

AValiação da Penetração Acelerada de Íons Cloreto em Concretos Confeccionados com Diferentes Tipos de Cimento, Relação A/C, Temperatura e Tempo de Cura

Valéria G. A. Pereira (1); Denise C. C. Dal Molin (2)

(1) Engenheira Civil, MSc, e-mail: vpereira@cpgec.ufrgs.br

(2) Eng. Civil, Dr., professora do NORIE / PPGECC / UFRGS, e-mail: dmolin@vortex.ufrgs.br
Av. Osvaldo Aranha, 99, 3º andar – Engenharia Civil (NORIE) cep: 90035 190 – Porto Alegre / RS

RESUMO

É consenso mundial a importância de estudos sobre a penetração de cloretos nos concretos, devido ao caráter deletério destes íons quanto a corrosão das armaduras. Quando os íons cloretos ingressam no concreto em quantidade suficiente causam a despassivação e a corrosão das armaduras, conduzindo a diminuição da vida útil das estruturas. Os cloretos podem ser introduzidos no concreto de várias maneiras: como aditivo, pela contaminação da água ou da areia, ou podem ingressar provindos do meio externo. O ingresso destes íons, nas estruturas de concreto armado, é influenciado pela relação água/cimento, o tipo de cimento, a presença de adições, a cura, o tempo, a temperatura de exposição, dentre outros. Portanto, neste trabalho procurou-se estudar a penetração acelerada de íons cloretos, através do método de ensaio da ASTM C 1202/92, em concretos confeccionados com dois tipos diferentes de cimento (CP II F e CP IV), cinco distintas relações água/cimento (0,28, 0,35, 0,45, 0,60 e 0,75), cinco temperaturas de cura (5, 15, 25, 30 e 40°C) e cinco diferentes idades (7, 14, 28, 63 e 91 dias). A metodologia utilizada permitiu avaliar esta propriedade, nos concretos confeccionados, tendo sido observado que a penetração de cloretos diminui com a elevação da temperatura e do tempo de cura, com a redução da relação água/cimento e com o uso do cimento CP IV, para os concretos submetidos a temperaturas de cura maiores que 22°C e com idades superiores a 50 dias.

Palavras chave: cloreto, temperatura de cura, tipo de cimento

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material que apresenta vantagens na sua utilização, como por exemplo versatilidade e menor custo, se comparado a outros materiais de construção, sendo por isso largamente utilizado em todo o mundo (MEHTA e MONTEIRO, 1994). No entanto, inúmeros problemas relacionados com seu desempenho, especificamente sua durabilidade, vêm sendo detectados.

A corrosão de armaduras é uma das manifestações patológicas mais frequentes em estruturas de concreto armado e sua evolução compromete significativamente a segurança estrutural das obras (HELENE, 1997). Os íons cloretos são considerados os agentes mais problemáticos no processo de corrosão de armaduras (MANGAT e MOLLOY, 1994; SWAMY et al., 1998; VILLARINO et al., 1995, dentre outros). A penetração destes íons na estrutura do concreto pode provocar a despassivação da armadura e gerar a formação de pilhas eletroquímicas, deflagrando a corrosão da armadura (RODOLPHO e ISA, 1999). Essa ruptura da capa passiva, formada de óxidos, pela ação dos íons cloreto, se dá localmente, ou seja, a presença destes íons provoca uma dissolução pontual desta película e, dada a presença de água e oxigênio, facilita o início do processo corrosivo. Esta ruptura da camada protetora de passivação pelos cloretos gera pequenas áreas ativas, com um pH muito baixo, em torno de 3, que funcionam como ânodo e nas quais, o metal é dissolvido. Nas proximidades, há a zona catódica, de elevado pH, em torno de 13,5, onde ocorre a redução do oxigênio (NEPOMUCENO, 1992).

O teor de cloretos livres é que irá definir a agressividade deste íons, sendo determinante para a relação entre cloretos livres e cloretos combinados as características dos cimentos, a estrutura de poros e a natureza química das substâncias agressivas (PAGE et al., 1991). De acordo com MEDEIROS et al. (1999), a influência do tipo de cimento na penetração de íons cloretos está relacionada à composição química deste, pois o C_3A e o C_4AF se combinam com os cloretos para formar os cloroaluminatos. Com esta reação, o fluxo de penetração de cloretos diminui devido a menor concentração de íons livres na solução aquosa dos poros do concreto.

A relação água/cimento é um dos fatores que exerce grande influência na penetração de cloretos por determinar características como porosidade, capacidade de absorção e permeabilidade da pasta de cimento hidratada (LOPES, 1999). Quanto maior a relação água/cimento, maior será a porosidade e permeabilidade de um concreto e, a princípio, maior será a penetração de cloretos. A temperatura também é um parâmetro muito importante na penetração de cloretos, pois afeta a velocidade das reações químicas (REPETTE, 1997). E a idade é um dos principais fatores que influenciam o ingresso dos cloretos no concreto, pois com a evolução da hidratação a porosidade vai diminuindo e os vazios vão sendo gradativamente preenchidos pelos compostos, que se formam no decorrer do tempo (NEVILLE, 1997).

Portanto, neste trabalho pretende-se estudar a penetração acelerada de cloretos, já que esses agentes agressivos podem comprometer as estruturas de concreto armado por propiciar a despassivação do aço e uma possível corrosão da armadura do concreto. Neste estudo foi avaliada a penetração acelerada de cloretos sendo observada a influência de diferentes temperaturas de cura, relações água/cimento, tempo de cura e dois tipos distintos de cimento Portland sobre esta propriedade. Cabe ressaltar ainda que este trabalho faz parte de uma pesquisa maior desenvolvida por PEREIRA (2001).

2 METODOLOGIA

Com o intuito de verificar o comportamento do concreto frente a penetração acelerada de íons cloretos foi desenvolvido um projeto experimental que possibilitasse determinar a carga total passante dos concretos submetidos a variados tempos e temperaturas de cura, relações água/cimento e utilizando dois distintos tipos de cimentos. Para isso decidiu-se utilizar o ensaio normatizado da ASTM C 1202/92, por o mesmo ser muito empregado no meio técnico. O projeto experimental ainda foi embasado estatisticamente para permitir uma maior confiabilidade nos resultados do final dos experimentos.

Após definido o método de ensaio foram determinados os parâmetros de processo, isto é, as variáveis que podem ser alteradas e que talvez exerçam alguma influência sobre as variáveis de resposta, descritas a seguir.

- Relação água/cimento (a/c): 0,28; 0,35; 0,45; 0,60 e 0,75.
- Temperatura de cura: 5; 15; 25; 30 e 40°C.
- Idade: 7; 14; 28; 63 e 91 dias.
- Tipos de cimento: CP II F-32 e CP IV-32.

Optou-se por um projeto estatístico pela otimização que este fornece, reduzindo tempo de execução e custo do programa experimental. A utilização de um projeto fracionado possibilita a execução de experimentos de forma mais prática, pois se o programa experimental executado tivesse sido o completo, seria necessário a moldagem de 2250 corpos-de-prova, já com o uso do projeto estatístico este número caiu para apenas 176 corpos-de-prova. Além disso, aumenta a precisão da aquisição dos dados e facilita a análise dos resultados obtidos. Entretanto, deve-se ressaltar que o projeto estatístico foi repetido duas vezes, ou seja, para cada tipo de cimento foram feitos todos os pontos do projeto, já que se esperava que os dois tipos de cimento utilizados apresentassem comportamento diferenciado.

Foi adotado um projeto estatístico de composição central, que consiste de um fatorial fracionado somado a pontos axiais e pontos centrais (RIBEIRO, 1999). A Tabela 1 apresenta as coordenadas dos pontos axiais e centrais do projeto fracionado.

Tabela 1 Coordenadas dos pontos do projeto estatístico

Nº Experimento	Tipo de Cimento	a/c	Idade (dias)	Temperatura (°C)
1	CP II – F	0,35	14	15
2		0,35	14	30
3		0,35	63	15
4		0,35	63	30
5		0,60	14	15
6		0,60	14	30
7		0,60	63	15
8		0,60	63	30
9		0,45	91	25
10		0,45	28	5
11		0,45	28	40
12		0,45	7	25
13		0,75	28	25
14		0,28	28	25
15		0,45	28	25
16	CP IV	0,35	14	15
17		0,35	14	30
18		0,35	63	15
19		0,35	63	30
20		0,60	14	15
21		0,60	14	30
22		0,60	63	15
23		0,60	63	30
24		0,45	91	25
25		0,45	28	5
26		0,45	28	40
27		0,45	7	25
28		0,75	28	25
29		0,28	28	25
30		0,45	28	25

Os pontos escolhidos obedecem uma distribuição que permitirá a construção de modelos de comportamento. Entretanto, deve-se ressaltar que o projeto estatístico foi repetido duas vezes, ou seja, para cada tipo de cimento foram feitos todos os pontos do projeto, já que se esperava que os dois tipos de cimento utilizados apresentassem comportamento diferenciado.

Para diminuir os chamados fatores de ruído ou fatores que não podem ser controlados, foi definido, ainda pelo projeto estatístico, que deveriam ser executadas duas repetições do ponto central e da estrela e que, ainda, todos os pontos fossem aleatorizados durante a execução dos traços de concreto. Cada ponto do projeto estatístico está relacionado a uma betonada, que por sua vez representa uma mistura de concreto correspondente a uma determinada combinação de fatores controláveis.

2.1 Caracterização dos materiais

A seguir serão apresentadas as características dos materiais utilizados na produção dos concretos.

2.1.1 Tipos de cimentos

As características físicas, químicas e mecânicas dos cimentos, CP II F-32 e CP IV-32, utilizados encontram-se na Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

Tabela 2 Propriedades químicas, físicas e mecânicas do CP II F-32

Propriedades químicas do CP II F-32		
Composição química do cimento		Resultados (%)
Dióxido de silício (SiO_2)		18,60
Óxido de cálcio total (CaO)		63,97
Óxido de alumínio (Al_2O_3)		4,52
Óxido de ferro (Fe_2O_3)		2,52
Óxido de magnésio (MgO)		2,29
Trióxido de enxofre (SO_3)		2,01
Óxido de cálcio livre (CaO livre)		1,13
Silicato dicálcico (C_2S)		2,47
Silicato tricálcico (C_3S)		69,39
Aluminato tricálcico (C_3A)		6,78
Ferroaluminato tetracálcico (C_4AF)		7,67
Perda ao fogo		5,12
Resíduos insolúveis		0,80
Adição – calcário		10,00
Propriedades físicas e mecânicas do CP II F-32		
Expansibilidade a quente (mm)		0,0
Tempo de pega (min)	Início	232
	Fim	338
Blaine (cm^2/g)		3714
# 325 (%)		16,97
Massa Específica (g/cm^3)		3,100
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	23,90
	7 dias	29,80
	28 dias	38,30

Fonte: Relatório de Ensaio, período Abril/00, fornecido pelo fabricante

Tabela 3 Propriedades químicas, físicas e mecânicas do CP IV-32

Propriedades químicas do CP IV-32		
Composição química do cimento		Resultados (%)
Dióxido de silício (SiO ₂)		36,84
Óxido de cálcio total (CaO)		62,27
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)		12,91
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)		3,37
Óxido de magnésio (MgO)		4,39
Trióxido de enxofre (SO ₃)		2,18
Óxido de cálcio livre (CaO)		2,71
Silicato dicálcico (C ₂ S)		8,58
Silicato tricálcico (C ₃ S)		66,63
Aluminato tricálcico (C ₃ A)		6,02
Ferroaluminato tetracálcico (C ₄ AF)		8,32
Perda ao fogo		2,86
Resíduos insolúveis		38,26
Adição – cinza volante		31,1
Propriedades físicas e mecânicas do CP IV-32		
Expansibilidade a quente (mm)		0,5
Tempo de pega (min)	Início	269
	Fim	-
Blaine (cm ² /g)		5000
# 325 (%)		1,9
Massa Específica (g/cm ³)		2,720
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	18,40
	7 dias	22,70
	28 dias	33,40

Fonte: Relatório de Ensaio, período Maio/00, fornecido pelo fabricante

2.1.2 Agregado graúdo

Como agregado graúdo utilizou-se brita de origem basáltica cujas características encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 Características do agregado graúdo

Módulo de finura	6,84	7217/1987
Dimensão máxima característica (mm)	19	7217/1987
Graduação – 7211/83	Brita 1	-
Massa Específica (g/cm ³)	2,72	9937/1987

2.1.3 Agregado miúdo

Utilizou-se areia quartzosa comumente empregada em concretos na região de Porto Alegre, proveniente do Rio Jacuí. As características do mesmo encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 Características do agregado miúdo

Módulo de finura	2,77	7217/1987
Dimensão máxima característica (mm)	4,8	7217/1987
Graduação (zona) – 7211/83	Zona 3, areia média	-
Massa específica (g/cm ³)	2,621	9776/1987

2.1.4 Aditivo químico

Foi utilizado aditivo superplastificante, à base de naftaleno sulfonado, para a produção dos concretos confeccionados com relações água/cimento de 0,28 e 0,35. A dosagem do aditivo usada foi de 1,5%, em relação a massa de cimento, e teve por objetivo manter a trabalhabilidade e reduzir o consumo de cimento destas misturas.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O programa experimental foi embasado por um planejamento estatístico, como foi dito no item 2, para uma maior confiabilidade da análise dos resultados. Foi utilizada a regressão linear múltipla para a análise estatística dos efeitos e das interações existentes entre os fatores controláveis. A análise de regressão permite uma avaliação do efeito dos fatores controláveis, identificando quais são os significativos, ou seja, quais os fatores controláveis que têm um efeito significativo sobre a variável de resposta. O programa Statgraph foi usado na análise de regressão, o qual fornece equações ajustadas de cada modelo testado, bem como os parâmetros da análise de variância e os valores de r^2 (ou coeficiente de determinação) de cada análise. Cabe ressaltar ainda que, as equações ajustadas obtidas para os modelos de comportamento das propriedades avaliadas, foram testadas e analisadas de várias formas até que se chegasse a equação que melhor ajustasse o modelo de comportamento.

Os modelos foram ajustados para níveis codificados de cada um dos parâmetros dos processo utilizados em níveis reais, necessários à análise dos resultados. Os níveis reais e codificados de cada variável podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 Níveis codificados de cada uma das variáveis independentes utilizadas

Relação água/cimento	Nível real	0,28	0,35	0,45	0,60	0,75
	Nível codificado	-1	-0,70	-0,28	0,36	1
Idade	Nível real	7	14	28	63	91
	Nível codificado	-1	-0,83	-0,50	0,33	1
Temperatura	Nível real	5	15	23	30	40
	Nível codificado	-1	-0,43	0,14	0,43	1
Cimento	Nível real	CP II F		CP IV		
	Nível codificado	-1		1		

A seguir serão apresentados os resultados e feita a análise do ensaio realizado nos concretos. Foram construídos modelos matemáticos que explicam a forma como as propriedades do concreto são afetadas pelas variáveis independentes (parâmetros do processo, definidas no item 2) e suas interações.

A avaliação da resistência do concreto à penetração do íon cloreto tem sido feita indiretamente por ensaios de desempenho do material. Como foi dito anteriormente, vários são os fatores que afetam a penetração dos íons cloreto no concreto. Dentre as variáveis estudadas nesta pesquisa constatou-se, através da equação 3.1, que as que exercem influência significativa nesta propriedade, em ordem de importância, são a relação água/cimento (a/c), a idade, a temperatura de cura ($Temp$), a interação do tipo de cimento (TCP) com a idade e a interação do tipo de cimento (TCP) com a temperatura ($Temp$). Cabe ressaltar ainda que a penetração de cloretos no concreto foi avaliada pela carga total passante (Q), de acordo com a prescrição da ASTM C 1202/92.

$$Q = 4817,01 + 3979,56 * ac - 2300,72 * Idade - 3236,73 * Temp - 1501,77 * TCP * Temp - 847,053 * TCP * Idade \quad (3.1)$$

A equação 3.1 foi obtida a partir da análise de regressão dos resultados experimentais e descreve o modelo ajustado de penetração de cloretos dos concretos confeccionados. O modelo possui um coeficiente de determinação r^2 igual a 0,761, sendo importante lembrar que a equação foi ajustada para os níveis codificados das variáveis.

3.1 Efeito isolado da relação água/cimento sobre a penetração acelerada de cloretos no concreto

O efeito isolado da relação água/cimento sobre a penetração de cloretos no concreto pode ser visualizado na Figura 1. Esse efeito isolado da relação água/cimento foi calculado com base na equação 3.1, variando os níveis codificados em função dos pontos médios codificados das outras variáveis.

No gráfico da Figura 1, pode-se observar que, quanto maior a relação água/cimento, maior é a carga total passante, ou seja, maior é a penetração de cloretos no concreto. Como já foi mencionado no item 1, a relação água/cimento tem grande importância nesta propriedade por influenciar o tamanho e a interconectividade dos poros do concreto, facilitando ou impedindo o deslocamento dos íons cloretos

no mesmo. Também se constatou, através do gráfico, que o tipo de cimento não tem influência significativa na carga total passante, independente da relação água/cimento utilizada, ou seja, os efeitos das outras variáveis são bem mais pronunciados.

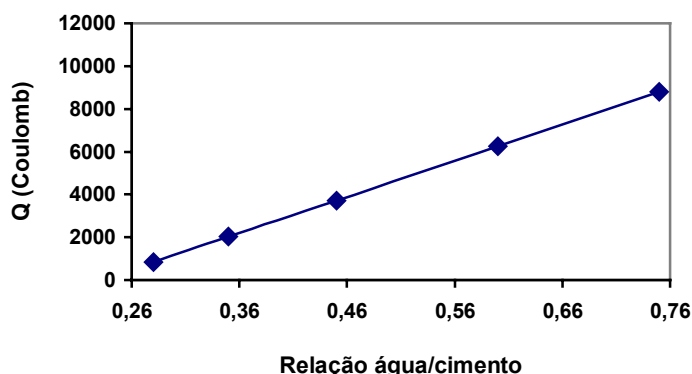


Figura 1 Efeito isolado da relação água/cimento sobre a carga total passante

Em uma pasta endurecida de cimento, o tamanho e continuidade dos poros são considerados uns dos principais fatores controladores do ingresso de cloretos. Por isso, a água adicionada é indiretamente responsável por esta penetração de cloretos na pasta endurecida de cimento, pois determina primeiramente o espaço total e, depois que a água for consumida pelas reações de hidratação ou evapore para o ambiente, o espaço vazio. Portanto, quando a relação água/cimento é alta a pasta terá alta porosidade capilar, contendo um número relativamente elevado teor de poros grandes e bem conectados e, assim, estará sujeita a uma maior penetração de agentes agressivos.

3.2 Efeitos da idade e do tipo de cimento sobre a penetração acelerada de cloretos no concreto

A ação dos efeitos da idade e do tipo de cimento foi calculada levando em consideração a variação dos níveis codificados desta variável e do tipo de cimento, mantendo as demais variáveis no ponto médio codificado. Com isso, foi possível verificar também a interação da idade com o tipo de cimento, identificada já na construção do modelo de comportamento, observado na equação 3.1.

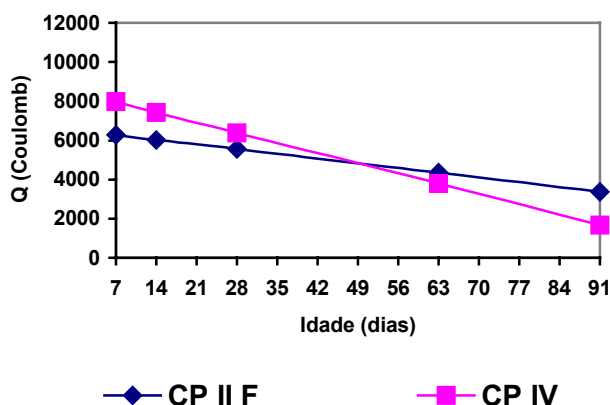


Figura 2 Efeitos da idade e do tipo de cimento sobre a carga total passante

No gráfico da Figura 2 pode ser visualizado este efeito, no qual é possível observar a diminuição da penetração de cloretos no concreto com o aumento da idade, para ambos os tipos de cimento, ocasionada pela evolução da hidratação com o decorrer do tempo. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), com o prosseguimento da hidratação o espaço vazio entre as partículas de cimento começa a ser preenchido gradativamente pelos produtos de hidratação, com uma redução progressiva do tamanho dos poros e perda de sua interconexões, diminuindo a penetração de cloretos.

Pode-se notar também que a idade influencia mais o concreto confeccionado com cimento CP IV, que, para menores idades, apresenta uma penetração de cloretos maior do que o concreto contendo cimento CP II F. Porém, para idades mais avançadas, em torno de 50 dias, esta situação se inverte e o concreto com cimento CP IV passa a apresentar uma carga passante menor que o concreto produzido com cimento CP II F. Percebe-se que, com o decorrer do tempo, há uma diminuição da carga passante de 99%, para os concretos produzidos com o cimento CP IV, e que para os concretos confeccionados com o cimento CP II F, essa redução é de apenas 46%. Isso, provavelmente, é consequência da reação pozolânica, caracterizada como uma reação lenta, que leva a um efeito de refinamento dos poros que é mais significativo com o tempo, influenciando assim nos resultados. E já para o filer, observa-se que não há um desenvolvimento muito grande com o decorrer do tempo. Desta análise pode-se constatar que a influência do tipo de cimento no controle da penetração de cloretos é mais evidente ao longo do tempo, e que pode ser observado uma inversão de comportamento dos concretos, demonstrada pela influência significativa da interação da idade com o tipo de cimento.

WEE et al. (1999), estudando a penetração de cloretos em concreto com relação água/cimento de 0,50 e 0,60, concluíram que a carga total passante diminui 22 e 37%, respectivamente, com o avanço da idade. GASTALDINI e ISAIA (2000), verificando a resistência à penetração de cloretos, em concretos produzidos com as mesmas relações água/cimento dos concretos confeccionados por Wee et al., também encontraram que o aumento da idade, de 28 para 91 dias, resulta numa diminuição de 28 e 33%, respectivamente, da corrente passante.

3.3 Efeitos da temperatura de cura e do tipo de cimento sobre a penetração acelerada de cloretos no concreto

Na Figura 3 pode ser visualizado o efeito isolado da temperatura de cura sobre a penetração de cloretos nos concretos. Os valores para a montagem do gráfico foram obtidos a partir da equação 3.1, variando os valores codificados da temperatura de cura e do tipo de cimento, mantendo as demais variáveis no seu ponto médio. Entretanto, como houve uma interação significativa, constatada no modelo, da temperatura com o tipo de cimento, este efeito também pode ser visualizado no gráfico da Figura 3, pois os níveis codificados dos cimentos também foram variados assim como os da temperatura de cura.

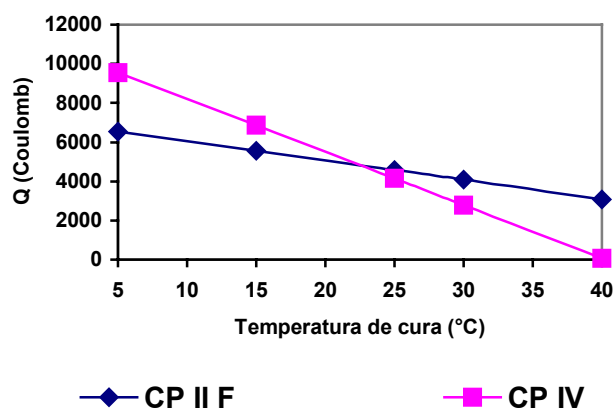


Figura 3 Efeitos da temperatura de cura e do tipo de cimento sobre a carga passante

Pode-se visualizar, na Figura 3, que a carga passante diminui com o aumento da temperatura de cura, para os dois tipos de cimento utilizados no concreto. Provavelmente, devido à aceleração nas reações de hidratação dos compostos ocasionada pela elevação da temperatura de cura, promovendo assim uma estrutura mais densa e menos permeável aos cloretos.

Entretanto, para temperaturas abaixo de 22°C a penetração de cloretos é maior para os concretos produzidos com cimento CP IV, enquanto para temperaturas mais elevadas, os concretos contendo cimento CP II F apresentam uma penetração de cloretos maior. Observa-se, também, uma tendência de diminuição da penetração de cloretos mais rápida no concreto confeccionado com o cimento CP IV, ou seja, a temperatura parece influenciar menos os concretos produzidos com o cimento CP II F, que evidencia o efeito significativo da interação da temperatura com o tipo de cimento. Isto pode ocorrer

porque a hidratação dos concretos produzidos com CP IV são lentas, especialmente as reações pozolânicas secundárias, e a baixas temperaturas, essas reações são retardadas, ficando ainda mais demoradas. Portanto, pode-se concluir que as reações pozolânicas são mais influenciadas pela temperatura que as reações de hidratação do cimento.

Confrontando-se os resultados obtidos com aqueles constantes na norma ASTM C 1202/92, que classifica os concretos a partir dos resultados de carga passante, em Coulombs, observa-se que, com exceção dos concretos produzidos com o cimento CP IV, submetidos a ambientes de cura de 40 e 30°C, e os confeccionados com cimento CP II F, colocados em ambiente de cura de 40°C, cujos valores se enquadram como desprezível e moderada permeabilidade a cloreto, respectivamente, as demais misturas, observadas na Figura 3, apresentaram valores que se classificam como indicativos de alta permeabilidade a cloretos.

Também se pode observar que o concreto confeccionado com o cimento CP IV, e submetido a uma temperatura de cura de 25°C, apresenta uma carga passante de aproximadamente duas vezes inferior ao concreto produzido com o mesmo cimento e submetido a uma temperatura de cura de 5°C. Já para os concretos produzidos com o cimento CP II F, comportamento semelhante foi encontrado nos concretos submetidos a temperaturas de cura de 5 e 40°C, com a carga passante do primeiro ficando em torno de duas vezes superior à do segundo. Verificam-se os comportamentos diferentes em relação à penetração acelerada de cloretos dos concretos produzidos com os dois distintos tipos de cimento, evidenciando o efeito significativo da interação da temperatura com o tipo de cimento nesta propriedade.

4 CONCLUSÕES

De acordo com a revisão bibliográfica, a penetração de cloretos nos concretos é susceptível aos mais variados fatores, tantos aos relacionados com o ambiente quanto com a grande variabilidade existente nas características dos concretos. A partir dos resultados obtidos no ensaio realizado neste trabalho, pode-se enumerar algumas conclusões, todas comprovadas estatisticamente. Entretanto, as conclusões que se seguem não devem ser tomadas de maneira absoluta, pois referem-se somente aos dados obtidos dos concretos investigados nesse trabalho.

- Não foi constatado ser significativo o efeito isolado do tipo de cimento, no ensaio de penetração acelerada de cloretos, provavelmente devido aos efeitos da relação água/cimento e da temperatura de cura serem bem mais elevados que o do tipo de cimento. Porém, os efeitos da interação do tipo de cimento com a idade e com a temperatura de cura foram constatados.
- A penetração acelerada de cloretos aumenta com o incremento da relação água/cimento.
- De uma forma geral, quanto maior a idade de cura menor a carga total passante. Entretanto, para os concretos confeccionados com o cimento CP II F a carga passante é menor, nas primeiras idades, e maior nas idades mais avançadas (aproximadamente a partir dos 50 dias), que a dos concretos produzidos com o cimento CP IV.
- Um incremento na temperatura de cura dos concretos, até 40°C, mostrou-se ser favoravelmente significativo para a penetração acelerada de cloretos. Podendo-se perceber também que, para temperaturas de cura abaixo de aproximadamente 22°C, os concretos produzidos com o cimento CP II F apresentaram menor valor de carga total passante que os concretos confeccionados com cimento CP IV. E que comportamento inverso ocorreu quando as temperaturas de cura foram maiores que aproximadamente 22°C, onde o valor da carga total passante foi maior para os concretos produzidos com CP II F e menor para os concretos confeccionados com o cimento CP IV.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

FRANCINETE JR., P.; CASCUDO, O. Propriedades ligadas à durabilidade do concreto e suas relações com a resistência à compressão. In: SUSTAINABLE CONSTRUCTION INTO THE NEXT MILLENNIUM: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND INNOVATIVE CEMENT BASED MATERIALS, 2000, João Pessoa. **Proceedings...** João Pessoa, 2000. p.744-757.

GASTALDINI, A.L.G.; ISAIA, G.C. Efeitos de misturas compostas de pozolonas e escória na permeabilidade a cloreto. In: ENCONTRO NACIONAL EM TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, UEFS, ENEB, UPE, UNIFOR, 2000. 2v. v.2, p.1026-1033.

HELENE, P.R.L. Introdução da Durabilidade no Projeto das Estruturas de Concreto. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1997, São Leopoldo. **Anais...** São Leopoldo, 1997. p.31-42.

LOPES, A.N.M. **Avaliação Comparativa de Concretos com e sem Sílica Ativa para Resistências entre 50 e 60 MPa**. Brasília, 1999. 170p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

MANGAT, P.S. MOLLOY, B.T. Prediction of free chloride concentration in concrete using routine inspection data. **Magazine of Concrete Research**, v.46, n.169, p.279-287, 1994.

MEDEIROS, M.H.F., MONTEIRO, E., BARKOKÉBAS JR, B. A Corrosão de Armaduras Sob a Ação de Íons Cloreto em Relação a Capacidade de Proteção de Alguns Tipos de Cimentos Nacionais com Adições Pozolânicas. In: CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD, 7., 1999, Montevideo. **Anais...** Montevideo, 1999. 2v. v.1, p.500-506.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

NEPOMUCENO, A.A. **Comportamiento de los morteros de reparacion frente a la carbonatacion y a la penetracion de cloruros en estructuras de hormigon armado dañadas por corrosion de armaduras, estudio mediante la tecnica de resistencia de polarizacion**. Madrid, 1992. 371p. Tesis (Doctoral) – Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politecnica de Madrid.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

PAGE, C.L., LAMBERT, P., VASSIE, P.R.W. Investigations of reinforcement corrosion.1. The pore electrolyte phase in chloride-contaminated concrete. **Materials and Structures**, v.24, p.243-252, 1991.

PEREIRA, V.G.A. **Avaliação do coeficiente de difusão de cloretos em concretos: influência do tipo de cimento, da relação a/c, da temperatura e do tempo de cura**. Porto Alegre, 2001. 138p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

REPETTE, W.L. **Modelo de previsão de vida útil de revestimento de proteção da superfície do concreto em meios de elevada agressividade**. São Paulo, 1997. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, J.L.D. **Projeto de experimentos na otimização de produtos e processos**. Porto Alegre, 1999 [Notas de aula].

RODOLPHO, P.M., ISA, M.M. A Influência da Resistência à Penetração de Cloretos e da Carbonatação na Durabilidade das Construções de Microconcreto. In: CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD, 7., 1999, Montevideo. **Anais...** Montevideo, 1999. 2v. v.1., p.313-320.

SWAMY, R.N.; SURYAVANSHI, A.K.; TANIKAWA, S. Protective ability of an acrylic-based surface coating system against chloride and carbonation penetration into concrete. **ACI Materials Journal**, v.95, n.2, p. 101-112, 1998.

VILLARINO, B.L.; SEVILLA, J.B.; LUQUE, V.F.; GARCÍA, M.R.R. Concrete durability. Influence of chloride ions concentrations in mixing water and dissolution. **Materiales de Construcción**, v.45, n.237, p.37-52, 1995.

WEE, T.H. et al. Influence of aggregate fraction in the mix on the reliability of the rapid chloride permeability test. **Cement and Concrete Composites**, v.21, n.1, p.59-72, 1999.