Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

# BIODETERIORAÇÃO DO CONCRETO EM ESTRUTURAS DE SANEMENTO: UM ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**T. GÓIS**
Engenheira Civil
Universidade Federal do Espírito Santo
ES; Brasil
thaisgois@gmail.com

**G. VIEIRA**
Professora titular
Universidade Federal do Espírito Santo
ES; Brasil
geilma.vieira@gmail.com

**C. TELES**
Engenheira Florestal
Universidade Federal do Espírito Santo
ES; Brasil
clauteles@hotmail.com

**RESUMO**

A perda de capacidade resistente do concreto está ligada a processos de deterioração de natureza complexa, podendo ser atribuída a fatores intrínsecos (composição do cimento e do agregado e relação água/cimento) ou extrínsecos ao material (p.e., existência de substâncias agressivas, condições do clima, entre outros). São inúmeros os agentes agressivos responsáveis pela deterioração do concreto. Dentre eles, estão os agentes biológicos, os quais dão origem aos diversos processos de deterioração, devido à sua interação com os materiais e o meio ambiente em que se encontram. Assim, quando estes processos deletérios envolvem a ação de seres vivos, tem-se a biodeterioração. O fenômeno da biodeterioração é frequentemente encontrado em estruturas de saneamento, sendo caracterizado pela desintegração de um material devido às ações de macrorganismos (moluscos, crustáceos, insetos ou roedores) ou microrganismos como fungos, algas e bactérias. A atividade bacteriana nos esgotos pode conduzir à bio-formação de ácido súlfirico ($H_2SO_4$). Isto ocorre porque, quando existem condições anaeróbicas, devido ao longo período de detenção hidráulica ou ao fluxo lento do esgoto, as bactérias redutoras de sulfato (BRS) podem reduzir os compostos de enxofre a gás sulfrídrico ($H_2S$), o qual irá se transformar em $H_2SO_4$ por meio da ação das bactérias oxidantes de enxofre (BOE). O presente trabalho baseou-se em um estudo de caso nas estruturas de saneamento em concreto da Universidade Federal do Espírito Santo, por meio de um levantamento fotográfico quantitativo, no intuito de identificar a ocorrência da biodeterioração nestas estruturas. Durante as vistorias foram identificadas diversas manifestações patológicas que corroboram a hipótese de existência de biodeterioração nas estruturas, conforme mencionado na literatura, como: corrosão da armadura, perda de massa do concreto, desagregação do agragado graúdo, presença de substância esbranquiçada, fissuração, dentre outras.
Palavras-chave: biodeterioração, concreto, durabilidade, microrganismos, esgoto.

**ABSTRACT**

The loss of durability of concrete is related to the complex nature of deterioration processes, can be attributed to intrinsic factors (cement and aggregate composition and water/cement ratio) and extrinsic to the material (presence of aggressive substances, climate conditions, etc.). There are numerous aggressive agents responsible for the deterioration of the concrete. Among them are the biological agents, which give rise to the various decay processes due to its interaction with the materials and the environment. Thus, when these processes involve the deleterious action of living beings, there is biodeterioration. The biodeterioration phenomenon is often found in sewage structures, characterized by the disintegration of a material due to macro-actions (molluscs, crustaceans, insects or rodents) or microorganisms such as fungi, algae and bacteria. The bacterial activity in sewage can lead to bio-training sulfuric acid ($H_2SO_4$). This is because, when there anaerobic conditions due to the long hydraulic retention or slow flow of sewage, the sulfate reducing bacteria (SRB) can reduce the sulfur compounds to hydrogen sulfide ($H_2S$), which will become sulfuric acid ($H_2SO_4$) through the action of oxidizing sulfur bacteria (SOB). This study was based on a case study in sewage structures in concrete of the Federal University of Espírito Santo, through a quantitative photographic survey in order to identify instances of biodeterioration in these structures. During the surveys were identified various pathological manifestations that support the hypothesis of biodeterioration in the structures, as mentioned in the literature, such as: corrosion, loss of concrete mass, white pasty material, cracking, and others.
Keywords: biodeterioration concrete, durability, microorganisms, sewage.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado nas construções no Brasil e no mundo, seja em edifícios residenciais, comerciais ou industriais, obras de arte (pontes, túneis e viadutos) ou obras ligadas a infraestrutura como estradas, barragens e instalações de água e esgoto. Estando expostas à ação do meio ambiente em que se encontram, tais estruturas podem sofrer deterioração total ou parcial com o tempo, o que interfe em sua durabilidade e desempenho [1].

A perda de durabilidade do concreto está ligada a processos de deterioração de natureza complexa, podendo ser atribuída a fatores intrínsecos (composição do cimento e do agregado, relação água/cimento, etc) ou extrínsecos ao material (existência de substâncias agressivas, condições do clima, entre outros). Os mecanismos deletérios ao concreto podem ser de natureza química, física, mecânica ou biológica. As causas de deterioração mecânica podem ser o impacto, a abrasão, a erosão ou a cavitação do material. As causas físicas compreendem os efeitos de altas temperaturas, as diferenças de coeficientes de dilatação térmica entre agregado e pasta de cimento e a alternância de congelamento e degelo. As causas químicas podem ser internas ao material (como as reações álcali-agregado) ou externas, como a ação de íons agressivos (cloretos, sulfatos, dióxido de carbono, entre outros), as quais irão provocar o surgimento de produtos expansivos no interior do material [2].

No que diz respeito às causas de natureza biológica de deterioração do concreto, diversos estudos indicam a importância da contribuição dos organismos vivos neste processo. Quando há o envolvimento de seres vivos na deterioração dos materiais de construção, podendo ser macrorganismos (moluscos, crustáceos ou insetos) ou microrganismos como fungos, algas e bactérias, esse processo é chamado de biodeterioração [3], sendo frequentemente encontrada em estruturas de saneamento. A atividade bacteriana nos esgotos pode conduzir à bio-formação de ácido sulfúrico ($H_2SO_4$), o que irá corroer o material. Isto ocorre porque, em condições anaeróbias, devido ao longo período de detenção hidráulica, ao fluxo lento do esgoto e diversos outros fatores, as bactérias redutoras de sulfato (BRS) reduzem os compostos de enxofre a gás sulfídrico ($H_2S$), o qual, por meio da ação das bactérias oxidantes de enxofre (BOE), irá se transformar em $H_2SO_4$, causando a deterioração do material [4].

Ambientes com esgoto são muito ricos em compostos de enxofre. Assim, em redes de saneamento, os danos ao concreto podem ocorrer por ações de natureza puramente química, devido às reações diretas de águas sulfatadas com a pasta de cimento hidratada, dando origem a compostos expansivos deletérios do tipo etringita, gipsita ou taumasita. Ou os danos ao material, causados por ataque químico, podem ser resultantes da atividade microbiológica, ou seja, o concreto sofre uma deterioração induzida biologicamente (biodeterioração), conhecida internacionalmente por *microbiologically influenced/induced corrosion* (MIC) (Corrosão microbiologicamente influenciada/induzida), ou *biogenic sulfide corrosion* (corrosão por sulfetos biogênicos).

A biodeterioração em estruturas de esgoto gera um custo de bilhões de dólares em todo mundo, além de enormes prejuízos ambientais. Em 2009 nos Estados Unidos, foram gastos no país cerca de $3,3 bilhões com a manutenção dos sistemas de saneamento [5]. Entretanto, apesar de representar um enorme desafio ambiental e economico em todo o mundo, e mesmo havendo um vasto conhecimento sobre a biodeterioração do concreto, os mecanismos fundamentais deste fenômeno ainda não foram completamente compreendidos [6].

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão sobre os principais conceitos e mecanismos de biodeterioração do concreto associada a estrutruas de saneamento. Além disso, fazer um estudo de caso, por meio de levantamento fotográfico e análise quantitativa da deterioração das fossas de esgoto prediais da Universidade Federal do Espírito Santo. Não serão realizados ensaios in loco ou laboratoriais que atestem a existência de biodeterioração, e sim, um estudo visual comparativo com o que diz a literatura.

## 2. CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA BIODETERIORAÇÃO

### 2.1. Redes de Saneamento

Redes de esgotos urbanas existem para coletar os rejeitos sanitários de propriedades domésticas ou industriais, transportando-os por meio de canalização subterrânea até as estações de tratamento de esgoto (ETE), para que seja feito o seu tratamento antes do descarte em corpos de água receptores. Estas estruturas protegem assim, a população que vive nas cidades contra condições anti-higiênicas e odores nocivos, além de reduzir drasticamente a incidência de doenças transmitidas pela água de esgoto, permitindo o desenvolvimento de cidades cada vez mais densamente povoadas [7].

A gestão de águas residuais é um dos grandes desafios ambientais do mundo, pois permite diminuir os custos ligados aos danos ambientais, às perdas agrícolas e, sobretudo, à saúde pública, daí a necessidade de melhor gerir e melhorar a infraestrutura de saneamento [8]. Há décadas, devido a sua alta flexibilidade de implementação, baixo custo e disponibilidade, o concreto tem sido o material mais amplamente utilizado para construção de redes de saneamento. Soluções mais caras em tubos de ferro fundido também são usadas, mas ainda assim exigem a presença de uma capa de argamassa em seu interior para evitar a corrosão do ferro. No entanto, embora o concreto ou argamassa nas redes de esgoto sejam concebidos para durar 50, 60 anos, estudos mostram que, em alguns casos, sua duração é reduzida a 10 anos [9].

## 2.2. Biodeterioração do concreto

Depois da fabricação todo material pode sofrer, ao longo de sua vida útil, ataques que modificam as suas propriedades iniciais, gerando danos que podem levar à sua destruição total ou parcial. Do ponto de vista semântico, entende-se como degradação as transformações desejáveis dos materiais, como por exemplo, a degradação do plástico ou de resíduos. Já a deterioração diz respeito às transformações deletérias que ocorrem no material ao longo de sua vida [10].

A perda de durabilidade do concreto está ligada a processos de deterioração de natureza complexa, podendo estar relacionada a fatores internos ou externos ao material, ou, ainda, a uma ação conjunta destes fatores. Como exemplo de mecanismos de deterioração pode-se citar os ataques químicos por ácidos, cloretos, sulfatos ou nitratos [1], fatores físicos ou mecânicos [11] ou ainda os fatores ligados a processos biológicos de deterioração.

Desta forma, quando um material sofre danos indesejáveis causados pela ação direta ou indireta de microrganismos, tem-se a chamada biodeterioração. Estes microrganismos produzem diversas interações entre os materiais e o meio externo, dando origem a um processo físico químico de deterioração [12]. No ataque direto, a biodeterioração resulta da simples presença dos microrganismos, podendo haver danos por formação de matéria biológica nos poros do material, o que gera fissuras. No caso do ataque indireto, os microrganismos irão produzir substâncias que reagirão com o material, causando a dissolução dos componentes ou formação de produtos expansivos. Os processos de biodeterioração provocam a perda de propriedades físicas e mecânicas e/ou alterações da composição dos materiais [13].

Para que o fenômeno da biodeterioração ocorra, é necessário o encontro de três parâmetros: um material, os microrganismos e um ambiente favorável, como mostra a Figura 1. O termo microrganismo é usado para todos os seres vivos microscópicos, bactérias, fungos, algas, liquens, musgos ou vírus. Atuam como agentes da biodeterioração, tendo uma ação direta ou indireta sobre o material. O meio ambiente pode ser considerado o vetor da biodeterioração, pois carrega os microrganismos e parte dos nutrientes necessários para o seu crescimento, o que leva a uma biodeterioração mais ou menos forte, em função de suas características. No que diz repeito aos materiais, a biodeterioração pode ocorrer em materiais metálicos, minerais, polímeros, cerâmicos, dentre outros. A agressividade do ataque depende de características como composição química, porosidade ou tratamentos de superfície empregados [13]. **N**este trabalho será estudada a biodeteriração causada por bactérias em estruturas de saneamento feitas em concreto (fossas sépticas).

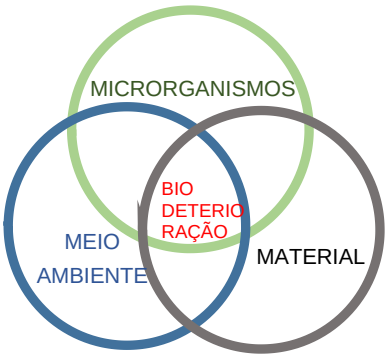



Figura 1: Parâmentros que levam à biodeterioração. Fonte: Adaptado de [13]

### 2.2.1. Mecanismo da biodeterioração

O primeiro estudo sobre a deterioração do concreto causada por microrganismos foi realizado em 1900 por Olmstead e Hamlin [14]. Os autores observaram o surgimento de uma massa pastosa esbranquiçada em parte de uma tubulação de

esgoto, teoricamente resultante de um ataque químico por sulfeto de hidrogênio ou gás sulfrídrico ($H_2S$), produzido por bactérias redutoras de sulfato (BRS) da espécie *Desulfovibrio*. Esta bactéria é um microorganismo anaeróbio obrigatório que depende da disponibilidade de substâncias orgânicas para sua alimentação e utiliza os íons sulfatos ($SO_4^{2-}$) como uma fonte de oxigênio. A equação 1 descreve a formação de $H_2S$ através da redução de $SO_4^{2-}$ pelas BRS, onde C (carbôno) representa a matéria orgânica disponível no meio [6].

$$SO^{2-}{}_{4(aq)} + 2C + H_2O \rightarrow 2HCO^{3-}{}_{(aq)} + H_2S_{(aq)} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Em 1945, Parker [15] isolou de uma superfície de concreto deteriorada, pela primeira vez, bactérias oxidantes de enxofre (BOE) nomeando-as como *Thiobacillus*. Constatou-se, então, que o dano não era causado pelo $H_2S$ e sim pelo ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) produzido por estas bactérias, resultando em superfícies com pH abaixo de 1. Desde então cinco espécies de *Thiobacillus* foram identificadas no processo de biodeterioração do concreto em redes de esgoto: *T. thioparus, T. novellus, T. neapolitanus, T. intermedius e T. thiooxidans* [16], o que já foi confirmado por diversos autores como [17], [18], [19], [20], [21]. A presença de cada uma no meio depende da disponibilidade de nutrientes e do pH da superfície do concreto [7]. Entre estas espécies existem as bactérias neutrófilas (crescem em pH mais básicos) e acidófilas (crescem em pH mais ácido). As bactérias oxidantes de enxofre neutrofilas (BOEN) não representam risco imediato para a estrutura, porém agem como potencializados da sucessão de bactérias oxidantes de enxofre acidófilas (BOEA). Estas, por sua vez, estão associadas à deterioração severa do concreto [19], [20].

Portanto, o mecanismo da biodeterioração é um processo complexo, que acontece em várias etapas. Como dito anteriormente, o esgoto doméstico contém ións sulfato ($SO_4^{2-}$) em abundância, os quais, em condições específicas, serão reduzidos a $H_2S$. Portanto, no primeiro estágio da biodeterioração acontece a formação de $H_2S$, por meio da decomposição de compostos de enxofre, como um produto do metabólismo das BRS, as quais vivem nas zonas anaeróbias da lama de esgoto ou no biofilme. Em seguida, o $H_2S$ produzido por estas bactérias se dissipa em forma de gás para a atmosfera acima do efluente e é oxidado para ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) pelas BOE, bactérias aeróbias que colonizam a superfície exposta do concreto [15]. A Figura 2 mostra uma representação esquemática deste processo.

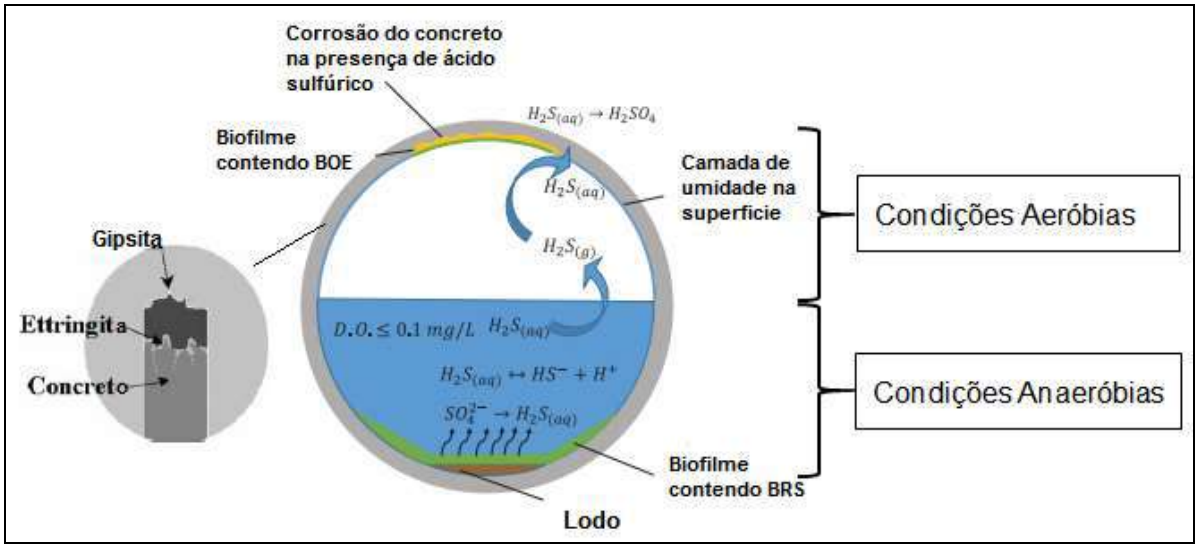


Figura 2: Representação da biodeterioração em uma tubulação de esgoto. Fonte: Modificado de [6]

As BRS crescem na camada de biofilme que cobre a superfície do efluente e, normalmente, o oxigênio não é capaz de permear esta camada, portanto, uma área anaeróbia é formada, sendo um local ideal para produção de sulfetos [22]. A temperatura no local, o longo tempo de detenção e baixa velocidade de fluxo do efluente, a elevada taxa de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), os níveis de turbulência e ventilação nas redes, dentre outros, são alguns fatores que contribuem para o crescimento bacteriano rápido nos sistemas de esgoto subterrâneos [23]. Já a oxidação de $H_2S$ pelas BOE ocorre preferencialente em locais onde a concentração de gás é > 2ppm, a umidade relativa e turbulência do efluente são altas e na presença de oxigênio [24]

Antes do $H_2SO_4$ começar a reagir com o concreto, os compostos hidratados do cimento como o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) e o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) estão em um estado de equilíbrio, com o concreto apresentando um elevado valor de pH. Assim que a reação entre o ácido e concreto se inicia, a dissolução destes compostos hidratados

começa a ocorrer. A taxa desta ação dependente de fatores como a porosidade do concreto, a estrutura dos poros, o pH e a concentração de $H_2SO_4$ . O $H_2SO_4$ migra da superfície exterior do concreto para o interior. Assim, a superfície exterior desempenha um papel importante na neutralização e impedindo a solução de penetrar no interior do concreto, fornecer o concreto com uma melhor resistência contra a corrosão ácida. No momento em que o $H_2SO_4$ entra em contato com a matriz de cimento ocorre primeiramente a reação com o ($Ca(OH)_2$), formando o sulfato de cálcio ($CaSO_4$) de acordo com a equação 2 [20]

$$(Ca(OH)_2) + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O \quad \text{(Eq. 2)}$$

Em seguida o $CaSO_4$ é hidratado formando a gipsita ($CaSO_4$. $2H_2O$), cuja aparência é esbranquiçada, esponjosa e não possui propriedades coesivas. A gipsita então reage com o aluminato de cálcio hidratado ($C_3A$) ou com o monossulfoaluminato de cálcio hidratado ($C_4ASH_{18}$) formando a etrigita secundária (ou tardia), conforme as equações 3 e 4. A etringita é um produto expansivo e causa fissuras internas e desintegração do concreto, possibilitando ainda mais a penetração do ácido no concreto [20]

$$3CaSO_4.2H_2O + 3CaO.Al_2O_3 + 26H_2O \rightarrow 3(CaO).(Al_2O_3).3(CaSO_4).32H_2O \quad (3)$$
$$2CaSO_4.2H_2O + 3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.12H_2O + 18H_2O \rightarrow 3(CaO).(Al_2O_3).3(CaSO_4).32H_2O \quad (4)$$

A Figura 3 representa gráficamente as mudanças físico químicas que a biodeterioração em redes de esgoto causa ao concreto. O concreto é naturalmente alcalino, com um pH na faixa de 11-13 [25]. As BOE não são capazes de se desenvolver neste pH elevado. Porém, como visto, em ambientes com esgoto, estão presentes substâncias como $CO_2$ e $H_2S$, ambos com propriedades ácidas, atuando na redução química do pH, o que é mostrado na etapa 1. Uma vez que o pH é reduzido para aproximadamente 9 e com quantidade de nutrientes, umidade e oxigênico suficientes, as batérias da espécie *Thiobacillus* do tipo nutrófilas (BOEN), mais precisamente as *T. novellus, T. neapolitanus, T. intermedius*, se fixam na superfície do material e se reproduzem. A sucessão bacteriana não é determinada apenas pelo pH da superfície, mas também pelos diferentes compostos de enxofre presentes no meio nos diferente momentos do processo. As BOEN produzem alguns produtos ácidos e a medida que novos organismos crescem, produtos metabólicos ácidos se acumulam e o pH cai, como mostra a etapa 2. Quando o pH chega a 4-5 as BOEA, da espécie *T. thiooxidans*, começam a colonizar a superfície e oxidar os compostos de enxofre, produzindo grande quantidades de $H_2SO_4$, momento em que ocorre efetivamente a deterioração do mateiral, como mostra a etapa 3 [26].

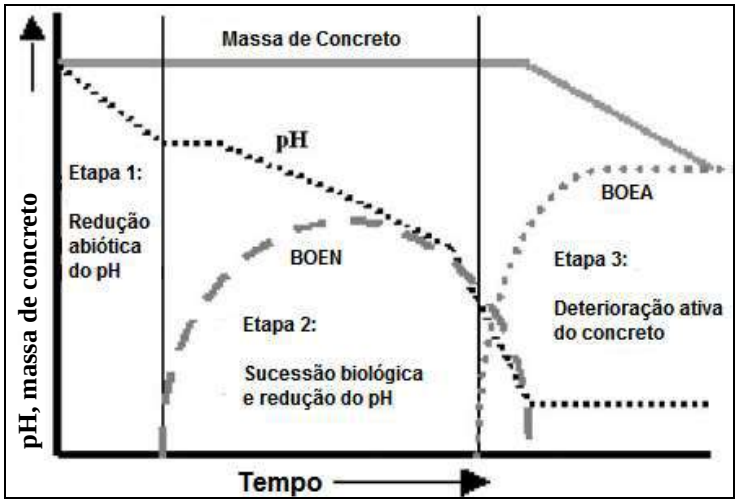



Figura 3: Mudanças físicas e químicas teóricas das propriedades do concreto ao longo do precesso de biodeterioração.
Fonte: Adaptado de [26]

## 3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado na Universidade Federal do Espírito Santo, localizado no bairro Goiabeiras em Vitória – ES, identificada na imagem de satélite conforme figura 4. A Universidade Federal do Espírito Santo foi inaugurada em 5 de maio de 1954 e possui uma área com certo de 1,5 milhão de metros quadrados [27].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459




Figura 4: Imagem de Satélite delimitando a área do estudo de caso na UFES. Fonte: [28]

As estruturas de sanemanto denominadas fossas sépticas foram utilizadas para este estudo de caso. Foram vistoriadas as fossas de quatro centros da UFES: CEMUNI, CCJE, IC E CT, delimitados e identificados no mapa conforme Figura 5. Não foi possível analisar todas as fossas de todos os prédios dos centros, devido a fatores como dificuldades de acesso, impossibilidade de abertura das tampas ou pela não identificação da localização da fossa conforme o projeto. No CEMUNI foram analisadas 23 fossas, no CCJE foram analisadas 3 fossas, no IC também foram analisadas 3 fossas e no CT foram analisadas 9 fossas, sendo um total de 39 fossas vistoriadas. Para este estudo de caso foi necessário utilizar um pé de cabra para abertura das fossas e aparelho fotográfico.

As fossas sépticas são unidades de tratamento primário nos esgotos domésticos, onde ocorre a separação e transformação de matéria sólida contida no esgoto. Nessas fossas, os esgotos sofrem a ação bacteriana e a parte sólida (lodo) é depositada no fundo, enquanto que na superfície forma-se uma camada de espuma, constituída de substâncias insolúveis mais leves. A fase líquida segue para o sumidouro ou para as valas de infiltração [27].

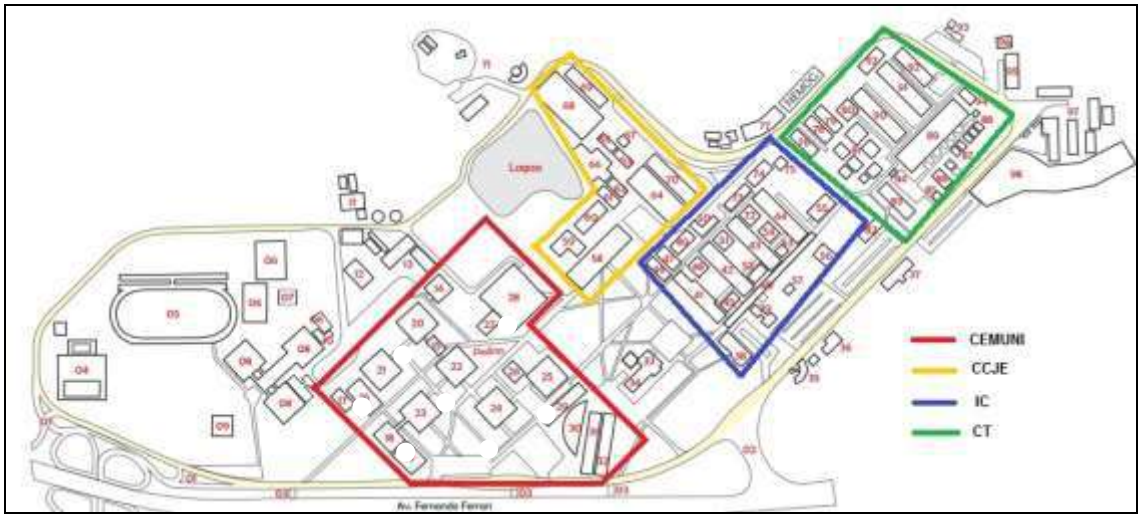



Figura 5: Delimitação dos Centros da UFES. Fonte: Adaptado de [27]

O primeiro centro a ser vistoriado foi o CEMUNI (Célula Modular Universitária). Os prédios datam da década de 60. As fossas estão distribuídas conforme a planta de drenagem da Figura 6. Ao todo são 6 prédios, com 4 fossas em cada, num total de 24 fossas, sendo que 1 não foi localizada conforme projeto.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

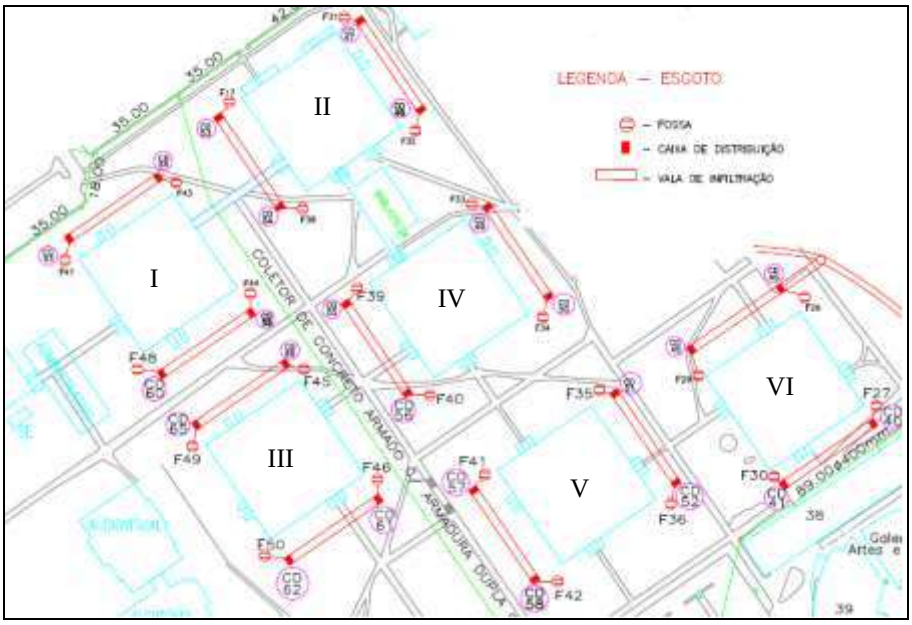



Figura 6: Planta de drenagem – CEMUNI

A figura 7 mostra a deterioração de 4 fossas. Das 23 fossas analisadas, 20 apresentaram forte odor de $H_2S$ (característico de ovo podre) e deterioração avançada da estrutura. Foram identificadas inúmeras manifestações patológicas nas estruturas inspecionadas. Dentre as principais, pode-se citar: fissuração, perda de cobrimento do concreto, corrosão de armadura e desplacamento do concreto. Em 100% das estruturas foi possível identificar a segragação do agregado da pasta de cimento, sendo que em alguns casos, o agregado se desprendia com facilidade da estrutura. A camada amarelada da superfície evidenciava a presença de enxofre no meio. Foi possível notar também o elevado grau de porosidade do concreto no local.




Figura 7: Fotos de 4 fossas do CEMUNI

A segunda vistoria foi realizada no CCJE (Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas). A construção dos prédios do centro data também da década de 60. As fossas estão distribuídas conforme a planta de drenagem da Figura 8. Ao todo são 16 prédios, e apenas 3 fossas foram localizadas conforme o projeto.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

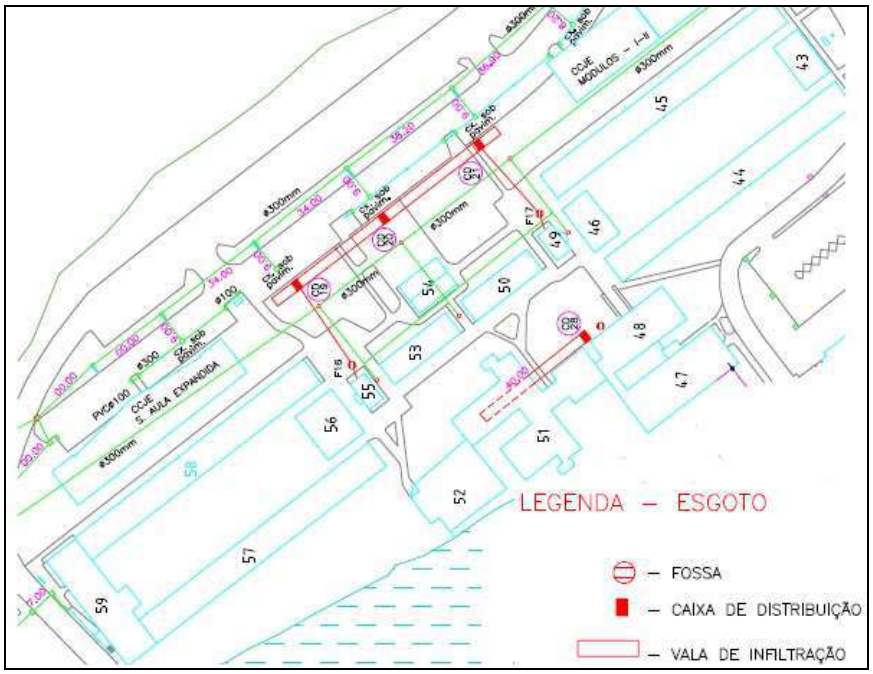



Figura 8: Figura 3: Planta de drenagem - CCJE

A figura 9 mostra o estado de deterioração das 3 fossas.Todas apresentaram forte odor de $H_2S$ e severa deterioração da estrutura. As principais manifestações patológicas encontradas foram: perda de cobrimento, corrosão da armadura, manchamento. Observou-se também uma camada esbranquiçada na superfície da estrutura, indicando uma provável formação de gipsita.




Figura 9: Fotos de 3 fossas diferentes do CCJE

A terceira vistoria foi realizada no IC (Ilha do Cercado), que é um conjunto de centros como o CCHN (Centro de Ciências Humanas e Naturais), CCE (Centro de Ciências Exatas) e CE (Centro de Educação) e teve prédios construídos na década de 60 e 70. Algumas fossas foram refeitas e datam da década de 70. Elas estão distribuídas conforme a planta de drenagem da Figura 10. Ao todo são 19 prédios, mas apenas 3 fossas foram localizadas conforme o projeto.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 10: Figura 3: Planta de drenagem – IC

A figura 11 mostra a deterioração das 3 fossas. Todas apresentaram forte odor de $H_2S$ e deterioração avançada da estrutura. As principais manifestações patológicas encontradas foram fissuras, perda de cobrimento do concreto, corrosão da armadura e manchamento, além da presença de substância esbranquiçada. O concreto apresentava alta porosidade e fragilidade, podendo ser desistegrado facilmente com o auxílio do pé de cabra.



Figura 11: Fotos de 3 fossas diferentes do IC

Por fim, foram realizadas as vistoria no CT (Centro Tecnológico). Os prédios do centro foram construídos nos anos de 1970. As fossas estão distribuídas conforme a planta de drenagem da Figura 12. Ao todo são 15 prédios, sendo que 9 fossas foram localizadas conforme o projeto.

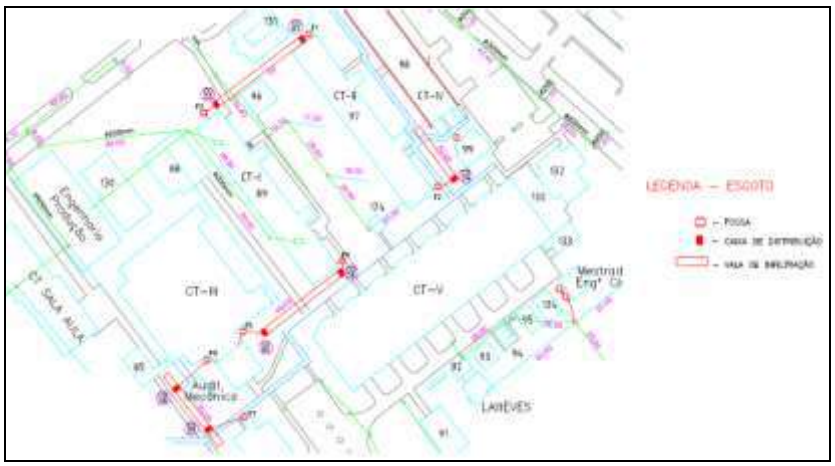


Figura 12: Figura 3: Planta de drenagem - CT

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

A figura 13 mostra a deterioração em 4 fossas  Em 7 fossas analisadas, foi identificado forte odor de $H_2S$ e deterioração da estrutura. Em uma das fossas foi identificado a crescimento de uma árvvore em seu interior. Isto pode contribuir para o aumento da fissuração e consequente aumento do ingresso de agentes agressivos na estrutura.  As principais manifestações patológicas encontradas foram: perda de cobrimento, corrosão da armadura, presença de substância esbranquiçada, fissuração, bolor e manchamento. Em algumas fossas evidenciava a presença de enxofre, devido a camada amarelada na superfície.



Figura 13: Fotos de 4 fossas diferentes do CT

### 3.1. Considerações sobre as inspeções do estudo de caso

Após a realização das inspeções e registros fotográficos das fossas sépticas da UFES, é possível estabelecer as seguintes considerações:

- O local escolhido para o estudo de caso, por ser uma universidade e por possuir uma população flutuante, com paradas aos fins de semana e férias escolares, possui um esgoto mais diluído do que o esgoto doméstico coletado nas cidades. Isto provavelmente explica o fato de nem todas as caixas apresentarem forte odor de $H_2S$ (característico de ovo podre) e deterioração em estágio avançado;
- A maior parte dos artigos sobre biodeterioração em redes de esgoto está relacionada à análise do fenômeno ocorrendo nas tubulações. Contudo, como não seria possível vistoriar tubulações da UFES, optou-se pela vistoria das fossas sépticas para este estudo de caso. Tendo em vista o estado de deterioração observado nas fossas vistoriadas, pressupõe-se que as tubulações ao longo das redes de esgoto estejam ainda mais deterioradas, por apresentarem maior tempo de detenção hidráulica, menor ventilação e maior concentração de $H_2S$ aprisionado;
- A percepção de odor de $H_2S$ contribui para a hipótese da presença de BRS em abundância no efluente. Além disto, foi possível correlacionar, embora sem a realização de ensaios, o odor com uma maior ou menor deterioração da estrutura. As fossas cujo odor era mais forte, a deterioração era mais acentuada. Ao passo que as fossas que se encontravam em melhor estado, não apresentavam muito cheiro do gás. A identificação de superfícies com coloração amarelada corrobora a hipótese de existência de enxofre, elemento fundamental para o metabolismo das BRS na produção de $H_2S$.
- Inúmeras manifestações patológicas foram observadas nas estruturas inspecionadas. As principais foram: Desagregação do agregado graúdo, fissuração, desplacamento do concreto, manchamento e corrosão das armaduras.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

## 4. CONCLUSÃO

O efeito do $H_2SO_4$ nas superfícies de concreto expostas a um ambiente de esgoto pode ser devastador. Muitas estações de tratamento, caixas de visita, fossas sépticas e tubulações entraram em colapso devido à perda da integridade estrutural causada pelo ataque de $H_2SO_4$ biogênico. Como visto, o $H_2SO_4$ ataca a matriz do concreto, que contém compostos hidratados do concreto como o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) e o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), formando produtos expanssivos (como etringita e gipsita) muito deletérios ao material, o que significa um grave problema econômico e ambiental para muitos países.

Atualmente, existem muitas linhas de pesquisa para investigação da biodeterioração do concreto, com o objetivo de mitigar os efeitos deletérios deste fenômeno: estudos sobre os processos biológicos envolvidos na biodeterioração, com referência ao papel das BRS e BOE, estudos ligados aos efeitos químicos do $H_2S$ e $H_2SO_4$ sobre as misturas de concreto, metodologias de pesquisa em laboratório com simulação de ataque em câmaras de deterioração, modelagem matemática para simulação da deterioração do concreto, dentre outras.

Porém, apesar do vasto conhecimento adquirido nos últimos anos sobre a biodeterioração em estruturas de saneamento, os mecanismos fundamentais deste fenômeno não foram ainda totalmente definidos. Muitas pesquisas ainda dependem largamente de evidências empíricas. A natureza complexa de testes microbiológicos e a utilização de materiais perigosos impediram o desenvolvimento de métodos de ensaio convenientes e replicáveis que reproduzam a biodeterioração em laboratório, uma vez que são difíceis, demorados e muito onerosos na maioria das vezes. Isto levou ao desenvolvimento de métodos de teste simplificados e acelerados que podem não capturar com precisão os mecanismos dos danos causados pela biodeterioração. Além disso, a falta de metodologias de ensaio normalizadas para a avaliação da resistência do concreto à biodeterioração resulta em constatações inconsistentes e impossibilita a comparação direta entre a análise de laboratório [7].

Vale ressaltar que, embora ainda existam muitas questões não definidas sobre os processos envolvendo a biodeterioração do concreto, a literatura mostra que alguns fatores influenciam para que o fenômeno ocorra. Estes são: a composição do efluente (a qual influencia na atividade metabólica das BRS e BOE); as condições ambientais do meio (temperatura, pH do esgoto e da superfície imersa da estrutura, efeitos mecânicos que influenciam na taxa de oxigênio disponível e na velocidade de emissão do $H_2S$); a produção mais ou menos importante de $H_2SO_4$ pelas BOE; a composição e propriedades do concreto utilizado na construção das estruturas. Tais conhecimentos podem auxiliar no controle da ocorrência do fenômeno da biodeterioração, garantindo maior durabilidade e vida útil às estruturas [13].

O estudo de caso realizado mostrou que as fossas vistoriadas apresentam importantes indícios da ocorrência de biodeterioração, quando é feita uma comparação com o que relata a literatura. A presença de forte odor de $H_2S$ (tipico de ovo podre), superfícies esbranquiçadas do concreto, a presença de enxofre, perda de massa, desagregação do agregado graúdo, desplacamento, fissuração, corrosão das armaduras, principais manifestaçoes patológicas encontradas nas vistorias, corroboram a hipótese que de fato as estruturas estão sofrendo a ação da biodeterioração. Diversas pesquisas apontam uma mudança de coloração de cinza para amarelo no concreto, sugerindo um acúmulo de quantidades significativas de enxofre elementar na superfície do material [15], [16]. Muitas pesquisas identificaram também a perda de massa de concreto causada por biodeterioração [4], [18] [19], [20]. Outras apontam ainda que a velocidade do efluente nas tubulações como fator de aceleração da produção de $H_2S$, atuando no aumento da espessura da lama que se acumula na parte inferior dos tubos, logo, quanto menor a velocidade, maior a espessura da lama, o que cria uma zona anaeróbia maior, favorecendo o crescimento de BRS [13], [20].

Seria imprescindível, entretanto, lançar mão de ensaios laboratoriais para que pudesse ser feito um diagnóstico preciso sobre as reais causas e consequências dos danos observados nas estruturas. Tais ensaios poderiam comprovar a presença de BOE no local, a formação de $H_2SO_4$, de produtos expansivos do tipo etringita, thaumasita ou gipsita secundárias, quantificar a presença de $H_2S$, avaliar o pH do efluente e da superfície do concreto, dentre outros parâmetros que comprovariam a existência de biodeterioração no local.

## 5. REFERÊNCIAS

[1] Pinheiro, S. M. de M. - *Impacto da colonização do fungo Cladosporium sphaerospermum na argamassa do concreto*. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Dissertação de mestrado, 135p, 2003.
[2] Souza, V. C. M. de; Ripper, T. - *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo, 1ª Ed.: PINI, 257p, 1998.

[3] Silva, M. S; Rosowsky, D. V, "Biodeterioration of construction materials: State os the art and future challenges". *Journal of materials in civil engineering*, 2008, 20(5): 352-365.
[4] Monteny, N *et al*, "Chemical andmicrobiological tests to simulate sulfuric acid corrosion of polymer-modifiedconcrete". *Cemente and Concrete*. Res. 31 (2001) 1359–1365.
[5] US Environmental Protection Agency. "State of Technology for Rehabilitation of Wastewater Collection Systems". US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. 2010, EPA/600/R-10/078.
[6] House, M.V; Weiss, W. J., "Review of microbially induced corrosion and comments on needs related to testing procedures", 4º International Conference on the Durability of Concrete Structures, Purdue University, West Lafayette, IN, EUA, 2014.
[7] Pikaar, I., *et al*., "Reducing sewer corrosion through integrated urban water management". *Science*, 2014, 345 (6198).
[8] OMS/UNICEF, "Rapport sur les progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau". Programme commun Organisation mondiale de la Santé et UNICEF de suivi de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement. 2015.
[9] Videla, H. A., " Manual of biocorrosion". *CRC Press*, Lewis Publishers, 1996, Boca Raton.
[10] Shirakawa, M. A - *Estudo da biodeterioração do concreto por Thiobacillus*. Dissertação de mestrado. São Paulo, 121p, 1994.
[11] Brandão, A. M. da S. - *Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto*. Escola de Engenharia de São Carlos, SP. Dissertação de mestrado, 137 p, 1998.
[12] Cwalina, B, "Biodeterioration of concrete". *ACEE Journal*, 2008, 18A, 44-100.
[13] Herisson, J. H. - *Biodeterioration des materiaux cimentaires dans les ouvrages d'assainissement: etude* comparative du ciment d'aluminate de calcium et du ciment Portland. Universite Paris-Est, Tese, 280 p, 2012.
[14] Olmstead, W.M., Hamlin, H., "Converting portions of the Los Angeles outfall sewer into a septic tank". *Engineering News*, 1900, 44, 317.
[15] Parker, C.D., "The corrosion of concrete 1. The isolation of a species of bacterium associated with the corrosion of concrete exposed to atmospheres containing hydrogen sulfide". *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science*, 1945a. , 23, 81–90.
[16] Islander, R.L. *et al*, "Microbial ecology of crown corrosion in sewers". *Journal of Environmental Engineering*, 1991, 117: 751 – 770.
[17] Sand, W., "Importance of hydrogen sulfide, thiosulfate, and methylmercaptan for growth of Thiobacilli during simulation of concrete corrosion". *Applied Environmental Microbiology*, 1987, 53, 1645–1648.
[18] Mori, T. et al, "Interactions of nutrients, moisture, and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipes". *Water Research*, 1992, 26, 29–37.
[19] Vincke E. *et al*, "A new test procedure for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. Biodegradation" 1999, 10(6): 421–8.
[20] Davis, J.L. *et al*, "Analysis of concrete from corroded sewer pipe". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1998, 42, 75–84.
[21] Okabe, S. *et al*, "Succession of sulfuroxidizing bacteria in the microbial community on corroding concrete in sewer systems." *Appl. Environ. Microbiol.*, 2006, 73(3), 971–980.
[22] Jana D., Lewis R.A., "Acid attack in a concrete sewer pipe – a petrographic and chemical investigation". Proc. 27th Int. Conf. Cement Microscopy, ICMA, Victoria, Canada, 2005.
[23] Kaempfer, W.; Berndt, M., "Estimation of service life of concrete pipes in sewer networks". *Proceedings of Durability of Builiding Materials and Components* 8, 1999, 37-45.
[24] Vaughn, O. D, "Undertanding biogenic sulfuric corrosion". *Coating & Lining*, 2007.
[25] Lea, F. - *The Chemistry of Cement and Concrete*, 3rd Edition. Edward Arnold Ltd., London, 1970.
[26] Roberts D. J. e*t al*, "Quantifying microbially induced deterioration of concrete: initial studies". *Int Biodeter Biodegr*. 2002, 49(4):227–34.
[27] UFES – site: http://www.ufes.br/, acesso em: 2016
[28] Google Earth - https://www.google.com.br/maps/@-20.2778523,-40.3061342,656m, acesso em: 2016
[29] Funasa - *Manual de Orientações Técnicas para Elaboração de Propostas para o Programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares.* 2014, Brasilia.