

## BREVE NOTAS HISTÓRICAS

C. Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>International Center for Numerical Methods in Engineering. CIMNE. UPC, Spain.  
[candrade@cimne.upc.edu](mailto:candrade@cimne.upc.edu)

### RESUMO

Aniversários são uma boa desculpa para fazer alguns resumos de eventos históricos. Muito brevemente, alguns avanços da pesquisa inicial na especialidade de corrosão de reforço que começou nos anos 60 estão resumidos. O uso de técnicas eletroquímicas foi um marco que permitiu, a partir da década de 1970, estudar o efeito de cada variável com muito mais rigor. Os estudos sobre vida de serviço começaram na década de 1980, embora não fossem de interesse geral até a década seguinte. A partir de 1990, os Comitês RILEM e o Programa Ibero-americano de Corrosão de CYTED ampliaram o conhecimento de forma tão ampla que, no século XXI, o assunto atraiu muito interesse de pesquisa.

**Palavras-chave:** técnicas eletroquímicas; vida de serviço; corrosão; reforço.

### BRIEF HISTORICAL NOTES

#### ABSTRACT

Anniversaries are a good excuse to make some summaries of historical events. Very briefly, some advances made from the initial research in the speciality of reinforcement corrosion which started in the 60's are summarized. The use of electrochemical techniques was a milestone which enabled, from the decade of the 1970, to study the effect of each variable with much more rigour. The studies on service life started in the decade of 1980, although they were not of general interest until the next decade. From 1990 RILEM Committees and the Iberoamerican Program on Corrosion of CYTED extended the knowledge so widely that in the XXI century the subject attracts much research interest.

**Keywords:** electrochemical techniques; service life; corrosion; reinforcement.

### BREVES NOTAS HISTÓRICAS

#### RESUMEN

Los aniversarios son una buena excusa para hacer algunos resúmenes de eventos históricos. Muy brevemente, se resumen algunos avances realizados a partir de la investigación inicial en la especialidad de la corrosión por armadura que comenzó en los años 60. El uso de técnicas electroquímicas fue un hito que permitió, desde la década de 1970, estudiar el efecto de cada variable con mucho más rigor. Los estudios sobre la vida útil comenzaron en la década de 1980, aunque no fueron de interés general hasta la próxima década. A partir de 1990 los Comités RILEM y el Programa Iberoamericano de Corrosión de CYTED ampliaron el conocimiento de manera tan amplia que en el siglo XXI el tema atrae mucho interés de investigación.

**Palabras clave:** técnicas electroquímicas; vida de servicio; corrosión; reforzamiento.

## 1. INTRODUÇÃO

A corrosão da armadura é atualmente um dos temas em que mais recursos são investidos para investigar e também é reconhecido como o principal problema para a durabilidade do concreto. Tenho acompanhado o desenvolvimento deste campo de pesquisa desde o início, primeiro é feito um relato muito breve de alguns marcos de pesquisa de forma histórica cronológica, antes de desenvolver o assunto sobre o qual está pesquisadora contribui para esta edição especial.

## 2. INVESTIGAÇÕES ATÉ 1980

Quando se iniciou esta pesquisa por sugestão do Sr. José Calleja no Instituto de Construção e Cimento "Eduardo Torroja", não havia mais do que 30 citações em toda a bibliografia consultada (Gouda e Monfore, 1965; Stratfull, 1964; Cigna et al. 1966). Sua sugestão surge por ter sido detectado corrosão devido ao uso de  $\text{CaCl}_2$  para acelerar a cura do concreto. A corrosão das armaduras era uma questão de interesse completamente irrelevante na década de 1960-70, já que o ambiente construído em concreto armado era limitado.

Na minha dissertação de mestrado e na minha tese de doutorado (Hausmann, 1964) estudei um total de 8 cimentos com adições de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{NaNO}_2$ , este último como um possível inibidor de corrosão, fabricando vigas protendidas de 2 m de comprimento com 6 vergalhões incorporados. Os resultados mostraram claramente o efeito corrosivo do  $\text{CaCl}_2$  e a capacidade inibitória do nitrato. Para medir a corrosão, a técnica de medição não-destrutiva chamada Resistência de Polarização foi aplicada pela primeira vez em concreto, que seria mais tarde reconhecida juntamente com outros resultados novos do RILEM quando a autora recebeu a Medalha Robert L'Hermite.

A Fig. 1 mostra os corpos de prova utilizados na tese da autora, como curiosidade, são mostrados no lado direito os dispositivos utilizados na medição, um dos quais já havia sido utilizado na dissertação e outro, o galvanostato indicado com um G na foto, foi fabricado por José M<sup>a</sup> Tobio do IETcc com os desenhos produzidos por Sebastián Feliú da CENIM, que foi quem sugeriu usar o  $R_p$ , até então uma nova técnica de medição.

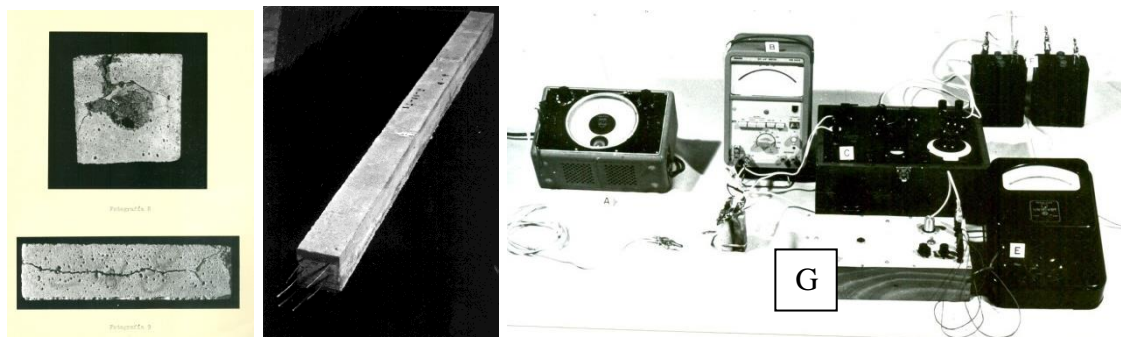


Figura 1. Os corpos de prova corroídos utilizados durante a tese da autora (Hausmann, 1964) apresentada no ano de 1973 na Universidade Complutense de Madri. Aparelho utilizado na tese de doutorado (Andrade, 1973)

As técnicas que foram aplicadas até aquele momento para estudar a corrosão da armadura foram de tipo acelerado, principalmente as curvas de polarização (Gouda e Monfore, 1965) que foram incorporadas em um ensaio potenciostático proposto por Kaesche e Baümel (Andrade, 1970; Andrade, 1978) posteriormente padronizado pela DIN e pelo CEN para a detecção de substâncias corrosivas em aditivos para concreto.

Destacam-se também, nesses anos, os trabalhos de Hausmann (Andrade, 1978) que estabelecem a relação crítica de cloretos em relação ao pH do concreto a um valor de  $\text{Cl} / \text{OH} = 0,6$ . Valor que

permaneceu válido até hoje. Também as obras de Gouda (Gouda e Monfore, 1965) e Treadaway (Kaesche, 1959) se baseiam em técnicas eletroquímicas para detectar a corrosividade dos aditivos e a proteção dos inibidores.

### 3. DÉCADAS DE 1980-2000

O uso de técnicas eletroquímicas foi um marco fundamental que permitiu (Baumel, 1959), a partir de 1970, abordar os estudos com muito mais rigor sobre o efeito de cada variável. Foi assim que começaram a estudar os efeitos da carbonatação (González, Algaba e Andrade, 1980) e os possíveis métodos para evitar a corrosão, principalmente galvanização a quente, inibidores, revestimentos epóxi para reforços e proteção catódica.

No entanto, na década de 1980, foi abordado o cálculo da vida útil, que não foi objeto de atenção geral até 1990. Assim, K. Tuutti publica sua tese de doutorado (González, Algaba e Andrade, 1980) em 1982 com a diagrama mostrado na Fig. 3 e que articulou todos os estudos subsequentes. A Fig. 3 também mostra K. Tuutti durante uma reunião do Comitê RILEM 60-CSC- “Corrosion of Steel in Concrete” (Tuutti, 1982). Tanto esta comissão como as subsequentes, bem como o Subprograma "DURAR" de CYTED (Schiessl, 1988) e a publicação de Page e Treadaway na Nature (Page e Treadaway, 1982) supuseram uma revelação do problema em seus aspectos básicos que contribuíram significativamente para a multiplicação de congressos e publicações.

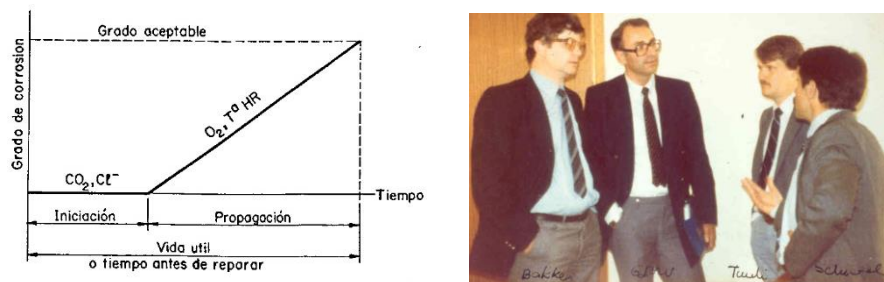


Figura 3. Esquerda: diagrama de tempo de vida de Tuutti. Direita: da esquerda para a direita Rob Bakker (Holanda), O. Gjørsv (Noruega), K. Tuutti (Suécia) e P. Schiessl (Alemanha).

Durante a década de 1990, enormes avanços foram feitos no conhecimento básico, dentre os quais a possibilidade de medição in loco (medidor de corrosão GECOR que permite a medição no local através do confinamento da corrente (Page e Treadaway, 1982)) pode ser mencionada (Fig. 4), a prática de proteção catódica tanto em estruturas novas (Feliú et al, 1990) e deteriorada, quanto na detecção de problemas com revestimentos epóxi (Lazzari e Pedferri, 2006).

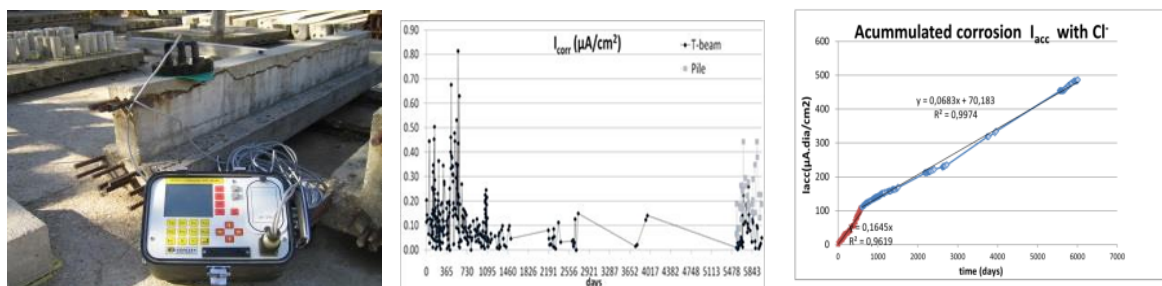


Figura 4. Aspecto do corrosímetro portátil GECOR 08 e medidas de velocidade de corrosão instantânea tomadas no feixe da figura, bem como o cálculo da penetração de corrosão (corrosão acumulada) a partir da integração no tempo dessas medições

Nesses anos, a RILEM estabeleceu vários comitês, tanto em técnicas de medição (TC-154) quanto em modelos baseados na difusão de cloretos e carbonatação (TC-178 e TC-213). A esse respeito, vale ressaltar a contribuição de D. Whiting, propondo-se na década de 1980, reduzindo a duração do ensaio de resistência ao cloreto (Sagüés et al, 2001) aplicando uma diferença de potencial ao concreto. Estas obras levaram a um intenso debate que levou ao trabalho (Whiting, 1981) que permitiu estabelecer as bases teóricas para a difusão de cloretos e sua migração através de campos elétricos, o que levou à profusão de modelos numéricos sobre vida útil do concreto.

#### 4. DESDE 2000 ATÉ A ATUALIDADE

O mais notável nesses anos pode ser resumido no trabalho realizado no projeto DURAR (Andrade, 1993) em termos da divulgação de princípios básicos. O Manual do CONTECVET (CONTECVET IN30902I, 2001) que considera como calcular a capacidade estrutural residual quando as estruturas estão corroídas e o tratamento probabilístico dos modelos e cálculo da vida útil, dos quais podemos citar como resumo todo o trabalho realizado no projeto DURACRETE (DURACRETE, 2000) que levou à incorporação do fib Model Code do tratamento de durabilidade probabilística.

Uma área em que muita tecnologia foi desenvolvida está relacionada a métodos de reparo, dado o crescente número de estruturas que tiveram que ser reparadas. No entanto, no século XXI, a corrosão da armadura é uma das áreas que atrai constantemente o interesse de pesquisa, há muitos aspectos a serem esclarecidos, especialmente na eficácia de reparos e na calibração de modelos de vida.

#### 5. REFERENCIAS

- Andrade, C. (1970), *Aportación al estudio de la corrosión de armaduras en el hormigón armado*. Tesina de licenciatura, Universidad Complutense. Facultad de Químicas, Madrid, Julio.
- Andrade, C. (1973), *Nueva técnica electroquímica de medida de la corrosión de armaduras en hormigones armados y pretensados. Empleo de aditivos inhibidores como método de protección*. Universidad Complutense, Facultad de Químicas – Junio.
- Andrade, C. and González, J. A. (1978), *Quantitative measurements of corrosion rate of reinforcing steels embedded in concrete using polarization resistance measurements*, Materials and Corrosion, 29 (8), pp. 515. <https://doi.org/10.1002/maco.19780290804>
- Andrade, C. (1993), *Calculation of chloride diffusion-coefficients in concrete from ionic migration measurements*. Cement and Concrete Research 23 (3), pp. 724-742. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0008-8846(93)90023-3)
- Baumel, A. (1959), *The effect of additives on the corrosion behaviour of steel in concrete*, Zement-Kalk-Gips, July, no.7 pp 294.
- Cigna, R., Maraghini, M., Schippa, G. (1966), *Effeto del contenuto di  $Ca_2Cl$  sul comportamento dei ferri affogati in malte cementizie*. L'Industria italiana del Cemento Marzo, p 139.
- CONTECVET IN30902I (2001) “*A validated user’s manual for assessing the residual life of concrete structures*”, DG Enterprise, CEC, (The manual for assessing reinforced structures affected by reinforcement corrosion can be seen at the web sites of IETcc ([www.ietcc.csic.es](http://www.ietcc.csic.es)) and GEOCISA ([www.geocisa.es](http://www.geocisa.es)))
- DURACRETE. (2000), *Probabilistic performance based on durability design of concrete structures. EU-Brite EuRam Project BE95-1347*. A number of reports available from CUR Centre for Civil Engineering Research and Codes, Gouda, The Netherlands.

- Feliú, S., González, J. A., Feliú Jr., S., Andrade, C. (1990), "*Confinement of the electrical signal or in-situ measurement of Polarization Resistance in Reinforced concrete*," ACI Materials Journal. 87(5), pp. 457-460.
- González, J. A., Algaba, S., Andrade, C. (1980), *Corrosion of reinforcing bars in carbonated concrete*, British Corrosion Journal, 3 135-139.
- Gouda, V. K., Monfore, G. E. (1965), *A rapid method for studying corrosion inhibition of steel in concrete*, Journal Portland Cement Association, Septiembre, n° 3, 24.
- Hausmann, D. A. (1964), "*Electrochemical behaviour of steel in concrete*", Journal A. C. I., 171.
- Kaesche, H. (1959) *Testing corrosion danger of steel reinforcement due to admixtures in concrete*, Zement-Kalk-Gips, July, no.7 pp 289.
- Lazzari, L., Pedferri, P. (2006), *Cathodic Protection*, Milano: Polipress.
- Page, C. L., Treadaway, K. W. J. (1982), *Aspects of the electrochemistry of steel in concrete*. Narute 297 No. 5862, 109-115. <https://doi.org/10.1038/297109a0>
- Sagüés, A. A., Powers, R. G., Kessler, R. (2001) "*Corrosion Performance of Epoxy-Coated Rebar in Florida Keys Bridges*," NACE International. CORROSION 2001, 11-16 March, Houston, Texas. ID: NACE-01642
- Schiess, P. (1988) *Corrosion of steel in concrete: report of the Technical Committee 60 CSC, RILEM (the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures)*, London, New York, Chapman and Hall.
- Stratfull, R.F. (1964), *Effect of reinforced concrete in ClNa and SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub> environments*. Materials Protection, Dic, p 75.
- Tuutti, K. (1982), "*Corrosion of steel in concrete*", Swedish Cement and Concrete Institute (CBI) n° 4-82. Stockholm.
- Whiting, D. 1981, "*Rapid determination of the chloride permeability of concrete*", Federal Highway Administration, Report FHWA/RD-81/119.