

---

Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Estudo do Comportamento do aço API 5L X70 em contato com solos urbanos de Palmas-TO.**

Alexon Braga Dantas<sup>a</sup>, Isolda Costa<sup>b</sup>, Sérgio Luís de Jesus<sup>c</sup>

### **Abstract**

---

This study investigated the behavior of the API 5L X70 steel in contact with Palmas - TO urban soils by means of gravimetric and X-ray diffraction tests of the corrosion products formed on the metallic specimens buried and exposed to the soil by times of 300 days, 496 days, 730 days and 822 days. In order to do this, five metal rods were used in the dimensions of 1000 mm in length, 50 mm in width and 12.7 mm in thickness and 84 metal specimens with dimensions 50 mm wide, 50 mm long and 12, 7 mm thick, which were buried in two different soils. After being unearthed, the specimens were duly conditioned and transported to the Corrosion Laboratory of the Center for Materials Science and Technology CCTM, IPEN, where the gravimetric test was carried out to obtain the corrosion rates and, also, the X-ray diffraction test. The results showed the influence of the seasonality on the corrosion rates with variation of the rate of corrosion depending on the time and the type of soil. From this study it was possible to evaluate the aggressiveness of the urban soil of Palmas, information is necessary to predict maintenance and corrective in systems of poldutos, that can be implemented in that city.

**Keywords:** steel, corrosion, soil.

### **Resumo**

---

Neste estudo foi investigado o comportamento do aço API 5L X70 em contato com solos urbanos de Palmas – TO por meio de ensaios gravimétrico e difração de raios-X dos produtos de corrosão formados sobre os corpos-de-prova metálicos enterrados e expostos ao solo por tempos de 300 dias, 496 dias, 730 dias e 822 dias. Para tanto, foram empregadas cinco hastes metálicas nas dimensões de 1000 mm de comprimento, 50 mm de largura e 12,7 mm de espessura e 84 corpos-de-prova metálicos com dimensões de 50 mm de largura, 50 mm de comprimento e 12,7 mm de espessura, os quais foram enterrados em dois solos distintos. Após serem desenterrados, os corpos-de-prova foram devidamente acondicionados e, transportados para o Laboratório de Corrosão do Centro de Ciências e Tecnologia de Materiais CCTM, IPEN, onde se realizou o ensaio gravimétrico para a obtenção das taxas de corrosão e, também, o ensaio de difração de raios-X. Os resultados mostraram a influência da sazonalidade nas taxas de corrosão com variação da taxa de corrosão dependente do tempo e do tipo de solo. A partir deste estudo foi possível avaliar a agressividade do solo urbano de Palmas, informação esta necessária para previsão de manutenções e corretivas em sistemas de poldutos, que podem ser implementados naquela cidade.

**Palavras-chave:** aço, corrosão, solos.

---

<sup>a</sup> Mestre, Engenheiro Civil – IPEN

<sup>b</sup> PHD, Engenheira Química - IPEN

<sup>c</sup> Dr., Engenheira Agrônomo - IPEN

---

## Introdução

---

O Estudo do comportamento do aço API 5L X70, notadamente em contato com meio corrosivo, se faz necessário e importante, em razão da grande aplicação desse tipo de aço em estruturas que podem ficar em contato, diretamente com o solo, como tanques de combustíveis e polidutos diversos. Para tanto, foi escolhida a cidade de Palmas-TO para este estudo, em razão da baixa quantidade de informações acerca da corrosividade deste aço em contato com solos urbanos, na região norte do País.

A resistência à corrosão sob tensão do aço de tubulações X70 foi investigada por espectroscopia de impedância eletroquímica em meio alcalino de carbonato [1]. Este estudo foi conduzido em função do tempo de ensaio para avaliar as variações associadas com a corrosão sob tensão. Os autores concluíram que a técnica de espectroscopia de impedância pode detectar o início da formação de trincas na superfície pelas variações observadas nas curvas de Nyquist.

Eliyan et al [2] também utilizaram métodos eletroquímicos, especificamente, medidas de potencial de circuito aberto, polarização potenciodinâmica e espectroscopia de impedância para avaliar a corrosão dos aços API. No estudo dos autores o aço API-X 100 foi testado em soluções aeradas de bicarbonato com várias concentrações (0,1; 0,5 e 0,8M) e temperaturas (20°C, 40°C e 60°C).

O processo de corrosão controlado catodicamente foi dependente da concentração de bicarbonato e da temperatura com a taxa de corrosão aumentando com o aumento destes fatores. As interações interfaciais foram governadas por processos de passivação e adsorção tanto em meio com cloreto como na ausência deste.

O comportamento frente à corrosão do aço API 5L X-60 usado em tubulações de gasodutos foi investigado em solução simuladora do solo com pH aproximadamente neutro por espectroscopia de impedância e polarização potenciodinâmica [3]. Os parâmetros do modelo como resistividade, pH, temperatura, teor de umidade e composição química do eletrólito foram avaliados. Os resultados mostraram que as densidades de corrente de corrosão aumentaram com a temperatura na faixa de 20 a 60 °C. Os autores concluíram que os parâmetros densidade de corrente ( $i_{corr}$ ), resistência à polarização ( $R_p$ ) e a resistividade do solo ( $\rho$ ) podem servir como parâmetros de avaliação de corrosividade do solo.

Bueno et al [4] estudaram a avaliação das rachaduras por corrosão sob tensão e a fragilização por hidrogênio causada por proteção catódica em aço API. Eles prepararam diversos solos para determinar as suas características físicas, químicas e bacteriológicas. Fizeram testes de taxas de deformação lenta por meio de extratos aquosos de amostras de solo e solução padrão NS4. Também realizaram ensaios de permeação de hidrogênio para avaliar a suscetibilidade de hidrogênio penetrar no interior do aço. Pelos resultados tem-se que mesmo sob potenciais catódicos o material mostrou a incidência de fissuras e uma redução de ductibilidade.

Estudo acerca do comportamento da corrosão de estruturas de aço em vários ambientes marinhos foram realizados para garantir a segurança e o aumento da vida útil daquelas estruturas. Para tanto usou-se amostras de aço-carbono tipo Q235A e de aço para gasoduto tipo API 5L 652 enterrados a profundidades de 0,5m; 1,0m e 1,5m em solos típicos de cinco praias distintas pelo prazo de 1 a 2 anos. A taxa de corrosão do aço-carbono foi superior à do aço para gasoduto. A corrosão do aço no solo das praias envolveu mecanismo misto, com diferentes graus de aeração do solo e atividade microbiana [5].

Tomou-se como referência a tese de Jesus, 2007, que estudou o comportamento do aço API 5L X70 em contato com alguns solos no Brasil. O autor avaliou parâmetros do solo como pH,

condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, entre outros, em função da resistência e mecanismos de corrosão. As técnicas empregadas foram a difratomia de raios X, microscopia eletrônica de varredura, fluorescência por raios X, análise de injeção de fluxo, análises de granulometria e gravimetria [6].

A partir destes ensaios foi feita a caracterização dos solos, identificou-se os agentes de corrosão, analisou a solução dos solos, avaliou os metais ensaiados. Concluiu mostrando que a agressividade da corrosão variou conforme as estratificações e tipo de solos. O estudo, também demonstrou que as soluções de solo podem apresentar respostas rápidas comparadas com aquelas feitas em solo real.

A proposta é de demonstrar a influência da ação dos diversos constituintes de solos característicos urbanos nos processos de corrosão em aços tipo API 5L X70, caracterizar as formas e produtos de corrosão que agem sobre os aços em contato com os solos.

## **Metodologia**

---

### **1 – Materiais e Procedimentos:**

#### **1.1 - Preparação dos corpos de prova metálicos**

O aço API 5L X70 a ser utilizado foi fornecido pela USIMINAS S/A e apresenta a seguinte composição: C (0,26%); Mn (1,65%); P (0,030%) e S (0,030%). Para o ensaio a ser realizado no Tocantins, foram produzidas cinco hastes com 50 mm de largura, 12,7 mm de espessura e 1000 mm de comprimento com corte por guilhotina para que se possa estudar o processo de corrosão nas idades de 10 meses; 16 meses; 22 meses; 28 meses e 34 meses.

Também foram confeccionadas 84 amostras com 50 mm com a espessura e largura semelhante às hastes para subsidiar o ensaio gravimétrico das amostras enterradas. As amostras menores foram cortadas por meio de discos diamantados e, posteriormente foram submetidas ao jateamento de areia para decapar a sua superfície.

Após o processo de decapagem, as hastes e amostras metálicas foram acondicionadas e, levadas para o laboratório, onde aferimos suas dimensões geométricas, com o paquímetro, e, também a sua massa, por meio de balança de precisão igual a 0,1 g (Figuras 01 e 02).



**Figura 01 – Aferição da massa de cada amostra, por meio de balança.**



**Figura 02 – Medição das dimensões geométricas das amostras, por meio de paquímetro.**

## **1.2 – Locais de enterramento dos corpos de prova metálicos**

Foi escolhido o campus da Universidade Federal do Tocantins, em Palmas/TO, para o enterramento das 5 hastes e 30 amostras de aço como fito de garantirmos a continuidade da pesquisa pelo lapso de tempo necessário, ou seja, quatro anos a partir de 14 de dezembro de 2014. Em um segundo momento foi escolhido outro local de enterramento das amostras de aço, que foi o campus da Faculdade Católica do Tocantins, também localizado na capital Tocantinense.

## **1.3 – Enterramento dos corpos de prova metálicos**

Para o enterramento das cinco hastes foi realizada uma abertura inicial com profundidade de 100 mm, por meio de trado manual, para, posteriormente efetuar a cravação das hastes metálicas com o uso de marreta de 2,0 kg. Para o enterramento das amostras menores foram empregados o trado manual e o perfurador rotativo de solo. Figuras 03, 04, 05.



**Figura 03 – Abertura inicial com o uso do trado manual.**



**Figura 04 – Cravação das hastas metálicas**



**Figura 05 – Abertura dos furos para o enterramento dos corpos de prova metálicos**

Após a realização dos furos com profundidade de 500 mm foram dispostas as amostras de aço, devidamente identificadas e sua localização em coordenadas Universal Transversa de Mercator – UTM, obtidas por GPS manual Garmin.

#### **1.4 – Coleta das amostras de solo**

Durante o procedimento de abertura dos furos foram retiradas amostras de solos nas profundidades de 110 mm e 50 mm, por meio de trado manual, para a realização de ensaios de granulometria e de caracterização mineralógica dos solos [7].

#### **1.5 – Desenterramento dos corpos de prova metálicos**

O desenterramento das seis amostras de aço menores e das hastas metálicas foi realizado em dois momentos, 300 dias e 496 dias, respectivamente após o primeiro enterramento. Para tanto, foi empregado o trado manual, pá, barra metálica, cabo de aço entre outras ferramentas. No tocante aos aspectos das amostras de aço menores, verificou-se que diversas delas se encontravam bastante impregnadas de solo e, após a lavagem em água destilada e escovação branda foram submetidas ao ensaio de gravimetria. Em diversas amostras de aço o produto de corrosão se encontrava disposto na região das bordas. Figuras 06, 07.



**Figura 06 – Corpo de prova metálico impregnado de solo (tempo 300 d)**

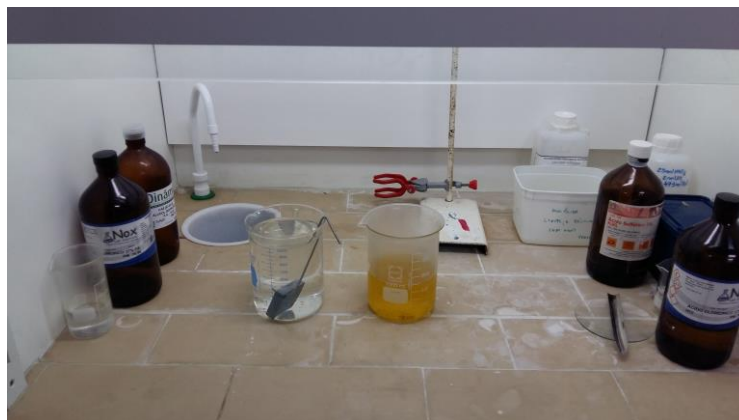


**Figura 07 – Corpo de prova metálico após o ensaio gravimétrico (tempo 300 d)**

### **1.6 – Ensaio Gravimétrico dos corpos de prova metálicos**

Os corpos de prova metálicos de dimensões 50 mm x 50 mm x 12,7 mm, após desenterradas foram devidamente acondicionadas e, transportadas para o Laboratório de Corrosão do Centro de Ciências e Tecnologia de Materiais CCTM / IPEN, onde se realizou a limpeza com escavação de suas superfícies expostas em água corrente para a retirada de grande parte do solo impregnado e, após isso foi realizado o ensaio gravimétrico para a obtenção da taxa de corrosão.

Foram obtidas as perdas de massa dos corpos de prova após a limpeza química, por imersão das amostras em uma solução contendo 1000 ml de ácido clorídrico e 350 mg de hexametilenotetramina, onde após o período inicial de 6 minutos retirávamos a amostra de aço e colocávamos em um recipiente contendo 1000 ml de água destilada, posteriormente a secávamos e procedíamos a aferição da massa. Este procedimento era repetido para os tempos de 6 minutos, 15 minutos e 20 minutos, onde verificávamos que a perda de massa era desprezível [8] (Figura 08).



**Figura 08 – Amostra de aço imersa em água durante o ensaio gravimétrico**

### 1.7 – Ensaio de Difractometria de raios X

Para a haste metálica após a cuidadosa limpeza do solo impregnado em sua superfície procedeu-se a uma inspeção visual onde se identificou a possível região mais oxidada. Também, por meio de uma espátula foi retirada uma quantidade de produto de corrosão, que foi acondicionado em recipientes adequados e, encaminhados ao Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP (Figura 09).



**Figura 09 – Detalhe da retirada do produto de corrosão na haste metálica**

O ensaio foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca Bruker, modelo D8 Endeavor, com detector sensível a posição LYNXEYE\_XE. As condições de análise para a obtenção dos difratogramas foram: Tubo de Cu, energia 40mA x 40kV, faixa angular 5-100° (2theta), passo angular 0,02°, com tempo / passo de 0,2 s (Figura 10).



**Figura 10 – Produto de corrosão sendo preparado para a realização do ensaio de Difractometria de raios X**

Para este ensaio será empregado um difratômetro da Marca Philips, linha X'Pert, com anodo de cobre (Cu  $K\alpha$  1,54 Å), sua velocidade de varredura será de 1,2° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>, faixa de

varredura de  $3^\circ$  a  $90^\circ 2\theta$ , com tensão de aceleração de 40 kV e corrente de 40 mA (Figura 09).



**Figura 10 - Difratorômetro de raios X Philips linha X'Pert (Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP)**

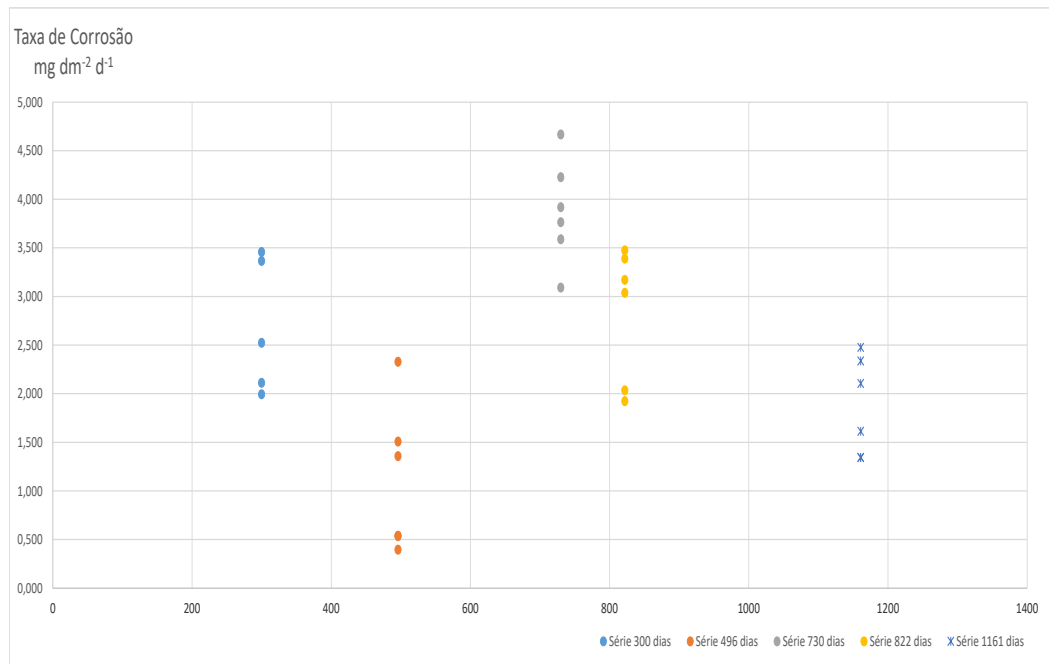
## **Resultados e discussão**

---

### **1 – Taxa de Corrosão**

Foram obtidas, as medidas da taxa de corrosão para o aço API 5L X70, em oito idades distintas, considerando os dois períodos de enterramento, nos solos A e B. A Figura 11 ilustra a medida da variação da taxa de corrosão, para o aço em análise, em cinco idades distintas em relação ao primeiro enterramento.



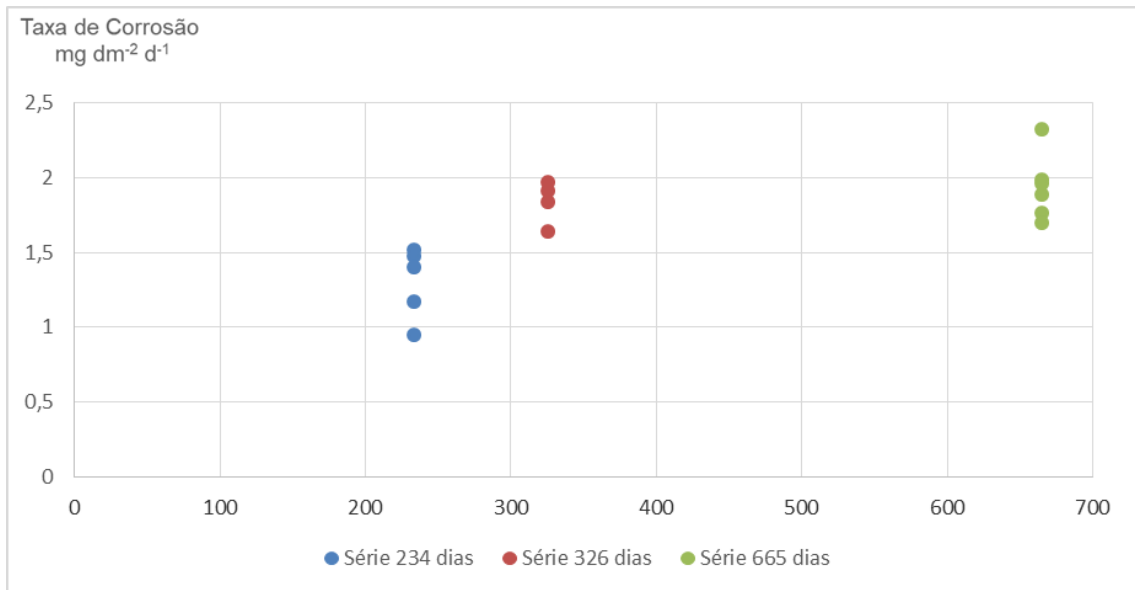


**Figura 11 – Taxa de Corrosão  $\Delta m / (A \cdot t)$  mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em função do Tempo em dias, do aço API 5L X70, no solo A-1**

Verifica-se, para a primeira idade, os corpos de prova tiveram valores de taxa de corrosão desde 1,993 até 3,457 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, apresentando uma variação percentual de 73,460%. Para a idade de 496 dias, a taxa de corrosão variou desde 0,395 até 2,327 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, apresentando uma variação percentual de 488,765%. Em 730 dias após o primeiro enterramento a taxa de corrosão variou desde 3,091 até 4,664 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, apresentando uma variação percentual de 50,888%. Após 822 dias a taxa de corrosão variou desde 1,923 até 3,474 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, apresentando uma variação percentual de 80,696%. Os últimos corpos de prova metálicos apresentaram taxa de corrosão variou desde 1,341 até 2,475 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, apresentando uma variação percentual de 84,526%. Pelo gráfico da Figura 11, tem-se que a taxa de corrosão apresentou valores pequenos, entre 1,500 até 3,500 mg x dm<sup>-2</sup> x dia<sup>-1</sup>, denotando que o solo com corrosividade baixa, para a amostra constituída de 25 corpos de prova metálicos, nas cinco idades de desenterramento em relação ao primeiro enterramento.

Os resultados das taxas de corrosão dos aços enterrados em um segundo momento, para o solo A, encontram-se na Figura 12. Observa-se que a taxa de corrosão, para a primeira retirada, 234 dias após o enterramento, variou de 0,947 até 1,513 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, apresentando uma variação percentual de 59,767%. Para a idade de 326 dias os valores da taxa de corrosão variaram entre 1,635 até 1,960 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, tendo uma variação percentual de 19,916%. Para a idade de 665 dias os valores da taxa de corrosão variaram entre 1,696 até 2,318 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, tendo uma variação percentual de 36,624%.

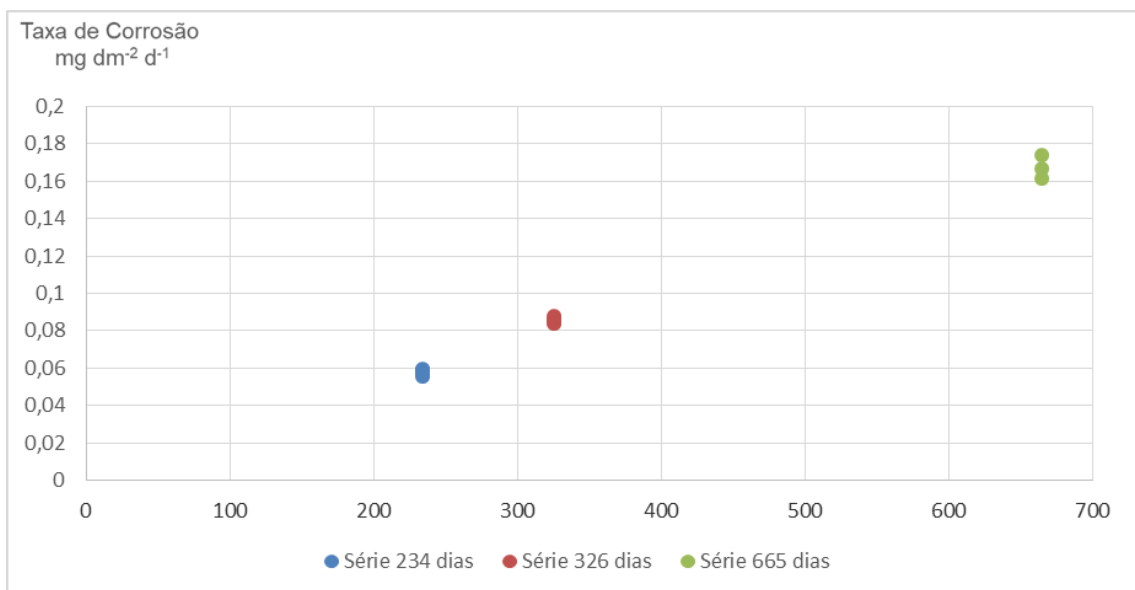
Considerando ainda o solo A, para uma amostra de 15 corpos de prova metálicos, enterrados em um segundo momento, observa-se, Figura 12, que a taxa de corrosão apresentou valores da ordem de 1,000 até 2,000 mg x dm<sup>-2</sup> x dia<sup>-1</sup>, em ordem ascendente desses valores com o tempo, resultando, pois em um solo é pouco corrosivo.



**Figura 12 – Taxa de Corrosão  $\Delta m / (A \cdot t)$  mg x dm<sup>-2</sup> x dia<sup>-1</sup> em função do Tempo em dia, do Aço API 5L X70, no solo A-2**

Para o solo B, os valores da taxa de corrosão no aço, para a idade de 234 dias variou de 0,0592 até 0,0555 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, com uma variação percentual de 6,795%. Para a idade de 326 dias os valores da taxa de corrosão no aço, variou de 0,0832 até 0,0871 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, com uma variação percentual de 4,643%. Para a idade de 665 dias os valores da taxa de corrosão no aço, variou de 0,161 até 0,173 mg dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ou seja, com uma variação percentual de 7,760%.

O gráfico mostra uma evolução crescente nos valores das taxas de corrosão com o tempo, no entanto, os valores das taxas de corrosão são bem inferiores, quando comparados com as do solo anterior, repercutindo, a priori, muito pouco corrosivo. Vide Figura 13.



**Figura 13 – Taxa de Corrosão  $\Delta m / (A \cdot t)$  mg x dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em função do Tempo em dia, do Aço API 5L X70, no solo B**

## 2 – Difração de raios-X dos Solos

Os resultados dos ensaios de difração de raios-x para o solo A revelou a presença de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{O}_4\text{PSc}$  e, para o solo B apresentaram de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  (caulinita),  $\text{SiO}$ . Considerando a natureza de solos urbanos, que já se encontram com intemperismo físico e químico, em níveis avançados, é normal obter-se, em sua constituição, a caulinita, o quartzo e a hematita, conforme aponta Jesus, 2007, que foram os principais componentes obtidos nos solos analisados. Figuras 14, 15

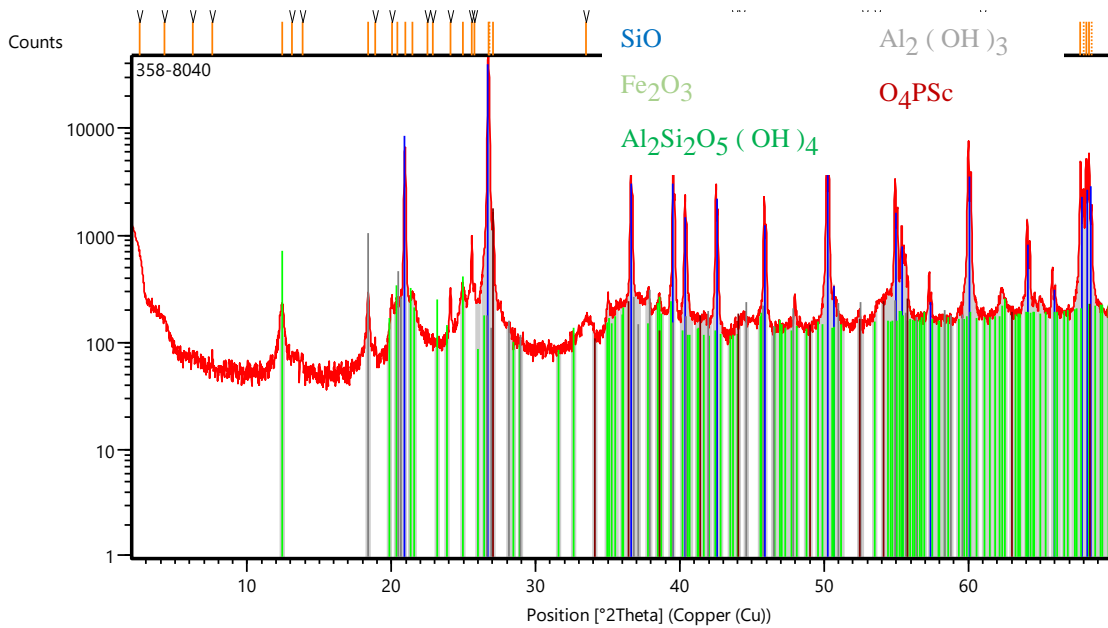


Figura 14 – Difração de raios-X do solo A

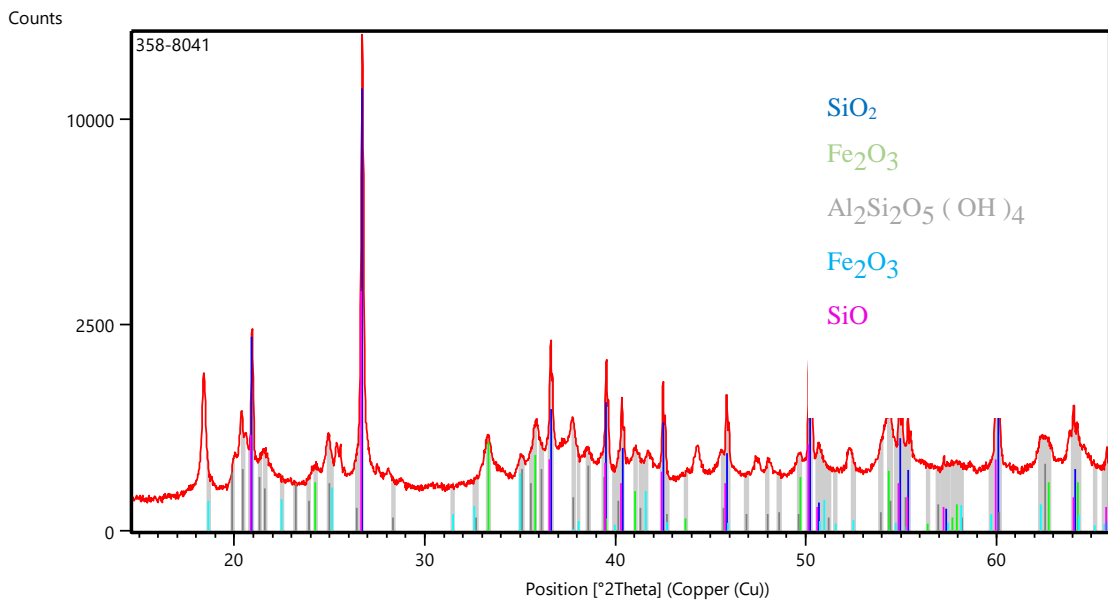


Figura 15 – Difração de raios-X do solo B

## 2 – Difração de raios-X dos Produtos de Corrosão

Os ensaios de difração de raios-X dos produtos de corrosão do aço API 5L X70, apresentaram como resultados o quartzo, a goethita e a magnetita. Muito provável que o quartzo seja proveniente do solo, ainda impregnado na haste metálica em que se retirou, por meio de raspagem com espátula, os produtos de corrosão para o ensaio. A goethita,  $\text{FeO(OH)}$  e a magnetita,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , provavelmente, foram formados durante o processo de corrosão do aço com o meio corrosivo, ou seja, o solo. Notadamente, a magnetita foi a responsável por formar uma película escura, bastante aderente ao substrato metálico. Figuras 16, 17.

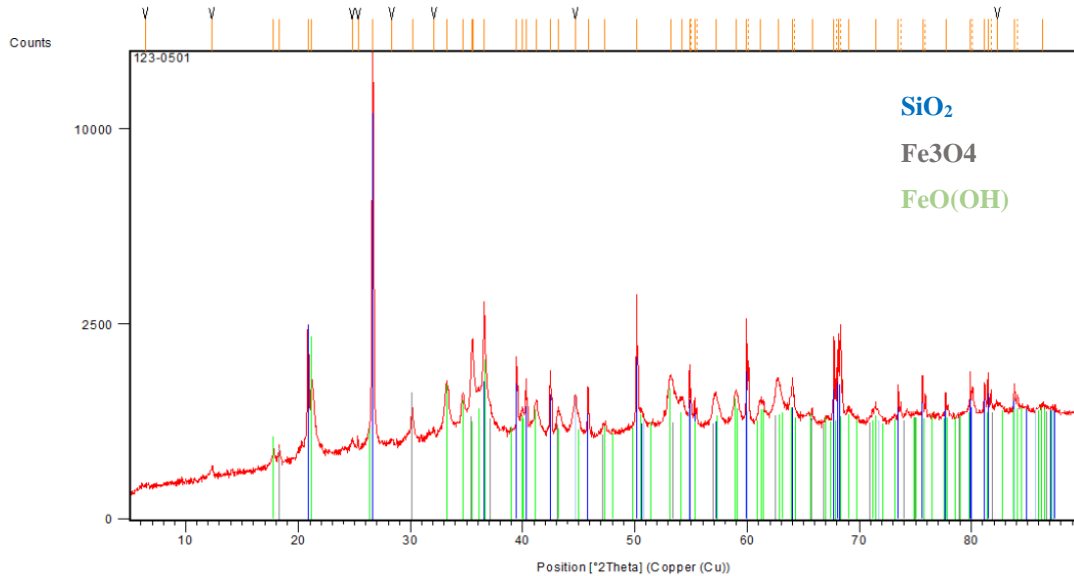


Figura 16 – Difração de raios-X dos produtos de corrosão (idade de 300 dias)

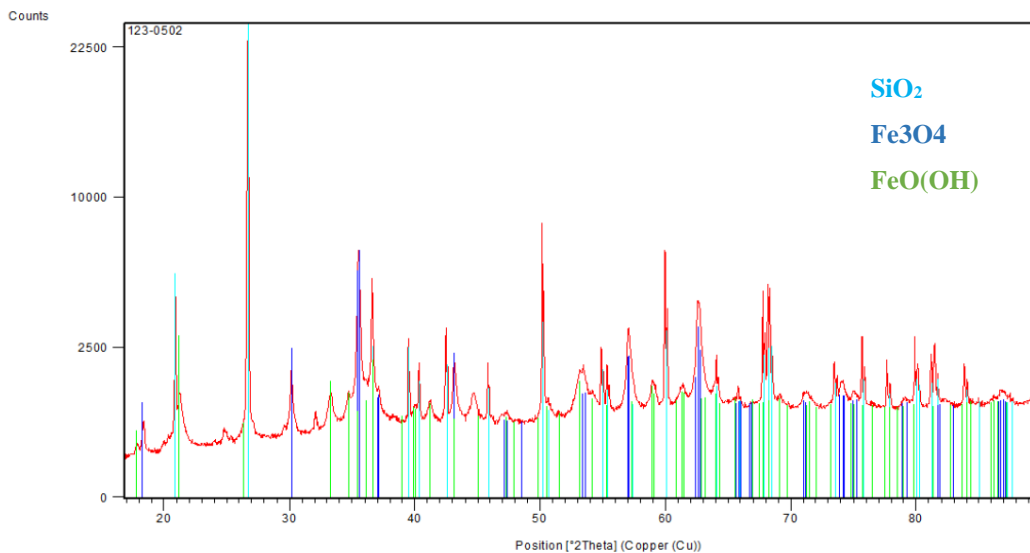


Figura 17 – Difração de raios-X dos produtos de corrosão (idade de 496 dias)

---

## Conclusões

---

Os dois solos, geologicamente, são muito distintos, no entanto, pela pouca profundidade, encontram-se mais suscetíveis às agressividades do meio ambiente, devido à urbanização, podendo, aproximá-los quimicamente. Os perfis de solos da UFT são formados por uma aluvião (transportados) profundo superior a 20 m, de granulação superior, areias e pedregulhos, jovem, sem laterização, praticamente saturado com nível de água raso. Os perfis de solos da Católica, solo B, são residuais sedimentares de rocha de baixa granulometria (siltitos e argilitos), evoluídos pela laterização (maduro), não saturados com nível de água profundo.

Os ensaios gravimétricos e de difração de raios-X, propiciaram uma estimativa da taxa de corrosão e da corrosividade do solo com valores baixos valores. Os solos, A e B, apresentaram comportamentos distintos quanto a variação de suas corrosividades. Enquanto o solo A, apresentou, para os resultados dos ensaios de taxa de corrosão das amostras de corpos de prova metálicos do primeiro enterramento, demonstrou ser pouco corrosivo, dentro de uma faixa de valores de 1,500 até 3,500 mg x dm<sup>-2</sup> x dia<sup>-1</sup>. O mesmo solo e o solo B, para os aços enterrados, posteriormente, apresentaram um crescimento da taxa de corrosão, proporcional ao tempo. Uma razão seria a redução de rebarbas nas bordas dos corpos de prova metálicos, para o segundo enterramento, permitindo uma maior homogeneidade na propagação da corrosão.

---

## Referências bibliográficas

---

- 1 - Oskuie, A. A.; Shahrabi, T.; Shahrabi, A.; Saebnoori, E. *Electrochemical impedance spectroscopy analysis of X70 pipeline steel stress corrosion cracking in high pH carbonate solution*, 61, pp 111-122, 2012.
- 2 - Eliyan, F. F.; Mahdi, E. S.; Alfantazi, A. *Electrochemical evaluation of the corrosion behaviour of API-X100 pipeline steel in aerated bicarbonate solutions*, 58, pp 181-191, 2012.
- 3 - Benmoussa, A.; Hadjel, M.; Traisnel, M. *Corrosion behavior of API 5L X-60 pipeline steel exposed to near neutral pH soil simulating pollution*, *Materials and Corrosion*, 57, pp, 774-777, 2006.
- 4 - Bueno, A.H.S.; Moreira, E.D.; Gomes, J.A.C.P. *Evaluation of stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement in an API grade steel*, 36, pp 423-431, 2014.
- 5 - Li, Y. T. *Corrosion behaviour of steel in beach soil along Bohai Bay*, 44, pp 91-95, 2009.
- 6 - Jesus, S. L., *Estudo dos processos de corrosão de aços API 5L X70 em contato com alguns dos solos do Brasil*. 126p. Tese de Doutorado. IPEN. 2007.
- 7 - EMBRAPA *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 2ª. ed., Rio de Janeiro, 1997.
- 8 - ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS: *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. G31-72, 1995, p. 95-101.