

MANUTENÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ALTA TENSÃO - UMA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CORROSIVIDADE DO SOLO

Eduardo Velázquez Castillo (1)
Mayara B. Stecanella (2)
José Maurílio Silva (3)
Nora Díaz Mora (4)

RESUMO

Parte importante da energia gerada pela Usina Hidrelétrica da Itaipu Binacional é transportada pela Linha de Transmissão em 220kV Acaray–Oviedo, da Administración Nacional de Electricidad - ANDE do Paraguai. Daí a necessidade de controlar, na medida do possível, os parâmetros que influenciam na confiabilidade, disponibilidade e vida útil destas instalações. Em uma inspeção visual dessa linha, foram constatados casos de corrosão de pés de torres e oxidação das ferragens das estruturas. Neste trabalho é apresentado um diagnóstico do grau de corrosividade do solo de aterramento de algumas torres dessa linha de transmissão, com base em ensaios físicos, como a resistividade do solo em função da umidade e a capacidade de retenção de água, e em ensaios químicos, como pH, acidez total, cloretos, carbonatos e bicarbonatos. Com os resultados obtidos aqui, pretende-se sugerir a adoção de técnicas de proteção contra a corrosão, com o objetivo de contribuir no aumento da vida útil das linhas de transmissão da ANDE, aprimorando as atividades da manutenção e assim, promover um intercâmbio que permita aproveitar a experiência acumulada no Brasil no controle da corrosão no setor elétrico. Esta pesquisa foi desenvolvida por uma equipe interinstitucional e binacional na qual estão envolvidos pesquisadores da UNIOESTE - Campus de Foz do Iguaçu, do LACTEC, da ANDE e da Itaipu Binacional.

1 INTRODUÇÃO

A corrosão de estruturas enterradas pode ser causada tanto pelas propriedades físico-químicas e biológicas do solo (agressividade específica) como por fatores externos que interferem no processo de corrosão - agressividade relativa (SERRA, 2006). A agressividade específica por sua vez, está intimamente ligada às propriedades locais do solo, tais como: resistividade elétrica, teor de umidade, acidez ou alcalinidade, permeabilidade, presença de sais solúveis, microorganismos e outras. Estes fatores atuam de forma

(1) Usina Hidrelétrica da Itaipu Binacional – Mestre em Engenharia

(2) Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Acadêmica de Engenharia Mecânica

(3) LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Doutor em Química

(4) Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Professora Doutora em Engenharia de Materiais

conjunta e por este motivo a corrosividade dos solos não deve ser avaliada com base em fatores isolados (SILVA, 2003 e BURIN, 2004).

Segundo Velázquez et al (2006), a disponibilidade no fornecimento de energia elétrica depende da confiabilidade das linhas de transmissão de alta tensão e esta por sua vez, do desempenho dos materiais que as compõem. Portanto, é necessário melhorar as técnicas preditivas e corretivas para minimizar os efeitos dos fenômenos catalizadores do envelhecimento das linhas, tais como a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos, radiação solar, intensidade das chuvas entre outros. Uma das principais causas da fragilização das estruturas é a corrosão, entretanto, as empresas do setor elétrico, embora cientes desses problemas, dão uma ênfase maior às instruções da manutenção relacionadas com o desempenho elétrico e mecânico dos equipamentos, quando comparadas à proteção contra a corrosão.

Com a fragilização da estrutura, aumenta a possibilidade da queda de uma torre de linha de transmissão, a qual, quase sempre vem acompanhada do denominado efeito dominó, ou seja, a queda de várias torres causada pela primeira. Este feito traz como consequência direta, consideráveis perdas econômicas pela paralisação no fornecimento de energia e o dispêndio de recursos no período, geralmente grande, necessário para a recomposição do sistema. Cabe destacar que, um colapso desta natureza no sistema elétrico paraguaio deve constituir-se em uma advertência de que sucessivos casos poderiam vir a ocorrer.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é apresentar um diagnóstico do grau de corrosividade do solo de aterramento de algumas torres da Linha de Transmissão em 220 kV Acaray-Oviedo.

Os objetivos específicos são:

- Sugerir a adoção de técnicas de proteção contra a corrosão.
- Contribuir no aumento da vida útil das linhas de transmissão da ANDE, aprimorando as atividades da manutenção.
- Promover a transferência de algum tipo de experiência do setor elétrico brasileiro no controle da corrosão que possa ser aproveitado no Paraguai.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 A Linha Acaray-Oviedo

A Linha de Transmissão em 220kV Acaray-Oviedo, que integra o sistema interconectado nacional do Paraguai, constitui um trecho da linha Acaray-San Lorenzo com uma extensão de 305 km e consta de 723 torres. No mapa da figura I é apresentada a localização dessa linha. Esta linha entrou em operação em dezembro de 1988 e atualmente transporta grande parte da energia subministrada pela Usina Hidrelétrica da Itaipu Binacional, para a região mais desenvolvida do país, motivo pelo qual se torna de vital importância melhorar a disponibilidade da mesma.

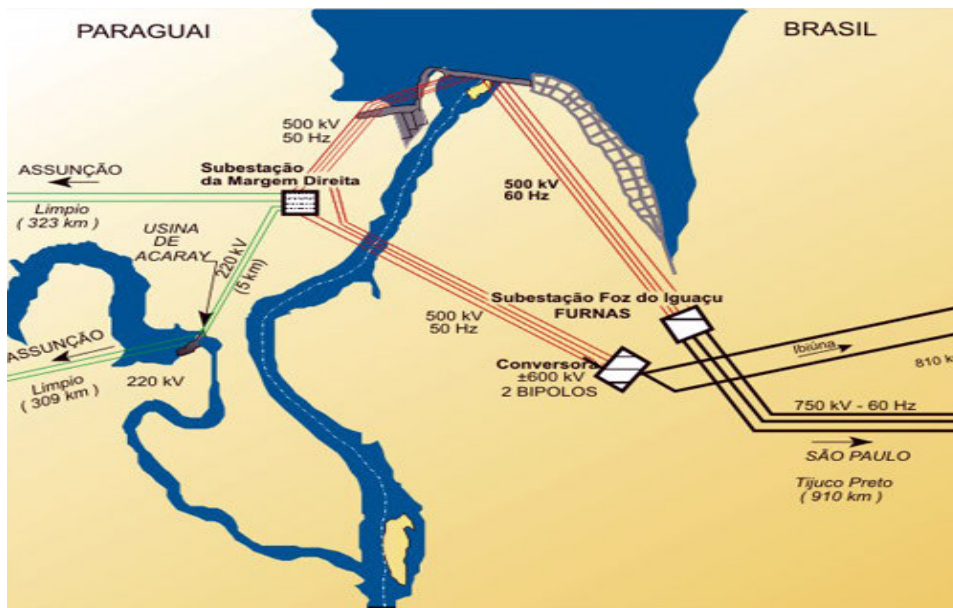


Figura I - Localização da Linha de Transmissão Acaray-Oviedo 220kV.

Inicialmente foi realizado um levantamento dos pontos de corrosão nas ferragens e nos pés de torres da linha em estudo, registrando-se em cada caso o ambiente no qual as mesmas estão instaladas. A análise física e química foi iniciada com a coleta de amostras do solo dos pés das seguintes torres: 500, 520, 550, 553, 570, 589, 606, 682, 783, 788, 798 e 806.

Com essas amostras foram realizados ensaios de resistividade do solo em função da umidade, capacidade de retenção de água, preparação de extrato aquoso, medição do pH, determinação de sais dissolvidos no extrato aquoso, preparação do extrato de KCl e determinação da acidez total.

3.2 Coleta de amostras e preparação das amostras

O solo foi coletado a uma profundidade de 20 cm da superfície e retirado com uma pá. A amostra, de aproximadamente 3 kg, foi colocada em saco plástico limpo e impermeável ao ar. As amostras foram estocadas em ambiente seco e em temperatura ambiente para retardar possíveis alterações devido a reações químicas e biológicas. Após secagem em estufa por 24 horas, as amostras foram destorroadas e peneiradas. Alíquotas foram utilizadas para ensaios de resistividade do solo em função da umidade, capacidade de retenção de água e preparação de extrato aquoso e do extrato de KCl.

3.3 Umidade

Na determinação da umidade do solo, foi adicionado 50 ml de água para uma quantidade pré-determinada de solo. A cada adição de água, retirava-se uma pequena quantidade da amostra, pesava-se num recipiente pré-pesado antes de ir para secagem em estufa por 12 horas. Após esse período era realizada a pesagem da amostra, sendo os resultados expressos em porcentagem de perda de peso devido à evaporação da água.

3.3.1 Curva de resistividade do solo

Foi medido o valor da resistividade através de caixa padrão "soil box" com instrumentos adequados, voltímetro de alta impedância e fonte de corrente alternada. A cada medida realizada adicionava-se 50 ml de água destilada (GCOI/SCM, 1995) a quantidade de amostra utilizada para a medição da resistividade. A cada teor de água mediu-se o valor de resistividade.

3.3.2 Capacidade de retenção de água do solo

A capacidade de retenção de água do solo foi obtida aplicando os procedimentos da norma ASTM D 2017 e expressa em porcentagem. Em um funil de "buchner" de aproximadamente 5 cm de diâmetro e 2,5 cm de profundidade, coberto com um papel de filtro qualitativo, foi adicionada uma quantidade de amostra até o topo. Esta amostra foi compactada e nivelada com uma espátula. Colocou-se o funil cheio em um becker de capacidade de 400 ml, retendo-o em posição para cima, pelas bordas do funil. Adicionou-se água ao becker a uma altura ligeiramente superior à do papel de filtro. Esperou-se até a amostra umidificar por capilaridade de modo a evitar encapsulamento de ar na coluna. Quando a parte superior da amostra de solo apresentava sinais de umidade, adicionava-se mais água até seu nível aproximar-se do topo do funil. Cobriu-se o becker, deixando amostra do solo umedecida no mínimo por 12 horas. Colocou-se o funil coberto em um frasco de sucção e após 15 minutos, removeu-se o funil do frasco de sucção, transferindo-se a amostra do solo em um recipiente previamente tarado e determina-se o teor de umidade em porcentagem.

3.4 Preparação e medição do pH do extrato aquoso

Em um becker de 100 ml, foi adicionado 10 g de terra fina (GCOI/SCM, 1995) e seca, juntamente com 25 ml de água destilada e agitou-se durante 10 minutos em agitador magnético. Em seguida, foi feita a calibração do pH-metro, ligando o mesmo e deixando-o estabilizar por 15 minutos. Logo após, lavou-se com água destilada e enxugou com papel-lenço. Na sequência, o eletrodo combinado foi mergulhado na amostra, esperou-se estabilizar o valor e anotou-se o valor obtido do extrato aquoso.

3.5 Acidez total

Uma amostra de 16 g do solo (seco e finamente moído) foi depositada em um becker de 150 ml e foi adicionado um volume de 40 ml de KCl, 1N, agitou-se o conjunto durante meia hora com agitador magnético (GCOI/SCM, 1995) e, em seguida, foi deixado repousando por uma hora. Após a decantação, retirou-se 15 ml do sobrenadante, que foi aquecido até a fervura, esfriado e titulado com NaOH 0,1N. Na titulação deve ser usado fenolftaleína como indicador.

3.6 Determinação de cloretos

Foi retirado 25 ml do extrato de saturação, adicionando-se 5 gotas do cromato de potássio (GCOI/SCM, 1995) e titulando-se com solução de nitrato de prata 0,05N até a formação de coloração vermelha persistente.

3.7 Determinação de carbonatos/bicarbonatos

Na determinação de carbonatos, foi retirado 10ml do extrato de saturação (GCOI/SCM, 1995), adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína (em presença de carbonato ou base a coloração torna-se vermelha) e titulou-se com solução de ácido sulfúrico 0,025N até a viragem para incolor (quando se torna ácido).

Na determinação de bicarbonatos (GCOI/SCM, 1995), em 10ml do sobrenadante adicionou-se 4 gotas de metil orange e titulou-se com ácido sulfúrico até a viragem na cor rósea seja persistente.

4 RESULTADOS E DISCUSÃO

4.1 Análise Química

Os resultados da acidez total e pH referentes as 11 torres estudadas são apresentados na tabela I.

Tabela I : Acidez Total e pH de amostras do solo de aterramento de algumas torres da LT 525kV Acaray-Oviedo.

Torre	500	520	550	553	570	589	606	682	783	788	798	806
Acidez Total/(mEq/100gsolo)	1,88	2,66	2,5	1,7	2,19	2,19	2,82	1,2	1,5	1,2	1	3,76
pH	6,1	5,2	5,4	5,6	5,7	5,8	5,2	5,7	5,7	5,8	6,3	5,1

Sabe-se que grande parte da corrosão de materiais encontra-se associada à concentração de íons dissolvidos na umidade do solo. Assim, os íons mais importantes para serem analisados são: o cloreto e hidrogênio e algumas vezes o íon bicarbonato, o qual pode apresentar alguma influência. Entretanto, neste trabalho, para todas as amostras de solo analisadas, o teor de bicarbonatos e cloretos foi da ordem de 8ppm e 2ppm respectivamente.

4.2 Análise Física

Na tabela II são apresentados os parâmetros obtidos do gráfico de resistividade do solo em relação à porcentagem de água.

Tabela II: Dados físicos de amostras do solo de aterramento de algumas torres da LT 525kV Acaray-Oviedo.

Torre	ρ_s inicial em mil $\Omega.m$	Umidade Inicial em %	C.R.H ₂ O em %	ρ_s na C.R.H ₂ O($\Omega.m$)	ρ_s mínima ($\Omega.m$)	Umidade na ρ_s mínima em %
500	170	6	42	220	228	37
520	900	12	42	300	240	47
550	260	12	32	700	240	43
553	40	7	34	200	160	34
570	500	12	42	1000	1000	36
589	800	12	35	320	290	40
606	450	10	40	220	220	38
682	40	7	34	200	160	34
783	80	10	41	90	70	44
788	175	10	45	160	150	45
798	400	12	37	200	190	38
806	500	10	38	600	280	40

ρ_s = Resistividade; C.R.H₂O = Capacidade de retenção de água

4.3 Resistividade versus umidade

Na figura II são apresentados os resultados da variação da resistividade com o teor de umidade do solo para todas as amostras analisadas.

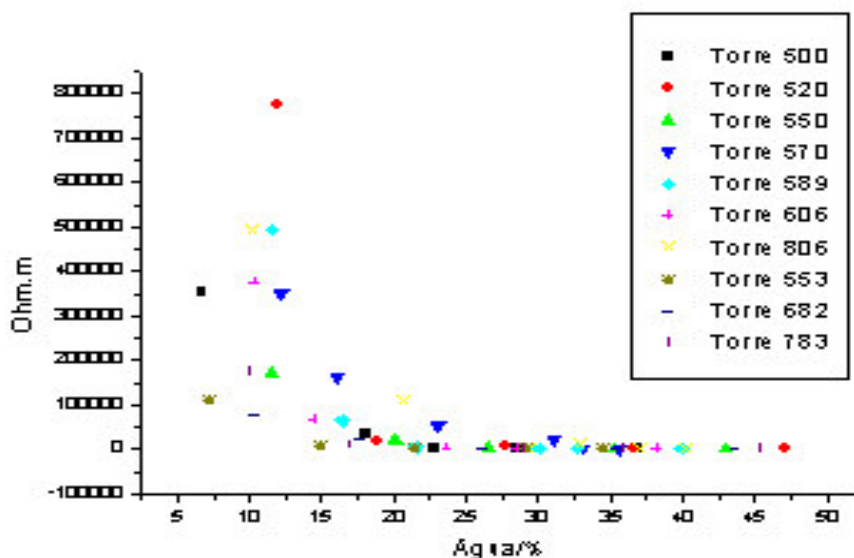


Figura II: Resistividade (-100000 a 800000 Ohm.m) versus teor de umidade (5 a 50%) de amostras do solo de aterramento de algumas torres da Linha de Transmissão 525kV Acaray-Oviedo.

Verifica-se que quando os solos estão com teores de umidade abaixo de 20%, aproximadamente, a resistividade é muito alta, decrescendo rapidamente com o aumento do conteúdo de água no solo até alcançar o ponto de resistividade mínima. O decréscimo da resistividade é função do aumento do teor de umidade que por sua vez é responsável pela solubilidade dos sais existentes.

Para todos os teores de umidade verificou-se neste trabalho que os valores de resistividade obtidos para a torre 553 mantiveram abaixo dos valores obtidos

para a torre 520. A torre 553 está em um solo mais aerado que o solo da torre 520. Em termos de aeração, pode-se concluir que o solo da torre 553 é menos agressivo que o solo da torre 520, e ainda, neste solo as estruturas parcialmente enterradas, podem apresentar uma menor corrosão por aeração diferencial, na interface solo/ar, que em solos similares ao da torre 520.

Uma discussão mais detalhada sobre a influência do teor de umidade na resistividade e sobre a agressividade devido à estrutura química do solo (intensidade da redução do gás oxigênio dissolvido na umidade) pode ser encontrada em Silva et al (2007).

4.4 Análise da corrosividade do solo

Com os dados de resistividade no ponto de retenção de água, na capacidade de retenção de água, no pH e na acidez total apresentados na tabela II, foi feito um tratamento matemático através da função dose-resposta para a determinação da corrosividade do solo.

A função dose-resposta tem sido muito útil no comportamento da corrosão atmosférica dos metais e tem sido observado um comportamento muito similar para o estudo da corrosividade de solos pela equação:

$$C = K \cdot t^n \quad \text{Equação 1}$$

C: perda de espessura média do metal (μm);

t: tempo de exposição em anos, K: corrosão em mm para o primeiro ano;

n: efeito passivador do solo (depende do metal, das condições físico-químicas do solo e de condições de exposição).

Assim, com esse tratamento obtém-se a função dose-resposta que exprime a perda de espessura média dos metais enterrados.

Uma vez correlacionados esses valores para o banco de dados existente no LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento para aproximadamente 500 amostras de solo de pé de torres (ver figura III). Desse modo que, é possível saber a corrosão de amostras novas sem o parâmetro taxa de corrosão, desde que, conhecidos os valores dos outros parâmetros.


 TABELA FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA $C=f(\text{resist}; \text{Reten\c{c}\~{a}o\ \text{A}\ \text{g}\ \text{u}\ \text{a}}; \text{Acidez Total})$				
$C=Kt^a$				
$K=A_1 - A_2 \cdot \text{Resistiv.} + A_3 \cdot \text{Reten\c{c}\~{a}o\ \text{A}\ \text{g}\ \text{u}\ \text{a}} + A_4 \cdot \text{Acidez Total}$				
Subestação	Resistividade Ohm.m	Retenção de água %	C um/ano	Acidez T meq/100g
AMOSTRA A	500	19	32	0,235
AMOSTRA B	940	14	12	0,235
AMOSTRA C	310	34	70	0,495
AMOSTRA D	2560	35	0	0,485
AMOSTRA E	1270	38	5	0,235
AMOSTRA F	2850	12	0	0,235
AMOSTRA G	1220	18	5	0,849
AMOSTRA H	240	38	57	0,235
AMOSTRA I	1900	30	0	5,15
AMOSTRA J	800	40	18	0,424
AMOSTRA K	410	38	51	1,25
AMOSTRA L	900	15	14	0,118

Figura III: Aplicação da função dose-resposta.

Uma discussão mais detalhada sobre a aplicação da função dose resposta para os parâmetros determinados aqui pode ser encontrada em Díaz Mora et al (2007).

Todos os solos analisados mostraram ser poucos aerados, pois todos eles apresentaram uma pequena diferença entre a porcentagem de água na resistividade mínima e a porcentagem de água no ponto de retenção de água. Isto indica que todos os solos analisados apresentam alta tendência para a corrosão por aeração diferencial, isto é, alto grau de agressividade na interface solo/ar (região de afloramento).

Para este trabalho, o solo foi classificado em 2 grupos de agressividade:

- Grupo 1 (solos poucos agressivos) composto pelas seguintes torres: 500, 570, 589, 798, 553, 783, 788 e 789, 520, 550, 606 e 806. Estas torres apresentam solo com tendência de taxa de corrosão entre 10 a 100µm/ano. Isto significa que as torres (cantoneiras de 6 a 10 mm de espessura) localizadas nesses solos terão vida útil próximo de 40 anos, desde que não seja feita manutenção. Caso seja feito algum tipo de manutenção, até mesmo, somente o processo de pintura na região de afloramento, esse tempo de vida aumentará. Com relação ao material galvanizado dessas torres, pode-se concluir que em 10 anos de exposição nesse solo, haverá perda da galvanização, podendo haver aparecimento de corrosão vermelha.
- Grupo 2 (solo agressivo) composto pela torre 682. Para o solo do grupo 2, a torre composta de cantoneiras de 6 a 10 mm de espessura, terá vida útil

próximo de 20 anos, desde que não seja feita manutenção. Caso seja feita algum tipo de manutenção, até mesmo, somente o processo de pintura na região de afloramento, esse tempo de vida aumentará. Com relação ao galvanizado dessa torre, pode-se concluir que em 10 anos de exposição nesse solo, haverá perda da galvanização e aparecimento de corrosão vermelha, além do comprometimento mecânico do metal base (aço carbono).

5 AÇÕES PARA A MANUTENÇÃO DE PÉS DE TORRES DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO ACARAY-OVIEDO

Dos resultados apresentados neste trabalho, é possível sugerir algumas ações a ANDE para retardar o processo de degradação dos pés de torres das linhas de transmissão de tal modo que, as taxas de corrosão das fundações e das ferragens da superestrutura sejam equivalentes. Para tanto, seria necessário, inicialmente, fazer-se um mapeamento da corrosividade do solo das fundações de todas as 723 torres da linha, já que, diferenças de corrosividade podem acarretar a formação de macropilhas.

Os diagnósticos da corrosividade do solo podem ser obtidos através de ensaios físicos e químicos do solo ou pela técnica de injeção de corrente recentemente apresentada por Silva et al (2007). Com base nesses diagnósticos e considerando o estado de degradação do pé de torre, deverá ser indicado o tipo de manutenção a ser implementado.

Detalhes sobre a aplicação das técnicas de manutenção já consolidadas no setor elétrico brasileiro tais como pintura e proteção catódica por ação galvânica ou por corrente impressa são apresentadas em Silva et al (2001). No caso de corrosão por aeração diferencial, aplica-se pintura anticorrosiva apropriada. Antes da pintura, a superfície deve ser limpa, através de limpeza manual, mecânica ou através de hidrojateamento. Em materiais galvanizados e com uma corrosão branca leve, faz-se apenas uma limpeza mecânica e aplica-se por cima o alcatrão de hulha (neste caso aplica-se condicionador de aderência compatível ao alcatrão de hulha).

Em situações nas quais o substrato já foi atingido pela corrosão, faz uma limpeza mecânica mais profunda ou hidrojateamento, aplica-se uma tinta de fundo compatível ao processo de limpeza.

Para a limpeza manual, a limpeza deve ser feita na região em que se necessita retoque. Inicialmente, deve-se usar uma talhadeira para eliminar a sujeira grossa e tinta antiga não aderente. Em seguida, remover toda ferrugem solta (não aderente) pelo emprego manual de escovas de arame de aço, lixas, raspadeiras ou combinações das mesmas. Após o término do trabalho de limpeza, a poeira deve ser removida da superfície pelo enxaguamento com água e secagem. A superfície limpa deve receber primer no menor prazo possível. Recomenda-se a aplicação do primer no mesmo dia da limpeza.

Para o hidrojateamento a limpeza deve ser feita na região de afloramento, através de equipamento apropriado para jateamento úmido, usando como agente abrasivo, bauxita ou similar, desde que tenha o mesmo desempenho da bauxita. O primer, após limpeza com hidrojateamento, deve ser o epoximastic

pigmentado com zinco e alumínio, na espessura mínima de película seca de 75µm. O primer após limpeza manual é o epoxi-isocianato com 15µm de película seca. A tinta intermediária deve ser o epóxi-alcatrão de hulha marrom e a cor preta para o acabamento. Essa tinta é bicomponente e é curada com poliamida, pigmentada com cargas inertes, de alta resistência à abrasão e deve ter pelo menos 200µm/demão na espessura seca (SILVA, 2001).

6 CONCLUSÕES

De uma análise geral dos resultados obtidos das análises físico-químicas, dos efeitos de agressividade do solo devido a sua textura física e a sua estrutura química, e com base na corrosividade do solo determinada através da função dose-resposta pode-se classificar o solo de pés de algumas torres da Linha Acaray–Oviedo do Paraguai.

Para este trabalho, o solo foi classificado em 2 grupos de agressividade:

Grupo 1, composto pelas torres 500, 570, 589, 798, 553, 783, 788 e 789, 520, 550, 606 e 806: considerados solos poucos agressivos.

Grupo 2, composto pela torre 682: considerado solo agressivo.

Com base nestes resultados são sugeridas algumas ações ao setor de manutenção de linhas da ANDE tais como: mapeamento da corrosividade do solo, pintura e proteção catódica em todo o território nacional para aumentar a confiabilidade e disponibilidade e prolongar o tempo de vida útil destas instalações.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LACTEC pelo auxílio metodológico, ao Laboratório de Química da Itaipu Binacional e ANDE pelo auxílio técnico e ao PIBIC/UNIOESTE pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SERRA, E. T. Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo. CEPTEL, Rio de Janeiro, 2006, 169p.

SILVA, J. M.; LÁZARIS, J.; TERSARIOL, L. H. Avaliação da corrosividade de solos pertencentes a região de afloramento de pés de torres de linhas de transmissão. In: X Encuentro Regional Latinoamericano de la CIGRÉ. CIGRÉ, Puerto Iguazú (Argentina), 2003.

BURIN, E. L. K.; DÍAZ MORA, N.; SIHVENGHER, J. C. Estudo da corrosividade do solo em pés de torre de linhas de transmissão. In: XIII Encontro Anual de Iniciação Científica. UEL, Londrina, 2004.

CASTILLO, E. V.; SIHVENGER, J. C.; SILVA, J. M.; CORONEL, R.; SHYNIA, O. N.; STECANELLA, M. B.; DÍAZ MORA, N. Diagnostico de la agresividad del suelo de los pies de torres de la linea de transmision en 220kV, Acaray-

Oviedo. In: VII Seminário del Sector Eléctrico Paraguayo. ANDE, Assunção (Paraguai), 2006.

GCOI/SCM. Obtenção da curva característica de resistividade em relação a porcentagem de água em solos. In: III Encontro Técnico de Corrosão e Proteção. GCOI/SCM/CFQ, Campinas, 1989.

SILVA, J. M.; DÍAZ MORA; N.; STECANELLA, M. B.; CASTILLO, E. V.; SIHVENGER, J. C.; CORONEL, R. Influência da agressividade do solo na corrosão das linhas de transmissão do sistema elétrico paraguaio. In: 9^º Conferência Internacional sobre Tecnologia de Equipamentos. ABENDE, Salvador, 2007.

DÍAZ MORA, N.; SILVA, J. M.; CASTILLO, E. V.; CORONEL, R.; STECANELLA, M. B.; SHYNIA, O. N. Diagnóstico da corrosão das estruturas metálicas nas torres da linha de transmissão de alta tensão Acaray-Oviedo. In: Décimo Segundo Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ. CIGRÉ-Brasil, Foz do Iguaçu, 2007.

SILVA, J. M.; FRIEDRICH, J.; TERSARIOL, L. H.; RIBAS, R. M.; LACERDA, L. A.; BOSZCZOWSKI, R. B.; OLIVEIRA, J. A. Diagnóstico corrosivo de pés de torres através de injeção de correntes elétricas em condições de circuito fechado. In: Décimo Segundo Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ. CIGRÉ-Brasil, Foz do Iguaçu, 2007.

SILVA, J. M.; LAZARIS, J.; TERSARIOL, L. H. A proteção catódica como complemento na manutenção de pés de torres de linhas de transmissão. In: IX Encuentro Regional Latino Americano de la CRIGRÉ. CRIGRÉ, Foz do Iguaçu, 2001.