltrações que ocorreram durante 25 anos em um maciço de Concreto Compactado com Rolo (CCR), com 25 juntas de contração. Além disso, foram encontradas diversas inadequações ocorridas durante a construção que agravaram os problemas atualmente encontrados.

Diante dessas informações, foi considerada a produção desse artigo, deixando claro as patologias encontradas no maciço de CCR da barragem e as causadas pelas juntas de contração. Serão expostos os principais pontos problemáticos do concreto e das juntas e será analisando como cada patologia pode diminuir ou prejudicar a vida útil da estrutura.

2 OBJETIVO

A seguinte análise executiva tem por objetivo expor a atual situação das patologias encontradas no concreto compactado com rolo e as patologias causadas pelas juntas de contração da barragens de Passagem de Traíras, localizada no município de São José do Seridó, além de averiguar algumas soluções cabíveis. Procura-se definir os defeitos encontrados na visita técnica realizada no dia 18 de maio de 2019 e expostos no relatório da Acquatool, empresa contratada pela SEMARH-RN para realizar a análise preliminar para readequação da barragem.

3 JUSTIFICATIVA

É de suma importância a análise constante de estruturas de barragens, para que se tenha conhecimento de suas patologias e se possa realizar a manutenção adequada, principalmente voltada para os problemas patológicos encontrados. Uma estrutura defeituosa dá indícios de seus erros, e negligenciar essas patologias existentes nas estruturas é um dos maiores motivos de acidentes.

Quando não ocorrem as devidas inspeções e manutenções, o barramento pode ser prejudicado e gerar consequências graves como o rompimento da mesma, acarretando, até, em perdas de vidas humanas, além de extensos prejuízos para as comunidades a jusante da barragem. Levando em consideração

esse fato, e buscando a compreensão das patologias existentes na Barragem de Passagem das Traíras, foi realizado o presente artigo.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realização desse trabalho envolveu registros fotográficos, para posterior análise e realização do acervo fotográfico, utilização de trenas para averiguar distâncias e espaçamentos e ensaios de esclerometria, para averiguar a resistência do CCR da barragem.

Todo o artigo será composto pelas fotos tiradas no local, que servirão como prova da existência dos problemas patológicos e sua situação, para posterior comparação com fotos anteriores, tiradas para a elaboração do relatório fotográfico da barragem de Passagem das Traíras, realizadas pela Acquatool Consultoria.

Com a trena, foi realizada a medição, por exemplo, das fissuras e das juntas de dilatação da barragem. Como no local não havia fissurômetro, foi utilizada a trena para fins de análise em relação ao espaçamento das fissuras, ao distanciamento das juntas de contração, e posterior comparação com a norma vigente.

Outra ferramenta utilizada foi o esclerômetro de impacto ou de reflexão. O esclerômetro de reflexão consiste em uma massa-martelo, impulsionada por uma mola que se choca, através de uma haste, com a área de ensaio. O impacto do esclerômetro na área de ensaio irá proporcionar um valor chamado de índice esclerométrico, fornecido pelo aparelho.

No caso do teste de esclerometria, foi realizado o desenho de um quadrado de 16 por 16 centímetros na superfície mais lisa do maciço, onde se busca a resistência do concreto. Após dividir o quadrado em 16 partes iguais, aplicou-se o golpe do esclerômetro em cada um dos 16 quadrados, obtendo os valores do índice esclerométrico por meio do equipamento.

Os resultados dos índices esclerométricos tiveram os valores extremos maiores e menores que 10% do valor médio obtido retirados para que houvesse melhor exatidão no processo. Depois, realizou-se uma média com os valores restantes do ensaio e outra média com todos os valores médios de ensaio considerados, e o resultado final das médias foi aferido na tabela de esclerometria, obtendo a resistência do concreto (F_{ck}).

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR)

O Concreto Compactado com Rolo, devido às operações de espalhamento e compactação, promove rapidez da execução, sendo ela limitada apenas pelas capacidades de produção e transporte do material. Para contornar essas dificuldades, deve-se utilizar um aditivo retardador de pega de concreto, caso contrário, o intervalo entre a mistura e o lançamento devem ser de 15 minutos, assim como o intervalo entre o lançamento e o espalhamento e o intervalo entre espalhamento e compactação, o que poderia tornar quase inviável o processo construtivo.

Após a produção, transporte e lançamento do concreto é necessário realizar o adensamento e esperar sua cura. Para o CCR, o adensamento pode ser realizado por meio de rolos vibratórios sobre a superfície do concreto espalhado, e a cura é um processo fundamental para atingir a qualidade esperada do concreto, e deve ser iniciada o mais cedo e prolongada ao máximo possível. Caso ocorra a utilização de materiais pozolânicos, é recomendável que haja um tempo mínimo de cura de 21 dias.

Segundo Passuelo *et al.* (2005), a logística de construção do CCR no Brasil utiliza camadas de 0,3 metros e exige interrupções de 3 a 7 dias quando o nível de concretagem atinge a altura de 2 a 2,5 metros. Pode-se aplicar duas metodologias para a execução de camada de CCR: horizontais ou inclinadas.

A concretagem dos blocos de concreto CCR massa, efetuadas em camadas sucessivas, precisam ser bem planejadas e executadas. Caso isso não ocorra, os blocos podem ser um elo fraco da estrutura, provocando redução da aderência entre as juntas e sua consequente permeabilidade.

5.1.1 Análise dos projetos referentes ao CCR

Para a realização dos projetos de construção da barragem de Passagem das Traíras, o cálculo de estabilidade da barragem tomou como base as informações históricas e o nível de apreensão da realidade alcançada com base em análises de elementos disponíveis. Ainda foram adotados, como critério de análise, os requisitos e fatores de segurança recomendados pela agência federal United States Bureau of Reclamation (1976).

Os critérios de análise e os valores limites utilizados na projeção da barragem são amplamente consagrados e de uso generalizado. Desse modo, em relação ao projeto relacionado às tensões e ao modelo seção vertente e não-vertente projetadas na época de construção da barragem, não há muito o que se delatar.

Entretanto, no volume I do memorial descritivo e de cálculo, no que se refere aos critérios hidráulicos, relatou-se a falta de operação dos drenos. A maior parte deles se encontra, atualmente, entupida de sedimentos, porém, caso os drenos não estivessem nessa situação, sua eficácia seria limitada ou inoperante em situações de vertimento, pois os dois exultórios que removeriam a água em excesso da galeria foram projetados em cotas que sofrem afogamento facilmente. Desse modo, todos os drenos existentes eram inoperantes, em todos os cenários.

5.1.2 Análise da execução do CCR

No memorial realizado pela empresa Acquatool, existem citações referentes ao processo construtivo da barragem. Dentre elas, é citado no resumo do memorial que “há uma nítida comprovação de práticas deficientes nos procedimentos adotados pela Construtora Contratada, bem como a inadequada aceitação desses serviços pela Fiscalização-Supervisão- Entidade Contratante”. Considerando essa citação, toda a qualidade da obra pode ser colocada em voga, inclusive o CCR.

De acordo com o memorial, notou-se uma diminuição na tensão máxima admissível de compressão entre os valores do relatório de construção e os valores atuais do CCR. O motivo que pode ter causado o valor minorado da tensão a compressão pode se tratar dos agregados utilizados no CCR, que, possivelmente, apresentam reação álcalis-agregado.

A fiscalização, na época da construção, recomendou a utilização de materiais pozolânicos para evitar a reação álcali-agregado, porém, não existem registros do teor, ou sequer da utilização desses materiais nos documentos disponibilizados a empresa responsável pela recuperação e manutenção da barragem.

Também é citado, no primeiro volume do memorial, que a reação álcalis-agregado pode estar associada a degradação acelerada da superfície

do paramento a montante, entretanto existe outro fator que pode ter ajudado na degradação: o uso excessivo de agregados.

Quanto aos materiais referentes a composição do CCR extraída para o relatório final da obra, constou-se que existiam 36,58% seixos, 26,36% pó de seixo e 26,36% de areia, totalizando 89,03% em agregados. Da porcentagem restante, 7,09% era água e 3,61% se tratava do cimento. Esses fatores “conferiram à superfície característica de rugosidade”, facilitando, até, a micro-fissuração, quando exposta ao intemperismo por tempo prolongado, e a menor resistência a compressão.

No caso supracitado, houve indevida execução do CCR, contudo, também existem problemas na execução do concreto superficial. Na superfície do maciço da barragem, foi possível notar que existiam corpos estranhos, que se encontravam fortemente aderidos ao concreto superficial, demonstrando que poderiam terem sido inseridos durante a mistura, o lançamento ou o adensamento do concreto. O material suspeito se tratava de pedaços de madeira, que foram adicionados ao concreto durante sua mistura ou do seu lançamento, na época da execução da barragem.

O concreto superficial não tem função estrutural, porém, o fato de encontrar madeira na massa do concreto é motivo para maiores preocupações. O surgimento dessas lascas de madeira podem representar a possível falta de fiscalização ou o descaso para com a mistura do concreto.

Além da execução inadequada da mistura e/ou aplicação do concreto, ainda é relevante citar a falha na execução protetiva dos paramentos a jusantes da seção não-vertedora. Esse paramento foi executado sem o concreto face, que deveria ter a função de proteger o paramento. Isso facilitou sua degradação intensa, incluindo a situação de perda de geometria original.

Figura 01 – Vista geral do paramento a jusante da barragem



Fonte: Acquatool – fevereiro de 2019

5.1.3 Análise das patologias do CCR

Analisando os aspectos da barragem na visita técnica realizada pela UNI-RN no dia 18 de maio de 2019, foi possível perceber a falha no concreto aparente, bem como a continuação da falha ao longo da barragem. O mesmo foi descrito no memorial.

Ainda foi relatado que existiam pontos evidentes de pouca resistência do CCR empregado, caracterizando-se pela soltura de agregados da massa do CCR, além da própria massa de CCR, o que também notou-se na visita técnica: os agregados se desprendiam facilmente na lateral da barragem (figura 03), e na parte superior da crista da barragem, já haviam agregados soltos e espaços vazios no concreto, que antes acomodavam os agregados (figuras 02).

Figura 02- Desprendimento dos agregados do concreto superficial



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019

Figura 03- Desprendimento do concreto superficial a jusante.



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019

Considerando a situação da barragem como um todo, pode-se relatar que os paramentos a jusantes da seção não-vertedora são as áreas com maior deterioração. Esse paramento foi executado sem a proteção do concreto face, o que facilitou sua degradação intensa, incluindo a situação de perda de geometria original.

No paramento a montante, seu estado de conservação relata problemas críticos. Eles podem envolver a reação álcalis-agregado e o uso excessivo de agregados, ou a irregularidade da concretagem do paramento (figura 04 e 06). Essa irregularidade pode facilitar a permanência e posterior

infiltração de água, ou o depósito de sementes, seguido pelo nascimento de vegetação, nas saliências formadas pela irregularidade do concreto.

Figura 04 – Detalhe no sentido vertical do paramento a montante



Fonte: Acquatool. Fevereiro de 2019

Figura 05 – Vegetação nascendo nas dobras do paramento a montante



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019

Figura 06 – Paramento de montante apresentando irregularidades causadas por falha de instalação das formas durante concretagem



Fonte: Acquatool – fevereiro de 2019

Além da concretagem irregular, vale constar que, devido ao longo período sem praticamente nenhum armazenamento, esse paramento permaneceu exposto a intenso intemperismo, facilitando, também, a degradação de sua superfície.

Foi perceptível, no concreto de acabamento da crista, diversos panoramas de fissuras, decorrentes de distintas deficiências e falhas que, provavelmente, envolvem o projeto da barragem e a execução do mesmo, além da falta de manutenção da estrutura.

As fissuras em si, além de representar uma patologia desenvolvida, ou em desenvolvimento, podem representar zonas de fraqueza, causando outros tipos de problemas patológicos, como a infiltração. Pequenas infiltrações são comuns em barragens, entretanto, as infiltrações encontradas na barragem de Passagem das Traíras, provavelmente causadas por fissuras e inadequada impermeabilização, são capazes de comprometer o padrão de segurança da estrutura da barragem.

De acordo com o memorial, existem indícios de infiltrações registradas ao longo de toda a galeria de drenagem, evidenciando a ocorrência de falhas generalizadas na impermeabilização desta estrutura, podendo ser decorrente de problemas nas juntas de contração ou pela permeabilidade da superfície decorrente de microfissuras e caminhos preferenciais favorecidos pelas irregularidades do acabamento no paramento (figura 07).

Figura 07 –Região interna da galeria com infiltrações.



Fonte: Acquatool – fevereiro de 2019

6 RESULTADOS

Sobre o material do CCR e sua degradação, segundo o volume I do memorial descritivo e de cálculo, realizado em março de 2019, foram definidos dois cenários de análise, sendo o primeiro cenário referente aos valores de resistência do CCR conforme apresentado no Relatório de Construção, e o segundo referente aos valores de resistência do CCR inferidos para as condições atuais. Entre os dois cenários foi observada uma redução de mais de 40% na tensão máxima admissível à compressão.

Essa redução na tensão admissível demonstrou que existe um grau avançado de deterioração do material. Nas áreas onde o material se encontra exposto, de acordo com o memorial, existem evidências de frivolidade, mostrando incapacidade de manter a geometria construtiva.

No teste de esclerometria, todos valores do rebote dado pelo esclerômetro de impacto, obtidos da região a jusante e a montante da barragem encontram-se na (tabela 01 e 02).

Tabela 01- Ensaios de esclerometria a jusante da barragem de Passagem das Traíras

JUSANTE											
1º ENSAIO DE ESCLEROMETRIA				2º ENSAIO DE ESCLEROMETRIA				3º ENSAIO DE ESCLEROMETRIA			
14	15	15	20	21	12	15	13	10	13	14	23
16	16	15	16	15	10	13	15	12	14	14	16
15	15	16	18	12	16	17	13	14	14	13	10
20	13	13	16	15	16	16	13	15	13	14	14

Fonte: Acervo pessoal da autora. 18 de maio de 2019

Tabela 02- Ensaios de esclerometria a montante da barragem de Passagem das Traíras

MONTANTE											
1º ENSAIO DE ESCLEROMETRIA				2º ENSAIO DE ESCLEROMETRIA				3º ENSAIO DE ESCLEROMETRIA			
35	37	36	25	30	34	33	34	34	37	36	37
31	31	36	36	36	37	34	37	38	37	49	40
35	38,5	36	36	41	39	38	34	42	38	39	40
34	40	32	36	40	42	45	39	21	31	37	31

Fonte: Acervo pessoal da autora. 18 de maio de 2019

De acordo com os valores da esclerometria a jusante, teve-se uma média de 15,8 para o primeiro ensaio, considerando que 10% desse valor, tem-se 1,58. Os valores retirados para somatória da nova média devem ser aqueles abaixo de 14,2 e acima de 17,4. Com isso ainda sobram 10 valores, obtendo uma média de 15,5.

O mesmo processo é realizado com o segundo e terceiro ensaio. Finalmente, obteve-se os valores médios do rebote de 14,5 e 13,8. Realizando

a média dos 3 valores médios encontrou-se o valor de 14,6. Como a tabela de esclerometria (figura 08) apenas compreende de valores a partir de 20, e o índice de 14,6. Realizando uma aproximação com uma interpolação, conforme a (equação 01), tem-se 3,42 MPa.

$$\frac{21 - 20}{11,1 - 9,9} = \frac{20 - 14,6}{9,9 - x} \quad (Eq. 01)$$

$$\frac{1}{1,2} = \frac{5,4}{9,9 - x}$$

$$x = 3,42$$

Figura 08 - Tabela para relacionar índice esclerométrico e resistência a compressão

R	14-56 days						7 days					
	W _m			W _{min}			W _m			W _{min}		
	Kgt/cm ²	MPa	psi									
20	101	9.9	1440	54	5.3	770	121	11.9	1720	74	7.3	1050
21	113	11.1	1610	64	6.3	910	132	12.9	1880	83	8.1	1180
22	126	12.4	1790	75	7.4	1070	145	14.2	2060	94	9.2	1340
23	139	13.6	1980	86	8.4	1220	157	15.4	2230	104	10.2	1480
24	152	14.9	2160	98	9.6	1390	169	16.6	2400	115	11.3	1640
25	166	16.3	2360	110	10.8	1560	183	18.0	2600	127	12.5	1810
26	180	17.7	2560	122	12.0	1740	196	19.2	2790	138	13.5	1960
27	195	19.1	2770	135	13.2	1920	210	20.6	2990	150	14.7	2130
28	210	20.6	2990	149	14.5	2120	225	22.1	3200	164	16.1	2330
29	225	22.1	3200	163	16.0	2320	239	23.4	3400	177	17.4	2520
30	241	23.6	3430	178	17.5	2530	254	24.9	3610	191	18.7	2720
31	257	25.2	3660	193	18.9	2750	269	26.4	3830	205	20.1	2920
32	274	26.9	3900	209	20.5	2970	285	28.0	4050	220	21.6	3130
33	291	28.5	4140	225	22.1	3200	300	29.4	4270	234	23.0	3330
34	307	30.1	4370	240	23.5	3410	315	30.9	4480	248	24.3	3530
35	324	31.8	4610	256	25.1	3640	331	32.5	4710	263	25.8	3740
36	342	33.5	4860	273	26.8	3880	348	34.1	4950	279	27.4	3970
37	360	35.3	5120	290	28.4	4120	365	35.8	5190	295	28.9	4200
38	377	37.0	5360	307	30.1	4370	381	37.4	5420	311	30.5	4420
39	395	38.7	5620	324	31.8	4610	398	39.0	5660	327	32.1	4650
40	413	40.5	5870	341	33.4	4850	416	40.8	5920	344	33.7	4890

Fonte: Acervo pessoal da autora. 14 de junho de 2019.

Realizando o mesmo procedimento nos valores a montante, o primeiro ensaio obteve uma média de 35,4, o segundo de 36,5 e o terceiro de 37,5. A média dos três valores foi de 36,5. Realiza-se novamente uma interpolação entre os valores de 36, 37 e 36,5. Buscando o resultado final obteve-se resistência de aproximadamente 34,4 MPa.

Em relação a superfície do maciço, onde se encontravam pedaços de madeira no concreto, sabe-se que existe um teor admissível de partículas de baixa massa específica, que é o caso da madeira, esse teor está entre 2

e 5% da massa do agregado. Contudo, pela observação da quantidade de pedaços de madeira encontrados na superfície do concreto, supõe-se que o teor admissível foi ultrapassado.

Figura 09 – Pedaco de madeira encontrado no concreto superficial



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019

Figura 10 – Regiões onde se encontram ou se encontravam pedaços de madeira no concreto superficial



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019

Quanto as fissuras, ao levar em consideração que houveram práticas deficientes nos procedimentos adotados pela construtora contratada e a falha na supervisão e fiscalização da obra, pode-se considerar o surgimento de fissuras um resultado esperado. Em relação as fissurações, algumas delas foram medidas, e observou-se que tinham, em média, entre 2 e 3 milímetros.

De acordo com o Manual do Empreendedor sobre Seguranças de Barragens – 2016, publicado pela ANA, as fissuras encontradas em barragens de concreto podem ser divididas de acordo com a (tabela 03).

Tabela 03 – Classificação das fissuras em Barragens de Concreto

Abertura (mm)	Designação
$e \leq 0,50$	Fissura
$0,50 < e \leq 1,50$	Trinca
$1,50 < e \leq 5,00$	Rachadura
$5,00 < e \leq 10,00$	Fenda
$e > 10,00$	Brecha

Fonte: Manual do Empreendedor Sobre Segurança de Barragens, Volume II.

Diante da atual situação das fissuras encontradas na crista da barragem, conclui-se que, na verdade, as fissuras encontradas se tratam de rachaduras. E, também de acordo com o manual de segurança de barragens, fissuras com comprimento maior que 3 metros e abertura maior que 1 milímetro podem representar de médio a grande magnitude, possibilitando até a passagem de água, segundo (figuras 11 e 12).

Figura 11– Fissuras encontradas ao longo da barragem



Fonte: Acervo pessoal da autora. 18 de maio de 2019

Figura 12 - Fissuras de um lado a outro da passagem da barragem



Fonte: Acervo pessoal da autora. 18 de maio de 2019

No caso da seção vertedora e não-vertedora, de acordo com o memorial descritivo e de cálculo, que apresentou os valores das tensões calculadas pelo modelo e percentuais em relação a tensões admissíveis dos materiais em diferentes cenários, os percentuais das tensões máximas admissíveis se encontram em situações satisfatórias, atingindo um máximo de 64% para o caso do reservatório cheio.

Entretanto, na análise de estabilidade na situação crítica, “onde a coesão e o ângulo de atrito foram reduzidos devido à eventual ocorrência de saturação e trincas na situação vertedoras”, o fator de segurança é inferior aos valores recomendados.

A pior situação simulada ocorreria durante uma cheia com 2 metros de lâmina de vertimento. Nessa situação, poderia haver o colapso da estrutura, pois o fator de segurança apurado é menor que 1. Nos valores de

tensão do maciço em CCR envolvendo o reservatório cheio e no caso do reservatório cheio somado a sismos, em ambas situações, os fatores de segurança se encontram inferiores aos admissíveis

Em suma, a seção transversal vertedora utilizada no projeto da barragem, analisando pelos parâmetros estimados para a condição atual da mesma, não atende aos critérios de estabilidade admitidos para as situações envolvendo cheia com 2 metros de lâmina de vertimento, reservatório cheio e reservatório cheio somado a sismos.

Em relação a seção não-vertedora adotada no projeto da Barragem Passagem das Traíras, a mesma atende a maior parte dos critérios de estabilidade admitidos para as mesmas três situações consideradas na seção vertedora, entretanto, a estrutura sofre risco de esmagamento pelo seu próprio peso.

Na condição de reservatório cheio, as tensões de compressão no concreto foram 15% superiores às aceitas no critério de segurança, de acordo com os resultados das análises de tensões realizadas pela Acqua-tool Consultoria, e dispostas no primeiro volume do memorial descritivo e de cálculo.

7 SOLUÇÕES PARA O CCR

Para o paramento a montante, considerando a avaliação feita pela Acqua-tool, a necessidade da realização de intervenções poderia ser suprida com a realização de um novo paramento a montante, superposto ao existente, aderindo uma inclinação no paramento vertical.

O objetivo desse novo paramento, com declividade de $H=1:V=15$, são de promover a recuperação total da superfície micro fissurada e altamente permeável do paramento de montante, aumentar a estabilidade da barragem, considerando as situações mais adversas, e permitir a instalação de novas vedações nas juntas de contração.

O trecho do paramento de montante acima da linha de vertimento continuará vertical, entretanto, será submetido a impermeabilização e substituição das juntas de vedação. Os locais das juntas deverão ser escarificados para, em seguida, realizar um tratamento com cimentos especiais e completar sua regularização.

O trecho do paramento a jusante deverá receber um envelopamento com concreto face com 40 centímetros de diâmetro para impedir a continuação da degradação do concreto a jusante e reestabelecer sua resistência original.

Quanto às infiltrações na barragem, sabe-se que não existe sistema de vedação que seja capaz de impedir completamente a passagem da água, por esse motivo é necessário o controle dos fluxos internos da barragem com um sistema de drenagem interno. Com esse método é possível interceptar o fluxo interno e o conduzir controladamente para fora da barragem, impedindo o carreamento de partículas do maciço, entretanto, na barragem analisada existiam indicativos de funcionamento inadequado da drenagem interna, o que poderiam colocar em risco o desempenho do barramento.

Para o caso dos sistemas de drenos de profundidade, deverá haver uma nova bateria de drenos, mantendo equidistância de 2,5 metros entre furos e 6 metros de profundidade, e com execução a 1,25 metros de distância dos furos de injeção. Após a realização dos furos de drenagem, deve haver a reconstrução das calhas de drenagem associadas aos drenos.

7.1 Juntas de Contração

De acordo com Passuelo *et al.* (2005), a divisão de barragem de concreto em blocos separados por juntas de contração tem por um dos objetivos controlar alterações dimensionais causadas por variações térmicas do concreto, evitando a fissuração. As juntas também podem controlar os efeitos da descontinuidade das fundações.

O distanciamento das juntas pode ser calculado pelo estudo de evolução da temperatura e considerações sobre o grau de restrição gerados pelas fundações, e varia de acordo com o projeto.

Os blocos de concreto de barragens são delimitados por juntas de contração, que são formadas após o lançamento e espalhamento do concreto. Geralmente utiliza-se veda-juntas de PVC próximo ao paramento a montante.

Para as camadas em processo de concretagem existe a prática de inserção de plástico, lonas ou peças pouco espessas de madeira para formar as juntas, entretanto, esse material deve ser removido antes da compactação do material.

7.1.1 Análise dos projetos referentes as juntas de contração

Pelo fato da barragem se encontrar em uma região de clima quente, onde a variação térmica pode atingir 10°C em 24 horas, nota-se a necessidade de elementos para diminuir ou evitar os efeitos da tensão causada pela dilatação térmica do concreto, principalmente quando se trata de um grande volume. Com esse intuito, são consideradas as juntas de contração.

De acordo com o memorial descritivo, ao longo da extensão do paramento de montante associado a Ombreira esquerda, se desenvolvem 10 juntas de dilatação, além da junta de contato com a seção vertedora.

Quanto ao paramento a montante da soleira vertedora, existem 11 juntas de verticais, incluindo as juntas de contato com os paramentos das seções não vertedoras localizadas nas margens. E, em relação ao paramento de montante associado a Ombreira Direita, localizam-se 2 juntas verticais de contração, além da junta de contato com a seção vertedora.

Considerando a análise, foi verificado o espaçamento entre as juntas, e comparadas com o espaçamento estabelecido na norma. As juntas de dilatação deveriam ter um espaçamento de 15 metros, de acordo com a NBR 6118:2003:

As juntas de dilatação devem ser previstas pelo menos a cada 15 m. No caso de ser necessário afastamento maior, devem ser considerados no cálculo os efeitos da retração térmica do concreto (como consequência do calor de hidratação), da retração hidráulica e dos abaixamentos de temperatura.

As juntas de dilatação devem ter seu espaçamento especificado em projeto de acordo com cálculos usando a geometria do maciço, métodos construtivos, condições ambientais do local da obra, entre outros fatores.

7.1.2 Análise da execução das juntas de contração

A maioria das juntas tem um espaçamento de 20 metros, apresentando traçado com muitas imperfeições, evidenciando falta de estanqueidade e provável diminuição da eficácia da junta. Foi relatado que todas as juntas de dilatação da soleira da seção vertedora tem espaçamento de 13 metros e apresentam desconformidades. Elas não mantem a verticalidade

ou linearidade exigidas, causando permeabilidade decorrente da degradação da camada superficial de concreto, além da presença de microfissuras (figura 13 e 15).

Figura 13 – Vista de três juntas de dilatação, todas apresentando irregularidades.



Fonte: Acquatool – fevereiro de 2019

Figura 14 – Fissuras no final da junta de dilatação



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019.

Figura 15 – Junta de dilatação executada de forma irregular



Fonte: Acquatool – fevereiro de 2019

Sabendo da existência das tensões causadas pela expansão do concreto, é esperado que as juntas de dilatação sejam contínuas por toda a dimensão transversal do bloco, entretanto foi encontrado a quebra da continuação das juntas de dilatação, provocando fissuras partindo da junta até a borda da parede da estrutura (figura 14).

Além das fissuras encontradas onde deveria ser a continuação das juntas de dilatação, também encontraram-se fissuras transversais à estrutura, durante todo o prolongamento da barragem. Essas fissuras podem ter se formado, também, devido ao fato do material utilizado nas juntas de dilatação não ter propriedades elásticas para absorver as tensões oriundas do processo de alterações dimensionais, causadas pelas variações térmicas do concreto. Outro fator pode ter sido o dimensionamento incorreto das juntas, ou a execução das juntas inconsistente com o que foi projetado.

7.1.3 Análise das patologias das juntas de contração

Conforme observado na visita técnica, as juntas de dilatação estão disformes as normas referentes às juntas de dilatação em relação ao espaçamento. Além disso, o material visualizado no local não era o correto a ser utilizado. Não se tratava de um elastômero, e sim de material orgânico (madeira), que, por sua vez, além de não apresentar elasticidade adequada para utilização em juntas de contração, ainda aparentava escamação devido ao ressecamento causado pelo sol (figura 16).

Figura 16 – Junta de dilatação utilizando madeira



Fonte: Acervo pessoal da autora. 18 de maio de 2019.

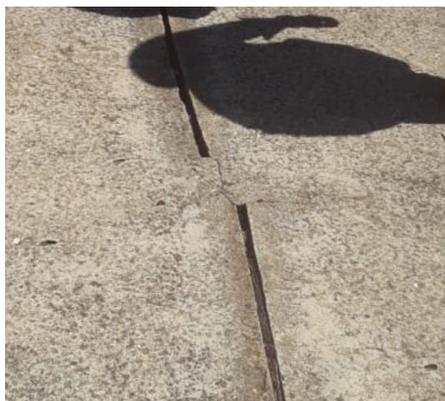
Também foram encontradas diversas descontinuidades ao longo das juntas de dilatação, o que provocou fissuras ligando uma parte a outra da junta, o que demonstra a necessidade de continuidade da mesma.

8 SOLUÇÕES PARA JUNTA DE COMPRESSÃO

Para solucionar os problemas nas juntas de compressão deve-se substituir todo o material atual das juntas por elastômeros capazes de absorver as tensões de tração e compressão das mudanças de temperatura. Além de promover a continuidade das juntas de contração da seção não vertedora, tanto na região de passagem quanto nas regiões próximas ao parapeito, onde muitas juntas não possuem continuidade para as regiões verticais do paramento.

Ainda será necessário realizar novos estudos de variação de temperatura para embasar o cálculo de novas distâncias entre as juntas de contração. Além das juntas existentes no projeto inicial, novas juntas deverão ser acrescentadas na barragem, envolvendo a passagem superior e seu prolongamento no paramento a jusante e a montante.

Figura 17 – Descontinuidade na junta de dilatação



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019.

Figura 18 – Descontinuidade nas juntas de dilatação formando fissuras



Fonte: Acervo pessoal da autora.
18 de maio de 2019.

9 CONCLUSÕES

Diante de todos os casos analisados, pode-se concluir a necessidade urgente de realizar as recuperações às estruturais da barragem, para que haja a diminuição ou anulação dos prejuízos financeiros e ambientais, como também dos riscos a população a jusante.

A estabilidade da barragem aponta uma situação crítica, e manifesta restrições estruturais na situação de reservatório cheio, demonstrando redução na tensão máxima admissível a compressão do CCR. Nessa situação, a seção máxima não vertedora, devido a tensões excessivas não suportadas, corre o risco de esmagamento por seu próprio peso, enquanto na seção vertedora, a mesma se mostra instável ao deslizamento.

Para tornar estável a situação da seção vertedora, capaz de suportar a cheia decamilenar, considera-se a construção de um novo paramento a montante oblíquo, além da reconstrução da crista e o envelopamento da rampa de descida do vertedouro com uma camada de concreto. Já para o caso da situação não vertedora, considera-se o rebaixamento do coroamento da barragem, uma nova seção de paramento a montante também oblíqua, e um acréscimo de 0,4 metros no paramento a jusante.

Esse acréscimo no paramento a jusante resume a intervenção no paramento a jusante das seções não vertedoras, que se encontram intensamente degradadas. Para essa realidade, considera-se o envelopamento com concreto face com preenchimento e regularização das zonas de erosão de 40 centímetros.

Sobre a impermeabilização da barragem, se conclui que a falta de injeções impermeabilizantes trouxe danos a drenagem interna do maciço. Foram implantados drenos de alívio, entretanto, ainda deve ocorrer a injeção de cimento para impermeabilização a jusante da linha de drenos de alívio.

A implementação dos furos de injeção deveriam preceder a execução dos drenos, para evitar o entupimento dos drenos com cimento ou o retorno das injeções, contudo, como os drenos já existem, considera-se o descarte dos mesmo para drenagem e seu reaproveitamento para uso nas injeções.

A galeria de drenos se encontra numa situação favorável a sua recuperação, pois o reservatório se encontra quase vazio. A intervenção na galeria

envolve a reconstrução do sistema de drenos de profundidade, na calha coletora e exultórios e reconstrução das paredes da galeria de drenos e da rampa de acesso existente.

Se tratando das juntas de contração, conforme o que foi relatado, as mesmas não absorvem devidamente as tensões de compressão e retração da estrutura, por não possuir espaçamento e material adequado para juntas de contração. Para essa situação considera-se a substituição do material atual (madeira) por um material elástico, que realmente ira absorver as tensões da estrutura, com execução de novas juntas de dilatação aonde deveriam existir e não foram realizadas.

Considerando as execuções citadas para solucionar os problemas patológicos encontrados na barragem de Passagem das Traíras, é possível assegurar a estabilidade da estrutura e o aumento de sua vida útil. Entretanto, é necessário o envolvimento do poder público para que hajam as devidas reformas, manutenções e adequações na barragem.

10 REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues; FREITAS JUNIOR, Manoel de Sousa.

Memorando AE/HY – SEM – RN – TRAIÍRAS – 01/2019. Análise preliminar de documentos para readequação da Barragem de Passagem das Traíras. Rio Grande do Norte, 18 mar. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:**

Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003, p. 108.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agencia Nacional de Águas.

Manual do Empreendedor sobre Seguranças de Barragens.

Guia de Inspeções e Formulários para Inspeções sobre Segurança de Barragens. Brasília, 2016. 220 p., v.2. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/ManualEmpreendedor/GuiaOrientacaoFormulariosParaInspecoesSegurancaBarragem.PDF>. Acesso em: 26 jun. 2019.

BERNARDI, Douglas Francescato; ONZI, Juliana Gonçalves; MASCARELLO, Germano Piroli; BUENO, Paulo Fantin. Patologia em grandes estruturas: estudo da percolação de água na barragem do Marrecas – Caxias do Sul/RS. In: **Comitê Brasileiro de Barragens**, XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens, 2015, Foz do Iguaçu – PR.

PASSUELO, A. *et al.* **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 2 v. ed. G. C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

O QUE É O SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 29 maio 2019.

SEMARH. Estudo de elaboração do projeto executivo para recuperação/manutenção da barragem Passagem das Traíras – Contrato nº 009/2018. **Memorial Descritivo e de Cálculo**. Rio Grande do Norte, março 2019. v.1.

SEMARH. Estudo de elaboração do projeto executivo para recuperação/manutenção da barragem Passagem das Traíras – Contrato nº 009/2018. **Plano de Trabalho dos Serviços de Escritório e Levantamento de Campo**. Rio Grande do Norte, fev. 2019.