

Durabilidade do Betão à Ação Combinada da Carbonatação e dos Iões Cloreto



Raphaela Malheiro¹



Gustavo Camacho¹



Aires Camões¹



Gibson Meira²

Resumo

A corrosão das armaduras de aço tem sido a principal causa de deterioração das estruturas de betão armado em todo o mundo. A ação dos iões cloreto e da carbonatação estão, normalmente, na origem do fenómeno. Ao contrário do que acontece com o efeito individual destes agentes agressores, estudos sobre o efeito combinado no betão ainda são pouco expressivos em quantidade e não reúnem consenso. Sabe-se que, isoladamente, a carbonatação modifica a microestrutura do betão e altera o seu pH. Estes fatores, no contexto da ação combinada, podem ter influência direta na difusão dos cloretos.

Estudou-se a influência da carbonatação na penetração de cloretos. Para tal, foram utilizadas amostras de betão, com cimento CEM I 42,5 R e razão água/ligante de 0,55. Após o período de cura, metade das amostras foram carbonatadas (1, 2 e 7 meses), sob as seguintes condições: 20°C, 55%HR e 4%CO₂. A outra metade, foi protegida de forma a inibir a carbonatação e foi conservada em ambiente de laboratório. Ao fim do período de carbonatação, as amostras com e sem exposição ao CO₂ foram submetidas ao ensaio de migração de cloretos de acordo com a especificação LNEC E463.

Os resultados obtidos permitiram concluir que, para as condições estudadas, o efeito combinado dos agentes agressores traduz-se num aumento da penetração de cloretos no betão quando comparado com o efeito individual dos iões cloreto, o que pode acelerar o processo corrosivo. Este facto pode estar relacionado com o aumento nos grandes poros capilares e com redução na capacidade de fixação de cloretos causado pela carbonatação.

Palavras-chave: Betão; carbonatação; iões cloreto; ação combinada, migração.

¹ Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Braga, Portugal; e-mail: raphamalheiro@gmail.com, gustavo92@live.com.pt, aires@civil.uminho.pt.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, Brasil; e-mail: gibsonmeira@yahoo.com.

1. ESTADO DO CONHECIMENTO

A corrosão do aço no betão é, sem dúvida, a principal causa da deterioração do betão armado. A ação dos íões cloreto e da carbonatação são as principais causas na origem do fenómeno da corrosão [1, 2, 3]. A ação de cada um destes mecanismos de deterioração, de forma isolada, tem sido amplamente investigada. No entanto, observa-se que o estudo sobre a combinação de mecanismos de degradação é algo relativamente recente. Assim, apesar da ação combinada destes agentes ser uma realidade, ainda não há consenso sobre o efeito da ação combinada dos cloretos e da carbonatação sobre a durabilidade do betão.

Sabe-se que a carbonatação modifica a microestrutura e altera o pH do betão. Desta forma, a carbonatação pode influenciar diretamente na difusão de cloretos no betão, seja pela alteração microestrutural, que provoca uma diminuição na quantidade de cloretos penetrada, ou, pelo contrário, através da redução do pH que pode agir libertando os cloretos quimicamente fixados e, consequentemente, aumentando a quantidade de cloretos livres penetrada para o interior do betão.

Recentemente, em sua pesquisa experimental, Chengfang *et al.* [4] concluíram que quanto maior o período de carbonatação, maior também é o coeficiente de difusão de cloretos. Jung *et al.* [5] concluem que a penetração de cloretos é mais pronunciada quando combinada com a ação da carbonatação do que quando ocorre de maneira isolada. No sentido contrário, Ihekwaba *et al.* [6] estudaram a influência da carbonatação sobre a extração eletroquímica de cloretos e afirmam que a difusão de cloretos é retardada pela frente de carbonatação. Ainda neste sentido, Backus *et al.* [3] afirmam que a combinação da carbonatação com o ingresso de cloretos pode agir reduzindo a penetração dos cloretos no betão.

No entanto, a falta de padronização sobre os diferentes parâmetros envolvidos nos ensaios utilizados nas diferentes pesquisas, tais como o tipo de ensaio, temperatura, humidade e concentração de NaCl e CO₂ dificulta a comparação entre resultados.

Assim, de forma a contribuir para esta atual e importante discussão, o artigo em questão aborda a influência da carbonatação sobre o transporte de cloretos em betões, submetidas à ação combinada destes dois agentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS DE ENSAIO

Foram moldados provetes cilíndricos em betão, nas dimensões $\phi 100 \times 200 \text{ mm}^3$, utilizando cimento Portland (CEM I 42,5R) e relação água/cimento igual a 0,55. A composição química do cimento é apresentada no Quadro 1. Também foram utilizados agregados finos com um módulo de finura de 5,04 e agregados grossos com um tamanho máximo de 12,70 mm. A água utilizada foi a da rede pública de abastecimento da cidade de Guimarães - Portugal, uma vez que a mesma costuma apresentar um teor de cloretos bastante reduzido, inferior a 10 mg/L Cl.

Quadro 1. Composição química do cimento Portland.

SiO_2 [%]	Al_2O_3 [%]	Fe_2O_3 [%]	CaO [%]	MgO [%]	SO_3 [%]	K_2O [%]	Na_2O [%]	Cl^- [%]	Perda ao fogo [%]	Resíduo insolúvel [%]	Restantes elementos [%]
20,33	4,59	3,06	62,30	2,12	3,10	0,76	0,19	0,07	1,78	1,21	0,49

Após a sua execução, o betão foi colocado nos respetivos moldes, que permaneceram 24 horas na câmara húmida, protegidos com película plástica para dificultar a evaporação da água da mistura. Passadas 24 horas os provetes foram desmoldados e imersos em água, durante 90 dias. No Quadro 2 é possível verificar algumas propriedades físicas.

Quadro 2. Composição da mistura e propriedades físicas.

Abaixamento [mm]	Resistência à Compressão [MPa]			Absorção Capilar [kg/m ² /min ^{1/2}]	Porosidade Total [%]
	28 dias	90 dias	365 dias		
100,50	33,66	45,16	47,44	0,128	10,50

Após o período de cura, todas as amostras foram cortadas em três fatias sendo que a parte superior e a parte inferior das amostras foram descartadas. Na Fig. 1 é possível ver o provete cortado conforme as indicações anteriores.



Figura 1. Esquema de corte e exposição aos cloretos.

As novas amostras com $\phi 100 \times 50 \text{ mm}$ foram divididas em dois grupos, A e B. O grupo A foi submetido primeiramente ao processo de carbonatação acelerada na câmara de carbonatação (4 % de CO_2 , 20 °C e 55 % HR), seguindo as recomendações da norma europeia [7], durante 1, 2 e 7 meses, enquanto o grupo B (grupo de referência) manteve-se em ambiente de laboratório, embrulhado em papel filme para evitar a carbonatação, durante o mesmo período. Antes de serem submetidas à carbonatação acelerada, as amostras do grupo I foram sujeitas a um pré-condicionamento. O objetivo deste processo foi de equilibrar a humidade em valores próximos ao 60% HR e, posteriormente, redistribuir a humidade interna da maneira mais uniforme possível de modo a conseguir um melhor avanço da frente de carbonatação.

Realizado em três etapas (Fig. 2), o pré-condicionamento começou com a permanência das amostras numa câmara com temperatura e humidade controladas (20 °C e 60 % de HR) até chegar à massa constante. A segunda etapa, revestimento com parafina, consistiu na pintura a quente e consequente eliminação dos poros de todas as faces do provete, exceto a base, que servirá de entrada para o CO_2 . A última etapa consistiu no isolamento com plástico das amostras e a introdução das mesmas na estufa, a uma temperatura de 40°C, durante 20 dias, completando assim o período de pré-condicionamento.



Figura 2. a) Provetes na câmara com temperatura e humidade controladas b) Provetes pitados com parafina c) Provetes na estufa 40°C.

Após o período de carbonatação estudado, e com base no Ensaio de Migração em Regime não Estacionário [8] as amostras do grupo A e B foram ensaiadas. Para as amostras do grupo A, a parafina foi removida e, em seguida, todas as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à penetração de cloretos. As amostras foram previamente saturadas numa solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sob condições de vácuo e armazenadas na mesma solução durante 18 ± 2 h. Posteriormente, foi montado o ensaio como o representado na Fig. 3. A duração do ensaio e voltagens aplicadas foram determinadas com base na corrente inicial pré-estabelecida de 30 V.



Figura 3. Realização do ensaio de difusão de cloretos por migração.

No final do ensaio, as amostras foram partidas diametralmente e de forma perpendicular à direção da penetração dos agentes agressores. Para o grupo B, as metades só foram aspergidas com uma solução de AgNO_3 0,1N a fim de determinar a profundidade de penetração dos cloretos. Já para o grupo A, as metades foram utilizadas de diferentes maneiras: a primeira foi aspergida com uma solução de fenolftaleína (1% álcool etílico a 70%) [9], a fim de determinar a frente carbonatada; e a outra foi aspergida com 0,1N de AgNO_3 . As profundidades de cloretos registadas, foram utilizadas para determinar o coeficiente de difusão dos iões cloreto, D , através da equação de Nernst–Plank [10].

O ensaio de absorção de água por capilaridade, com base na especificação LNEC E393[11], foi realizado ao final dos 7 meses de ensaio a fim de ajudar a conhecer um pouco mais sobre a porosidade do betão, desta forma, auxiliar na discussão dos resultados.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores mostrados abaixo representam a média dos resultados alcançados. Esta média representa o valor de três amostras.

3.1 Profundidade de Carbonatação

De forma a perceber o comportamento de difusibilidade dos cloretos nos provetes carbonatados, é importante conhecer primeiramente as profundidades de carbonatação atingidas para os diferentes períodos de ensaio. Na Fig. 4 são apresentadas as profundidades de carbonatação alcançadas.

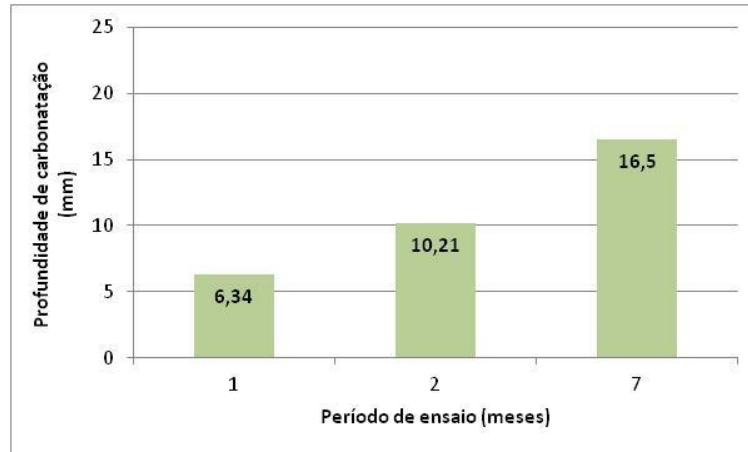


Figura 4. Profundidades de carbonatação atingidas para os diferentes períodos em estudo.

Observando a Fig. 4, a primeira análise a salientar, como esperado, é o aumento da profundidade de carbonatação com o aumento do tempo de exposição ao dióxido de carbono. Do primeiro para o segundo mês de carbonatação houve um aumento de 61% nos valores observados. Já do segundo para o sétimo mês, apesar do espaço temporal ser muito maior, o aumento manteve-se próximo aos 61%.

3.2 Coeficiente de Difusão de Cloretos por Migração

As Fig. 5 e 6 apresentam os coeficientes de difusão de cloretos alcançados para os diferentes períodos de ensaio. Na Fig. 5 é possível ver os valores alcançados para os provetes de referência, ou seja, que não foram submetidos à carbonatação. Já na Fig. 6 apresentam-se os valores alcançados para os provetes carbonatados.

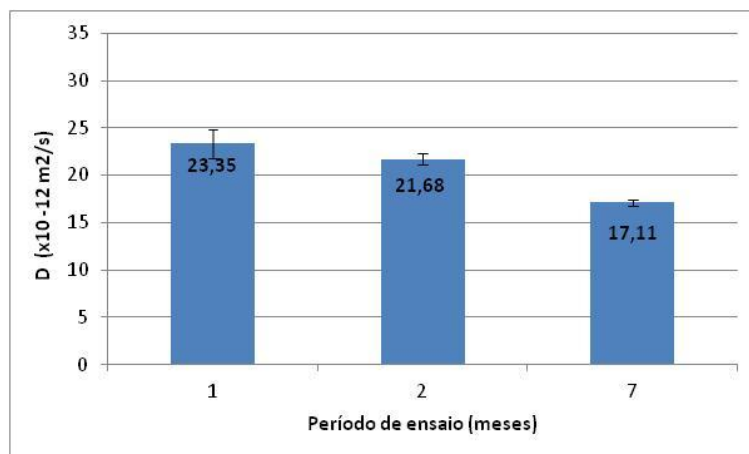


Figura 5. Coeficiente de difusão de cloretos para as amostras de referência.

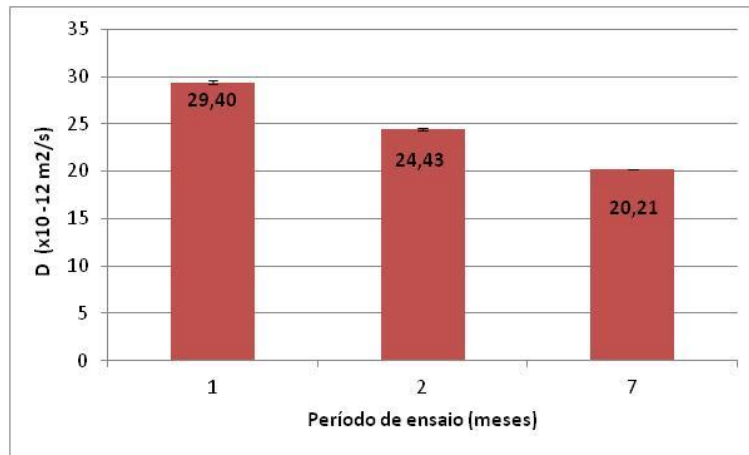


Figura 6. Coeficiente de difusão de cloretos para as amostras carbonatadas.

É possível observar nas figuras acima que, tanto para os betões carbonatados como para os não carbonatados, há uma tendência para diminuição do coeficiente de difusão de cloretos com o aumento do período de ensaio. No caso dos betões não carbonatados esta tendência pode estar relacionada com a hidratação do betão que diminui os poros e, conseqüentemente, diminui a difusão dos cloretos. Esta redução esteve na ordem dos 26%. No caso dos betões carbonatados esta tendência pode estar relacionada também com a diminuição dos poros mas, desta vez, proporcionada pelo processo de carbonatação que conduziu a uma redução no coeficiente de difusão de cloretos na ordem dos 31%.

3.3 Absorção Capilar de Água

Com base nas curvas de absorção capilar obtidas recorreu-se ao método dos mínimos quadráticos para calcular o coeficiente de absorção capilar (S) no tempo tendo em conta os resultados obtidos durante as primeiras 4 horas de ensaio, período este considerado de absorção capilar dos poros de maior diâmetro [12] que funcionam como caminho privilegiado para a penetração de líquidos. Estes valores são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3. Média dos valores de absorção capilar (S) para betões carbonatados e não carbonatados.

	Grupo A (CO ₂ +Cl ⁻)	Grupo B (Cl ⁻)
S [kg/m ² /min ^{1/2}]	0,128	0,289

É possível observar no Quadro 3 que os provetes submetidos à ação combinada da carbonatação e dos cloretos apresentam menor coeficiente de absorção capilar do que os provetes submetidos à ação exclusiva dos cloretos.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para as condições estudadas, observa-se que o betão carbonatado apresenta um coeficiente de difusão de cloretos mais elevado do que o betão de não carbonatado, independentemente do período de ensaio (Fig. 7). O aumento no coeficiente de difusão pode estar relacionado com dois aspectos principais: o aumento dos grandes poros capilares e a redução na capacidade de fixação de cloretos.

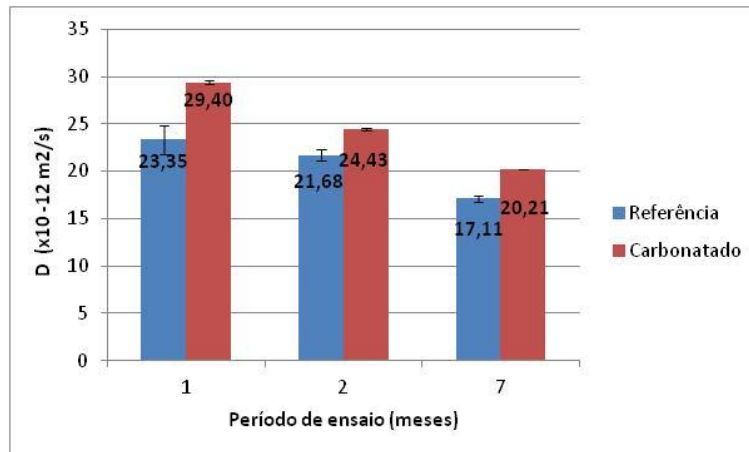


Figura 7. Comparação entre os resultados de coeficiente de difusão de cloretos obtidos para as amostras carbonatas e as não carbonatadas durante os três períodos de ensaio estudados.

Ngala e Page [13] estudaram o efeito de carbonatação na estrutura dos poros e descobriram que, após a carbonatação, há uma redução na porosidade total, mas a proporção de poros grandes capilares é aumentada para as pastas de cimento sem adição. Para as condições estudadas, e observando o Quadro 3, este fenómeno parece não ter ocorrido pois o betão carbonatado apresenta um menor coeficiente de absorção capilar. No entanto, é possível que o sal, proveniente do ensaio de migração, possa ter bloqueado fisicamente os grandes poros capilares e modificado o resultado esperado.

O aumento no coeficiente de difusão de cloretos pode estar também relacionado com a redução na capacidade de fixação dos cloretos causada pela carbonatação. A fixação de cloretos em matrizes cimentícias é dominada pelo teor de C_3A e C_4AF não importando a fonte do cloreto [14]. Ambos C_3A e C_4AF formam sal de Friedel, mesmo com $NaCl$. No entanto, a estabilidade do sal de Friedel está relacionada com o pH da solução do poro [15] e, em betão carbonatado, a alcalinidade da solução do poro é muito baixa [16] e pode dificultar a formação deste sal. Além disso, a adsorção de cloreto é dominado pela quantidade de gel de CSH [14] e o gel de CSH também pode ser carbonatado. Consequentemente, existe uma dificuldade na adsorção de cloreto. Esta dificuldade associada à redução da capacidade de fixação de cloretos pode aumentar a quantidade de cloretos livres e, consequentemente, aumentar o coeficiente de difusão de cloretos.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é possível concluir, para as condições estudadas, que a carbonatação tem uma influência direta sobre o coeficiente de migração cloretos, aumentando-o, o que pode acelerar o processo corrosivo. Este facto pode estar relacionado com o aumento nos grandes poros capilares e com a redução na capacidade de fixação de cloretos causado pela carbonatação e que, consequentemente, aumenta a quantidade de cloretos transportados para o interior do betão, podendo ser a principal razão para o efeito verificado.

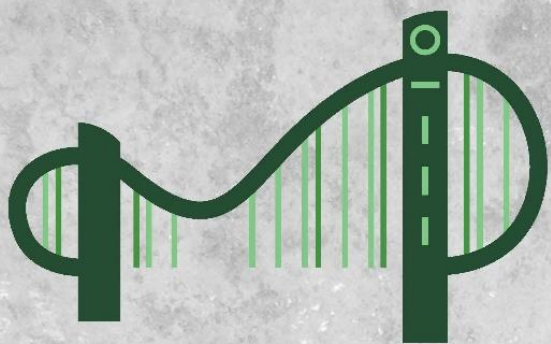
6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho pelo auxílio nas atividades deste projeto de pesquisa. Os autores também agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] CASCUDO, O. Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas

- Eletroquímicas, São Paulo: Pini, 2ed, 1997.
- [2] CHINDAPRASIRT, P.; RUKZON, S.; SIRIVIVATNANON, V. Effect of Carbon Dioxide on Chloride Penetration and Chloride Ion Diffusion Coefficient of Blended Portland Cement Mortar. *Construction and Building Materials*. v.22, 2008, 1701–1707.
 - [3] BACKUS, J.; McPOLIN, D.; HOLMES, N. Monitoring the interaction of combined mechanisms in the deterioration of concrete. In: *Cement and Concrete Science Conference*, Queen’s University Belfast, 2012, Paper Number PRE38.
 - [4] CHENGFANG, Y.; DITAO, N.; DAMING, L. Effect of Carbonation on Chloride Diffusion in Fly Ash Concrete. *Disaster Advances*. v.5, n.4, 2012.
 - [5] JUNG, S.; CHOI, Y.; LEE, B. Influence of carbonation on the chloride diffusion in concrete. In: *International Conference on Sustainable Building*, Seoul, Korea, 2007.
 - [6] IHEKWAHA, N. M.; HOPE, B.B.; HANSSON, C.M. Carbonation and Electrochemical Chloride Extraction from Concrete. *Cement and Concrete Research*, v.26, n.7, 1996, 1095-I 107.
 - [7] CEN/TS 12390-12. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Testing hardened concrete - Part 12: Determination of the potential carbonation resistance of concrete: Accelerated carbonation method, Brussels, (2010).
 - [8] LNEC E 463. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Betões. Concrete. Determination of diffusion coefficient of chlorides from non-steady-state migration test. Lisboa, (2004).
 - [9] RILEM CPC-18. Measurement of hardened concrete carbonation depth. *Materials and Structures* (1988).
 - [10] TANG, L.; NILSSON, L. O.: Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electrical field. *ACI Materials Journal* Vol. 89 (1991), p.49-53.
 - [11] LNEC - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. Betões. Determinação da absorção de água por capilaridade. - LNEC E 393, Lisboa, 1993
 - [12] COUTINHO, J. S. Melhoria da Durabilidade dos Betões por Tratamento da Cofragem. Porto, 1998, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto.
 - [13] NGALA, V. T.; PAGE, C. L. Effect of carbonation on pore structure and diffusional properties of hydrated cement pastes. *Cement and Concrete Research* (1997) 27: 995-1007.
 - [14] HARALD JUSTNES. A review of chloride binding in cementitious systems <http://www.betong.net/ikbViewer/Content/739010/doc-21-4.pdf>, viewed in 12/01/2016.
 - [15] SRYAVANSHI, A. K.; SWAMY, R. N. 1996, ‘Stability of Friedel’s Salt in Carbonated Concrete Structural Elements’, *Cement and Concrete Research*, 26 [5], 729-741.
 - [16] GONI, S.; GUERRERO, A. Accelerated carbonation of Friedel’s salt in calcium aluminate cement paste, *Cement and Concrete Research*, 33, 21-26, 2003.



ENCONTRO NACIONAL

Betão Estrutural

2 a 4 Novembro 2016

DEC - Universidade de Coimbra



• U



C •

Apoios Institucionais

O BE 2016 foi organizado conjuntamente pelo Grupo Português de Betão Estrutural e pela Universidade de Coimbra.

A divulgação do evento teve o apoio da Ordem dos Engenheiros, da Ordem dos Arquitectos e da Ordem dos Engenheiros Técnicos.

Patrocínios



Parceiro Media



Comissão Organizadora

Sérgio Lopes (presidente)

Rui Faria (GPBE)

Adelino Lopes

Alberto Martins

Alfredo Dias

Isabel Pinto

Luís Costa Neves

Ricardo Costa

Sandra Monteiro

Comissão Científica

Manuel Pipa (presidente)

A. Adão da Fonseca

A. Bettencourt Ribeiro

A. Pinho Ramos

Ângela Nunes

António Batista

António Costa

António Reis

Arlindo Gonçalves

Armando Rito

C. Chastre Rodrigues

Carlos Félix

E. Cansado de Carvalho

Eduardo Júlio

Fernando Branco

H. Melão Barros

J. Almeida Fernandes

M. J. Esteves Ferreira

J. Sena Cruz

Joana Coutinho

João Almeida

João Ramôa Correia

João Veludo

Joaquim Barros

Joaquim Figueiras

Jorge de Brito

José Câmara

José Manuel Catarino

Júlio Appleton

Leonor Nascimento

Lino Maia

Luciano Jacinto

Luís Bernardo

Mário Pimentel

Mary Mun

Miguel Azenha

Miguel Lourenço

Paulo Barros

Paulo Cachim

Paulo Lourenço

Rui Faria

Sandra Nunes

Sérgio Lopes

Válter Lúcio

Índice

Artigo
n.º

Conferências

- História da construção de pontes de betão em Portugal 141
Júlio Appleton
- Novidades na normalização relativa à produção de estruturas de betão 142
Arlindo Gonçalves
- Experiência no desenvolvimento e aplicação de sistemas de monitorização de estruturas 143
Joaquim Figueiras, Carlos Rodrigues, Helena Figueiras e Carlos Félix
- Estruturas de betão - normas, projecto e ensino 144
João Almeida
- Tendencias en el diseño de puentes de hormigón sustentados por cables: relación entre concepción y construcción 145
José Romo

Artigos

Tema 1 - O Material. Caracterização e novas tecnologias de produção.

- Tensão de cedência dos aços de varões para betão armado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas 13
António M. Baptista e João Filipe
- Tensão de rotura dos aços de cordões para betão pré-esforçado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas 15
António M. Baptista e João Filipe
- Utilização Racional de Betão de Elevada Resistência em Lajes Fungiformes 22
Micael Inácio, André Almeida, Válder Lúcio e António Ramos
- Revisão dos sistemas de classificação da qualidade superficial do betão à vista 23
Elson Almeida e Narciso Carretero
- Influência da resistência do betão e do tipo de fibra na interface fibra/matriz ligante 28
Tiago Simões, Carlos Octávio, Jónatas Valença, Hugo Costa, Daniel Dias-Da-Costa e Eduardo Júlio

Desempenho mecânico de betões com baixa dosagem de cimento <i>Hugo Costa, Helena Alves, Emanuel Freitas e Eduardo Julio</i>	30
Controlo em obra da resistência do betão. Que critérios aplicar? <i>Arlindo Gonçalves, Manuel Vieira e André Monteiro</i>	31
Estudo experimental de vigas de betão armado com varões de GFRP com cabeça de ancoragem como armadura de esforço transverso <i>Patrícia C. C. Escórcio e Paulo M. França</i>	39
Participação Portuguesa no programa inter-laboratorial Europeu RRT+ da ação COST TU1404: Fase de ensaios preliminares <i>Miguel Azenha, José Granja, Sofia Ribeiro, Carla Costa, Pedro Silva, Ana Chaves e Marijana Serdar</i>	47
Quantificação das propriedades estruturais do betão de barragens. Parte 1 - Caracterização probabilística das propriedades potenciais a partir de resultados de ensaios <i>Renato Pereira, António Lopes Batista e Luís C. Neves</i>	52
Quantificação das propriedades estruturais do betão de barragens. Parte 2 - Estimativa das propriedades reais a partir das propriedades potenciais <i>Renato Pereira, António Lopes Batista e Luís C. Neves</i>	53
Aderência entre varões de aço inoxidável e betão com baixa dosagem de ligante <i>Emanuel Freitas, Hugo Costa, Ana Louro, Manuel Pipa e Eduardo Júlio</i>	60
Resposta à tração uniaxial de sistemas FRP híbridos <i>Filipe Ribeiro, José Sena-Cruz, Sandra Nunes, Fernando G. Branco e Eduardo Júlio</i>	63
Produção e modelação numérica de abobadilha em microbetão reforçado com fibras discretas de sisal <i>Paulo R. L. Lima, Joaquim A. O. Barros, Alex Borges, Cintia M. A. Fontes e José M. F. Lima</i>	67
Argamassa auto-compactável com pó de mármore <i>André Destefani, Sandra Nunes e Joana Coutinho</i>	77
Resistência mecânica de painéis compósitos de betão leve aligeirado com granulado de EPS <i>Lino Maia e José Santos</i>	91
Aderência de varões nervurados em compressão <i>Ana Sofia Louro, Fábio Amendoeira, Manuel Pipa e Válder Lúcio</i>	94
Comportamento de concreto com substituição de agregado miúdo convencional por agregado miúdo reciclado <i>Matheus Lucas Duarte, Daiane Dos Santos Da Silva Godinho, Elaine Guglielmi Pavei Antunes e Ângela Piccinini</i>	99

Avaliação do calor gerado na massa de BA <i>Adelino Vasconcelos Lopes, Sergio Lopes e Maria Isabel Moita Pinto</i>	104
Sensitive smart concrete loaded with carbon black nanoparticles for monitoring purposes <i>André Monteiro, Paulo Cachim, Pedro Costa e Markus Oeser</i>	112
Caracterização do comportamento a tração do UHPFRC: influência da dosagem e orientação das fibras <i>Amin Abrishambaf, Mário Pimentel e Sandra Nunes</i>	118
Desenvolvimento de Betão Branco Estrutural Leve com Agregados de Cortiça para Aplicação no Terminal de Cruzeiros <i>Jorge Galvão, Vitor Vermelhudo, Angela Nunes, Julieta António e Sérgio Correia</i>	127
Tema 2 - Durabilidade e análise do ciclo de vida	
Análise da Viabilidade da Aplicação do Aço Inoxidável em Ambientes Marítimos <i>Cláudia Canha e José Santos</i>	2
Durabilidade do Betão à Ação Combinada da Carbonatação e dos Iões Cloreto <i>Raphaele Malheiro, Gustavo Camacho, Aires Camões e Gibson Meira</i>	33
Efeitos de distintas condições ambientes na durabilidade de lajes de betão armado reforçadas com laminados de CFRP pré-esforçados <i>Luís Correia, Jose Sena-Cruz, Paulo França, Julien Michels, Eduardo Pereira e Gonçalo Escusa</i>	68
Durabilidade da ligação de elementos de betão reforçados com laminados de CFRP de acordo com a técnica NSM <i>Pedro Fernandes, Jose Sena-Cruz, Jose Xavier, Patricia Silva e Sérgio Soares</i>	71
Retração autogénea em betão de ultra-elevado desempenho reforçado com fibras <i>Ana Mafalda Matos, Sandra Nunes, Carla Costa e José L. Barroso Aguiar</i>	73
Análise do ciclo de vida de estruturas: Proposta de integração entre metodologia BIM e a especificação COBie <i>Maria João Falcão Silva, Filipa Salvado, Paula Couto e Álvaro Vale E Azevedo</i>	81
Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida em Estruturas de Betão Armado <i>Catarina Simões, Maria João Falcão Silva e Paula Couto</i>	100

Tema 3 - Análise e dimensionamento

Comportamento em situação de incêndio de vigas de betão armado reforçadas com laminados de CFRP instalados em rasgos: ensaios de resistência ao fogo e simulações numéricas <i>João P. Firmo, Mário R. T. Arruda e João R. Correia</i>	1
Geração e Análise do Modelo de Estruturas BIM <i>Alcinia Zita Sampaio e Vitalino Azevedo</i>	3
Modelo BIM de estruturas utilizado no planeamento da construção <i>Alcinia Zita Sampaio e Claudia Mota</i>	4
Blocos de fundação em concreto armado utilizado na ligação com pilar pré-fabricado: estudo experimental <i>Rodrigo Barros, Fabiana Stripari Munhoz e José Samuel Giongo</i>	5
Análise em ELU e ELS de vigas de concreto armado de alta resistência submetidas à flexão com base na ABNT NBR 6118:2014 <i>Mariana Varela Medeiros e Rodrigo Barros</i>	6
Estudo Experimental sobre a Resistência ao Esforço Transverso de Lajes de Tabuleiros de Pontes em Betão Armado sob Acções Estáticas e de Fadiga <i>Francisco Natário, Miguel Fernández Ruiz e Aurelio Muttoni</i>	10
Um modelo 3D discreto de partículas para análise da fractura em betão armado <i>Nuno Azevedo e Maria Luisa Farinha</i>	16
Comportamento da Ligação Pilar-Capitel para a Acção Sísmica <i>José Câmara e Filipe Reis</i>	20
Análise Experimental ao Punçoamento de Lajes Fungiformes em BRFA Sujeitas a Acções Vertical e Horizontal Cíclica <i>Nuno Gouveia, Duarte Faria e António Ramos</i>	24
Utilização de modelos compósitos na determinação da deformabilidade do betão de barragens <i>Carlos Serra, António Lopes Batista e Nuno M. Azevedo</i>	25
Influência do Processo Construtivo na Resposta de Edifícios Altos de Betão <i>Ruben Correia e Paulo Silva Lobo</i>	29
Análise da influência do comportamento não linear do betão armado numa cortina de contenção autoportante <i>Miguel Ferraz, Cândido Freitas, Manuel Fernandes e Carlos Félix</i>	34

Estudo comparativo do dimensionamento de betão armado de acordo com Eurocódigo 2 e ABNT NBR6118:2014 <i>Rui Vaz Rodrigues e Daniela Gutstein</i>	40
Ferramenta baseada no método das diferenças finitas 2D para cálculos térmicos expeditos de faseamento construtivo de estruturas de betão em massa <i>Luís Bidarra Fernandes e Miguel Azenha</i>	46
Representação do comportamento viscoelástico com endurecimento com modelos detalhados de partículas: calibração dos parâmetros das leis constitutivas <i>Carlos Serra, Nuno Monteiro Azevedo e António Lopes Batista</i>	48
Formulação de fenda discreta embebida para análise tridimensional de fratura em materiais quase-frágeis <i>Carlos Octávio, Daniel Dias-Da-Costa, Jorge Alfaiate e Eduardo Julio</i>	49
Efeito do Escorregamento dos Varões no Recentramento de Estruturas de Betão Armado <i>Paulo Silva Lobo, João Almeida e Luís Guerreiro</i>	54
Análise e simulação da resposta estrutural de uma obra de arte atirantada sob ação térmica <i>Emanuel Tomé, Mário Pimentel e Joaquim Figueiras</i>	56
Coefficientes parciais de segurança para o dimensionamento da ligação de sistemas NSM FRP no betão <i>Mário Coelho, Jose Sena-Cruz e Luis Neves</i>	64
Lei constitutiva para a simulação da ligação de sistemas NSM FRP no betão <i>Mário Coelho, Antonio Caggiano, Jose Sena-Cruz e Luis Neves</i>	65
Comportamento da aderência de sistema de reforço NSM-CFRP na presença de diferentes tipos de adesivos <i>Ricardo Cruz, Anja Borojevic, Jose Sena-Cruz, Eduardo Pereira, Pedro Fernandes, Patricia Silva e Arkadiusz Kwiecien</i>	69
Influência do tipo de adesivo no comportamento à flexão de faixas de laje reforçadas com sistemas NSM-CFRP <i>Ricardo Cruz, Anja Borojevic, Jose Sena-Cruz, Patricia Silva, Pedro Fernandes e Arkadiusz Kwiecien</i>	70
Análise do desempenho da técnica CREAtE para reforço à flexão de vigas de betão armado com armaduras de aço inoxidável <i>Noel Franco, Carlos Chastre e Hugo Biscaia</i>	74
Dimensionamento de armaduras mínimas em lajes restringidas considerando a interação solo-estrutura <i>Carlos Sousa, Rui Faria e Emanuel Felisberto</i>	79

Estruturas porticadas de edifícios em betão armado em Portugal: amostragem e efeitos da aplicação da regulamentação europeia <i>Paulo B. Lourenco, Paula Assis e Ana Rei</i>	84
Análise Numérica de Juntas de Interface de Estruturas Pré-fabricadas com Armaduras Contínuas sujeitas ao Carregamento Cíclico <i>César Campos, Zuzana Dimitrovová e José Camara</i>	96
Deformação de Vigas de BA sujeitas à flexão <i>Sergio Lopes e Adelino Vasconcelos Lopes</i>	105
Resistência ao Esforço Transverso de Vigas de BA <i>Adelino Vasconcelos Lopes e Sergio Lopes</i>	106
Modelo analítico não linear para analisar as ligações CFRP/betão <i>Hugo Biscaia, Carlos Chastre, Noel Franco e João Cardoso</i>	108
Ligações em superfícies curvas entre compósitos de FRP e betão sujeitas a temperaturas elevadas <i>Hugo Biscaia, Carlos Chastre, Manuel Silva e Noel Franco</i>	109
Aplicação de modelos de campos de tensões para vigas de acoplamento de paredes de betão estrutural <i>Miguel Pedrosa Ferreira, João Almeida e Miguel Lourenço</i>	115
Modelo analítico para a repartição de carga em poços profundos de betão armado <i>Miguel Luzia Parrinha e Rui Vaz Rodrigues</i>	119
Estudo numérico da variabilidade do esforço axial em pilares de betão armado sujeitos a ações sísmicas <i>Hugo Rodrigues, André Furtado, Rita Silva e Antonio Arede</i>	124
Formulação Analítica do Momento-Curvatura de Secções Retangulares de Betão Armado <i>Pedro Dias Simão, Helena Barros, Tatiana Marques e Carla Ferreira</i>	128
Estudo sobre a influência das paredes de alvenaria num edifício alto em Belém do Pará 1 <i>Vito Donato Sabia, Elói Figueiredo e Aduino Nascimento</i>	135
 Tema 4 - Estruturas especiais. Obras de arte.	
Optimização de forças e secções dos tirantes de pontes atirantadas de betão <i>Alberto Martins, Luís Simões e João Negrão</i>	42

Modelo probabilístico para a representação das subpressões nas fundações de barragens de betão <i>Renato Pereira, António Lopes Batista e Luís C. Neves</i>	50
Modelo probabilístico para representação do nível de água na albufeira em análises de fiabilidade de barragens de betão <i>Renato Pereira, António Lopes Batista e Luís C. Neves</i>	51
Aplicação de Monitorização Multi-Sensor a uma Ponte Pedonal <i>António Barrias, António Henriques, Carlos Félix, António Pestana e Joaquim Figueiras</i>	82
Análise do desempenho de um sistema para monitorização de deslocamentos em estruturas baseado em GNSS e em técnicas de fusão multisensor <i>Rui Seabra, Daniel Magalhães, Carlos Félix e Carlos Rodrigues</i>	83
Utilização de uma abordagem de estado no desenvolvimento de modelos de EF3D para análise dinâmica de sistemas barragem-fundação-albufeira <i>André Alegre, Sérgio Oliveira, Margarida Espada e Romano Câmara</i>	97
Análise do comportamento estrutural do Viaduto Misto Parque da Maia sob o efeito do tráfego de serviço com recurso ao sistema de Monitorização Estrutural em funcionamento na obra de arte. <i>José Carvalhal, Mário Pimentel e Joaquim Figueiras</i>	113
Observação e Análise do Comportamento dinâmico da Ponte de São João, sobre o rio Douro <i>Min Xu, Luis Oliveira Santos e Naim Suleyman</i>	131
 Tema 5 - Reabilitação e reforço de estruturas	
Reabilitação de vigas de betão armado com varões de GFRP <i>Patrícia C. C. Escórcio e Paulo M. França</i>	36
Alteração e reforço em estrutura dum edifício destinado a hotel. <i>Carlos A. P. Martins e José Paulo Costa</i>	57
Investigação experimental de lajes reforçadas com sistemas NSM CFRP submetidas a temperaturas até 80 °C <i>Patricia Silva, Jose Sena-Cruz, Miguel Azenha e Pedro Fernandes</i>	72
Reforço ao punçoamento de lajes fungiformes com lâmina complementar de betão <i>Hugo Fernandes, Válder Lúcio e António Ramos</i>	75
Análise Custo-Benefício: Aplicação à reabilitação estrutural <i>Maria João Falcão Silva, Filipa Salvado e Manuel Baião</i>	80

Aplicação de uma análise custo-benefício na reabilitação de estruturas de betão armado apoiadas em “pilotis” 120
Manuel Tavares Da Silva, Maria João Falcão Silva e António Cabaço

Reabilitação do conjunto de edifícios na Avenida Duque de Loulé n.86, n.90 e n.94 em Lisboa 136
Vasco Appleton, João S. Dias, Inês A. Avó e João Appleton

Tema 6 - Casos de obra

Novo Centro de Escritórios e Congressos em Lisboa - Reconversão profunda a partir de um conjunto de edifícios de betão armado existentes 7
Nuno Travassos, João Sousa Dias, Hugo Rodrigues, Rui Pombo e João Appleton

Projeto de um Viaduto na NBR 381 - Aplicação das Normas Brasileiras 14
Antonio Costa, Julio Appleton, João Saraiva e Nuno Travassos

Viadutos ao km 0+276 e km 6+725 situados na albufeira da barragem de Tabellout, Argélia 55
Victor Barata, João Henriques e Pedro Pereira

Edifício de Expansão do Centro Santander Totta em Lisboa 87
João Almeida, Bruno Freitas e David Gama

Terceira Ponte do Bósforo: tabuleiros largos em betão armado pré-esforçado 103
Ricardo Afecto, Nuno Lopes e António Reis

Avaliação da vulnerabilidade sísmica de um edifício escolar no Nepal - Proposta de soluções de reforço 125
Pedro Sá, Hugo Rodrigues, André Furtado, Humberto Varum, Nelson Vila Pouca e Andre Barbosa

Novo Edifício da DCNS em Toulon, França 139
André Graça, José Oliveira Pedro e Luís Guedes de Melo

Centro Comercial Nice One. Estruturas de Betão Armado e Cobertura Metálica 140
Nuno Lopes, Augusto Gomes e Francisco Virtuoso

COST TU 1406

Comportamento de interfaces entre betões de idades diferentes sujeitas a acções cíclicas de esforço transversal combinado com momento flector 18
Eduardo Cavaco, José Camara, Tiago Almeida e Jorge Proença

COST Action TU1406 Quality Specifications for Roadway Bridges (BridgeSpec) 19
Jose Matos, Joao Fernandes, Sergio Fernandes e Neryvaldo Galvao

Inspeção de Pontes e Viadutos em Betão Armado na Ilha da Madeira <i>Rúben Jesus, Paulo Silva Lobo e Vitor Brito</i>	32
A Problemática da Gestão de Obras de Arte sob Tutela Municipal. <i>Marlena Sousa, Joana Almeida e Cristina Costa</i>	35
Monitorização da integridade estrutural e da durabilidade do Viaduto Salah Bey em Constantine, na Argélia <i>Luís Oliveira Santos, Min Xu, Carlos Almeida Santos, Tiago Vieira e José Roma</i>	90
SHMmensus: monitorização da integridade estrutural via aplicação web <i>Helena Figueiras, Carlos Rodrigues, Carlos Félix e Joaquim Figueiras</i>	130
Algoritmos inteligentes para deteção de dano em pontes sob variabilidade operacional e ambiental <i>Pedro Campos, Adam Santos, Eloi Figueiredo e J. Costa</i>	138
 Prémio Jovens Mestres	
Tabuleiros de pontes híbridas betão-aço: Modelos de dimensionamento para as regiões de ligação <i>Pedro Esteves, João Almeida e José Oliveira Pedro</i>	151
Modelos de Campos de Tensões para Betão Estrutural - Aplicações ao Projeto de Reforço de Fundações <i>Bernardo Catalão</i>	152
Seismic Assessment of an Old Reinforced Concrete Building in the City of Lisbon <i>Duarte Santos, Rita Bento e João Almeida</i>	153
Análise de lajes maciças de edifícios atendendo aos efeitos da retração restringida e às ações gravíticas <i>Emanuel Felisberto, Rui Faria e Carlos Sousa</i>	154
Avaliação experimental da resposta cíclica em flexão biaxial com esforço normal de pilares de betão armado reparados após dano prévio <i>Pedro Teixeira, António Arêde, Hugo Henriques e André Furtado</i>	155
Simulação Numérica do Efeito de Explosivos em Painéis de Betão Armado Reforçados com Argamassas Armadas <i>Hugo Rebelo, Gabriel Gomes e Corneliu Cismaşiu</i>	156