

Ataque por ácido sulfúrico biogênico na ETE Parque Novo Mundo

GUILHERME VIGARANI DE ASSIS - Eng. - <https://orcid.org/0000-0002-8655-2417> ;
LÍGIA VITÓRIA REAL - Prof. - <https://orcid.org/0000-0002-5236-1161> ; | UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

RESUMO

NOVO MARCO LEGAL DO SANEAMENTO BÁSICO APROVADO NO BRASIL PODE LEVAR A UM AUMENTO NA INFRAESTRUTURA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS SERVIDAS NO PAÍS. NO ENTANTO, AS ESTRUTURAS DE CONCRETO USADAS PARA ESSE FIM ESTÃO EXPOSTAS A AMBIENTES ALTAMENTE AGRESSIVOS DEVIDO A ATAQUES QUÍMICOS E BIOLÓGICOS, O QUE REQUER MANUTENÇÃO PERIÓDICA. ESTA PESQUISA AVALIOU A DEGRADAÇÃO DO CANAL DE PENEIRAS ROTATIVAS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA SABESP EM SÃO PAULO, CAUSADA PELO ÁCIDO SULFÚRICO BIOGÊNICO. FORAM REALIZADOS TESTES EM AMOSTRAS COLETADAS NO LOCAL, INCLUINDO MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E ESPECTROSCOPIA POR ENERGIA DISPERSIVA. OS RESULTADOS MOSTRARAM QUE O CONCRETO DO CANAL APRESENTOU DEGRADAÇÃO MAIS INTENSA NA ZONA EM CONTATO COM O GÁS DO QUE NA REGIÃO SUBMERSA, RESULTANDO NA FORMAÇÃO DE GIPSITA. NO ENTANTO, AO CONTRÁRIO DO CONCRETO DA LAJE, O CANAL NÃO APRESENTOU CONSUMO DA PASTA DE CIMENTO, POSSIVELMENTE DEVIDO À IMPERMEABILIZAÇÃO POR MANTA ASFÁLTICA EXISTENTE NA ESTRUTURA.

PALAVRAS-CHAVE: ÁCIDO SULFÚRICO BIOGÊNICO, ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO, DURABILIDADE.

1. INTRODUÇÃO

Em 2020, com a aprovação e sancionamento do Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº14.026/2020), estabeleceu-se que, até a data de 31 de dezembro de 2033, 90% do esgoto gerado deve ser tratado. Isso representará um salto na infraestrutura sanitária, visto que dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico apontam que apenas 46,5% do esgoto é tratado. O objetivo é levar, de

maneira efetiva, para a realidade do brasileiro o direito ao saneamento básico.

Para combater a deterioração do sistema de saneamento, é fundamental ampliar o tratamento de esgoto, construindo novas estações e estabelecendo planos de manutenção eficazes. Muitas dessas estruturas são antigas e apresentam sinais de degradação, em grande parte devido à ação de agentes patogênicos, como o dióxido de carbono (CO₂), o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e o ácido sulfúrico biogênico. Esse ácido é produzido por bactérias anaeróbicas, como a *Desulfovibrio desulfuricans*, que consomem os sulfatos presentes no esgoto sanitário, e por bactérias aeróbicas, como a *Thiobacillus Novellus*, *Intermedius* e *AcidiYhiobacullus Thiooxidans*, a partir do gás sulfeto de hidrogênio. Além disso, íons agressivos, como cloretos, bicarbonatos e outros sulfatos, também contribuem para a deterioração do sistema.

O potencial de degradação ocasionado pela ação do ácido sulfúrico biogênico foi demonstrado através do estudo de caso realizado por Hoppe Filho *et al.* (2014), que avaliaram uma estação de tratamento de esgoto (ETE) com 15 anos de operação, localizada no Paraná. Os autores constataram que a estrutura do reator apresentou alta friabilidade nas paredes laterais e na laje de cobertura, evidenciou-se uma degradação menos acentuada, mas com formação de etringita e gipsita.

Devido à incidência dessa degradação nos sistemas de tratamento de águas servidas e dos efeitos expressivos de sua agressividade, o desenvolvimento de pesquisas, focadas em entender os mecanismos de deterioração que estão presentes nos ambientes das estações de tratamento de esgoto, é importante para suprir lacunas no conhecimento. Esses estudos também fornecem subsídio para a elaboração de especificações de materiais e critérios de projeto mais adequados, visando à maior durabilidade e menor deterioração das estruturas de saneamento básico, uma vez que não há normas técnicas específicas para estações de tratamento de esgoto e água.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar, a partir de um estudo de caso, a degradação causada por ácido sulfúrico biogênico no canal de peneiras rotativas de uma estação de tratamento de esgoto da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), localizada no bairro Parque Novo Mundo, São Paulo – SP.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para que um empreendimento em construção seja durável ao longo do tempo, um conjunto de procedimentos e decisões devem ser assumidos, garantindo que a estrutura e os materiais utilizados possuam o desempenho desejado. Aspectos como qualidade do concreto, efeito da agressividade do ambiente e a espessura de cobrimento devem ser detalhados no projeto de forma individualizada. A durabilidade e a resistência das estruturas

TABELA 1

AGRESSIVIDADE DO ESGOTO EM RELAÇÃO AO CONCRETO

Ambiente agressivo	Parâmetro de degradação	Referência normativa
pH	< 5,5	NBR 12655:2022
Concentração de cloretos	> 1000 ppm	BS EN 1008:2002
Concentração de sulfatos	> 1500 ppm	NBR 12655:2022

FONTE: TAKAGI *et al.* (2021)

podem ser alteradas pela exposição ao ambiente devido à degradação do concreto e armaduras.

De acordo com Takagi *et al.* (2021), caso o esgoto apresente teores de cloretos e sulfatos limitados aos valores apresentados na Tabela 1, não será considerado fonte de agentes patogênicos, uma vez que não haverá degradação da camada de cobertura do concreto.

Ainda assim, os parâmetros apresentados nas normas técnicas atuais podem ser insuficientes para estruturas de saneamento e, por isso, especialistas estão trabalhando na elaboração de novos critérios para a classificação da agressividade (LINHARES; BENITES; FREITAS, 2020). O Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) possui o Comitê Técnico de número 901, denominado "Aplicações do concreto para obras de saneamento básico", que estuda as particularidades dessas estruturas com o intuito de estabelecer critérios que visem à durabilidade.

Além dos sulfatos e cloretos, nos efluentes também há enxofre, que, ao entrar em contato com bactérias sulforetoras, é reduzido, formando sulfeto de hidrogênio (H_2S), que é dissolvido no fluido. O sulfeto de hidrogênio aquoso pode ser reduzido diretamente na camada de lodo dependendo da quantidade de oxigênio dissolvido no esgoto e cada uma dessas zonas recebe uma nomenclatura diferente, como poder ser observado Tabela 2.

Para as distintas zonas, segundo Takagi *et al.* (2021) ocorrerá um processo diferente. Na primeira, há proliferação das bactérias oxidantes de sulfatos (BOS), que irão consumir o oxigênio dissolvido no esgoto. Na segunda, denominada por zona anaeróbica, proliferam as bactérias reductoras de sulfato (BRS), que irão consumir os sulfatos e matéria orgânica formando o H_2S_{aquoso} . Na terceira e última, denominada como inerte, a concentração de nutrientes nas paredes de concreto é aproximadamente zero, acarretando a inativação das BRS e, por consequência, não há ataque a estrutura de concreto em contato.

Há outros mecanismos que podem interferir na formação de H_2S no esgoto, tanto na fase aquosa quanto na fase gasosa. Fatores como maior tempo de retenção, temperaturas acima de $15\text{ }^\circ\text{C}$ e a alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) podem ser os responsáveis pelo aumento

da concentração de H_2S_{aquoso} formado nos efluentes. Em contrapartida, há aspectos que podem favorecer a diminuição da concentração do composto, tais como: maiores quantidades de oxigênio dissolvido, que irão impedir com que H_2S_{aquoso} formado na zona anaeróbica do lodo seja liberado para o esgoto, uma vez que esse é oxidado em zona aeróbica. Além disso, maiores velocidades do fluxo de esgotos também favorecem este efeito, já que estimulam a aeração e favorecem a oxidação do H_2S_{aquoso} . (TAKAGI *et al.*, 2021).

Em relação ao H_2S_{gasoso} , pH ácidos, fluxo de efluentes com maiores quantidades de zonas de turbulência e o aumento da temperatura contribuem para o aumento da concentração do composto no ar. O ácido sulfúrico gasoso é o composto chave para que ocorra o processo de degradação por ácido sulfúrico biogênico. O mecanismo de ataque ao concreto se inicia a partir da redução do enxofre presente no efluente pelas bactérias em meio anaeróbico, formando ácido sulfídrico (H_2S) e anidrido carbônico (CO_2). Em seguida, quando o ácido sulfídrico se desprende do esgoto na forma de sulfeto de hidrogênio, uma parcela reage com o oxigênio presente no ar, formando água e compostos de enxofre. A outra parcela se dissolve na água presente nos poros do concreto que, em conjunto com a ação da carbonatação, reduz o pH da matriz cimentícia.

TABELA 2

ZONAS DA CAMADA DE LODO QUE FORMAM O H_2S_{AQUOSO} NO ESGOTO

Zona	Oxigênio dissolvido (OD)
Aeróbica	OD > 0,1 mg/L
Anaeróbica	OD < 0,1 mg/L
Inerte	OD < 0,1 mg/L - Nutrientes ≈ 0

FONTE: TAKAGI *et al.* (2021)

Quanto mais ácido o pH, maior a proliferação das bactérias e este processo ocorre em 3 momentos distintos. A princípio, os poros da estrutura de concreto encontram-se em ambiente básico, com valores de pH por volta de 12 a 13 e este fato origina um ambiente inadequado para a fixação das bactérias. À medida que ocorre a acidificação dos poros ($\text{pH} \leq 9$), ocorre a colonização das bactérias oxidantes de enxofre (*Thiobacillus thioparus*, *Thiobacillus novellus* e *Thiobacillus neapolitanus*). No terceiro momento, quando o pH atinge a faixa de 3, ocorre o declínio das bactérias mencionadas anteriormente e o início da colonização das bactérias oxidantes do tipo *Thiobacillus thiooxidans*, as quais terão a atividade limitada apenas quando houver falta de nutrientes e o pH for entre 0,9 e 1,0 (ISLANDER *et al.*, 1991).

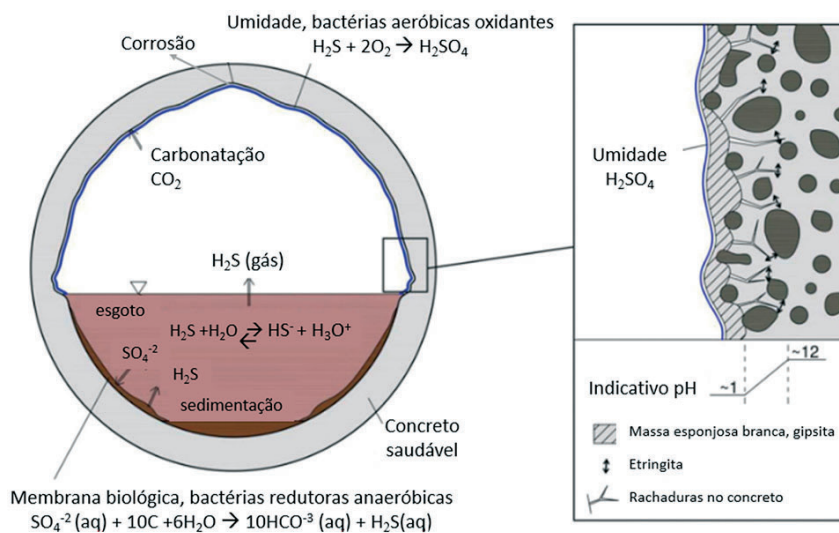


FIGURA 1

MECANISMO DO ATAQUE DE ÁCIDO SULFÚRICO BIOGÊNICO

FONTE: ADAPTADO DE KRYSIAK *et al.* (2020)

pastas de cimento estavam presentes apenas nas faces inferior e laterais da laje (Figura 2-A), e a degradação mais severa foi observada à jusante do canal, como indicado na Figura 2-B.

3.1 Coleta das amostras

Constatados os locais com maior potencial de ocorrência de ataque por ácido sulfúrico biogênico por meio de observação visual, foram retiradas as

amostras em três alturas diferentes do canal: zona submersa (contato constante com o efluente), zona de transição (nível variado de acordo com o volume de esgoto) e zona em contato com o gás sulfeto de hidrogênio (H_2S), conforme Figura 3. O objetivo era verificar a incidência do ataque e relacioná-la com a altura da lâmina do efluente. As lascas superficiais do concreto foram removidas com o auxílio de talhadeira e martelo.

3.2 Ensaios de caracterização

Com o objetivo de avaliar a incidência da degradação por ácido sulfúrico biogênico, foi realizado ensaio de caracterização química para avaliar a microestrutura do concreto. Para isso, foram empregados ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), com espectroscopia por energia dispersiva (EDS), utilizando o equipamento JEOL, modelo JSM-6510. As amostras utilizadas foram

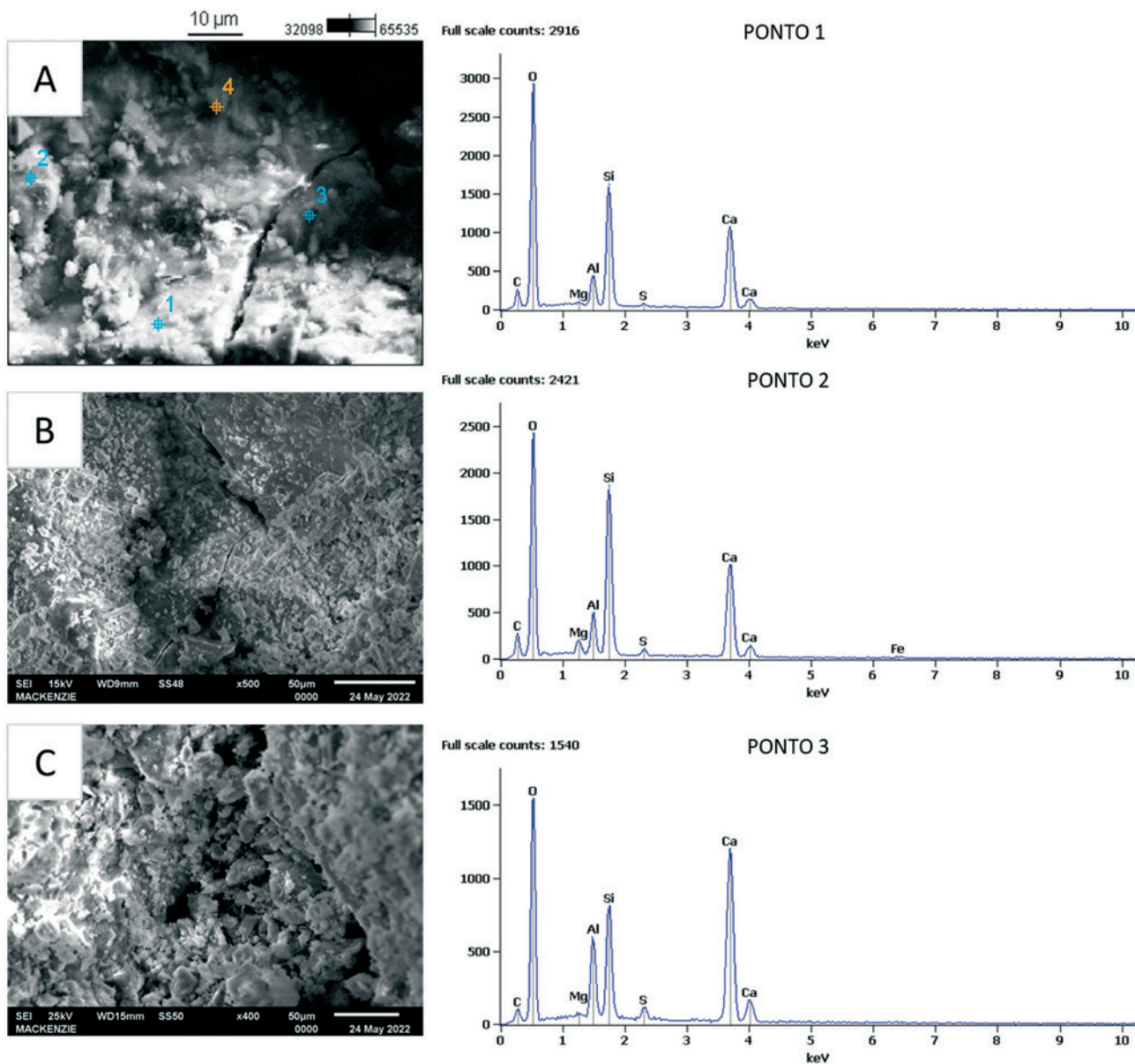


FIGURA 4
MICROESTRUTURA — AMOSTRA DO CANAL DA FRAÇÃO SUBMERSA
FONTE: AUTORES (2022)

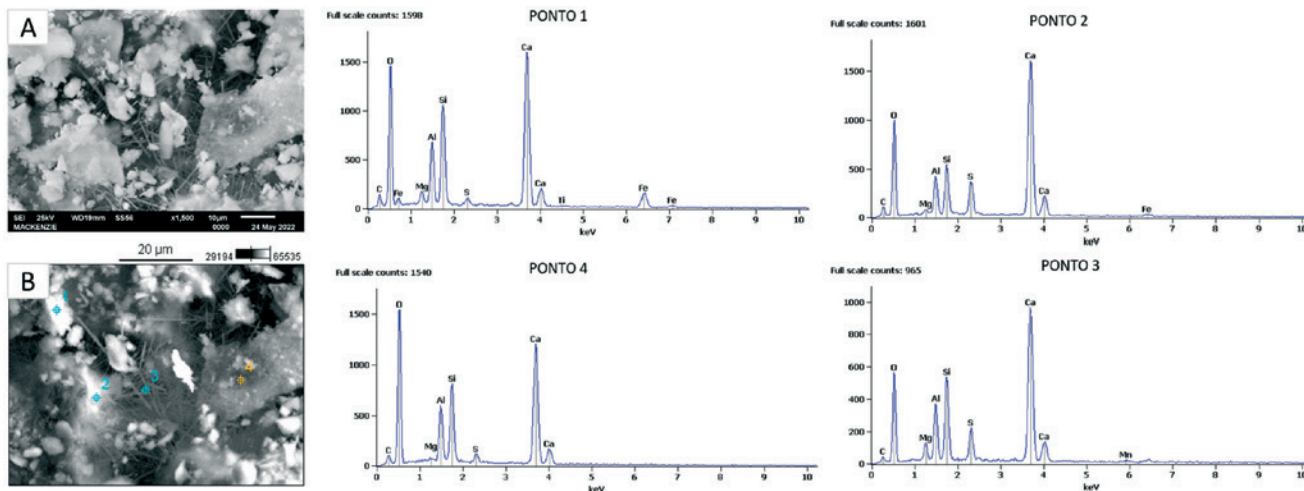


FIGURA 5

MICROESTRUTURA — AMOSTRA DO CANAL DA FRAÇÃO DA ZONA DE FLUTUAÇÃO DO NÍVEL DE EFLUENTE

FONTE: AUTORES (2022)

preparadas com o auxílio de uma talhadeira, que removeu os agregados graúdos e os resíduos do primer asfáltico, deixando apenas fragmentos da pasta de cimento com dimensões aproximadas de 15 mm.

É importante mencionar que, para realizar MEV e EDS, as amostras foram apenas coladas na pastilha metálica com auxílio de cola de carbono e não passaram por processo de deposição de ouro, a fim de não interferir na identificação do enxofre, conforme apontado por Hoppe Filho *et al.* (2014). Para orientar e agilizar a identificação de regiões da amostra que poderiam conter as morfologias dos produtos da reação por ácido sulfúrico biogênico (etringita e gipsita), optou-se por realizar primeiramente o EDS em uma grande

fração da amostra e, mediante a identificação de enxofre, realizar a espectroscopia de forma pontual, conforme será apresentado na seção de resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos pontos da amostra geral que apresentavam maior concentração de enxofre, foram encontradas morfologias diversas. Utilizando a espectroscopia por energia dispersiva, foi possível obter um gráfico de EDS com os elementos que constituem cada uma dessas morfologias. A seguir, apresentam-se as análises de cada amostra, com ênfase nos resultados que evidenciam ou não o ataque por ácido sulfúrico biogênico.

Para amostra do canal retirada da região submersa no efluente, apresentada na Figura 4-A, foi possível detec-

tar formação de estruturas cristalinas, compostas majoritariamente por cálcio, silício, oxigênio e alumínio, caracterizando este elemento como silicato de cálcio (C-S-H). Não foram encontradas evidências de formação etringita e gipsita, indicando que esta fração não foi degradada pelos sulfatos presente no ambiente. Como mencionado por Takagi *et al.* (2021), isso ocorre pois na superfície do concreto submerso, a concentração de nutrientes é muito baixa, resultando na inativação das bactérias redutoras de sulfato (BRS) e, por consequência, interrompendo o ciclo de degradação.

Já, para a fração retirada da zona de flutuação do nível de efluente (Figura 5-A), foi identificada a formação de estruturas cristalinas e outras com morfologia de agulhas. Ao analisar a espectrometria obtida pela Figura 5-B, observa-se que os pontos 1 e 4 são formados por cálcio, silício, alumínio, caracterizando o silicato de cálcio. Já para os pontos 2 e 3, foi possível identificar também a presença de enxofre, indicando a formação de etringita. Ou seja, nesta região houve ataque por ácido sulfúrico biogênico.

Por último, ao analisar a amostra na zona em contato apenas com o gás (Figura 6-C), foi identificada a presença de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), caracterizada pela presença de picos na espectrometria

TABELA 3

MORFOLOGIAS IDENTIFICADAS EM CADA AMOSTRA

Morfologia	Canal hidráulico		
	Teto ¹	Zona de transição ²	Zona submersa ³
Portlandita			
Silicato de cálcio		✓	✓
Etringita	✓	✓	
Gipsita	✓		

¹ ZONA DEGRADADA; ² ZONA EM PROCESSO DE DEGRADAÇÃO; ³ ZONA NÃO DEGRADADA.

(Figura 6-A) de cálcio, enxofre e oxigênio. Considerando que o último estágio do ataque por ácido sulfúrico biogênico é a formação da gipsita, demonstra-se que a zona em contato apenas com o gás sulfídrico apresentou degradação mais agressiva do que as outras amostras ensaiadas, assim como foi mencionado por Hoppe Filho *et al.* (2014) ao analisar as paredes dos reatores da estação de tratamento de esgoto.

É importante ressaltar que a região do canal hidráulico não apresentou de-

gradação superficial e o consumo da pasta de cimento a ponto de os agregados graúdos estarem expostos, como ocorreu na face inferior da laje. Isso provavelmente aconteceu, pois a região continha impermeabilização, sugerindo que esse sistema contribuiu para o aumento da vida útil da estrutura.

Com o intuito de facilitar o entendimento das morfologias encontradas durante o ensaio para cada amostra, elaborou-se a Tabela 3.

De maneira geral, ao visualizar a distri-

buição das morfologias ao longo das amostras do canal hidráulico, observa-se que a zona em contato com o gás apresentou o ataque por ácido sulfúrico biogênico de forma mais agressiva, já que houve a formação da gipsita. Na zona de transição (flutuação), foi possível identificar a presença de etringita e silicato de cálcio, o que caracteriza o ataque nessa região como menos agressivo em relação à anterior (teto). Já, a zona submersa apresentou apenas silicato de cálcio, indicando que não houve ação deletéria ao concreto. É importante salientar que o

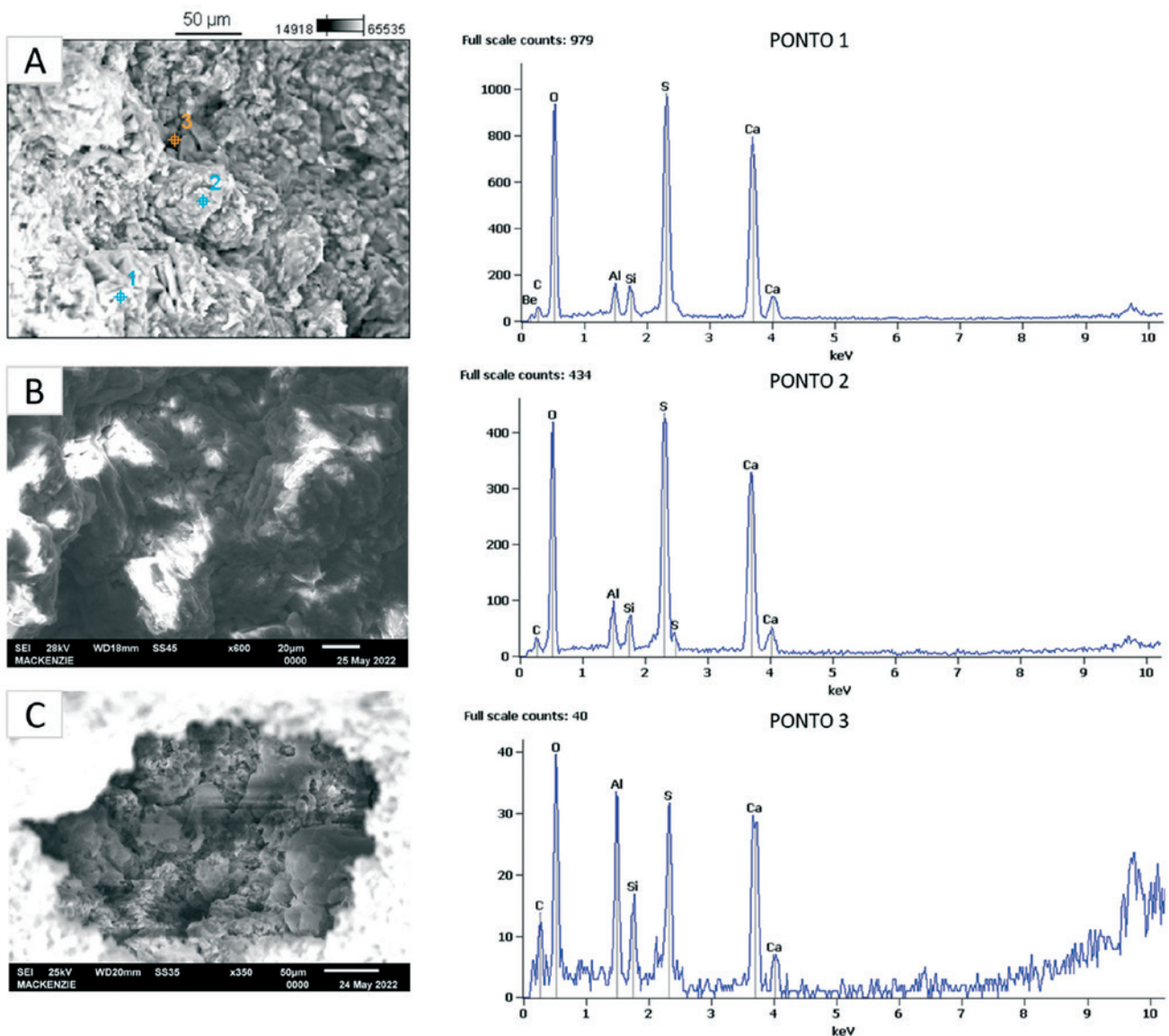


FIGURA 6
 MICROESTRUTURA — AMOSTRA DO CANAL DA FRAÇÃO EM CONTATO COM O GÁS SULFETO DE HIDROGÊNIO
 FONTE: AUTORES (2022)

canal estava impermeabilizado com primer e manta asfáltica, o que pode ter retardado a degradação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da inspeção e dos ensaios realizados com as amostras retiradas da ETE Parque Novo Mundo, situada na cidade de São Paulo - SP - Brasil, de propriedade da SABESP, chega-se às conclusões a seguir:

(I) A partir da análise das amostras retiradas no canal, concluiu-se que na zona submersa não ocorreu o processo de degradação. Já para a zona de flutuação do efluente, em que ocorre processos de molhagem e secagem, notou-se a presença de apenas etringita, mostrando que o local estava em processo de degradação pelo ácido sulfúrico biogênico. Por fim, na zona em contato

com o gás sulfeto de hidrogênio, verificou-se que o ataque ocorre de maneira mais severa.

(II) A impermeabilização utilizada para revestir o canal hidráulico interferiu no processo de degradação, retardando o consumo da pasta de cimento hidratada, evitando com que os agregados ficassem expostos como no caso da face inferior da laje. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUTIÉRREZ-PADILLA, M.G.D., Bielefeldt, A., Ovtchinnikov, S., Hernandez, M., Silverstein, J. (2010) "Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes", *Cement and Concrete Research*, V. 40, No. 2, pp. 293-301.
- [2] HOPPE FILHO, J. et al. Degradação do concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por ácido sulfúrico biogênico. *Revista Alconpat, Yucatán*, v. 2, n. 4, p. 87-99, ago. 2014.
- [3] ISLANDER, R.L., DEVINNY, J.S., MANSFELD, F., POSTYN, A., SHIH, H. (1991), "Microbial ecology of crown corrosion in sewers", *Journal of Environmental Engineering*, V. 117, No. 6, pp. 751-770.
- [4] KRYSIAK, L.; FALACIŃSKI, P.; SZAREK, L. *Identification of biogenic sulphate corrosion of concrete in sewage treatment plant settling tank walls. Civil and Environmental Engineering Reports*, Vol. 3, Number 30, 2020.
- [5] LINHARES, Natália; BENITES, Sílvia Leme Peixoto; FREITAS, Willian Marcilio de. Determinação das características atuais da estrutura e microestrutura do concreto da estação elevatória de esgoto de pinheiros. 2020. 76 f. TCC (Pós Graduação) - Curso Patologia nas Obras Cíveis, Faculdade IDD, SP, 2020.
- [6] TAKAGI, Emilio Minoru et al. Antibiose e estanqueidade do concreto com o uso de aditivo cristalino antimicrobiano para estruturas de saneamento. *Concreto & Construções*, [S.L.], v. , n. 102, p. 69-75, 2021. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2021.102.0004>.



AMTECH
QUÍMICOS PARA CONSTRUÇÃO

#CONCRETONAFLORESTA

☎ (92) 98117-7532 📷 @amtechmao

✉ atendimento@amtechmao.com

🌐 www.amtechmao.com

NOSSAS SOLUÇÕES | *Soluções inovadoras para um futuro melhor!*

Injeção:

- Injeção com Resina de Poliuretano
- Microcimento
- Gel Acrílico

Aditivos:

- Superplastificantes
- Incorporadores de ar
- Aceleradores de pega

Impermeabilizantes:

- Acrílicas
- Cimentícias
- Poliuretano

Juntas de Dilatação:

- Juntas a base de poliuretano
- Perfis elastoméricos
- Juntas metálicas

Pisos e Reparos:

- Macrofibra estrutural
- Reparos para pisos industriais
- Endurecedores de superfície
- Microfibras de Polipropileno
- Resinas em: Uretano, Epóxi, e Poliuretano

Reabilitação estrutural:

- Monitoramento de Corrosão
- Reforço com compósito de fibra de carbono
- Inibidores de corrosão

