

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO SOLO E SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSO CORROSIVO DE POSTES METÁLICOS NA UFERSA-CARAÚBAS

Anderson Nunes Silva^{1*}, Anderson Millano de Sousa Fernandes, André Moreira de Oliveira¹, Webert Araújo Oliveira¹, Mikhael Varão dos Santos², Daniel Freitas Freire Martins¹.

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Câmpus Caraúbas.

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Câmpus Central.

RESUMO

A corrosão é um processo de deterioração de materiais metálicos e não metálicos por influência de agentes físico-químicos do meio, ligados ou não a esforços mecânicos. Um dos meios corrosivos é o solo, o qual é pouco investigado, dado a sua complexidade. Desta forma, esse trabalho apresenta um estudo da influência da composição físico-química do solo no processo corrosivo da base dos postes metálicos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) - Câmpus Caraúbas-RN. O procedimento para realização das análises do solo seguiram o Manual de Métodos de Análise de Solos da EMBRAPA (2011) e o Standard Methods of APHA (2005). O solo foi coletado e analisado durante 9 meses com uma periodização de 30 dias entre uma coleta e outra, com profundidade de 0 á 20 centímetros, próximo de 10 postes de liga metálicas do câmpus da UFERSA. Para determinação da ação corrosiva do solo, foi feita análise de suas variáveis, como: granulometria, teor de umidade, condutividade, pH e matéria orgânica. De modo geral, pode-se verificar que os solos foram todos classificados como do tipo arenosos, e o teor de umidade geralmente foi baixo. A condutividade dos solos ficou na faixa de até 0,55 mS/cm, com exceção do solo 9 que possuiu valores próximos de 1mS/cm. O pH dos solos, comumente, foi bem alcalino. O teor de matéria orgânica foi baixo, com valores máximos de 4%. Observou-se ainda que a corrosão nos postes é facilitada devido a erros de projetos relacionados à instalação desses. Diante de tudo,

*E-mail: andersonunes.luc@hotmail.com

sugeriu-se algumas técnicas que, provavelmente, podem diminuir a influência do solo no processo corrosivo das bases metálicas, como o revestimento dos postes com tinta anticorrosiva (zarcão), evitar que as bases de concreto dos postes sejam totalmente soterradas e utilizar arruelas não-metálicas entre as porcas e bases dos postes de liga metálica.

Palavras-Chave: Estruturas metálicas; Meio corrosivo; Parâmetros físico-químicos.

ANALYSIS OF SOIL COMPOSITION AND ITS INFLUENCE IN THE CORROSIVE PROCESS OF METAL POLES IN UFERSA-CARAÚBAS

ABSTRACT

Corrosion is a process of deterioration of metallic and non-metallic materials by the influence of physicochemical agents of the medium, linked or not to mechanical stresses. One of the corrosive media is the soil, which is little investigated given its complexity. In this way, this work presents a study of the influence of the physical-chemical composition of the soil in the corrosive process of the base of the metal poles of the UFERSA Caraúbas-RN. The procedure for carrying out the soil analyzes followed the Manual of Methods of Soil Analysis of EMBRAPA (2011) and Standard Methods of APHA (2005). The soil was collected and analyzed for 9 months with a period of 30 days between one collection and another, with a depth of 0 to 20 cm, close to 10 metal alloy poles presents in the University. To determine the corrosive action of the soil, it was analyzed its variables, such as grain size, moisture content, conductivity, pH and organic matter. In general, it can be verified that the soils were all classified as sandy, and the moisture content was generally low. Soil conductivity was in the range up to 0.55 mS / cm, with the exception of soil 9 that had values close to 1mS / cm. Soil pH was commonly alkaline. The organic matter content was low, with maximum values of 4%. It was also observed that the corrosion in the posts is facilitated due to errors of projects related to the installation of these. Above all, some techniques were suggested that could probably reduce the influence of the soil in the corrosive process of the metallic bases, such as the coating of the poles with anti-corrosion paint, to avoid that the concrete bases of the poles

were completely buried and use non-metallic washers between the nuts and bases of the metal alloy posts.

Key-Words: Metallic structures; Corrosive medium; Physico-chemical parameters.

INTRODUÇÃO

Dentre os materiais mais utilizados na construção e montagens de postes e torres, os metais se sobressaem devido sua resistência mecânica, maleabilidade e por apresentarem, em alguns casos, melhor custo-benefício quando comparados a outros materiais. Entretanto, quando expostos ao meio ambiente, os metais ficam sujeitos à corrosão.

Segundo Gentil (2011), num aspecto muito difundido e aceito universalmente, pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliado ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como, desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso.

Para Duarte (2003), os meios corrosivos mais frequentemente considerados são: atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos. Comparando a corrosão do solo com os outros tipos de corrosão, esta ainda é um assunto menos investigado, dado a complexidade desse meio corrosivo. Sobretudo, as propriedades químicas e físicas dos solos mudam constantemente com o tempo, profundidade e geralmente estão inter-relacionadas.

Segundo Loureiro (2005), o solo é normalmente considerado como uma mistura de compostos minerais e orgânicos, formados pela ação de agentes físicos, químicos e biológicos. Com isso, para determinação da ação corrosiva do solo, necessita ser feita a análise de suas variáveis, como: composição granulométrica, teor de umidade, condutividade, pH, matéria orgânica, entre outros. Além disso, deve-se estabelecer relações desses agentes e suas mudanças de característica ao longo de determinados períodos de tempo.

Nobrega et al. (2003) ainda diz que a grande quantidade de variáveis faz com que o solo seja considerado um meio corrosivo complexo, tornando difícil determinar-se com exatidão sua ação agressiva sobre os diversos materiais metálicos que nele podem ser

enterrados. Portanto, a importância relativa de cada variável muda conforme o material considerado, tornando difícil senão impossível uma classificação universal para a corrosão.

Desde a fundação da National Association Corrosion Engineering (NACE), em 1948, o entendimento do conceito de corrosividade do solo obteve avanços. Atualmente, devido à preocupação com o meio ambiente, torna-se de vital importância o estudo para melhor compreensão da atuação do solo como um agente corrosivo e, conseqüentemente, definição dos tipos mais apropriados de proteção das estruturas em contato com esse meio, procurando evitar perdas diretas e indiretas (FERREIRA, 2005).

Comumente, têm ocorrido perdas nos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, tubulações e reservatórios. A corrosão nesses empreendimentos tem resultado prejuízos socioeconômicos decorrentes de reposições de peças, paradas de processo, acidentes e contaminação ambiental.

A corrosão nos sistemas de energia, postes e torres, tem sido em grande escala devido à maioria dos componentes utilizados serem metálicos, e tem sofrido problemas como deflexão, tombamento, paralizações e acidentes. Além de disso, geralmente, esse sistema está inserido em dois meios corrosivos, o solo e atmosfera.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Câmpus Caraúbas-RN, possui postes de liga metálica distribuídos ao longo da universidade os quais se encontram em meio aos agentes corrosivos, solo e atmosfera. Nesses postes de iluminação, um dos problemas verificados é a corrosão, a qual contribui para possíveis riscos de tombamento, ligado, sobretudo, a corrosão nas suas bases de sustentação e parafusos que estão em contato direto com solo.

Diante disso, ao se fazer o estudo da influência do solo no processo corrosivo será proporcionado uma série de benefícios, uma vez que é possível remediar e prevenir a deterioração destes materiais. Além de tudo, serão utilizadas menores quantidades de matéria-prima para reposição de peças deterioradas, o que diminui a retirada de minérios para produção de ligas metálicas, a redução de gastos para universidade e, ainda, contribui para a prevenção de possíveis acidentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos de análises das propriedades físicas e químicas do solo e o processo de coleta das amostras foram realizados de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solos da EMBRAPA (2011) e Standard Methods of APHA (2005), as análises foram feitas sempre em triplicata e as soluções foram preparadas com água destilada ou deionizada.

As amostras de solo foram coletadas em 10 pontos, sempre próximo da base dos postes de iluminação. Para a escolha dos pontos, levou-se em consideração a maior abrangência do território do câmpus para uma melhor representatividade, ver Figura 1.



Figura 1 – Pontos de coleta do solo, localizado na UFERSA, Câmpus Caraúbas.

A coleta do solo foi realizada, periodicamente, a cada 30 dias, durante 9 meses, sendo seu início no dia 2 de junho de 2015 e o término no dia 2 de fevereiro de 2016. As amostras foram coletadas pelo procedimento de sondagem a trado, utilizando o trado holandês, com profundidade de 0 à 20 cm, armazenada em sacos plásticos e identificadas. Posteriormente, as mesmas foram encaminhadas, dentro de um isopor, para o laboratório de química da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Câmpus Caraúbas, para tratamento e posterior análise.

Após a chegada no laboratório iniciava-se a análise para determinação do teor de umidade, cuja a técnica utilizado foi a de umidade gravimétrica. Nesta análise, foi pesado na balança de precisão analítica (Marca Marte e modelo AW220) 50 gramas de cada amostra, em um béquer, previamente lavado, seco e pesado, depois encaminhado para estufa de circulação forçada de ar (Marca SOLAB e modelo SL-102) a 105°C e deixadas nessas condições por 24 horas, em seguida, retiradas e colocadas no dessecador, após atingir a temperatura ambiente, pesadas novamente e determinado o teor de umidade.

Para as posteriores análises as amostras passaram por um processo de tratamento conhecido como a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras foram colocadas em bandejas e deixadas para secar em local seco e arejado, depois de secas, destorroadas e peneirados com uma peneira de malha 2 mm, descartando-se a parte retida na peneira. Com isso, a TSFA foi transferida para um recipiente apropriado e identificado para posterior análise.

A condutividade e o pH do solo foi determinado através de medição do potencial eletronicamente, respectivamente, pelo condutivímetro (Marca MS TECNOPON e modelo Mca 150) e pHmetro (Marca PHMETER e modelo JK-PHM-005) , por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo e líquido.

A matéria orgânica foi determinada pela técnica de gravimetria, cujo procedimento consistiu na incineração do solo utilizando uma mufla elétrica (Marca NOVUS e modelo N1200), para posteriormente ser calculado o teor de matéria orgânica no solo através de diferenças de massa.

A determinação da granulometria foi pelo método da pipeta, baseada na velocidade de queda das partículas que compõem o solo.

Foram feitos 2 corpos-de-prova, chapas de aço, simulando as bases dos postes a fim de verificar o processo corrosivo em placas inicialmente não corroídas e em condições especiais como as descritas a seguir: a primeira chapa, com dimensão 30 cm x 30 cm, sem nenhum revestimento e contendo 4 parafusos galvanizados nos seus vértices e segunda chapa dimensão de 30 cm x 30 cm, revestida com uma tinta (zarcão) e contendo 4 parafusos galvanizados nos seus vértices. As chapas de aço foram colocadas no solo depois do 5 mês de coleta e alocadas no ponto de coleta 4, ver Figura 2. Este ponto foi escolhido devido a maior intensidade do processo corrosivo entre os demais.



Figura 2 – Os corpos-de-prova inseridos no ponto 4 de coleta do solo.

Esses corpos de prova eram retirados do solo periodicamente a cada 30 dias, para posteriormente serem lavados com água destilada, secos na estufa de circulação forçada de ar a 105°C e serem fotografados, posteriormente, alocados no solo do poste 4 novamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises físico-químicas

A classificação textural dos 10 pontos de coleta do solo da UFERSA câmpus Caraúbas encontra-se na Tabela 1.

PONTOS DE COLETA	Camada (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	CLASSE TEXTURAL
PONTO 1 –	0 – 20	83,7	12,5	3,9	Areia-Franca
PONTO 2 –	0 – 20	88,3	6,3	5,4	Areia-Franca
PONTO 3 –	0 – 20	82,1	13,2	4,6	Areia-Franca
PONTO 4 –	0 – 20	97,3	1,2	1,5	Areia
PONTO 5 –	0 – 20	82,6	12,2	5,1	Areia-Franca
PONTO 6 –	0 – 20	75,7	15	9,3	Areia-Franca
PONTO 7 –	0 – 20	79,5	13,8	6,7	Areia-Franca
PONTO 8 –	0 – 20	75,3	16,6	8,1	Areia-Franca
PONTO 9 –	0 – 20	80	15,7	4,3	Areia-Franca
PONTO 10 –	0 – 20	95,5	1,2	3,3	Areia

Tabela 1 – Classificação textural dos solos coletados na UFERSA, Câmpus Caraúbas.

Os solos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 e 9 obtiveram uma classificação textural do tipo areia-franca, e os solos 4 e 10 obtiveram classificação textural do tipo areia, conforme a Tabela 1. Desta forma, a predominância de grãos de areia nesses solos é grande, e no que se refere à granulometria, tanto os solos do tipo areia-franca e areia vão estabelecer praticamente a mesma influência no processo corrosivo.

O principal motivo é que esses solos possuem grande quantidade de areia, que são partículas inertes e possuem macroporos, permitindo rápida penetração de ar e baixa retenção de água, o que gera, na maioria das vezes, baixa corrosividade (OGUZIE, 2004; LOUREIRO, 2005).

Um possível fator para os solos possuírem praticamente a mesma classificação textural é a área de estudo que restringe-se apenas ao câmpus, favorecendo a proximidade dos pontos de coleta do solo.

No referente a umidade, o solo que apresentou a maior quantidade de água foi o solo do ponto 4, com maior valor chegando próximo de 19%, os outros solos apresentaram, geralmente, valores de umidade abaixo de 12%, conforme o Gráfico 1.

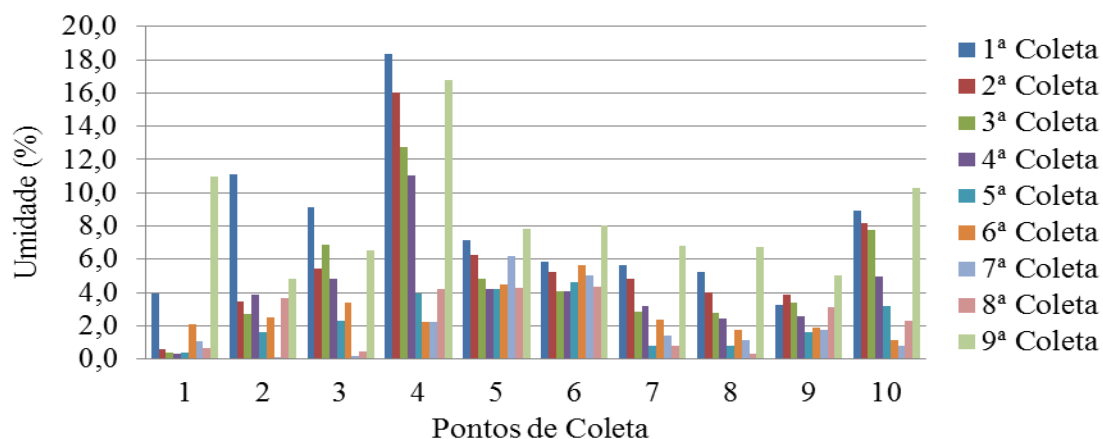


Gráfico 1 – Teor de umidade das amostras dos solos durante os nove meses de coleta.

Em função dos solos serem todos classificados como arenosos, era de se esperar que o teor de umidade, quando comparado entre um solo e outro, fossem próximos um do outro. Porém, um dos motivos do solo 4 ter apresentado maiores teores de umidade nos primeiros meses do que os outros solos foi o fato de existir um vazamento em uma caixa d'água próximo

do ponto de coleta, o que favorecia maior quantidade de água neste ponto. Posteriormente, quando o vazamento foi corrigido, entre os meses de setembro (Coleta 4) e outubro (Coleta 5) de 2015, o solo começou a apresentar valores de umidade próximo ao dos outros pontos de coleta nos meses seguintes. Contudo, no mês de fevereiro de 2016 (Coleta 9), ocorreu um aumento no teor de umidade muito maior no solo 4 do que nos outros solos analisados. Um dos possíveis motivos foi o fato desse ponto de coleta estar situado em um local mais baixo que os outros pontos, o que favoreceu maior acúmulo de água com o início do período chuvoso.

Diante do teor de umidade nos solos analisados o que apresentou o maior teor de umidade, provavelmente, vem a ser o mais agressivo, neste caso, o solo 4, uma vez que o oxigênio na presença de água possibilita a corrosão nos metais. Desta forma, o ferro sofrerá oxidação (Equação 1), enquanto que o oxigênio na presença de água sofrerá redução (Equação 2), promovendo a formação do hidróxido de ferro como produto de corrosão (Equação 3).



De acordo com os resultados obtidos para a condutividade, pode-se constatar que o solo que apresentou maiores valores foi o solo 9, com os valores chegando próximo de 1 mS/cm. Os outros solos apresentaram valores abaixo de 0,55 mS/cm, sendo o solo 2 e 7 com os menores resultados de condutividade, geralmente, abaixo de 0,1 mS/cm, ver Gráfico 2.

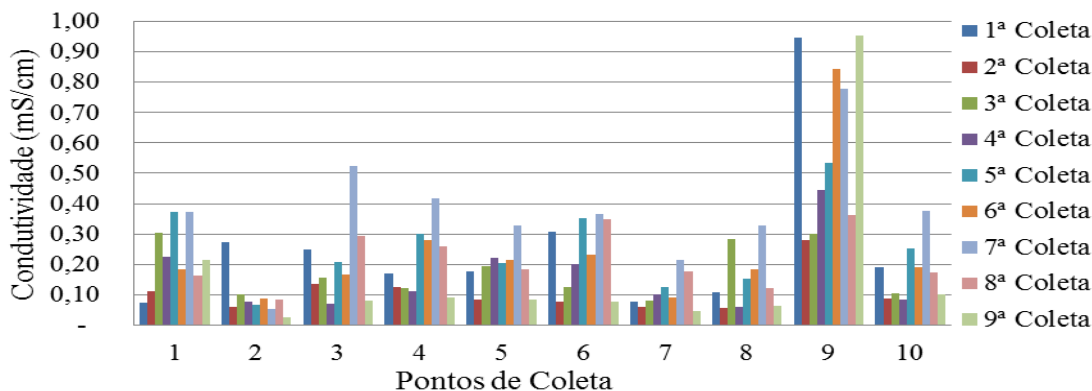


Gráfico 2 – Condutividade das amostras dos solos durante os nove meses de coleta.

Nos solos analisados, quando se comparou os teores de umidade e condutividade, (Gráfico 1) e (Gráfico 2), respectivamente, foi constatado que quanto maior o teor de umidade menor eram os valores de condutividade. Esse comportamento ocorreu, provavelmente, em função da textura desses solos que é do tipo arenoso, uma vez que os solos de composição granulométrica arenosa possuem grandes poros e favorecem o processo de lixiviação.

Desta forma, os sais são deslocados para as partes mais profundas do solo, diminuindo sua condutividade e, conseqüentemente, diminuindo a agressividade do solo (GENTIL, 2011).

O pH dos solos analisados apresentou-se, geralmente, na faixa de 7,5 a 9, com exceção do solo 1, que apresentou durante os nove meses pH na faixa de 5,5 a 7. Os solos não apresentaram grande variação dos valores de pH durante os nove meses de coleta, conforme o Gráfico 3.

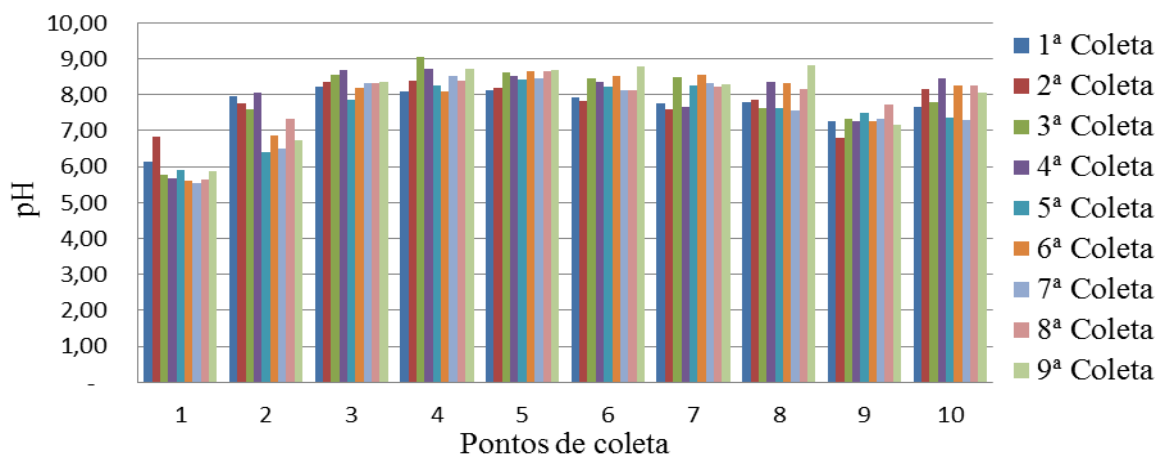


Gráfico 3 – Potencial hidrogeniônico dos solos durante os nove meses de coleta.

Por esses solos estarem na faixa de neutro para alcalino é admissível uma menor influência no processo corrosivo de ligas metálicas contendo ferro, zinco e outros metais, devido a possível passivação desses metais, diminuindo o processo corrosivo.

Analisando os motivos desses valores tão altos no pH, pode-se dizer que um deles é devido a baixa porcentagem de matéria orgânica presente nos solos. Os valores de matéria orgânica foram abaixo de 4%. A matéria orgânica presente no solo pode contribuir na diminuição do valor do pH, devido à decomposição dos materiais por microrganismos, tendendo a formar ácidos húmicos e fúlvicos (GAMELLI, 2011).

Análise da base dos postes e corpos-de-prova

A base dos postes em estudo, ver Figura 3, sofre ação dos agentes físico-químicos do solo e da atmosfera, possibilitando corrosão, que pode ter sido facilitada, possivelmente, por problemas relacionados à instalação, soldas mal-acabadas e diferença de potenciais de materiais metálicos.

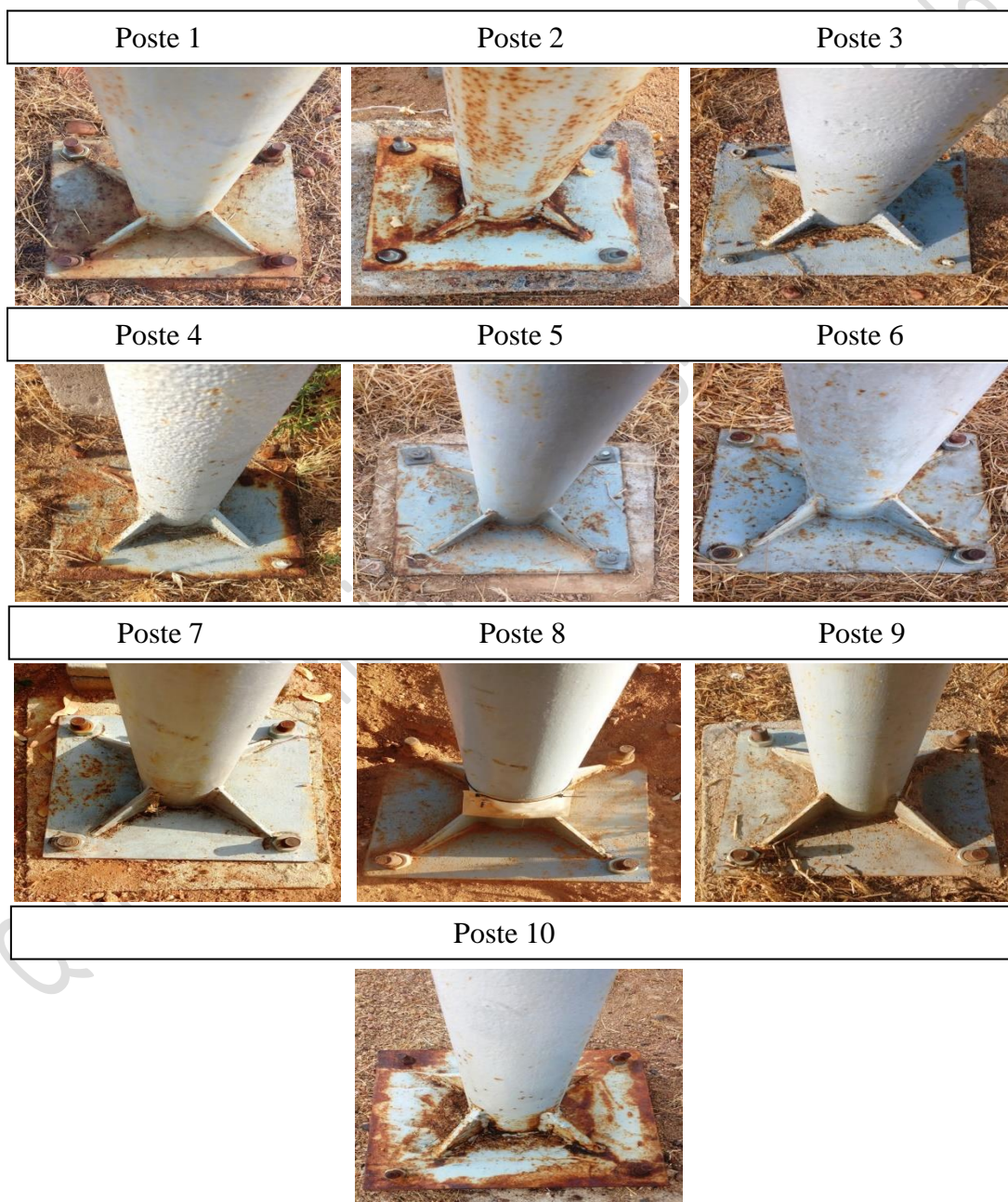


Figura 3 – Postes da UFERSA, Câmpus Caraúbas, no dia 2 de Fevereiro de 2016.

As bases dos postes, na maioria dos casos, estavam no mesmo nível do solo ou soterrados, devido suas bases de concreto serem muito baixas, esse contato facilita a corrosão por influência do solo. Além disso, nesses postes, destaca-se a corrosão existente nos parafusos e porcas, que não apresentaram grau de corrosão similar. Uma das hipóteses mais prováveis para isso é que a película de proteção superficial dos parafusos pode ter sido removida ou danificada por abrasão na hora do aperto dos parafusos com as porcas na chapa de aço. Outro provável motivo é que os parafusos e porcas são, possivelmente, de materiais de diferente composição, ocasionando o processo conhecido como corrosão galvânica. Dessa forma, por existir um contato de materiais metálicos com potencial de redução diferente, consequentemente, ocorre um processo de oxirredução, sendo o material de menor potencial o que será corroído.

Além de tudo, verificou-se a existência de corrosão nas juntas de solda. Um provável motivo é a existência de descontinuidades nessa solda, o que favorece o processo corrosivo.

Inicialmente, como não foi possível verificar com melhor exatidão a evolução no processo corrosivo dos postes, pois os mesmos já estavam corroídos quando começaram a ser analisados, decidiu-se utilizar corpos-de-prova simulando as bases dos postes para uma avaliação inicial da evolução do processo corrosivo. Além disso, colocou-se os corpos-de-prova em condições especiais como, por exemplo, revestido com tinta anticorrosiva.

O corpo-de-prova 1, o qual não possuía revestimento, apresentou no primeiro mês exposto ao solo uma corrosão uniforme na sua parte inferior, ou seja, a parte virada para o solo. Na parte superior verificou-se um início de processo corrosivo e seus parafusos não apresentavam-se ainda corroídos. Nos meses seguintes, verificou-se um avanço no processo corrosivo, a parte inferior e superior apresentava-se com uma corrosão bem generalizada e os parafusos tinham perdido mais seu brilho e apresentavam um início de corrosão. No quinto mês, as placas apresentavam-se bem corroídas, com sua parte inferior bem deteriorada, a parte superior com uma corrosão generalizada e os parafusos apresentavam-se sem brilho e com um maior avanço na corrosão (Ver Figura 4).

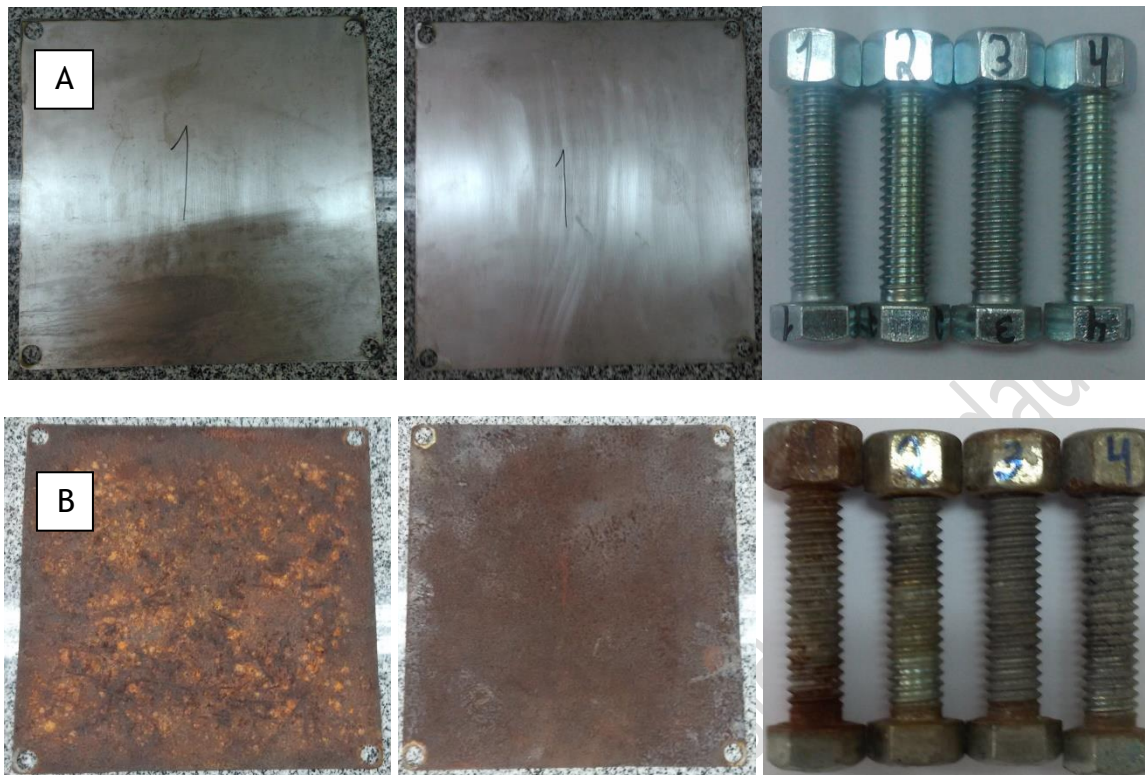


Figura 4 – Processo corrosivo do corpo-de-prova 1. **A)** Corpo-de-prova 1, antes de ser inserido no solo 4, imagens da parte inferior, superior e parafusos, respectivamente. **B)** Corpo-de-prova 1 com 5 meses de exposição ao solo, imagens da parte inferior, superior e parafusos, respectivamente.

O corpo-de-prova 2, o qual foi pintado com zarcão, no primeiro mês não apresentou grande avanço na corrosão, pois a tinta, provavelmente, retardou o processo corrosivo. Nos meses seguintes, verificou-se a corrosão nas partes da chapa que apresentavam ranhura e acabaram por deixar o metal exposto diretamente ao meio, enquanto que os parafusos tinham começado a perder seu brilho. No quinto mês, na parte inferior da placa, não foi percebida a presença da tinta e a chapa apresentava-se com uma corrosão similar ao do corpo-de-prova 1 no último mês. A parte superior possuía uma corrosão branda e com a presença da película do zarcão e os parafusos sem brilho e com avanço de corrosão, ver figura 5.

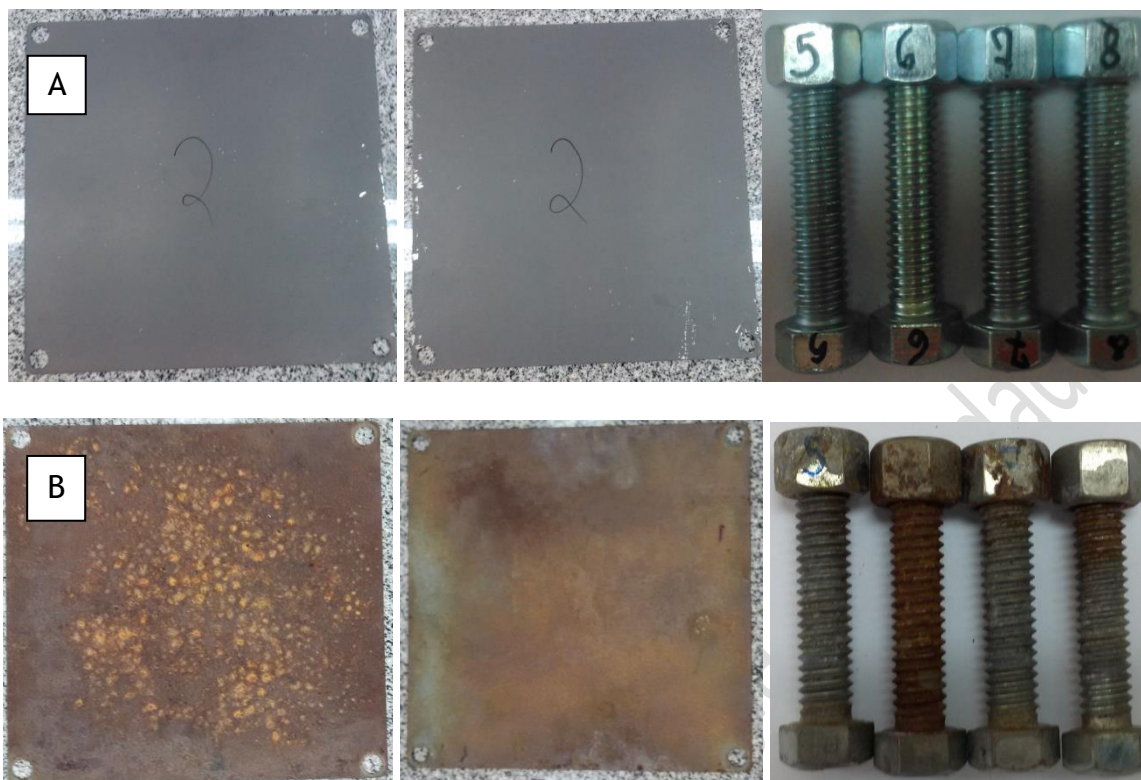


Figura 5 – Processo corrosivo do corpo-de-prova 2. **A)** Corpo-de-prova 2, antes de ser inserido no solo 4, imagens da parte inferior, superior e parafusos, respectivamente. **B)** Corpo-de-prova 1 com 5 meses de exposição ao solo, imagens da parte inferior, superior e parafusos, respectivamente.

Portanto, é possível perceber que um tratamento prévio com tintas anticorrosivas pode amenizar o processo corrosivo desde que aplicadas de forma adequada por toda a superfície metálica.

CONCLUSÕES

Mediante as análises físico-químicas analisadas os solos foram classificados quanto a granulometria, sendo solos do tipo arenosos. De forma geral, os teores de umidade, condutividade e matéria orgânica dos solos foram baixos, o pH foi geralmente alcalino.

Nos solos analisados, as variáveis não representaram uma alta agressividade para influência do processo corrosivo nas bases dos postes metálicos, devido os solos arenosos serem, geralmente, fracamente corrosivos. O teor de umidade apresenta-se como fator mais agravante, em especial, no ponto 4, a condutividade foi de maior expressividade para o

processo corrosivo apenas no ponto 9, o pH foi mais agressivo apenas no ponto 1 de coleta e matéria orgânica foi muito baixa.

A evolução do processo corrosivo na base dos postes durante os nove meses de análises foi lenta, sendo em muitos casos difícil de perceber a evolução desse processo corrosivo. Verificou-se que um dos prováveis fatores que facilitaram a corrosão nas bases dos postes pelos agentes do solo, são as bases de concreto dos postes que são baixas e estão quase todas soterradas, soldas com descontinuidades que facilitam para inserção de agentes do meio entre as pequenas fissuras, provocando a corrosão, e a diferença de potencial dos materiais metálicos usados no poste, causando corrosão galvânica.

Nos corpos-de-prova utilizados para analisar o processo corrosivo, verificou-se que uma peça metálica em contato direto com o meio sem possuir nenhum revestimento irá corroer-se mais rapidamente, uma peça metálica revestida com uma tinta anticorrosiva como o zarcão irá demorar mais para corroer-se, só começando a apresentar corrosão quando ocorrer um rompimento da película que protegia o material.

Possíveis técnicas de proteção anticorrosiva que são de baixo custo e podem proporcionar uma prevenção do processo corrosivo das bases desses postes é a utilização do revestimento dos postes com tintas anticorrosivas como o zarcão, o uso de arruelas não metálicas entre as porcas dos parafusos e as chapas metálicas dos postes, evitando corrosão galvânica, e não permitir que as bases de concreto dos postes fiquem soterradas, proporcionando menor contato dos postes com o solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GETIL, Vicente. Corrosão. Rio de Janeiro, 2011.

DUARTE, M. Meio ambiente no século 21. Rio de Janeiro, 2003.

LOUREIRO, A. M. V. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

NOBREGA, C.A.; CHANG, H.K.; BRAGA, A.C.O.; FERREIRA, J.; OLIVA, A.; PEDE, M.A.Z.. Geociências. São Paulo, 2003.

FERREIRA, C. A. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

OGUZIE, E. E.; AGOCHUKWU, I. B.; ONUCHUKWU, A. I. Materials Chemistry and Physics, 2004.

GAMELLI, Enori. Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização. Rio de Janeiro, 2001.

Química: ciência, tecnologia e sociedade