

Domiciano, L. L. S<sup>1</sup>; Barbosa, T. R.<sup>2</sup>

*Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil*

Ferreira Jr, E. L. F<sup>3</sup>

*Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil*

<sup>1</sup>[lumalopes@gmail.com](mailto:lumalopes@gmail.com) ; <sup>2</sup>[thaisrbb@gmail.com](mailto:thaisrbb@gmail.com) ; <sup>3</sup>[epajunioreng@gmail.com](mailto:epajunioreng@gmail.com)

**Área de Concentração:** 01 – Construção Civil.

**RESUMO:** A durabilidade de uma estrutura de concreto armado é o resultado da interação entre os processos de produção, uso e manutenção dessas peças estruturais, e o desequilíbrio de uma dessas etapas podem incorrer no surgimento de manifestações patológicas, comprometendo a vida útil, ou mesmo a operação e funcionamento adequado de todo um sistema. Particularmente em estruturas expostas a meios agressivos, critérios mais rígidos para a sua produção e manutenção devem ser observados, visto que, em função dos fluidos recebidos e dos processos químicos de tratamento, as estruturas de concreto armado deste local são classificadas como submetidas a um alto índice de agressividade. Neste trabalho, a durabilidade de uma estrutura de concreto armado utilizada em uma parte do sistema da Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Parque Atheneu, em Goiânia, foi analisada. Apresenta-se de forma aprofundada e criteriosa as ocorrências de manifestações patológicas por meio de ensaios de lixiviação, carbonatação, ataque por sulfatos e corrosão da armadura. Os resultados demonstraram que, apesar do ambiente agressivo criar uma perspectiva de danificar o concreto, as manifestações patológicas diagnosticadas no local ocorreram pela congruência de fatores, como a ausência de manutenção preventiva e erros de projeto e de execução.

*Palavras chaves:* Durabilidade; ETE; Ataque por sulfatos; Lixiviação, Carbonatação; Corrosão de armaduras.

## 1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são projetadas e construídas para apresentar o desempenho requerido durante uso do sistema construtivo. Assim, durante toda a sua vida útil, deve demonstrar certo grau de segurança, ainda que em condições de operação e condições ambientais adversas. No entanto, existem vários fatores que podem contribuir significativamente para a deterioração de uma estrutura e conseqüentemente a perda da sua durabilidade. Fatores esses, intrínsecos e / ou extrínsecos, que vão desde a concepção (projeto), a execução (materiais e métodos utilizados), o uso e a manutenção periódica.

Além disso, uma importante condição para que não haja perda da durabilidade de uma estrutura de concreto armado, é que o dimensionamento seja feito conforme as condições ambientais em que a estrutura está envolta,

devendo atender aos requisitos mínimos de qualidade, segurança e estabilidade durante a sua execução e serviço sua vida útil. Para tanto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) prevê condições especiais para a elaboração de projetos de estrutura de concreto armado conforme as ações químicas e físicas que atuam sobre a estrutura, ditas como classe de agressividade ambiental.

Particularmente em uma Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, condições especiais de projeto, quanto a classe de resistência, relação água/cimento e a camada de cobrimento do concreto, devem ser especialmente observadas, visto que o ambiente é classificado como CLASSE IV de agressividade ambiental de acordo com a referida norma.

Dessa forma, manter a integridade e o perfeito funcionamento desse empreendimento, é de suma importância para que não haja um colapso no sistema de tratamento de esgoto da cidade.

Neste trabalho, apresenta-se um estudo da durabilidade de uma estrutura particular, a Calha Parshall, em uma Estação de Tratamento de Esgoto, localizada na cidade de Goiânia. A existência de manifestações patológicas, como a corrosão de armadura, alterações químicas provocadas por sulfatos, carbonatos e lixiviação, e alterações físicas, provocadas pela erosão e cavitação, foram diagnosticadas e discutidas as suas causas, seja pela ineficiência de projeto, de execução (materiais e métodos construtivos), pelo uso, ou pela ausência de manutenção.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs, são construções que têm grande relevância social, visto que o esgoto gerado nas cidades se caracteriza por ser águas cujas formas naturais foram alteradas, carregando matéria sólida, matéria orgânica e inorgânica. A construção de ETEs é, portanto, uma medida de saneamento básico, cuja principal função principal é de remover os poluentes presentes nas águas residuais, acelerando o processo de purificação antes de retorná-las ao corpo d'água, ou para reutilização, reintegrando sua qualidade, ou seja: inodora, incolor e insípida

Diversos processos estão envolvidos no tratamento destes resíduos, classificados em: tratamento físico, químico e biológico, sendo este último a principal forma de tratamento na Estação de Tratamento de Esgoto do Parque Atheneu, em Goiânia.

A ETE Parque Atheneu possui como principal forma de tratamento residual biológico, as lagoas de estabilização, em que, segundo Borsoi et al (1997) o tratamento se divide em fases da seguinte forma: a primeira fase é o tratamento preliminar, que envolve a retirada de material grosseiro. A segunda fase é caracterizada pela realização do tratamento primário, em que ocorre a remoção de sólidos suspensos sedimentáveis e o tratamento secundário, considerada a fase mais efetiva do tratamento, que consiste na remoção de matéria orgânica, solúvel e particulada, e é uma etapa exclusivamente biológica. Na terceira fase ocorre o tratamento terciário, em que há remoção de poluentes específicos, como patogênicos, nitrogênio, fósforo, matéria inorgânica e outros.

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos, que é o principal objetivo do tratamento de esgoto no Brasil. Os microrganismos decompõem a matéria orgânica presente no esgoto para crescimento e reprodução, e faz parte do processo de respiração celular, ou seja, a matéria orgânica é substrato para os microrganismos (BORSOI et al, 1997).

### *2.1 Conceitos básicos de manifestações patológicas e durabilidade e vida útil de estruturas em concreto armado*

Segundo Cánovas (1988) patologia do concreto armado é uma ciência que estuda os sintomas, as formas, as causas e origens dos problemas que um sistema construtivo venha a apresentar. Entende-se por dano, qualquer perturbação intrínseca ou extrínsecas na estrutura, essa possibilidade abre um leque de prováveis causas para degradação de um empreendimento. Esses incômodos podem ocorrer desde uma pequena infiltração, até em grandes problemas que levem a estrutura ao colapso. Conforme apresentado por Ripper (2009), a patologia na construção pode ser compreendida pelo baixo desempenho estrutural de um sistema ou de elementos isolados, embora também se relacione com a estabilidade, estética e com a funcionalidade do empreendimento. Para análise teórica dessas manifestações patológicas, necessário se faz compreender os conceitos de durabilidade, desempenho e vida útil da estrutura.

Já o conceito teórico de durabilidade relaciona-se com a aplicação de características individuais que uma estrutura possui, ou seja, a resposta que dará aos efeitos da agressividade do ambiente inserida, que define como parâmetro a vida útil dos materiais (SOUZA & RIPPER, 2009), expressa pela distribuição de vida útil de um conjunto de componentes, desempenha uma função importante para a obtenção de uma construção sustentável, finalidade importante de qualquer projeto bem engendrado.(JONH, 2001)

Ainda, conforme Souza e Ripper (2009), compreende-se como desempenho o comportamento no que tange ao serviço de cada material integrado ao sistema ao longo de uma vida útil relativa a característica individual da estrutura, que leva em consideração suas etapas de projeto, construção e manutenção.

E por fim, entende-se por vida útil da estrutura um período efetivo de tempo em que as características da estrutura e dos seus materiais componentes permanecem acima dos limites mínimos especificados e satisfazem os requisitos de desempenho, sem ações não planejadas de manutenção e/ou reparo.

### *2.2 Processo de corrosão em concreto armado*

A corrosão da armadura é um dos principais fatores de perda de durabilidade da estrutura de concreto armado, visto que a estabilidade do material concreto armado, é dada pela condição única de aderência e área de aço compatível com os esforços que incidem sobre a estrutura. Assim, a perda de aderência e área de aço, provocada pela reação química no aço, implica na perda de durabilidade e conseqüentemente, de vida útil da estrutura de concreto armado. Essa reação química

conhecida como corrosão seca ou oxidação, acontece por meio de reação gás-metal e que além de ser um processo lento tem como principal característica é a deterioração nas superfícies metálicas apenas estando em contato direto com gases agressivos (CASCUDO, 1997)

Existe ainda, a reação eletroquímica que acontece em meio aquoso e pode-se classificar com uma das principais causas de danificações prematuras em estruturas de concreto armado, e que também limita substancialmente a vida útil de um empreendimento. Esse processo eletroquímico se remete as teorias químicas de região catódica e anódica, conforme explica Helene (1993)

No entanto, nos conceitos teóricos de Gentil (2007), o processo corrosivo não deve ser atrelado somente ao meio ambiente exposto. Outras características do concreto, tais como: permeabilidade e porosidade possibilitam e aceleram esse processo danoso a estrutura. Esse autor, ainda explica que para que esse processo de corrosão de um aço de concreto armado ocorra, é preciso que primeiramente exista uma patologia já em degradação da estrutura, inutilizando a camada de revestimento do concreto, como camada de proteção da estrutura. Esta corrosão da armadura oriunda da exposição, gera todo desequilíbrio do sistema uma vez que a principal característica desse processo seja a perda da seção transversal do aço e consequentemente a perda substancial de resistência de toda estrutura.

### 2.3 Carbonatação

Segundo Carode (2008), carbonatação é um processo físico-químico que acontece pelo encontro entre gases ácidos da atmosfera e produtos alcalinos do concreto. Quando este processo físico-químico ocorre, há a formação de hidróxidos de sódio, de potássio e de cálcio, e estes aumentam o pH da mistura, e traz excessiva alcalinidade ao concreto. A medida que estes compostos reagem com os ácidos da atmosfera, principalmente com o CO<sub>2</sub>, acontece uma expressiva redução no pH da solução, uma vez que, em sua originalidade, o pH do concreto apresenta valores acima de 12,5 e após passar por este processo de carbonatação, pode apresentar valores inferior a 8,5, como explica Mehta e Monteiro (1994).

### 2.4 Ataques por sulfatos

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a presença de íons de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), entra em contato com a matriz porosa do concreto e com o composto monossulfoaluminato de cálcio hidratado (AFm), podendo formar a gipsita (sulfato de cálcio di-hidratado), a etringita secundária (AFt) e, também, a

taumasita (CaSiO<sub>3</sub>.CaCO<sub>3</sub>.CaSO<sub>4</sub>.15H<sub>2</sub>O), que são todos cristais expansivos.

Este autor relata ainda que as concentrações de sulfato solúveis maiores que 150mg/l SO<sub>4</sub> em água, podem causar danos ao concreto e, se maiores ou igual a 2000 mg/l SO<sub>4</sub> na água, pode ter sérios efeitos sobre a durabilidade da estrutura.

### 2.5 Lixiviação

A lixiviação em concreto armado é uma patologia comum causada pelo contato entre da água com a estrutura. Mehta e Monteiro (1994) explicam que para ocorrer a lixiviação é necessário que a água tenha baixa ou nenhuma concentração de íon de cálcio. Quando um concreto apresenta alta porosidade ou fissuras, a água pura penetra e entra em contato com o Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) produto constituinte da hidratação do cimento; esta reação dissolve o composto e o leva para fora da superfície do concreto (MOREIRA, 2006).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o produto lixiviado – íons de cálcio, reage com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), composto encontrado na atmosfera, e forma os carbonatos, que resulta em crostas brancas na superfície do concreto mais conhecidas como eflorescências. Estas eflorescências trazem consequências para a vida útil do concreto, além de causar uma poluição visual na estrutura.

## 3 METODOLOGIA

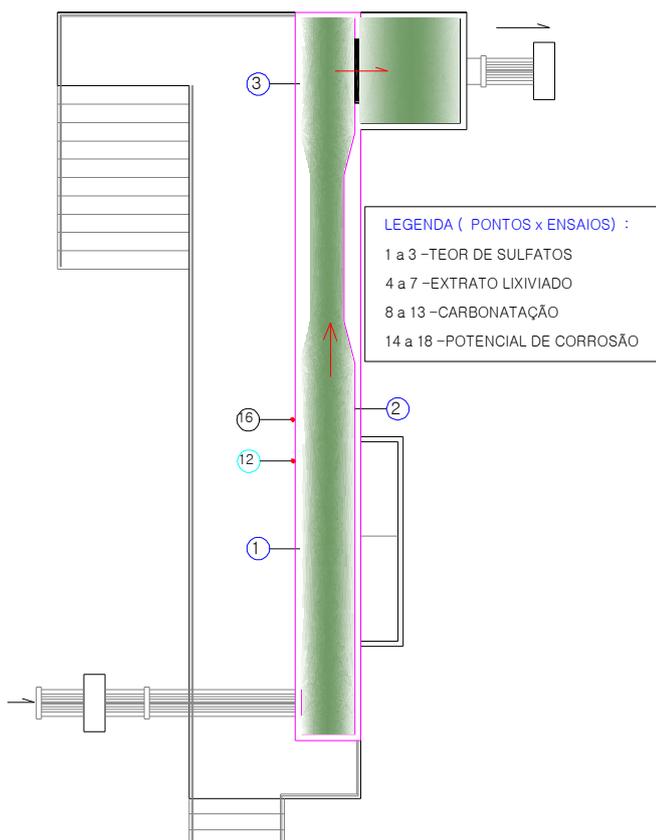
Neste trabalho, ensaios para análise das condições de deterioração da estrutura de concreto armado de uma ETE (ETE Parque Atheneu, em Goiânia), em funcionamento desde 1997, ou seja, atualmente com 23 anos de utilização. Foram realizados, particularmente, ensaios no trecho da Calha Parshall, onde são feitos o tratamento secundário dos efluentes. Tais ensaios foram feitos por meio de extração de amostras, medições em campo, e análises químicas em laboratório, a depender da manifestação patológica em que se pretendia diagnosticar.

Para tanto, realizou-se um mapeamento da estrutura, de forma a coletar e identificar, significativamente, amostras e pontos que pudessem representar qualitativamente, o desempenho atual dessa estrutura de concreto armado.

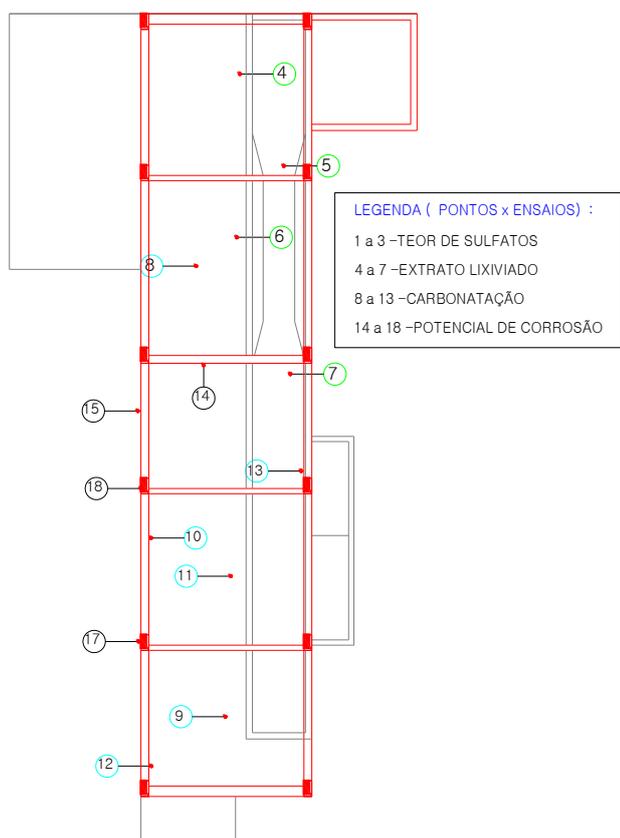
Foram coletadas amostras em 18 pontos, escolhidos aleatoriamente na estrutura de sustentação e propriamente no concreto da Calha Parshall.

As figuras 1a e 1b, a seguir, apresentam o mapeamento feito para identificação e coleta de dados:

**Figura 1a – Croqui representativo dos pontos tomados para ensaios no corpo da Calha Parshall**



**Figura 1b – Croqui representativo dos pontos tomados para ensaios na estrutura abaixo da Calha Parshall**



### 3.1 Ensaio de carbonatação

Para avaliar a profundidade de carbonatação do concreto foi utilizado o ensaio qualitativo com aspersão de solução colorimétrica de fenolftaleína realizado em amostra recolhidas da parte interna da Calha Parshall, em seis pontos diferentes da estrutura, escolhidos de forma aleatória e identificados nas figuras 1a e 1b, ponto de 8 a 13.

A camada de cobrimento do concreto foi escareada em profundidades de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 cm. Após a exposição do concreto nessas profundidades, se aspergiu a solução alcoólica de fenolftaleína (1 g de fenolftaleína em 100 ml de solução de álcool etílico a 95 %) para medição da profundidade de carbonatação (Figura 2).

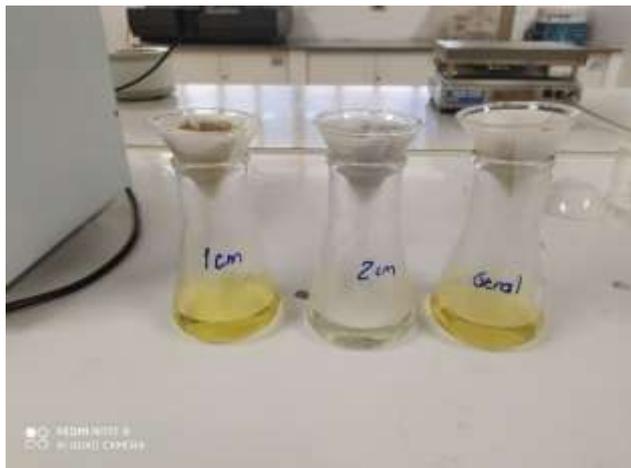
**Figura 2 - Concreto escareado para receber a solução de fenolftaleína.**



### 3.2 Ensaio de ataques por sulfatos

O ensaio químico para determinação do teor de íons sulfatos nas amostras de concreto foi realizado de acordo com uma adaptação da normativa “4500-SO<sub>4</sub> – Sulfate” da Standard Methods Committee (1997) para águas residuais. Foram retiradas três amostras (pontos 1 e 2, da figura 1a) de concreto nas profundidades de 1,0 e 2,0 cm para a determinação, por meio de gravimetria, do teor de sulfatos presentes na camada de cobrimento do concreto; e particularmente na região da calha onde o processo de erosão mostrava-se acentuado, uma terceira amostra (ponto 3 da figura 1a) também foi retirada. (Figura 3).

**Figura 3 - Amostras de concreto de 1,0; 2,0 cm e Geral.**



Além disso, coletou-se amostras de água residual (efluente), que correm pela Calha Parshall, com o objetivo de verificar a influência do teor de sulfato presentes no efluente sobre a estrutura de concreto armado. Os ensaios de gravimetria foram realizados no laboratório de química da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, e a análise da água em laboratório particular especializado.

### 3.3 Inspeção visual da lixiviação

A verificação da ocorrência de lixiviação em concreto armado, foi realizada por meio de inspeção visual, em quatro pontos estratégicos na laje da Calha Parshall (pontos 4, 5, 6 e 7, da figura 1b), em que se observou a superfície esbranquiçada em consequência do carreamento do composto hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) do interior para a superfície externa do concreto.

### 3.4 Ensaio de corrosão da armadura

Os ensaios de corrosão de armadura foram executados com o objetivo de verificar a influência dos processos químicos de degradação ao concreto (carbonatação e sulfatos). Para tanto, utilizou-se o método adotado por Medeiros *et al.* (2017), onde apresenta uma maneira descrita pela norma ASTM C 876 (ASTM, 2015), em que se faz a medida do potencial de corrosão das armaduras do aço embutida no concreto (Figura 4), por meio do registro da diferença de voltagem entre a armadura e um eletrodo de referência de Hg/HgCl, um multímetro digital, garantindo um ensaio rápido e de baixo custo econômico para o reconhecimento das áreas afetadas pela despassivação que demandam de análises ou reparos. Para essa verificação, obtida em cinco pontos da estrutura da calha, após a retirada da camada de revestimento do concreto, expondo a parte da armadura local, aferiu-se a diferença de potencial

elétrico entre o aço da peça em análise e o eletrodo de referência.

**Figura 4 - Aparelho Multímetro Modelo DT830d.**



As medidas, nos pontos indicados por 14 a 18 nas figuras 1a e 1b, obtidas pela diferença de potencial elétrico foram registradas e seus valores são discutidos no tópico a seguir.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ataque por sulfatos

Para a ETE Parque Atheneu, as amostras de águas residuais analisadas em laboratório apresentaram um teor de 124,0 mg/L de sulfato solúvel, conforme mostrado na tabela 1.

**Tabela 1 – Resultado das águas residuais levadas a laboratório.**

Análise	Resultado	LQ	Incerteza	Referência
Sulfato	124,0mg/L	5,0	1,6	SMWW 4500 $\text{SO}_4^{2-}$

Segundo Mockaitis (2008), a forma mais estável e difundida dos compostos de enxofre é o íon sulfato, que pode ser encontrado desde o esgoto sanitário, na concentração de 20 a 50 mg/L até em descartes industriais, em concentrações que podem variar de 12000 a 35000 mg/L. Conforme a *Water Environmet Federation* - WEF (1995), este valor de concentração de sulfato em esgotos domésticos pode variar de 30 a 250 mg/L.

Pelos estudos apresentados por Metha e Monteiro (1994), essa quantidade de sulfatos solúveis encontrada no efluente da ETE Parque Atheneu é considerada baixa para implicar em um ataque químico severo ao concreto. Esses autores relatam que um teor de sulfato considerado não prejudicial a estrutura de concreto é até de 150,0 mg/L de sulfato dissolvido, mas que dependendo de outras condições como a porosidade e permeabilidade do material, essa quantidade pode

causar danos a longo prazo. Para corroborar com o estudo desses autores, passou-se a analisar a quantidade de sulfatos efetivamente presentes no concreto da Calha Parshall, apresentados na tabela 2.

**Tabela 2 - Análise de teor de Sulfatos presentes no concreto.**

Prof. Amostra (cm)	Massa da Amostra (g)	Mamostra (S04) (g)	%SO <sub>4</sub> na amostra
Até 1 cm	5,002	0,1433	1,179
Até 2,5 cm	5,0095	0,12	0,986
Área Cavitada	5,0034	4,5475	37,409

Ainda de acordo Metha e Monteiro (1994), quantidades de sulfatos presentes no concreto em teores acima de 0,5% podem ser prejudiciais ao concreto ao ponto de torna-lo suscetível a corrosão. Para o concreto extraído das amostras, obteve-se valores de 1,18% de SO<sub>4</sub>, em profundidades de até 1,0 cm e de 0,99% de SO<sub>4</sub>, em profundidades de até 2,0 cm. No entanto, as medidas do potencial de corrosão não apresentaram probabilidades considerável de corrosão, em função até da espessura de cobrimento, que nesse ponto da calha estavam acima de 4 cm, o que pode demonstrar que em profundidades acima de 2 cm, a porosidade do concreto manteve-se baixa, impedindo a penetração de íons sulfatos.

Em um outro ponto específico da calha, de onde se retirou a terceira amostra, o resultado do ensaio de teor de SO<sub>4</sub> no concreto, apresentou um valor 37,409% valor muito acima do estabelecido pelos autores já citados. Neste ponto, observou-se uma congruência de fatores físicos e químicos de ataque ao concreto em que verificou-se a presença de cavitação, ou seja, uma perda de massa do concreto causada por mudanças repentinas de direção de água residual, possivelmente com alta velocidade, adicional a presença de sulfatos, como mostra a figura 5.

**Figura 5 - Desgaste de concreto na Calha Parshall, devido a Cavitação.**



É importante ressaltar, que durante a inspeção, verificou-se que a estrutura lateral da calha era coberta por um revestimento argamassado, possivelmente usado para requadrar as paredes de concreto. Assim esse material (argamassa), por ser muito poroso, propiciou um fácil ingresso dos íons sulfatos, mas que, em profundidades e que se encontra o concreto, esse ingresso tornou-se mais difícil, pela própria condição de porosidade do material.

A norma NBR 12655 (ABNT 2015), apresenta uma tabela, onde os requisitos mínimos de resistência e relação água cimentos são exigíveis para condições de exposição em meios sulfatados – Figura 6

**Figura 6- Requisitos mínimos exigíveis para produção de concreto em ambientes sulfatados.**

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO <sub>4</sub> ) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO <sub>4</sub> ) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1500	0,45	40

\* Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processo de congelamento e degelo.  
\*\* Água do mar.  
\*\*\* Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

**Fonte: Adaptado da NBR 12655 (ABNT,2015)**

Assim, para prevenção contra o ingresso de sulfatos em uma estrutura de concreto como a da ETE, a espessura da camada de cobrimento e o controle porosidade do material é essencial, e os fatores de execução que implicam em aumento da porosidade do concreto, devem ser controlados.

No entanto, o que se notou é que apesar da espessura de cobrimento ter sido observada, neste ponto (identificado pelo n. 3, na figura 1a), a cavitação provocou um desgaste na estrutura do concreto, tornando-o poroso, o que possibilitou a entrada de sulfato mais facilmente no interior da estrutura, tornando o concreto nessa região, totalmente friável.

### Lixiviação

Feitas as observações visuais, nos pontos identificados pelos números 4 a 7, na figura 1b, verificou-se que o concreto na laje da estrutura da calha se mostrou poroso em alguns pontos, o que levou à percolação de água residual vinda da Calha Parshall. A percolação desse efluente em pontos específicos da estrutura, reagem com o hidróxido de cálcio – CH, presente no concreto e formando sais solúveis que podem ser lixiviados, expondo uma superfície de concreto esbranquiçada, como mostra a figura 7.

**Figura 7 - Presença de lixiviação na laje da Calha Parshall**



A ocorrência desse fenômeno, se dá geralmente pela ação de águas puras, carbônicas ou ácidas. No entanto, fluidos contendo resíduos industriais e outros elementos, como descrito por Shaefer et al (2016), ou podem produzir extratos lixiviados, comprometendo a durabilidade do substrato.

Segundo Metha e Monteiro (1994), a presença de material lixiviado na superfície, embora possa causar a redução da resistência mecânica do concreto, pouco influência na perda de desempenho do material e tem impacto de cunho mais estético do que efetivamente seja prejudicial ao material. Porém, quando o fenômeno atinge estágios avançados, pode causar problemas à durabilidade do concreto, pois a remoção de grandes quantidades de sólidos da estrutura, aumenta a porosidade do material e abre caminho para a entrada de substâncias nocivas às armaduras e ao próprio concreto, como por exemplo, o CO<sub>2</sub>, que tem o potencial de causar a corrosão das armaduras de concreto armado.

#### 4.1 Carbonatação

A medida da profundidade de carbonatação na Calha Parshall foi determinada a partir de seis pontos ao longo da estrutura da calha em profundidades que variaram de 0,5 a 2,0 cm com apresentado na figura abaixo (Figura 8).

**Figura 8 – Medidas da profundidade de carbonatação**



Os resultados obtidos a partir da aspersão da solução colorimétrica de fenolftaleína são apresentados no quadro 1.

**Quadro 1 - Resultados do ensaio de Carbonatação**

Pontos x Profundidade	Superfície Carbonatada			
	0,5 cm	1,0 cm	1,5 cm	2,0 cm
8	SIM	SIM	SIM	NÃO
9	SIM	SIM	NÃO	NÃO
10	SIM	SIM	NÃO	NÃO
11	SIM	SIM	NÃO	NÃO
12	SIM	SIM	SIM	NÃO
13	SIM	SIM	NÃO	NÃO

Nota-se, que o concreto da Calha Parshall apresenta, em média, pontos carbonatados de 0,5 cm até 1,0 cm, e excepcionalmente a 1,5 cm de profundidade, e que a partir de 1,5 cm não se nota a redução do PH do concreto pela carbonatação.

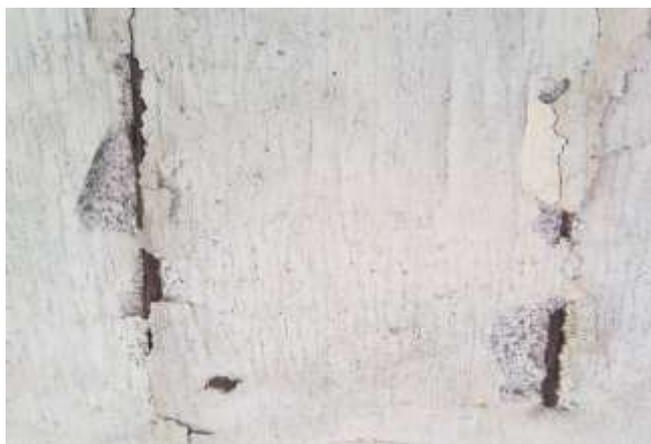
Vários autores (Metha e Monteiro (1994), Gomes (2006), Figueiredo (2005)) relatam que a propagação da profundidade de carbonatação é influenciada por vários fatores, que incluem condições do ambiente, como a concentração do CO<sub>2</sub>, temperatura do ambiente, umidade do ar; condições de fabricação do concreto: relação a/c, cura; e ainda a idade em que a estrutura se encontra. Para este último fator, um modelo para predição do avanço da frente de carbonatação no concreto, em função do tempo de vida da estrutura e a espessura da camada carbonatada é proposto por Andrade (1992), por meio de uma equação que indica o tempo em que a carbonatação tardará para atingir a armadura do concreto. Para o caso da ETE em questão,

considerando que a estrutura da Calha Parshall possui a idade de 23 anos, este acompanhamento do avanço da frente de carbonatação ao longo dos anos, poderia ser uma medida preventiva para avaliar a manutenção da durabilidade da estrutura da ETE.

Pelo resultado dos ensaios realizados, infere-se que manifestações patológicas oriundas do avanço da carbonatação na camada de cobrimento do concreto da Calha Parshall não serão visualizadas em curto e médio prazo, mantendo, com relação a esse quesito, as condições de durabilidade da estrutura.

No entanto, pontualmente, percebeu-se que as armaduras positivas da laje de sustentação da calha e da passarela, estão muito próximas da superfície, em profundidades menores que 0,5 mm, em desacordo com a norma NBR 6118 (ABNT,2004) que prevê que nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm. Particularmente nesses pontos, em função do processo de carbonatação, o concreto se mostra em desagregação, parte das armaduras já se encontram expostas, e em processo inicial de corrosão, (Figura 9)

**Figura 9 - Armadura exposta no fundo da laje da Calha Parshall**



#### 4.2 Corrosão da armadura

Os ensaios de corrosão, em que se aponta a probabilidade de haver corrosão na armadura do concreto, foram tomadas em cinco pontos da estrutura da calha (indicados na figura 1b). A medida do potencial de corrosão utilizando o eletrodo de referência Hg/HgCl foi utilizado neste ensaio (figura 10)

**Figura 10 – Medição de diferença de potencial por meio do eletrodo de referência**



Os valores resultantes dessas medidas estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2 – Medidas do Potencial de Corrosão**

Ponto n.	Ecorrosão (mV,Hg/HgCl)
14	- 81.1 mV
15	- 178.8 mV
16	- 20.3 mV
17	- 175.1 mV
18	- 175.7 mV

Os resultados mostraram que em todos os pontos analisados, os valores não ultrapassaram -178,8 mV. Segundo a ASTM C-876 (ASTM, 2015), as medidas de potencial de corrosão obtidas a partir da diferença de potencial entre o concreto e a armadura, por meio de um eletrodo de referência, apresentam as seguintes probabilidades de corrosão da armadura no concreto (quadro 1).

**Tabela 3 – Probabilidade de corrosão em concreto, obtidas a partir das medidas de diferença de potencial.**

ECORROSÃO (mV,Cu/SO4Cu)	Probabilidade de Corrosão
> - 200 mV	< 5%
Entre -200 e -350 mV	50%
< - 350 mV	> 95%

Os valores obtidos por meio das medidas de diferença de potencial pelo método do eletrodo, pode, segundo VENNESLAND et al (1995), apresentar variações significativas em função da espessura de cobrimento, da distância entre eletrodo de referência e a região em processo de corrosão, e da umidade do concreto em que se toma as medidas.

Ainda, Tuutti (1980), citado por Cascudo (1997), explica que o mecanismo de corrosão da armadura pode ser modelado em duas etapas: a primeira, em uma fase

de iniciação, que consiste ao período de tempo desde a execução da estrutura até o momento em que os agentes agressivos penetrem na estrutura e atinja a armadura, despassivando a mesma sem comprometer a sua funcionalidade. A segunda etapa é a propagação; e a segunda fase, em que há efetivamente a degeneração da estrutura no aspecto de estabilidade estrutural e visual.

Portanto, os resultados obtidos devem ser tomados com cautela, e de posse desses resultados, o que se infere é que em alguns pontos, o processo de corrosão pode estar em um estágio inicial, sem o comprometimento da armadura, e que a curto prazo a probabilidade de danos na estrutura devido a corrosão são inferiores a 5% exceto, para os pontos específicos da parte inferior da laje da Calha Parshall, que, como discutido, em função da ausência da camada de cobrimento, já se encontram em processo de corrosão

## 5 CONCLUSÕES

Após as inspeções e os ensaios programados, pode se concluir que a estrutura da Calha Parshall da ETE Parque Atheneu apresenta problema pontuais de ataques físicos e químicos ao concreto, comprometendo em parte, a sua durabilidade.

Primeiramente, em um ponto específico da Calha Parshall observa-se a ação acentuada do fenômeno de cavitação, e conseqüentemente a perda significativa de massa de concreto. Nota-se que a presença de sulfatos em água em contato com um ponto fragilizado do material pela cavitação, provocou total degradação do material neste ponto, e dessa forma possibilita a exposição da armadura e sua possível corrosão.

Percebeu-se também que os problemas verificados foram ocasionados pela falta de manutenção preventiva, por erros na concepção do projeto nos pontos em que há um aumento de velocidade do efluente, incorrendo na cavitação do concreto, e de execução, como diagnosticado na ausência de cobrimento efetivo da armadura positiva na parte inferior da laje da calha, sem levar em conta, o grau de agressividade do meio em que a estrutura está inserida, que permitiram o surgimento e agravamento de manifestações patológicas como lixiviação, ataque por sulfatos, carbonatação e conseqüentemente, corrosão da armadura

De uma forma geral, por meio dos ensaios de carbonatação e ingresso de sulfatos, sem avaliar outros aspectos como resistência mecânica e porosidade, e considerando apenas o impacto visual do fenômeno da lixiviação, percebeu-se que o concreto utilizado para a estrutura da Calha Parshall é de boa qualidade, e que as manifestações patológicas verificadas, foram devidas a

outros fatores que não a qualidade do concreto, como por exemplo, a cavitação.

Por fim, sugere-se a manutenção corretiva nos pontos diagnosticados e discutidos nesse trabalho, bem como um plano de manutenção preditiva, como forma de garantir a durabilidade da estrutura da Calha Parshall.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento de Goiás – SANEAGO e ao seu corpo técnico, pela permissão e apoio ao estudo direcionado nas instalações da Estação de Tratamento de Esgoto– ETE Parque Atheneu.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM C-876: **Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**. Philadelphia, 2015.
- ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. Editora: Pini, São Paulo, 1992, 108p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004, 225 páginas
- \_\_\_\_\_. NBR 12655 – **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015, 23 páginas
- CADORE, W. W. **Estudo da carbonatação da camada de cobrimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada**. 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. 1. ed., São Paulo: Ed. Pini, 1997.
- FIGUEIREDO, E. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, IBRACON, Cap. 27, p.829 – 855, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 4º ed. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2003.
- GOMES, Nivaldo A. **Estruturas de Concreto Armado em Ambiente Urbano: Avaliação da Carbonatação à Luz das recomendações da NBR 6118:2003**. 2006. 99.

---

Dissertação, Pós Graduação em Construção Civil, Univ. Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo.

HELENE, P. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado.** São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, fev. 1993

JOHN, V. M. ET ALL, (2001). **Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira.** Workshop sobre durabilidade das construções. Novembro. São José dos Campos

MEDEIROS, M. H. F.; ROCHA, F. C.; JUNIOR, R. A. M.; HELENE, P. **Potencial de corrosão: influência da umidade, relação água/cimento, teor de cloretos e cobrimento.** Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994. 573p

MOCKAITIS, G. **Redução de sulfato em biorreator operado em batelada e batelada alimentada sequenciais contendo biomassa granulada com agitação mecânica e “draft-tube”.** São Carlos, 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

MOREIRA, C. **Realcalinização de estruturas de concreto carbonatado com utilização de gel saturado de solução alcalina.** 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

RIPPER, E.- **Patologia das edificações em concreto originadas na fase de uso-** 2009 (ARTIGO 2015) disponível em: <https://pmkb.com.br/artigos/patologia-das-edificacoes-em-concreto-originadas-na-fase-de-uso/>

SCHAEFER *et al.* **Estudo da lixiviação em peças de concreto para pavimentação (PCP) produzidas com areia de fundição.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC 2016; Foz do Iguaçu – PR, Setembro de 2016.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stokholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. 469p.

VENNESLAND,  $\phi$  *ert al.* **Factors affeting Threshold Chloride for reinforcement corrosion in concrete.** Cement and Concrete Research, Vol 25, páginas 1543 – 1555. Outubro, 1995.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Odor Control in Wastewater treatment Plants:** manual of practice n° 2. New York: ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice n° 82, 1995.

**RESOLUÇÃO N°038/2020 – CEPE**

**ANEXO I**

**APÊNDICE ao TCC**

**Termo de autorização de publicação de produção acadêmica**

A estudante **LUMA LOPES DE SOUZA DOMICIANO** do Curso de **ENGENHARIA CIVIL**, matrículas **2015.2.0025.0088**, telefone: **62 99122-7200** e-mail: [domicianoluma@gmail.com](mailto:domicianoluma@gmail.com), na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **ESTUDO DE DURABILIDADE DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – CASO DE ESTUDO NA ETE PARQUE ATHENEU** gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de dezembro de 2020.

Assinatura dos autor:



---

Nome completo dos autores:

**LUMA LOPES DE SOUZA DOMICIANO**  
**THAÍS ROFRIGUES BARBOSA**

Assinatura do professor orientador:



---

Nome completo do professor-orientador: **EPAMINONDAS LUIZ FERREIRA JÚNIOR**

## RESOLUÇÃO N°038/2020 – CEPE

### ANEXO I

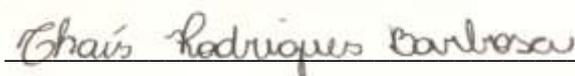
#### APÊNDICE ao TCC

#### Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

A estudante **THAÍS RODRIGUES BARBOSA** do Curso de **ENGENHARIA CIVIL**, matrícula **2018.1.0025.0078-7**, telefone: **62 99866-5291** e-mail: [thaisrbb@gmail.com](mailto:thaisrbb@gmail.com), na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **ESTUDO DE DURABILIDADE DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – CASO DE ESTUDO NA ETE PARQUE ATHENEU** gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de dezembro de 2020.

Assinatura do autor:



Nome completo dos autores:

**LUMA LOPES DE SOUZA DOMICIANO**  
**THAÍS ROFRIGUES BARBOSA**

Assinatura do professor orientador:



Nome completo do professor-orientador: **EPAMINONDAS LUIZ FERREIRA JÚNIOR**