

## **RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM CONCRETO DE MISTURA PROLONGADA**

### *ELECTRICAL RESISTIVITY IN PROLONGED MIXING CONCRETE*

**OLIVEIRA, Charles Ferreira de**

Mestre em Construção Civil - (DEMC/UFMG)

[charles.engenheirocivil@gmail.com](mailto:charles.engenheirocivil@gmail.com)

**SOEIRO, Joaquim Martins**

Mestrando em Construção Civil - (DEMC/UFMG)

[jmsoeiro@hotmail.com](mailto:jmsoeiro@hotmail.com)

**AZZI, Sarah Silva**

Mestranda em Construção Civil - (DEMC/UFMG)

[saraazzi@hotmail.com](mailto:saraazzi@hotmail.com)

**BRANCO, Luiz Antônio Melgaço Nunes**

Doutor (DEMC/UFMG)

[luizmelg@gmail.com](mailto:luizmelg@gmail.com)

### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da resistividade elétrica volumétrica e superficial em concreto endurecido proveniente de misturas prolongadas por até 8 horas, no qual foram utilizados três tipos distintos de cimentos CP II E 32, CP III 40 RS e CP V ARI. Pode-se concluir que o tipo de cimento influencia nos resultados da resistividade elétrica do concreto e que quanto maior for o tempo de mistura, maior será a propensão de corrosão das armaduras protegidas pelo concreto de mistura prolongada.

**Palavras-chave:** Resistividade elétrica. Mistura prolongada. Concreto. Corrosão.

### **ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the behavior of volumetric and surface electrical resistivity in hardened concrete from extended mixtures for up to 8 hours, in which three different types of CP II E 32, CP III 40 RS and CP V ARI cements were used. It can be concluded that the type of cement influences the results of the electrical resistivity of the concrete and that the longer the mixing time, the greater the corrosion propensity of the reinforcement protected by the concrete of prolonged mixing.

**Keywords:** Electrical resistivity. Extended mix. Concrete. Corrosion.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente uma das grandes preocupações para execução de construções de concreto armado de qualidade é a previsão da vida útil e a durabilidade das estruturas. Muitos cuidados devem ser tomados para que uma estrutura de concreto armado seja projetada e executada com características mínimas necessárias, para proporcionar aos elementos estruturais, o desempenho adequado em função do tipo de utilização.

Houve um tempo em que, a tecnologia do concreto previa com critério de aceitação do concreto, as aferições de resistência à compressão e consistências adequadas para cada tipo de obra. Nos dias atuais, com o grande crescimento da utilização do concreto armado, principalmente concreto usinado em centrais dosadoras ou misturadoras é possível realizar novas avaliações que demonstrem melhor a qualidade do concreto produzido e entregue nas obras. Uma das novas técnicas utilizadas, de fácil avaliação e de caráter preventivo, que contribui para que se possa conhecer a qualidade do concreto é resistividade elétrica.

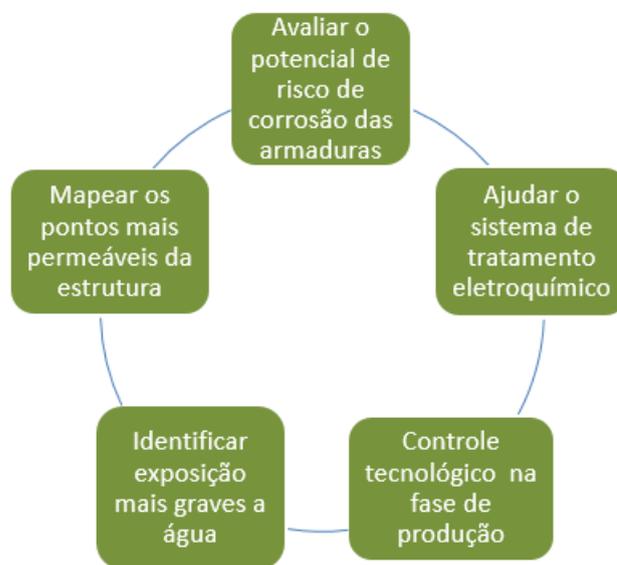
A resistividade elétrica é uma propriedade física que indica a resistência do material a passagem da corrente elétrica. O ensaio de resistividade elétrica em concreto pode ser destrutivo com extração de testemunhos e não destrutivo com medições nas superfícies das estruturas. Este tipo de ensaio está relacionado à durabilidade e vida útil do concreto e ajuda a mensurar a possibilidade ao desenvolvimento de manifestações patológicas.

O objetivo geral deste artigo foi avaliar o comportamento da resistividade elétrica volumétrica e superficial em concreto endurecido proveniente de misturas prolongadas por até 8 horas, no qual foram utilizados três tipos distintos de cimentos CP II E 32, CP III 40 RS e CP V ARI. Pode-se analisar o comportamento de concreto moldado após o tempo de utilização recomendado pela NBR 7212:2012 (150 minutos) e avaliar a cada hora de mistura, o desempenho da resistividade elétrica em corpos de prova de concreto com idade de 28 dias e conhecer o comportamento da resistividade elétrica do concreto produzidos por três tipos distintos de cimento Portland.

## 2. A IMPORTÂNCIA DE SE REALIZAR A MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA NO CONCRETO

A resistividade elétrica do concreto é uma propriedade que pode ser usada para vários propósitos, conforme mostrado na Figura 1. Na construção civil, tem sido utilizada para identificar algumas características do concreto, como, avaliação da porosidade e permeabilidade, sendo estes, parâmetros importantes para determinar a possibilidade de ataques químicos que danificam as estruturas de concreto.

Figura 1: Propósitos dos ensaios de resistividade elétrica no concreto



Fonte: os autores (2018).

Segundo Santos (2006), a relação água/aglomerante influencia consideravelmente a estrutura porosa da pasta de cimento, especificamente no volume total de poros e na quantidade de poros de maiores diâmetros. Quanto menor é a relação água/aglomerante, menor será o volume de poros e a probabilidade de existirem poros com maiores diâmetros e interconectados, e isto leva a uma maior resistividade do concreto.

Conhecendo a resistividade elétrica do concreto, que pode ser facilmente medida por ensaios simples e rápidos, o mesmo proporciona: - condições de avaliar o potencial de risco de corrosão das armaduras; - facilita conhecer e determinar as partes mais permeáveis da estrutura; - facilita localizar a exposição mais grave à água; - ajuda os sistemas de tratamento eletroquímicos e contribui para o controle do concreto na fase de produção entre outras utilizações; - avaliação da estrutura de poros e a permeabilidade do material.

Neste contexto, Azarsa e Gupta (2017) afirmam que os resultados obtidos nos ensaios

de resistividade elétrica do concreto são ótimos indicadores para se conhecer o teor de umidade, a conectividade dos microporos e contribuem para avaliação da condição de estruturas de serviço.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram utilizados três tipos de cimento Portland: CII E 32; CP III 40 RS e CP V ARI. A caracterização com as características físicas e químicas destes cimentos foram fornecidas pelo fabricante. Para composição da dosagem foram utilizados como agregados graúdos: brita 1 e brita 0 na proporção de 50%, e como agregado miúdo foi utilizada areia lavada média, as características destes agregados estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características dos agregados.

<b>Brita 0</b>		<b>Brita 1</b>		<b>Areia média</b>	
D <sub>máx</sub> (mm)	9,50	D <sub>máx</sub> (mm)	19,00	MF	2,70
Massa específica (g/dm <sup>3</sup> )	2,67	Massa específica (g/dm <sup>3</sup> )	2,67	Massa específica (g/dm <sup>3</sup> )	2,59
Massa unitária (g/dm <sup>3</sup> )	1,44	Massa unitária (g/dm <sup>3</sup> )	1,44	Massa unitária (g/dm <sup>3</sup> )	1,43
Proporção	50%	Proporção	50%	Teor de umidade	5,82%

Fonte: Oliveira (2018) – adaptado.

Para avaliação da resistividade elétrica do concreto foi realizada uma dosagem padrão com variação apenas do tipo do cimento, conforme dados apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Definição da dosagem

<b>Resistência característica (f<sub>ck</sub>)</b>	<b>25 MPa</b>
Condição de Controle	A
Desvio padrão (S <sub>d</sub> )	4 MPa
Abatimento inicial	S160
f <sub>c,j</sub> resistência de dosagem	31,60 MPa
Aditivo plastificante SikaMent 815	0,5 %
Fator a/c	0,60
Traço unitário em massa	1 : 1,96 : 1,31 : 1,31 : 0,60

Fonte: Oliveira (2018) – adaptado.

Para produção do concreto e moldagem, preparação e cura dos corpos de prova cilíndricos 10x20cm foram seguidos os parâmetros recomendados pelas NBR 5738:2016. A mistura do concreto foi realizada em betoneira, por se tratar de experimento com mistura prolongada de até oito horas, foi previsto um ciclo de mistura de 5 minutos para cada 15 minutos

de repouso da betoneira, este ciclo foi mantido durante todo o tempo de mistura.

A cada hora de mistura foram moldados 4 (quatro) corpos de prova, totalizando 32 corpos de prova por concretagem, 24 horas após a moldagem estes foram colocados em um tanque com água onde foram curados, no sétimo dia os corpos de prova foram levados ao laboratório para serem retificados conforme previsto na NBR 9204:2012, concluída as retíficas, os corpos de prova foram levados para câmara úmida aguardando a idade de 28 dias para a realização dos ensaios.

O processo mostrado na Figura 2 foi repetido para os três tipos de cimento avaliados, logo, foram produzidos um total de 96 corpos de provas e os ensaios foram realizados com os corpos de prova na idade de 28 dias.

Figura 2: Processo do desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: os autores (2018).

Neste trabalho foram utilizados dos métodos para medição da resistividade elétrica do concreto estudado, a técnica com dois pontos conforme previsto na NBR 9204:2012 e a técnica com quatro eletrodos pelo método de Wenner, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3: Métodos de medição da resistividade elétrica do concreto utilizados na pesquisa.



Fonte: os autores (2018).

No Quadro 3 estão apresentadas as especificações técnicas do equipamento que

compõem o medidor de resistividade elétrica volumétrica utilizado na pesquisa.

Quadro 3: Características do equipamento utilizado: resistividade elétrica volumétrica.

Características do equipamento da UFMG	
<b>Equipamento Marca Tektronix</b>	<b>Gerador de Tensão – Marca Politem</b>
Serial N° TDS 1012B C065459	Modelo FG-8102 2MHz
Voltage Range: 100-240V 115V	Voltage 115V – 230V
Frequency: 50-60Hz 400Hz	Sweep/Function Generator
Power Max: 30 Watts	Fuse: 0.5A, F 0,2A,F – PWR Max: 15W

Fonte: os autores (2018).

A Figura 4 mostra o equipamento utilizado nas medições da resistividade elétrica volumétrica da Universidade Federal de Minas Gerais.

Figura 4: Equipamento para medição de resistividade elétrica volumétrica da UFMG.



Fonte: os autores (2018).

A Figura 5 mostra o princípio de medição e o equipamento utilizado na medição da resistividade elétrica superficial.

Figura 5 – Aparelho de medição – 4 eletrodos.



Fonte: PROCEQ (2018).

Os ensaios foram realizados em laboratório a uma temperatura ambiente de 25°C com umidade relativa do ar entono de 62%. Em conformidade com a ABNT NBR 9204: 2012, os corpos de prova foram curados, e na idade de sete dias tiveram suas extremidades retificadas. Antes da realização dos ensaios, com a intenção de garantir uma boa saturação dos corpos de prova, estes foram colocados em um tanque com água potável, fornecida pela concessionária local, permanecendo submersos pelo período de 48 horas. Em seguida os ensaios foram realizados no equipamento definido uma frequência de 40 Hz e Amplitude de 5 a 10 V, conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4: Parâmetros utilizados nos ensaios de resistividade elétrica

<b>Parâmetros dos Ensaios</b>	
Resistividade Elétrica Volumétrica	
Frequência	40 Hz
Resistência chant	671.94
Amplitude	5 - 10 V
Saturação	48 h
Umidade (UR)	62 %
Resistividade Elétrica Superficial	
Temperatura	25°C
Umidade (UR)	62%
Saturação	48 h

Fonte: os autores (2018).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

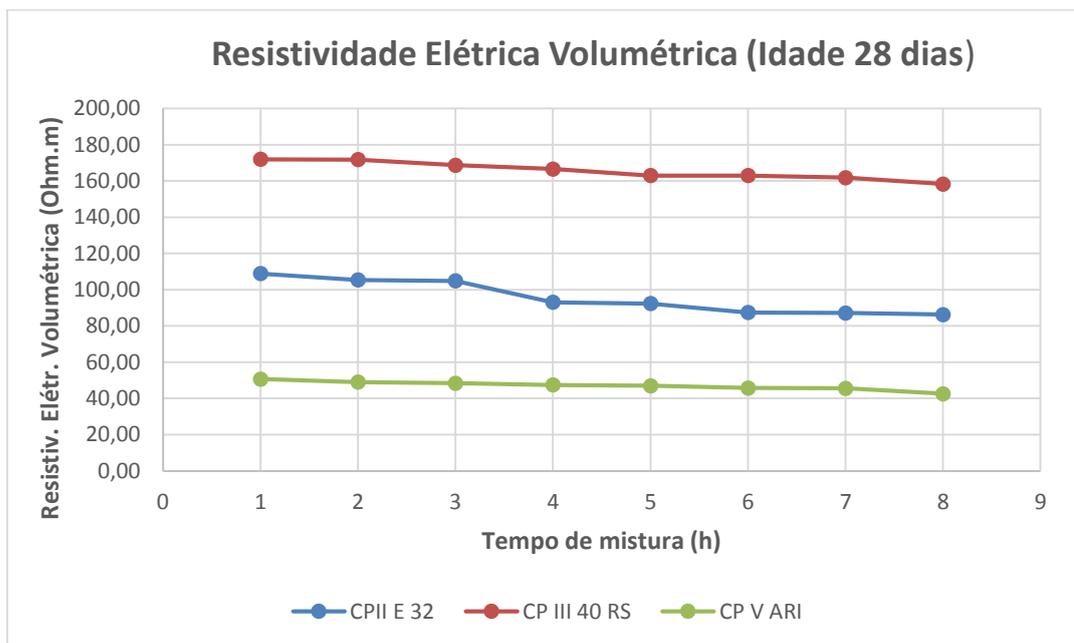
Na idade de 28 dias foram realizados os ensaios nos corpos de prova para a determinação da resistividade elétrica volumétrica e superficial, no qual os resultados estão apresentados nos gráficos das Figuras 5 e 6.

Pode-se observar que a dosagem composta pelo cimento CP III 40 RS foi a que apresentou os melhores resultados de resistividade, mesmo com 8h de mistura, as medições tiveram valores aceitáveis, próximo a 160  $\Omega$ .m. A dosagem composta pelo cimento CP V ARI, apesar de não ter sofrido consideráveis variações nas medidas de resistividade no final de oito horas de mistura, foi o que apresentou os piores resultados quando comparados aos outros cimentos.

Neste sentido, para Layssi e Alizadeh (2015) a durabilidade do concreto depende de sua microestrutura, principalmente com a distribuição do tamanho dos poros e a forma das

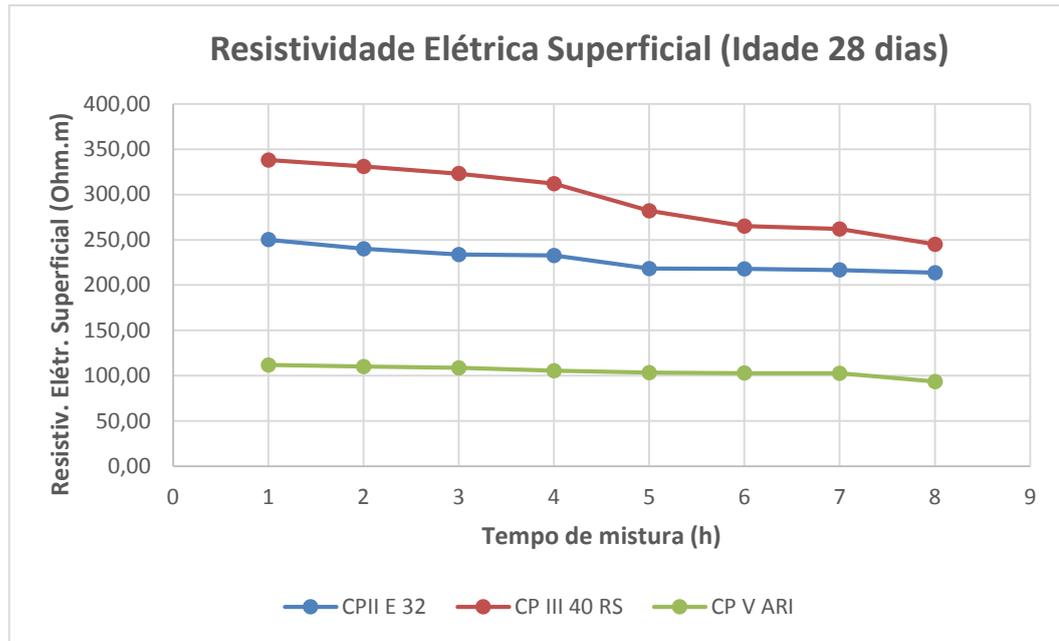
interconexões que definindo sua permeabilidade, pois uma microestrutura porosa com maior grau de interconexão resulta em maior permeabilidade e durabilidade reduzida em geral. O ensaio de resistividade se mostra importante para quantificar as propriedades condutoras da microestrutura do concreto. Neste contexto, a medição de resistividade pode ser usada para avaliar o tamanho e a extensão da interconectividade dos poros.

Figura 5: Resultados dos ensaios de resistividade elétrica volumétrica para as dosagens avaliadas com cimentos CP II E 32, CP III 40 RS e CP V ARI.



Fonte: Oliveira (2018).

Figura 7: Resultados dos ensaios de resistividade elétrica superficial para as dosagens avaliadas com cimentos CP II E 32, CP III 40 RS e CP V ARI



Fonte: Oliveira (2018).

Os dois tipos de ensaios realizados, mostraram uma tendência na diminuição da resistividade elétrica do concreto a cada hora de mistura, desta forma, mantendo o mesmo traço, com a variação do tipo de cimento observa-se que, a cada hora de mistura a microestrutura do concreto se mostra mais porosa e permeável. Pelos resultados, observar-se ainda, que quanto maior o tempo de mistura, menor foi a resistividade elétrica do concreto.

Nesta linha Polder, Andrade, et al (2000) afirmam que em uma estrutura de concreto o ensaio de resistividade é de grande valia para avaliação do potencial de risco de corrosão das armaduras, principalmente para identificação de áreas mais permeáveis da estrutura no qual é mais propícia a penetração de água e de outros agentes agressores.

Observou-se uma tendência na redução da resistividade para cada hora de mistura, porém como os resultados foram obtidos apenas para idade de 28 dias, espera-se obter um crescimento na resistividade ao passar do tempo.

A diferença entre os resultados da resistividade elétrica medida na superfície dos corpos de prova se mostraram menores que as obtidas pelo método volumétrica, isto se justifica devido as heterogeneidades observadas, pois na superficial pode haver interferência que podem influenciar as medições, como princípio de carbonatação, exsudação, agregados graúdos superficiais entre outros (SANTOS, 2006).

## 5. CONCLUSÃO

Os valores da resistividade elétrica superficial para cada dosagem estudada na idade de 28 dias, se mostram bem maiores que os resultados da resistividade elétrica volumétrica quando medidas nos mesmos corpos de prova, isto pode ser justificado devido a resistividade elétrica volumétrica avaliar o corpo de prova como um todo e a superficial medir apenas a resistividade das camadas mais externas.

A pesquisa mostrou ainda, que o tipo de cimento pode influenciar nos valores da resistividade elétrica, tanto para a superficial quanto para a volumétrica.

Observou-se uma tendência na redução da resistividade para cada hora de mistura, logo, conclui-se que quanto maior for o tempo de mistura, maior será a propensão de corrosão das armaduras protegidas pelo concreto de mistura prolongada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738:1016. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova**. Rio de Janeiro, 2016, 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9204:2012. **Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrica-volumétrica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012, 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212 - **Execução de concreto dosado em central — Procedimento**. ABNT. Rio de Janeiro, p. 16. 2012.

AZARSA, P.; GUPTA, R. Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: A Review. **Advances in Materials Science and Engineering**, May 2017. 30

LAYSSI, H.; ALIZADEH, A. R. Electrical Resistivity of Concrete: Concepts, applications, and measurement techniques. **Concrete International**, May 2015. 41-46.

POLDER, R. et al. Test methods for on site measurement of resistivity of concrete. **RILEM TC 154-EMC: Electrochemical Techniques for measuring Materials and Structures/Matériaux et Constructins**, Madrid, 33, December 2000. 603-611

OLIVEIRA, C. F. **Análise das propriedades do concreto quando utilizado após início de pega: tempo de utilização de concreto estrutural vencido**. 2018. 177 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018.

SANTOS, L. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto**. 2006. 178 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Engenharia Civil) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2006.