

AVANÇO DO ATAQUE DO ÁCIDO ACÉTICO AO CONCRETO - INFLUÊNCIA DA IDADE DE EXPOSIÇÃO

Ronaldo A Medeiros-Junior. E-mail: ronaldodemedeirosjr@yahoo.com.br

Resumo: Resistência ao ataque ácido é uma das propriedades requeridas para os materiais utilizados principalmente em ambientes industriais. O ataque do ácido acético abrange a decomposição de produtos da microestrutura do concreto, descalcificando o gel C-S-H e agredindo a pasta de cimento. O presente trabalho tem o objetivo de analisar o efeito de duas diferentes idades de exposição do concreto ao ácido acético, verificando, portanto, a influência do tempo de cura (14 e 28 dias) na agressividade do ataque. A exposição foi realizada através do contato direto do ácido na superfície do concreto, sendo efetuada semanalmente a renovação da substância durante o período de 1 ano, como também, a análise visual da atuação do ácido. Além disso, após 1 ano, foram realizadas imagens de microscopia ótica, ensaio de compressão diametral para verificação da resistência e medição da profundidade de ataque visualizada nos corpos de prova após ruptura. No exterior dos corpos de prova notou-se a formação de cristais amarelados, com esfrelamento da superfície atacada; no interior dos corpos de prova foi observado uma borda atacada de 2 cm (média) avançando para o interior do corpo de prova. Até aproximadamente 210 dias, foi verificado visualmente que o tempo de cura teve um efeito importante no ataque do ácido, porém, para idades mais avançadas, os corpos de prova apresentaram visualmente o mesmo grau de ataque. Esse comportamento também foi confirmado na resistência obtida, e na profundidade do ataque.

Palavras-chave: Ácido acético, Concreto, Cura, Resistência, Profundidade de ataque.

ADVANCE OF ACETIC ACID ATTACK TO CONCRETE - INFLUENCE OF EXPOSURE AGE

Abstract: Resistance to acid attack is one of properties required for materials used mainly in industrial environments. The acetic acid attack decomposes the concrete microstructure and solubilizes C-S-H gel, attacking the cement paste. This study aims to analyze the effect of two different exposure ages to acetic acid. Therefore, the influence of the curing time (14 and 28 days) in aggressive attack was verified. The exposure was held through direct contact of acid in the concrete surface. Weekly renewal of the substance was performed during the period of 1 year, as well as the visual analysis of the acid activity was observed. Furthermore, after 1 year, optical microscopy images were obtained. The specimens were broken by diametrical compression to verify the strength and depth of attack. Outside of the specimens was noted the formation of yellow crystals, with a crumbly surface. One attacked border (2 cm, average) advancing into the specimen was observed inside of the specimens. It was visually verified that the curing time had an important effect on acid attack up to approximately 210 days; however for older ages, the specimens visually showed the same degree of attack. This behavior was also confirmed in the strength and depth of attack.

Keywords: Acetic acid, Concrete, Curing, Resistance, Depth of attack.

1. INTRODUÇÃO

O ataque de diferentes ácidos pode afetar a durabilidade de estruturas de concreto, principalmente em superfícies de concreto sem proteção, como tubulações de esgoto, estações de tratamento de águas residuais, torres de resfriamento, e outras construções industriais (Beddoe e Dorner, 2005). As soluções ácidas degradam a microestrutura do concreto e também aumentam a facilidade de penetração de agentes agressivos, o que pode resultar em reduções drásticas na vida útil dessas estruturas (Alani e Faramarzi, 2014). Portanto, a capacidade do concreto em resistir às influências ambientais decorrentes da interação da estrutura com o meio onde ela está inserida é estudada para tentar garantir a vida útil projetada (Medeiros-Junior et al, 2014).

Os ataques ácidos podem ser divididos em: (1) ácidos minerais que dissociam fortemente os componentes do concreto (ácido sulfúrico, por exemplo); e (2) ácidos orgânicos

que atuam com uma dissociação mais branda. O ataque ácido também pode levar a um efeito de preenchimento dos poros por produtos expansivos (Yuan et al, 2015).

O ácido acético é um ácido orgânico produzido a partir da digestão aeróbica e anaeróbica que reduz a durabilidade do concreto (Chatveera e Lertwattanakul, 2014). Esse ácido é encontrado no dia a dia principalmente na sua forma impura, chamada vinagre. É conhecido por ser um ácido fraco, porém corrosivo. O ácido acético é um reagente químico importante e largamente utilizado na indústria química, usado na produção de politereftalato de etila (PET), na fabricação de garrafas de bebidas, para redução do pH, para o controle de crescimento microbiano, em aromatizante, como solvente, nas tinturarias, na imprensa, fabricação de tintas, entre outras (Pavlík, 1994; Chatveera e Lertwattanakul, 2014; Windt et al, 2015).

O ataque do ácido acético abrange a decomposição de produtos hidratados e não hidratados da pasta de cimento (Pavlík, 1994). O mecanismo de degradação envolve a descalcificação do gel C-S-H e a formação do sal solúvel acetato de cálcio. Segundo Beddoe e Dorner (2005), em geral, o grau de agressividade do ataque depende da capacidade do ácido em dissociar e solubilizar o cálcio (Ca^{++}) dentro da microestrutura do concreto. Portanto, embora o ácido acético dissocie os elementos mais lentamente do que os ácidos minerais, seu ataque forte é atribuído à elevada solubilidade do acetato de cálcio formado.

Dessa forma, os ácidos atuam destruindo a matriz resistente do concreto, produzindo transformações na pasta de cimento endurecida. O resultado destas ações é a perda de massa e a redução da seção resistente do concreto. Esta perda acontece em camadas sucessivas, a partir da superfície exposta, sendo a velocidade da degradação proporcional à quantidade e concentração do ácido em contato com o concreto (Andrade et al, 2003).

O ataque do ácido acético se assemelha ao processo corrosivo também provocado pelo ácido nítrico. As diferenças entre os dois processos são causadas por ionização parcial do ácido acético, com efeito de preenchimento com solução na camada corroída e, conseqüentemente, em mudanças no pH (Pavlík, 1994).

É importante ressaltar que o contato do concreto com ácidos em altas concentrações não é habitual. Já a ação de chuvas ácidas nos grandes centros e nas áreas industriais é mais frequente. Portanto, há uma necessidade para o desenvolvimento de materiais resistentes quimicamente para o uso em ambiente agressivo, como indústrias de fabricação de alimentos, indústrias de produtos químicos, extração e processamento de minerais, tratamento de efluentes, dentre outras. Resistência ao ataque ácido é uma das propriedades requeridas para os materiais estruturais utilizados nestas aplicações. Sabe-se que o concreto convencional de cimento Portland não possui alta resistência a ácidos, devido à sua composição química que inclui compostos com elevada quantidade de cálcio (Bakharev et al, 2003).

O uso de alguns tipos de adições pode ser benéfico contra o ataque do ácido acético. Segundo Chatveera e Lertwattanakul (2014), o uso de cinza de casca de arroz substituindo parte do cimento Portland tem um efeito positivo em reduzir a expansão, perda de peso, e perda de resistência à compressão de argamassas sob o ataque do ácido acético. Pastas de cimento com escórias também se mostraram mais resistente ao ataque do ácido do que pastas com cimento Portland puro (Bakharev et al, 2003).

Além de investigações sobre o comportamento de produtos de cimento utilizando materiais alternativos, se faz necessário também a avaliação da atuação do ácido acético em produtos cimentícios com relação ao tempo de cura. Sabe-se que o processo de cura é uma etapa muito importante para garantir boa qualidade ao concreto, tanto em termos de resistência mecânica, como em propriedades de permeabilidade, relacionada com a rede de

poros do material; porém, muitas vezes não é respeitado o tempo mínimo de cura estabelecido em norma, principalmente na execução de obras da construção civil. Diante disso, este trabalho tem como objetivo principal analisar o comportamento do concreto quando exposto ao ácido acético para diferentes períodos de cura, buscando, dessa forma, compreender o efeito do tempo de cura no ataque do ácido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O ácido acético utilizado neste estudo foi o vinagre agrin, que é um fermentado químico de álcool com vinho; isto é, sua composição surge a partir de percentuais variável de álcool e vinho, que normalmente é composto de 90% de álcool e 10% de vinho.

O cimento Portland de alto-forno e resistente ao sulfato - CP III RS (NBR 5735, 1991) - foi utilizado como aglomerante. O agregado miúdo empregado foi uma areia natural de 2,4 mm (dimensão máxima característica). O pó de pedra (areia artificial) foi de origem basáltica, assim como a brita 1 utilizada. Optou-se por utilizar areia natural e artificial em conjunto para permitir um melhor empacotamento das partículas. A Tabela 1 mostra os dados relativos à caracterização física dos agregados.

Tabela 1. Caracterização dos agregados.

Agregado	Massa específica (kg/dm ³)	Massa unitária (kg/dm ³)	Dimensão máxima característica (mm)	Módulo de finura
Areia natural	2,62	1,40	2,4	2,45
Areia artificial	2,70	1,55	4,8	2,65
brita	2,70	1,49	25	7,19

O concreto utilizado foi dosado em central. A Tabela 2 apresenta as características do concreto. Foi solicitado um concreto sem uso de aditivos e relação água/cimento de 0,54, que atendessem às especificações de concretos convencionais de obras correntes na cidade de São José dos Campos – SP, onde o estudo foi realizado.

Tabela 2. Dados do concreto.

Cimento (kg/m ³)	Areia natural (kg/m ³)	Areia artificial (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Água (l/m ³)
351	529	277	1003	191

A Tabela 3 apresenta a análise da água utilizada para dosagem do concreto. De acordo com a Tabela 3, observa-se que a amostra encontra-se de acordo com as normas técnicas com relação a requisitos gerais e específicos para águas a serem empregadas em argamassas e concretos de cimento Portland (NBR 15900, 2009).

Tabela 3. Caracterização da água.

Parâmetros	Resultado em 100 ml da amostra diluída a 10%	Resultado em 100 ml da amostra 10% filtrada	VMP*

Ferro	mg/l	0,03	0,03	1
Sílica	mg/l	6,1	6,0	ND**
Manganês	mg/l	0,08	0,10	ND**
Nitrito	mg/l	0,10	0,07	ND**
Nitrato	mg/l	1,00	1,00	ND**
Sulfato	mg/l	19	17	300
pH (laboratório)	-	7,1	7,1	6,0 - 9,5

*VMP = Valor Máximo Permitido; **ND = Não Disponível.

Conforme determinado pela NBR NM 67 (1998), o ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado para recebimento do concreto. Tal ensaio foi realizado após coleta de amostra, conforme determina a NBR NM 33 (1998). Foi identificado um abatimento de 60 mm para o concreto utilizado, atendendo a especificação inicial. Com este resultado, iniciaram-se os procedimentos de moldagem dos corpos de prova.

Foram moldados 9 corpos de prova cilíndricos de concreto (ϕ 15 cm x 30 cm de altura) para o desenvolvimento deste estudo. As moldagens foram efetuadas de acordo com a norma NBR 5738 (2008) - concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova e a norma NBR 5739 (2007) - concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. As formas utilizadas foram metálicas, preparadas segundo procedimento especificado pelas normas citadas.

Cada corpo de prova foi moldado pelo preenchimento do concreto em duas camadas. Entre uma camada e outra, foi realizado um adensamento com vibrador de imersão. No caso específico do estudo em questão (corpos de prova de ϕ 15 cm x 30 cm de altura), foi utilizado um mangote de ϕ 2,5 cm. O vibrador foi introduzido, permanecendo por volta de 3 segundos, até que a superfície do concreto apresentasse aspecto relativamente liso e sem bolhas de ar na superfície.

Com a finalidade de se moldar um orifício para inserir a substância agressiva (ácido acético), após devidamente adensados, no centro de cada corpo de prova foi inserido um copinho plástico com areia (50 ml) no concreto ainda fresco, conforme esquema da Figura 1. Em sequência, os corpos de prova foram rasados, utilizando-se régua metálica.

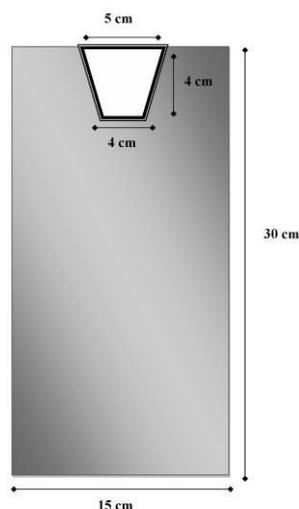


Figura 1. Esquema do corpo de prova de concreto.

Após a moldagem, os corpos de prova foram cobertos imediatamente com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto e protegê-lo da ação das intempéries. Feito esse procedimento, esperou-se 24 horas para garantir a condição de endurecimento inicial do concreto, a fim de finalmente, realizar a desmoldagem. Após 24 horas da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e os copos plásticos foram retirados. Em sequência, os corpos de prova foram colocados em procedimento de cura em câmara úmida, conforme prescrito por norma (NBR 5738, 2008).

Posteriormente, parte dos corpos de prova foi exposta ao ataque ácido após cura úmida por 14 dias. Outra parte dos corpos de prova foi exposta ao ataque ácido após cura úmida por 28 dias de idade. A cura úmida foi realizada em câmara úmida. Após a exposição inicial e permanente ao ácido acético, no ambiente de laboratório, durante o período de um ano, os corpos de prova de concreto foram fotografados e a substância (ácido acético) renovada uma vez na semana (Figura 2). O acompanhamento do ataque foi realizado semanalmente, através de fotografias de todos os corpos de prova, de forma a se ter, com isso, a situação instantânea do ataque, possibilitando a comparação ao final de um ano e o acompanhamento da evolução deste ataque. As mudanças mais severas no aspecto visual dos corpos de prova foram percebidas aproximadamente aos 60, 210 e 365 dias. Portanto, esses serão os resultados apresentados neste artigo para o acompanhamento visual do ataque.



Figura 2. Renovação do ácido acético.

Também foram realizadas análises microscópicas na parte externa dos corpos de prova após o período de um ano, com microscópio digital portátil com lente de ampliação 100x (ProScope 10x-100x). Para facilitar a leitura, cada corpo de prova foi dividido em quadrantes, sendo a análise realizada do centro (orifício onde era inserida a solução) para a borda externa do corpo de prova.

Após 1 ano de exposição ao ácido, os corpos de prova foram rompidos à compressão diametral em uma prensa universal para ensaios (modelo HD-200T), sob velocidade de carregamento constante ($=0,05 \pm 0,02$ MPa/s), conforme a norma (NBR 7222, 2011). Dessa forma, a tensão de ruptura diametral foi registrada para cada amostra. Os corpos de prova não foram rompidos com as idades de 60 e 210 dias, pois o objetivo do estudo foi acompanhar a evolução visual das amostras de concreto até 1 ano de idade. Após a ruptura, os corpos de prova foram submetidos novamente à análise microscópica, na seção obtida. O sentido de registro também foi realizado em quadrantes, do orifício para a parte externa do corpo de prova e a profundidade de ataque do ácido foi medida.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Ensaios de caracterização do ataque

A Figura 3 mostra o aspecto dos corpos de prova no início da exposição do concreto ao ácido, tanto para os corpos de prova submetidos aos 14 dias de idade, como os submetidos aos 28 dias.



Figura 3. Aspecto dos corpos de prova no início da exposição.

Tanto os corpos de prova com 14 dias de idade, como os corpos de prova aos 28 dias apresentaram o mesmo aspecto visual no início da exposição do concreto ao ácido acético. No entanto, após 60 dias de idade, os corpos de prova com idade inicial de exposição ao ácido aos 14 dias e aos 28 dias de idade apresentam as primeiras diferenças no acúmulo de substância ao redor do orifício onde se acumula o ácido acético, conforme a Figura 4.

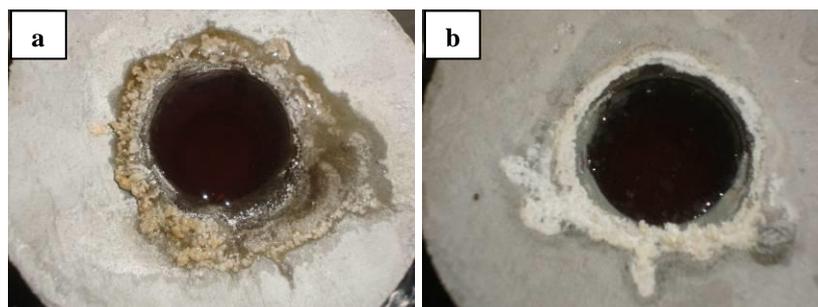


Figura 4. Corpos de prova com 60 dias de idade: (a) exposição inicial ao ácido acético aos 14 dias; e (b) exposição inicial aos 28 dias.

Portanto, de acordo com a Figura 2, já aos 60 dias pode-se observar o maior ataque acontecendo no corpo de prova exposto inicialmente ao ácido aos 14 dias. A pasta de cimento desses corpos de prova se desintegra com maior facilidade do que a pasta de cimento do concreto exposto ao ácido aos 28 dias. É importante destacar que há dois efeitos acumulativos atuando na comparação entre as duas condições: (1) o maior período de cura – 14 dias a mais; e (2) o menor tempo total de exposição ao ácido – 14 dias a menos. Ou seja, os corpos de prova com exposição inicial ao ácido aos 28 dias de idade, além de permanecerem 14 dias a mais em processo de cura, também foram submetidos 14 dias a menos ao ácido acético do que os corpos de prova com exposição inicial aos 14 dias.

No entanto, ao longo do tempo, o ataque do ácido acético as duas condições dos corpos de prova tendeu a se igualar, em termos de aspectos visuais. As Figuras 5 e 6 mostram os corpos de prova com 210 dias de idade e 365 dias, respectivamente.

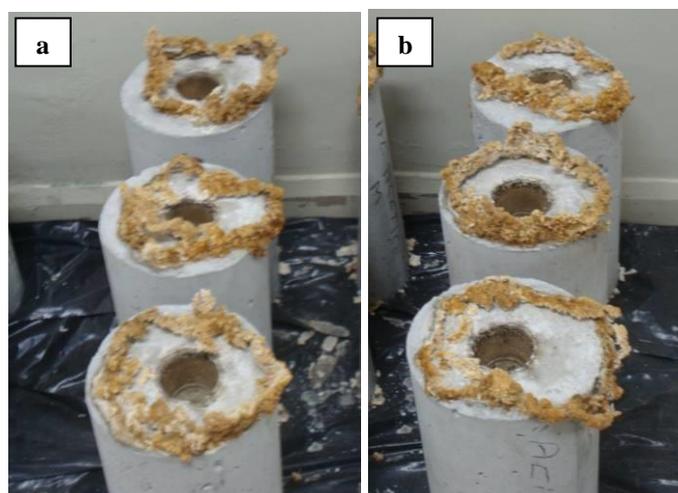


Figura 5. Corpos de prova com 210 dias de idade: (a) exposição inicial aos 14 dias; e (b) exposição inicial aos 28 dias.

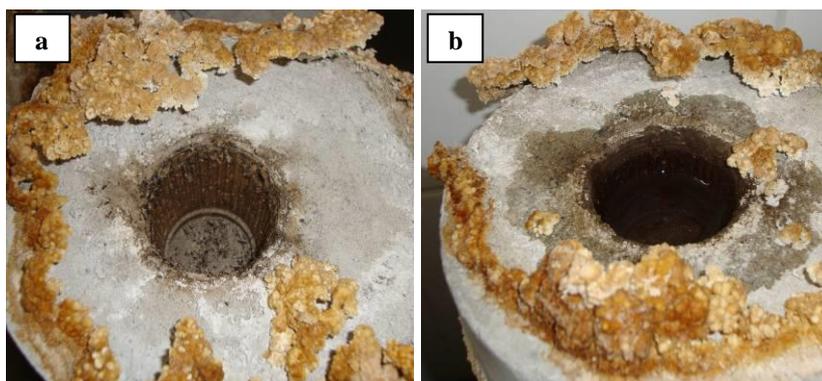


Figura 6. Corpos de prova com 365 dias de idade: (a) exposição inicial aos 14 dias; e (b) exposição inicial aos 28 dias.

Conforme a Figura 6, após 1 ano de exposição ao ácido acético, ambos os corpos de prova (exposição inicial aos 14 e 28 dias de idade) apresentam formação de uma crosta amarelada na superfície do concreto, resultante da dissolução do gel C-S-H, e grande desagregação no concreto.

Uma vez demonstrada visualmente às diferenças das idades iniciais de exposição ao ácido (Figuras 3-6), a Figura 7 apresenta um resumo da evolução do ataque no tempo para ambas as idades de cura investigadas.

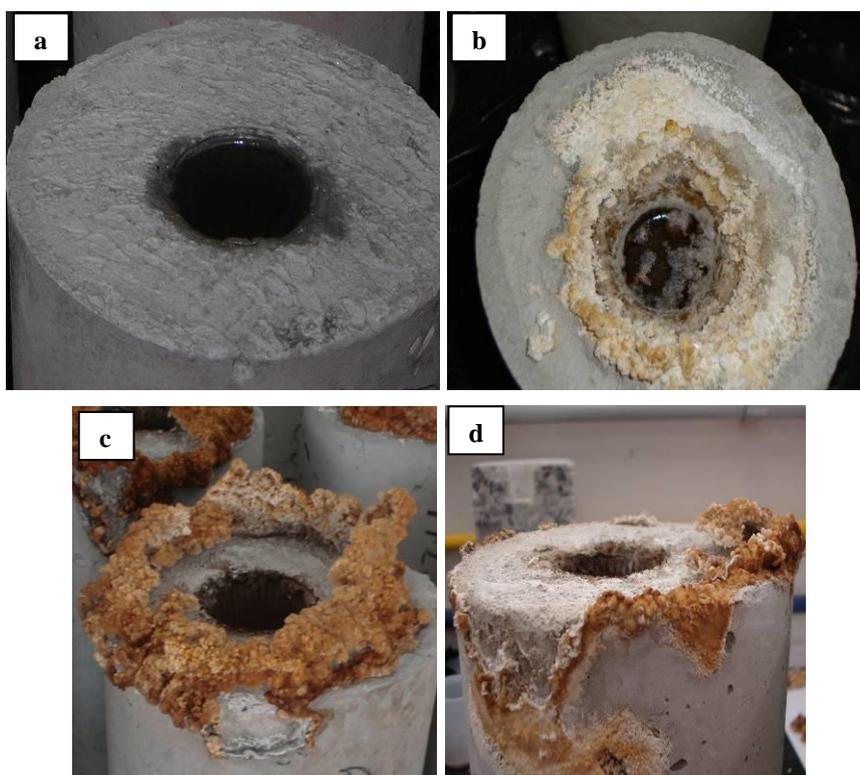


Figura 7. Evolução do ataque no tempo para ambas as idades de cura investigadas: (a) início da exposição; (b) 3 meses de exposição – formação de mancha esbranquiçada na superfície do corpo de prova; (c) 9 meses de exposição – formação de crosta na superfície do corpo de prova; e (d) 1 ano de exposição – dissolução da pasta de cimento.

Em termos gerais, com relação à evolução do ataque no tempo, aos três meses já se percebe alterações externas nos corpos de prova com a formação de depósitos brancos sobre a superfície, provenientes das reações de degradação da pasta de cimento provocadas pelo ácido. Aos nove meses de ataque, o ácido continuou atuando nos componentes da pasta de cimento endurecida dissolvendo o cimento hidratado, criando uma camada de pó fino e crosta amarelada sobre a superfície. Esse comportamento foi observado para ambas as amostras (14 e 28 dias de cura). Com 365 dias de idade, os corpos de prova foram rompidos para determinação da resistência por compressão diametral (Tabela 4) e para a medida da frente de ataque do ácido (Figura 8), a partir do orifício onde a substância permanecia em contato com o concreto. Os valores de resistência à compressão simples do mesmo concreto, porém sem a exposição ao ácido, nas idades de 14, 28 e 365 dias são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado dos ensaios de resistência (diametral e compressão simples).

Resistência	(MPa)	Idade (dias)	Amostra
Compressão diametral	2,3 ($\pm 0,2$)	365	Cura até 14 dias
Compressão diametral	2,5 ($\pm 0,2$)	365	Cura até 28 dias
Compressão simples	19,6 ($\pm 0,98$)	14	Referência (sem exposição ao ácido)
Compressão simples	23,2 ($\pm 1,10$)	28	Referência (sem exposição ao ácido)
Compressão simples	28,7 ($\pm 1,40$)	365	Referência (sem exposição ao ácido)

A variação entre as resistências à compressão diametral das duas condições analisadas neste artigo foi de 8,7%, o que não pode ser considerada como significativa, de acordo com os desvios padrão encontrados, e as estimativas de erros próprios do ensaio. Esses resultados são confirmados através de uma análise de variância (ANOVA) com um intervalo de confiança de 95%. Ou seja, não é possível caracterizar os concretos nas duas condições de cura neste artigo como diferentes, em termos dos resultados de resistência diametral. Outros estudos (Andrade et al, 2003) também discutem que não há uma relação direta entre a resistência mecânica e a resistência do concreto quando submetido aos ataques químicos, uma vez que a capacidade de proteção do material está mais direcionada com a composição química do tipo de cimento usado, e conseqüentemente, dos produtos de hidratação da pasta.

A Figura 8 mostra que ambas as condições tiveram a mesma espessura da frente de ataque do ácido acético, igual em média a 2 cm. É possível também verificar que o ataque acontece em camadas sucessivas, a partir da superfície do concreto exposta e em contato com o ácido. Conforme esperado, o ataque se deu predominantemente a pasta de cimento. Foi possível observar que a pasta de cimento na área de contato com o ácido (ao longo da espessura de ataque) apresentou facilidade de esfarelamento, desintegrando-se ao ser aplicada uma pequena pressão com os dedos.

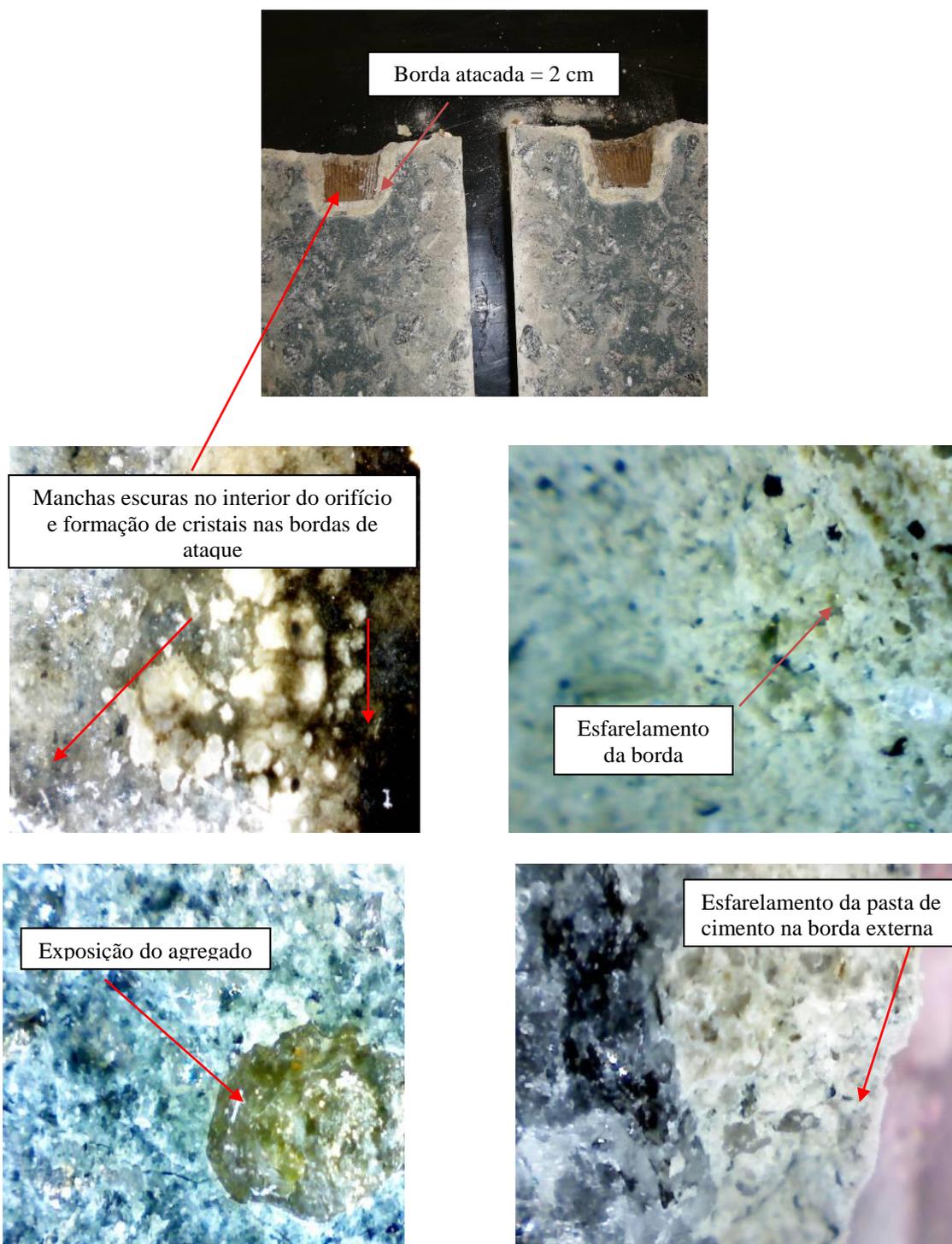


Figura 8. Detalhe da medida das espessuras da camada de ataque para ambas as idades de cura investigadas (14 e 28 dias).

3.2 Outros ensaios

A análise microscópica na parte externa dos corpos de prova foi realizada no momento anterior a ruptura, ou seja, após um ano de idade. Para ambas as idades investigadas (14 e 28 dias de cura), os produtos formados na superfície foram os mesmos, não sendo possível observar diferenças entre as diferentes idades visualmente; dessa forma, a Figura 9 apresenta os resultados para ambas as idades investigadas.

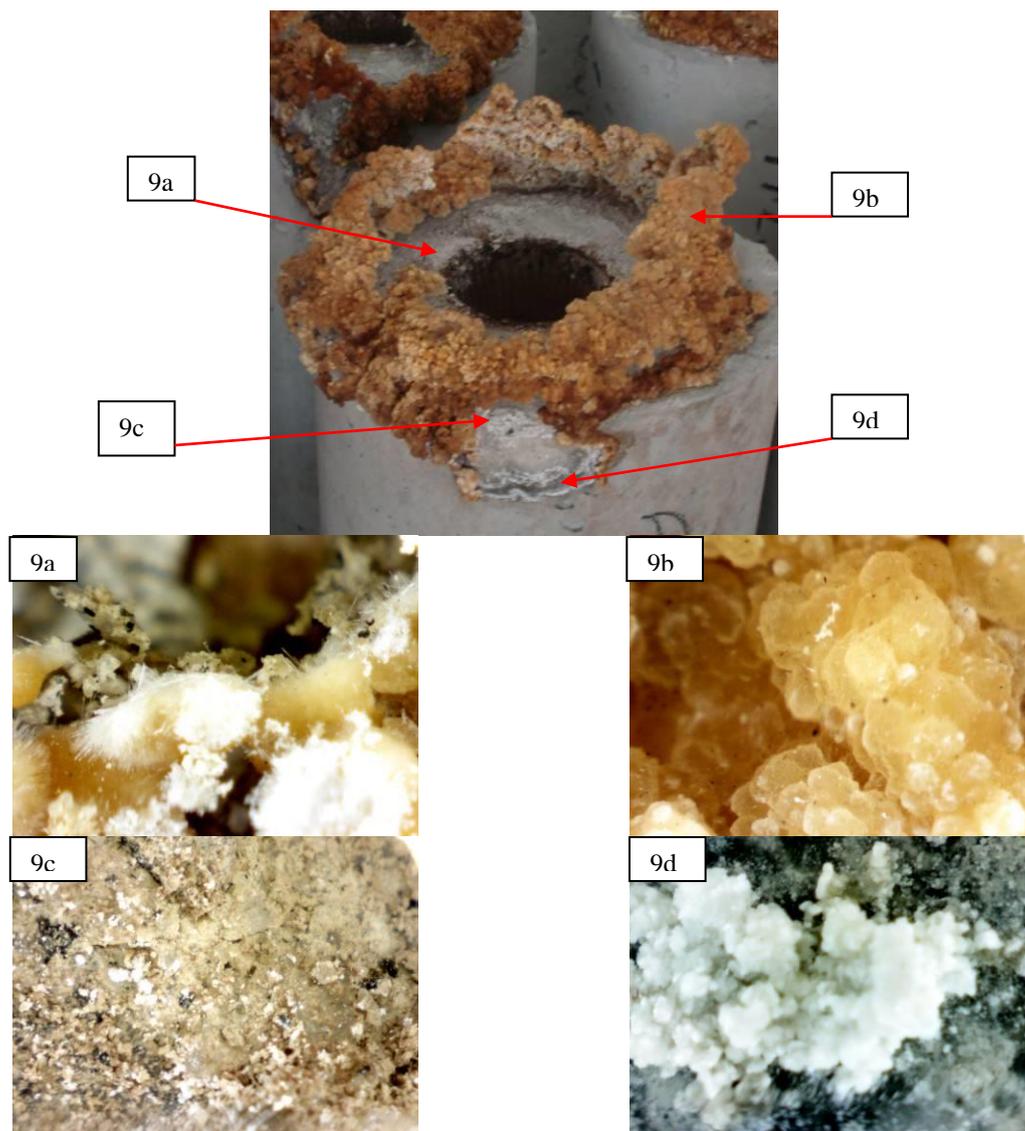


Figura 9. Micrografias (100x) com os diferentes tipos de substâncias formadas (cura aos 14 e 28 dias).

Conforme a Figura 9, externamente ao corpo de prova, observa-se através de micrografias a formação de várias substâncias. Entretanto, a identificação do tipo de cada substância formada não fez parte do escopo deste trabalho. Essas substâncias foram encontradas em mesma ocorrência tanto para os corpos de prova submetidos ao ácido aos 14 dias de idade, como os submetidos aos 28 dias. Isso mostra que a longo prazo – aproximadamente acima de 210 dias, para esse artigo – o maior tempo de cura e menor tempo de exposição ao ácido não afetaram o ataque ao concreto.

Ressalta-se que uma análise química deve ser realizada para confirmar esse comportamento. Isso mostra que a cura do concreto é importante para evitar o ataque ao ácido acético principalmente nas primeiras idades. No entanto, após o ataque progredir em profundidade no concreto e a desintegração da pasta de cimento avançar, o efeito da cura perde importância. Porém, em termos práticos, não se deve menosprezar o efeito da cura no ataque ácido ao concreto, principalmente em casos de ataque em condições naturais, como o caso de ambientes industriais agressivos, uma vez que o ataque ocorrerá em maior escala, em termos de maior área de exposição e disponibilidade do ácido. Portanto, não garantir a cura

adequada pode contribuir para o avanço prematuro do ataque do ácido. Além desse efeito, deve-se considerar que a cura inadequada pode favorecer a maior permeabilidade do concreto, facilitando a penetração contínua também de outros agentes agressivos. Por fim, como sugestões para trabalhos futuros, apresenta-se a necessidade de caracterização do grau de ataque, buscando determinações de porosidade e composição dos produtos formados.

4. CONCLUSÕES

Esse artigo mostrou a agressividade ao concreto do ataque do ácido acético. Nas primeiras idades das amostras (até aproximadamente 210 dias), foi observado que o concreto exposto ao ácido aos 14 dias de idade apresentou visualmente maior agressividade do que o concreto exposto à mesma substância, porém com 28 dias de idade. No entanto, esse efeito não foi confirmado para idades mais avançadas. Para 1 ano de idade, o ataque visualmente foi o mesmo para as duas condições. A resistência mecânica à compressão diametral após um ano dos corpos curados 14 dias e 28 dias foram iguais, destacando a similaridade do ataque ácido nas duas condições de cura analisadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de registrar agradecimentos ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, a Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP, a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, a CAPES, às empresas Consultec Engenharia, Consórcio GASVAP, Falcão Bauer e a Cortesia Concretos pelo fornecimento do concreto utilizado no estudo.

REFERÊNCIAS

Beddoe, R.E.; Dorner, H.W. *Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms. Cement and Concrete Research*, v.35, p.2333-2339, 2005.

Alani, A.M.; Faramarzi, A. *An evolutionary approach to modelling concrete degradation due to sulphuric acid attack. Applied Soft Computing*, v.24, p.985-993, 2014.

Medeiros-Junior, R.A.; Lima, M.G.; Freixo, V.B. *Verificação da durabilidade de estruturas de concreto - aplicação de dados de campo em métodos de normalizações. Revista de Engenharia e Tecnologia*, v.6, p.136-149, 2014.

Yuan, H.; Dangla, P.; Chatellier, P.; Chaussadent T. *Degradation modeling of concrete submitted to biogenic acid attack. Cement and Concrete Research*, v.70, p.29-38, 2015.

Chatveera, B.; Lertwattanakul, P. *Evaluation of nitric and acetic acid resistance of cement mortars containing high-volume black rice husk ash. Journal of Environmental Management*, v.133, p.365-373, 2014.

Pavlík, V. *Corrosion of hardened cement paste by acetic and nitric acids part II: formation and chemical composition of the corrosion products layer. Cement and Concrete Research*, v.24, n.8, p.1495-1508, 1994.

Windt, L. De; Bertron, A.; Larreur-Cayol, S.; Escadeillas, G. *Interactions between hydrated cement paste and organic acids: thermodynamic data and speciation modeling. Cement and Concrete Research*, v.69, p.25-36, 2015.

Andrade, J.J.O.; Tisbierck, F.T.; Rather, L.P.R.; Nobre, T.R.S. *Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química.* In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto (Ibracon). Vitória (Brasil): p. 1-12, 2003.

Bakharev, T.; Sanjayan, J.G.; Cheng, Y.-B. *Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack.* *Cement and Concrete Research*, v.33, p.1607-1611, 2003.

NBR 5735 *Cimento Portland de alto forno.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1991.

NBR 15900 *Água para amassamento do concreto.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2009.

NBR NM 67 *Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1998.

NBR NM 33 *Concreto – amostragem de concreto fresco.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1998.

NBR 5738 *Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2008.

NBR 5739 *Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - método de ensaio.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2007.

NBR 7222 *Concreto e argamassa — determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2011.