



Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

## Análisis de la corrosión de barras de acero en función de la variación del pH del medio

G. Macioski<sup>1</sup>, D. J. de Souza<sup>2</sup>, A. P. Capraro Brandão<sup>2</sup>, M. H. F. de Medeiros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PPGEC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Brasil.

<sup>2</sup>PPGECC. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Brasil.

### Información del artículo

#### DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i3.153>

Artículo recibido el 01 de Mayo de 2016, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 09 de Septiembre de 2016. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2017.

© 2016 ALCONPAT Internacional

### Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 3, Septiembre – Diciembre 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, [alconpat\\_int@gmail.com](mailto:alconpat_int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org).  
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

### RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar cómo el tipo de acero, el pH de la protección media y la superficie de la barra de acero son capaces de cambiar las propiedades electroquímicas de este metal. Para esto se aplicó la técnica de polarización lineal en barras de acero para evaluar la corrosión de las muestras. El estudio evaluó los aceros CA-50, CA-60 y CP-175-RB, con y sin protección superficial. Estudios como éste son esenciales para la mejora de las técnicas de lectura, especialmente para la comprensión de los resultados obtenidos en las reparaciones ya realizadas. A partir de los resultados fue posible observar cómo las tres variables influyeron en los resultados de la densidad de corriente y velocidad de corrosión.

**Palabras clave:** velocidad de corrosión; durabilidad; pH; polarización lineal.

### ABSTRACT

The aim of this study is to analyze how the steel type, the environment pH and surface protection of steel bar are able to change the electrochemical properties of this metal. Therefore it was applied the linear polarization technique to steel bars to assess the corrosion of the samples. The study evaluated the CA-50, CA-60 and CP-175-RB steels bars, with and without surface protection. Studies like this are essential for the improvement of reading techniques, especially for the understanding of the results obtained in repairs already made. From the results, it was possible to observe how the three variables influenced the results of the current density and corrosion rate.

**Keywords:** corrosion rate; durability; pH; linear polarization.

### RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar como o tipo de aço, o pH do meio e a proteção superficial da barra de aço são capazes de alterar as propriedades eletroquímicas deste metal. Para isso, foi aplicada a técnica de polarização linear em barras de aço para avaliar a corrosão das amostras. No estudo foram avaliados os aços CA-50, CA-60 e CP-175-RB, com e sem proteção superficial. Estudos como este são essenciais para o aprimoramento das técnicas de leitura, em especial para o entendimento dos resultados obtidos em reparos já realizados. A partir dos resultados foi possível observar como as três variáveis analisadas influenciaram os resultados da densidade de corrente e da taxa de corrosão.

**Palavras-chave:** taxa de corrosão; durabilidade; pH; polarização linear.

Autor de contacto: Gustavo Macioski ([gmacioski@gmail.com](mailto:gmacioski@gmail.com))

## 1. INTRODUCCIÓN

El problema de la corrosión consume directa o indirectamente cerca de 5% del PIB de una nación industrializada, además de involucrar grandes catástrofes cuando no son correctamente tratados (Cunha *et al.*, 2013). Gran parte de los problemas relacionados a la corrosión está asociada a la falta de recubrimiento adecuado de concreto, una vez que éste ofrece al acero una doble protección: primeramente una protección física, separando el acero del contacto directo con el medio externo y, segundo, una protección química, por el elevado pH del concreto, el cual promueve la formación de una película pasivante que envuelve el acero (Figueiredo y Meira, 2012).

La corrosión puede ser definida basicamente como el deterioro de un metal o aleación, a partir de su superficie, por el medio em el cual esta embebido. El proceso envuelve reacciones de oxidación y de reducción (redox) que convierten el metal o componente metálico en óxido, hidróxido o sal (Silva *et al.*, 2015).

Son diversos los factores que influyen en los parámetros de corrosión de un metal inmerso en el concreto: el coeficiente de difusión del concreto, a relación agua/cemento, el espesor de recubrimiento, la presencia y la cantidad de adiciones, la humedad relativa, el pH del concreto y la temperatura de exposición (Andrade, 2001; Gu y Beaudoin, 1998). También son relevantes los tipos de sistema de protección aplicados en el material metálico, una vez que el concreto armado puede recibir protección de la superficie sobre el concreto o sobre las barras de acero (Figueiredo e Meira, 2012).

Cuando la estrategia es proteger la barra de acero, la técnica de protección puede ser aplicada en la construcción de estructuras nuevas o en áreas de reparación localizada cuando haya preocupación con la corrosión de las armaduras (Araujo, Panossian y Lourenco, 2013).

Con la intención de ofrecer seguridad y durabilidad a las estructuras, empresas del ramo químico y de productos para construcción civil disponen en el mercado diferentes formas de protección contra la corrosión (Vieira *et al.*, 2010). En el caso de reparación, algunos autores describen los principales métodos de protección utilizados en Brasil (Figueiredo y Meira, 2012), conforme se presenta en la Figura 1.

Técnicas electroquímicas	Revestimientos	Armaduras especiales	Inhibidores de corrosión
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección catódica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galvanizado</li> <li>• Resina epoxi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero inoxidable</li> <li>• Plástica sin fibras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orgánicos</li> <li>• Inorgánicos</li> </ul>

Figura 1. Métodos de protección mas utilizados en barras de acero durante reparaciones estructurales.  
 Fuente: Adaptado de Figueiredo y Meira (2012)

Se destaca que en el área de diagnóstico de manifestaciones patológicas es inherente la conciliación entre investigación, ensayos, interpretación de resultados y dominio de los últimos avances en cuanto al pronóstico de los mecanismos de deterioro de la estructura y factores influyentes (Medeiros *et al.* 2012). En este sentido, este trabajo tiene como objetivo de evaluar como el tipo de acero, el pH del medio y el tipo de protección de la superficie utilizada en la barra de acero son capaces de alterar las características electroquímicas del mecanismo de corrosión. Este tipo de estudio es esencial para que se entienda mejor los factores influyentes en la corrosión y cual es la eficacia de productos de reparación, bien sea como prevención de la vida útil de estructuras de concreto armado.

## 2. RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN LINEAL (LPR)

Son diversos los tipos de medida para control de la corrosión, y la densidad de corriente y el potencial de corrosión son los más utilizados en el diagnóstico de estructuras de concreto armado (Tavares, 2006). En la Tabla 1 y Tabla 2 son presentados los niveles de corrosión en función de valores de densidad de corriente y del potencial de corrosión.

Tabla 1. Relación de la densidad de corriente por nivel de corrosión.

$I_{cor}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Tasa de corrosión ( $\mu m/año$ )	Nivel de corrosión
< 0,1	< 1,16	Estado pasivo
0,1 a 0,5	1,16 a 5,80	Bajo para moderado estado de corrosión
0,5 a 1,0	5,80 a 11,60	Moderado para alto estado de corrosión
> 1,0	>11,60	Alta tasa de corrosión

Fuente: Cunha *et al.* (2003)

Tabla 2. Criterio de evaluación del potencial de corrosión.

Valor del potencial de corrosión	Probabilidad de estar ocurriendo corrosión
< - 350 mV	90 %
- 200 mV a - 350 mV	Incierto
> - 200 mV	10%

Fuente: ASTM C 876 (2009)

De las diversas técnicas utilizadas para estudiar corrosión y para la determinación de la densidad de corriente, el potencial de corrosión y la tasa de corrosión, a polarización lineal (LPR) es más aplicada (Alves *et al.*, 2012), y su mayor uso se hace debido a la rapidez y comodidad con que se pueden determinar las variables medidas. El objetivo de esta técnica es medir la resistencia que un material, expuesto a determinado medio, ofrece a la oxidación durante la aplicación de un potencial externo.

Para la realización de la técnica es común el uso de un potencióstato para la aplicación de diferentes potenciales (tensiones) en el electrodo de referencia (Flores *et al.*, 2013). Así, cuando el potencial es diferente del potencial de corrosión, el equipo registra la corriente aplicada (Fofano, 1999). De esta forma, se obtiene la variación de la corriente leída en función del potencial aplicado (E vs. I) como se presenta en la Figura 3. Otro parámetro de control obtenido es la resistencia de polarización que puede ser considerada como la relación entre la diferencia de potencial y la corriente aplicada (Liu, 1993).

A partir de estos datos pueden ser realizadas medidas cuantitativas de diversos parámetros electroquímicos de corrosión, con base en las ecuaciones presentadas por la ASTM G 59 (1997) y por Wolynech (2003). La densidad de corriente, por ejemplo, puede ser calculada conforme se presenta en la Ecuación 1 e en la Ecuación 2.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \quad (1)$$

$$B = \frac{\beta_a |\beta_c|}{2,303 (\beta_a + |\beta_c|)} \quad (2)$$

Donde:  $i_{corr}$  es la densidad de corriente de corrosión ( $A/cm^2$ ),  $\beta_a$  es la inclinación anódica de Tafel e  $\beta_c$  y la inclinación catódica de Tafel (V/década), y  $R_p$  es la resistencia a la polarización ( $ohm/cm^2$ ), conforme se ve en la Figura 2.

La tasa de corrosión – TC (mm/año), por su vez, puede ser determinada a partir de la Ecuación 3, donde Eq es el equivalente electroquímico de la especie corroída (g), y ρ es la densidad del material corroído (g/cm<sup>3</sup>).

$$TC = 3,27 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{i_{cor} \cdot Eq}{\rho} \quad (3)$$

La tasa de corrosión TC (μm/año) puede ser considerada también equivalente a 11,6 veces I<sub>corr</sub> (μA/cm<sup>2</sup>) para una barra de acero (RILEM, 2000).

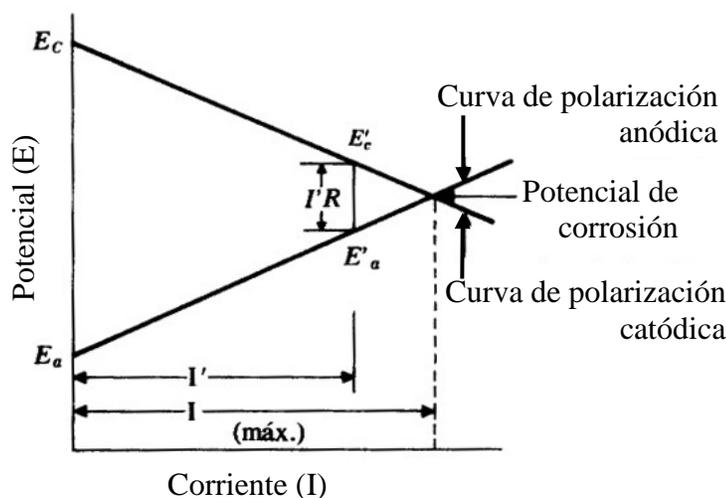


Figura 2. Representación de las curvas de polarización anódica y catódica de un metal. Fuente: Wolyneć (2003).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, serán presentados los materiales utilizados en esta investigación así como los métodos de ensayo adoptados. Los tipos de acero a ser ensayados fueron escogidos a partir de las indicaciones de la ABNT NBR 7480 (1996) que trata de los aceros destinados a estructuras de concreto armado y de la ABNT NBR 7482 (2008) que trata de los aceros para estructuras de concreto pré tensionado. Otro criterio para la selección de los tipos de acero fue la proximidad de los diámetros entre las clases, para menor variabilidad en los resultados. Los tipos seleccionados son presentados en laTabla 3.

Tabla 3. Barras de acero ensayadas.

Acero	Diametro
CA – 50	6,3 mm
CA – 60	5,0 mm
CP – 175 RB E	6,0 mm

Para cada acero de la Tabla 3, fueron utilizadas cuatro muestras de 15 cm de largo, limpias con una solución de ácido clorhídrico de acuerdo con la ASTM G1 (2011).

Los ensayos fueron realizados con las barras inmersas en soluciones de diferentes pH, alterados con la adición de hidróxido de sódio y controlados a través de un pHmetro de bancada a 25°C. Las soluciones presentaban los valores de 7, 9 y 11 de alcalinidades iniciales, siendo que no fueron hechas correcciones del pH posterior al inicio del ensayo. Las lecturas fueron realizadas a los 7 y 30 días. Cabe destacar que las barras de acero quedaron en recipientes, herméticamente cerrados, e inmersas en solución agresiva, tampoco hubo arrastre de material ni colocación de sustancias o gases.

Antes de los ensayos, parte de las barras fué sometida a un método de protección de superficie. El sistema de protección utilizado fué un convertidor de herrumbre en dos manos con intervalo de 60 minutos, con posterior aplicación por una pintura acrílica. El producto de protección utilizado presenta densidad de  $1,03\text{g/cm}^3$ , concentración de sólidos de 10 a 15%, pH de 2,6 y composición química de extracto orgánico de *Acacia mearnsi* (3-15%), ácido cítrico (2-10%), copolímero acrílico (5-20%), aditivo *2-Butoxy ethanol* (3-15%).

Fueron realizados ensayos de resistencia a la polarización lineal (LPR) conforme lo descrito por la ASTM G 59 (1997) a través de un potenciostato modelo SP-200 de la BioLogic – Figura 3 – que utilizó un electrodo de cobre en sulfato de cobre ( $\text{Cu/CuSO}_4$ ) y aplicó tensiones variando de -2V a +2V.

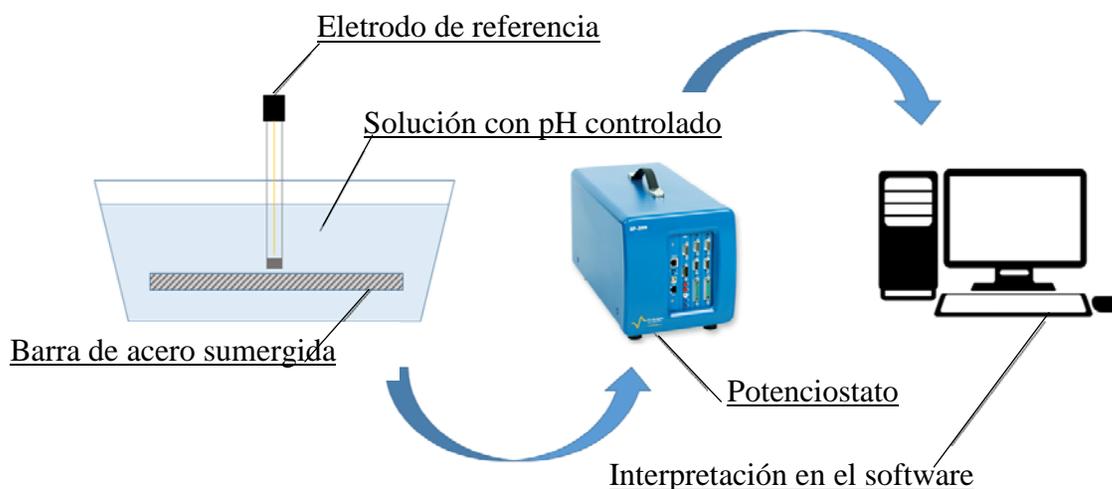


Figura 3. Ensayo realizado con el Potenciostato SP-200.

Para cada condición de ensayo (pH y tipo de protección) fueron realizadas cuatro lecturas, siendo que el electrodo fué posicionado lo más próximo de la barra de acero durante las lecturas. Posterior a los ensayos, las curvas de polarización fueron analizadas y, de esta forma, fué posible obtener el potencial de corrosión ( $E_w$ ), la densidad de corriente de corrosión ( $I_{\text{corr}}$ ), la tasa de corrosión (TC), y la resistencia de polarización ( $R_p$ ) para cada una de las barras de acero con y sin protección en los diferentes pHs.

Para validar los resultados encontrados se aplicó o test estadístico de Tukey para comparar múltiplos de los resultados, evidenciando así las diferencias entre los resultados obtenidos, con un grado de confianza de 95%. Siendo que el análisis estadístico fué realizado apenas para los resultados de la densidad/tasa de corrosión.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, están presentados los resultados de las medidas de corrosión de las barras de acero sometidas a diferentes niveles de pH, con y sin protección de la superficie de la barra. La Figura 4 y 5 presentan los resultados de potencial de corrosión para las barras de acero a los 7 y 30 días, respectivamente. Los datos fueron clasificados con base a la probabilidad de corrosión mostrada en la Tabla 2.

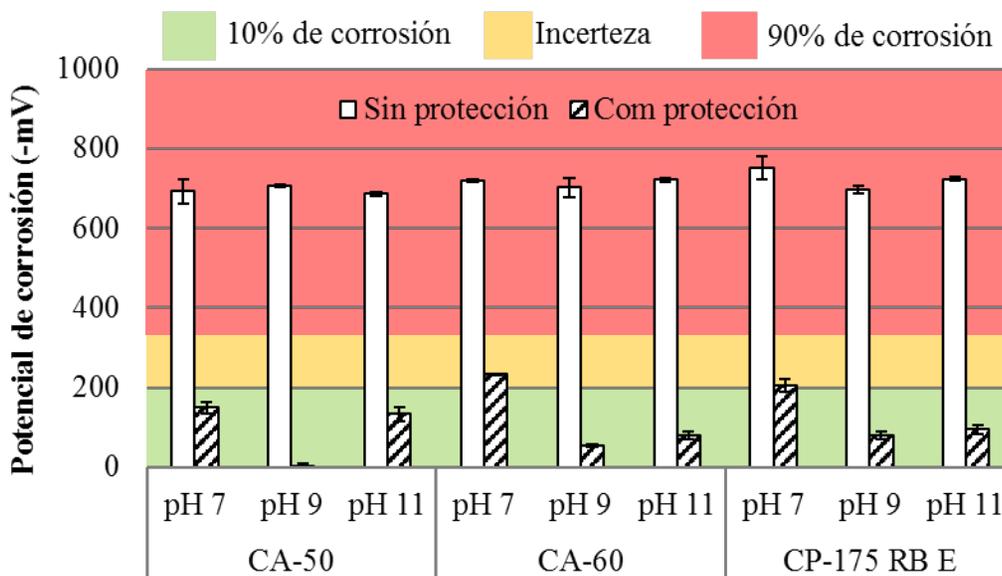


Figura 4. Potencial de corrosión de las barras a los 7 días. (Electrodo de referencia: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO<sub>4</sub>).

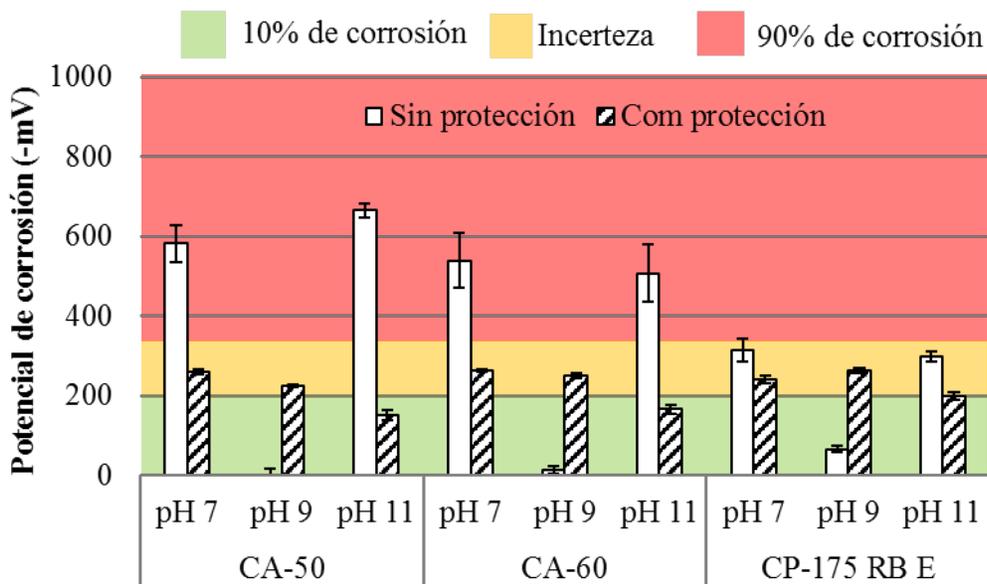


Figura 5. Potencial de corrosión de las barras a los 30 días. (Electrodo de referencia: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO<sub>4</sub>).

Se observa en la Figura 4 que, a los 7 días, todas las barras de acero sin protección tienen un potencial de corrosión con probabilidad de 90%, con promedio de -711mV. Entre tanto 78% de las barras protegidas se encuentran con baja probabilidad de corrosión (10% de ocurrencia), con lecturas variando entre -3mV y -205mV. Los resultados de la Figura 4 evidencian la acción del convertidor de herumbre en el potencial de corrosión en las edades iniciales de aplicación.

A los 30 días (Figura 5), las barras sin protección de superficie tuvieron su potencial de corrosión incrementado, presentando resultados entre -6mV y -582mV. Todavía a los 30 días, las barras con protección sufrieron un aumento en el potencial de corrosión, con reducción para 33% de las muestras en la zona de baja probabilidad de corrosión – con promedio de lectura de -224mV. También fueron

evaluados los resultados de la densidad de corriente y la tasa de corrosión en función del nivel de corrosión según lo presentado en las Figuras 6 e 7.

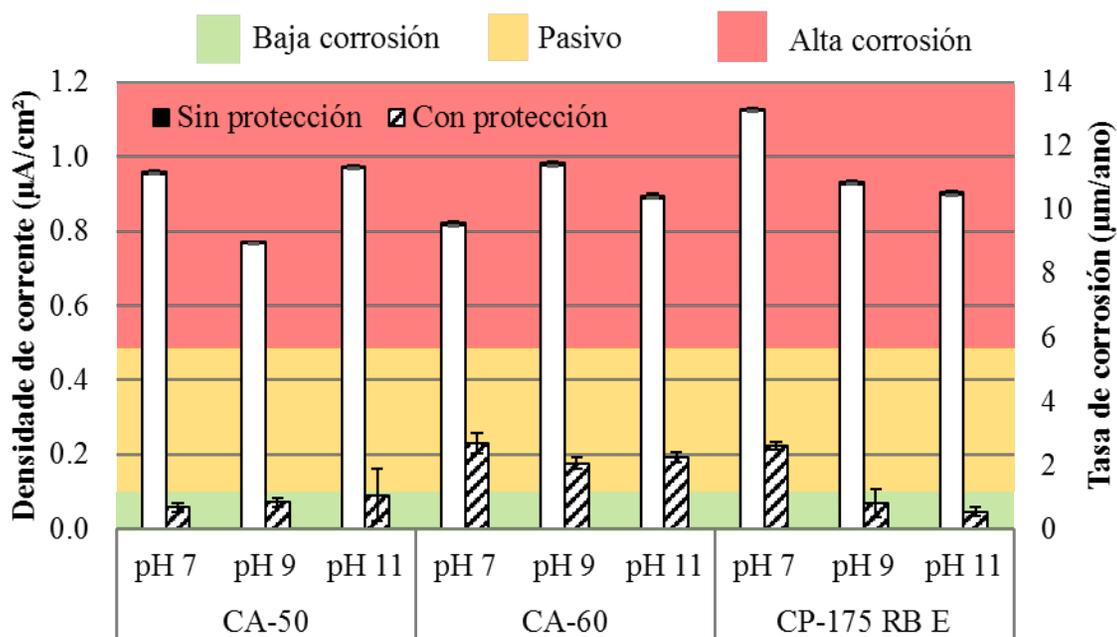


Figura 6. Densidad de corriente y tasa de corrosión de las barras a los 7 días. (electrodo de referencia: cobre-sulfato de cobre -  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ).

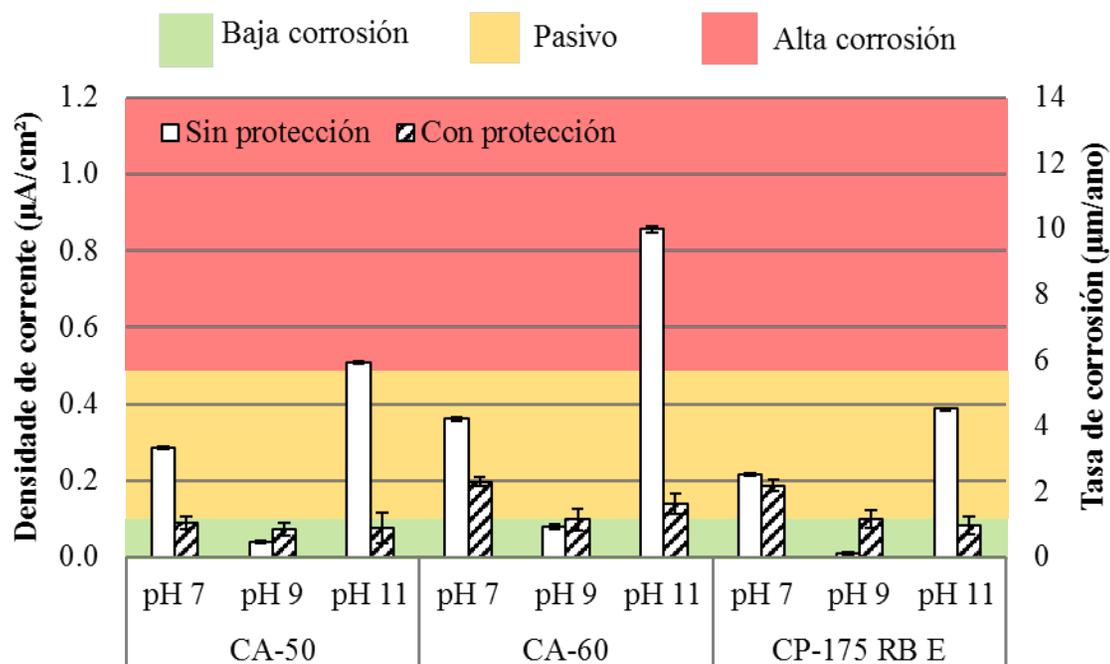


Figura 7. Densidad de corriente y tasa de corrosión de las barras a los 30 días (electrodo de referencia: cobre en sulfato de cobre -  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ).

Con los datos presentados en la Figura 6 es posible observar que para los análisis a los 7 días ocurren altos valores de tasa de corrosión en las barras sin protección, es decir, un estado de corrosión generalizado (con todos los resultados clasificados en corrosión moderada para alta, y densidades de corriente superiores a  $0,77 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ). Además de comportamiento variado de los valores entre las barras, es decir, sin una tendencia clara y concluyente sobre la mayor o menor tendencia de corrosión

de cada tipo de acero. Se debe destacar en la Figura 6 que en todos los casos la tasa de corrosión fue mayor en las barras sin protección, si se compara con las barras de acero que tuvieron la superficie protegida que llegaron a densidades de corriente inferiores a  $0,23 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , con 78% de los resultados en la zona de pasividad. Notando que el acero CA-60 con protección presentó los mayores valores de tasa de corrosión cuando se comparó con los otros resultados de aceros protegidos superficialmente.

Para los análisis realizados a los 30 días (Figura 7) se tiene una caída de la tasa de corrosión en todos los casos. Estando la mayor parte de los casos incluidos en los dos primeros grupos de clasificación del estado de corrosión: pasivo y reducido a moderado estado de corrosión, con excepción de los aceros CA-50 y CA-60 en el ambiente con pH igual a 11.

Se sabe que durante los períodos iniciales de exposición la atmosfera, la tasa de corrosión de los aceros al carbono es usualmente elevada. Eso se debe a la alta porosidad de la herrumbre inicialmente formada, compuesta basicamente por óxidos de hierro. Posteriormente ese período inicial, las propiedades protectoras mejoran, y la tasa de corrosión disminuye (Panonni *et al.*, 1993). Debido a este comportamiento, son utilizados modelos exponenciales para representar la tasa de corrosión a lo largo del tiempo (Hakkarainen, 1982; Barton, 1980; Panonni y Marcondes, 1991). De esta manera, los resultados obtenidos están de acuerdo con los resultados observados por otros autores.

Por tanto, la disminución en la tasa de corrosión fue posiblemente causada por la corrosión inicial severa en el material, que tuvo como consecuencia la formación de una capa de productos de corrosión en la superficie expuesta de las armaduras, lo que, en otras palabras, puede haber dificultado el contacto entre las muestras de acero y las soluciones. Otra hipótesis no abordada por otros autores es la variación de oxígeno presente en la solución, es decir, con la oxidación del hierro hubo una disminución de la concentración de oxígeno presente; es decir, el propio producto de corrosión tiende a reducir la velocidad de corrosión de las armaduras, por formar una barrera física al acceso del electrolito.

Ademas se observa que la barra de acero CA 60, de manera general, presenta valores mas altos que las demás, indicando una mayor susceptibilidad a la corrosión, sin significancia estadística. También se destaca que la capacidad de protección del sistema de tratamiento de superficie del acero no se presenta más eficaz a los 30 días de exposición en las condiciones de corrosión. Para permitir un mejor análisis de la influencia del pH de la solución, fueron elaboradas las Figuras 8 y 9 en función del pH de las soluciones.

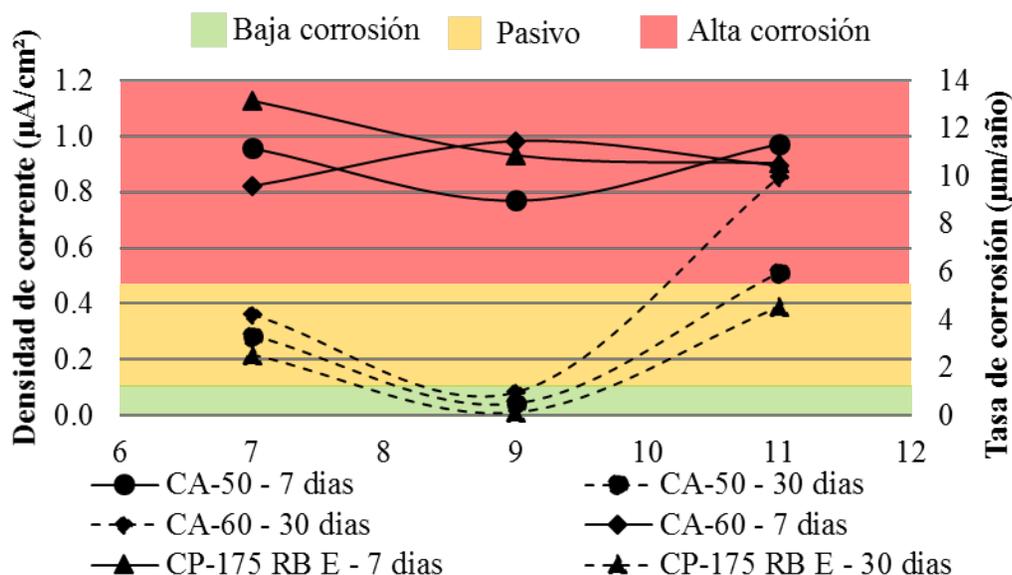


Figura 8. Densidad de corriente y tasa de corrosión de las barras sin protección. (electrodo de referencia: cobre sulfato de cobre -  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ). Fuente: propia (2016).

A partir de los resultados presentados en la Figura 8 se puede observar que el pH poco influyó en los resultados de las barras sin protección, expuestas por un período de 7 días, siendo que las muestras obtuvieron un valor de densidad de corriente en el rango de 0,8 a 1,1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , siendo clasificadas con un estado de corrosión de moderado a elevado. Mientras que a los 30 días, las barras sin protección presentaron resultados variados de tasa de corrosión, destacando la reducción de la corrosión para aquellas que se encontraban en la solución de pH=9 – logrando la pasividad.

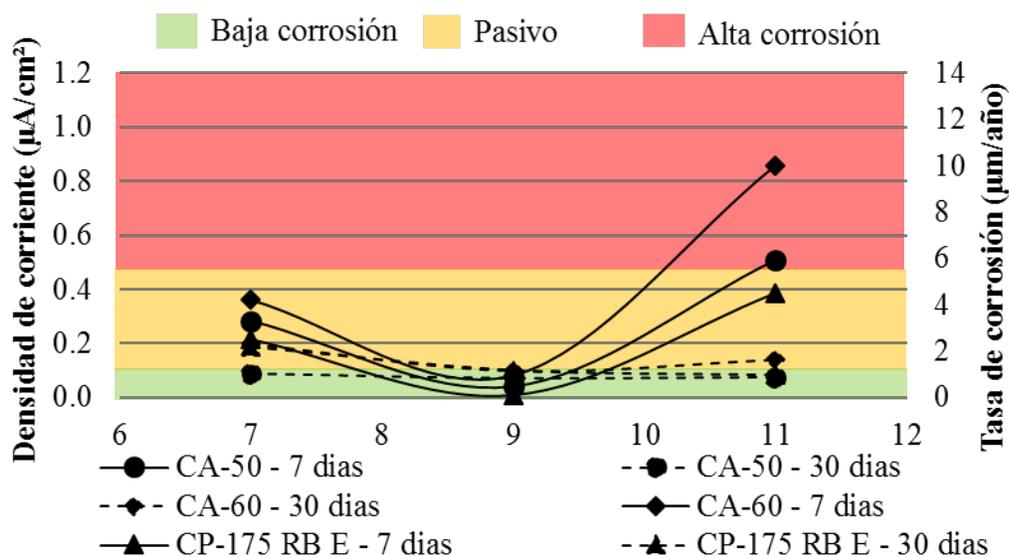


Figura 9. Densidad de corriente y tasa de corrosión de las barras con protección. (electrodo de referencia: cobre-sulfato de cobre -  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ).

Al analizar las barras con protección de superficie (Figura 9), se nota que a los 7 días ocurrió una variación en la densidad de corriente, con aumento de las tasas, también en las barras protegidas, cuando  $\text{pH}=11$  con valores de hasta  $0,85 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . A los 30 días el pH de las soluciones no se mostró influyente en los resultados de la densidad de corriente, con resultados próximos a la pasividad. Entonces es posible destacar que el  $\text{pH}=9$  inhibió el proceso de corrosión en todas las barras protegidas.

Así como en los resultados de pH, la variación del tipo de acero utilizado, sea CP, CA 50 ó CA 60, poco influyó en la variabilidad de los resultados. Por lo tanto, se observa que en dos escenarios (30 días sin protección y 7 días con protección) el CP-175 fue el acero menos perjudicado por el efecto de la corrosión, seguido por los aceros CA 50 y CA 60. Este comportamiento puede ser explicado por el hecho de existir de 0,15 a 0,40 % de carbono en los aceros CA 50 y CA 60, mientras que en CP-175 tiene valores de 0,70 a 1,20 % carbono (ARCELORMITTAL, 2016). Así, por presentar un menor porcentaje de hierro en su composición química, el acero para pre tensado tiende a presentar una menor tasa de formación de óxido de hierro.

La Figura 10 muestra una correlación entre los resultados de potencial de corrosión y de la densidad de corriente y verifica que existe una correlación entre los dos monitoreos de la corrosión, con  $R^2$  igual a 0,83.

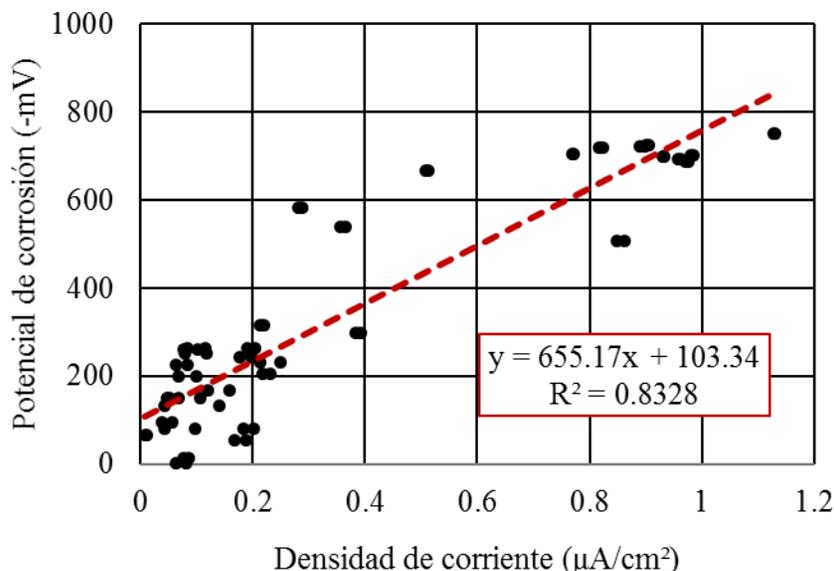


Figura 10. Correlación entre medidas realizadas. (electrodo de referencia: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO<sub>4</sub>).

Este resultado es esperado una vez que el aumento del potencial de corrosión induce un aumento de la inclinación Tafel y, en consecuencia, de la densidad de corriente. La existencia de buena correlación comprueba la eficacia de las técnicas aplicadas.

A fin de comprobar la diferencia entre los resultados obtenidos, fue realizado el análisis estadístico por el test de Tukey conforme lo presentado en la Figura 11. En el test, los intervalos de confianza representan la interacción entre dos muestras, en caso haya la intersección entre el intervalo del límite inferior y superior de las muestras con el eje vertical cero, se puede afirmar que las diferencias entre ellas no son significativas.

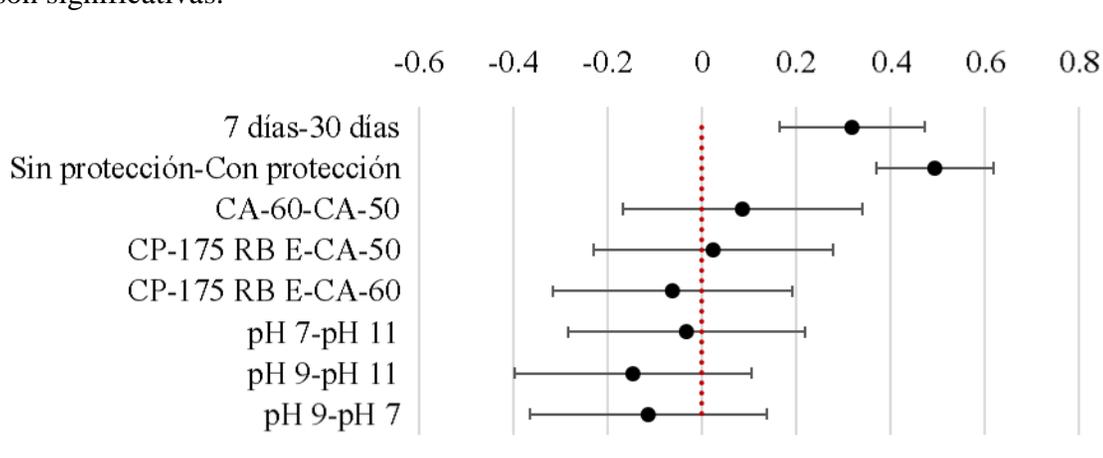


Figura 11. Test Tukey para comparación múltiple de promedios.

Conforme los resultados presentados en la Figura 11, ocurren diferencias con significancia superior a 95% entre los resultados obtenidos a los 7 y 30 días, tanto entre las barras con y sin protección de la superficie. De esta forma, la protección fue capaz de mejorar las propiedades electroquímicas del acero en diferentes pHs, reduciendo la tasa de corrosión y la densidad de corriente.

De acuerdo con la Figura 11, se observa que el tipo de acero utilizado y el pH de las soluciones no influyeron estadísticamente en los resultados obtenidos. Este comportamiento se justifica por el desvío observado en los valores de la densidad de corriente, con comportamientos divergentes en cada una de las condiciones analizadas.

Aún cuando no hubo significância estadística, al analizar los desvíos del test Tukey causados por el tipo de acero, se noto que los aceros que tenían la menor diferencia en los resultados fueron los aceros CP-175 y CA-50. En cuanto al pH de las soluciones, se nota que el pH=9 fué el que generó una mayor diferencia en los resultados (cuando fué observado el desvio de los análisis pH 9 – pH 11 y pH 9 – pH 7).

Este tipo de análisis es fundamental para comprobar que los estudios de durabilidad necesitan cada vez más evaluar otras variables que puedan influir en los ensayos realizados y las interacciones con el medio ambiente en que los materiales se encuentran con el acero y el concreto.

## 5. CONCLUSIÓN

De manera general, fué confirmada la influencia de variables en el proceso de corrosión en barras de acero: tiempo y sistema de protección de superficie. En este trabajo fué posible observar altos valores de tasa de corrosión en edades iniciales, con reducción a los 30 días por la alteración del medio causado por el material resultante del proceso de corrosión (posible deposición superficial en la barra y alteración de la concentración de oxígeno en la solución). Se observó que las barras sometidas a protección de superficie mostraron capacidad de mantener la tasa de corrosión en valores bajos aún cuando tenían edades avanzadas.

En cuanto al análisis de los tipos de acero se concluyó que, ocurrió una pequeña diferencia entre los valores, sin influir de forma estadísticamente significativa en los resultados de la densidad de corriente y la tasa de corrosión. El pH de las soluciones, por su vez, También no se mostró estadísticamente influyente en los resultados obtenidos.

Vale destacar que el método de polarización lineal para medidas de la tasa de corrosión se mostró eficiente y preciso en sus determinaciones, con buena correlación entre las medidas realizadas del potencial de corrosión y de la densidad de corriente. Además de eso, se puede afirmar la importancia de realizar más estudios enfocados en entender las variables que influyen en los procesos de corrosión, permitiendo, así, una mejor previsión de la vida útil de las estructuras de concreto armado.

## 6. REFERENCIAS

- Alves H. G., Neri K. D., Ferreira P. R. R. (2012), *Aplicación da técnica de polarización lineal para detectar corrosión em concreto armado atacados por sulfatos e cloretos*. Artigo Técnico. Congresso Brasileiro de Química.
- American Society for Testing and Materials. ASTM C 876. *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. Philadelphia. 1991.
- American Society for Testing and Materials. ASTM G 59. *Standard Practice for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*. Philadelphia. 1997.
- American Society for Testing and Materials. ASTM G1. *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. Philadelphia. 2011.
- Andrade, J. J. de O. (2001), *Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosión de armaduras: iniciación por cloretos*. Tese de Doutorado. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul – UFRGS.
- Araujo, A., Panossian, Z. E., Lourenco, Z. (2013), *Protección catódica de estructuras de concreto*. Rev. Ibracon Estrut. Mater. [online]. vol.6, n.2, pp. 178-193. ISSN 1983-4195.
- ARCELOR MITTAL. *Manual do Processo de Fabricação de CA50S, CA25 e CA60 Nervurado*. 2016. Disponível em: < <http://longos.arcelormittal.com/pdf/productos/construcao-civil/outros/manual-fabricacao-ca-50-ca-60.pdf>> Acesso em 21.08.2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7480 - Barras e fios de acero destinados a armaduras para concreto armado*. Rio de Janeiro, 1996.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7482 - Fios de acero para concreto protendido*. Rio de Janeiro, 2008.
- Barton, K. *et al.*, *Zasch. Met.*, 16, p. 387 (1980)
- Cunha, M., Helene, P., Lourenco, M. (2013), *Corrosión Em Estructuras De Concreto Armado: Teoria, Control E Métodos De Análisis*. Elsevier Brasil,
- Figueiredo, E. P., Meira, G. (2012), *Corrosión de armadura de estructuras de hormigón*. Boletín Técnico 6. Asociación Latino americana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción.
- Flores, C., Rodríguez, S., Cárdenas, A.; Guarneros, O. (2013), Evaluación mecánica de concreto y de corrosión en mortero con partículas de neumático reciclado. *Revista ALCONPAT*, 3(3), 192-203.
- Fofano, S. (1999), *Avaliação de Técnicas Eletroquímicas na Monitoração de Corrosión por Sulfetos em 1999*.
- Gu, P., Beaudoin, J. J. (1998), *Obtaining Effective Half-Cell Potential Measurements in Reinforced Concrete Structures*. *Construction Technology Update* No. 18. Institute for Research in Cosntruction.
- Hakkarainen, T., Ylasaari, S. in Ailor, E. H. (1982), *Atmospheric Corrosion*, ed., Wiley, New York.
- Liu, Y. (1996), *Modeling the Time-to-Corrosion Cracking of the Cover Concrete in Chloride Contaminated Reinforced Concrete Structures*. Tese de doutorado: Virginia Polytechnic Institute and State University, 128p.
- Medeiros, M. H. F., Giordano, D. E., Pereira, E., Vignolo, A., Galeano, R., & Helene, P. (2012), *Inspecção no palacio de la luz–Montevideo: uma visão de durabilidade*. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 2(2), 93-108.
- Pannoni, F. D. *et al.* (1993), *Investigação da corrosión de um acero-carbono e de um acero patinável submetidos a diferentes condições ambientais*. *Anais do 48º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM)*, p. 135.
- Pannoni, F. D., Marcondes, L. (1991), *Efeito da composición química da liga sobre o comportamento frente à corrosión atmosférica de aceros determinado pela análise estatística de dados publicados*. *Anais do 16º Congresso Brasileiro de Corrosión da Associação Brasileira de Corrosión (ABRACO)*, p. 67.
- RILEM Recommendations of TC 154-EMC (2000), *Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion, Test methods for on site measurement of resistivity of concrete, Materials and Structures*.
- Silva, M. V. F., Pereira, M. C., Codaro, E. N. (2015), *Corrosión do acero-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química*. *Química Nova*, v. 38, n. 2, p. 293–296, 2015. Acesso em: 6/5/2015.
- Tavares, L. M. (2006), *Estudo Do Processo De Corrosión Por Íons Cloreto No Concreto Armado Utilizando Armaduras Comuns E Galvanizadas*. Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul.
- Vieira, D. V., Pelisser, F., Paula, M. M. Da S., Mohamad, G., Nóbrega, A. C. V. Da. (2015), *Estudo de inibidores de corrosión em concreto armado*. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 15, n. 3, p. 430–444, 2010. Acesso em: 6/5/2015.
- Woly nec, S. (2003), *Técnicas Eletroquímicas em Corrosión*, São Paulo, Edusp.