

TEOR CRÍTICO DE CLORETOS PARA DESPASSIVAÇÃO DE ARMADURAS – INFLUÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO E DA DOSAGEM DO CONCRETO

A. L. C. Silva

Curso Superior de Tecnologia em Gerência de Obras de Edificações – CEFET-PB
Av. 1º. De Maio, 720 – Jaguaribe – CEP. 58.035-390 – João Pessoa – PB
E-mail: alissonlivio@yahoo.com.br

M. A. Padilha Júnior

Curso Superior de Tecnologia em Gerência de Obras de Edificações – CEFET-PB
Av. 1º. De Maio, 720 – Jaguaribe – CEP. 58.035-390 – João Pessoa – PB
E-mail: jr_padilha@marcos@hotmail.com

G. R. Meira

Gerência de Obras de Edificações – CEFET-PB
Rua Dep. Balduino M. de Carvalho, 155/ 1104, CEP: 58035-390, João Pessoa - PB
E-mail: gibson@jpa.neonline.com.br

RESUMO

O presente artigo descreve estudo realizado visando estabelecer o teor crítico de cloretos para despassivação de armaduras de concreto armado, através de ensaios acelerados de corrosão. Para o estudo foram utilizados dois tipos de cimento (CP IV e CP II F) e três relações água/cimento (0,65, 0,57 e 0,50). Para cada dosagem, quatro diferentes percentuais de cloretos em relação à massa do cimento (0%, 0,4%, 0,80% e 1,6%) foram adicionados à mistura durante o amassamento do concreto. Após o período de cura de sete dias, iniciou-se o monitoramento eletroquímico através da medida do potencial de corrosão para indicação da condição de atividade ou passividade da armadura. Os resultados indicam que o teor de cloretos para a despassivação das armaduras aproxima-se de 0,7 % em relação à massa de cimento para os concretos elaborados com cimento CPIIF e 1,1 % para os concretos elaborados com cimento CPIV, embora a concentração de 0,40% apresente alguns casos isolados em que os potenciais indicam condição ativa da armadura. Com relação ao potencial de corrosão, também foi possível observar o melhor desempenho do CP IV, o que pode ser atribuído ao efeito de refinamento dos poros da matriz, proporcionado pela pozolana.

PALAVRAS-CHAVE: concreto; cloretos; corrosão; potencial de corrosão; teor crítico de cloretos.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a corrosão de armaduras desencadeada pela ação de cloretos é uma das manifestações patológicas que mais degrada as obras civis no mundo. No Brasil, o cenário não é diferente visto que as principais cidades estão localizadas em regiões litorâneas e, portanto, submetidas à ação de cloretos provenientes da névoa marinha. Andrade (1997) pesquisou a incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto no estado de Pernambuco, chegando à conclusão que a corrosão das armaduras é a causadora da maior parte dos danos nas estruturas de concreto, sendo responsável por aproximadamente 62 % das manifestações patológicas registradas nas edificações.

Os cloretos também podem ser incorporados ao concreto através de agregados contaminados, uso de água do mar ou água salobra ou por aditivos com cloretos (Neville, 1997), acelerando, assim, o processo de corrosão das armaduras, participando diretamente na formação de produtos de corrosão e propiciando uma diminuição da vida útil das estruturas de concreto armado. Em virtude disto diversos pesquisadores e normas procuram desenvolver procedimentos e métodos que permitam atingir a vida útil desejada das estruturas de concreto armado.

O aço, envolto pela pasta de cimento hidratada, forma rapidamente uma camada delgada de óxidos que adere fortemente ao aço e proporciona uma proteção contra a reação com o oxigênio e com a água, isto é contra a corrosão. Essa camada é denominada película de passivação. A preservação da passivação é condicionada por um pH adequadamente alto da água dos poros em contato com a camada passivadora. Assim, quando o pH baixo atinge as proximidades da superfície do aço da armadura, a película protetora é comprometida e pode ocorrer a corrosão (Neville, 1997). Com a presença dos cloretos, esta condição de equilíbrio pode ser alterada e ocorrer a despassivação da armadura.

Nesse sentido, o processo de corrosão pode ser subdividido em duas fases: iniciação e propagação. A iniciação corresponde ao período de tempo que vai desde a execução da estrutura até à chegada do agente agressivo à armadura em condições para despassivá-la. A propagação, por sua vez consiste no desenvolvimento da corrosão até que alcance um grau inaceitável do processo (Cascudo, 1997).

A chegada de cloretos nas proximidades da armadura, por si só, não representa o início do processo de corrosão. É necessário que estejam em quantidade suficiente para desencadear o processo corrosivo. Essa quantidade, conhecida como limite crítico de cloretos, depende de um série de variáveis, dentre as quais se incluem o fator água / cimento e o tipo de cimento.

A relação água / cimento é um dos parâmetros mais importantes em todo o contexto da corrosão, pelo fato de que ela determina a qualidade do concreto, ou seja, define as características de compactidade ou porosidade da pasta de cimento endurecida. Portanto, uma baixa relação água/cimento retardara o transporte de cloretos, além de dificultar a entrada de umidade e outros agentes agressivos para o interior do concreto (Cascudo, 1997).

O estudo da influencia do tipo de cimento no transporte de cloretos no concreto pode ser visto sob a ótica de dois aspectos principais: a capacidade de fixação dos cloretos na matriz do concreto e a dificuldade oferecida na movimentação dos cloretos no interior do concreto (Meira, 2004). Neville (1997) concluiu que mais íons cloreto ficam retidos na matriz, quanto mais alto for o teor de C_3A no cimento.

Devido às inúmeras variáveis envolvidas para determinação do teor crítico de cloretos, não existe um limite universalmente aceito de concentração. No entanto, o estudo de situações específicas pode conduzir a adoção de limites que, independentes de menores ou maiores, sejam mais precisos em função das características particulares, em que um conjunto próprio de variáveis age de forma simultânea.

Este trabalho se insere neste âmbito e busca avaliar a influência do tipo de cimento e da relação água / cimento do concreto no teor crítico de cloretos, utilizando cimentos comercialmente empregados na região de João Pessoa.

2. METODOLOGIA

Foram moldados, para o presente trabalho, corpos-de-prova prismáticos com dimensões de 80 x 80 x 80 mm (Figura 1), utilizando dois tipos de cimento: o cimento CPIV, com adição de pozolana natural e o CPIIF, com adição de filler calcáreo, cuja composição química está representada na Tabela I. Os concretos empregados utilizaram três relações água/cimento distintas (0,65, 0,57 e 0,50). Para cada condição, foram adicionados quatro diferentes

percentuais de cloretos em relação à massa de cimento (0%, 0,40%, 0,80% e 1,60%), o que ocorreu durante o amassamento do concreto.

Tabela I Composição química do cimento (%)

CPIV-32	SO3	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	RI	PF
	2,96	29,34	5,72	2,40	48,4	3,44	0,37	2,17	22,67	4,18

CPII-F 32	SO3	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	RI	PF
	3,21	18,11	4,13	2,27	59,87	3,81	0,21	1,51	1,45	5,50

Em cada corpo-de-prova foram adicionadas quatro barras de aço, simetricamente espaçadas, do tipo CA-50 e com diâmetro de 6,3 mm, 100 mm de comprimento e cobrimento de 10 mm. As barras, antes de serem inseridas nos corpos-de-prova, passaram pelo processo de limpeza superficial por ação mecânica. Após essa preparação inicial, cada barra teve as partes inferior e superior protegidas por fita isolante, delimitando uma área de exposição constante, conforme expõe a Figura 1.

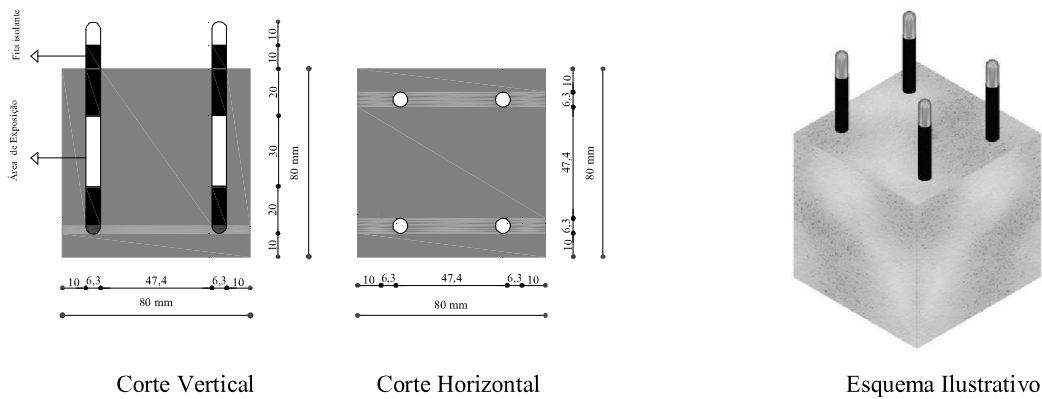


Figura 1 – Esquema dos corpos-de-prova

Uma vez moldados, os corpos-de-prova foram desmoldados com 24 horas e, em seguida, foram submetidos à cura úmida até o sétimo dia. Após esse período, os corpos-de-prova permaneceram em ambiente de laboratório, por aproximadamente dois meses, quando se iniciou o monitoramento eletroquímico das barras. Nesse momento, os corpos-de-prova foram colocados em câmara úmida para garantir a presença do eletrólito. Sendo a serie dos corpos-de-prova CPIV colocados na câmara úmida 1 e a série referente ao CPIIF na câmara úmida 2. As temperaturas e umidades podem ser observados na Figura 2, que indicam umidades relativas acima de 95% para as duas câmaras úmidas temperatura média ao redor dos 26 °C.

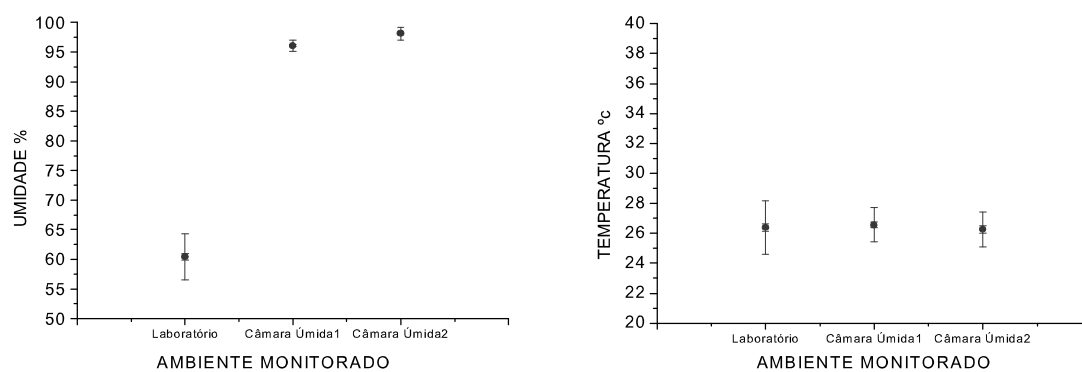


Figura 2 – Temperatura e umidade durante o período estudado

O monitoramento eletroquímico foi realizado através de medidas semanais do potencial de Corrosão (E_{corr}), empregando-se, para tal, um multímetro de alta impedância e um eletrodo de referência de Ag-AgCl, conforme expõe a Figura 3.



Figura 3 – Medidas do potencial de corrosão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Comportamento do potencial de corrosão

As Figuras 4 a 8 apresentam valores do potencial de corrosão das barras, medido semanalmente. O potencial limite presente nos gráficos corresponde ao limite de -254 mV referente ao eletrodo de Ag-AgCl|KCl(1M), equivalente ao potencial de -350 mV referente ao eletrodo Cu-CuSO₄|Cu²⁺ (sol sat), estabelecido pela ASTM C 876:1999 (ASTM, 1999) para indicar a probabilidade de corrosão superior a 95%. As Figuras 4 a 7, são representativas das condições analisadas e apresentam o comportamento do potencial de corrosão, comparando os dois tipos de cimentos estudados nesse trabalho. A Figura 8 representa o efeito da relação a/c no comportamento do potencial de corrosão.

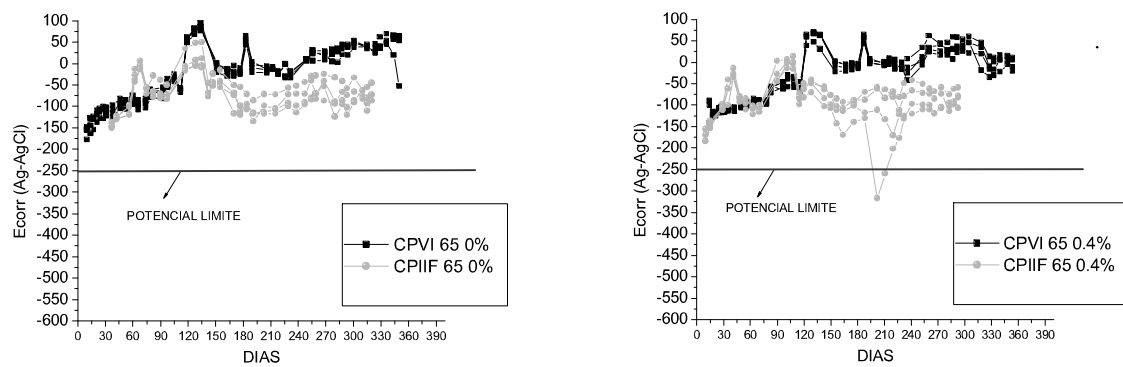


Figura 4 – Potenciais de corrosão para a/c de 0,65 e concentrações de cloretos de 0% e 0,4% em relação à massa de cimento

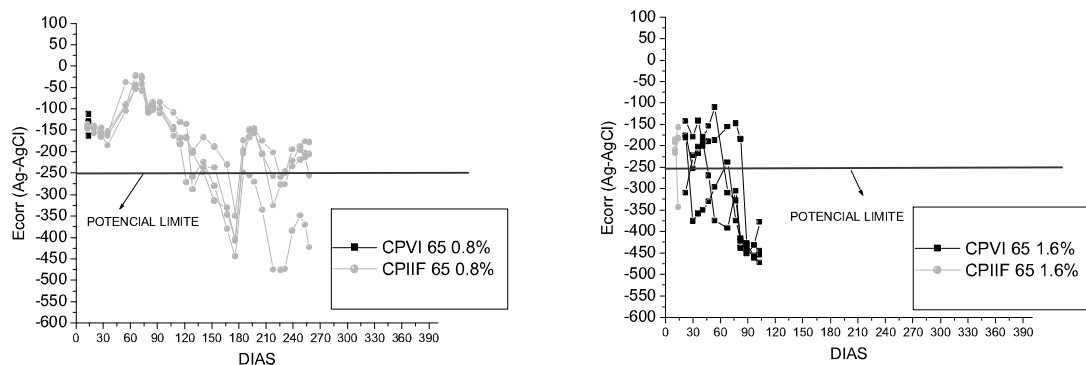


Figura 5 – Potenciais de corrosão para a/c de 0,65 e concentrações de cloretos de 0,8% e 1,6% em relação à massa de cimento

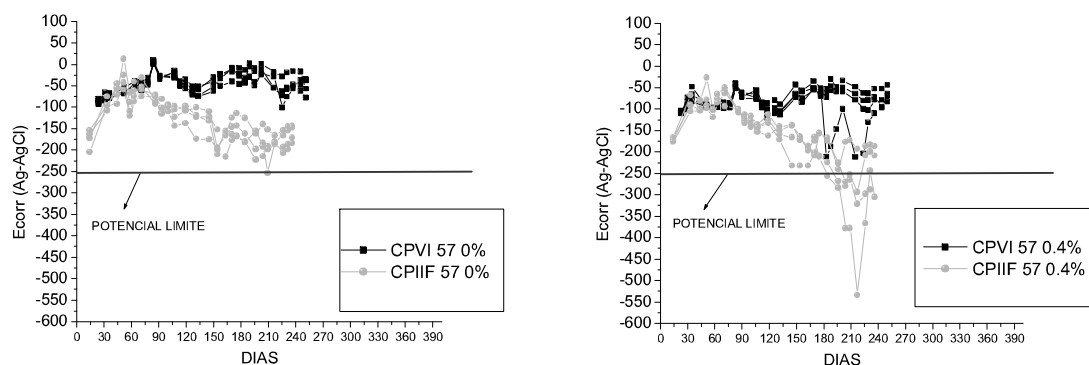


Figura 6 – Potenciais de corrosão para a/c de 0,57 e concentrações de cloretos de 0% e 0,4% em relação à massa de cimento

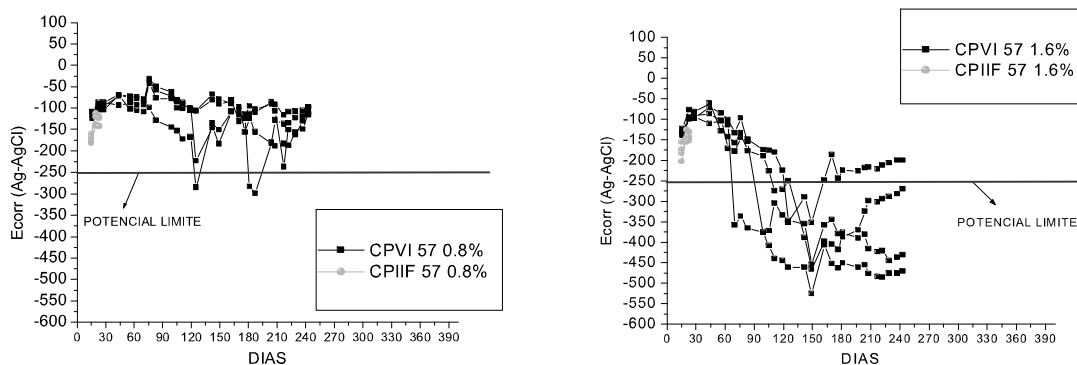


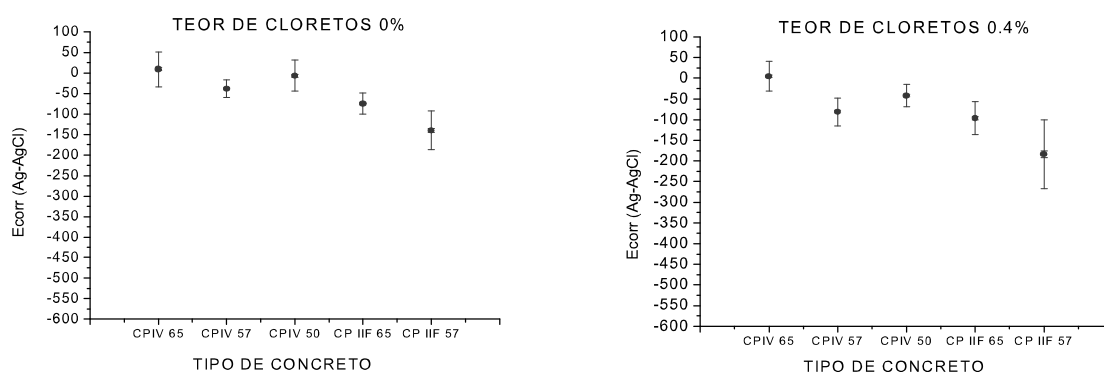
Figura 7 – Potenciais de corrosão para a/c de 0,57 e concentrações de cloretos de 0,8% e 1,6% em relação à massa de cimento

Observando-se as Figuras 4 a 7, pode-se verificar o melhor desempenho, no que se refere ao potencial de corrosão, dos concretos fabricados com o cimento CP IV, o que pode ser atribuído à pozzolana contida no cimento, pois a mesma tem como característica ocasionar o refinamento dos poros da matriz e aumentar a resistividade da matriz, proporcionando medidas menos eletronegativas.

Pode-se observar também que o potencial de corrosão das barras dos corpos-de-prova CP IV 65 0% e CP IV 65 0.4% apresentaram valores mais positivos, durante o período de 110 a 135 e 170 a 190 dias, conforme mostra a Figura 4. Nesse período os corpos-de-prova estavam em ambiente de laboratório, portanto com umidade bastante inferior à da câmara úmida, logo os resultados mostram que o aumento do teor de umidade do concreto implica em uma diminuição do potencial de corrosão medido nas barras. Estabelecendo, assim, uma relação inversamente proporcional. Daí a importância de acondicionar os corpos-de-prova em ambientes com umidades semelhantes.

Observando-se os resultados as Figuras 4 e 6, é fácil notar a condição passiva para a grande maioria das armaduras, uma vez que estas apresentam valores característicos do estado de passivação, não superando o potencial limite. De modo diferente, pode-se observar que as armaduras presentes nas Figuras 5 e 7 apresentam valores de potenciais de corrosão mais eletronegativos superando, em muitos casos, o potencial limite, caracterizando a condição ativa da armadura.

Com relação à variável a/c, a Figura 8, que apresenta os casos típicos da influência desta variável, não apresenta diferenças significativas em relação ao potencial para um mesmo tipo de cimento. Neste caso, se repete a condição do CPIIF apresentar potenciais mais eletronegativos que o CP IV, o que se relaciona com a resistividade dos concretos, conforme já abordado.



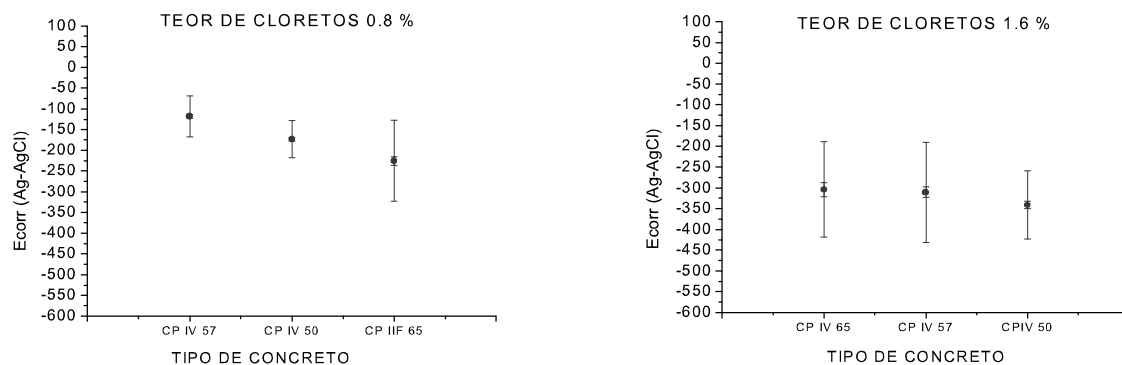


Figura 8 – Potencial de corrosão, considerando a média e o desvio padrão, comparando as diferentes relações a/c, e concentrações de cloretos de 0%, 0,4%, 0,8% e 1,6% em relação à massa de cimento

3.2. Teor crítico de cloretos

Com o intuito de observar o comportamento do teor crítico de cloretos, estabeleceram-se os valores médios de potencial e seus respectivos desvios com 95% de confiança, para as várias condições estudadas. A partir dos extremos estabeleceram-se as faixas de comportamento do potencial, indicando faixas de variação dos teores críticos. A Figura 9 apresenta esses resultados e indicam que, para o cimento CPIV oscilam entre 1,1% e 1,9%. Para o cimento CPIIF, esses valores oscilam entre 0,7% e 1,5%. Esse comportamento pode estar relacionado com a menor resistividade dos concretos elaborados com o cimento CPIIF, condição esta que favorece à instalação da célula eletroquímica de corrosão.

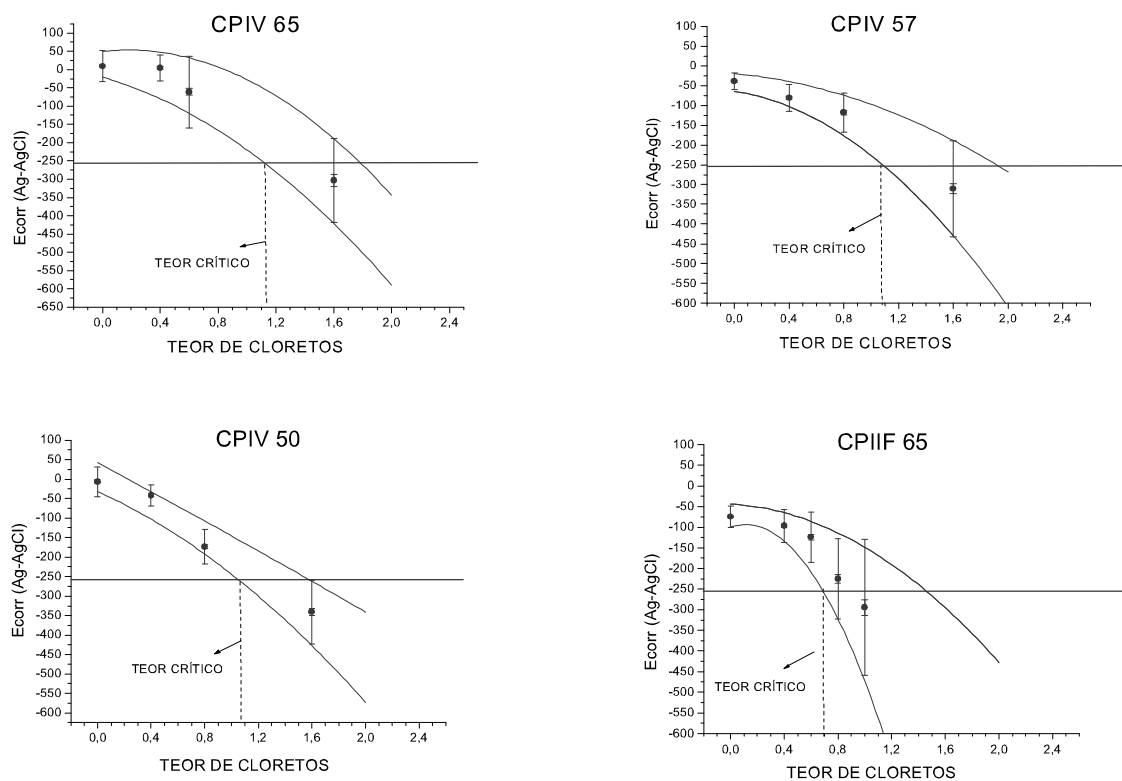


Figura 9 – Relação entre potencial de corrosão e teor de cloretos para diversas condições estudadas

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do teor crítico é muito importante, uma vez que é grande o número de problemas associados à corrosão desencadeada por cloretos, como também para uma melhor especificação dos materiais que são utilizados. A partir deste estudo podemos observar que:

- Os concretos elaborados com cimento CP IV apresentaram melhor desempenho em relação ao potencial de corrosão e ao teor crítico de cloretos.
- Não foi possível observar diferenças significativas com relação à influência do fator água/cimento no estabelecimento do teor crítico para cada tipo de cimento estudado.
- O teor crítico de cloretos situa-se entre 1,1% e 1,9% para os concretos elaborados com cimento CP IV e entre 0,7% e 1,5% para os concretos elaborados com o cimento CP IIF para as condições de umidade e temperatura estudados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society For Testing And Materials. ASTM C-876 (1999). **Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.

Andrade, J.J.O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Porto Alegre: UFRGS, 1997. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil)

Cascudo, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**. São Paulo: PINI: UFG, 1997.

Meira, G. R. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema de corrosão em estruturas de concreto armado**. Florianópolis: UFSC, 2004. (Tese – Doutorado em Engenharia Civil)

Neville, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.