

Corrosão Induzida por Acidithiobacillus Thiooxidans em Sistemas de Concreto em Estações de Tratamento de Esgoto

Indira T. B. B. Oliveira, Nara O. Yokoyama & Fernando S. Ortega

O presente trabalho tem como objetivo discorrer acerca da Corrosão Induzida por Microrganismos (CIM) em concreto armado pela bactéria Acidithiobacillus thiooxidans, em ETE's. Apresentar-se-ão as características físicas e as reações químicas responsáveis pela diminuição dos valores de pH na superfície de peças em concreto armado. As etapas do processo de consolidação da patologia de obra civil sobrevêm do estabelecimento do revestimento de biofilme, possibilitando a produção de ácidos que diminuirão os valores do pH e o tempo de vida útil de projeto.

Palavras-chave: *corrosão induzida por microrganismo; acidithiobacillus thiooxidans; sistemas de concreto armado. cimento portland; estação de tratamento de esgoto.*

The present work aims to discuss the corrosion induced by microorganisms (MIC) in reinforced concrete by the bacteria Acidithiobacillus thiooxidans, in sewage treatment station. The physical characteristics and chemical reactions responsible for the decrease in pH values on the surface of reinforced concrete parts will be presented. The steps in the process of consolidating the pathology of civil works depend on the establishment of the biofilm coating, allowing the production of acids that will reduce the pH values and the project's useful life.

Keywords: *microorganism induced erosion; acidithiobacillus thiooxidans; reinforced concrete systems; portland cement; sewage treatment plant.*

Introdução

Nas últimas décadas as estruturas de concreto têm apresentado graves problemas que afetam diretamente a durabilidade dos sistemas, especialmente em ambientes como Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), onde se identificam inúmeras patologias decorrentes da corrosão induzida por microrganismos.

A corrosão das estruturas em concreto armado induzida pela microbiologia, em ETE's, tem custos de reparação estimados em bilhões de dólares por ano, em escala mundial. Na Alemanha, os custos de reparo das estruturas em concreto, nas estações de tratamento de esgoto, tem excedido \$50 bilhões. Outro exemplo que podemos citar é a cidade de Flandres, na Bélgica, que contabiliza 10% do total de execução de ETE's, apenas em correção dos danos causados por ataque ácido proveniente da sucessão biológica nas estruturas em concreto armado.¹

A sucessão biológica comum nas E.T.E's é composta por seis espécies do gênero *Acidithiobacillus* que são organismos capazes de produzir ácido sulfúrico em níveis abaixo de 1, em superfícies de concreto. As espécies de *Acidithiobacillus* que contribuem com a diminuição do pH em efluentes de estações de tratamento de esgoto são: *Acidithiobacillus thioparus*, *Acidithiobacillus Novellus*, *Acidithiobacillus neapolitanus*, *Acidithiobacillus intermedius*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* e *Acidithiobacillus thiooxidans*.²

Esses microrganismos que participam da secessão biológica, também, são responsáveis pela diminuição gradativa e contínua do pH da superfície do concreto. A população bacteriana que se instalará na superfície do concreto dependerá do aporte dos nutrientes e do pH. Além disso, os microrganismos que produzem ácido sulfúrico e aceleram a deterioração das estruturas em concreto são conhecidos pelo termo "Microbiologia indutora da corrosão do concreto". O ácido sulfúrico tem sido identificado como a substância responsável pela corrosão não somente das estruturas de concreto armado, assim como das tubulações, nas ETE's.³

A corrosão induzida por microrganismos segue etapas com reações químicas específicas de cada fase de maturação do sistema de concreto e que serão descritas ao longo desse trabalho. Ressalta-se que cada sistema cimentício reage de maneira diferente quando em contato com ácido sulfúrico produzido pela bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*. Esse trabalho refere-se às reações químicas comuns nos sistemas de concreto armado que utilizam o cimento Portland.

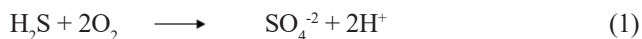
CARACTERIZAÇÃO DA BACTÉRIA *ACIDITHIOBACILLUS THIOOXIDANS*

As bactérias *Acidithiobacillus thiooxidans* são classificadas no grupo das mesófilas, "são obrigatoriamente acidófilas (pH<4), bastonetes gram-negativos, não esporulantes, com dimensões média de 0,3 a 0,8µm de diâmetro e 0,9 a 2µm de comprimento. CO₂ é ficado através do ciclo de Calvin".⁴

Em decorrência de seu processo metabólico, a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*, oxidante de enxofre, é capaz de gerar ácido sulfúrico (H₂SO₄), sendo uma das mais importantes na constituição de um ambiente extremamente ácido, com pH entre valores de 2-0,5.^{5,6}

A.t. thiooxidans foi a acidófila descrita, primeiramente, em 1918. Sendo um microrganismo oxidante de enxofre, é encontrada, geralmente, em pilhas de lixiviação minerais, cavernas sulfídricas, drenagem ácidas de minas e em outros ambientes ácidos como nas estações de tratamento de esgoto.^{7,8}

A proliferação como organismo autotrófico da *At. Thiooxidans* é decorrente da obtenção de energia a partir da oxidação do enxofre elementar e dos compostos reduzidos do enxofre inorgânico, sendo o S⁻², S⁰, e o S₂O₃⁻² os mais empregados como fonte energética. A reação promovida por esta acontece com a presença do oxigênio atmosférico, que utiliza como aceptor de elétrons da oxidação, conforme as equações abaixo.^{9,10}



Com a oxidação completa do enxofre, os íons hidrogênio (H^+) e sulfato (SO_4^{-2}) são formados como metabólitos primários. O ácido sulfúrico reduz significativamente o pH do meio, podendo chegar a valores menores que 1. O ácido sulfúrico comporta-se como elemento enfraquecedor da ligação dos íons metálicos, que passam para a solução na forma de sulfatos.^{11,12}

MICROORGANISMOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO – ETE’S

Em 1947 teve-se a primeira identificação do microrganismo *Thiobacillus concretivorous*, que é conhecido atualmente como *Acidithiobacillus thiooxidans*.¹³ Este é o organismo capaz de produzir ácido sulfúrico em níveis de pH abaixo de 1,0, em superfícies de concreto. As espécies do gênero *Acidithiobacillus* se apresentam em uma sucessão biológica nas estações de tratamento de esgoto, tornando o ambiente finalmente propício para o estabelecimento e proliferação da bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* na superfície do concreto, a qual manterá o pH da superfície na faixa entre 2,0 e 0,5. É importante ressaltar que cada microrganismo se estabelece e se prolifera numa faixa específica de pH, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Faixas de pH das bactérias em sucessão biológica que atuam na corrosão do concreto.

Espécies de microrganismos	Substrato de preferência	Proliferação em faixa de pH
<i>At. Thioparus</i>	$H_2S, S^0, S_2CO_3^{-2}$	5 - 9
<i>At. novellus</i>	$S_2CO_3^{-2}$	2,5 - 8
<i>At. intermedius</i>	$S_2CO_3^{-2}$	2,5 - 8
<i>At. neapolitanus</i>	$S^0, S_2CO_3^{-2}$	3 - 7
<i>At. ferroxidans</i>	Fe^{+2}, Fe^{+3}	3,5 - 4
<i>At. thiooxidans</i>	H_2S, S^0	0,5 - 3

Fonte: House W.H, Weiss J.W., 2014

O concreto fresco com cimento Portland possui alta alcalinidade, com o pH em torno de 12,5 a 13,5.¹⁴ Para que ocorra a colonização da *Acidithiobacillus* é necessário que haja a diminuição abiótica do pH da superfície do concreto. A carbonatação, reação que acontece entre o CO_2 atmosférico e o $Ca(OH)_2$ do cimento Portland e água disponível na microestrutura do concreto, é considerada a etapa inicial da diminuição do pH superficial do mesmo.

A lixiviação do $Ca(OH)_2$ em contato com águas residuais, associada com o crescimento de outros microrganismos, dão continuidade ao processo de redução do pH superficial do concreto. Quando pH da superfície atinge a faixa entre 9,0 e 10,0 inicia-se a colonização por *Acidithiobacillus thioparus*. Após o início da colonização de microrganismos na superfície do concreto, a redução abiótica do pH superficial do mesmo passa a ser irrelevante para a produção de ácido sulfúrico. Entretanto, é fundamental na modificação do microambiente, favorecendo a proliferação das demais espécies de *Acidithiobacillus*.¹⁵ Assim, a colonização de *Acidithiobacillus thioparus* é seguida pelo estabelecimento sucessivo de mais espécies acidófilas do gênero *Acidithiobacillus*, conforme a Tabela 1.

As bactérias envolvidas na sucessão biológica utilizam os sulfetos, o enxofre elementar e o tiosulfato para obter energia, gerando ácido sulfúrico como subproduto. Essas reações são promovidas pela bactéria *Acidithiobacillus thioparus*. Os microrganismos *Acidithiobacillus novellus* e *Acidithiobacillus intermedius* são as próximas espécies a colonizar a superfície usando, principalmente, o tiosulfato como substrato para ganho de energia. À medida que a sucessão biológica avança, o pH da superfície de concreto diminui gradativamente. Estando o pH abaixo de 7, a bactéria *Acidithiobacillus neapolitanus* torna-se predominante até que o pH seja reduzido até 3. No ambiente em faixas de pH abaixo de 3, a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*, extremamente acidófila, passa a predominar, oxidando os sulfetos e o enxofre elementar ao ácido sulfúrico. Dessa maneira o valor de pH continua reduzindo, atingindo a faixa entre 1,0 e 0,5.¹⁶

Ressalta-se que a presença de microrganismos oxidantes de enxofre neutrófilos, como o *Acidithiobacillus thioparus*, não significa corrosão imediata do concreto. No entanto, a presença dessa espécie demonstra que há o potencial para a instalação da sucessão biológica que culminará na predominância da *Acidithiobacillus thiooxidans*, que está associada à corrosão severa dos sistemas de concreto armado, afetando diretamente a durabilidade das peças estruturais e, conseqüentemente, o tempo de vida útil de projeto.¹⁷

GERAÇÃO DO ÁCIDO SULFÚRICO ATRAVÉS DO MEIO DE OXIDAÇÃO DO ENXOFRE, NAS ETE'S

Os microrganismos envolvidos na geração do ácido sulfúrico e que aceleram o estabelecimento das patologias nas estruturas em concreto são conhecidos pelo termo “Microbiologia indutora da corrosão do concreto”. Essa denominação advém dos estudos que se iniciaram em 1900 por *Olmstead e Hamlin*. O ácido sulfúrico tem sido identificado como a substância responsável pela corrosão não somente das estruturas de concreto armado, mas também das tubulações, nas ETE's.¹⁸

Ao executar as peças em concreto armado com cimento *Portland*, numa estação de tratamento de esgoto, estas possuem o pH da superfície entre 12-13, ou seja, é um pH que não contribui para a atividade de fixação microbiana. No fluxo de águas residuais, que formam o lodo, entretanto, há colônias de bactérias ativas e redutoras de sulfato, que passam a se fixar nas paredes da superfície do concreto formando camadas de biofilme.¹⁹

O ataque do ácido sulfúrico biogênico inicia-se a partir da formação do ácido sulfídrico aquoso (H_2S) através da dessulfatação por bactérias anaeróbicas que se encontram no lodo do efluente, conhecidas como *Desulfovibrio desulfuricans*, aderidas ao concreto como um biofilme de revestimento. Esses microrganismos, em condições anaeróbicas e com concentração de oxigênio (DO) abaixo de 0,1mg/L passam a transformar os compostos de enxofre presentes nos efluentes (esgoto) em ácido sulfídrico aquoso (H_2S).²⁰

Uma parte do ácido sulfídrico aquoso é oferecido ao ambiente na forma gasosa de sulfeto de hidrogênio (H_2S) sobre a linha do efluente. A transformação da fase líquida para a gasosa é fortemente influenciada pelo pH do efluente, pelas características das fases líquida/gasosa, pela temperatura e pela turbulência.²¹

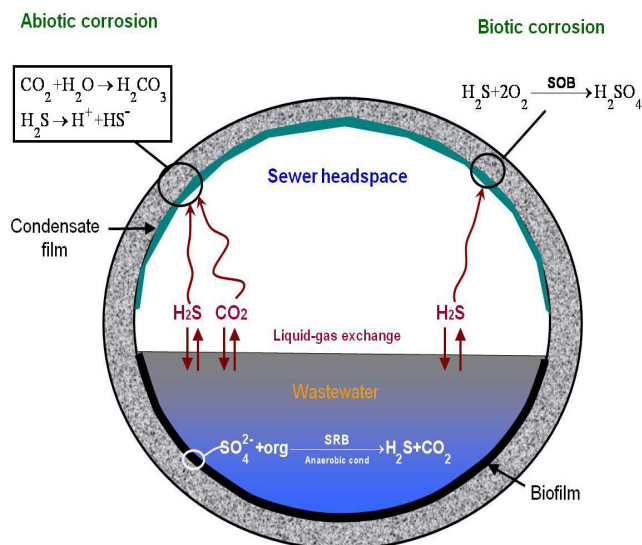
Assim, o sulfeto de hidrogênio disponibilizado no ambiente se adensa sobre a superfície do concreto onde é submetido à sucessão biológica que culminará na diminuição do pH e, conseqüentemente, no estabelecimento do ambiente favorável para a

predominância da bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*, certificando o crescimento da concentração do ácido sulfúrico no meio.

CORROSÃO INDUZIDA DO CONCRETO POR MICRORGANISMOS

As patologias estabelecidas por corrosão induzida por microrganismos seguem algumas etapas, nos sistemas com cimento *Portland*. Primeiramente, há uma diminuição do pH alcalino da superfície do concreto, tornando-o neutro em decorrência da dissociação do sulfeto de hidrogênio e da carbonatação. Diferentes espécies de bactérias oxidativas de ferro e de enxofre colonizam a superfície do concreto formando um biofilme que contribui para a sucessiva oxidação redutiva dos compostos de enxofre, formando ácido sulfúrico. A última etapa acontece quando o pH alcança valores inferiores a 2, promovendo a predominância da bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*.²²

Segundo P. A. *Wells* e colaboradores,²³ “... o sulfeto de hidrogênio formado é transportado através do biofilme para o efluente, onde a forma molecular do sulfeto coexiste em equilíbrio com seus íons dissociados, H^+ e HS^- . No pH normal de esgoto doméstico, 25%-35% do sulfeto dissolvido existe como H_2S molecular. O dióxido de carbono também é transportado para a fase líquida, onde uma porção é dissolvida como íons carbonato e bicarbonato. Na interface líquido-gás, H_2S e CO_2 são volatilizados no ambiente. Os gases difundem para a atmosfera e se dissolvem no filme condensado formado sobre as paredes das estruturas de concreto. Uma vez de volta à fase líquida, uma proporção de H_2S se dissocia para formar HS^- e H^+ , enquanto o CO_2 se dissolve em ácido carbônico em várias formas (H_2CO_3 , H^+ , $+HCO_3^-$, $2H^+$, $+CO_3^{2-}$). Os ácidos fracos que se formam na camada condensada reagem com espécies alcalinas no concreto, como o hidróxido de cálcio, diminuindo o pH da superfície do concreto ao longo do tempo (pH=9).” Esse sistema de corrosão induzida na superfície do concreto está ilustrado na Figura 1.

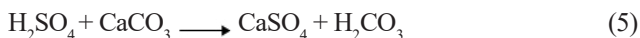
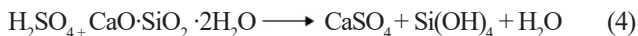


Fonte: Bond P., Melchers R.E., Wells P.A, 2009.

Figura 1. Sistema de corrosão induzida na superfície do concreto.

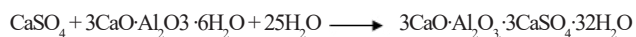
O ácido sulfúrico produzido pela bactéria *Acidithiobacillus Thiooxidans*, ao reduzir os valores de pH para a faixa entre 3,0-0,5, reage com a matriz cimentícia de cimento Portland na superfície do concreto, produzindo etringita ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) ou gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A pasta de cimento começa a perder resistência, porque o cálcio para promover a formação da etringita advém da descalcificação do C-S-H e do $\text{Ca}(\text{OH})_2$.²³

Existindo a etringita, a perda de massa do sistema de concreto armado, em que foi utilizado cimento *Portland*, é inelutável. O ácido sulfúrico produzido pela interação dos microrganismos reage com o S-C-H e com o carbonato de cálcio formando gipsita, como segue:²⁴



Com o desenvolvimento da gipsita o volume do sistema aumenta em 124%, aproximadamente, fragilizando a estrutura do concreto. Mais expressiva é a imediata

reação entre a gipsita e o aluminato tricálcico, formando a etringita. A etringita causa um aumento estimativo de 227% no volume do sistema de concreto, causando microfissuras internas, facilitando a penetração da mistura de ácido e de microrganismos na estrutura de concreto, de acordo com a reação a seguir:²⁵



Uma camada esbranquiçada e macia de gipsita primária se acumula na superfície do concreto enfraquecendo-o, gradualmente. A etringita está mais associada às fissuras que possibilitam a entrada de material que agredirá o sistema solidificado, corroborando para a proliferação de microrganismos dentro do sistema e que, posteriormente, estarão envolvidos com o processo de corrosão da armadura em aço.²⁶ Algumas pesquisas preconizam que a maior parte da produção de ácido sulfúrico biogênico ocorre na superfície exposta aos efluentes, indicando que o ácido sulfúrico permeia através da camada da superfície que está fissurada alcançando a porção mais interna do sistema, onde se encontram as armaduras.²⁷

Enfatiza-se que os valores de pH contribuem para o aumento das concentrações de H⁺ e HS⁻ na fase líquida, sendo transferido para a fase gasosa apenas o H₂S molecular, o que acarretará a diminuição do pH do líquido e, conseqüentemente, aumento da produção de bactérias. A turbulência é outro fator importante para o aumento da corrosão já que eleva o nível de transformação da fase líquida para a fase gasosa.²⁸ Já a temperatura coopera com o aumento da corrosão elevando os níveis de atividade microbiana.²⁹

Conclusão

O objetivo desse trabalho foi apresentar as características físicas e as reações químicas existentes na corrosão induzida por microrganismos (CIM) em sistemas de concreto, cuja matriz cimentícia foi projetada com cimento *Portland*, assim como as etapas que acontecem até o efetivo estabelecimento da patologia de obra civil.

No Brasil, as pesquisas acerca da corrosão induzida por microbiologia em sistemas de concreto armado são incipientes, assim como o levantamento dos custos diretos e indiretos de execução de obra em estações de tratamento de esgoto e a mensuração financeira das manutenções preventivas e corretivas em sistemas que estão inseridos nesse tipo de ambiente.

Para análise desse tipo de patologia em peças de concreto armado é indubitável considerar as seguintes variáveis: temperatura do efluente, pH do efluente e da superfície do concreto, o equilíbrio líquido/gás entre a lâmina do efluente e porção acima da mesma e a agitação (turbulência) do meio.

A corrosão induzida por microrganismos está diretamente associada ao lodo presente nos efluentes que se adere às paredes das peças em concreto, abaixo da lâmina do líquido, formado um revestimento de biofilme. As bactérias anaeróbicas *Desulfovibrio desulfuricans*, através da dessulfatação, inicia a formação de ácido sulfídrico aquoso (H_2S) em concentrações de oxigênio abaixo de 0,1 mg/L, transformando os compostos do efluente do esgoto nesse ácido.

A CIM também está vinculada à sucessão biológica que se instala na superfície do concreto, nas ETE's, sendo responsável pela diminuição gradativa e contínua dos valores do pH. As bactérias envolvidas na sucessão biológica utilizam como fonte de energia os sulfetos, o enxofre elementar e o tiosulfato para a produção do ácido sulfúrico, são elas: *Acidithiobacillus thioeparus*, *Acidithiobacillus novellus*, *Acidithiobacillus intermedius*, *Acidithiobacillus neapolitanus*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* e *Acidithiobacillus thiooxidans*. Cada bactéria se mantém e se prolifera numa faixa específica de pH. Ressalta-se que a existência da *At. Thioparus* não indica o estabelecimento da patologia na superfície do concreto, mas é o indício da instalação da sucessão biológica que promoverá o ambiente adequado à manutenção e proliferação da bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*, responsável pelo menor valor de pH e pelas patologias mais agressivas.

A bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* são microrganismos mesófilos, acidófilos com pH menor que 4, bastonetes gram-negativos, com dimensões em torno de 0,3 a 0,8 μm de diâmetro e 0,9 a 2 μm de comprimento.

Estas são oxidantes de enxofre e são capazes de gerar ácido sulfúrico (H_2SO_4), constituindo um ambiente extremamente ácido com valores de pH entre 2,0-0,5, sendo as principais responsáveis pelas patologias mais agressivas ao concreto.

O ácido sulfúrico gerado pela *Acidithiobacillus thiooxidans* reage na superfície do sistema de concreto com cimento *Portland* produzindo gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), que é um composto intermediário. Na sequência há a formação de etringita ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$), que deriva da descalcificação do C-S-H e do $Ca(OH)_2$, sendo responsável pelo aumento do volume do sistema em torno de 227% causando uma irreversível perda de massa do sistema.

Faz-se mister o desenvolvimento de pesquisas acerca da corrosão induzida por microrganismos em sistemas de concreto, assim como o desenvolvimento de sistemas que aumentem a durabilidade e o tempo de vida útil dos projetos em ETE's.

Referências

1. A. ESTOKOV, V. O. HARBUL'ÁKOVÁ, A. LUPTÁKOVÁ, N. STEVULOVÁ, "Study of the Deterioration of concrete influenced by biogenic sulfate attack". Prague, Czech Republic, **2012**. p. 1902.
2. HOUSE, M. W.; WEISS, W. J. Review of Microbially Induced Corrosion and Comments on Needs Related to Testing Procedures. USA, p. 97, **2014**.
3. A. ESTOKOV, V. O. HARBUL'ÁKOVÁ, A. LUPTÁKOVÁ, N. STEVULOVÁ, "Study of the Deterioration of concrete influenced by biogenic sulfate attack". Prague, Czech Republic, **2012**. p. 1902.
4. U. A. LIMA, "Biotecnologia Industrial – Processos Fermentativos e Enzimáticos". Vol.3, 2ª edição, p. 559.
5. S. L. AMEY, D. A. JOHNSON, M. A. MILTENBERGER, H. FARZAM, "Predicting the Service Life of Concrete Marine Structures: an Environmental Methodology". Structural Journal, Vol. 95, **1998**.
6. D. B. JOHNSON, C. JOULIAN, P. D'HUGUES, K. B. HALLBERG, "Sulfobacillus benefaciens sp. nov., an acidophilic facultative anaerobic Firmicute isolated from mineral bioleaching operations". **2008**.
7. D. B. JOHNSON, C. JOULIAN, P. D'HUGUES, K. B. HALLBERG, "Sulfobacillus benefaciens sp. nov., an acidophilic facultative anaerobic Firmicute isolated from mineral bioleaching operations". **2008**.
8. L. YANG, D. ZHAO, J. YANG, W. WANG, P. CHEN, S. ZHANG, L. YAN, "Acidithiobacillus thiooxidans and its potential application". Springer Nature, **2019**. p. 17.

9. P. L. BLAUTH, O. GARCIA JR., D. BEVILAQUA, "Oxidação da Calcopirita (CuFeS₂) por *Acidithiobacillus ferrooxidans* em Presença de Cisteína e de *Acidithiobacillus thiooxidans*". Araraquara, SP, **2008**.
10. M. ENZIEN, B. YANG, "On-line Performance Monitoring of Treatment Programs for MIC Control". Houston, Texas, **2001**.
11. K. BOSECKER, "Bioleaching: metal solubilization by microorganisms". FEMS Microbiology Reviews, **1997**.
12. S. M. C. CASTAÑEDA, "Evaluación de La Acidulación de Roca Fosfórica empleando la Bacteria Acidófila *Acidithiobacillus thiooxidans*". Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, **2016**.
13. C. PARKER, "Species of Sulphur Bacteria Associated with the Corrosion of Concrete". Nature Publishing Group, **1947**.
14. P. K. MEHTA, P. J. M. MONTEIRO, "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials". 4^o edição.
15. M. W. HOUSE, W. J. WEISS, "Review of Microbially Induced Corrosion and Comments on Needs Related to Testing Procedures". Lyles School of Civil Engineering, Purdue University, **2014**. p. 97.
16. M. W. HOUSE, W. J. WEISS, "Review of Microbially Induced Corrosion and Comments on Needs Related to Testing Procedures". Lyles School of Civil Engineering, Purdue University, **2014**. p. 98.
17. M. W. HOUSE, W. J. WEISS, "Review of Microbially Induced Corrosion and Comments on Needs Related to Testing Procedures". Lyles School of Civil Engineering, Purdue University, **2014**. p. 99.
18. A. ESTOKOV, V. O. HARBUL'ÁKOVÁ, A. LUPTÁKOVÁ, N. STEVULOVÁ, "Study of the Deterioration of concrete influenced by biogenic sulfate attack". Prague, Czech Republic, 2012. p. **2012**.
19. P. A. WELLS, R. E. MELCHERS, P. BOND, "Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers". Center for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, Australia, **2014**. p.01.
20. H. FILHO, B. RHEINHEIMER, S. S. KHOE, L. V. Artigas, A. F. Sabbag, M. H. F. Medeiros, "Degradação do Concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por ácido sulfúrico biogênico". Revista ALCONPAT, Vol. 4 N.2, **2014**. p. 281.
21. C. JIANG, Y. Wu, M. Dai, "Degradation of steel-to-concrete bond due to corrosion". Construction and Building Materials, **2017**.
22. P. A. Wells, R. E. Melchers, P. Bond, "Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers". Center for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, Australia, **2014**. p.01.
23. P. A. WELLS, R. E. MELCHERS, P. BOND, "Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers". Center for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, Australia, **2014**. p.03.
24. P. A. WELLS, R. E. MELCHERS, P. BOND, "Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers". Center for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, Australia, **2014**. p.04.
25. P. A. WELLS, R. E. MELCHERS, P. BOND, "Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers". Center for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, Australia, **2014**. p.04.
26. P. A. WELLS, R. E. MELCHERS, P. Bond, "Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers". Center for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, Australia, **2014**. p.01.
27. S. OKABE, M. ODAGIRI, T. ITO, H. SATOH, "SUCCESSION of Sulfur-Oxidizing Bacteria in the Microbial Community on Corroding Concrete in Sewer Systems". Department of Urban and Environmental Engineering Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Japan, Vol.73, N.3, **2006**.
28. J. MONTENY, E. VINCKE, A. BEELDENS, N. BELIE, L. TAERWE, D. V. GEMERT, W. VERSTRAETE, "Chemical, Microbiological and in situ Test Methods for Biogenic Sulfuric Acid Corrosion of Concrete". Laboratory Magnel for Concrete Research, Department of Structural Engineering, University of Ghent, Belgium, **2000**.
29. H. SARICIMEN, M. MASLEHUDDIN, A. LOB, O. Eidt, "Evaluation of a Surface Coating in Retarding Reinforcement Corrosion". Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 1987.
30. A. K. PARANDE, P. L. RAMSAMY, S. ETHIRAJAN, C. R. K. RAO, N. PALANISAMY, "Deterioration of Reinforced Concrete in Sewer Environments". Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Tamilnadu, Índia, **2006**

Indira T. B. B. Oliveira, Nara O. Yokoyama & Fernando S. Ortega*

¹Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, Av. Shishima Hifumi, 2911 - Urbanova, São José dos Campos - SP, 12244-390

*E-mail: fer_orts@yahoo.com.br