Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

VARIAÇÃO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL DO CONCRETO EM CORPOS DE PROVA ARMADOS E NÃO ARMADOS

A. S. MOURÃO
Acadêmica em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
andrezzasmourao@gmail.com

A. D. FONTENELE
Acadêmica em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
afontenele38@gmail.com

L. F. MARTINS
Acadêmica em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
leniisemartins_@hotmail.com

O. M. CORDEIRO
Acadêmica em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
oliviacordeiro@hotmail.com

A. G. DIÓGENES
Professora Mestre
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
aldeciragd@yahoo.com.br

C. M. M. PASCHOAL
Professora Doutora
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
cinthiam.paschoal@gmail.com

RESUMO

A resistividade elétrica está intimamente ligada à velocidade de propagação da corrosão nas armaduras e ao processo de degradação de armaduras, uma manifestação patológica frequentemente encontrada nas estruturas de concreto. Este ensaio é não-destrutivo e geralmente utiliza-se o método de Wenner, conhecido como dos quatro eletrodos, para as medições. No Brasil inexiste uma norma específica para ensaios de resistividade elétrica superficial (RES) e não há uma uniformização nacional de procedimentos. Este trabalho teve o objetivo de estudar a variação da resistividade elétrica superficial do concreto em corpos-de-prova armados e não armados, a fim de analisar e quantificar os resultados dos ensaios, com o intuito de contribuir com a elaboração de uma norma nacional. Para isso, foram confeccionadas três séries de concreto convencionais: sem armadura (referencial), com disposição da armadura em paralelo e cruzada. A resitividade elétrica foi analisada nas idades de 7, 28, 56, 91, 119 e 147 dias Os resultados obtidos mostraram que a armadura interfere de forma significativa nos valores de resistividade elétrica. Quanto à disposição da armadura, observou-se que a disposição em paralelo apresentou valores de resistividade elétrica superiores aos dos concretos não-armados, enquanto a armadura cruzada apresentou valores menores do que os referenciais. Por outro lado, observou-se que a curva da resistividade elétrica em função da idade apresenta a mesma tendência, podendo-se aplicar um fator de correção quando necessário. Desta forma, percebe-se a importância de conhecer a influência da armadura na leitura da resistividade para que possa ser feita uma correta análise sobre a probabilidade de corrosão das estruturas.
Palavras-chave: Resistividade elétrica, corrosão das armaduras, concreto.

ABSTRACT

The electric resistivity is closely connected to the speed propagation of corrosion on armor and to the armor process of degradation, a pathological manifestation often found on concrete structures. This test is not-destructive and usually is used the Wenner's method, known as the four electrodes, for measurements. In Brazil does not exist a specific norm to superficial electric resistivity tests (SER) and there is not a national standardization of proceedings. This work has the objective of study the variation of the superficial electric resistivity of concrete in proof bodies armed and non-armed, to analyze and quantify the tests results, in order to contribute with an elaboration of a national norm. For this, were made three series of conventional concrete: no armor (referential), with disposal of armor in crusade and parallel. The electric resistivity was analyzed at ages of 7, 28, 56, 91, 119 and 147 days. The results showed that the armor interfere in a significant form at the values of electric resistivity. As the disposal of armor, it was observed that the disposal in parallel showed values of electrical resistivity higher than the non-armed concretes, while the crusade armor showed lower values than the referential. However, it was observed that the electric resistivity's curve in function of the age shows the same tendency, so it can apply a correction factor when necessary. Thus, it is realized the significance of understand the armor influences on the resistivity reading for it can be made a correct analysis about the probability of the structures corrosion.
Keywords: electric resistivity, armor corrosion, concrete.

1. INTRODUÇÃO

O concreto convencional, quando sujeito a alguns agentes patológicos, tem sua durabilidade reduzida ou até mesmo sua estabilidade estrutural lesada. Um dos problemas enfrentados com o concreto é a corrosão precoce da armadura que, segundo Santos (2006 apud AHMAD, 2003) [1], é uma das causas mais comuns de prejuízos físicos à estrutura. Além de também exigir altos gastos para a reparação da construção. Por isso, o interesse em buscar, através de novos estudos, estruturas de concretos mais duráveis motiva propostas para avaliar o processo de corrosão e tentar aumentar a vida útil das estruturas.

Vem desta constatação, a importância do estudo da resistividade elétrica no concreto, pois como afirma Santos (2006 apud Cascudo, 1997) [2], a resistividade elétrica do concreto, juntamente com o acesso de oxigênio à armadura constituem os dois elementos principais controladores do processo eletroquímico que gera o fenômeno da corrosão de armaduras. Dessa forma, a velocidade de corrosão do aço no concreto depende muito da resistividade elétrica ou, por outro lado, da condutividade elétrica do eletrólito (fase líquida do concreto). No entanto, alguns fatores podem influenciar na correta leitura da resistividade elétrica de uma estrutura e, no Brasil, este ensaio ainda não é normatizado.

Este trabalho tem o objetivo de estudar a variação da resistividade elétrica superficial do concreto em corpos-de-prova armados (com diferentes disposições das barras de aço) e não armados, a fim de analisar e quantificar os resultados dos ensaios, com o intuito de obter novos dados que de alguma forma possam contribuir com a elaboração de uma norma nacional brasileira de resistência elétrica superficial no concreto.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CP II Z 32 RS (CP - Cimento Portland; II- Composto; Classe 32-Resistência 32 MPa; RS - Resistência a Sulfatos), um dos mais utilizados na região Norte do Ceará. Segundo as especificações do fabricante é composto de clínquer (calcário e argila) e pozolana e possui área especifica de Blaine de 4587 cm²/g. As Tabelas 1 e 2 expõem algumas especificações e características desse cimento.

Tabela 1 - Teor de cada composto do CP II Z 32 RS utilizado (Fonte: Fabricante, 2015).

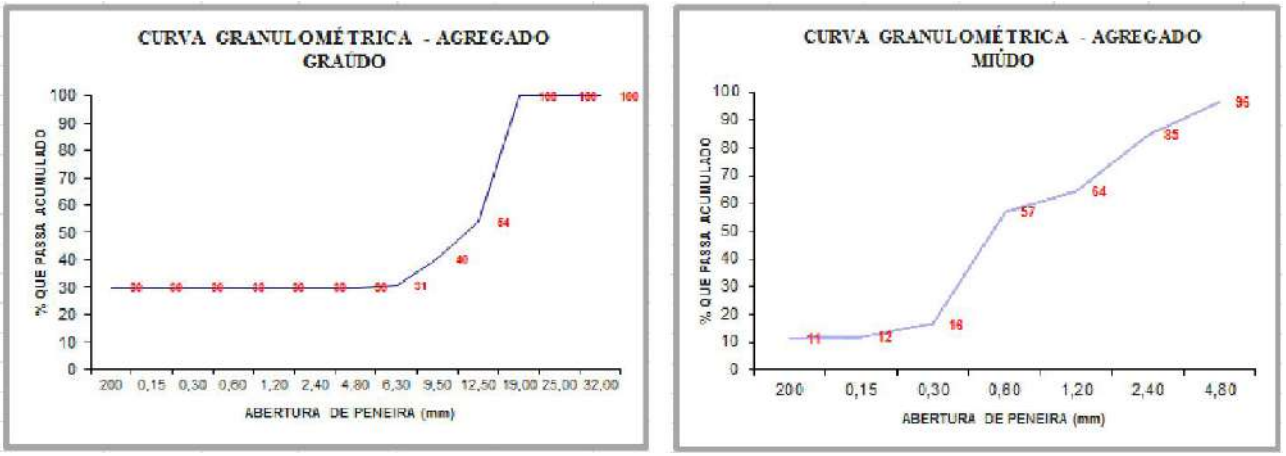
	Teor de composto, %, CP II Z 32 RS							
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	CaSO4	CaO liv	MgO	Perda ao fogo
Valor médio	42	58	6	18	3,9	0,8	4	1,9

Tabela 2 - Características do CP II Z 32 RS utilizado (Fonte: Fabricante, 2015).

Características			
ITEM	**RESULTADO**	**ITEM**	**RESULTADO**
Perda ao fogo – PF	5,66%	Óxido de Cálcio	1,45%
Óxido de Magnésio - MgO	3,04%	Área específica (Blaine)	4587 cm²/g
Anidrido Sulfúrico – SO3	2,90%	Massa específica	3,015 g/cm³
Resíduo Insolúvel - RI	12,00%	Expansibilidade de Le Chatelier – a quente	0,2 mm
Equivalente Alcalino em Na2O	1,05%		

2.1.2 Agregados

Foram utilizados como agregado graúdo o de origem basáltica (facilmente encontrado em todo Brasil), que apresenta massa específica igual a 2,27 g/cm³ e tem absorção de 1,1%, tendo sua classificação quanto ao diâmetro máximo de 9,5 mm. O agregado miúdo utilizado foi areia média, com módulo de finura de 2,67 e massa específica de 2,59 g/cm³. A Figura 1 descreve a curva granulométrica do agregado graúdo (a) e miúdo (b). Os dados foram obtidos seguindo a NBR NM 248/03) [3] (Determinação da composição granulometrica). A Tabela 3 apresenta os dados do ensaio de caracterização dos agregados, que seguiu as normas NBR NM 52/09 [4]; NBR NM 53/03 [5].



(a) (b)

Figura 1: Curva granulométrica. (a) do agregado graúdo; (b) do agregado miúdo.

Tabela 3 - Dados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo e miúdo.

Agregado	Ensaio	Resultado
GRAÚDO	Massa Unitária Compactada	1360,0 kg/m³
	Massa Unitária Solta	1471,7 kg/m³
	Massa Específica	2,27 g/cm³
MIÚDO	Massa Unitária Compactada	1596,7 kg/m³
	Massa Unitária Solta	1496,6 kg/m³
	Massa Específica	2,59 g/cm³

2.1.3 Água

Foi utilizada para execução do concreto, água proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Sobral.

2.1.4 Aditivo Plastificante

Foi utilizado um aditivo superplastificante líquido, de pega normal de terceira geração, compatível com a maioria dos cimentos. Com densidade de 1,09 g/cm³, adicionado em 0,006 em relação ao peso do aglomerante.

2.1.5 Fios condutores

Foram utilizados fios rígidos de cobre com espessura de 6mm, e 8 cm de comprimento com as extremidades expostas (desencapadas), sendo a superior com 1 cm e a inferior com 2 cm. Figura 2.



Figura 2: Fios de cobre pronto para serem fixados nos corpos de prova.

2.1.6 Armadura

A armadura utilizada foi feita com barras de aço CA 50 com 12,5 mm de diâmetro, foram adotados os comprimentos de 14 e 21 centímetros, ficando 2 cm exposto de cada lado do corpo de prova. A Figura 3 mostra as armaduras fixadas nos corpos de prova. O diâmetro da armadura pode gerar alteração nos resultados, tendo em vista que pode influenciar na condução das linhas de corrente. Um estudo em paralelo a este está avaliando esta variação.



(a) (b)

Figura 3: Corpos de prova após desmoldados. (a) CAREF – PA ; (b) CAREF CR.

2.2 Métodos

2.2.1 Dosagem e fabricação do concreto

O traço, realizado previamente à produção dos concretos e utilizando os dados da caracterização dos materiais descritos no item 2.1.2, está exposto na Tabela 4.

Tabela 4: Traço em massa do Concreto Referencial.

	Traço Unitário				
	Cimento	Brita	Areia	Aditivo	Água
Valor unitário	1	1,93	1,023	0,006	0,5

Foram confeccionadas as seguintes séries de concreto, seguindo as recomendações da NBR 5738/15 [6]: referenciais sem armadura (CAREF); com as barras paralelas (CAREF - PA) entre si; com as armaduras cruzadas ortogonalmente (CAREF - CR). Os corpos-de-prova foram desmoldados 24 horas após sua moldagem e mantidos em cura por imersão em água saturada de cal (cura úmida).

Os materiais, já separados, foram colocados na seguinte ordem: o agregado graúdo, 1/3 da água, agregado miúdo, mais 1/3 da água, cimento, aditivo superplastificante, e o restante da água.
A Figura 4 mostra o processo de fabricação, desde os materiais separados e pesados até a moldagem dos corpos de prova prismatícos.



(a)



(b)

Figura 4: (a) Materiais separados e pesados; (b) Moldagem dos corpos-de-provas prismáticos..

2.2.2. Produção dos corpos de prova (CPs)

Para as três série de concreto foram feitos CPs prismáticos com dimensões de 10x10x17 cm, cada um com os fios de cobre colocados a 4 cm das bordas e espaçados em 3 cm. A extremidade do fio fixada no concreto foi a desencapada em 2 cm e enterrada com a profundidade de 2 cm, deixando para fora 6 cm do fio, sendo 1 cm da extremidade superior desencapada. Para os CPs armados, o cobrimento das armaduras foi de 3 cm, seguindo a norma NBR 6118/14 [7] . A Figura 5 mostra as vistas longitudinal e transversal de cada corpos de provas.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

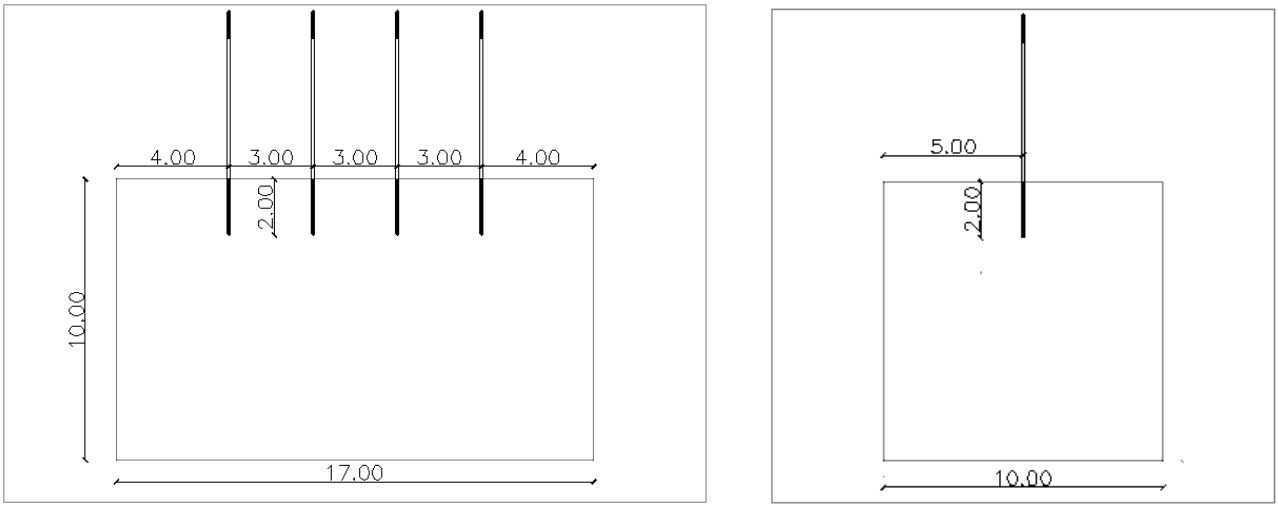


Figura 5 (a): Vista longitudinal do CP CREF à direita e Vista transversal à esquerda.

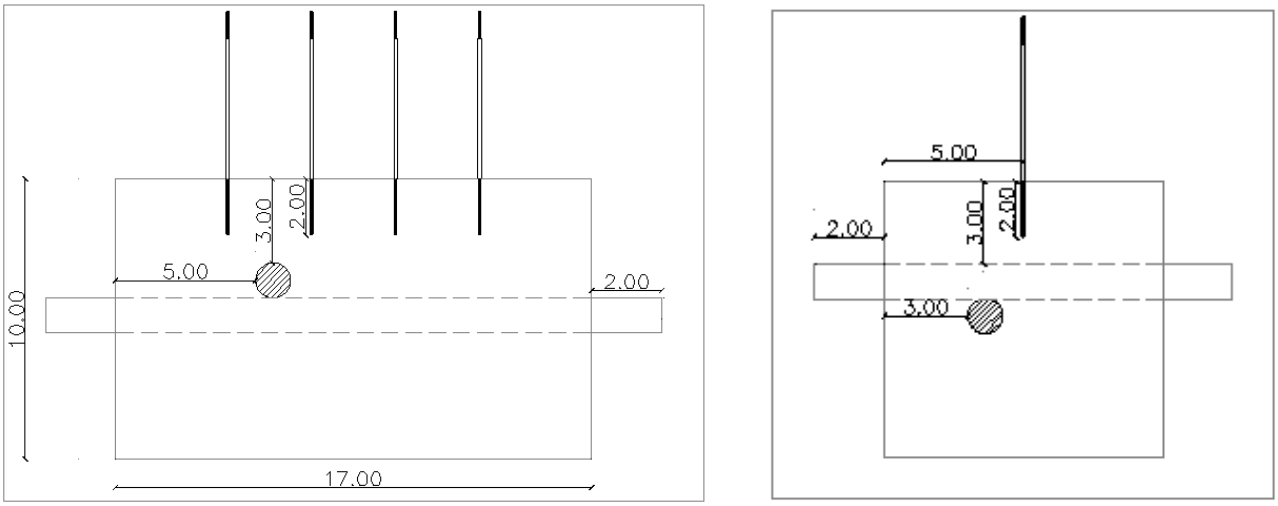
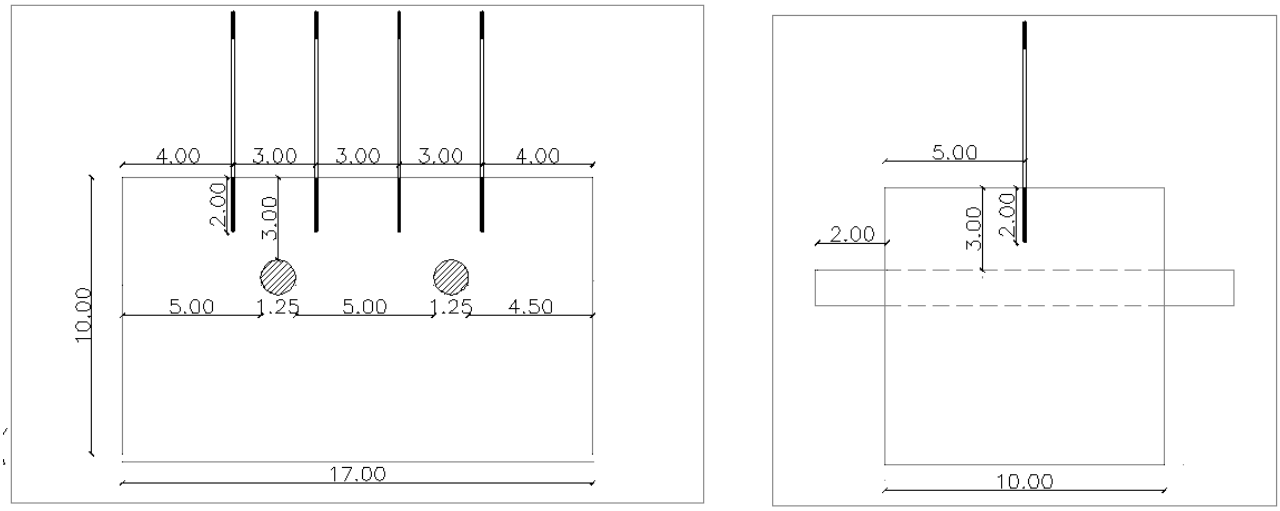


Figura 5 (b): Vista longitudinal do CP CAREF CR à direita e Vista transversal à esquerda.



.Figura 5 (c): Vista longitudinal do CP CAREF PA à direita e Vista transversal à esquerda.

2.2.3. Ensaios realizados.

Imediatamente após a produção do concreto foi realizado o ensaio de consistência, o slump test, normalizado pela NBR NM 67/98 [8]. Em seguida, foram moldados os CPs para a realização do ensaio de resistividade elétrica superficial pelo método de Wenner ou dos quatro eletrodos (ASTM G57 (2012)) [9], originalmente utilizado para solos e posteormente.adaptado para o concreto. A Figura 6 mostra o momento do teste de consistência e os CPs já moldados.



(a)



(b)

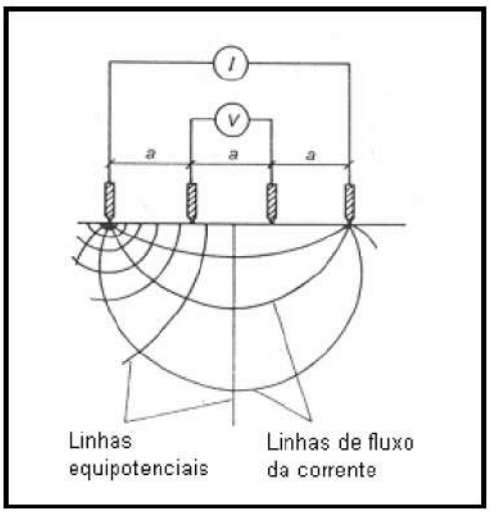
Figura 6: (a) Ensaio de consistência do concreto; (b) Corpos-de-prova prismáticos moldados.

2.2.3.1 Ensaio de resistividade elétrica superficial

Os ensaios de resistividade elétrica superficial nos corpos-de-prova foram realizados no Laboratório de Eletrônica do Instituto Federal do Ceará de Sobral (IFCE - Sobral). Os equipamentos utilizados no ensaio foram um gerador de funções de corrente alternada e dois multímetros digitais, conforme a Figura 7 (a). Para o ensaio, cada CP prismático foi submetido através dos dois eletrodos mais externos à passagem de uma corrente elétrica alternada de onda senoidal, nas frequências de 10 e 60 Hz, fixada de tal forma que a diferença de potencial entre estes eletrodos fosse de 5,0 V. O corpo-de-prova era mantido nesta condição por 5 min, para estabilização do circuito e, em seguida, eram feitas 4 leituras, com intervalos de 1 min, da corrente passante entre os eletrodos externos e da diferença de potencial entre os eletrodos internos. A Figura 7 (b) mostra uma representação das linhas de fluxo da corrente e das linhas equipotenciais no interior do corpo de prova. E a Figura 7 (c) mostra o esquema de execução do ensaio de resistividade.

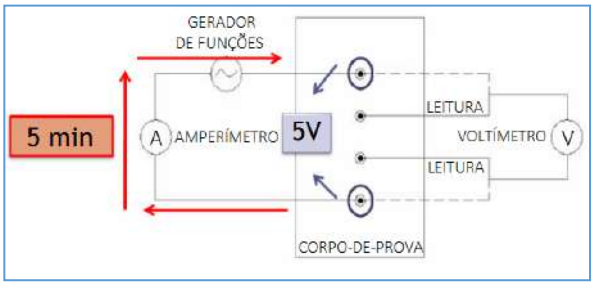


(a)



(b)

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



(c)

Figura 7: (a) Momento do ensaio de resistividade elétrica; (b) Representação das linhas de fluxo da corrente e das linhas equipotenciais(Millard,1992 apud Santos 2006) [10] e (c) Esquema do circuito de execução do ensaio de resistividade (HOPPE, 2005 [11] – modificado).

Com os valores de corrente e tensão encontrados, a resistividade elétrica foi obtida a partir da Equação 1. A profundidade de penetração dos eletrodos e a distância entre eles estão incluídas no cálculo da resistividade, uma vez que influenciam na leitura.

$$\rho = \frac{4\pi dV}{(1 + \frac{2d}{\sqrt{d^2 + 4b^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + b^2}})I} \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde:
ρ = resistividade elétrica calculada do concreto, em ohm.cm;
V = diferença de potencial medida, em Volts;
I = corrente medida, em Àmperes;
d = distância de separação entre eixos dos eletrodos, em cm;
b = profundidade de penetração dos eletrodos no concreto, em cm.

A Tabela 5 apresenta o critério de avaliação quanto à resistividade estabelecido pelo Comitê Euro-International du Beton (CEB 192, 1988)[12], que pode ser utilizado e que tem sido respeitado no meio técnico-científico.

Tabela 5: Critérios de avaliação da resistividade elétrica (SMITH et al., 2004 apud HOPPE, 2005) [11]. Adaptada.

Resistividade elétrica do concreto - ρ (kΩ.cm)	
Millard, Gowers, Manual do TND com 2 eletrodos e Broomfield (apud SMITH et al., 2004)	**Indicação de probabilidade de corrosão**
< 5	Muito Alta
5 a 10	Alta
10 a 20	Baixa
> 20	Desprezível

TND = teste não destrutivo
Obs.: Critério de avaliação em conformidade com o CEB 192 (1988)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resistividade Elétrica

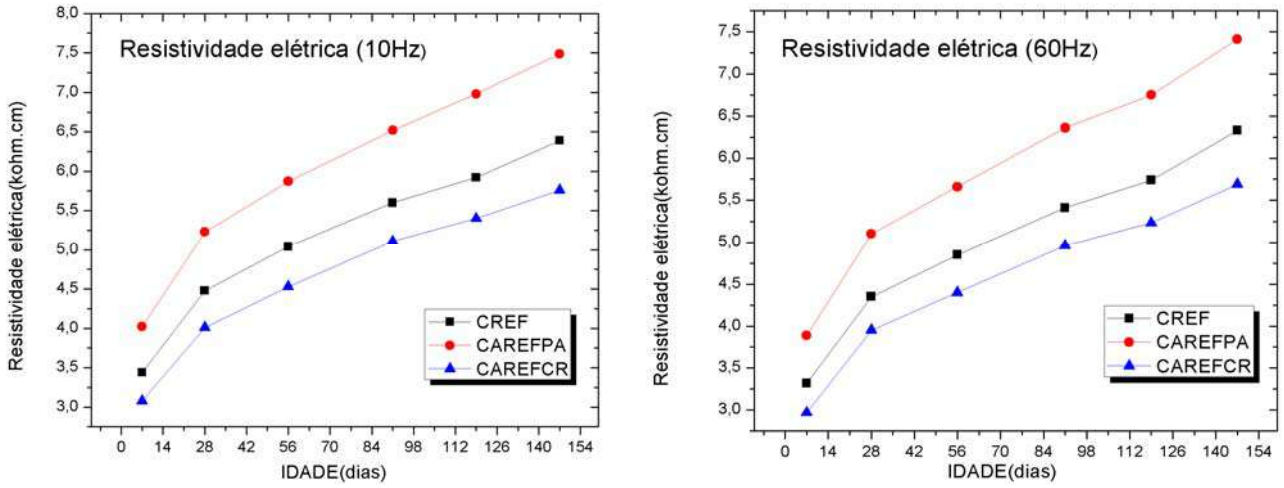
Os resultados dos ensaios de resistividade elétrica superficial em função da idade são apresentados na Tabela 6 para as três series de concretos convencionais (CREF, CAREF PA e CAREF CR) e para as duas frequências (10 e 60 Hz) analisadas. Adotou-se a frequência de 10Hz por ser comum na literatura [13-15], e a de 60 Hz por ser a frequência padrão pela rede elétrica brasileira.

Tabela 6 – Resultados de resistividade eletríca superficial dos concretos CREF, CAREF PA e CAREF CR.

	RESISTIVIDADE ELÉTRICA (kΩ.cm)					
	10 Hz			60 Hz		
Idade(dias)	CREF	CAREF PA	CAREF CR	CREF	CAREF PA	CAREF CR
7	3,44 ± 0,08	4,02 ± 0,18	3,08 ± 0,05	3,32 ± 0,06	4,11 ± 0,14	2,97 ± 0,04
28	4,48 ± 0,08	5,23 ± 0,23	4,01 ± 0,02	4,35 ± 0,11	5,12 ± 0,23	3,95 ± 0,05
56	5,04 ± 0,11	5,87 ± 0,24	4,53 ± 0,11	4,85 ± 0,13	5,66 ± 0,35	4,40 ± 0,35
91	5,60 ± 0,19	6,52 ± 0,18	5,11 ± 0,05	5,41 ± 0,21	6,39 ± 0,19	4,96 ± 0,02
119	5,92 ± 0,12	6,98 ± 0,09	5,40 ± 0,08	5,74 ± 0,11	6,86 ± 0,20	5,23 ± 0,05
147	6,39 ± 0,11	7,49 ± 0,34	5,76 ± 0,13	6,33 ± 0,06	7,28 ± 0,25	5,69 ± 0,11

Na Figura 8, podemos analisar os dados em gráficos. Percebe-se que nas três curvas houve o crescimento na resistividade elétrica com o tempo. Esse aumento na resistividade elétrica é positivo para a durabilidade do concreto, pois quanto maior a resistividade elétrica, menor a probabilidade de corrosão das armaduras, tornando-se assim, um fator determinante na vida útil de uma estrutura. Observa-se também que não houve diferença significativa entre as medições para as duas frequências (10 e 60 Hz).

Ao comparar os concretos, observou-se que a variação na disposição da armadura interfere nos valores de resistividade elétrica. Os concretos com disposição da armadura em paralelo apresentaram valores de resistividade elétrica acima do concreto referencial e os concretos referenciais apresentaram valores acima dos concretos com disposição cruzada da armadura, como mostra a Figura 8. Este comportamento pode ser explicado analisando as linhas de fluxo de corrente da no interior do corpo de prova (Figura 7b). A disposição cruzada apresenta uma barra na mesma direção das linhas de corrente, o que facilita a condução da corrente, gerando uma redução nos valores da resistividade. A disposição em paralelo apresenta barras perpendiculares às linhas de fluxo de corrente, causando uma fuga de parte da corrente que circula entre os eletrodos, diminuindo a condução e, consequentemente, aumentando os valores de resistividade. No caso dos concretos não armados, não haveria esta fuga, o que justifica esta série ter apresentado valores abaixo dos CPs em paralelo. Apesar da diferença nos valores da resistividade elétrica devido à presença da armadura, observou-se que a curva da resistividade elétrica em função da idade apresenta a mesma tendência, podendo-se aplicar um fator de correção para que se obetenha os valores verdadeiros da resitividade (sem a presença da armadura). Neste caso, os fatores são: 0,854 para os CPs com disposição em paralelo; e 1,11 para os CPS com disposição cruzada. Assim, aplicando estes fatores as curvas coindiciriam.



(a) (b)

Figura 8: Gráficos de resistividade elétrica comparando o CREF , CAREF PA e o CAREF CR (a) com a frequência de 10Hz; (b) com a frequência de 60Hz.

Segundo os critérios de avaliação da resistividade elétrica do concreto (Tabela 5), observa-se os concretos analisados não obtiveram valores de resistividade elétrica esperado para uma probabilidade de corrosão baixa ou desprezível. Contudo, nas idades mais avançada estudadas, os valores de resistividade elétrica encaixam-se na faixa de alta probabilidade de corrosão (de 5 a 10 kΩ.cm). Entretanto, o objetivo desse estudo é analisar a variação da resistividade elétrica superficial do concreto em corpos-de-prova armados e não armados, a fim de analisar e quantificar os resultados dos ensaios, não havendo a importância de avaliar os valores obtidos de acordo com o CEB 192, 1988.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise dos resultados, conclui-se que a presença das armaduras e a organização das barras de aço na estrutura de concreto podem ser consideradas como fatores que interferem nos valores de resistividade elétrica superficial do concreto. Isto pode ser explicado a partir da análise das linhas de fluxo de corrente no interior do concreto, que sofrem interferência com a presença da armadura. Apesar da diferença no valores de resistividade nos corpos de prova com e sem armadura, os resultados mostraram que em ambas as séries de concretos estudadas a curva da resistividade elétrica em função da idade apresenta tendências semelhantes, com isso um fator de correção (0,854 para os corpos de prova com disposição das barras em paralelo e 1,11 para corpos de prova com barras cruzadas) pode ser aplicado quando necessário, a fim de obter os reais valores de resistividade elétrica. Desta forma, observa-se a importância de conhecer a influência da armadura na leitura da resistividade elétrica para que possa ser feita uma correta análise sobre a probabilidade e à velocidade do processo de corrosão das estruturas, que com o tempo tornam-se vulneráveis à patologias.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú (LABMAT-UVA), à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), e ao Prof. Dr. Edilson Mineiro do Instituto Federal do Ceará de Sobral (IFCE - Sobral).

6. REFERÊNCIAS

[1] Ahmad, S. “ Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction - a review”. *Cement and Concrete Composites*. v.25, 2003, pp. 459-471.

[2] Cascudo, O. “ O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas”. São Paulo: Pini; Goiânia: Ed.UFG.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: " Agregados - Determinação da composição granulométrica" . Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR NM 52: "Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente" . Rio de Janeiro: ABNT,2009.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: "Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água'. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: "Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.". Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: "Projeto de estruturas de concreto- – Procedimentos". Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: " Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone" . Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

[9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G57-06(2012), "Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method." ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

[10] Santos L. "Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a avaliação da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto armado". Dissertação (mestrado, Universidade Federal de Brasília, Distrito Federal, 2006.pp. 38.

[11] Hoppe T. F. "Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz". Santa Maria – RS, 2005. pp. 23 e 40. Dissertação de mestrado.

[12] COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. CEB 192, 1988.

[13] Santor S. M. " Influência de materiais de proteção superficial na resistividade elétrica e absorção capilar do concreto". Santa Maria – RS, 2011.pp.65.Dissertação de mestrado.

[14] Abreu G. A. "Efeito das adições minerais na resistividade elétrica de concreto convencionais". Porto Alegre – RS, 1998.pp.53. Dissertação de mestrado.

[15] Cesar D.. " Resistividade Elétrica de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento" . Anais do 56º Congresso Brasileiro de Concreto. Ibracon, Natal, 2011.pp.7.