

A INFLUÊNCIA DAS BARRAS NA MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO CONCRETO – REVISÃO

Influence of rebars on measurements of concrete electrical resistivity - review

AGUIAR, Leticia Couto de

Mestre em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, DEMC
leticia@recuperacao.com.br

LEITE, Darlan Ulhôa

Mestrando em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, DEMC
darlan@adept.eng.br

MAGALHÃES, Aldo Giuntini de

Prof. Doutor, Universidade Federal de Minas Gerais
aldo@demc.ufmg.br

SILVA, Adriano de Paula e

Prof. Doutor, Universidade Federal de Minas Gerais
apsilva@demc.ufmg.br

RESUMO

Este estudo trata de uma revisão bibliográfica de artigos que referem-se à influência de barras de aço, na medição da resistividade elétrica do concreto. A revisão foi direcionada para o método de quatro eletrodos – Wenner. Neste método, quatro eletrodos são colocados em contato com o concreto, equidistantes e alinhados. Nos eletrodos externos passa uma pequena corrente alternada e mede-se a diferença de potencial entre os eletrodos internos (PÉREZ, 2015). Este método (quatro eletrodos) é utilizado há muito tempo, mas sempre evitou-se a sua utilização próxima a barras metálicas (armaduras), tendo em vista que quando a barra encontra-se próxima da zona de influência da corrente aplicada, a resistividade será camuflada e não representará a resistividade do concreto (GARZON, SANCHEZ, *et al.*, 2014). Sendo assim, o objetivo deste artigo é apresentar a importância da análise desta variável na medição.

Palavras-chave: resistividade elétrica do concreto, armaduras, método Wenner.

ABSTRACT

This study is a review of articles that analyzed the influence of rebar, in electrical resistivity of concrete. The review was oriented to the four-point method - Wenner. On this method, four electrodes are placed in the concrete, equidistant and aligned. In the external electrodes a small alternating current is passed and the potential difference between the internal electrodes is measured (PÉREZ, 2015). This method has been used for a long time, but its close used near the metal bars (rebar) has always been avoided, since when the bar is close to the influence of the current applied it will alter the measurement and not represent a concrete resistivity (GARZON, SANCHEZ, *et al.*, 2014). The goal of this article is to present the importance of this parameter on measurements.

Keywords: electrical resistivity of concrete, rebar, Wenner method.

1. INTRODUÇÃO

Foram identificados diversos estudos que fazem referência a outros parâmetros envolvendo a resistividade elétrica do concreto, tais como, análise da saturação e quantidade de poros (POLDER e PEELEN, 2002), fator água/cimento (SANTOS, 2006), volume total de poros (HOSSAIN e LACHEMI, 2004), substituição de agregado graúdo por agregado reciclável (SINGH e SINGH, 2016), carbonatação (CHI, HUANG e YANG, 2002), dentre outros. Entretanto, tendo em vista que um dos principais objetivos da utilização da resistividade elétrica superficial (objeto deste estudo) é uma análise de campo (ensaios não destrutivos), é fundamental obter informações sobre a influência das barras de aço na medição da resistividade elétrica. Sendo assim, este estudo apresentará alguns artigos que fazem referência a este impacto das barras na medição da resistividade elétrica superficial do concreto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nguyen, Klysz, et al, (2017) fizeram um experimento em três lajes com largura de 25cm, comprimento de 50cm e altura de 12cm, utilizaram barras de aço com bitola de 10mm, e cobrimentos de 2cm ou 4cm, posicionadas a 7,5cm das laterais conforme imagem abaixo. Neste experimento foi utilizado um fator a/c de 0,71, com a finalidade de obter um concreto poroso.

Das três lajes, somente duas foram ensaiadas, uma com as barras e outra sem as barras. Como resultado, verificou-se que há uma queda no valor da resistividade, quando a medição é realizada sobre as barras de aço. Esta queda pode ser explicada devido ao metal ser um condutor elétrico e, portanto, em face da sua condutividade elétrica, é criada uma rota preferencial para a corrente, na barra de aço, que conseqüentemente reduz a medição da resistividade elétrica do concreto (NGUYEN, KLYSZ, *et al.*, 2017).

Uma das conclusões deste artigo foi que a medida de resistividade elétrica do concreto pode ser utilizada para determinar a presença de barras através da análise da redução da resistividade medida. Quanto mais próxima estiver a barra da camada superficial do concreto, maior será a queda da resistividade.

Considerando a presença de barras no concreto, Garzon, Sanchez, *et. al* (2014), realizaram modelagem em elementos finitos, considerando o método de quatro eletrodos, em prismas e cilindros com e sem a presença de barras, pela utilização do software COMSOL Multiphases. Os dados teóricos deste estudo mostraram que a resistividade é relativamente menor com a presença de barras metálicas, do que quando elas estão ausentes. Este fato indica a necessidade de introduzir alguns fatores para obter a resistividade real (GARZON, SANCHEZ, *et al.*, 2014).

Também houve a realização de trabalhos experimentais no referido artigo, utilizando corpos de prova cilíndricos de 15cm de diâmetro e 30cm de altura, bem como chapas prismáticas de 4cm x 4cm x 16cm, com e sem barras de aço (8mm de diâmetro). O traço utilizado foi de 1:3 (cimento e areia) e um fator a/c de 0,50.

Os resultados informaram que, para resistividades muito baixas, os valores experimentais são similares de corpos de prova com e sem barras. Entretanto, quando a resistividade começa a aumentar, os valores começam a ficar bastante divergentes, principalmente acima de 50Ω.m. Verificou-se ainda que, apesar do aumento da resistividade elétrica verificado nos corpos de prova sem barras, não há aumento da resistividade dos corpos de prova com barras.

Os mesmos autores, apresentaram de forma simplificada, utilizando o software “COMSOL Multiphysics finite element”, simulando corpos de prova prismáticos e cilíndricos, com e sem a presença de barras e obtiveram equações para os fatores “forma” e “barra”, em função do espaçamento entre eletrodos (a), para os corpos de prova prismáticos e cilíndricos, respectivamente (GARZON, ANDRADE, *et al.*, 2012).

Somente fator forma (f_s):

$$f_s = -25,006 \times a + 1,0472 \text{ (Equação 1)}$$

$$f_s = -8,5074 \times a + 1,0282 \text{ (Equação 2)}$$

Fator forma (f_s) e fator barra (f_b):

$$f_b f_s = -36,117 \times a + 0,5945 \text{ (Equação 3)}$$

$$f_b f_s = -3,3636 \times a + 0,9618 \text{ (Equação 4)}$$

Foi identificado um estudo no qual foram apresentadas análises, por meio de elementos finitos, para adicionar um “fator barra”, ao cálculo da resistividade elétrica do concreto, para corrigir os valores de medições realizadas, quando há presença de armaduras (SANCHEZ, ANDRADE, *et al.*, 2017).

Utilizando o software “COMSOL Multiphysics finite element”, os pesquisadores simularam um corpo de prova com dimensões: 400 x 400 x 200 mm, e consideraram que este corpo de prova teria resistividade elétrica de 100k Ω cm. Introduziram neste corpo de prova, uma barra 25mm de diâmetro e realizaram o cálculo da resistividade elétrica do concreto, pelo método dos elementos finitos, de modo teórico, com a presença da barra em camadas de cobertura distintas (5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm e 30mm). O cálculo foi realizado sem considerar o “fator barra”, o qual foi determinado posteriormente.

Considerando os valores teóricos de resistividade elétrica do concreto, sem o “fator barra”, e considerando que o concreto simulado apresentava resistividade elétrica de 100k Ω cm, foi possível corrigir os valores medidos, por meio da determinação do “fator barra”, em função da espessura da camada de cobertura.

A partir da determinação deste “fator barra”, em função da espessura da camada de cobertura, os pesquisadores realizaram medições em campo, na Ponte sobre o Rio Danube, entre Vidin, Bulgária e Calafat, Romênia. Desenharam panos de 1m x 1m na parte inferior da ponte, localizaram as barras, determinaram a espessura da camada de cobertura e realizaram diversas medições em panos escolhidos aleatoriamente. Antes de realizar as medições, o concreto foi embebido com água por, no mínimo, 60 minutos, para que os valores de resistividade fossem medidos próximos à saturação do concreto.

A partir dos valores de resistividade obtidos em campo e do “fator barra”, os pesquisadores realizaram a correção das medições, de acordo com estudo realizado previamente. O fator barra está apresentado abaixo, em função da espessura da camada de cobrimento r (mm).

$$f_b = -4,35010^{-6}r^5 + 4,42210^{-4}r^4 - 1,75210^{-2}r^3 + 0,3385r^2 - 3,206r + 13,13$$

(Equação 5)

Outro estudo, considerou espaçamento entre as barras, diâmetro das barras, camada de cobrimento, localização do equipamento de medição em relação à malha formada pelas barras, espaçamento entre eletrodos e espessura da laje (SALEHI, GHODS e ISGOR, 2016). A análise numérica foi realizada também com a utilização de elementos finitos pelo software COMSOL Multiphysics V4.3. De modo similar ao procedimento adotado por Sanchez, Andrade, et al., (2017), os pesquisadores deste artigo fixaram a resistividade elétrica do concreto em $40\Omega\text{m}$ e a partir dos resultados com a presença das barras apresentaram os erros de cada medida.

Quanto à orientação dos eletrodos em relação às barras, a configuração #4 (aparelho centralizado, na perpendicular com a barra de maior cobrimento) foi identificada como aquela que apresenta valores mais próximos do real de resistividade elétrica do concreto fixado, ao se comparar com as outras oito configurações. Em relação à camada de cobrimento, quanto maior a espessura da referida camada, menores foram os erros nas medições.

Quanto ao espaçamento entre as barras, foi identificado que, quanto menor o espaçamento, menor era a alteração nas medições das diferentes configurações da localização dos eletrodos. Os autores analisaram que, quanto menor era o espaçamento, as medidas estavam sendo influenciadas mais pela densidade do aço do que pela posição dos eletrodos. Entretanto, quanto maior o espaçamento, menor era o erro das medições ao serem comparadas com o valor real de resistividade elétrica do concreto adotado. Em relação ao diâmetro das barras, os autores informaram que a alteração no diâmetro das barras (16, 25 e 36mm) apresenta pouca influência nas medições.

Importante destacar que, outro autor, também apresentou informações sobre o diâmetro das barras, informando que, o efeito das barras nas medidas de resistividade elétrica do concreto está mais relacionado com espessura da camada de cobrimento do que com o diâmetro da barra (CARINO, 1999).

Outros pesquisadores também utilizaram o método dos elementos finitos, por meio de um software comercial, analisando blocos de concreto de 30cm x 30cm x 15cm, contendo uma ou quatro barras de aço com diâmetro de 16mm, com espessura de cobrimento de 5cm (PRESUEL-MORENO, LIU e WU, 2013).

Quanto à localização da barra, também foi identificado, assim como nos demais estudos anteriores, que quanto maior a camada de cobrimento, menor é a divergência entre os resultados de resistividade elétrica obtidos e o valor de resistividade elétrica fixado para o concreto, que neste estudo foi de $1k\Omega\text{cm}$.

Quanto à localização da medição, foi identificado que, a para a simulação com uma barra, considerando um corpo de prova de 1m^3 , o efeito da barra poderia ser negligenciado nas medições L6 (medição paralela mais afastada da barra) e L2 (perpendicular à barra). Para os corpos de prova com quatro barras, todas as medições apresentaram valores inferiores à resistividade atribuída, devido à presença das barras.

Foi identificado um estudo realizado para constatar a diferença da medição realizada paralela e perpendicular à barra, assim como, dentre outros aspectos, a influência da distância da barra nas medições realizadas (SENGUL e GJØRV, 2009). Os pesquisadores utilizaram cimento Portland com aproximadamente 20% de cinzas volantes, fator a/c de 0,40 e com as seguintes características.

Foram realizadas seis lajes, quatro com dimensões de 300 x 300 x 135mm, as quais possuíam uma barra de aço de 10mm de diâmetro e as outras duas lajes tinham 300 x 300 x 200mm e não apresentavam barras de aço.

Todas as lajes foram desmoldadas no dia seguinte e armazenados em água a 20°C, duas das quatro lajes que foram confeccionadas com barras de aço continuaram imersas em água até o momento do teste, enquanto as outras duas foram retiradas após 7 dias e permaneceram em contato com o ar, também a 20°C.

Quanto ao posicionamento da medição, foi descoberto que, quando a medição era paralela à barra, o valor de resistividade elétrica era inferior às medidas realizadas de forma perpendicular à barra.

Em relação às medidas paralelas à barra, também foi verificado pelos pesquisadores, qual seria o impacto no valor das medições considerando o distanciamento das barras de aço. Foi identificado pelos pesquisadores que quanto maior a distância da barra de aço, maior o valor de resistividade medido.

Neste estudo também foi verificado que quanto maior a camada de cobrimento, menor é a redução da medida de resistividade, ao se comparar com os corpos de prova sem barras de aço.

3. CONCLUSÕES

O método de quatro eletrodos (resistividade elétrica superficial), trata-se de um teste não destrutivo que foi idealizado para utilizações em campo. Sendo assim, tendo em vista que a maioria ou totalidade das estruturas que utilizam concreto são elementos estruturais que também utilizam o aço, é de extrema importância conhecer, entender e saber interpretar a influência das armaduras nas medições de resistividade elétrica superficial do concreto.

Diversos estudos demonstram que as barras de aço influenciam as medições de resistividade elétrica superficial, reduzindo a resistividade elétrica real do concreto. Em suma, os estudos indicam que, quanto maior a camada de cobrimento, menor é a redução da medida de resistividade e que as medições paralelas às barras tendem a apresentar maiores reduções do valor de resistividade elétrica do que as medições perpendiculares às barras.

Tendo em vista todo o exposto neste artigo, é necessária a realização de novos estudos para identificar a influência das barras na medição da resistividade elétrica superficial visando contribuir para a correta interpretação dos resultados obtidos nas vistorias de campo.

REFERÊNCIAS

- CARINO, N. J. Nondestructive techniques to investigate corrosion status in concrete structures. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, p. 96-106, Agosto 1999.
- CHI, J. M.; HUANG, R.; YANG, C. C. Effects of carbonation on mechanical properties and durability of concrete using accelerated testing method. **Journal of Marine Science and Technology**, v. 10, p. 14-20, 2002.
- GARZON, A. J. et al. Shape factors of four point resistivity method in presence of rebars. In: _____ **Concrete repair, Rehabilitation and Retrofitting III**. London: Taylor and Francis Group, 2012. p. 254-255.
- GARZON, A. J. et al. Modification of four point method to measure the concrete electrical resistivity in presence of reinforcing bars. **Cement & Concrete Composites**, v. 53, p. 249-257, 2014.
- HOSSAIN, K. M. A.; LACHEMI, M. Corrosion resistance and chloride diffusivity of volcanic ash blended cement mortar. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 695-702, 2004.
- NGUYEN, A. Q. et al. Evaluation of water content gradient using a new configuration of linear array four-point probe for electrical resistivity measurement. **Cement and Concrete Composites**, v. 83, p. 308-322, 2017.
- PÉREZ, E. W. R. Influência da idade e cura do concreto na resistividade elétrica, Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 94, 2015.
- POLDER, R. B.; PEELEN, W. H. A. Characterization of chloride transport and reinforcement corrosion in concrete under cyclic wetting and drying by electrical resistivity. **Cement & Concrete Composites**, 2002. v24 - p427-435.
- PRESUEL-MORENO, F.; LIU, Y.; WU, Y.-Y. Numerical modeling of the effects of rebar presence and/or multilayered concrete resistivity on the apparent resistivity measured via the Wenner method. **Construction and Building Materials**, v. 48, p. 16-25, 2013.
- SALEHI, M.; GHODS, P.; ISGOR, O. B. Numerical investigation of the role of embedded reinforcement mesh on electrical resistivity measurements of concrete using the Wenner probe technique. **Materials and Structures**, v. 49, p. 301-316, 2016.

SANCHEZ, J. et al. Determination of reinforced concrete durability with on-site resistivity measurements. **Materials and Structures**, v. 50 (1), p. 1-9, 2017.

SANTOS, L. Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto, Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) - Universidade Nacional de Brasília, Brasília, p. 161, 2006.

SENGUL, O.; GJØRV, O. E. Effect of Embedded Steel on Electrical Resistivity Measurements on Concrete Structures. **ACI Materials Journal**, p. 11-18, Janeiro-Feveireiro 2009.

SINGH, N.; SINGH, S. P. Carbonation and electrical resistance of self compacting concrete made with recycled concrete aggregates and metakaolin. **Construction and Building Materials**, v. 121, p. 400-409, 2016.