



WILLIAN GABOARDI

**PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS HIDRÁULICOS
ELEVADOS DE CONCRETO ARMADO**

Caxias do Sul

2019

WILLIAN GABOARDI

**PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS HIDRÁULICOS
ELEVADOS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Anhanguera, como requisito parcial para a
obtenção do título de graduado em Engenharia
Civil.

Orientador: Eng. Vitor Tanno

Caxias do Sul
2019

WILLIAN GABOARDI

**PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS HIDRÁULICOS
ELEVADOS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Anhanguera, como requisito parcial para a
obtenção do título de graduado em Engenharia
Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Rafael Almada Trindade

Profa. Ma. Daiane Cassol

Caxias do Sul, 09 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por iluminar meu caminho.

À minha família e aos amigos, pelo apoio, compreensão e incentivo.

Aos professores, por compartilharem seu conhecimento no decorrer desta caminhada.

Aos colegas, por dividirem angústias, medos e vitórias.

GABOARDI, Willian. **Patologias em reservatórios hidráulicos elevados de concreto armado.** 2019. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Anhanguera, Caxias do Sul, 2019.

RESUMO

Reservatórios elevados correspondem a construções feitas para receber água de estações de tratamento por meio de adutoras ou reservatórios de maior volume apoiados ou enterrados, a fim de distribuí-la a pontos de consumo. A sua estrutura propicia o condicionamento e a equalização das pressões nas regiões mais altas, as quais não podem ser abastecidas pelo principal reservatório. Entretanto, em função de inúmeras adversidades, é frequente a manifestação de patologias nessas estruturas, como é o caso das fissuras, trincas e corrosões provocadas pela deterioração do concreto, pela agressividade da localização, do tempo de vida do reservatório e, principalmente, pela falta de manutenção. Assim, este estudo objetivou a investigar, por meio de uma revisão de literatura, as principais manifestações patológicas encontradas em reservatórios elevados feitos em concreto armado, a fim de diagnosticar suas possíveis causas e descrever possíveis formas de reparo e prevenção. Dessa maneira, analisou-se o conceito e a composição do concreto e do concreto armado; apresentou-se o conceito e os tipos de reservatório de distribuição de água e a sua classificação, bem como as definições instituídas aos reservatórios hidráulicos elevados feitos de concreto armado; e identificaram-se as causas e as consequências das patologias encontradas em reservatórios elevados, com o intuito de prevenir novas manifestações e/ou buscar por soluções efetivas e reparos aos danos. Concluiu-se que a manutenção e os reparos executados nessas construções são precários e poderiam minimizar, consideravelmente, a ocorrência de novas de manifestações patológicas.

Palavras-chave: Concreto armado; Reservatórios hidráulicos; Reservatório elevado; Patologia.

GABOARDI, Willian. **Pathologies in elevated reinforced concrete reservoirs**. 2019. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Anhanguera, Caxias do Sul, 2019.

ABSTRACT

Raised reservoirs correspond to constructions made to receive water from treatment plants through water mains or larger tanks supported or buried in order to distribute it to consumption points. This structure allows the conditioning and equalization of pressures in the higher regions, which cannot be supplied by the main reservoir. However, due to innumerable adversities, the manifestation of pathologies in these structures is frequent, as is the case of fissures, cracks and corrosion caused by the deterioration of the concrete, the aggressiveness of the location, the reservoir lifetime and, mainly, the lack of maintenance. Thereby, this study aimed to investigate, through a literature review, the main pathological manifestations found in elevated reservoirs made of reinforced concrete, in order to diagnose their possible causes and describe possible forms of repair and prevention. This way, the concept and composition of concrete and reinforced concrete were analyzed; the concept and types of water distribution reservoir and their classification were presented, as well as the definitions given to the elevated hydraulic reservoirs made of reinforced concrete. Also, the causes and consequences of pathologies found in elevated reservoirs were identified, in order to prevent new manifestations and / or to search for effective solutions and repair of damage. It was concluded that maintenance and repairs performed on these constructions are precarious and could considerably minimize the occurrence of new pathological manifestations.

Keywords: Reinforced concrete; Hydraulic reservoirs; Elevated reservoir; Pathology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de concepção do concreto simples	13
Figura 2 - Vigas feitas em concreto simples (a) e concreto armado (b)	16
Figura 3 - Classificação dos reservatórios quanto à sua localização no terreno	20
Figura 4 - Reservatório hidráulico elevado de concreto armado	21
Figura 5 - Fissuração nos pilares do reservatório elevado de concreto armado	24
Figura 6 - Fissuras decorrentes do ataque de cloretos	26
Figura 7 - Exemplo de caso de eflorescência.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características de três materiais de construção.....	12
Quadro 2 - Classificação dos reservatórios hidráulicos.....	19
Quadro 3 - Agentes causadores de patologias em construções de concreto.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	12
2.1	COMPOSIÇÃO DO CONCRETO.....	12
2.2	COMPOSIÇÃO DO CONCRETO ARMADO	15
3	RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO	18
3.1	CONCEITO DE RESERVATÓRIO HIDRÁULICO	18
3.2	CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS HIDRÁULICOS.....	19
3.2.1	Reservatórios hidráulicos elevados	20
4	PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS ELEVADOS	23
4.1	INCIDÊNCIAS PATOLÓGICAS E POSSÍVEIS CAUSAS.....	23
4.2	SOLUÇÕES E REPAROS	28
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o concreto armado é utilizado em grandes estruturas como edificações, obras de saneamento, estações de tratamento de água, sistemas de esgotos, barragens, usinas hidrelétricas, pontes, viadutos e rodovias em todo o mundo (BORGES, 2008).

Dessa forma, constroem-se reservatórios elevados, os quais correspondem a edificações destinadas ao recebimento de água das estações de tratamento e à sua distribuição até os pontos de consumo. Seu propósito consiste em condicionar e equalizar as pressões nas áreas de cotas topográficas mais altas, as quais não podem ser abastecidas pelo principal reservatório (TORRES; SILVA; PALIGA, 2016).

Contudo, a construção e a manutenção de um reservatório elevado feito em concreto armado implica em: (a) garantir a impermeabilidade do tanque; (b) considerar que, pelo fato de estar em contato direto com a água, reações químicas podem ser desenvolvidas neste ambiente a ponto de comprometer a estrutura do reservatório; (c) atentar para falhas, pois a evolução de algumas manifestações podem danificar a estrutura e potencializar o prejuízo; (d) ponderar que o custo da recuperação da estrutura se soma ao custo da água tratada que é perdida, provocando o aumento considerável dos danos; (e) assegurar que os profissionais apresentem conhecimento e formação adequada para trabalhar neste setor; (f) entre outros (BORGES, 2008). Assim, constata-se a importância da identificação das manifestações patológicas encontradas neste âmbito, para que as intervenções de prevenção e de reparo sejam executadas da melhor forma possível.

Problemas como falhas de projeto, erros de execução e ausências na manutenção preventiva em estruturas construídas são graves fatores que aceleram o processo de degeneração dessas edificações. Dessa forma, questiona-se: quais são as patologias mais encontradas em reservatórios elevados de concreto armado e de que forma podem ser prevenidas ou solucionadas?

Dessa maneira, este estudo tem como objetivo geral investigar, por meio de uma revisão de literatura, as principais manifestações patológicas encontradas em reservatórios elevados feitos em concreto armado, a fim de diagnosticar suas possíveis causas e descrever possíveis formas de reparo e prevenção. Já os objetivos específicos consistem em: analisar o conceito e a composição do concreto e do concreto armado; apresentar o conceito e os tipos de reservatório de distribuição de

água e a sua classificação, bem como as definições instituídas aos reservatórios hidráulicos elevados feitos de concreto armado; e identificar as patologias encontradas em reservatórios elevados, suas causas e consequências, e os possíveis mecanismos de reabilitação, a fim de prevenir novas manifestações e/ou buscar por soluções efetivas e reparos aos danos.

Esta pesquisa tratou de uma revisão de literatura dos estudos desenvolvidos e publicados nos últimos 20 anos acerca dos assuntos supracitados. Para isso, foram realizadas pesquisas em livros, artigos científicos, teses, dissertações e normas regulamentadoras nas seguintes bases de dados: Google Acadêmico, Scielo e no catálogo de teses e dissertações da Capes, a partir das palavras-chave: Concreto armado; Reservatórios hidráulicos; Reservatório elevado; Patologia.

2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A pedra e a madeira foram os primeiros materiais utilizados em construções. Já o aço e o concreto armado foram desenvolvidos apenas no início do século XX, alterando drasticamente os processos de construção civil. Juntamente com outros materiais e novas técnicas, obras de maior porte e resistência foram edificadas. Com isso, a alvenaria passou a ser utilizada, quase que exclusivamente, como elemento de fechamento (CAMACHO, 2006).

2.1 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

A qualidade de um material de construção é aferida a partir das suas principais características, que consistem na resistência e na durabilidade. Nesse sentido, Bastos (2006) evidencia as principais especificidades de três materiais de construção, conforme demonstra o Quadro 1.

Quadro 1 - Características de três materiais de construção

Material	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Pedra natural	resistência à compressão e durabilidade muito elevada	baixa resistência à tração
Madeira	resistência razoável	durabilidade limitada
Aço	resistência mecânica elevada	requer proteção contra a corrosão

Fonte: desenvolvido pelo autor com base em Bastos (2006).

A partir disso, surgiu o concreto armado com o intuito de aliar as qualidades da pedra natural (resistência à compressão e durabilidade) com as do aço (resistências mecânicas), associadas às vantagens de poder assumir inúmeras formas, de modo rápido e fácil, e propiciar a necessária proteção do aço contra a corrosão (BASTOS, 2006). Além disso, Costa e Silva (2002) reiteram que o concreto também apresenta resistência ao fogo, em função de suas características térmicas. Ao ser aquecido, ele não emana gases tóxicos e, ao ser comparado com peças de metal, exibe maior massa e volume.

Pinheiro *et al.* (2010) afirmam que o concreto corresponde a um material de construção composto por aglomerantes, agregados e água. Ademais, pode-se contar

também com aditivos químicos e adições, a fim de potencializar suas propriedades básicas.

Bastos (2006) salienta que ao misturar a água ao cimento obtém-se uma pasta, a qual é misturada à areia para a concepção da argamassa. Consequentemente, une-se a argamassa com pedra ou brita para a obtenção do concreto simples, que corresponde ao concreto sem armaduras. A Figura 1 ilustra o processo de concepção do concreto simples.

Figura 1 - Processo de concepção do concreto simples



Fonte: Bastos (2006)

Assim, os aglomerantes são misturados a fragmentos de outros materiais. No concreto, habitualmente, utiliza-se o cimento *Portland*, que corresponde a um pó fino e, pelo fato de ser um aglomerante hidráulico, reage com a água e enrijece com o passar do tempo (PINHEIRO et al., 2010).

Concernente a Bastos (2006), o cimento *Portland* surgiu em 1824, na Inglaterra, entretanto, sua produção iniciou apenas em 1850. O autor salienta que após o seu endurecimento, mesmo que seja submetido à água novamente, o cimento não se dissolve mais. Tendo em vista o produto final almejado, o cimento é o principal elemento para confecção de concreto e é o agente transformador da mistura desse processo.

Já os aditivos dizem respeito aos produtos adicionados em pequena dosagem para modificar algumas propriedades, a fim de melhorar o concreto para determinada condição. Por meio de sua utilização pode-se aumentar a durabilidade e a resistência;

melhorar a impermeabilidade; aperfeiçoar a trabalhabilidade; retirar formas em um curto período; diminuir o calor de hidratação; e diminuir a retração (GONÇALVES, 2015). Pinheiro et al. (2010) descreve que os principais aditivos são: plastificantes, retardadores e aceleradores de pega, plastificantes retardadores e aceleradores, incorporadores de ar e superplastificantes, de cunho retardador e acelerador.

No que tange às adições, são materiais incorporados aos concretos ou inseridos nos cimentos ainda em sua fabricação, implicando nos múltiplos tipos de cimentos comerciais. Acredita-se que, devido à alteração do cimento sofrida pela incorporação dessas adições, passam a ser conhecidos por aglomerantes. Pinheiro et al. (2010) descreve que os principais são: escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferro-silício e metacaulinita.

Por meio dos agregados, é possível aumentar o volume da mistura, reduzindo o custo e contribuir com a estabilidade volumétrica do concreto. Para isso, utiliza-se a areia como agregado miúdo e as pedras ou britas como agregado graúdo (PINHEIRO et al., 2010).

Conforme Porto e Fernandes (2015, p. 24),

devido ao fato de o concreto apresentar boa resistência à compressão, mas não à tração, a utilização do concreto simples se mostra muito limitada. Quando se faz necessária a resistência aos esforços de compressão e tração, associa-se o concreto a materiais que apresentem alta resistência à tração, resultando no concreto armado ou protendido.

Além disso, o concreto pode apresentar algumas restrições e, por isso, algumas providências devem ser tomadas para amenizar essas adversidades. As principais limitações são: retração e fluênci, baixa resistência à tração, baixa ductilidade, fissuração, peso próprio elevado, custo de formas para moldagem e corrosão das armaduras. Para suprir essas necessidades, há diversas alternativas. Primeiramente, deve-se dar atenção a todas as fases de preparação, desde a escolha dos materiais e da dosagem até o adensamento e a cura do concreto; controlar as forças que atuam na estrutura, uma vez que elas implicam na fluênci; utilizar armadura adequada, de preferênci a constituída por barras de aço (concreto armado), pois, além de resistência à tração, o aço garante ductilidade e aumenta a resistência à compressão, em relação ao concreto simples; os estribos utilizados em peças comprimidas podem evitar a flambagem das barras, confinando o concreto e propiciando o aumento da ductilidade; já as fissuras podem ser contornadas ainda na fase inicial, que consiste

no desenvolvimento do projeto, quando se escolhe a armação adequada e a limitação do diâmetro das barras e da tensão da armadura (PINHEIRO et al., 2010).

2.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO ARMADO

De acordo com a NBR 6118:2003, p. 4, que estabelece os requisitos básicos para desenvolver projetos de estruturas de concreto, determina que elementos de concreto armado são “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

O concreto armado consiste na associação entre o concreto simples e uma armadura constituída, normalmente por barras de aço. Esses materiais devem resistir solidariamente aos esforços solicitados, de modo que essa reciprocidade é garantida pela aderência (PINHEIRO et al., 2010).

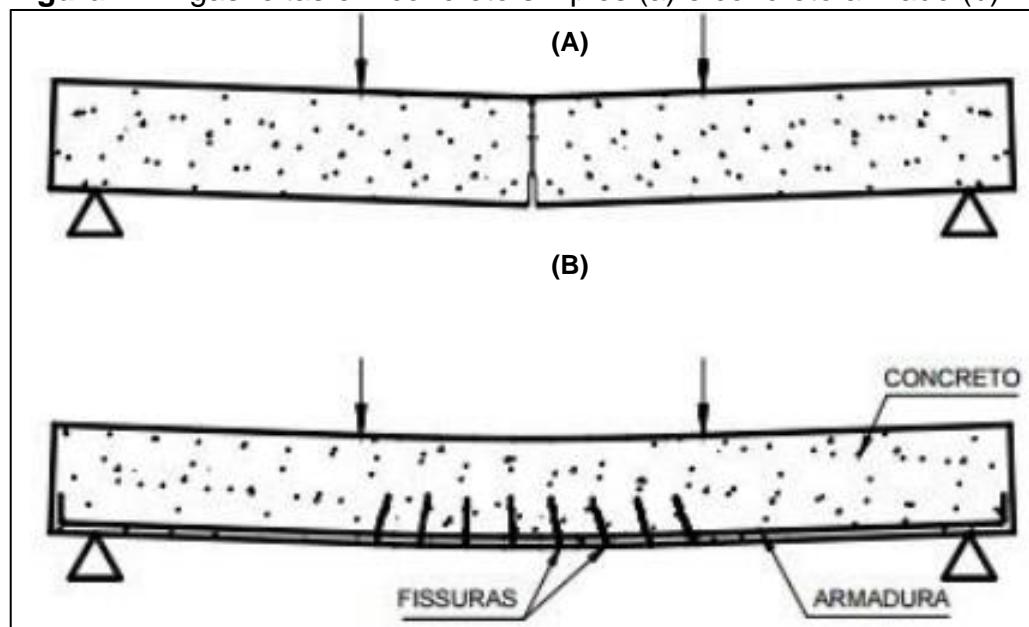
A armadura utilizada em estruturas de concreto armado é denominada de passiva, pois, segundo a NBR 6118:2003, p. 4, corresponde a “qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada”. Desta maneira, Gonçalves (2015) conclui que as tensões e deformações nela empregadas devem-se tão somente aos carregamentos aplicados nas peças onde a armadura está inserida.

Freitas (1997) defende que os aços estruturais utilizados em construções feitas em concreto armado, especificamente os de origem nacional, podem ser classificados como aços de dureza natural laminados a quente e aços encruados a frio. Os aços de dureza natural laminados a quente são os mais utilizados, como o CA-25 e o CA-50 (antigamente conhecidos como aços do tipo A). Gonçalves (2015) declara que os aços CA-50 exibem algumas protuberâncias que potencializam sua aderência. Por serem laminados a quente, não perdem as propriedades de resistência, quando aquecidos ao rubro e, consequentemente, resfriados. Assim, podem ser soldados com eletrodos de consumo comercial e não sofrem com a ação de chamas, as quais podem implicar em incêndios. Freitas (1997) alega que os aços encruados a frio são os provenientes de tratamentos a frio, feitos em aços mais comuns, como os CA-60 (antigamente conhecidos por aços do tipo B). Nesse processo, o aço é encruado a frio por torção combinada a tração. Na presença de defeitos no material, há o rompimento em

detrimento do encruamento. Isso faz com que a sua fabricação corresponda a um ensaio para identificar falhas.

A Figura 2 ilustra uma viga feita de concreto simples e outra feita de concreto armado. A imagem (a) apresenta uma viga de concreto simples, que se rompe após a primeira fissura se manifestar, em função de carregamentos externos. Isso acontece em virtude de a tensão de tração atuante ser maior que a suportada pelo concreto. Já na imagem (b), uma armação foi adicionada ao concreto simples, na região em que se concentram as tensões de tração, fazendo com que a resistência do conjunto aumente drasticamente, de modo que a viga suporte o carregamento e não rompa (GONÇALVES, 2015).

Figura 2 - Vigas feitas em concreto simples (a) e concreto armado (b)



Fonte: Gonçalves (2015).

A utilização do concreto armado é muito vantajosa, pois configura um material moldável, que permite que inúmeras formas e concepções arquitetônicas sejam feitas; é resistente; sua estrutura é monolítica; os materiais e a mão de obra não são caros; seus processos são conhecidos em todo o país; sua manipulação é fácil e rápida, principalmente quando são utilizadas peças pré-moldadas; protege as armaduras de corrosões; apresenta alta durabilidade; se a estrutura for bem projetada e construída de forma adequada, a manutenção é fácil e os gastos são reduzidos; é pouco permeável à água, quando dosado de modo correto e executado em condições corretas de plasticidade, adensamento e cura; é resistente a choques e vibrações,

efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos (PORTO; FERNANDES, 2015).

3 RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO

Em muitos lugares do mundo o acesso à água de qualidade destinada ao consumo é restrito. Isso se deve a diversos fatores relativos à geografia, à política, à economia, à natureza etc. Em algumas localidades, o tratamento e a distribuição da água são precários e não chega a muitos lugares, sobretudo aos mais necessitados. Entretanto, chegar a um determinado local não basta, é necessário que a água seja potável, caso contrário, essa água implicará no desenvolvimento de adversidades nutricionais, econômicas e sanitárias à população que a recebe (FREITAS, 2007).

Freitas (2007) salienta que um dos problemas encontrados na distribuição de água consiste na dificuldade para extraí-la e transportá-la de um determinado depósito para o seu terminal, para que seja utilizada.

Assim, este capítulo visa a apresentar o conceito e os tipos de reservatório de distribuição de água, bem como a sua classificação. Além disso, tendo em vista o propósito deste estudo, serão investigadas as definições instituídas aos reservatórios hidráulicos elevados feitos de concreto armado, os quais facilitam a distribuição da água e garantem o acesso da população.

3.1 CONCEITO DE RESERVATÓRIO HIDRÁULICO

De acordo com a NBR 12217:1994, reservatório hidráulico diz respeito ao “elemento do sistema de abastecimento de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição”.

Em outras palavras, Funasa (2007, p. 110) evidencia que os reservatórios de distribuição de água objetivam

suprir as variações de consumo ao longo do dia; manter a pressurização adequada da rede; garantir a continuidade do abastecimento em caso de paralização da adução, como consequência do rompimento da adutora, interrupção na captação e/ou tratamento, falta de energia elétrica, entre outros; e garantir reserva de água para uso de combate a incêndio.

Nesse sentido, os reservatórios são construídos para abastecer a população; proporcionar irrigação e navegação; controlar as cheias; e gerar energia elétrica. Contudo, esse tipo de construção implica em uma série de fatores, que devem ser

averiguados, como os danos à natureza, principalmente no que tange a fauna e a flora do rio e de suas margens devido às alterações do regime de vazões; remoção de residentes no âmbito da zona de inundação do reservatório; suspensão parcial do deslocamento de substâncias residuais e nutritivas a jusante; e perda de volume em função da evaporação pelo espelho d'água do tanque (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS HIDRÁULICOS

Com base na função, na implantação e na capacidade, os reservatórios de distribuição de água são classificados de diferentes formas, como pode-se observar no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos reservatórios hidráulicos

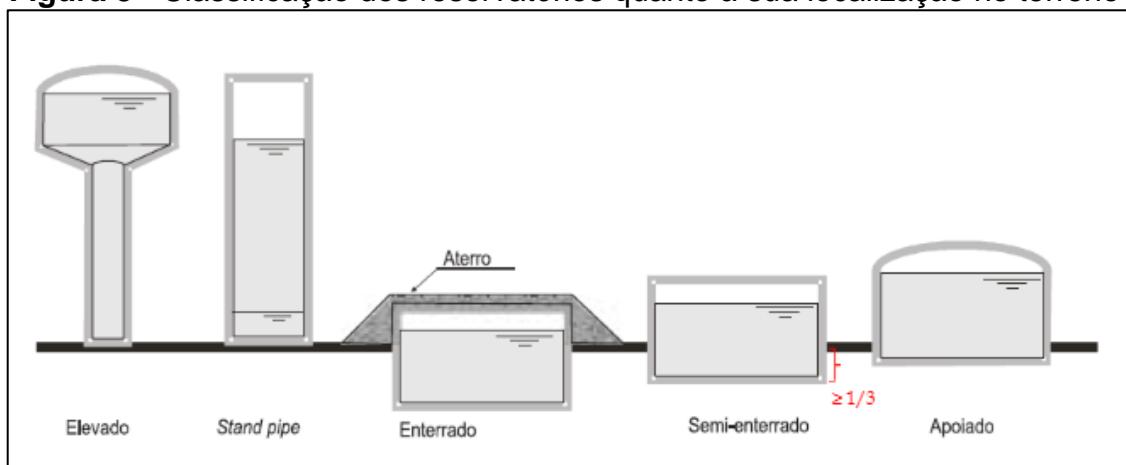
Classificação	Tipos
Quanto à LOCALIZAÇÃO no terreno	Enterrado: quando completamente embutido no terreno. Semienterrado ou semiapagado: parte da altura líquida abaixo do nível do terreno. Apoiado: laje de fundo apoiada no terreno. Elevado: reservatório apoiado em estruturas de elevação. Stand pipe: reservatório elevado com a estrutura de elevação embutida para manter o perímetro transversal da edificação contínuo.
Quanto à LOCALIZAÇÃO no sistema	Montante: antes da rede de distribuição. Jusante ou de sobras: após a rede. Intermediário
Quanto às DIMENSÕES	Achatados: onde a altura é bem menor que as dimensões em planta; Alongados: com comprimento muito maior que a largura e altura; Cúbicos: onde altura, comprimento e largura apresentam a mesma ordem de grandeza.
Quanto à DISTRIBUIÇÃO das células	Simples: com apenas uma célula. Múltiplos: quando apresentam mais de uma célula dispostas horizontal ou verticalmente.
Quanto à CAPACIDADE de armazenamento	Pequena capacidade: até 50m ³ Média capacidade: entre 50m ³ e 200m ³ Grande capacidade: mais de 200m ³
Quanto à FORMA	Circular; retangular; hexagonais e octagonais.

Fonte: baseado em Guimarães, Carvalho e Silva (2007) e Kuehn (2002).

Entende-se que o reservatório de água é definido pelo espaço do terreno, a partir das especificações detalhadas no projeto de construção. Nesse processo, verifica-se se a obra é atendida ou não pela rede pública de abastecimento de água, pois com base nas condições de pressão na rede é aferida a possibilidade de elevação, no caso de um reservatório elevado (MELLO, 2019).

A Figura 3 apresenta a diferença entre os reservatórios de água com relação à sua localização no terreno.

Figura 3 - Classificação dos reservatórios quanto à sua localização no terreno



Fonte: Mello (2019).

Já a classificação do reservatório baseada na localização no sistema, pode ser de montante, o qual sempre fornece água à rede ou o que cruza com toda a água que abastece a rede de distribuição; de jusante, que recebe água da rede de distribuição e fornece água à rede de distribuição nos períodos em que o consumo é menor que a adução; e de posição intermediária, que é o intercalado no sistema de adução e tem o propósito de servir propiciar a regularização das transições entre o bombeamento e/ou adução por gravidade (MELLO, 2019).

Não há limitações no que se refere à forma, contudo é fundamental que ela proporcione economia na fundação, na estrutura, nos equipamentos de operação e interligação das unidades e na utilização da área. Em relação às dimensões do reservatório, o projeto de construção é responsável por definir o volume a ser armazenado e, normalmente, suas dimensões variam conforme a quantidade de líquido a ser depositada. Concernente à distribuição das células, habitualmente, utilizam-se os múltiplos por não dependerem da suspensão do abastecimento de água, devido aos serviços de manutenção (NBR 12217:1994).

3.2.1 Reservatórios hidráulicos elevados

Concernente à NBR 12217:1994, a principal função dos reservatórios elevados consiste no condicionamento e na equalização das pressões nas áreas de cotas

topográficas mais altas, as quais não podem ser abastecidas pelo reservatório principal da edificação. Em vista disso, reservatórios são construções destinadas à distribuição até as edificações e ao recebimento de água das estações de tratamento, por meio de adutoras ou de reservatórios de maior volume enterrados ou apoiados.

Borges (2008) refere que os materiais usados para construir os reservatórios hidráulicos são diversos, de modo que ser feito em aço, poliéster armado com fibra de vidro, alvenaria, madeira e, o mais usual no cenário brasileiro, concreto. Observa-se na figura 4, um reservatório elevado de água feito de concreto armado.

Figura 4 - Reservatório hidráulico elevado de concreto armado



Fonte: Hopase (2019).

Dessa forma, comprehende-se que o reservatório elevado de concreto armado configura um modelo de caixa d'água com excelente aproveitamento interno, pois sua estrutura pode suportar mais de 200.000 litros. A sua capacidade hidráulica é definida com base na demanda de cada empreendimento (VIANA, 2013).

Borges (2008, p. 50) afirma que os reservatórios elevados são elementares, pois proporcionam o abastecimento por gravidade, ou seja, quanto mais alta for a estrutura, mais pressão terá a água. Esse tipo de reservatório permite que haja uma

pressão mínima na rede de saneamento, considerando que as cotas do terreno não propiciam possibilidades para que o tanque seja apoiado ou semienterrado. Dessa maneira, “necessita-se de uma cota piezométrica de montante superior à cota de apoio do reservatório no terreno local”.

Por conseguinte, a água é mantida em reservatórios elevados para

manter a regularidade do abastecimento direto, mesmo quando é necessário paralisar a produção para manutenção em qualquer uma das unidades do sistema e atender às demandas extraordinárias, como as que ocorrem nos períodos de calor intenso ou quando, durante o dia, usa-se muita água ao mesmo tempo (FREITAS, 2007, p. 1).

A maioria dos reservatórios elevados são construídos em concreto armado, pois apresenta maior durabilidade e versatilidade, podendo ser instalados em obras de saneamento público, condomínios, indústrias, entre outros ambientes (HOPASE, 2019). Quanto à estrutura, os reservatórios hidráulicos elevados são edificados por pilares e vigas e o seu sustento é feito por meio de torres de suporte construídas em concreto armado (BORGES, 2008).

Destaca-se que os reservatórios elevados de concreto armado configuram a opção mais econômica do mercado, pois o preço a ser investido em formas metálicas cilíndricas por metro quadrado é acessível. Sabendo que os tanques podem ser instalados de forma rápida, espera-se que sejam construídos por profissionais habilitados, que possuam conhecimento e experiência na execução de obras em concreto armado, pois se não forem bem planejados, desenvolvidos e mantidos podem desenvolver algumas patologias capazes de prejudicar as condições de uso do reservatório (BORGES, 2008; HOPASE, 2019).

4 PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE CONCRETO ARMADO

Silva e Jonov (2019) evidenciam que para a Engenharia Civil, as patologias referem-se às adversidades provocadas pelos defeitos das edificações. Isto é, condiz com o estudo das enfermidades/doenças das construções.

Dessa forma, este capítulo propõe-se a identificar as patologias observadas em reservatórios hidráulicos elevados feitos de concreto armado, pois acredita-se que este estudo pode oferecer conhecimento aos responsáveis pelas obras, no que concerne a sua responsabilidade quanto à qualidade dos processos construtivos desenvolvidos pelos seus funcionários no âmbito de trabalho. Para isso, serão analisados os problemas, as suas causas e consequências, e os possíveis mecanismos de reabilitação, a fim de prevenir novas manifestações e/ou buscar por soluções efetivas e reparos aos danos.

4.1 INCIDÊNCIAS PATOLÓGICAS E POSSÍVEIS CAUSAS

Helene (2003) afirma que se encontram nas construções de concreto armado inúmeros agentes de danificação, os quais provêm de fatores adversos, conforme indica o Quadro 3:

Quadro 3 - Agentes causadores de patologias em construções de concreto

FATORES	AGENTES DE DETERIORAÇÃO
Fatores físicos	Variações de temperatura, umidade, calor excessivo, raios ultravioletas, vento, chuva, maresia
Fatores químicos	Poeira, fuligem, gases poluentes, maresia
Fatores biológicos	Fungos, insetos, vegetação, bactérias, animais
Fatores antrópicos	Manuseio, vandalismo, uso inadequado, transportes, processo construtivo inadequado
Fatores naturais	Cheias, incêndios, ventos, chuvas, tremores

Fonte: Helene (2003).

Com relação às manifestações patológicas que acometem os reservatórios hidráulicos feitos de concreto armado, observa-se o desenvolvimento de fissuras e trincas; a corrosão de armaduras; as infiltrações; a danificação do concreto em função da carbonatação; a presença de cloretos; entre outras mazelas (BORGES, 2008).

Segundo Olivari (2003), essas manifestações patológicas são respostas ao projeto que é precário, aonde os detalhes relativos à metodologia de construção não estão explícitos; a maioria das medidas não foi calculada; o clima da localidade em que a edificação será realizada não foi avaliado, fazendo com que não se saiba o comportamento ambiental no que tange às intempéries; entre outros problemas. Isto é, sem as informações detalhadas, haverá inconsistências significativas no projeto da obra e adversidades na execução da construção e no seu uso.

Oliveira (2013) refere que 52% das causas das patologias observadas em construções brasileiras, deve-se a falta de comprometimento dos trabalhadores com a obra. Já para Sampaio (2010), os materiais utilizados na obra, como o concreto, por exemplo, são vulneráveis e de baixa resistência à tração. A partir disso, constata-se que muitas das patologias encontradas em reservatórios hidráulicos feitos de concreto armado poderiam ser evitadas se fossem utilizados materiais de qualidade e uma metodologia de construção adequada baseada nas normativas já instauradas no Brasil.

Como demonstra a Figura 5, em decorrência da falta de cuidado, as fissuras são as mais comuns dentre as patologias averiguadas nos reservatórios elevados de concreto armado e comprometem a estética, a durabilidade e a estrutura da edificação (CORSINI, 2010).

Figura 5 - Fissuração nos pilares do reservatório elevado de concreto armado



Fonte: Borges (2008).

Infelizmente, o surgimento de fissuras em construções executadas em concreto armado é irrevogável, em função da pouca resistência do material à tração. Entretanto, cabe ao projetista analisar as dimensões das armaduras para que o esforço requerido seja desenvolvido dentro dos limites pré-determinados pelas normas, no que consiste as aberturas por fissuração (VIANA; 2013).

Ainda para Viana (2013), quando se trata de reservatórios hidráulicos em concreto armado, o cuidado com as fissuras não muda, pelo contrário, deve ser ainda maior, a fim de assegurar a durabilidade e evitar a perda de estanqueidade. Dessa maneira, medidas de prevenção devem ser realizadas tanto na fase de projeto quanto na fase de execução e utilização dos tanques, para limitar a abertura de fendas.

Por meio de vistorias e ensaios não destrutivos em estruturas de concreto armado que já existem, pode-se averiguar a integridade e a capacidade da resistência dos materiais. Nesse ínterim, pode ser observada a massa específica, o módulo de elasticidade e a resistência (EVANGELISTA; 2002).

Com relação aos ensaios não destrutivos,

entre as propriedades do concreto que podem ser avaliadas por meio de ensaios não destrutivos, tem-se: massa específica, módulo de elasticidade e resistência. Ainda podem ser investigadas a dureza superficial, absorção, permeabilidade, condições de umidade, e também a localização das armaduras, existência de vazios e fissuração. Os ensaios considerados não destrutivos são aqueles que não causam nenhum dano no elemento ensaiado ou deixam pequenos danos para serem reparados após o ensaio. Eles não provocam perda na capacidade resistente do elemento (EVANGELISTA, 2002, p. 4).

Já as vistorias possibilitam identificar doenças na estrutura. A constatação de fissuras longitudinais nos pilares implica na investigação da presença de corrosão nas armaduras. Ademais, através das vistorias, constata-se a falta de cobrimento de concreto, o qual reduz a proteção física das armaduras, tornando-as suscetíveis à ação de agentes danosos. Nesse sentido, “essa insuficiência pode decorrer de falhas de projeto (especificação inadequada do cobrimento etc) e/ou da etapa de execução (ausência de uso de espaçadores, inobservância das especificações de projeto etc)” (BORGES, 2008, p. 56).

Figura 6 - Fissuras decorrentes do ataque de cloretos



Fonte: Asope Engenharia (2018)

Borges (2008) afirma que, além disso, a realização de ensaios de teor de cloretos também é importante, uma vez que podem corroborar a danificação da infraestrutura, como demonstra a Figura 6. O ataque dessas substâncias sucede em função da sua associação ao concreto ou de estar presente no ambiente.

Entende-se que para não haver exposição da armadura, a Associação Brasileira de Normas Técnicas define um cobrimento mínimo de concreto sobre as ferragens, a fim de evitar a corrosão (VIANA, 2013).

Além da fissuração, o desenvolvimento da corrosão das armaduras pode incidir em eflorescência, o qual consiste na

formação de depósito salino na superfície de alvenarias, como resultado da exposição a intempéries, podendo ocorrer em qualquer elemento da edificação. Seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda e modificação intensa no aspecto visual intensa quando há um contraste de cor entre o sal e a base sobre a qual se deposita (BORGES, 2008, p. 13).

Esse tipo de patologia é comum em reservatórios de água, principalmente quando o compartimento é mal impermeabilizado, de modo que grande quantidade de água acaba pressionando as paredes do tanque e se infiltrando pelos poros, resultando em eflorescências na estrutura, as quais são, normalmente, de cor branca, como apresenta a Figura 7.

Figura 7 – Exemplo de caso de eflorescência



Fonte: Cimento Mauá (2018).

Dessa maneira, o concreto perde a estabilidade e provoca danos à armadura. E, por isso, configura a entrada de gases e outros materiais que promovam a corrosão da estrutura (BORGES, 2008).

Existem algumas causas que fomentam o desenvolvimento da eflorescência, como é o caso do próprio material, que possui alto teor de sais solúveis ou que foi preparado com excesso de água; das impurezas na areia; das fissuras nos rebocos; dos rejantes ou selantes das juntas de movimentação e da pressão hidrostática que favorece o deslocamento de moléculas de sal que cooperam com a incidência dessa anomalia (CIMENTO MAUÁ, 2018).

A origem da eflorescência pode ser provocada em função da temperatura do ambiente, quando é quente e úmido demais; quando a pintura é realizada no reboco que ainda está úmido, ou seja, sem respeitar o tempo de secagem mínimo de 28 dias; quando os revestimentos cerâmicos são limpos com ácidos em alta concentração e, posteriormente, não é realizada a lavagem (CIMENTO MAUÁ, 2018).

Outrossim, Borges (2008, p. 24) ressalta que a carbonatação corresponde a um “tipo de eflorescência ocasionada mediante reação do gás carbônico (CO_2) com o hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , proveniente do processo de hidratação do óxido de cálcio presente em todo cimento”.

Em conformidade com a alta concentração de gás carbônico no meio ambiente, a porosidade do concreto e a existência de fissuras na estrutura, a carbonatação

destrói o filme óxido, que atua nessa proteção e promove a corrosão do aço do concreto, a partir da atuação dos agentes deterioradores (BORGES, 2008).

4.2 SOLUÇÕES E REPAROS

Segundo Borges (2008), os processos burocráticos excessivos e a falta de condições financeiras corroboram a escassa manutenção realizada nos reservatórios hidráulicos, principalmente os de origem governamental, e a precariedade dos reparos executados nessas construções. Se não analisada a tempo, a deterioração dessas instalações implica em perigo grave à comunidade, havendo a necessidade de ser interditada para ser tratada.

Primeiramente, mapeiam-se as doenças encontradas nas construções, para posteriormente ser desenvolvido um projeto de recuperação das edificações comprometidas.

Quanto aos reservatórios hidráulicos elevados, sabe-se que podem apresentar uma movimentação estrutural, em função do peso da água e, por isso, desenvolver fissuras na impermeabilização convencional, as quais podem resultar em infiltrações. Consequentemente, a vida útil do reservatório de água será minimizada, o acabamento externo será deteriorado e haverá perda significativa de água tratada (BORGES, 2008).

Ainda para Borges (2008), recomenda-se a injeção de espuma de poliuretano hidroativado, seguida da injeção de gel de poliuretano para fechamento das fissuras que apresentam movimentações e infiltrações de água.

Nos casos de eflorescência, sugerem-se algumas ações para impedir o seu aparecimento, como: (1) utilizar um cimento de qualidade, pouco poroso e adequado para obras expostas à ação de água corrente; (2) instaurar uma manta impermeável sobre o solo e sob o revestimento; (3) usar cerâmica esmaltada de qualidade e argamassa colante; (4) manipular aditivos impermeabilizantes para que a argamassa e o concreto absorvam menos água; e (5) efetivar manutenções preventivas constantes para substituir os rejantes fissurados e unir as movimentações danificadas (CIMENTO MAUÁ, 2018).

Para recuperar a estrutura de concreto armado, recomenda-se:

remoção de argamassa superficial de acabamento quando deteriorada; corte do concreto até certa profundidade; aplicoamento superficial nos trechos em que a armadura se encontrar em bom estado de conservação; limpeza das armaduras; limpeza das superfícies de concreto; lavagem das superfícies com jato d'água; colocação de armadura de complementação; colocação de fôrmas; aplicação de micro-concreto de alto desempenho ou groute, de modo que o cobrimento das armaduras seja de 2,5 cm, no mínimo; acabamento de pedreiro com desempenadeira de madeira; injeção nas fissuras com resina epóxi de baixa viscosidade; re-impermeabilização interna da caixa; aplicação de groute para reconstituição da seção ou de argamassa de cimento e areia modificada com epóxi, de forma a que o cobrimento seja mesmo garantido; remoção da pintura das paredes externas deterioradas do reservatório com lixamento; pintura externa do reservatório após lavagem da superfície com hidrojateamento de alta pressão; e utilização de mantas de PVC flexível como técnica de impermeabilização (BORGES, 2008, p. 53).

Enfatiza-se que a realização de serviços destinados aos reparos prevê um fornecimento de água alternativo, por meio de um reservatório de volume suficiente para administrar a demanda local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta revisão da literatura, foi possível investigar as manifestações patológicas encontradas nos reservatórios elevados feitos em concreto armado.

Primeiramente, estabeleceu-se o conceito e a composição do concreto e do concreto armado. Em seguida, apresentou-se o conceito e os tipos de reservatório de distribuição de água e a sua classificação, bem como as definições instituídas aos reservatórios hidráulicos elevados feitos de concreto armado; e, por fim, identificaram-se as patologias encontradas nessas estruturas, suas causas e consequências, de modo que possíveis mecanismos de reabilitação puderam ser estabelecidos, a fim de prevenir novas manifestações e/ou buscar por soluções efetivas e reparos aos danos.

Averiguou-se que as fissuras, as trincas, a corrosão, as infiltrações; a danificação do concreto em função da carbonatação e a presença de cloretos são as manifestações patológicas que mais se encontram nesse tipo de edificação.

Sabe-se que, as instituições governamentais operacionalizam a maioria dos reservatórios hidráulicos elevados feitos de concreto armado e que, em função dos processos burocráticos excessivos e a falta de verba, limita que reparos e o processo de manutenção seja efetuada com sucesso nessas construções. Contudo, entende-se que a deterioração acumulada pode implicar em perigo às pessoas, havendo a necessidade de o local ser interditado para receber o tratamento.

As patologias estão, quase sempre, associadas às falhas executivas, ao não atendimento dos projetos e a deficiência no sistema de manutenção periódica. Com isso, é possível destacar a falta de controle e manutenção preventiva para estas estruturas, o que acarreta, pelo estado encontrado, altos custos para reparo ou recuperação.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217**. Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

ASOPE ENGENHARIA. **Inspeção de Estruturas**: fissuras por ataque de cloretos. 2018. Disponível em: <https://www.asope.com.br/single-post/2018/04/24/Fissuras-por-ataque-de-cloretos>. Acesso em: 24 out 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.

BORGES, Micheline Gonçalves. **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**. 2008. 111 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. Universidade do Estado de São Paulo, 2006.

CIMENTO MAUÁ. **Eflorescência na parede e no chão**: descubra como evitar. 2018. Disponível em: <https://cimentomaua.com.br/blog/eflorescencia-descubra-como-evitar/>. Disponível em: 25 out 2019.

CORSINI, Rodnei. **Trinca ou fissura?** Téchne. A revista do Engenheiro Civil, Ed. 160, 2010.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta e. Estruturas de concreto armado em situação de incêndio. In: Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, XXX, 2002, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: Universidade de Brasília, 2002, p. 1-21.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FREITAS, Josimar Pereira. **Dimensionamento estrutural de um reservatório elevado de água para um condomínio residencial**. 2007. 129f. Projeto Final (Bacharelado em Engenharia Civil) - Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

FREITAS, Luciana Barbosa de. **Reforço de vigas de concreto armado ao esforço cortante com chapas de aço coladas**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. Brasília: Distrito Federal, 2007.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F.; SILVA L. D. B. **Saneamento básico**. 2007. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%204%20parte%203.pdf>. Acesso em: 26 out 2019.

HELENE, P.R.L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2003.

HOPASE. **Reservatório elevado em concreto armado**. Disponível em: <http://www.hopase.com.br/reservatorio-elevado-concreto-armado>. Acesso em: 20 set 2019.

KUEHN, A. **Comparação entre métodos de análise estrutural para reservatórios retangulares de concreto armado**. 2002. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MEES, Alexandre. Unidade 1: Reservatórios. **Qualidade de água em reservatórios**. [S.d.]. Disponível em: https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/74/2/Unidade_1.pdf.

MELLO, Carlos Eduardo Ferraz. **Reservatórios de distribuição de água**. Disponível em: <https://docplayer.com.br/36874226-Reservatorios-de-distribuicao-de-agua.html>. Acesso em: 24 out 2019.

OLIVARI, Giorgio. **Patologia em Edificações**. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Anhembi, São Paulo, 2003. 95p.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PFEIL, W. **Concreto armado**, Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1989.

PINHEIRO, Libânio M. et al. **Estruturas de concreto**. 2010. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/01%20Introducao.pdf>. Acesso em: 19 set 2019.

PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso Básico de Concreto Armado**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015.

SAMPAIO, Marliane Brito. **Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural.** 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SILVA, Adriano de Paula; JONOY, Cristiane Machado Parisi. **Patologia das Construções.** Curso de Especialização em Construção Civil. UFMG, Belo Horizonte, 2019.

TORRES, Ariela da Silva; SILVA, Vívian Michele Bandeira da; PALIGA, Charlei Marcelo. Análise das manifestações patológicas em reservatórios elevados na cidade de Pelotas/RS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil.** v. 12, n. 1, p. 12-22, 2016.

VIANA, Bruno Teixeira. **Dimensionamento de reservatórios elevados em concreto armado.** 2013. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VERÇOZA, Énio José. **Patologias das Edificações.** 1. Ed. Editora Sagra. Porto Alegre. 1991.