

Avaliação da penetração acelerada de cloretos em concretos moldados com cimento Portland branco estrutural

A.P. Kirchheim¹, A. Passuelo², D.C.C. Dal Molin³, L. C. P. Silva Filho⁴

1 Eng. Civil, MSc. Pesquisadora NORIE/LEME/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º Andar – 90035–190, Porto Alegre – RS – Brasil, e-mail: anapaula.k@bol.com.br

2 Eng. Civil, Mestranda LEME/ PPGEC/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º Andar – 90035–190, Porto Alegre – RS, Brasil, e-mail: passuelo@ppgec.ufrgs.br

3 Eng. Civil, Profa. Dra. NORIE/ PPGEC/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º Andar – 90035–190, Porto Alegre – RS, Brasil, e-mail: dmolin@vortex.ufrgs.br

4 Eng. Civil, Prof. PHd. LEME/ PPGEC/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º Andar – 90035–190, Porto Alegre – RS, Brasil, e-mail: lcarlos@cpgec.ufrgs.br

Este trabalho propõe estudar a influência da adição de sílica ativa e da relação água/cimento no comportamento de concretos brancos quanto à resistência à penetração de íons cloreto, e sua resistência à compressão. Para a produção dos corpos-de-prova foi utilizado cimento Portland branco estrutural, considerando três relações água/cimento (0,42; 0,51; 0,60), sem e com adição de 5% de sílica ativa, totalizando 6 proporções de materiais. Foram realizados ensaios de penetração acelerada de íons cloreto (ASTM C 1202 [3]) e, paralelamente, observou-se a resistência à compressão axial destes concretos como parâmetro de controle. Os resultados obtidos demonstraram que os concretos com adição de sílica ativa apresentam maiores resistências à penetração acelerada de cloretos, bem como maiores resistências à compressão.

PALAVRAS-CHAVE: concreto branco, penetração de cloretos, sílica ativa

1 INTRODUÇÃO

O cimento Portland branco diferencia-se dos demais pela coloração. A cor branca é conseguida a partir da utilização de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês e pela aplicação de condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e à moagem do produto (Mehta e Monteiro [20]; Neville[21]).

Este material é um produto relativamente novo no mercado, mas já é bastante utilizado em países da América do Sul, nos Estados Unidos e principalmente na Europa. No Brasil, tanto a utilização quanto estudos que esclarecem suas propriedades ainda não são significativas. No entanto, sua utilização já se encontra em vias de crescimento, como é o caso da utilização em uma ponte que está sendo executada em Brusque, Santa Catarina, o início da obra do Museu Iberê Camargo em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, bem como diversos condomínios e edifícios em São Paulo, executados desde o ano de 2000.

Na indústria da construção civil, infelizmente, muitos produtos são empregados sem uma avaliação prévia do seu comportamento em serviço, o que resulta na realidade em que enorme parcela de edifícios vem apresentando problemas relacionados à sua durabilidade.

A análise de durabilidade de um determinado material é complexa. Existem diversas formas e ensaios para avaliar as características de um material. Andrade [2] faz algumas considerações que devem ser levadas em conta:

- O concreto é um sistema complexo que muda temporalmente, principalmente com relação aos seus aspectos microestruturais;
- A ação das condições climáticas exerce uma influência considerável entre os fatores que governam o comportamento das estruturas no decorrer do tempo;
- Os ensaios acelerados de durabilidade são realizados objetivando-se estabelecer uma correlação entre os resultados de degradação obtidos através de um ensaio acelerado e os resultados obtidos através da verificação da evolução do dano nos componentes, quando expostos a condições naturais de envelhecimento (Dias, 1993 apud Andrade [2]), bem como comparar materiais.

Além disso, nem sempre o mecanismo de transporte de agentes agressivos é único, e age separadamente. A degradação de estruturas é uma conexão de fatores. Por este motivo, deve-se avaliar o meio ambiente em que está inserida a estrutura e examinar o seu entorno (edificações vizinhas, ventos predominantes, entre outros). Uma análise mais específica, fixando fatores influentes naquele meio, seria válida apenas para o local onde esta estrutura se encontra, transformando uma pesquisa ampla em algo de pouca validade, ou até sendo válida, mas de forma muito específica. Sendo assim, caracterizar completamente um material exigiria anos de pesquisa. Por isso, quando se pretende avaliar novos materiais, a análise de sua durabilidade normalmente é feita elegendo algum mecanismo e/ou algum tipo específico de degradação.

Devido à grande incidência de problemas patológicos precoces em estruturas de concreto, que já vem sendo observada por décadas, tem sido destinado no meio técnico, nacional e internacional, atenção especial à necessidade de construir obras de maior durabilidade. Entre os mecanismos de deterioração de estruturas de concreto, a corrosão da armadura é um dos fenômenos de maior incidência, no Brasil e no mundo, conduzindo aos maiores custos de recuperação estrutural, e representando um grande risco à segurança estrutural da edificação e dos usuários.

No estado do Rio Grande do Sul, a corrosão representava em estudo realizado por Dal Molin [15], 40% das manifestações patológicas registradas. Andrade [1] relata que, para o estado de Pernambuco, a corrosão de armaduras corresponde a 64% das manifestações patológicas observadas. Já Aranha [4] expõe que na região Amazônica, a corrosão é registrada como 42,68% das manifestações patológicas para obras convencionais e 52,63% para obras especiais.

Internacionalmente problemas de corrosão da armadura em obras de concreto armado é bastante discutido. No Japão, o governo chegou a preparar um manual de reparo das estruturas públicas de concreto atacadas pelos íons cloreto, devido aos inúmeros casos de pontes de concreto que apresentaram problemas de corrosão de armadura, principalmente quando estas estruturas eram localizadas próximas as áreas costeiras (Fujiwara et al. (1990) apud Jucá [18]).

A corrosão somente inicia após a destruição da capa passivante do aço. Essencialmente são duas as causas que podem levar a isso:

- a) a diminuição da alcalinidade do concreto por reação com substâncias ácidas do meio, principalmente o CO_2 (carbonatação do concreto);
- b) a presença de quantidade suficiente de íons cloreto ou outros íons despassivantes em contato com a armadura, adicionada durante o amassamento do concreto ou proveniente do meio externo.

De acordo com Fortes e Andrade [16], os íons cloreto (Cl^-), em contato com a armadura, produzem uma redução do pH do concreto, de 12,5 a 13,5, para valores de até 5. Tais íons atingem a armadura de forma localizada, destruindo a camada passivadora, resultando na corrosão por pite (pequena área anódica). O principal agravante deste fenômeno patológico é a redução da seção da barra e perda de aderência ao concreto, bem como fissuração e posterior deslocamento do cobrimento em consequência da formação de produtos de corrosão.

Além disso, no caso de concretos brancos para fins estruturais, a corrosão torna-se ainda mais importante, pois, somado a degradação dos elementos de concreto, esta afeta o efeito estético da estrutura.

Existem vários fatores que influenciam na resistência do concreto à penetração dos íons cloreto, tais como relação água/aglomerante, tempo de cura, composição química do cimento e o uso de adições, dentre outros (Neville [21]). O tipo de cimento e sua capacidade de reter e combinar os íons cloreto pode resultar um parâmetro relevante do processo (Cremona et al [14]).

Por o cimento Portland branco ser um novo material, e carecer de indicativos positivos e formas que identificam maneiras para melhorar sua durabilidade, bem como a relevância do estudo da corrosão em concreto, percebe-se a importância do tema. Sendo assim, este trabalho consistiu no estudo comparativo de concretos sem e com 5% de adição de sílica ativa, visando determinar os efeitos da adição sobre a resistência à compressão e a resistência à penetração de cloretos.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova, comercializados usualmente, são descritos a seguir.

2.1.1 Cimento

No programa experimental foi utilizado cimento Portland Branco estrutural, oriundo de um único lote de fabricação. A caracterização físico-mecânica fornecida pelo fabricante pode ser visualizada na tabela 1.

Tabela 1 Caracterização físico-mecânica do cimento utilizado

Finura # 325		2,24
Brancura		85,25
Superfície Específica (cm ² /g)-Blaine		4406
Início de pega (h:min)		1:10
Fim de pega (h:min)		1:75
	3 dia	30,7
Resistência à compressão (MPa)	7 dias	38,6
	28 dias	-

2.1.2 Agregado graúdo e miúdo

Os agregados miúdo e graúdo utilizados são de origem calcária, procedente de uma região do Paraná, disponíveis comercialmente. As características físicas e a distribuição granulométrica de cada grana fornecida pela mineradora estão apresentadas na tabela 2. Entretanto para o melhor proporcionamento dos materiais foi necessário compor uma granulometria adequada tomando-se como base os valores definidos pela “Curva de Fuller”.

Tabela 2 Caracterização do calcário

Abertura Peneira (mm)	Porcentagem retida	Grana 3		Grana 2		Grana 0		Barra 8		Bica Corrida	
		Indiv.	Acum.	Indiv.	Acum.	Indiv.	Acum.	Indiv.	Acum.	Indiv.	Acum.
12,5		14,7	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,5		62,0	76,7	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6,3		22,2	98,9	50,2	50,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,8		0,2	99,1	40,8	91,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,4		0,1	99,2	8,0	99,3	58,0	58,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,2		0,0	99,2	0,0	99,3	39,1	97,1	95,4	95,4	6,4	6,4
0,6		0,0	99,2	0,0	99,3	1,0	98,1	2,8	98,2	30,6	37,0
0,3		0,0	99,2	0,0	99,3	0,0	98,1	0,0	98,2	17,5	54,5
0,15		0,0	99,2	0,0	99,3	0,0	98,1	0,0	98,2	6,6	61,1
< 0,15		0,8	100,0	0,7	100,0	1,9	100,0	1,8	100,0	5,9	67,0
MP		0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	33,0	100,0
Dimensão máxima (mm)		12,5		9,5		2,4		1,2		1,2	
Módulo de finura		7,85		5,39		4,49		3,9		1,59	
Massa específica (g/cm ³)		2,91		2,91		2,91		2,91		2,91	

2.1.3 Adições

A sílica ativa utilizada no programa experimental é do tipo não densificada proveniente de uma indústria de silício-metálico, oriunda de um mesmo lote de fabricação, com massa específica de 2,2 kg/dm³.

2.1.4 Aditivo superplastificante

Para determinados traços tornou-se necessário o uso de aditivo superplastificante, a fim de obter-se uma consistência adequada ao uso. Neste trabalho foi utilizado um aditivo superplastificante a base de éster policarboxílico modificado.

2.1.5 Desmoldantes

Como desmoldante foi utilizado óleo mineral.

2.2 Método de dosagem

Utilizou-se a metodologia de dosagem do IPT/EPUSP, descrita por Helene e Terzian [16], na qual os parâmetros de dosagem utilizados foram a obtenção de um abatimento de tronco de cone acima de 150 mm e a manutenção de um teor de argamassa de 58%, determinado experimentalmente. Foram confeccionados concretos com três relações água/aglomerante (0,42; 0,51; 0,6), sem e com adição de 5% de sílica ativa, totalizando seis proporcionamentos de concreto. A Tabela 3 apresenta os traços resultantes da dosagem.

Tabela 3 Proporcionamento dos concretos

	a/c	Traço em massa	Consumo cimento (kg/m ³)
Sem sílica ativa	0,42	1:2,47:2,53	407,2
	0,51	1:2,47:2,53	392,8
	0,60	1:2,47:2,53	379,4
Com sílica ativa	0,42	1:0,05:2,47:2,53	403,5
	0,51	1:0,05:2,47:2,53	389,4
	0,60	1:0,05:2,47:2,53	376,2

Os concretos foram produzidos em betoneira de eixo vertical, realizando-se a seguinte seqüência de colocação dos materiais: agregado graúdo, uma parte da água e cimento; após uma rápida mistura destes materiais foram colocados o restante da água e o agregado miúdo. Foram moldados três corpos-de-prova cilíndricos 10 x 20 cm para realização de cada ensaio, com cada traço.

Nas misturas em que o aditivo superplastificante foi necessário, sua colocação foi feita após a areia. Realizou-se, ao final de cada mistura, o ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme a NBR 7223 [11], com o objetivo de comparar a consistência de cada traço com o valor especificado durante a dosagem. Em função do volume de concreto necessário para a moldagem dos corpos-de-prova, foi executada apenas uma betonada para cada traço. O percentual de aditivo utilizado, bem como o abatimento obtido, podem ser visualizados na tabela 4.

Tabela 4 Proporcionamento dos concretos

	a/c	Aditivo (%)	Abatimento (mm)
Sem sílica ativa	0,42	0,60	200
	0,51	0,25	210
	0,60	0,15	220
Com sílica ativa	0,42	0,57	230
	0,51	0,30	228
	0,60	0,10	193

O processo de adensamento adotado foi mecânico (com utilização de vibrador de agulha), seguindo as prescrições da NBR 5738 [13]. Após as concretagens, os corpos-de-prova foram cobertos com sacos plásticos, permanecendo nas fôrmas por 24 horas. Em seguida, foram desmoldados e colocados em câmara úmida até a idade estabelecida em cada ensaio, com temperatura controlada de 23 ± 2 °C e umidade relativa superior a 95%, conforme a NBR 9479 (1986).

2.3 Ensaio realizados

Os experimentos realizados no concreto incluíram ensaios de resistência à compressão axial (conforme NBR 5739 [5]), sendo que para cada idade pré-estabelecida (3, 9 e 28 dias) foram ensaiados 3 corpos-de-prova, utilizando-se enxofre para o seu capeamento.

Outro ensaio executado foi o de penetração acelerada de cloretos. Utilizou-se neste caso o ensaio especificado pela ASTM 1202 [3], que consiste em acoplar um corpo-de-prova cilíndrico, de 9,5 cm de diâmetro e 5,1 cm de espessura, entre duas meias-células de acrílico, uma delas contendo uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), com concentração de 0,3N, e a outra uma solução de cloreto de sódio (NaCl), com 3% de concentração (em massa). Entre as meias-células é gerada uma diferença de potencial com valor de $60 \pm 0,1$ V, dando origem a uma corrente elétrica que induz o ânion cloreto a se difundir através do concreto sob a ação de um campo elétrico.

O ensaio tem duração de seis horas e a corrente elétrica passante é registrada em intervalos de trinta minutos, por meio de um amperímetro. O produto da corrente pelo tempo, expresso em coulombs, indica a carga total que atravessa o corpo-de-prova, e revela a maior ou menor resistência do concreto à penetração do íon cloreto.

Seis células foram ensaiadas simultaneamente, sendo dispostas em paralelo de maneira a que fossem submetidas à mesma tensão de $60 \pm 0,1V$. As amostras de concreto utilizadas no ensaio foram retiradas da parte central de corpos-de-prova cilíndricos de dimensões de 9,5 cm de diâmetro e 19,5 cm de comprimento. Os procedimentos de ensaio foram os seguintes:

- cinco dias antes da data da realização do ensaio, o corpo-de-prova cilíndrico foi retirado do ambiente de cura no qual se encontrava e serrado em três partes perpendiculares ao eixo. Retirou-se a amostra central de $(5,1 \pm 0,3 \text{ cm})$ do corpo-de-prova que, em seguida, foi colocada de volta no ambiente em que se encontrava;
- quatro dias antes da data da realização do ensaio, a amostra foi retirada do ambiente climatizado, no qual se encontrava, para ter sua superfície lateral impermeabilizada com resina epóxi;
- três dias antes do ensaio, a amostra foi submetida ao vácuo por quatro horas, sendo que, após decorridos três horas de vácuo, a mesma foi submersa em água deaerada e deionizada, permanecendo nessa condição por 18 ± 2 horas;
- dois dias antes da realização do ensaio, a amostra foi retirada do dessecador e seca com pano absorvente, para posteriormente ser acoplada às meias-células, sendo fixada às mesmas com poliuretano, com os eletrodos constituídos por anéis e uma tela metálica, com os quais os corpos-de-prova ficam em contato, para serem submetidos à diferença de potencial;

O ensaio foi realizado em câmara climatizada com temperatura de $25 \pm 2^\circ \text{ C}$ e umidade relativa de $70 \pm 5\%$. Na Figura 1 pode-se visualizar as células montadas, com as fontes de energia, os amperímetros para registro da corrente e o voltímetro para controle da voltagem.



Figura 1 Visualização do ensaio em andamento.

A carga total passante nos corpos-de-prova é calculada pela equação:

$$Q = 900 * (I_0 + 2 I_{30} + 2 I_{60} + \dots + 2 I_{300} + 2 I_{330} + I_{360}) \quad (3.3)$$

Onde:

Q = carga total passante, em Coloumbs;

I₀ = corrente imediatamente após a aplicação da diferença de potencial, em Ampéres;

I_t = corrente em t minutos depois da diferença de potencial ser aplicada, em Ampéres.

A ASTM C 1202 [3] estabelece uma classificação dos concretos quanto à resistência à penetração de cloretos, de acordo com a intensidade de corrente, em Coloumbs, medida durante o ensaio, conforme apresentado na tabela 5. Deve-se ressaltar que esta classificação é apenas qualitativa e serve somente como um referencial da penetração de cloretos.

Tabela 5 Ingresso de íons cloreto baseado na carga passante (ASTM C 1202 [3])

Carga Passante (Coloumbs)	Penetração de Íons cloreto
> 4000	Alta
2000 – 4000	Moderada
1000 – 2000	Baixa
100 – 1000	Muito Baixa
< 100	Desprezível

3 RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Resistência à compressão

Para a análise da significância em relação à quantidade de adição, à relação água/cimento e à idade, bem como suas interações, primeiramente foi feito uma análise com todos os fatores no programa *Statistica*, onde se obtiveram os resultados que constam na tabela 6.

Tabela 6 Análise de variância (ANOVA) – resistência à compressão

Fonte	SQ	GDL	SQR	F	Valor de P	Efeito
1 – adição	95,921	30	8,861012	10,8251	0,002564	Significativo
2 – água/cim.	1958,116	30	8,861012	220,9811	0,000000	Significativo
3 – idade	1131,744	30	8,861012	127,7217	0,000000	Significativo
Interação 12	39,393	30	8,861012	4,4457	0,020372	Significativo
Interação 13	0,634	30	8,861012	0,0715	0,931148	Não significativo
Interação 23	18,374	30	8,861012	2,0736	0,109160	Não significativo
Interação 123	6,626	30	8,861012	0,7478	0,567224	Não significativo

Os fatores isolados adição, relação água/cimento, idade e a interação adição e relação a/c foram estatisticamente significativos no resultado da resistência à compressão dos concretos analisados. As demais interações não foram significativas. No gráfico da figura 2 são apresentados os valores de resistência à compressão em função da interação entre os teores de adição e a relação a/c.

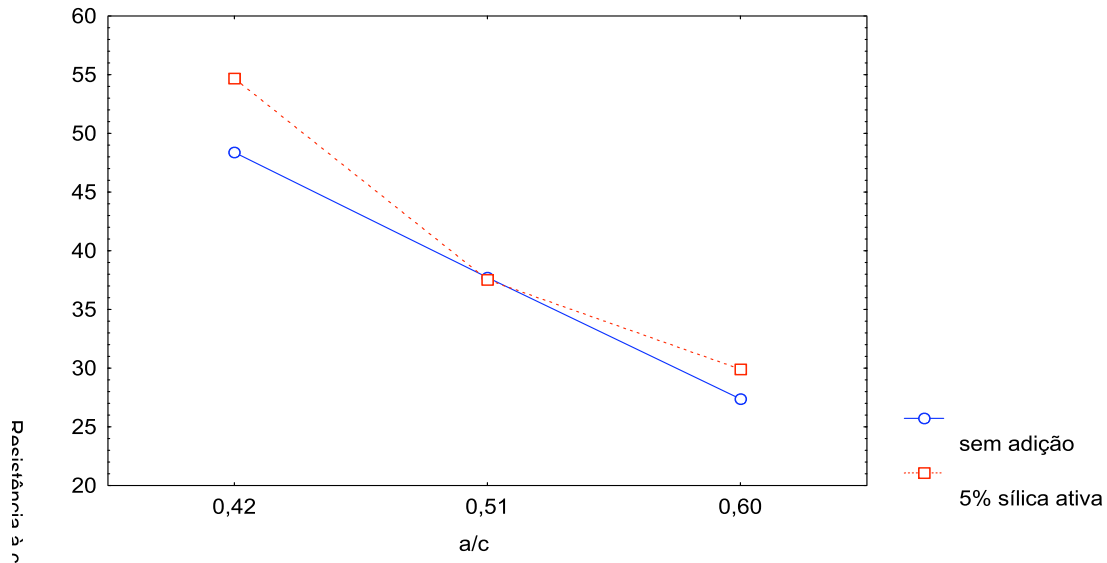


Figura 2 Resistência à compressão em função da interação entre os teores de adição e a relação a/c

Nota-se que, como esperado, a resistência à compressão dos concretos sem e com adição de sílica ativa estudados decresce significativamente com o aumento da relação água/cimento. Embora a interação teor de adição e a relação a/c tenha dado significativa estatisticamente, o gráfico mostra que existe uma tendência de quanto menor a relação a/c, maior a influência da sílica no incremento da resistência à compressão, no entanto, os concretos com relação a/c 0,51 não seguiram esta tendência.

No gráfico da figura 3 são apresentados os valores de resistência à compressão em função da interação entre a porcentagem de adição e a idade dos concretos.

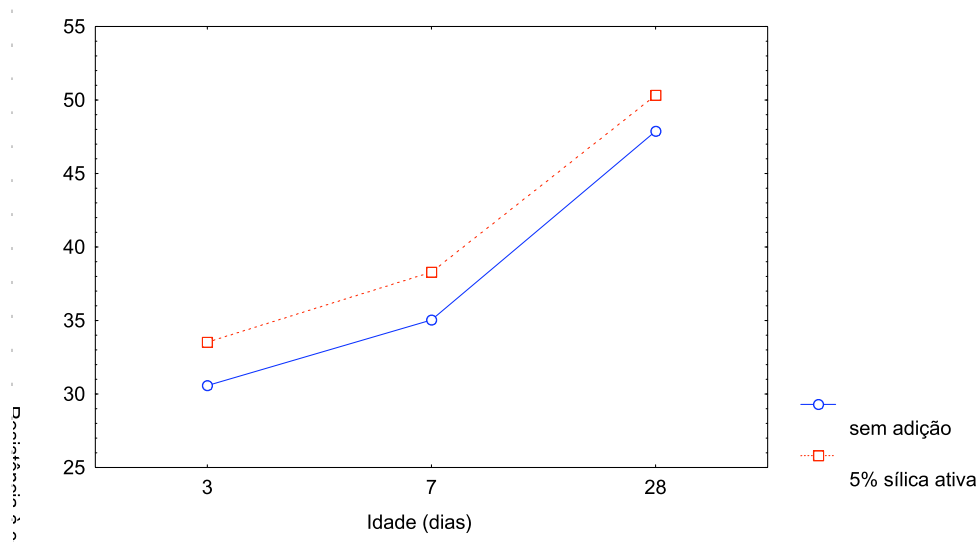


Figura 3 Resistência à compressão em função da interação entre a porcentagem de adição e a idade

Conforme esperado, e estatisticamente comprovado pela significância do fator idade houve um crescimento da resistência à compressão para todos os concretos. No entanto, pelo paralelismo de retas mostradas pelo gráfico, se comprova que a interação entre os teores de adição e a idade não foi significativa para misturas sem e com adição. Os concretos com adição de sílica ativa, quando comparados aos sem adição, na relação a/c 0,42 apresentaram para as três idades (3, 7 e 28 dias) acréscimo de resistência de 26,8%; 22,1% e 16,5%, respectivamente. O melhor desempenho destes concretos pode ser atribuído à densificação da pasta de cimento hidratado, proporcionado pela sílica, resultando em um refinamento de sua estrutura de poros, promovendo assim o aumento da resistência mecânica.

Este comportamento, observado nos dois gráficos e discutido anteriormente, já é consenso no meio técnico, logo, a resistência de um concreto depende, fundamentalmente, de sua relação água/cimento e grau de hidratação, desde que o mesmo esteja completamente adensado.

3.2 Penetração acelerada de cloretos

Da mesma forma que para resistência à compressão, os resultados obtidos para penetração acelerada de íons cloreto foram avaliados através de uma análise estatística dos dados (ANOVA), com um nível de confiança igual a 95%. Os resultados encontrados na análise da significância em relação à quantidade de adição, a relação água/cimento bem como sua interação pode ser observados na tabela 7.

Tabela 7 Análise de variância (ANOVA) – resistência à compressão

Fonte	SQ	GDL	SQR	F	Valor de P	Efeito
1 – adição	11592557	15	247601,3	46,81946	0,000006	Significativo
2 – água/cim.	8188474	15		33,07121	0,000003	Significativo
Interação 12	62452,15			0,25223	0,780297	Não significativo

Os fatores isolados adição e a relação água/cimento foram estatisticamente significativos no resultado de penetração acelerada de íons cloreto. A interação adição e a relação a/c não foi significativa. No gráfico da figura 4 são apresentados os valores da carga passante observada em função da relação água/cimento dos concretos com e sem adição de sílica ativa.

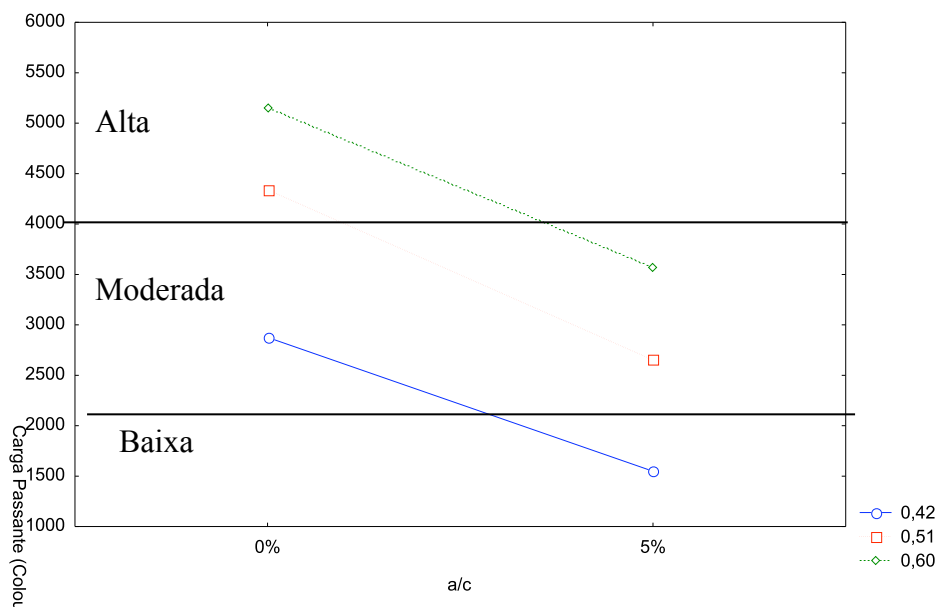


Figura 4 Penetração de íons cloreto em função da interação entre os teores de adição e a relação a/c

O aumento da relação água/cimento resultou no incremento na carga total passante, devido ao aumento da porosidade da pasta, sendo que este comportamento já está consolidado no meio científico e já foi avaliado por diversos autores citados por Mattos e Dal Molin [19], entre eles Irassar et al., 1999; Monteiro et al., 1999; Wee et al., 1999; Francinete Jr. e Cascudo, 2000.

Para os concretos produzidos com a adição de 5% sílica ativa houve um incremento na carga total passante, da relação a/c 0,42 para 0,51 de 61%, de 0,51 para 0,60, de 9%. Já os concretos sem adição de sílica ativa, quando a relação a/c passou de 0,42 para 0,51, o acréscimo foi de 71%, e quando passou de 0,51 para 0,60 foi de 34%.

Conforme o critério de classificação da resistência à penetração de cloretos da ASTM C 1202 [3] (Tabela 5), os concretos sem adição de sílica ativa, nas relações água/cimento 0,51 e 0,60, apresentaram alta penetração, já os na relação a/c 0,42 apresentaram penetração moderada. Os concretos com adição de 5% de sílica ativa, nas relações 0,51 e 0,60, obtiveram uma redução significativa da carga passante (30% e 43%, respectivamente), obtendo uma penetração moderada. A redução mais significativa se deu para os concretos na relação a/c 0,42, com adição de sílica ativa, sendo que para estes a penetração foi baixa, obtendo uma redução de 46% na carga passante, quando comparado ao concreto moldado sem adição de sílica ativa.

Utilizando o mesmo método de ensaio deste trabalho, Mattos e Dal Molin [19] observaram em concretos moldados com cimento branco, utilizando agregado graúdo basáltico e miúdo quartzoso, um incremento de 3% e de 29%, quando a relação a/c passou de 0,40 para 0,50 e de 0,50 para 0,60, respectivamente. As autoras compararam os resultados obtidos em concreto branco, a concretos moldados com clínquer cinza (CP-I), nas mesmas condições e agregados, sendo que estes concretos com CP-I obtiveram menor penetração de íons cloreto, para a relação 0,4, 0,5 e 0,6 esta redução foi de 23%, 9,4% e 1,1%, respectivamente. Uma das justificativas dada

pelas autoras, fundamentada em Mehta e Monteiro [20], foi devido à incorporação de ar ocasionada pelo aditivo nos concretos com cimento branco.

No entanto, comparando os resultados para concreto cinza analisado por Mattos e Dal Molin [19] aos concretos brancos deste experimento, observa-se que os concretos sem adição de sílica ativa, nas relações a/c 0,4; 0,5 e 0,6 (nota-se que difere um pouco das utilizadas nessa pesquisa que foram 0,42; 0,51 e 0,6), obtiveram um acréscimo na carga total passante de 4,5%; 38,6% e 11,4%, respectivamente. Enquanto que os concretos brancos com adição de sílica ativa obtiveram redução de 43,8%; 20,9% e 21,6%, respectivamente. Reafirmando a influência benéfica da adição de sílica ativa em concretos moldados com cimento Portland branco.

4 CONCLUSÕES

Analisando os resultados, verifica-se que a adição de sílica ativa de fato colabora para uma redução significativa da penetração de cloretos, em qualquer relação a/c. Para relações a/c mais baixas, da ordem de 0,42, a adição de 5% de sílica ativa também resulta numa considerável elevação da resistência, da ordem de 20%.

De qualquer forma, em termos gerais, a adição de sílica ativa é vista como positiva, pois permite inclusive que se utilize uma relação a/c levemente superior, favorecendo a trabalhabilidade e o acabamento superficial do concreto, sem que se prejudique certas características do material que são importantes para garantir sua resistência e durabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Porto Alegre. 1997. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
2. ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. 255p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration: ASTM C 1202. Philadelphia, 1992.
4. ARANHA, P.M.S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região Amazônica**. Porto Alegre, 1994. 161p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto: NBR 5739. Rio de Janeiro, 1980.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação: NBR 8522. Rio de Janeiro, 1984.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto: NBR 9479. Rio de Janeiro, 1986.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman: NBR 9776. Rio de Janeiro, 1986.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo: NBR 9937. Rio de Janeiro, 1987.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR 7223. Rio de Janeiro, 1992.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Preparo, controle e recebimento do concreto: NBR 12655. Rio de Janeiro, 1992.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Confecção e cura de corpos-de-prova de concretos cilíndricos ou prismáticos: NBR 5738. Rio de Janeiro, 1994.
14. CREMONA, E. M.; DONZA, H. A.; BARBOSA, M. R. Influencia del tipo de cemento, curado y condiciones de exposición en la durabilidad del hormigón. In: VII Congreso Latinoamericano de Patología de la construcción y IX Congreso de Control de calidad en la construcción, Mérida, Yucatán, México, 2003. **Anais..** CONPAT, 2003 (CD-ROM).
15. 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**. Porto Alegre, 1988. 220p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
16. FORTES, L. R.; ANDRADE, J. C. Corrosão na Armadura do Concreto Armado: Influência dos Agentes Cloretos e da Carbonatação. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/~wtectnet/corrosao/t00051.html>>. Acesso em: 12 julho 2001.
17. HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349 p.

18. JUCÁ, T. R. P. **Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento Portland pelo método de asperção de solução de nitrato de prata.** 2002. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
19. MATTOS, L.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da influência do cimento Portland branco estrutural na resistência à penetração acelerada de íons cloretos e na absorvidade de concretos com diferentes relações água/cimento. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 45º, Vitória, 2003. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2003 (CD-ROM).
20. MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994. 573p.
21. NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: PINI, 1997, 2ª ed. 828p. (Tradução da 4ª ed. em inglês).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo auxílio no desenvolvimento desta pesquisa. Juntamente a Fundação Universidade de Rio Grande pela oportunidade de divulgação da mesma.