

# INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE COBRIMENTO E DA CONTAMINAÇÃO POR CLORETOS NAS LEITURAS DE POTENCIAL DE CORROSÃO DE ARMADURAS

## Influence of the covering thickness and chloride contamination in the readings of corrosion potential of steel reinforcement

Francielle C. Rocha <sup>1</sup>, Heloisa Fuganti Campos <sup>2</sup>, Talita Soares-Andrade <sup>3</sup>,  
Ahiram Roquitski <sup>4</sup>, Marcelo Henrique de Medeiros <sup>5</sup>

Recebido em 07 de novembro de 2013; recebido para revisão em 10 de novembro de 2013; aceito em 03 de fevereiro de 2014; disponível on-line em 14 de maio de 2014.



### PALAVRAS CHAVE:

*Durabilidade do concreto;*  
*Corrosão de armaduras;*  
*Cobrimento;*  
*Teor de cloreto.*

### KEYWORDS:

*Concrete Durability;*  
*Corrosion of steel;*  
*Reinforcement;*  
*Coverings;*  
*Chloride content.*

**RESUMO:** A técnica de potencial de corrosão é utilizada como o método eletroquímico de auxílio ao monitoramento da corrosão das armaduras de estruturas de concreto armado desde os anos 50. Com os resultados obtidos durante a aplicação desse método, podem-se identificar regiões com armadura comprometida e como se distribui o processo de despassivação do aço na região em estudo. Porém, o método sofre a influência de inúmeros fatores ligados às características físicas e químicas do concreto, ao ambiente onde a estrutura está situada e aos procedimentos adotados no momento da efetuação das leituras. Este estudo tem como objetivo analisar a influência da espessura de cobrimento e da contaminação do concreto por cloretos nas leituras de potencial de corrosão de armaduras. Como resultado pode-se dizer que o cobrimento exerce influência direta nas leituras de potencial em concretos contaminados por cloreto. No caso do concreto não contaminado por cloretos a espessura de cobrimento não apresentou influência nas leituras de potencial de corrosão. O teor de cloretos apresenta influência nos resultados em avaliação, a presença de cloretos reduzem os valores de potencial de corrosão. Todas estas afirmativas se basearam na ferramenta estatística de análise de variância, ANOVA, aplicada com nível de significância de 95%.

**ABSTRACT:** The technique of corrosion potential is used as an electrochemical method to aid the corrosion monitoring of reinforced concrete structures since the 50s. Based on the results obtained during the application of the method, one can identify regions with compromised reinforcement as compromised and to determine how the steel depassivation process is distributed in the region under study. However, the method is influenced by numerous factors related to the concrete, to the environment and to the procedures used at the time of effecting the readings. In this case, the study is focused on analyzing the influence of the coating covering thickness and chloride contamination readings of reinforcement corrosion potential. As a result it can be said that the overlay has a direct influence on the readings of the concrete contaminated with chloride. In the case of concrete not contaminated by chlorides thickness of coatings showed no influence on the corrosion potential readings. It is also a finding of this research that the chloride content has influence on the results under evaluation. All these statements are based on the statistical tool ANOVA, applied with a significance level of 95%.

### \* Contato com o autor:

- <sup>1</sup> e-mail : [francrisr@hotmail.com](mailto:francrisr@hotmail.com) ( F. C. Rocha )  
Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná – UFPR.
- <sup>2</sup> e-mail : [helo\\_campos@hotmail.com](mailto:helo_campos@hotmail.com) ( H. F. Campos )  
Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná – UFPR.
- <sup>3</sup> e-mail : [talitaccsoares@gmail.com](mailto:talitaccsoares@gmail.com) ( T. Soares Andrade )  
Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná – UFPR.
- <sup>4</sup> e-mail : [roquitski@hotmail.com](mailto:roquitski@hotmail.com) ( A. Roquitski )  
Engenheiro Civil da Universidade Federal do Paraná – UFPR.
- <sup>5</sup> e-mail : [medeiros.ufpr@hotmail.com](mailto:medeiros.ufpr@hotmail.com) ( M. H. F Medeiros )  
Professor Doutor, Departamento de Construção Civil , Universidade Federal do Paraná – UFPR.

## 1. INTRODUÇÃO

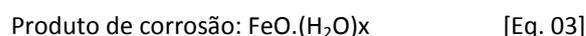
A capacidade estrutural de elementos de concreto armado submetidos às ações tanto do meio ambiente, quanto do uso dependem da resistência do concreto, da resistência da armadura e da interação entre ambos. Portanto, qualquer um que se deteriore comprometerá o funcionamento da estrutura como um todo (MEDEIROS *et al.*, 2011).

O mecanismo de degradação mais comum nas estruturas de concreto com relação à durabilidade é a corrosão de armaduras, responsável por aproximadamente 52% das manifestações patológicas já no início da década de 90. A presença de uma quantidade suficiente de íons cloreto, que podem estar presentes na atmosfera em ambientes marinhos e industriais, ou nos componentes do próprio concreto, e a diminuição da alcalinidade do concreto, devido às reações de carbonatação ou mesmo devido à penetração de substâncias ácidas, pode gerar a perda da película passiva que envolve a armadura. Quaisquer diferenças de potencial entre pontos podem gerar uma corrente de troca iônica, iniciando o processo de corrosão (HELENE 1993a).

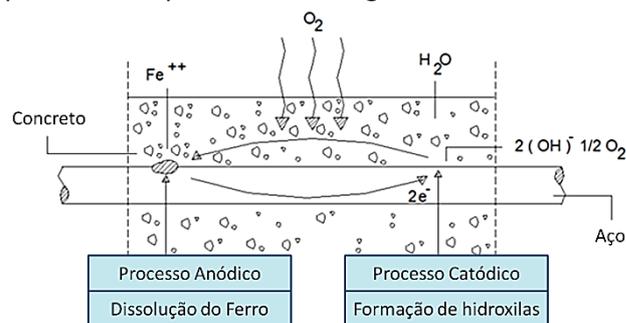
O fenômeno da corrosão passa a ocorrer quando o processo de reação química ou eletroquímica caracteriza uma interação destrutiva entre um metal e o meio circundante. Segundo Marcelli (2007), a corrosão pode ser acelerada pela presença de agentes agressivos externos, internos, incorporados ao concreto ou presentes no meio ambiente. Em termos práticos, o fenômeno eletroquímico pode ocorrer devido à redução significativa no pH do concreto (pH menor que 11,5). Tal redução deve-se à diminuição dos níveis de hidróxido de cálcio e íons sódio e potássio, dentre outros elementos que mantêm a alcalinidade elevada do concreto (ROCHA, 2012).

O processo de corrosão ocorre porque algumas partes do metal (quando apenas um tipo de metal está presente) tornam-se anódicas e outras catódicas, gerando fluxo de íons. As alterações químicas fundamentais que ocorrem nestas áreas seguem as seguintes reações, descritas

por meio das Equações 1, 2 e 3 (MEHTA e MONTEIRO, 2008):



Para haver reação anódica envolvendo a ionização do ferro, é necessário um fluxo de elétrons no sentido do cátodo, que é mantido por meio do consumo de elétrons na região catódica. Dessa maneira, para o processo catódico, a presença tanto do ar como da água na superfície do cátodo é absolutamente necessária, associando o processo corrosivo do aço com o comportamento do fenômeno de uma pilha, baseado em três elementos básicos: eletrólito, diferença de potencial e oxigênio (MEHTA e MONTEIRO, 2008). O processo é representado na Figura 1.



**FIGURA 1:** Esquema do processo de corrosão de uma barra envolta por concreto.

**Fonte:** ROCHA, (2012).

Em linhas gerais, existe uma correlação do potencial de corrosão nas armaduras com a probabilidade de ocorrência da corrosão nas mesmas. O ensaio não destrutivo que mede o potencial de corrosão envolve uma aparelhagem de simples manuseio, mas exige experiência do operador quanto à interpretação dos resultados.

Neste cenário, o objetivo deste trabalho é investigar a influência do cobrimento e da contaminação do concreto por cloretos nas leituras de potencial de corrosão de armaduras. Sendo que o cobrimento é tratado como uma camada de proteção para a barra de aço. Gerando assim, informações que esclareçam algumas variações do potencial corrosivo que contribuem para a disseminação do conhecimento acerca do uso e interpretação dessa técnica de medição, facilitando a interpretação dos dados obtidos em campo.

## 2. METODOLOGIA

As variáveis foram divididas em 2 grupos, variáveis dependentes e independentes. Sendo que as variáveis independentes representam os parâmetros cuja influência na variável dependente se pretende investigar. Neste trabalho foram consideradas como variáveis independentes:

- Espessura de cobrimento da armadura (2 níveis: 1 cm e 3 cm);
- Grau de contaminação do concreto (2 níveis: sem cloretos adicionado ao concreto e 1% de Cl<sup>-</sup> em relação a massa de cimento no momento do amassamento do concreto).

Por outro lado, as variáveis dependentes são as variáveis de leitura, ou seja, os parâmetros buscados como variável de resposta. A variável dependente deste trabalho foi o potencial de corrosão de armaduras em peças de concreto armado.

Os corpos de provas foram moldados com o intuito de representar um trecho de uma viga de concreto armado, como apresentando na Figura 2. Para isso foram definidas as dimensões de 15 x 15 cm para a seção transversal e com 45 cm de comprimento. Foram concretadas 4 barras ( $\varnothing$  10 mm) no interior de cada corpo de prova. Foram empregados três traços de concreto, que foram: 1:3, 1:4 e 1:5. Estas três dosagens tornam possível avaliar 3 níveis de relação água/cimento e consequentemente três níveis de resistência à

compressão. A cura dos corpos de prova para o monitoramento do potencial de corrosão, em primeiro momento, foi em câmara úmida (95% de U.R. e  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  de temperatura) até o 70º dia. Depois os mesmos foram transferidos para um laboratório com condições ambiente por cerca de um ano. Este tempo de cura prolongado foi escolhido para simular estruturas reais que venham a sofrer a necessidade de ensaios de campo.

Para a análise da influência da espessura de cobrimento, os corpos de prova foram confeccionados com 1 cm de cobrimento para as barras próximas da face 1 e com 3 cm de cobrimento para as barras próximas da face 2. Esses valores simulam a influência de casos extremos, sendo o primeiro relacionado aos problemas de cobrimento insuficiente ao estabelecido pela norma ABNT NBR 6118 (ABNT 2007) e o último ao valor estabelecido pela mesma norma em casos de classe de agressividade ambiental II (moderada em macro clima de região marinha, ambiente interno ou externo com umidade relativa do ar  $\leq 65\%$ , com risco pequeno de deterioração da estrutura). Porém, vale salientar que a NBR 6118 (ABNT, 2007) especifica um cobrimento mínimo para estruturas de concreto aparente ao ar livre de 2,5 cm, ou seja, o cobrimento adotado de 3 cm atende a esta condição. Como muitas estruturas que atualmente necessitam passar por trabalhos de inspeção foram construídas baseadas em normas anteriores, que estabeleciam cobrimentos menores, pode-se considerar esta uma informação importante.

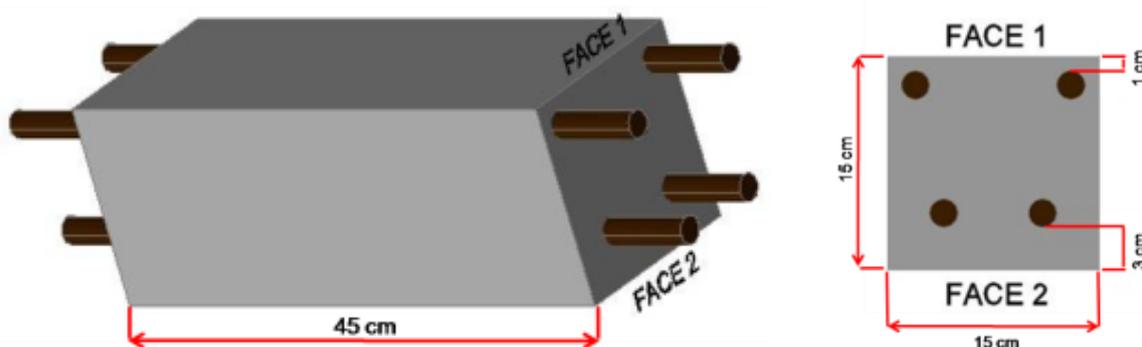


FIGURA 2: Representação esquemática dos corpos de prova.

Fonte: ROCHA, (2012).

A Tabela 1 apresenta as diferenciações dos corpos de prova bem como a nomenclatura empregada no presente estudo. Vale salientar que cada corpo de prova tem duas barras com um mesmo revestimento, ou seja, se são 2 corpos de prova para cada série de ensaio existem 4 barras de leitura para cada caso estudado.

Para as leituras de potencial de corrosão empregadas neste trabalho, os corpos de prova passaram por 3 ciclos de imersão e secagem. Cada ciclo era composto por 2 dias de imersão em água e 5 dias de secagem ao ar, como indicado na Figura 3. Estes ciclos ocorreram quando os corpos de prova tinham a idade entre 425 e 450 dias contada

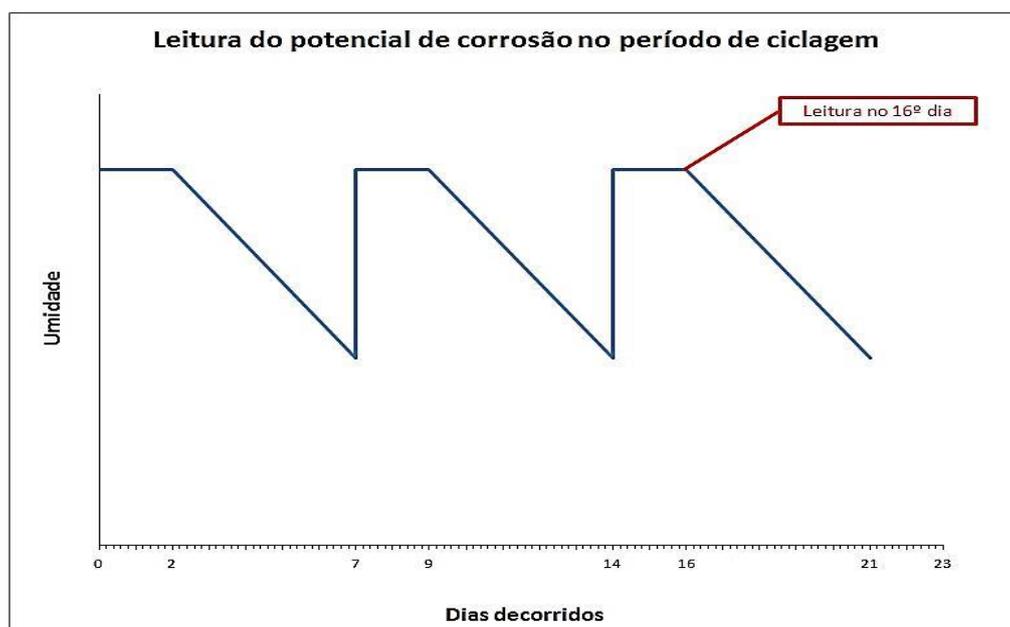
a partir da moldagem dos corpos de prova. Os resultados apresentados na seção 4 se referem ao tempo de 16 dias de ciclagem, como representado também na Figura 3. Essa data é considerada representativa do período em que os corpos de prova foram retirados da condição de imersão para a última semana de secagem ao ar.

Como destacado anteriormente, a espessura de revestimento das armaduras é de extrema importância frente a ataques externos. Desta maneira, este trabalho apresenta uma análise crítica dos resultados de ensaios que verificam tanto a influência do revestimento quanto o nível de contaminação por cloretos na variação do potencial de corrosão.

**TABELA 1:** Nomenclatura dos corpos de prova confeccionados de acordo com as variáveis de análise.

Nomenclatura	Traço (em massa)	Quantidade de corpos de prova		Resist. à tração (MPa)	Resist. à compressão (MPa)
		Com íons Cloreto	Sem íons Cloreto		
1:3 Com Cl <sup>-</sup>	1;1,08;1,92;0,42	2	2	3,38	50,24
1:3 Sem Cl <sup>-</sup>					
1:4 Com Cl <sup>-</sup>	1;1,60;2,40;0,50	2	2	3,69	31,3
1:4 Sem Cl <sup>-</sup>					
1:5 Com Cl <sup>-</sup>	1;2,12;2,88;0,59	2	2	3,32	30,18
1:5 Sem Cl <sup>-</sup>					

Fonte: ROCHA, (2012).



**FIGURA 3:** Leitura do potencial de corrosão no período de ciclagem.

## 2.1 MATERIAIS

O cimento utilizado na moldagem dos corpos de prova foi o CP II-F-32 devido à menor taxa de adição mineral (6 a 10% de fíler calcário).

A grande parte da granulometria da areia natural utilizada na confecção do concreto situa-se em zona ótima (dimensão máxima de 4,8 mm), enquanto que os agregados graúdos empregados encontram-se na faixa de dimensões entre 9,5 e 25,0 mm, sem falhas na composição granulométrica proporcionando melhor empacotamento dos grãos. O módulo de finura dos agregados graúdos e miúdos foram 2,23 e 6,94, respectivamente. As barras de aço empregadas nos corpos de prova foram do tipo CA50, com 10 mm de diâmetro e 65 cm de comprimento.

Para simular a contaminação do concreto foi feita a inserção de NaCl incorporado na água de amassamento, em proporções calculadas segundo uma porcentagem significativa de íons  $Cl^-$  na massa de concreto (1% de  $Cl^-$  em relação a massa de cimento). Este é considerado um alto grau de contaminação, uma vez que o teor crítico para despassivação das armaduras mais aceito mundialmente é de 0,4%. Para garantir o teor de 1% de cloretos em relação à massa de cimento, levou-se em consideração a massa molecular dos componentes Na e Cl (23 g e 35 g, respectivamente) para o cálculo da massa de NaCl a ser adicionada na betoneira.

A dosagem do concreto foi de acordo com o método de dosagem mais utilizado no Brasil e detalhado por Helene e Terzian (1993b). Foi usado o teor ótimo de argamassa seca e uma faixa de abatimento de  $100 \pm 20$  mm para se chegar ao proporcionamento desejado e elaboração do diagrama de dosagem. O teor de argamassa obtido (teor ótimo + 2 % de folga) foi igual a 52 %. Cabe salientar que não foi incorporado aditivo nem adições na dosagem das misturas, para evitar a introdução de materiais extra que possam gerar interferências indesejadas e incompreendidas nas leituras de potencial de corrosão.

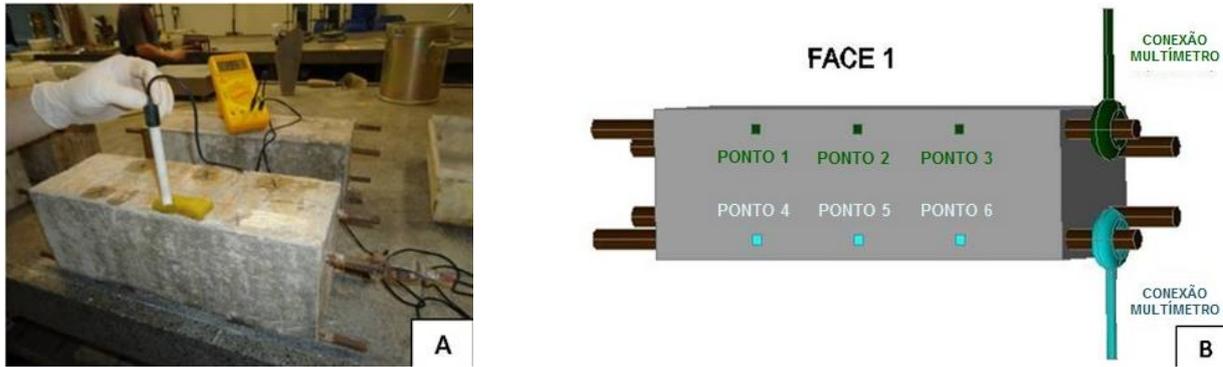
## 2.2 LEITURAS DE POTENCIAL DE CORROSÃO

O método empregado para a avaliação do potencial de corrosão compreende o uso de um voltímetro de alta impedância de entrada ( $>20 M\Omega$ ) e resolução em nível de milivolt. O mesmo está conectado a um eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre e à armadura que se deseja avaliar. Para melhorar a condutividade elétrica entre o eletrodo de referência e o concreto, uma esponja umedecida com água foi posicionada na superfície de contato entre ambos no momento de cada leitura, conforme Figura 4(a).

As leituras consistem na diferença de potencial (ddp) entre as partes envolvidas no ensaio (eletrólito instável - sistema aço/concreto - e outro estável - eletrodo de referência) e se baseiam no princípio da pilha eletroquímica.

O método segue o procedimento estabelecido pela ASTM C 876 (2009) e faz necessário um contato elétrico do voltímetro com a armadura a qual se deseja efetivar a leitura de potencial de corrosão. Desse modo, em todas as leituras, um pólo do voltímetro foi ligado ao eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre e o outro a armadura investigada. O eletrodo de referência entra em contato com a superfície do concreto de modo que a armadura a qual se deseja investigar esteja logo abaixo do contato entre o eletrodo e a superfície do concreto.

As leituras de potencial obtidas são negativas e associa-se à probabilidade de corrosão de acordo com as faixas previamente estabelecidas pela norma ASTM C 876:2009. Para cada caso de estudo foi trabalhado com a média das leituras realizadas, ou seja, como exemplo pode-se citar que para o caso do cobrimento de 1 cm foi feita uma média de 12 valores de potencial de corrosão, sendo 2 barras com este cobrimento em cada corpo de prova, 2 corpos de prova para cada traço de concreto e 3 leituras por barra totalizando 12 leituras (2 barras por cobrimento vezes 2 corpos de prova por caso estudado vezes 3 leituras por barra ).



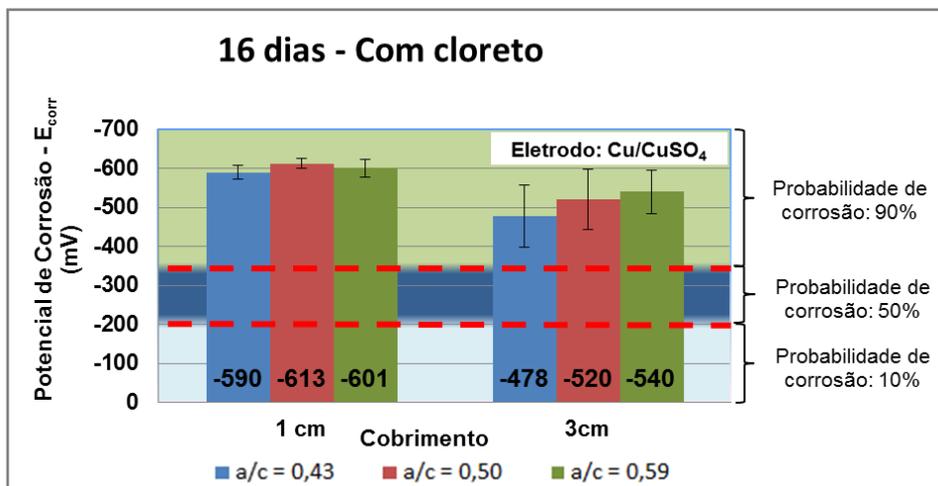
**FIGURA 4:** (A) Execução do ensaio para determinação do potencial de corrosão com multímetro de alta impedância; (B) Posicionamento dos pontos de leituras e multímetro

Fonte: ROCHA, (2012).

### 3. RESULTADOS

A Figura 5 mostra o resultado das leituras de potencial de corrosão no 16º dia do período de ciclagem para o caso de concreto contaminado por cloretos. Observa-se que os desvios padrão para o cobrimento igual a 3 cm foram maiores se comparados com os do cobrimento igual a 1 cm. Isso pode ser explicado pelo fato que quanto maior a espessura de cobrimento, pior as condições de

contato elétrico entre o eletrodo de trabalho (barra de aço) e o eletrodo de referência. Os dados apresentados mostram que isso se reflete com a elevação da variabilidade dos resultados, visto que não é possível diferenciar faixas de valores de potencial de corrosão de acordo com o traço estudado. Pela análise de variância para o caso de contaminação por cloretos, (Tabela 2), é possível afirmar que o cobrimento incide diretamente nas leituras de potencial de corrosão, segundo intervalo de confiança igual a 95%.



**FIGURA 5:** Influência do cobrimento sobre o potencial de corrosão com a/c= 0,43; 0,50 e 0,59 – com cloreto.

Fonte: ROCHA, (2012).

**TABELA 2:** Análise de variância do cobrimento para os traços 1:3 ( $a/c=0,43$ ); 1:4 ( $a/c=0,50$ ) e ( $a/c=0,59$ ) – com cloretos (95% de significância).

ANOVA	Traço 1:3	16 dias	Com Cloreto			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre cobrimentos	75040,17	1	75040,167	22,538	0,000	4,301
Dentro dos grupos	73248,33	22	3329,470			
Total	148288,50	23				

ANOVA	Traço 1:4	16 dias	Com Cloreto			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre cobrimentos	51894,00	1	51894,000	16,813	0,000	4,301
Dentro dos grupos	67905,33	22	3086,606			
Total	119799,33	23				

ANOVA	Traço 1:5	16 dias	Com Cloreto			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre cobrimentos	21840,67	1	21840,667	12,145	0,002	4,301
Dentro dos grupos	39562,67	22	1798,303			
Total	61403,33	23				

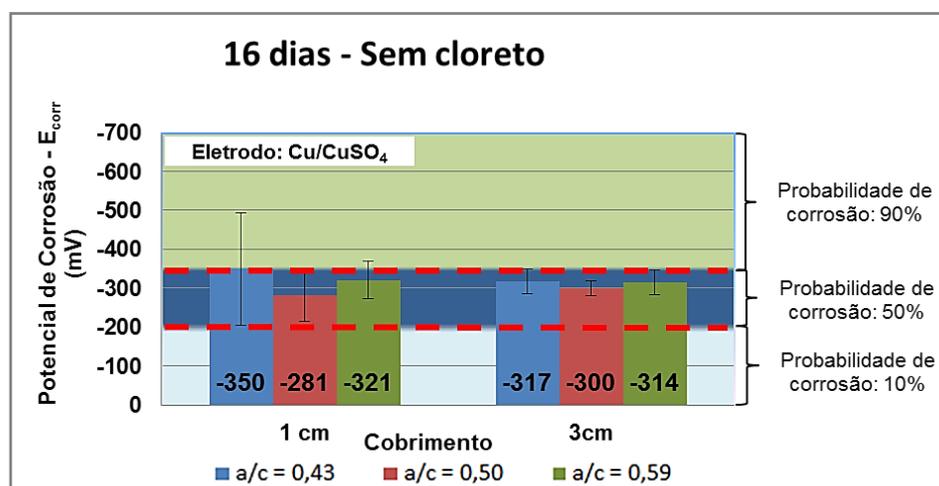
Fonte: ROCHA, (2012).

A Figura 5 apresenta os dados relativos aos concretos não contaminados com cloretos. Neste caso o efeito do cobrimento não é relevante, como confirmado pela análise de variância aplicada com 95% de nível de significância.

Comparando as Figuras 5 e 6, nota-se que a influência do cobrimento nas leituras de potencial de corrosão é diferente para o concreto contaminado por cloretos e para o concreto não contaminado nas primeiras idades. Desse modo, ele é um fator de influência importante no primeiro

caso e no segundo caso não tem importância nos resultados.

As faixas de probabilidade de corrosão também são quesitos a serem levados em consideração. Nota-se que os níveis de potencial de corrosão para os dois teores de contaminação são bem definidos, com maior probabilidade de corrosão (95%) nos concretos contaminados com 1% de cloretos em relação à massa de cimento (Figura 5) e classificação como zona de incerteza no caso de concretos não contaminados por cloretos (Figura 6).

**FIGURA 6:** Influência do cobrimento sobre o potencial de corrosão com  $a/c=0,43$ ;  $0,50$  e  $0,59$  – sem cloreto

Fonte: ROCHA, (2012).

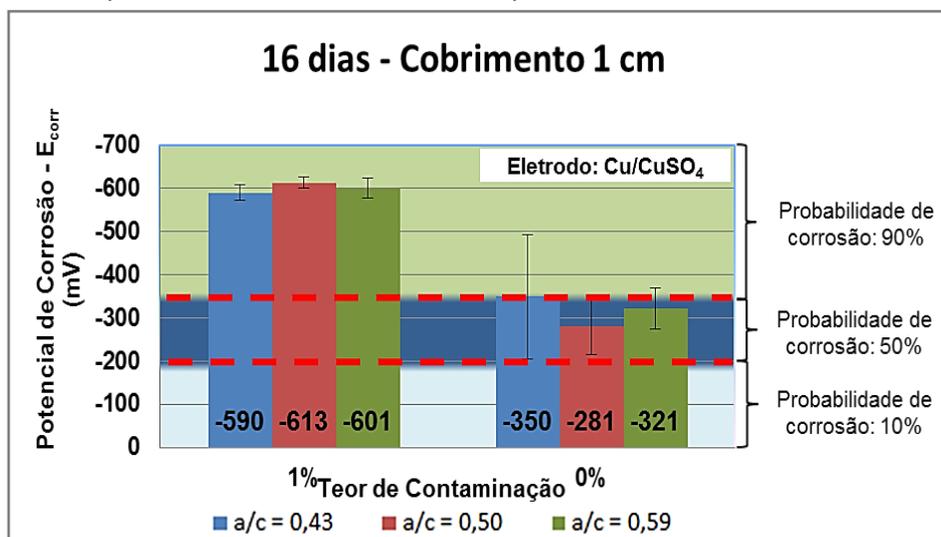
**TABELA 3:** Análise de variância do cobrimento para os traços 1:3 (a/c= 0,43); 1:4 (a/c=0,50) e (a/c=0,59) – sem cloretos (95% de significância).

ANOVA	Traço 1:3	16 dias	Sem Cloreto			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre cobrimentos	6305,04	1	6305,042	0,582	0,453	4,301
Dentro dos grupos	238160,92	22	3329,470			
Total	244465,96	23				
ANOVA	Traço 1:4	16 dias	Sem Cloreto			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre cobrimentos	2128,17	1	2128,17	4,12	0,05	4,30
Dentro dos grupos	11353,17	22	3329,470			
Total	13481,33	23				
ANOVA	Traço 1:5	16 dias	Sem Cloreto			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre cobrimentos	273,17	1	273,17	0,162	0,691	4,301
Dentro dos grupos	37151,58	22	3329,470			
Total	37444,96	23				

Fonte: ROCHA, (2012).

As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados de potencial de corrosão comparando o efeito do grau de contaminação por cloretos para as espessuras de cobrimento de 1 cm e 3 cm, respectivamente. Nota-se claramente uma diferença entre os resultados, ou seja, uma clara tendência de valores de potencial de corrosão mais negativos nos casos em que o concreto está contaminado com 1% de cloretos em relação à massa de cimento. Isto pode ser afirmado com 95%

de significância tanto para o cobrimento de 1 cm como para o de 3 cm, conforme pode ser observado também pela diferença de variabilidade dos dados para os dois casos. Este comportamento é explicado pela tendência de elevação de condutividade elétrica proveniente dos íons cloretos no concreto, assim como a atividade de corrosão proporcionada pela presença destes íons, quebrando a película passivadora e instalando o processo de corrosão de armaduras.



**FIGURA 7:** Influência do cobrimento sobre o potencial de corrosão com a/c=0,43; 0,50 e 0,59 – cobrimento = 1cm  
 Fonte: ROCHA, (2012).

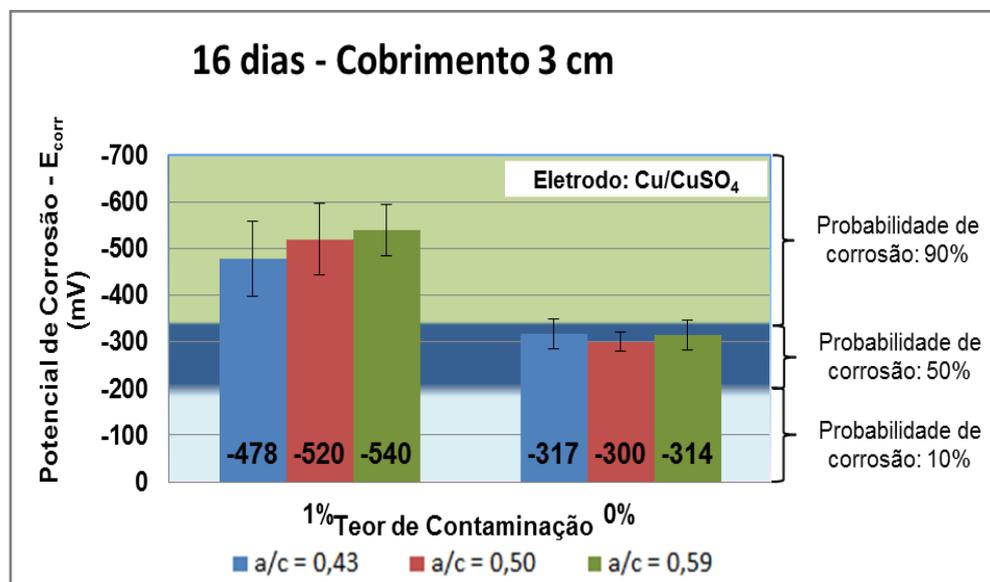
**Tabela 4:** Análise de variância do teor de contaminação para os traços 1:3 (a/c= 0,43); 1:4 (a/c=0,50) e (a/c=0,59) – sem cloretos (95% de significância) – cobrimento = 1cm.

ANOVA	Traço 1:3	Cobrimento = 1cm	16 dias			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre taxas de contaminação	154561,50	1	154561,50	42,042	0,000	4,301
Dentro dos grupos	80880,33	22	3676,379			
Total	235441,83	23				

ANOVA	Traço 1:4	Cobrimento = 1cm	16 dias			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre taxas de contaminação	290620,04	1	290620,04	90,667	0,000	4,301
Dentro dos grupos	70517,92	22	3205,360			
Total	361138,00	23				

ANOVA	Traço 1:5	Cobrimento = 1cm	16 dias			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre taxas de contaminação	468442,04	1	468442,04	324,039	0,000	4,301
Dentro dos grupos	31803,92	22	1445,633			
Total	500245,96	23				

Fonte: ROCHA, (2012).



**FIGURA 8:** Influência do cobrimento sobre o potencial de corrosão com a/c=0,43; 0,50 e 0,59 – cobrimento = 3 cm.

Fonte: ROCHA, (2012).

**TABELA 5:** Análise de variância do teor de contaminação para os traços 1:3 ( $a/c=0,43$ ); 1:4 ( $a/c=0,50$ ) e ( $a/c=0,59$ ) – sem cloretos (95% de significância) – cobrimento = 3cm.

ANOVA	Traço 1:3	Cobrimento = 3cm	16 dias			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre taxas de contaminação	154561,50	1	154561,50	42,042	0,000	4,301
Dentro dos grupos	80880,33	22	3676,379			
Total	235441,83	23				

ANOVA	Traço 1:4	Cobrimento = 3cm	16 dias			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre taxas de contaminação	290620,04	1	290620,04	90,667	0,000	4,301
Dentro dos grupos	70517,92	22	3205,360			
Total	361137,96	23				

ANOVA	Traço 1:5	Cobrimento = 3cm	16 dias			
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre taxas de contaminação	306004,17	1	306004,17	149,834	0,000	4,301
Dentro dos grupos	44930,33	22	2042,288			
Total	350934,50	23				

Fonte: ROCHA, (2012).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho produziu informações que contribuem para fundamentar os trabalhos de inspeção de estruturas de concreto armado empregando a técnica de potencial de corrosão em campo. As análises realizadas abordaram dois aspectos:

- **INFLUÊNCIA DO COBRIMENTO:** Foi verificado que a influência do cobrimento é diferente para o caso de concreto contaminado (1% de cloretos em relação à massa de cimento) e não contaminado com cloretos. Com os dados obtidos e pela análise de variância aplicada, nos casos de concretos contaminados por cloretos é possível afirmar que o cobrimento apresenta influência nas leituras de potencial de corrosão segundo o intervalo de 95% de confiança. A influência da espessura de cobrimento no caso do concreto contaminado com cloretos é indireta, ou seja, quanto maior o cobrimento menor o valor do potencial de corrosão. Já nos casos de concretos moldados sem a

contaminação por cloretos, o efeito do cobrimento é irrelevante com 95% de significância.

- **INFLUÊNCIA DO GRAU DE CONTAMINAÇÃO POR CLORETOS:** Com 95% de significância, pode-se afirmar que a contaminação por cloretos influencia os valores de potencial de corrosão. O enquadramento das faixas de probabilidade de corrosão dos dois teores de contaminação deste estudo (0% e 1% de cloretos em relação à massa de cimento) é bem definido, com os concretos não contaminados enquadrados na zona de incerteza e os concretos contaminados situados na zona de 95% de probabilidade de corrosão. Desse modo, pode-se dizer que a presença de cloretos reduzem os valores de potencial de corrosão.

É importante registrar que estas constatações são limitadas ao experimento realizado e materiais empregados. A generalização das conclusões só é possível com mais estudos envolvendo outros tipos de cimento, a presença de aditivos e de adições minerais, assim como outras

variações na dosagem do concreto. Porém, este trabalho contribui mostrando a importância de um controle do cobrimento dos elementos estruturais de concreto armado e da influência do grau de contaminação apresentado pelo material.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2007** - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-876**: Standard Test Method for Half-Cell Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. Philadelphia, 2009.

**HELENE, P. R. L.** Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. **1993a. 231f. Tese (Livre docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1993a.**

**HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R.** Manual de Dosagem e Controle do Concreto. **São Paulo: PINI/SENAI, 1993b.**

MARCELLI, M. **Sinistro na Construção Civil.** São Paulo: PINI, 1ª edição, 2007.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto.** In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ibracon, 1ª. Edição, 2011. Cap. 22. v. 1, p. 773-808, 2011.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, J. P. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI. 2008.

**ROCHA, F. C.** Leituras de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado: influência da relação água/cimento, da temperatura, da contaminação por cloretos, da espessura de cobrimento e do teor de umidade do concreto. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), 135p. 2012.**