

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/325465016>

INFLUÊNCIA DA EXSUDAÇÃO NA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS

Influence of exudation in the depth of carbonation in concrete

Conference Paper · October 2015

CITATIONS

0

READS

2

4 authors, including:



Marina Martins Mennucci

University of São Paulo

26 PUBLICATIONS 85 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Jairo José de Oliveira Andrade

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

25 PUBLICATIONS 39 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Denise C.C. Dal Molin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

99 PUBLICATIONS 730 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Desenvolvimento de métodos e metodologias para avaliação de desempenho de tecnologia inovadoras no Âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica [View project](#)



Investigation of industrial by-products to developing environmentally-friendly building materials [View project](#)

INFLUÊNCIA DA EXSUDAÇÃO NA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS

Influence of exudation in the depth of carbonation in concrete

Amanda Catusso(1); Marina M. Mennucci(2); Jairo Andrade(3); Denise C. C. Dal Molin(4)

(1) *Amanda Catusso, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul/NORIE-Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação*

(2) *Professora Doutora Marina M. Mennucci, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul/NORIE-Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação*

(4) *Professora Doutora Denise C. C. Dal Molin, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Av. Osvaldo Aranha, 99 – Prédio Castelinho, Porto Alegre/RS*

(3) *Jairo Andrade, PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul*

* *jairo.andrade@pucls.br*

Resumo

Sempre acreditou-se que as estruturas de concreto armado conservavam suas características físicas, químicas e estruturais ao longo do tempo. Desta forma, essas estruturas eram projetadas para satisfazerem condições de segurança e estabilidade. Durabilidade e vida útil não eram levadas em consideração. Entretanto, construções vêm apresentando altos níveis de degradação, indicando que seus materiais constituintes estão reagindo com o ambiente onde estão inseridos. Afim de privilegiar aspectos de durabilidade em novos projetos, a revisão da NBR 6118 (ABNT, 2007 e 2014) passou a determinar critérios para o concreto, considerando aspectos de agressividade ambiental e de qualidade do concreto. Este artigo avalia a influência da exsudação na profundidade de carbonatação em concretos. A exsudação é um fenômeno que resulta no aparecimento de água na superfície do concreto após ele ser lançado e adensado, e antes de ocorrer a pega. Para a realização do estudo foram utilizados quatro tipos de cimento e três relações água/cimento. Moldou-se os corpos de prova e depois da cura foram expostos a um ambiente natural protegido. Foram tiradas fatias dos mesmos ao longo do tempo e, após aspersão de fenolftaleína, mediu-se suas profundidades de carbonatação em cada face do corpo de prova. Independente do tipo de cimento ou relação água/cimento, observou-se que a exsudação e, conseqüentemente, a maior quantidade de poros na face superior da fôrma ocasionou maiores profundidades de carbonatação em comparação as demais faces, chegando a uma diferença de mais de 200% em relação à parte inferior.

Palavra-Chave: Exsudação, Carbonatação, Concreto.

Abstract

It was believed that reinforced concrete structures retained their physical, chemical and structural characteristics with time. Therefore, these structures were designed to satisfy safety and stability conditions. Durability and service life were not taken into account. However, constructions have shown high levels of degradation, indicating that its constituent materials are reacting to the environment where they are inserted. In order to prioritize aspects of durability in new projects, the review of the NBR 6118 (ABNT, 2007 and 2014) started to determine criteria for concrete, considering aspects of environmental aggression and quality of concrete. This paper evaluates the influence of exudation in the depth of carbonation in concrete. The exudation is a phenomenon that results in water appearance on the concrete surface after it is released and dense, and occur before hardening. For carry out the study, it used four types of cement and the three water/cement ratios. Samples were molded and after curing were exposed to a protected natural environment. Over time, slices samples were taken and, after spraying phenolphthalein was measured their depths of carbonation on each side of the specimen. Regardless of the type of cement and water/cement ratio, it was observed that the exudation and therefore the greatest amount of pores in the upper face of the mold caused greater depths it carbonation compared others, reaching a difference of more than 200 % in relation to the bottom (underside).

Keywords: Exudation, Carbonation, Concrete.

1 Introdução

Antigamente as estruturas eram projetadas para satisfazerem às condições de segurança e estabilidade. Os aspectos relacionados à questão de durabilidade e desempenho ao longo da sua vida útil não eram levados em consideração, visto que imaginava-se que o concreto armado conservava as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas praticamente inalteradas ao longo do tempo. Contudo, as estruturas vêm apresentando elevados índices de degradação, transformação dos materiais ao interagirem com o meio ambiente, visto que há estreita dependência entre a estrutura e o meio ambiente onde a mesma está inserida.

A fim de privilegiar os aspectos de durabilidade no projeto de novas estruturas, a revisão da NBR 6118 (ABNT, 2007) estabeleceu critérios a serem aplicados para o concreto, considerando aspectos de agressividade ambiental e de qualidade do concreto. Também a NBR 15575 (ABNT, 2013) passou a estabelecer um período mínimo de 50 anos, no qual manifestações patológicas ou anomalias não pode ser justificado pelo envelhecimento natural. Para que tal período seja atingido, a degradação da estrutura deve ser evitada a todo custo. Diversos trabalhos realizados no exterior (MEHTA, 1993; STEWART e ROSOWSKY, 1998) e no Brasil (CARMONA e MAREGA, 1988; DAL MOLIN, 1988; ARANHA, 1994; NINCE, 1996; ANDRADE, 1997) mostram que a corrosão de armaduras é a responsável por grande parte dos danos nas estruturas, com índices de ocorrência variando entre 27% e 64%. A despассивação da armadura é causada principalmente pelo ataque de íons cloreto e de dióxido de carbono (carbonatação).

A carbonatação é um fenômeno onde os compostos hidratados do cimento e o dióxido de carbono, presente na atmosfera, reagem resultando na redução do pH do concreto. Tal fenômeno deve ser evitado pois quando o concreto em contato com a barra de aço da armadura atingir pH de valores próximos a 9 ocorrerá a destruição da camada passivadora, podendo desencadear a corrosão da armadura e a diminuição de sua vida útil.

A exsudação é um fenômeno que resulta no aparecimento de água na superfície do concreto após ele ser lançado e adensado (Figura 1) e antes de ocorrer a pega [MEHTA & MONTEIRO (2008)]. Vários fatores podem influenciar a ocorrência da exsudação: o aumento da relação água/cimento pode reduzir sua velocidade mas aumenta a quantidade de água exsudada.



Figura 1 – Exsudação em piso de concreto armado – Cleantec - 16/03/2012

Neste trabalho foi analisada a influência da direção de concretagem nas profundidades de carbonatação em corpos de prova. Os resultados obtidos para corpos de prova confeccionados com quatro tipos de cimento, três relações água/cimento em um ambiente de exposição natural foram comparados, tendo como objetivo o estudo do fenômeno da exsudação e sua contribuição para a ocorrência da carbonatação.

2. Programa Experimental

2.1. Metodologia

Para a confecção dos corpos de prova que foram utilizados os quatro tipos de cimento Portland mais utilizados no Brasil (99% em 2013): CP II F (3,07 g/cm³), CP III AF (2,96 g/cm³), CP IV (2,79 g/cm³) e CP V ARI (3,10 g/cm³). Os proporcionamentos dos concretos foram elaborados a partir do método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1992), para um abatimento fixado em 10,0 ± 2,0 cm e constam nas tabelas 1 a 4. Como agregado graúdo foi utilizada pedra britada de origem basáltica com D_{máx} = 19 mm e massa específica igual a 2,9 g/cm³. Como agregado miúdo, areia natural de origem quartzosa oriunda do Rio Jacuí, com módulo de finura igual a 2,4 e massa específica igual a 2,63 g/cm³ e água de amassamento proveniente da rede pública de abastecimento. Utilizaram-se três relações água cimento: 0,45, 0,55 e 0,65. Os corpos de prova foram moldados em formatos prismáticos com dimensões de 10 x 10 x 35 cm, para cada tipo de cimento moldaram-se dois corpos de prova por relação água/cimento, totalizando 8 exemplares de concreto. Passadas 24 horas os mesmos foram desmoldados e inseridos na câmara úmida para a cura. Cada corpo de prova recebeu uma identificação em baixo relevo indicando o tipo de cimento e a relação água/cimento.. Esta identificação localizava-se na face superior da fôrma, como indicado na Figura 2.

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m ³)	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	490	0,40	95
	Areia	1,39	30,82	681,1		
	Brita	2,12	47,01	1038,8		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	370	0,50	90
	Areia	2,18	36,33	806,6		
	Brita	2,82	47,00	1043,4		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	295	0,63	120
	Areia	2,98	39,68	879,1		
	Brita	3,53	47,00	1041,35		

Tabela 1 – Proporcionamento de materiais para os concretos moldados com o CP IV

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m ³)	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	500	0,39	105
	Areia	1,39	30,82	695		
	Brita	2,12	47,01	1060		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	380	0,47	110
	Areia	2,18	36,33	828,4		
	Brita	2,82	47,00	1071,6		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	308	0,53	110
	Areia	2,98	39,68	917,84		
	Brita	3,53	47,00	1087,24		

Tabela 2 – Proporcionamento de materiais para os concretos moldados com o cimento CP V

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m ³)	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	513	0,34	100
	Areia	1,39	30,82	713,07		
	Brita	2,12	47,01	1087,56		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	386	0,42	110
	Areia	2,18	36,33	841,48		
	Brita	2,82	47,00	1088,52		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	310	0,51	100
	Areia	2,98	39,68	923,8		
	Brita	3,53	47,00	1094,3		

Tabela 3 – Proporcionamento de materiais para os concretos moldados com o cimento CP II F

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m ³)	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	491	0,41	120
	Areia	1,39	30,82	682,49		
	Brita	2,12	47,01	1040,92		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	378	0,47	110
	Areia	2,18	36,33	824,04		
	Brita	2,82	47,00	1065,96		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	303	0,56	100
	Areia	2,98	39,68	902,94		
	Brita	3,53	47,00	1069,59		

Tabela 4 – Proporcionamento de materiais para os concretos moldados com o cimento CP III AF



Figura 2 – Marcação realizada nos corpos de prova

Após a cura, os corpos de prova foram expostos ao ambiente natural protegido. Entende-se desprotegido um ambiente onde o corpo de prova está exposto à todas as intempéries e protegido aquele onde há uma proteção superior (Figura 3) que impede a incidência direta da chuva mas proporciona o mesmo contato com a atmosfera presente no desprotegido.



Figura 3 – Corpos de prova expostos protegidos

2.2. Análise das Faces

Para o estudo e comparação das faces garantiu-se que havia um espaçamento mínimo de 5 cm entre cada corpo de prova, possibilitando que todas as faces sofressem a mesma ação do ambiente. Através da demarcação em baixo relevo pode-se nomear as faces sendo a superior, que possuía a marcação, a face (a) e as demais, no sentido anti-horário, as faces (b), (c) e (d). As idades iniciais das leituras das profundidades carbonatadas estão apresentadas na Tabela 5, e foram estabelecidas em função das porosidades diferenciadas dos concretos

Relação a/c	Leitura Inicial (dias)	Periodicidade (meses)
0,45	28 (1ª leitura)	6
0,55	7 (1ª leitura)	4
0,65	3 (1ª leitura)	2

Tabela 5 – Idades iniciais e periodicidade das leituras de profundidade carbonatada

A periodicidade das medições das profundidades carbonatadas dos corpos de prova de concreto foram ajustadas de acordo com o valor obtido da primeira medição, conforme tabela 5. Para os concretos com relação água/cimento igual a 0,45 a cada 6 meses; com relação água/cimento igual a 0,55 a cada 4 meses e para os concretos com relação água/cimento igual a 0,65 a cada 2 meses.

Ao atingirem as idades determinadas os corpos de prova foram retirados do seu ambiente de exposição e levados a laboratório, onde, com a ajuda de uma prensa, tirou-se uma fatia de cada. Posteriormente, a parte interna das fatias recebeu uma aspersão de fenolfetaleína que ao reagir indicou a área da amostra onde o pH já havia reduzido. A parte íntegra era representada pela cor roxa que indicava um pH acima de nove, já a parte incolor indicava onde o substrato já havia sofrido os efeitos da carbonatação e seu pH já se aproximava de oito e meio ou nove (Figura 4)



Figura 4 – Corpo de prova CP III – AF, a/c= 0,55 que recebeu aspersão de fenolfetaleína.

Com a ajuda de um paquímetro eletrônico foram tiradas cinco medidas de cada face da fatia, como apresentado na Figura 5, onde evitou-se o agregado ou picos que estivessem discrepantes dos demais pontos e que possivelmente influenciariam na media final da profundidade de carbonatação. Esses dados foram tabelados e, com a ajuda do software Excel, foram gerados gráficos onde é possível comparar a diferença de profundidade de carbonatação entre as fases.

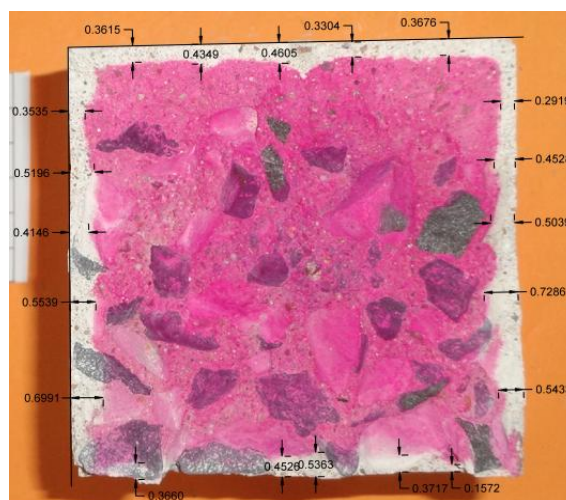
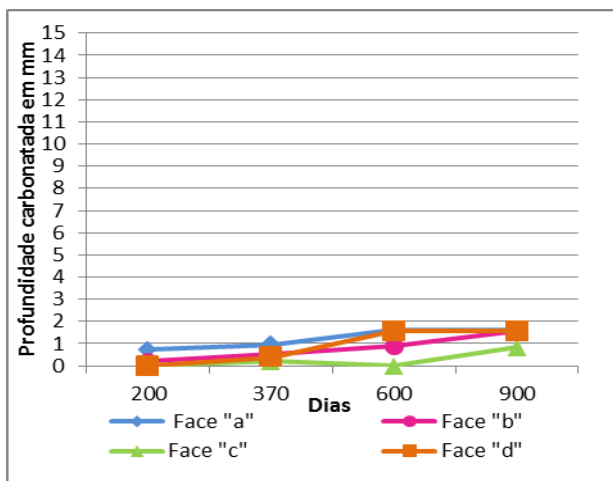


Figura 5 – Medições das profundidades de carbonatação nas faces de um corpo de prova de concreto.

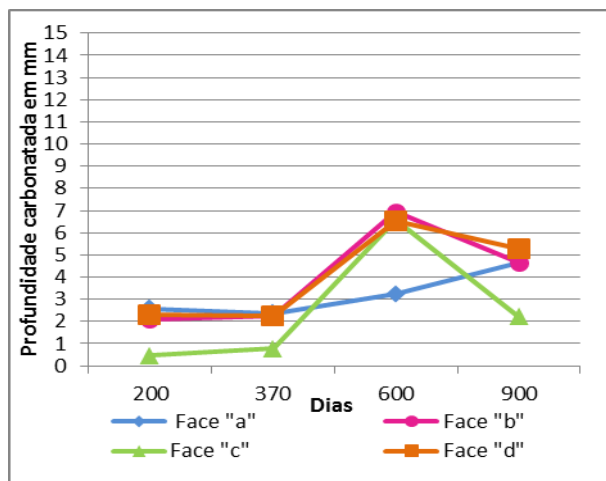
3. Resultados

As Figuras 6 a 9 apresentam os resultados obtidos após a coleta das profundidades carbonatadas. De uma forma geral observa-se que independente do tipo de cimento ou relação água/cimento a face superior apresentou maiores profundidades, chegando em diferenças de até 200%. Isto pode ser explicado pelo fenômeno da exsudação.

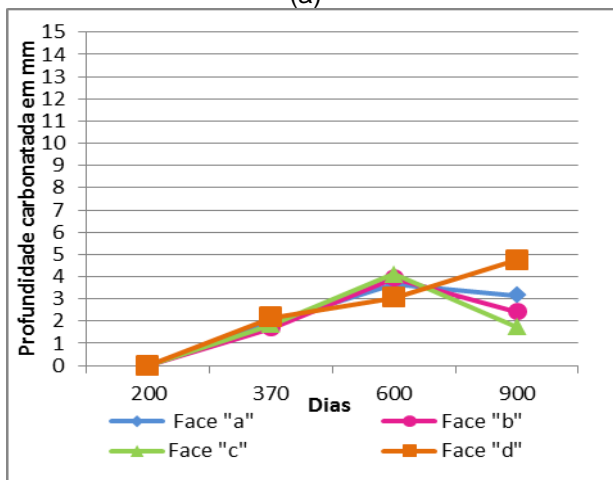
Conforme ilustrado na Figura 10, durante o adensamento dos materiais a água livre pode migrar para a superfície, o que causa uma maior relação água/cimento na face (a) do que na face (c). Após a evaporação da água a face (a) se mostrou mais porosa e conseqüentemente mais suscetível à ação do dióxido de carbono. Ao se fazer uma analogia com elementos de construção como vigas e lajes, a face (a) não seria tão afetada pela carbonatação, sendo que normalmente, no caso das lajes, há um revestimento ou cobertura devido ao emprego de pisos ou impermeabilizações. Já no caso de vigas, a face real que sofreria com agentes degradantes seria a face (c), pois geralmente a face (a) está em contato com lajes ou outros elementos, o que não seria um problema visto que a face(c) se mostra menos afetada por esses agentes.



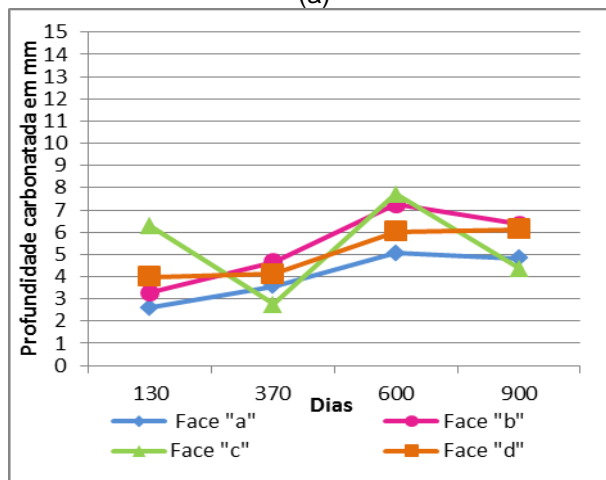
(a)



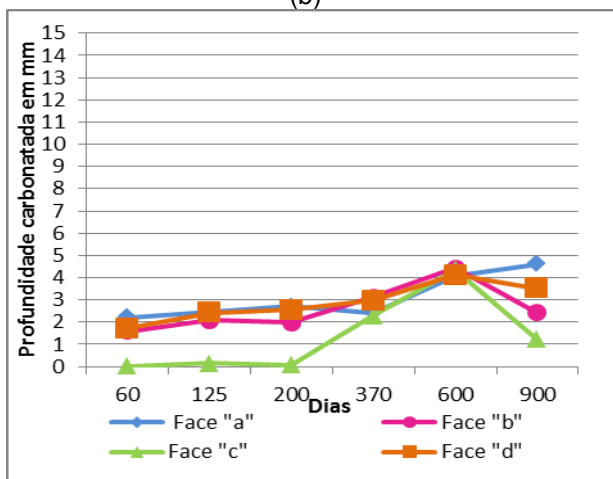
(a)



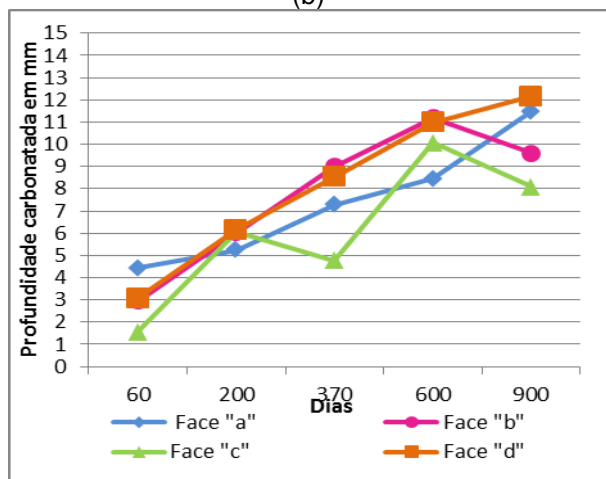
(b)



(b)



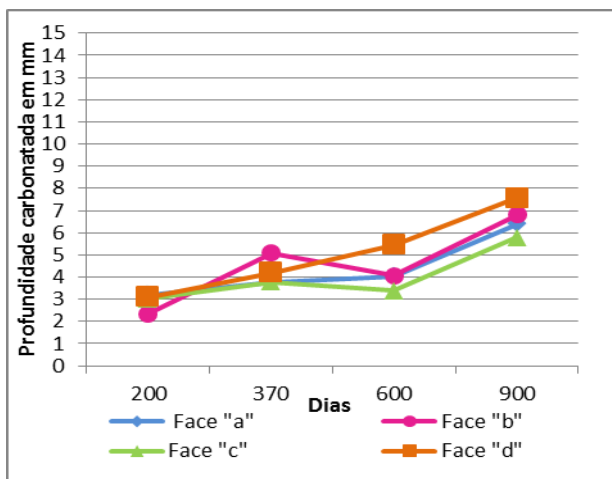
(c)



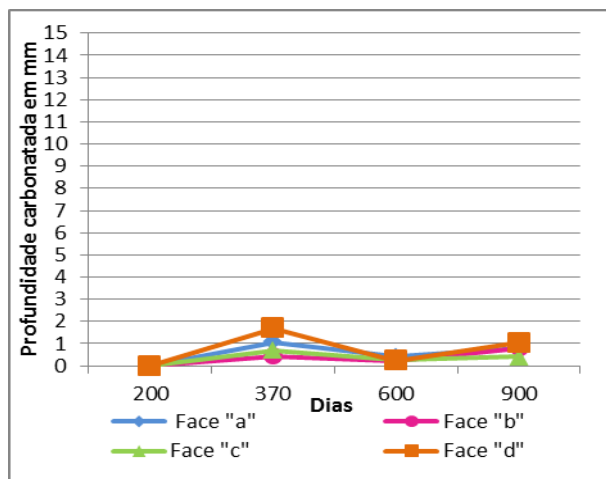
(c)

Figura 6 - Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP II com $a/c=0,45$ (a), $a/c=0,55$ (b), $a/c=0,65$ (c).

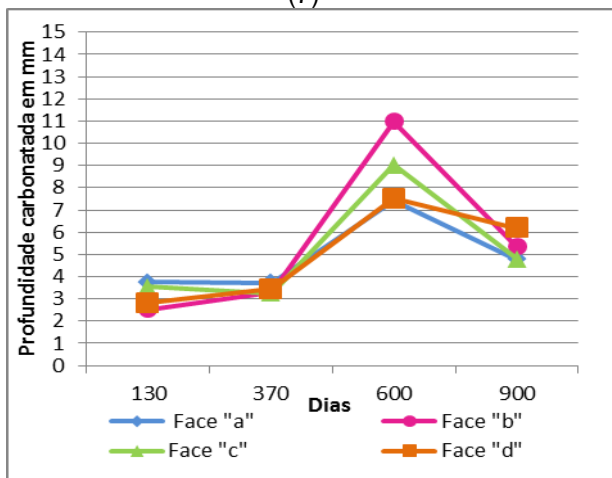
Figura 7 - Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP III com $a/c=0,45$ (a), $a/c=0,55$ (b), $a/c=0,65$ (c).



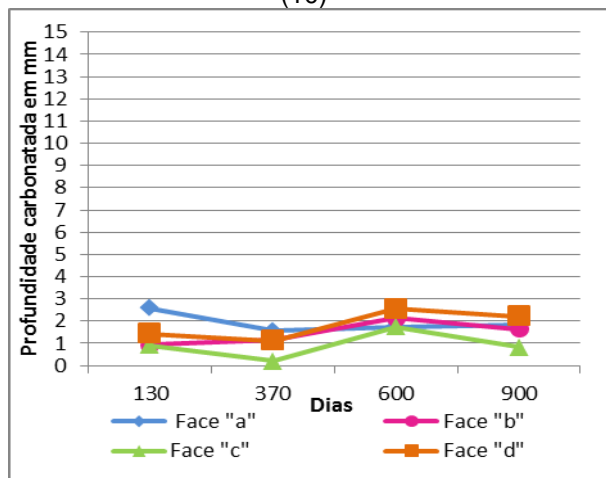
(7)



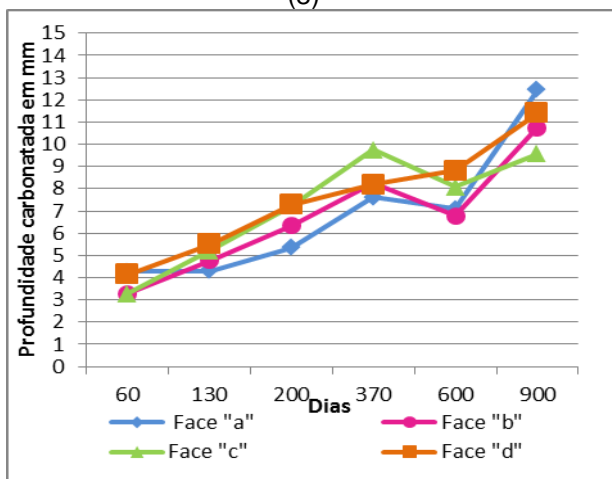
(10)



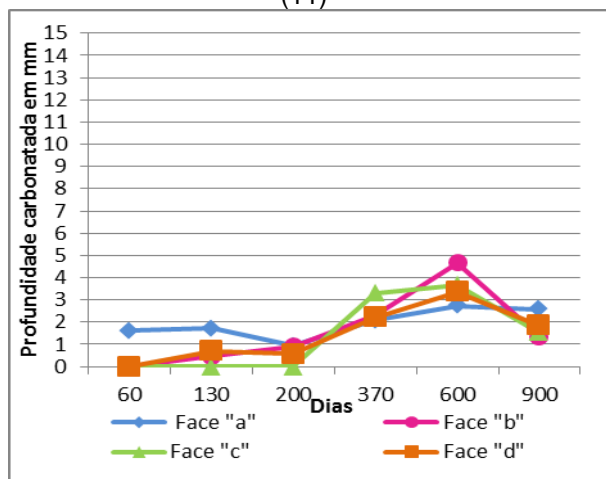
(8)



(11)



(9)



(12)

Figura 8 - Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP IV com $a/c=0,45$ (a), $a/c=0,55$ (b), $a/c=0,65$ (c).

Figura 9 - Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP V ARI com $a/c=0,45$ (a), $a/c=0,55$ (b), $a/c=0,65$ (c).

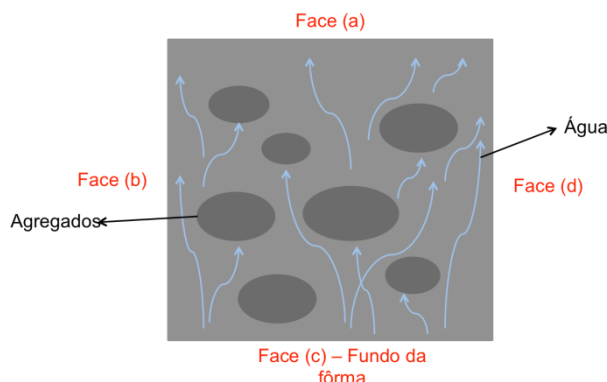


Figura 10 - Representação do fenômeno da exsudação da água nos corpos-de-prova.

Essa análise separada de faces é muito reveladora, tornando possível notar a influência que o mal proporcionamento e a má execução de um elemento tem sobre sua vida útil. Ao se calcular apenas a média geral das faces pode-se mascarar os valores reais encontrados. Discrepâncias das faces e fenômenos como o da exsudação podem passar despercebidos.

Também é possível notar que cimentos que possuem adição de material pozolânico ou escória de alto forno apresentaram maiores profundidades, seguindo a ordem de mais para menos carbonatado: CP IV > CP III > CP II F > CP V ARI. Quanto maior a quantidade de adição maior o fenômeno da exsudação, que também se mostra mais recorrente em concretos com maior relação água/cimento.

Entretanto, em algumas amostras foi possível observar que o adensamento em concretos favoreceu maiores profundidades carbonatadas na face (c) devido a maior concentração de agregados e conseqüentemente a presença da área de transição pasta/agregado que possui maior relação água/cimento. Em alguns exemplares a concentração dos agregados é mais significativa e nestes casos a única pasta presente próxima à face (c) é a de transição, o que acaba resultando em valores de profundidades carbonatadas próximos ou até superiores aos encontrados na face (a) do mesmo exemplar. Fazendo analogia, novamente, a vigas e lajes, é de extrema importância que haja controle e disciplina na hora de concretar tais elementos, pois mesmo que a segregação não fique visível na parte externa, sua ocorrência deve ser evitada para que a durabilidade do elemento não seja prejudicada.

4. Conclusão

A partir dos resultados obtidos no programa experimental, foi possível verificar que independente do tipo de cimento (CP II, CP III, CP IV ou CP V) ou relação água/cimento (0,45, 0,55 ou 0,65) utilizadas, as profundidades de carbonatação nas faces superiores das fôrmas, mais sujeitas à exsudação, foram maiores que às das faces laterais e inferiores, chegando a diferenças de mais de 200% em alguns casos.

5. Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

CAFANGE, D. M. P. J. **Estudo de Métodos e Medidas Auxiliares para o Controle da Resistência à Carbonatação de Concretos Estruturais de Cimento Portland**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1988.

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