



REALCALINIZAÇÃO ELETROQUÍMICA DE CONCRETOS CARBONATADOS – EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

**Philippe H. L. C. Ribeiro (1); Gibson R. Meira (2); Pablo R. R. Ferreira (3);
Normando P. Barbosa (4)**

- (1) Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil - e-mail: phlcr_jp@hotmail.com
- (2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba e Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil - e-mail: gibsonmeira@yahoo.com
- (3) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil - e-mail: pablo.r06@hotmail.com
- (4) Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil - e-mail: nperazzo@ct.ufpb.br

RESUMO

Uma das principais patologias que pode comprometer a durabilidade de estruturas de concreto armado inseridas em ambientes urbanos é a corrosão das armaduras desencadeada pela carbonatação do concreto. Para correção ou prevenção desse tipo de patologia tem sido proposto um método de tratamento, conhecido como realcalinização eletroquímica (RAE), cujo objetivo é restabelecer a alcalinidade dos concretos carbonatados, criando condições para a repassivação das armaduras. Nesse sentido, este trabalho estudou a eficiência do tratamento de RAE quanto a sua capacidade de restabelecer a alcalinidade de concretos carbonatados e de repassivar as armaduras. Desse modo, foram moldados corpos de prova cúbicos (8x8x8cm), armados com duas barras da aço CA-50 (bitola de 6.3mm), com espessuras de cobrimento de 2,5cm, utilizando-se o cimento Portland brasileiro tipo CP V e relação água/cimento 0,65. Os concretos foram curados por sete dias em câmara úmida e submetidos a um processo de carbonatação acelerada (100 % de CO₂), seguida da RAE. O avanço da frente de realcalinização foi monitorado através de solução indicadora de timolftaleína. Nas duas etapas, foi realizado um monitoramento eletroquímico, através de medidas de potenciais de corrosão (E_{corr}) e velocidade de corrosão (i_{corr}). Medidas de alcalinidade foram realizadas para os concretos de referência, carbonatados e realcalinizados. Para o tratamento de RAE utilizou-se uma solução alcalina de carbonato de sódio (1M), uma malha de titânio (ânodo) e uma densidade de corrente média de 2 A/m² (em relação à superfície do concreto). Os resultados mostram que as amostras submetidas à RAE, embora não tenham atingido os valores normalmente observados nos concretos sãos, apresentaram maior alcalinidade relativa do que as amostras carbonatadas, o que comprovou a eficiência do tratamento em restabelecer a alcalinidade do concreto carbonatado na região de cobrimento da armadura. A reação de eletrólise, no entorno da armadura, parece ser a principal responsável pelo desempenho da realcalinização eletroquímica observada nas condições de ensaio adotadas. A partir do monitoramento eletroquímico realizado, observou-se que os valores de E_{corr} indicam tendência de repassivação das armaduras. Entretanto, embora haja uma tendência de diminuição dos valores de i_{corr}, estes necessitam de maior intervalo de tempo para fornecerem respostas conclusivas acerca da repassivação das barras.

Palavras-chave: carbonatação, concreto, corrosão, realcalinização eletroquímica, repassivação.

1 INTRODUÇÃO

Em ambientes urbanos, a carbonatação é geralmente o principal fenômeno responsável por desencadear a corrosão, que é uma das patologias que mais afeta as estruturas de concreto armado. Para corrigir e/ou prevenir problemas de corrosão em estruturas de concreto, vários métodos de reparo e de proteção têm sido utilizados, tais como a execução de reparos localizados, o uso de inibidores de corrosão, a aplicação de pinturas superficiais sobre o aço e o concreto, a proteção catódica etc. Para o caso específico de corrosão das armaduras de aço decorrente da carbonatação do concreto de cobrimento, tem sido proposto um método de tratamento, conhecido como realcalinização eletroquímica (RAE).

A realcalinização eletroquímica consiste na aplicação de um campo elétrico entre a armadura da estrutura e um ânodo externo, na presença de uma solução alcalina (Figura 1), com o objetivo de restabelecer a alcalinidade do concreto perdida com o processo de carbonatação (BANFILL, 1994; ODDEN, 1994), apresentando as vantagens de ser um tratamento temporário e não destrutivo, visto que não há necessidade de romper estruturalmente o concreto velho (POLDER e Van den HONDEL, 1992).

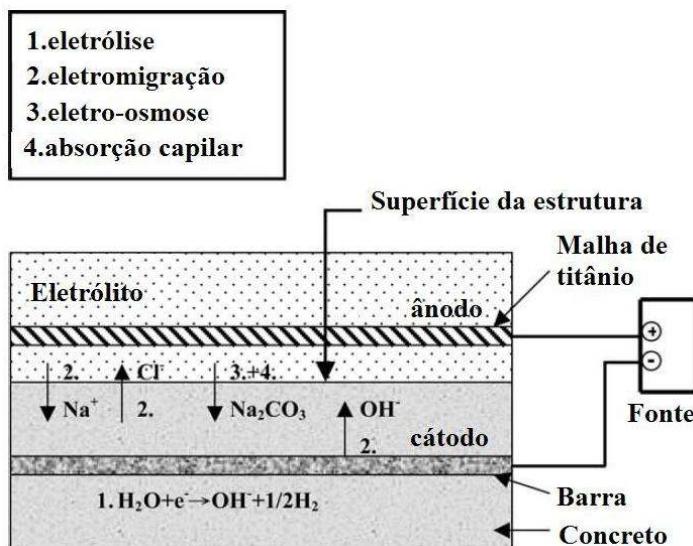


Figura 1 - Ilustração representativa dos mecanismos que ocorrem durante a realcalinização eletroquímica (YEIH e CHANG, 2005).

Atualmente, tem sido considerado que o tratamento de RAE ocorre, inicialmente, em função da geração de hidroxilos no entorno da armadura, devido à eletrólise da água, as quais são parcialmente eletroneutralizadas pela eletromigração dos íons sódio proveniente da solução de Na_2CO_3 (ODDEN, 1994; MIETZ, 1998). Em seguida, o tratamento é completado com o transporte do carbonato de sódio (agente alcalino) na direção da armadura através do mecanismo de eletro-oseose (BANFILL, 1994; ANDRADE *et al.* 1999; CASTELLOTE *et al.*, 2003 e 2006). Qualquer penetração da solução alcalina devido à absorção contribui para o aumento da alcalinidade do concreto de cobrimento, mas nesse caso, essa contribuição se limita a poucos milímetros da superfície (POLDER e Van den HONDEL, 1992). A Figura 1 resume esses fenômenos.

Entretanto, é importante acrescentar que há situações em que o fenômeno de eletro-oseose não se processa de modo significativo, havendo uma prevalência da eletrólise e eletromigração, conforme observado por Bertolini *et al.* (2008).

O principal fator que influencia a RAE é a densidade de carga elétrica passante total, ou, simplesmente, densidade de carga passante, que consiste no produto da densidade de corrente aplicada pelo tempo do tratamento (YEIH e CHANG, 2005), uma vez que a quantidade de hidroxilos produzida próximo à armadura é função dessa densidade de carga que passa entre o cátodo e o ânodo.

Nesse sentido, uma importante questão é como determinar quando a aplicação do tratamento da realcalinização eletroquímica pode ser finalizada. Como a eficiência da realcalinização está

relacionada à densidade de carga passante, na prática, tem-se aplicado empiricamente valores entre 200 a 450 A.h/m², os quais são obtidos com a duração do tratamento entre 8 e 18 dias com a densidade de corrente de 1 A/m² em relação à superfície do aço (BERTOLINI *et al.*, 2004).

Embora a técnica da RAE tenha apresentado eficiência em relação à realcalinização do concreto, a possibilidade de repassivação das armaduras após a aplicação do tratamento ainda é um aspecto em discussão no meio científico. Trabalhos como os de Odden (1994), Andrade *et al.* (1999), Mietz (1998) e Yieh e Chang (2005) se apresentam favoráveis à repassivação das armaduras, embora os resultados apresentados não possam ser vistos como conclusivos. Por outro lado, trabalhos como os de González *et al.* (2000) e Miranda *et al.* (2003) questionam os resultados do tratamento em relação à repassivação da armadura e colocam que a eficiência do mesmo depende do nível de corrosão atingido pela armadura durante o seu período de atividade eletroquímica.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a eficiência do tratamento de RAE quanto a sua capacidade de restabelecer a alcalinidade de concretos carbonatados e de repassivar as armaduras.

3 METODOLOGIA

3.1 Preparação dos corpos de prova

Para o estudo, foram moldados corpos de prova (CP) cúbicos, 8x8x8cm, com a incorporação de duas armaduras de 6,3 mm (aço CA 50) em cada um dos mesmos e com espessura de cobrimento de 2,5 cm (Fig. 2). Antes da moldagem, as barras foram submetidas a um tratamento de limpeza superficial através de escovação mecânica, com o objetivo de evitar a influência de quaisquer oxidações prévias na superfície do metal, além disso, as extremidades inferiores e superiores das barras foram isoladas com fita isolante, delimitando uma área constante de exposição.

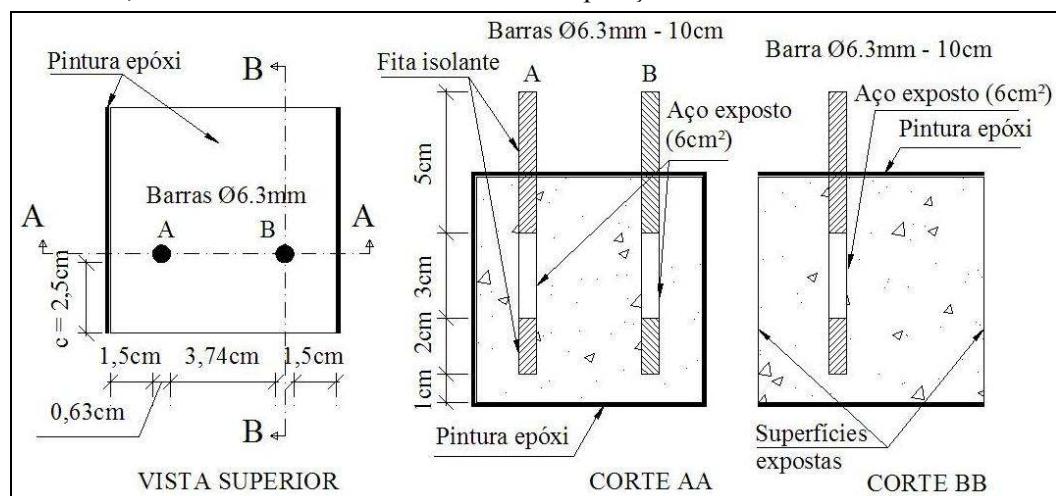


Figura 2 - Disposição das barras nos corpos de prova de concreto.

O concreto foi elaborado com a relação água/cimento 0,65 e utilizando-se o cimento Portland brasileiro tipo CP V (ARI), cuja composição química é apresentada na Tabela 1. A dosagem e características do concreto são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Composição química dos cimentos empregados.

Tipo de cimento	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	RI	PF
CP V - ARI	3,19	18,96	3,92	2,95	61,06	3,08	0,15	1,03	0,67	1,15

Tabela 2 - Caracterização mecânica e física dos concretos empregados.

Tipo de cimento	a/c	Resistência à compressão aos 90 dias (Mpa)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica (g/cm ³)
CP V - ARI	0,65	36,29	4,62	10,21	2,21
Dosagem (1:2,37:2,58) (cimento, areia e pedra granítica)					

As amostras foram curadas por sete dias em câmara úmida e, após 180 dias, submetidas a um processo de carbonatação acelerada (100 % de CO₂), sob uma umidade relativa do ar de 75% ± 8,5% e temperatura de 28,5 ± 1,5°C. Confirmada a despassivação das armaduras, através das técnicas de monitoramento eletroquímicos descritas mais adiante, foi aplicado o método de tratamento de RAE nos CP previamente saturados com água deionizada.

3.2 Aplicação da realcalinização eletroquímica

O método de realcalinização eletroquímica utilizado consistiu na aplicação de um campo elétrico entre as armaduras dos CP e uma malha externa, em intensidade tal que permitisse a passagem de uma densidade de corrente média de 2 A/m² em relação à superfície de concreto exposta. Nesse arranjo, as armaduras presentes no concreto atuaram como cátodo e foram conectadas ao pôlo negativo de uma fonte externa, enquanto que uma malha externa de titânio atuou como ânodo, conectada ao pôlo positivo da mesma fonte. Todo esse sistema atuou imerso em um eletrólito composto de uma solução de Na₂CO₃ (1M). A opção por este nível de densidade de corrente e pelo eletrólito empregado se justificam em função das experiências anteriores apresentadas na literatura (BANFILL, 1994; ODDEN, 1994; MIETZ, 1998; YEIH, 2005).

3.3 Monitoramento e avaliação do tratamento

O tratamento foi constantemente monitorado, sendo considerado completo quando a região realcalinizada atingia toda a espessura do cobrimento (2,5 cm). O monitoramento da frente de realcalinização foi realizado através de CP irmãos, elaborados para este fim, os quais sofreram a análise periódica da alcalinidade do concreto através da aplicação de solução indicadora de pH de timolftaleína (a 1%). Dessa forma, os CP foram periodicamente desbastados no sentido perpendicular das faces expostas e, após a limpeza da superfície do concreto com jato de ar comprimido, sofreram a aplicação da solução de timolftaleína. O desbaste foi feito de modo a se obter uma superfície de corte paralela e o mais próximo possível às armaduras (Fig. 3a).

A partir da relação entre a área realcalinizada e aquela previamente carbonatada, considerando a projeção da superfície exposta da barra até a superfície do concreto (Fig. 3.b), foi possível verificar o avanço da frente de realcalinização. O monitoramento da área realcalinizada foi feito através de análises digitais realizadas com base em imagens registradas nos intervalos de monitoramento.



Figura 3 - Avaliação do avanço da frente de realcalinização no concreto através do emprego de solução indicadora de timolftaleína a 1%.

Medidas de alcalinidade foram realizadas com amostras de concreto extraídas de três diferentes profundidades do cobrimento, para os corpos de prova de referência (REF), carbonatados (CARB) e submetidos ao tratamento da realcalinização eletroquímica (RAE). Neste caso, para os concretos realcanilizados, as amostras foram extraídas 30 dias após o final do tratamento. As amostras foram extraídas das camadas próximas à superfície do concreto (0-8mm), na região intermediária (8-16mm) e no entorno da armadura (16-25mm), todas distanciadas em relação à superfície do concreto. Essas amostras passaram por um processo de obtenção da solução de equilíbrio através da

dissolução/lixiviação de fases das amostras de concreto. Com as soluções obtidas, foram realizadas medidas diretas de pH (através de leitura em pHmetro) e por titulação da concentração de OH^- , segundo procedimento proposto por Castellote *et al.* (2002). Os resultados foram expressos considerando-se a média dos dois valores de pH obtidos para cada amostra.

Em ambas as etapas (carbonatação acelerada e RAE), foi realizado um monitoramento eletroquímico, através de medidas de potenciais de corrosão (E_{corr}) e velocidade de corrosão (i_{corr}). Como critério de avaliação das medidas eletroquímicas, considerou-se que os valores de i_{corr} menores que $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ e de E_{corr} menos eletronegativas que -200mV (ESC) indicavam estado de passivação das armaduras. Esse monitoramento também foi feito após o tratamento, até um período de 6 meses.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir do monitoramento dos parâmetros elétricos, realizado durante a RAE, foi possível a obtenção da resistência ôhmica do sistema armadura-concreto-eletrólito-ânodo, que consiste na razão entre tensão (Volts) e corrente elétrica (μA), cuja evolução é mostrada na Fig. 4.

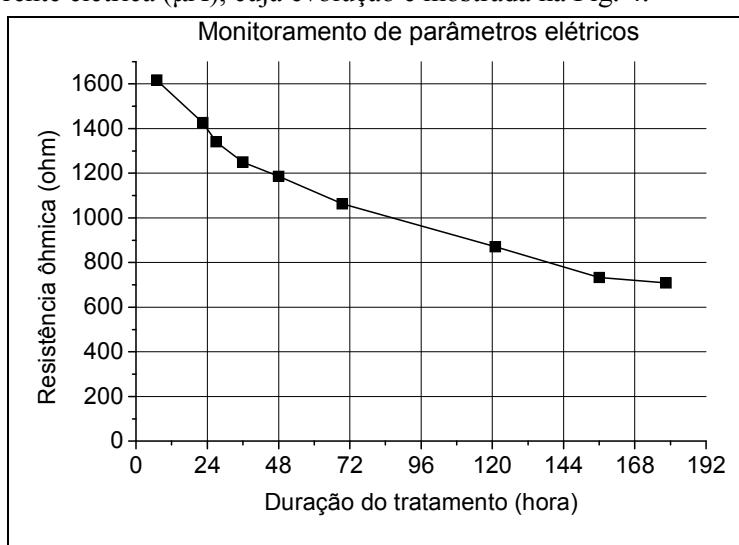


Figura 4 - Evolução dos valores de resistência ôhmica do sistema empregado durante a RAE.

Percebe-se que a resistência ôhmica é inicialmente alta, porém tende a diminuir ao longo do tratamento. De acordo com Polder e Van den Hondel (1992), a resistência do sistema depende da resistividade específica do material e da espessura do concreto de cobrimento e, nesse sentido, uma maior resistência ôhmica irá requerer uma maior voltagem aplicada para se obter certo nível de corrente elétrica. Segundo Andrade *et al.* (1999), inicialmente, a resistividade superficial é muito alta, típica de um concreto carbonatado e ao passo que a resistividade diminui, o fluxo de corrente aumenta e o processo é submetido a uma aceleração.

No monitoramento da RAE, buscou-se observar a duração do tratamento e o comportamento da densidade de carga elétrica passante no sistema (corrente elétrica x tempo de aplicação) necessária para realcalinizar completamente os concretos carbonatados estudados. A Figura mostra esse comportamento através das relações entre a densidade de carga passante, expressa em $\text{A} \cdot \text{h}/\text{m}^2_{\text{concreto}}$ (em relação à superfície do concreto), a duração do tratamento e o avanço da realcalinização, verificado através da aplicação de indicador, conforme os procedimentos já descritos na metodologia.

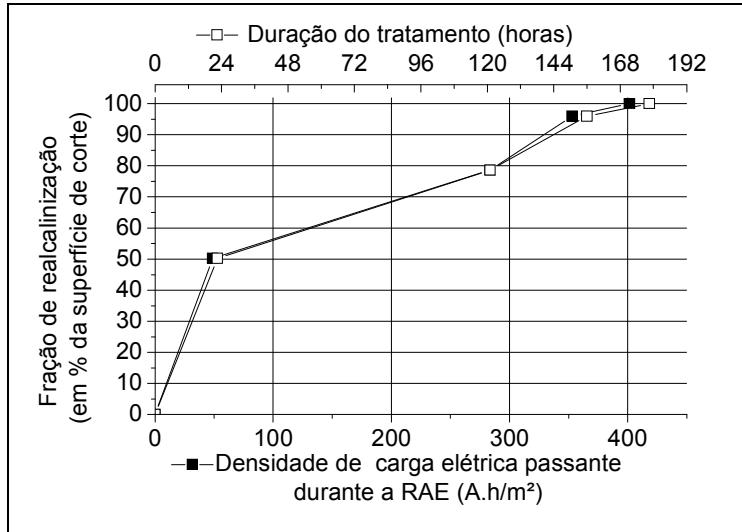
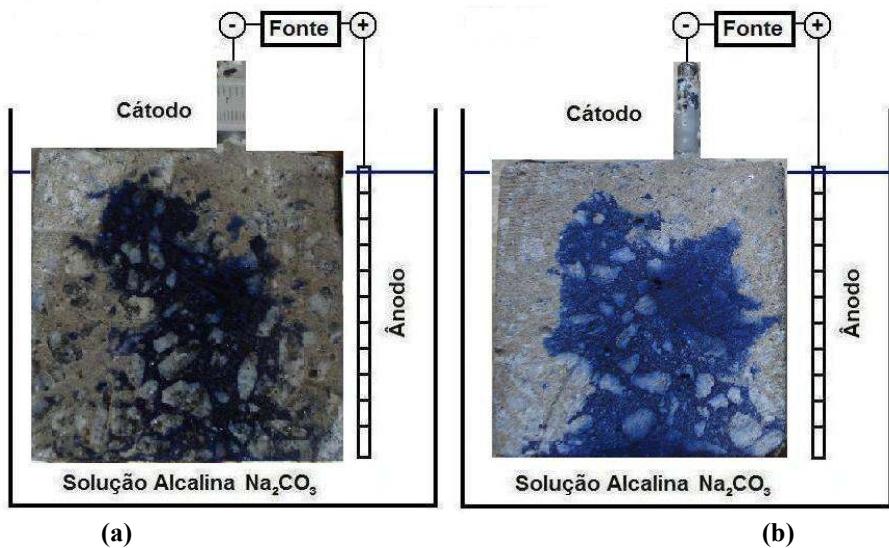


Figura 5 - Avanço da realcalinização em relação à duração do tratamento e à densidade de carga elétrica passante.

Nota-se que o avanço da realcalinização é função da densidade de carga passante. No entanto, há uma tendência de atenuação dessa influência com o crescimento da carga passante, que pode ser justificada pela aproximação dos valores referenciais máximos de pH. Para a completa realcalinização da espessura de cobrimento dos concretos estudados foi necessária a aplicação de aproximadamente 400 A.h/m²_{concreto}, o que equivale a um tempo de aplicação entre 7 a 8 dias de tratamento, utilizando-se uma densidade de corrente elétrica de 2A/m²_{concreto}.

Para esclarecer melhor o avanço da realcalinização, as imagens obtidas no monitoramento da RAE dos concretos estão dispostas na Figura 6.



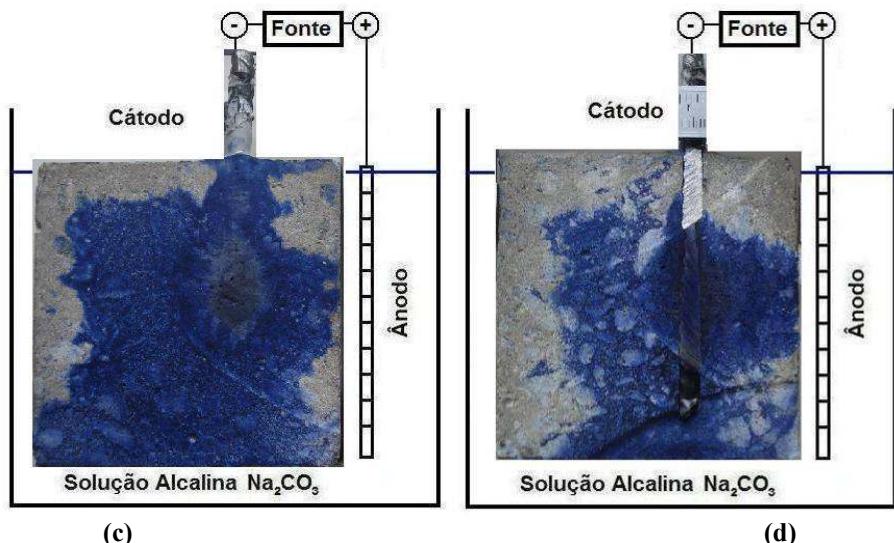


Figura 6 - Verificação do avanço da realcalinização durante a RAE, através da aspersão de solução alcoólica de timolftaleína (a 1%) dos concretos, em aproximadamente: (a) 50%; (b) 79%; (c) 95% e (d) 100%.

A Figura 6a mostra o restabelecimento da alcalinidade de aproximadamente 50% da área previamente carbonatada (área a ser realcalinizada). A Figura 6 (b até d) mostra avanço da realcalinização em aproximadamente 79, 95 e 100%, respectivamente. Observa-se claramente que a realcalinização ocorreu inicialmente no entorno da barra e foi avançando progressivamente em direção à superfície do concreto, apresentando indícios de que a ocorrência da eletrólise da água na região do cátodo foi responsável pelo aumento da alcalinidade nessa região.

A Figura 7 mostra as alcalinidades relativas das amostras de concreto extraídas de três diferentes profundidades do cobrimento, para os corpos de prova de referência (REF), carbonatados (CARB) e submetidos ao tratamento da realcalinização eletroquímica (RAE). A alcalinidade está expressa em valores relativos à amostra que apresentou maior valor de pH entre os concretos estudados.

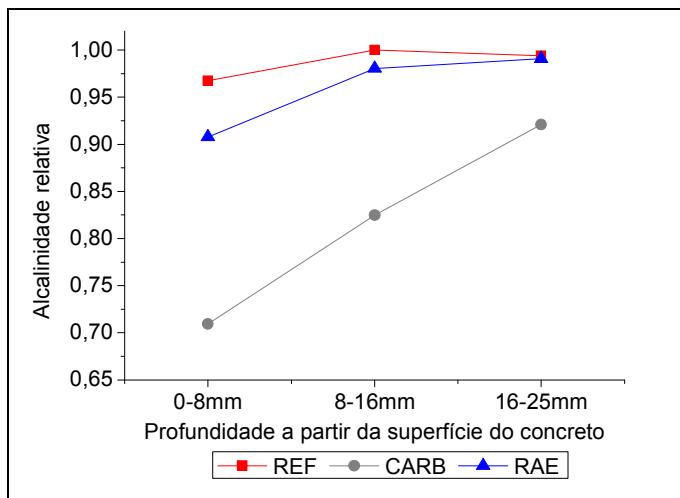


Figura 7 - Alcalinidade relativa de amostras de concreto (REF, CARB e RAE) extraídas a três diferentes profundidades (0-8mm, 8-16mm e 16-25mm) em relação à superfície do concreto.

Percebe-se que as amostras submetidas ao tratamento apresentaram maior alcalinidade do que as amostras carbonatadas, o que comprovou a eficiência da RAE em restabelecer a alcalinidade dos concretos carbonatados. Todavia, mesmo após o tratamento, os concretos submetidos à RAE não alcançaram os mesmos níveis de alcalinidade dos concretos de referência (REF).

Nota-se que o tratamento é eficiente em restabelecer a alcalinidade de toda a espessura do cobrimento, inclusive as camadas mais próximas à superfície do concreto. Entretanto, a alcalinidade dos concretos

submetidos à RAE é, em geral, maior para as amostras extraídas de camadas mais próximas às armaduras. Esse comportamento está de acordo com o observado na Figura 6, onde se observou que a realcalinização ocorreu inicialmente no entorno da barra e foi avançando progressivamente em direção à superfície do concreto.

Portanto, a partir dos resultados obtidos nas Figuras 6 e 7, observa-se que o principal mecanismo responsável pelo restabelecimento da alcalinidade dos concretos carbonatados, nesta pesquisa, foi a produção de alcalinidade no entorno da armadura de aço. Através da aspersão de solução alcoólica de timolftaleína (a 1%) não foi observado nenhum indício sequer da penetração de solução alcalina proveniente da superfície próxima ao anodo.

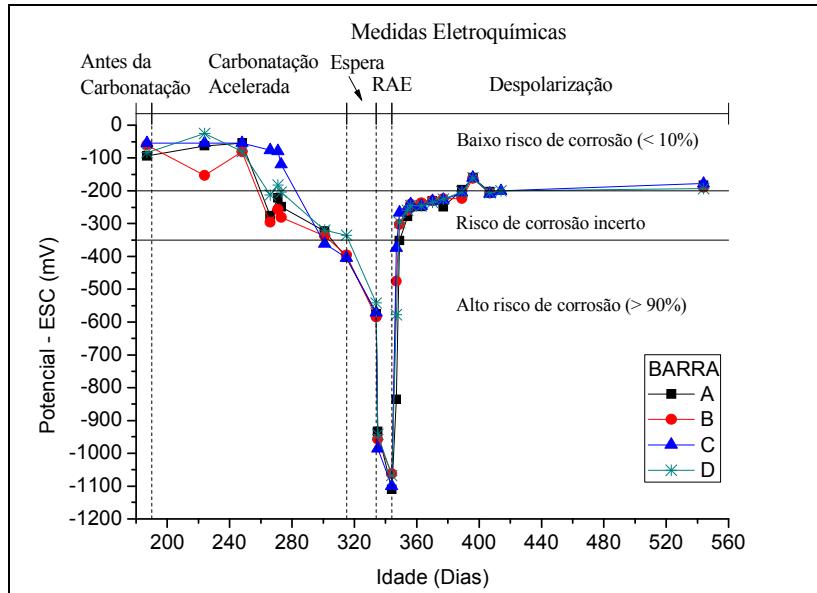


Figura 8 - Alcalinidade relativa de amostras de concreto (REF, CARB e RAE) extraídas a três diferentes profundidades (0-8mm, 8-16mm e 16-25mm) em relação à superfície do concreto.

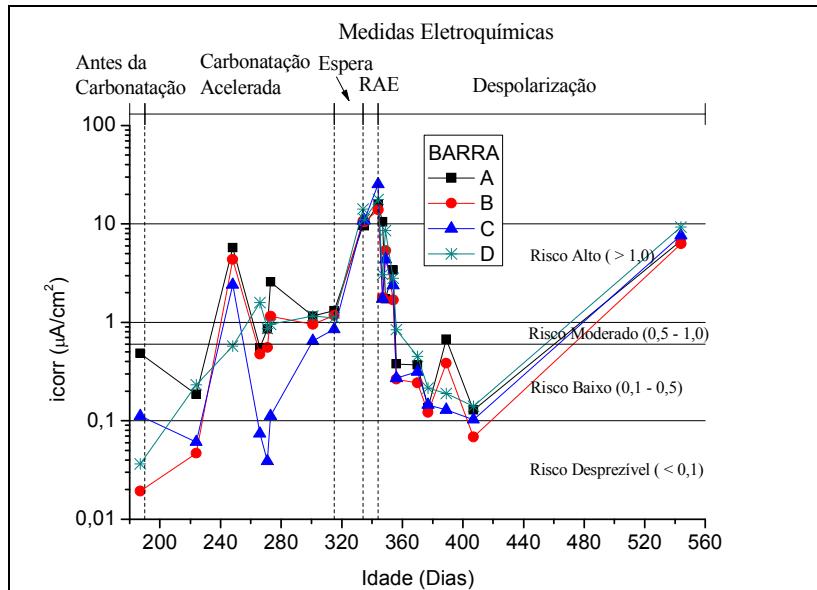


Figura 9 - Alcalinidade relativa de amostras de concreto (REF, CARB e RAE) extraídas a três diferentes profundidades (0-8mm, 8-16mm e 16-25mm) em relação à superfície do concreto.

O resultado do monitoramento eletroquímico pode ser visto nas Figuras 8 e 9. Antes da aplicação da RAE, após o processo de carbonatação acelerada, as armaduras despassivadas chegaram a apresentar potenciais de corrosão de -540 a -590mV. O comportamento dos potenciais de corrosão pode ser observado na Figura 8. Devido à polarização aplicada, durante a RAE, o potencial de corrosão do aço

no concreto muda para valores extremamente negativos. Ao final do tratamento, após desligar o campo elétrico, os potenciais tornam-se gradativamente menos eletronegativos com o tempo, chegando a atingir, após um mês, valores que se estabilizaram em patamares próximos ou menos eletronegativos do que -250mV e, após dois meses, aproximadamente metade das barras apresentaram valores de potenciais menos eletronegativos do que -200mV. Seis meses após o tratamento, todas as barras apresentaram valores de potenciais menos eletronegativos do que -200mV, indicando que armaduras estão em estado de passivação. Comportamento semelhante a este foi observado por Araújo (2009).

De modo semelhante, antes da aplicação da RAE, após o processo de carbonatação acelerada, os valores de velocidade de corrosão das armaduras despassivadas se encontravam entre 9 e 14 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Como consequência da polarização aplicada, a velocidade de corrosão também sofre variações durante e após o tratamento, como pode ser observado na Figura 9, de modo que, durante a RAE, a velocidade de corrosão do aço no concreto aumenta expressivamente. Ao final do tratamento, após desligar o campo elétrico, as velocidades de corrosão decrescem gradativamente com o tempo, chegando a atingir, após um mês, valores variando numa faixa de 0,06 a 0,15 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Por outro lado, embora tenha sido observada uma breve tendência à estabilização das velocidades de corrosão nos primeiros dois meses, seis meses após o tratamento essas velocidades de corrosão tornam a apresentar valores elevados, o que significaria risco elevado de corrosão.

Andrade (1999) alerta que apenas quando o equilíbrio elétrico for restabelecido e a polarização do aço tiver desaparecido completamente, os valores de Rp , e por conseguinte os valores de i_{corr} , podem ser utilizados com segurança para representar o comportamento do aço.

5 CONCLUSÕES

A RAE é um tratamento eficiente em restabelecer a alcalinidade de toda a espessura do cobrimento dos concretos carbonatados. O tratamento proporciona ao concreto carbonatado valores de pH ligeiramente inferiores aos normalmente apresentados por concretos sãos, mas bem superiores aos concretos carbonatados.

O avanço da realcalinização é função da densidade de carga passante. No entanto, há uma tendência de atenuação dessa influência com o crescimento da carga passante, que pode ser justificada pela aproximação dos valores referenciais máximos de pH.

A reação de eletrólise, no entorno da armadura, parece ser a principal responsável pelo desempenho da realcalinização eletroquímica observada nas condições de ensaio adotadas. Esse indício se atribui à forma observada para o avanço da frente de realcalinização, bem como ao emprego de condições não muito favoráveis para a ocorrência da eletro-osmose.

Após o tratamento, os potenciais de corrosão (E_{corr}) mostram uma forte tendência de repassivação das armaduras. Por outro lado, embora haja uma tendência de diminuição dos valores de i_{corr} , estes necessitam de maior intervalo de tempo para fornecerem respostas conclusivas acerca da repassivação das barras. Desse modo, devido às peculiaridades e incertezas das técnicas eletrouímicas, se faz necessária a obtenção de uma série de valores indicativos de passivação para concluir a respeito da efetiva repassivação das armaduras.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.; CASTELLOTE, M.; SARRÍA, J.; ALONSO, C. Evolution of pore solution chemistry, electro-osmosis and rebar corrosion rate induced by realkalisation. **Materials and Structures**, v. 32, p. 427-436. 1999.

ARAÚJO, F. W. C. **Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – CPGECC, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BANFILL, P. F. G. Features of the mechanism of re-alkalisation and desalination treatments for reinforced concrete. In: International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete. **Proceedings** ... University of Sheffield, 1994. p. 1489 – 1498.

- BERTOLINI, L.; ELSENER, B.; PEDEFERRI, P.; POLDER, R. B. **Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair.** Weinheim: WILEY-VCH, 2004. 392p.
- BERTOLINI, L.; CARSANA, M.; REDAELLI, E. Conservation of historical reinforced concrete structures damaged by carbonation induced corrosion by means of electrochemical realkalisation. **Journal of Cultural Heritage**, v. 9, n. 4, p. 376-385, sept - dec. 2008.
- CASTELLOTE, M., ALONSO, C., ANDRADE, C. Determination of the OH content in the aqueous phase of hardened cementitious materials by an empirical leaching method. **Materiales de Construcción**, v. 52, p. 39 – 56. 2002.
- CASTELLOTE, M.; LLORENTE, I.; ANDRADE, C. Influence of the external solution in the electroosmotic flux induced by realkalisation. **Materiales de Construcción**, v. 53, n. 271-272, p. 101-111. 2003.
- CASTELLOTE, M.; LLORENTE, I.; ANDRADE, C.; TURRILLAS, X.; ALONSO, C.; CAMPO, J. In-situ monitoring the realkalisation process by neutron diffraction: electroosmotic flux and portlandite formation, **Cement Concrete Research**, v. 36, n. 5, p. 791–800, may .2006.
- GONZÁLEZ, J.A.; COBO, A.; GONZÁLEZ, M.N.; OTERO, E. On the effectiveness of realkalisation as a rehabilitation method for corroded reinforced concrete structures. **Materials and Corrosion**, v. 51, p. 97-103. 2000.
- MIETZ, J. **Electrochemical rehabilitation methods for reinforced concrete structures – a state of the art report.** European Federation of Corrosion Publications, n. 24, 1998.
- MIRANDA, J. M.; GONZÁLEZ, J. A.; OTERO, E.; COBO, A. Consideraciones sobre la repassivacion-rehabilitacion de lás estructuras corroídas de concreto armado. In: **VII Congresso Latinoamericano de Patología de la Construcción – IX Congresso de Control de Calidad em la Construcción – CONPAT**, Mérida, México, 2003. CD-ROM
- ODDEN, L. The repassivating effect of electro-chemical realkalisation and chloride extraction. In: International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete. **Proceedings ...** University of Sheffield, 1994. p. 1473-1488.
- POLDER, R. B.; HONDEL, H. J. Van den. Electrochemical realkalisation and chloride removal of concrete – state of the art, laboratory and field experience. In: RILEM International Conference on Rehabilitation of Concrete Structures. **Proceedings ...** Melbourne, 1992. p. 135-147.
- YEIH, W.; CHANG, J. J. A study on the efficiency of electrochemical realkalisation of carbonated concrete, **Construction and Building Materials**, v. 19, n. 7, p. 516 – 524, sept. 2005.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo financiamento parcial do projeto e ao laboratório de Engenharia Eletroquímica da Universidade Federal de Campina Grande (Professor Eudésio Vilar e Mestranda Kátia) pelo apoio nas análises de alcalinidade.