Análise das Propriedades de Concretos Expostos à Agressividade das Estações de Tratamento de Esgoto



Marcos Antonio Cheremeta; Marcos Paulo Galvão Gonçalves; Ana Paula Brandão Capraro; Kirke Andrew Wrubel Moreira; Thamires da Silva Matos
Unifacear Centro Universitário

RESUMO

Resistência ao ataque de gases é uma das propriedades requeridas para os concretos utilizados em ambientes agressivos, como o das estações de tratamento de esgoto. Este trabalho tem o objetivo de analisar as propriedades microestruturais e mecânicas de concretos expostos à agressividade das estações de tratamento de esgoto. Para isso foram moldados corpos de prova de concreto com dois tipos de cimento (CP IV e CP V) e três relações água/cimento (0,40; 0,50 e 0,65), com e sem adição de sílica ativa, acomodados em ambiente confinado dentro dos RALF's (Reatores de Lodo Fluidizado) na Estação de Tratamento de Esgoto da cidade da Lapa - PR. A exposição ocorreu entre 28 e 168 dias, período no qual foram realizados ensaios de resistência à compressão axial e velocidade de propagação de ondas de ultrassom. Algumas características da agressividade aos corpos de prova, como o estufamento e esfarelamento de parte do concreto, tornaram-se bem visíveis durante inspeções visuais no período de exposição e favoreceram o entendimento na análise de outros resultados, dentre os quais se destaca a maior susceptibilidade ao ataque dos gases ao cimento CP V. No ensaio de ultrassom houve evolução positiva para todas as séries avaliadas ao longo do processo de hidratação, podendo, todos os concretos, serem classificados como excelentes segundo o parâmetro escolhido. Embora tenham sido observados vários aspectos de degradação, não foi identificada nenhuma perda significativa de propriedade do concreto devido ao pequeno período de avaliação.

Palavras chave: Concreto, ambiente agressivo, gases, propriedades.

ABSTRACT

Resistance to gas attack is one of the properties required for concrete used in aggressive environments, such as sewage treatment plants. This work has the objective of analyzing the microstructural and mechanical properties of concretes exposed to the aggressiveness of sewage treatment plants. For this, concrete specimens with two types of cement (CP IV and CP V) and three water / cement ratios (0.40, 0.50 and 0.65), with and without active silica addition, were prepared in a confined environment within the RALF's (Fluidized Sludge Reactors) at the Sewage Treatment Station of the city of Lapa - PR. The exposure occurred between 28 and 168 days, during which tests of axial compression strength and ultrasonic wave propagation velocity were performed. Some characteristics of the aggressiveness to the specimens, such as the clogging and crumbling of part of the concrete, became very visible during visual inspections during the exposure period and favored the understanding in the analysis of other results, among which the greater susceptibility to gas attack to CP V cement. In the ultrasonic test there was a positive evolution for all series evaluated during the hydration process, and all concretes could be classified as excellent according to the

parameter. Although several aspects of degradation were observed, no significant loss of concrete property was identified due to the small evaluation period.

Key Words: Concrete, aggressive environment, gases, properties.

1. INTRODUÇÃO

O concreto, material amplamente empregado na engenharia civil, por muito tempo foi considerado como altamente duradouro, ou seja, que exigiria pouca ou nenhuma manutenção e reparo ao longo de sua vida útil. Contudo, pesquisas recentes atestam que a interação desse material com o meio, afeta sua durabilidade, sendo então este um item importante a ser estudado (MEDEIROS *et al*., 2011). A presente pesquisa propõe um estudo do comportamento do concreto em ambiente confinado, sob a ação dos gases provenientes de um RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado) na ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) da cidade da Lapa.

A aceleração da deterioração das estruturas de concreto armado está atrelada ao grau de agressividade do meio ao qual estão expostas. Os gases, como o metano (CH_4), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2) e Amônia (NH_3), são considerados nocivos ao material concreto, e estes estão presentes nos RALF's das estações de tratamento de esgoto, merecendo o estudo das influências dessa exposição.

Diante dessa situação, optou-se em realizar um estudo no qual foram acondicionados vários corpos de prova de concreto, moldados com diferentes cimentos e relações água/cimento, em câmaras de gás de RALF's da ETE da Lapa.

A pesquisa foi realizada por um período aproximado de seis meses, com idades intermediárias de análise de 28, 84 e 168 dias. Nas idades citadas foram avaliadas as propriedades dos corpos de prova expostos nos RALF's, sendo elas: resistência à compressão axial e velocidade de propagação de ondas de ultrassom.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As estruturas de concreto armado tem uma breve história, sendo esta pouco superior a 150 anos. Neste espaço de tempo, comparado com outras estruturas do passado, observa-se no concreto uma deterioração frequente e antecipada em ambientes considerados agressivos. A seriedade do problema é a constatação de que a maioria das estruturas, mesmo sendo construídas conforme as normas vigentes, não apresentam durabilidade de maneira satisfatória, tendo sua degradação anterior ao preconizado em projeto ou a estas mesmas normas (ISAIA, 2005).

Por vários motivos é que deve ser observada a durabilidade do material concreto, pois sua avaliação em laboratório, pode não ter correspondência com sua durabilidade em termos reais na estrutura já pronta e sujeita à condições de ambientes específicos. O conceito corrente de durabilidade é especificado então como sendo a capacidade estrutural em apresentar desempenho satisfatório para o período em que se pretende utilizá-lo, mesmo sob os fatores degradantes (CEB, 1997).

Uma diversidade de causas ocasionam danos em estruturas de concreto, e neste sentido surge a importância de se estudar esse ramo na engenharia, evitando-se assim os mecanismos deteriorantes que possam subtrair o tempo de vida útil das estruturas. Ainda deve ser ressaltada a necessidade de conhecer bem como solucionar e reparar as estruturas que apresentem problemas, de forma a curá-las e inibir o agente causador, a fim de que não possa mais causar danos a esta estrutura (TRINDADE, 2015).

Entre as principais causas dos mecanismos degradantes nas estruturas de concreto, as que têm relativa magnitude são: projetos errôneos, inadequado uso dos materiais e execução falha. As especificações adequadas se tornam mais fáceis com estudos de comportamento desses materiais e das estruturas de maneira mais realista possível em meios não controlados. Da mesma maneira, outro índice relevante é a avaliação do meio agressivo em que o concreto se encontra (ROQUE e MORENO, 2005).

Há décadas tem-se realizados diversos estudos referentes à durabilidade das estruturas, sendo grande parte destes diretamente ligados a corrosão da armadura. Busca-se hoje por materiais que, além da resistência mecânica, tenham baixa permeabilidade a água, gases e qualquer outro fluido agressivo, estando prontos a melhorar desempenho contra agentes deletérios, protegendo assim a armadura (ISAIA, 1995).

A diversidade de ambientes que são agressivos ao concreto é extensa, tais como: urbanos, marinhos, industriais, esgotos, entre outros. Uma das características nesses ambientes pode ser a presença do íon de sulfeto (LIMA, 2005).

Segundo Helene (2001), com a proliferação de manifestações patológicas no concreto armado, decorrentes do envelhecimento precoce em construções vigentes, nos últimos anos aconteceram averiguações no meio internacional e nacional demonstrando que as exigências e recomendações das normas em vigor nos séculos passados, relacionadas a projeto e execução, estavam defasadas.

Danos no concreto podem ser causados por reações químicas, que após a formação de novos produtos, esses com volumes superiores aos dos componentes primários, causam expansões (CAPRARO, 2016).

Manifestações de expansão não são relevantes nos primeiros momentos, mas as tensões internas no concreto aumentam e manifestações aparecem, como: fechamento de

juntas de expansão, deformações, deslocamentos em diferentes partes da estrutura, fissuração, lascamento e pipocamento. São citados quatro fenômenos expansivos referentes às reações químicas: ataque por sulfato, reação álcali-agregado, hidratação tardia de CaO (Óxido de Cálcio) e MgO (Óxido de Magnésio) livres e corrosão da armadura (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O ataque por sulfatos se dá de duas maneiras principais: a reação química como aluminato tricálcico não hidratado (C_3A), que produz etringita e a reação química com o hidróxido de cálcio, que produz a gipsita. Após o endurecimento do concreto, a etringita e gipsita que resultaram da combinação do sulfato com os produtos do cimento, podem gerar tensões internas no material, que por apresentar baixa resistência à tração fica suscetível a fissuras e rachaduras (COSTA, 2004).

Em estações de tratamento de esgoto e tubulações de grande porte forma-se o gás sulfídrico biogênico e há a presença de bactérias *Thiobacillus thioxidans* e *Thiobacillus concretivorus,* ambos causadores de efeitos deletérios ao concreto.

A oxidação de compostos de enxofre modifica-os em ácido sulfúrico (H_2SO_4) biogênico, altamente agressivo ao concreto. Por precisarem de oxigênio atuam principalmente na parte superior das tubulações e nas tampas das ETEs. Os níveis metabolizados de pH do ácido sulfúrico biogênico estão próximos de 2, mas em alguns casos chegam a menos de 0,7 (PINTO e TAKAGI, 2007).

Por este motivo tem-se tentado nas ultimas décadas, de varias maneiras, proteger o concreto contra ataque biogênico, sendo feitos processos inibidores do crescimento microbiano e metabolismo. Baseiam-se principalmente em dois enfoques: (1) modificar o meio ambiente em que está localizado e (2) modificar o concreto de maneira estrutural (um exemplo é modificar o pH e o nível de sulfato) minimizando desta maneira as atividades dos micróbios (ZHANG *et al.*, 2008).

3. DESENVOLVIMENTO

O Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF) é uma das estruturas utilizadas no tratamento de esgotos domésticos, a qual, devido aos processos realizados, produz e acumula gases nocivos às estruturas de concreto.

Por ser uma região com condições favoráveis a ocorrência do ataque de sulfato biogênico, pela presença dos gases e umidade, foi feita a escolha de exposição dos corpos de prova nas câmaras de gases dos RALFS, como apresentado na FIGURA 1.

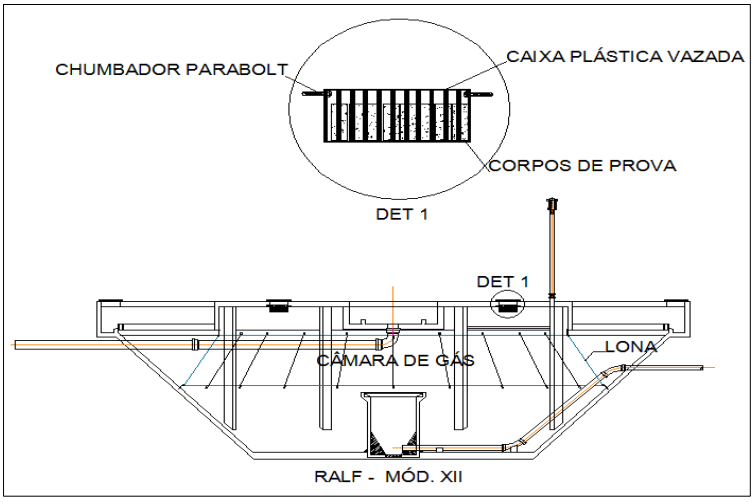

FIGURA 1: Local de fixação da caixa plástica no RALF.
FONTE: Os autores (2018).

A escolha do estudo de concretos expostos ao ambiente das estações de tratamento de esgoto deu-se após a estrutura da laje superior do RALF 01 da ETE Lapa, entrar em colapso e inviabilizar a utilização do mesmo, no ano de 2016, conforme demonstrado na FIGURA 2.



FIGURA 2: Registro fotográfico após colapso da laje superior do RALF 01 da Estação de Tratamento de esgoto da cidade de LAPA – PR.
FONTE: Os autores (2018).

O laudo apresentado a SANEPAR, empresa responsável pela estrutura, apontou a corrosão das armaduras da estrutura de concreto armado, devido à presença dos gases provenientes do processo de tratamento de esgoto que ocorre no interior do RALF, como sendo um dos fatores que ocasionaram a queda da laje superior. Esta situação despertou

o interesse em realizar o estudo aprofundado sobre os efeitos da agressividade dos gases sobre a estrutura do concreto.

Para tal, a pesquisa realizou a moldagem de corpos de prova de concreto com dois tipos de cimento (CP IV e CP V ARI) e três relações água/cimento (0,40; 0,50; 0,65) e a exposição dos mesmos no ambiente acima relatado. Em idades pré-definidas (7, 28, 84 e 168) os materiais foram retirados das condições impostas para análise de suas propriedades.

A determinação do número total de corpos de prova que foram moldados para a presente pesquisa levou em consideração alguns fatores, como: o tipo de cimento, a composição e o tipo dos agregados, a possibilidade do uso de adições, o tipo de aditivo, a idade, as condições de análise e o tipo de ensaios que serão realizados.

Na definição dos ensaios a serem realizados optou-se pelos ensaios de resistência à compressão axial (resistência) e velocidade de propagação de ondas de ultrassom (microestrutura), por estes permitirem a avaliação das propriedades do concreto sob a condição de um ataque.

Para a confecção dos corpos de prova foram adotadas seis séries de estudo, sendo cada uma delas correspondente ao tipo de aglomerante empregado. Foram utilizados dois tipos de cimento, CP IV e CPV ARI, ambos com grande comercialização no sul do país. A substituição de parte do cimento por sílica ativa, a fim de melhorar as propriedades da mistura, deu origem as outras três séries.

Cada grupo de estudo foi submetido a duas condições de exposição, sendo uma delas a referência, ambiente saudável ao concreto (tanque com água saturada e cal), e a outra agressiva (ambiente confinado – RALF).

Para que o resultado possa apresentar uma curva satisfatória, em termos de comparação entre as séries, optou-se pela moldagem de corpos de prova de referência, que foram acomodados em meio ambiente normal, não agressivo, em um tanque com água saturada com cal. Em contra partida, os demais corpos de prova moldados, foram distribuídos dentro dos reatores.

O tempo de exposição em meio agressivo teve início após o período de cura, 28 dias de idade dos materiais, para que os mesmos tivessem as mesmas condições de hidratação nas primeiras idades.

As relações água/cimento foram adotadas de modo a atender os requisitos mínimos prescritos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para estruturas de estações de tratamento de esgoto, ou seja, resistência mecânica superior a 40 MPa e relação água/cimento inferior a 0,40. Foram ainda realizadas séries em paralelo com relações

água/cimento superiores (0,50 e 0,65) a fim de se avaliar a maior suscetibilidade desses concretos ao ambiente agressivo estudado.

Este trabalho experimental desenvolvido permite realizar algumas discussões, que serão listadas a seguir, para as idades de 28, 84 e 168 dias de exposição dos corpos de prova nos dois meios estudados na pesquisa.

Para auxiliar o entendimento e rastreabilidade das amostras, foram atribuídas nomenclaturas específicas a cada tipo de cimento utilizado e consequentemente as relações água/cimento utilizadas no estudo. As séries de corpos de prova foram identificadas conforme TABELA 1, com as seguintes nomenclaturas.

TABELA 1 - NOME DOS TRAÇOS EMPREGADOS NA PESQUISA.

Cimento	**A/C**	**Numeração do Experimento**
CP IV	0,40	M1
	0,50	M2
	0,65	M3
CP IV+ Sílica	0,40	M4
	0,50	M5
	0,65	M6
CP V	0,40	M7
	0,50	M8
	0,65	M9
CP V + Sílica	0,40	M10
	0,50	M11
	0,65	M12

FONTE: Os autores (2018).

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

As FIGURAS 3 e 4, apresentam a evolução da resistência à compressão axial dos corpos de prova, na condição referência (solução com água saturada com cal) e agressiva (câmara de gás do RALF), respectivamente.

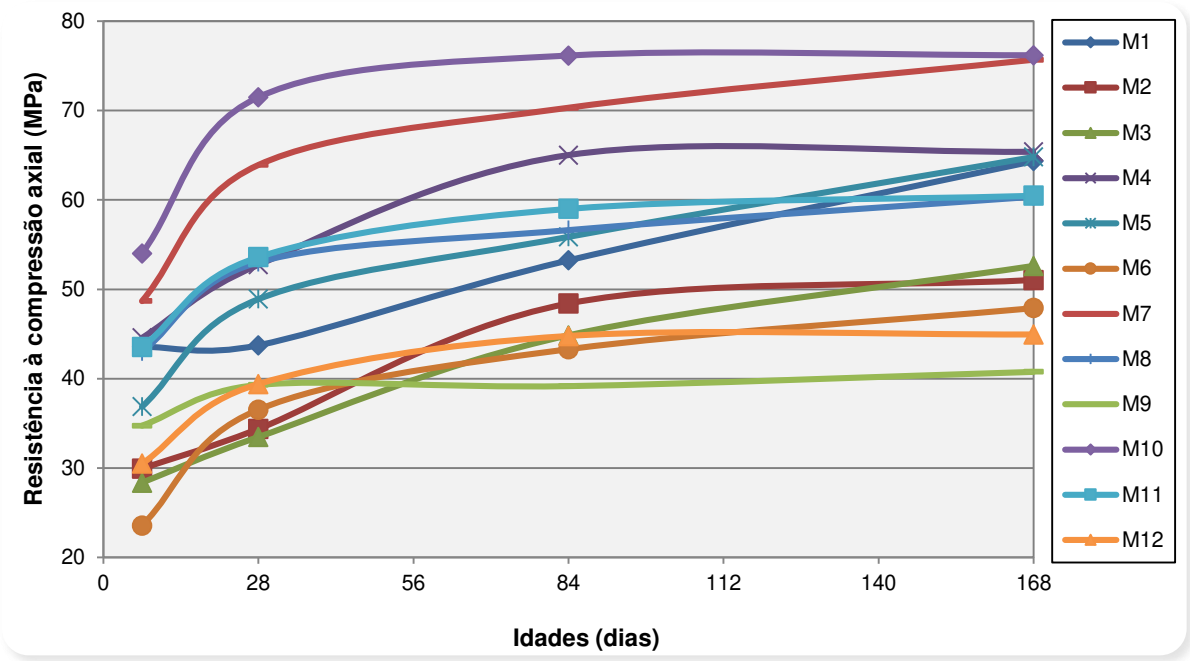

FIGURA 3: Evolução da resistência à compressão axial dos corpos de prova submetidos a condição referência.
FONTE: Os autores (2018).

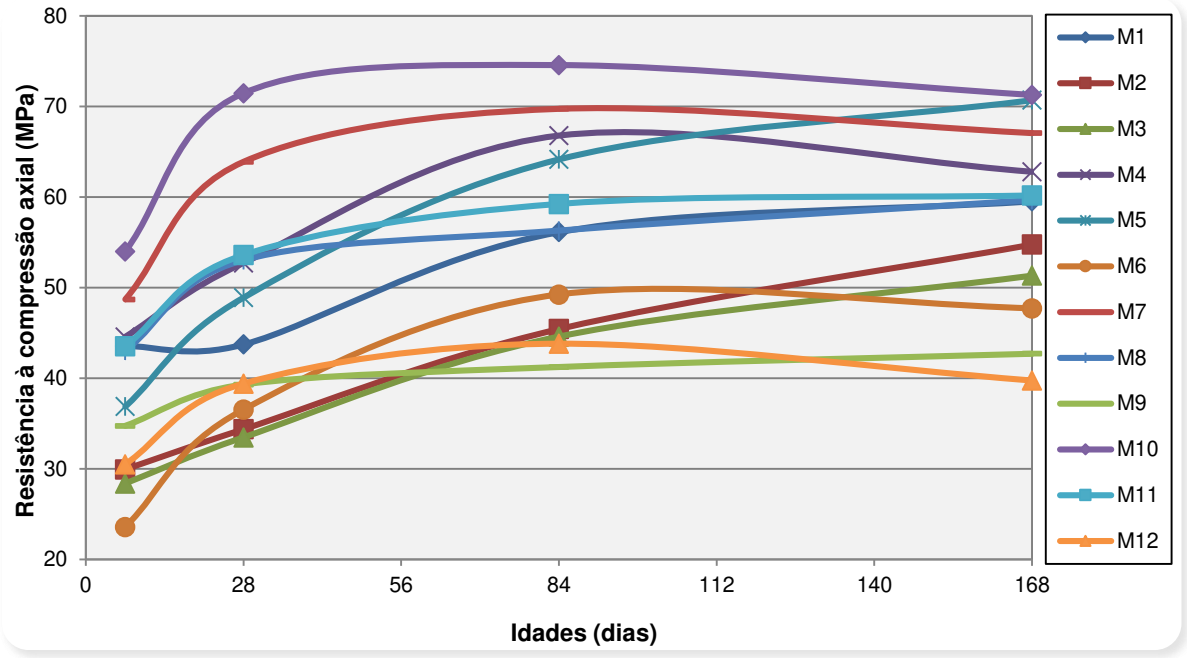

FIGURA 4: Evolução da resistência à compressão axial dos corpos de prova submetidos a condição agressiva.
FONTE: Os autores (2018).

De um modo geral, os corpos de prova analisados com relação água/cimento 0,40 e 0,50 atingiram e até ultrapassaram a resistência pretendida e descrita em norma para

esse ambiente de agressividade aos 28 dias (40 MPa). Já os elementos analisados com água/cimento de 0,65 não atingiram os 40 MPa aos 28 dias de idade e, portanto, o requisito normativo, porém, aos 84 dias, em ambas as situações, essa resistência foi atingida.

Analisando todos os dados, nota-se que todas as séries ensaiadas apresentaram um comportamento ascendente muito parecido entre os 28 e 84 dias, porém no espaço de tempo compreendido entre os 84 e 168 dias, constatou-se uma ligeira queda na resistência dos corpos de prova confinados nos RALFS, em relação aos tidos como referência, muito provavelmente proporcionada pela ação deterioradora dos gases.

As situações mais expressivas de redução das resistências dos corpos de prova foram com cimento CP V e ocorreram nas amostras M10 e M12, ambas expostas à condição agressiva no RALF.

Ao contrário do que se esperava, as amostras intermediárias (0,5 de relação água/cimento) permanecem com resistências satisfatórias, mesmo não atendendo as normas de concreto vigentes (NBR 6118, 2014). Contudo, isto pode ser justificado pelo curto período do estudo (168 dias).

Nas FIGURAS 5 e 6 são apresentadas as evoluções das velocidades de propagação das ondas de ultrassom nos corpos de prova, para a situação referência e agressiva, respectivamente.

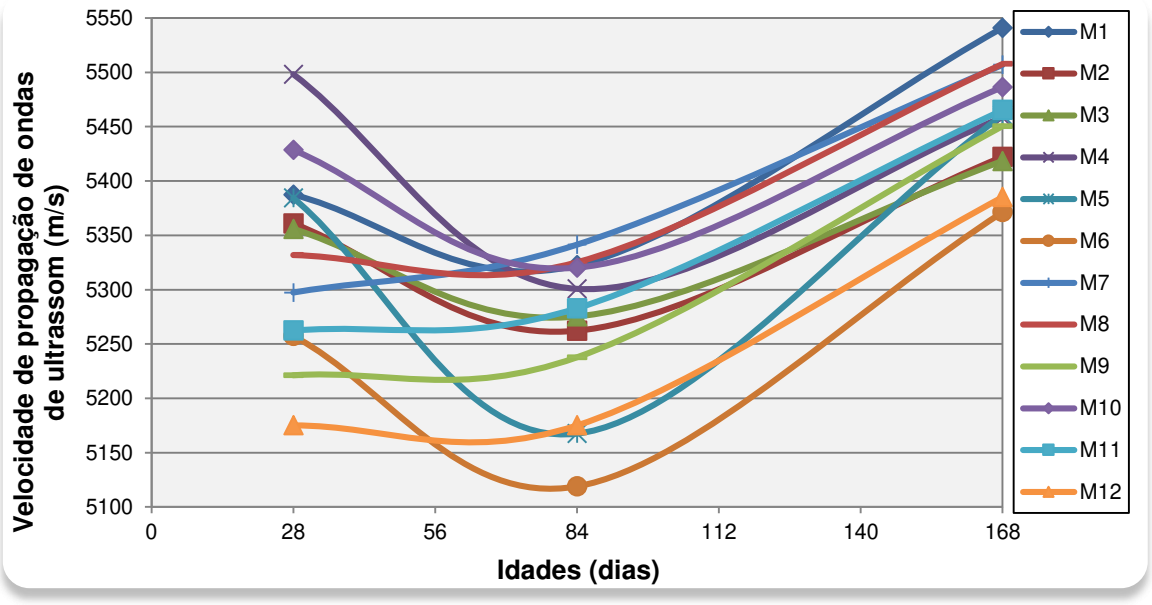

FIGURA 5: Evolução da velocidade de propagação de ondas de ultrassom dos corpos de prova submetidos à condição referência.
FONTE: Os autores (2018).

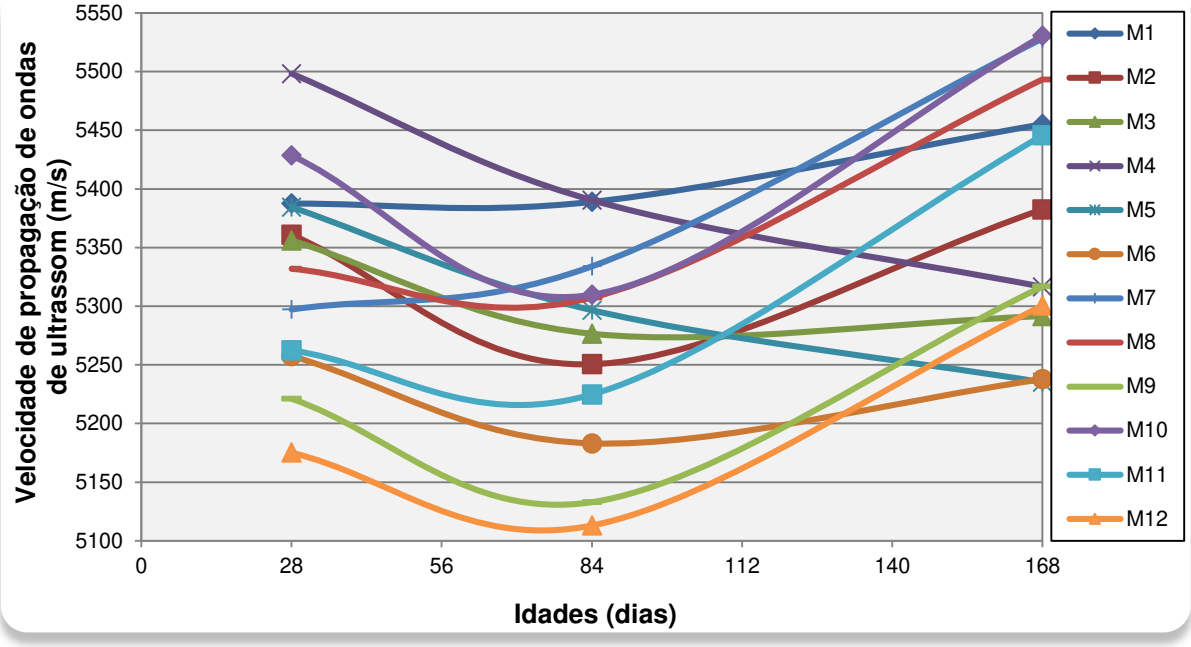

FIGURA 6: Evolução da velocidade de propagação de ondas de ultrassom dos corpos de prova submetidos à condição agressiva.
FONTE: Os autores (2018).

Nota-se que dos 28 para os 84 dias de idade dos materiais o comportamento, para todas as séries foi decrescente. A queda do valor de velocidade pode ser interpretada por uma maior quantidade de vazios presentes nas amostras, uma vez que o tempo de propagação no vazio é maior que o tempo de propagação em um meio denso, resultando em uma menor velocidade no interior dos concretos. O menor valor na idade de 84 dias pode ser ainda resultante do processo inicial de hidratação do concreto.

O comportamento dos 84 aos 168 dias foi oposto, sendo crescente para todas as amostras, à exceção da M4. O aumento da velocidade reflete em uma diminuição do tempo de propagação e isso indica um material mais denso, menos poroso.

Dessa forma, tem-se que todas as séries, aos 168 dias, mostraram-se mais densas, ou seja, como menos poros e fissuras em seus interiores. Esse resultado pode ser justificado pela reação continua de hidratação dos concretos e também, para as séries sujeitas ao meio agressivo, pode ser um indício de início do ataque, uma vez que os produtos iniciais tendem a colmatar os poros até o completo esgotamento e posterior surgimento de fissuras.

Analisando os resultados obtidos em todas as idades e comparando-os com os valores propostos por CÁNOVAS (1984), tem-se que a qualidade do concreto se enquadra dentro do nível “Excelente” pois todas as velocidades estão acima dos 4.500 m/s.

Diante da comparação realizada, nota-se que a exposição no meio agressivo, por 168 dias, não foi suficiente para o que o ensaio de ultrassom identificasse perda nas propriedades dos concretos.

Apesar da pequena variabilidade dos resultados de resistência à compressão axial e de velocidade de propagação de ondas de ultrassom obtidos até os 168 dias de idade, por conta da exposição agressiva empregada, visualmente os corpos de prova apresentaram alguns indícios da agressividade adotada.

A FIGURA 7 apresenta um dos corpos de prova retirados dos RALFS na idade de 168 dias, no qual foi observado estufamento, esfarelamento e manchamento. Embora tenham ocorrido apenas nas extremidades inferiores, acredita-se que, com um tempo maior de exposição, esse efeito se propagaria por toda a extensão dos corpos de prova. Além disso, podem-se também observar ainda grumos amarelos de enxofre elementar, corroborando com o resultado de inicio de ataque.



FIGURA 7: Indícios visuais do mecanismo degradante nos corpos de prova sujeitos a condição agressiva.
FONTE: Os autores (2018).

4. CONCLUSÃO

A durabilidade de uma estrutura de concreto depende de diferentes fatores ligados à fase de projeto, produção e caracterização dos insumos, preparação do concreto, execução da estrutura e manutenções preventiva e corretiva. Neste estudo foi realizado o fator que está ligado diretamente ao desempenho e durabilidade das estruturas, é o impacto da ação do meio ambiente e seus agentes agressivos.

O nível de agressividade do local onde a estrutura será construída determinará as características do concreto, tais como a relação água e cimento, a espessura do cobrimento da armadura, a resistência à compressão do concreto e a abertura máxima de fissura.

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem destacar algumas conclusões:

- Os concretos de relações A/C iguais a 0,40 e 0,50 atenderam a resistência requerida por norma aos 28 dias de idade, podendo então ser empregadas em concretos de estruturas reais;
- Os concretos de relação A/C igual a 0,65, apesar de terem atingido a resistência de 40 MPa aos 84 dias de idade, não atenderam este requisito aos 28 dias, não podendo ser aplicados por recomendação normativa;
- Observou-se, no ensaio de resistência a compressão, pequenas quedas de resistência, de forma geral com o cimento CP V, indicando uma maior susceptibilidade deste ao ataque;
- O ensaio de ultrassom não foi sensível para diferenciar as séries expostas à condição referência e agressiva, no entanto mostrou a evolução das séries ao longo do processo de hidratação das mesmas;
- Mesmo com as variações observadas, nas três idades estudadas, os concretos avaliados puderam ser considerados com qualidade excelente pelos altos valores de velocidades obtidos;
- Pelo tempo de estudo empregado, não foi notada nenhuma perda significável de propriedade, por este motivo, recomenda-se que estudos relacionados ao tema sejam desenvolvidos por um período maior;
- A presença de sílica ativa não apresentou diferença significativa para os ensaios avaliados, no período estudado.

5. REFERÊNCIAS

BRANDÃO, A. M. da S.; **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado - aspectos relativos ao projeto**. São Carlos, 1998.

CAPRARO, A. P. B. **Mudanças nas propriedades microestruturais e mecânicas de pastas e argamassas dosadas com diferentes teores de contaminação por sulfetos.** Dissertação de mestrado Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia y Terapêutica del Hormigón Armado**. Madrid: Dossat. 2 ª edição, 1984.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **New Approach to Durability Design,** (Bulletin 238). Lausanne: CEB, 1997.

COSTA, R. M. **Análise de propriedades mecânicas do concreto deteriorado pela ação de sulfato mediante utilização do UPV.** Belo Horizonte, 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

HELENE, P. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001**. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos, 2011.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo com vistas à corrosão da armadura**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ISAIA, G. C.; Questões de ensino e pesquisa na durabilidade das estruturas do concreto. **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil,** Santa Maria, v. 2, n. 2, p.1-13, 3 nov. 2005.

LIMA, M. G. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2005. 1 v.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto.** Concreto: Ciência e Tecnologia – IBRACON. 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

PINTO, J,; TAKAGI, E.M. **Sistemas de impermeabilização e proteção para obras de saneamento** , Concreto & Construções, Ano XXXIV, No. 47, p P . 73 - 79., 2007.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, Armando L. 2005- **Considerações sobre vida útil do concreto**. Campinas. 2005.

TRINDADE, D. dos S. da- **Patologia em estruturas de concreto armado**. Santa Maria. 2015.

ZHANG L.; DE SCHRYVER, P.; DE GUSSEME, B.; DE MUYNCK, W.; BOON N., VERSTRAETE, W.; **Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: a review**, Water Res. 42 (1–2), 2008.